الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم الطاقة الكهربائية

تحسين أداء النظم الكهرضوئية المستقلة من خلال دراسة تأثير عمق التفريغ للمدخرات على كلفة وحدة الطاقة

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير

في هندسة الطاقة الكهربائية

إعداد

المهندس يوســـف الجلاب

المشرف العلمي

الدكتور المهندس عباس صندوق

دمشق 2013

الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم الطاقة الكهربائية

تحسين أداء النظم الكهرضوئية المستقلة من خلال دراسة تأثير عمق التفريغ للمدخرات على كلفة وحدة الطاقة

إعداد

المهندس يوسف الجلاب

المشرف العلمي

الدكتور المهندس عباس صندوق

لجنة الحكم:

الدكتور المهندس	الأستاذ المساعد الدكتور	الأستاذ الدكتور
ياسر دياب	عباس صندوق	محمد قرضاب

الإهداء

إلى الريحانة التي أثلجت ظمأ صدري بنداها....وعطرت أنفاس روحي بشذاها .....

إلى التي لا تنسكب مدامعي إلا في أحضانها ولا يتم سروري إلا ببريق ابتسامتها .....

إلى التي تزيل عن وجهي ضباب الوحشة لترجع إليه إشراقته .....

إلى نبع الصدق والوفاء .....

"أمي الحبيبة"

إلى الذي علمني أن أعمل بجد ودأب لأتمكن من تحقيق أمنياتي .....

إلى الذي علمني أنه إذا ضاقت بي الدنيا أن أجعل الله عز وجل ملاذي الوحيد لأنه لن يخذلني .....

إلى الذي علمني أن الإنسان مهما كبر سنه يبقى تلميذاً في مدرسة الحياة .....

إلى الذي علمني أن أسعى لأن أعيش بهمة الأبطال وبراءة الأطفال وعقول العظماء .....

"أبي الحبيب"

إلى الذين أقطف بصحبتهم الابتسامة من أحضان الحياة وأدفن معهم الدموع في أعماق البحار.....

إلى الذين لا تنار مصابيحي إلا بإشراقة وجوههم ولا تذلل صعابي إلا بعزيمة أعينهم.....

ولا تنتعش أواصري إلا بندى قلوبهم .....

"إخوتي الأحباء"

إلى الذين مرت الأيام معهم وكأنها ثوانٍ .....

إلى الذين تعلمت من كل واحد منهم معنى سام اتخذت من مجملها عقداً أزين به حياتي وأستعرض بكل لؤلؤة منه ذكرياتي .....

"أصدقائي"

كلمة الشكر

لا يسعني في عملني المتواضع هذا إلا أن نتقدم بجزيل الحمد والشكر لله عز وجل الذي وفقني لأداء هذا العمل وأسأله تعالى المعونة والتوفيق دائماً.

ومع نهاية هذا المشروع لابدّ لي من وقفة تأمل أستعرض فيها الأيام التي قضيتها في السعي الحثيث طلباً للعلم فكلي أمل في أن يكون هذا المشروع بداية خير لمستقبلي، فقد قيل بأن رحلة الألف ميل تبدأ بخطوة و الربيع لا يبدأ بزهرة ولكن الزهرة تدل على قدوم الربيع.

وأنا أضع قدمي على عتبة الحياة العملية لا يسعني إلا أن أتقدم بأسمى آيات الشكر والامتنان إلى كل من أنار لي طريق العلم، وإلى كل من غرس نبتة في حقلي، وإلى كل من سقى وردة في بستاني فالشكر كل الشكر لأساتذتنا الكرام نبراس العلم والعطاء، وإلى كل من ساهم معي في إنجاز هذا المشروع، وأخص بالشكر:

الدكتور المهندس عباس صندوق

الذي أغنى مشروعي بتوجيهاته الكريمة ووجهة نظره الثاقبة

مشكوراً على كل ما بذله من وقت وجهد لإنجاح هذا العمل المتواضع

مخطط البحث العلمي لرسالة الماجستير

1. **دراسة مرجعية لجميع تطبيقات النظم الكهروضوئية ومكوناتها .**
2. **تصميم وتنفيذ نظام كهروضوئي مستقل باستطاعة 12kW .**
3. **دراسة تأثير عمق تفريغ المدخرات على كلفة وحدة الطاقة الكهربائية في النظم الكهرضوئية المستقلة .**
4. **تنفيذ برنامج لتصميم النظم الكهروضوئية المستقلة باستخدام لغة البرمجة** C#.
5. **دراسة الكلفة الاقتصادية وكلفة وحدة الطاقة الكهربائية الناتجة من خرج النظام الكهرضوئي المنفذ .**
6. **النتائج والتوصيات .**

الفهرس

مقدمة عامة 1

الفصل الأول: النظم الكهروضوئية (تطبيقاتها ومكوناتها) 4

1-1 مقدمة 5

1-2 أنواع النظم الكهروضوئية 5

1-3 مشاريع الطاقة الكهرضوئية المنفذة محليا وعربيا وعالميا 9

1-3-1 مشاريع الطاقة الكهرضوئية محليا وعربيا 9

1-3-2 مشاريع الطاقة الكهرضوئية عالميا 11

1-4 مكونات النظم الكهروضوئية المستقلة 14

1-4-1 اللوحات الكهروضوئية 15

1-4-2 منظمات الشحن 17

1-4-3 المدخرات 19

1-4-4 المعرجات 22

1-4-5 متممات النظام 23

الفصل الثاني : تصميم النظم الكهرضوئية المستقلة 24

2-1 مقدمة 25

2-2 الإشعاع الشمسي المعتمد 25

2-3 الأحمال الكهربائية 32

2-4 تصميم النظام الكهروضوئي المستقل 33

2-4-1 تصميم حقل الألواح الكهروضوئية 34

2-4-2 تصميم نظام التخزين 37

2-4-3 حساب محددات الشاحن 40

2-4-4 محددات المعرج المستقل 43
2-4-5 حساب مقاطع الكابلات 45
2-4-5-1 تحديد أبعاد كابل السلسلة 46
2-4-5-2 تحديد أبعاد الكابل الرئيسي للتيار المستمر 47
2-4-5-3 تحديد أبعاد كابل التغذية للتيار المتناوب 48
2-5 حساب الطاقة الكهربائية السنوية 48
2-6 تنفيذ النظام الكهرضوئي المستقل بإستطاعة 12kWp 49
الفصل الثالث : دراسة تأثير عمق تفريغ المدخرات على كلفة وحدة الطاقة 53
3-1 مدخرات النظم الكهرضوئية وخصائصها 54
3-2 دراسة تأثير عمق تفريغ المدخرات على كلفة وحدة الطاقة 61
3-3 القياسات والنتائج 64
3-4 الطاقة الكهربائية الفائضة 68
الفصل الرابع : تنفيذ برنامج لتصميم النظم الكهروضوئية المستقلة باستخدام لغة البرمجة C# 72
4-1 مقدمة 73
4- 2 الخوارزميات والنماذج الرياضية 73
4-2-1 واجهة حسابات الإشعاع الشمسي 74
4-2-1-1 المعادلات الرياضية وخوارزمية حساب شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل .. 74
4-2-1-2 خوارزمية الإشعاع الشمسي وزاوية الميل المثلى 76
4-2-1-3 الواجهة الرئيسية لحسابات الإشعاع الشمسي 78
4-2-2 واجهة تصميم النظام الكهروضوئي المستقل 79
4-2-2-1 خوارزمية تصميم النظام المستقل 79
4-2-2-2 الواجهة الرئيسية لتصميم الأنظمة المستقلة 81
4-2-3 واجهة حساب القدرة الكهربائية والكلفة الاقتصادية 83

4-2-3-1 خوارزمية حساب الطاقة الناتجة وكلفة وحدة الطاقة 83

4-2-3-2 الواجهة الرئيسية لحساب القدرة السنوية وكلفة وحدة الطاقة 85

4-2-4 واجهة رسم منحنيات الخرج 86

الفصل الخامس : الكلفة الاقتصادية وكلفة وحدة الطاقة الكهربائية 89

5-1 مقدمة 89

5-2 حساب الكلفة الاقتصادية وكلفة وحدة الطاقة الكهربائية 89

5-3 دراسة تأثير نسبة الفائدة السنوية على كلفة وحدة الطاقة 95

5-4 دراسة تأثير عامل التعجيل على كلفة وحدة الطاقة 96

5-5 المناقشة الاقتصادية 97

النتائج والتوصيات 99

الملاحق 100

المراجع العلمية 112

قائمة الأشكال List of Figures

رقم الشكل	الوصف	رقم الصفحة
الشكل (1-1)	مخطط نظام مستقل يغذي أحمال تيار مستمر بشكل مباشر بدون نظام تخزين	5
الشكل (1-2)	مخطط نظام مستقل يغذي أحمال تيار مستمر بشكل مباشر مع نظام تخزين	5
الشكل (1-3)	مخطط نظام مستقل يغذي أحمال تيار مستمر وتيار متناوب مع نظام تخزين	6
الشكل (1-4)	مخطط نظام مستقل يغذي أحمال تيار مستمر ومتناوب بوجود منبع مساعد	6
الشكل (1-5)	مخطط نظام كهرضوئي مرتبط بالشبكة العامة يغذي أحمال تيار متناوب	7
الشكل (1-6)	مخطط نظام كهرضوئي يضخ القدرة الكهربائية إلى الشبكة لتغذي أحمال تيار متناوب	7
الشكل (1-7)	مخطط نظام كهروضوئي مرتبط بالشبكة العامة مع نظام تخزين	8
الشكل (1-8)	توزع مشاريع الطاقة الكهروضوئية المنفذة في سوريا	9
الشكل (1-9)	المكونات الرئيسية المستخدمة في النظم المستقلة تبعا لنوع الحمل الكهربائي	14
الشكل (1-10)	منحنيات (الجهد- تيار) ومنحنيات الاستطاعة للوحة كهرضوئية 210W	17
الشكل (1-11)	مجال عمل المعرج تبعا لقيمة خرج توتر اللوح الكهروضوئي	22
الشكل (1-12)	صورة للحمايات الكهربائية المستخدمة في النظم الكهروضوئية	23
الشكل (1-2)	توزع طاقة الإشعاع الشمسي السنوية في القطر العربي السوري	25
الشكل (2-2)	توضع صفين متتاليين من الألواح الكهروضوئية في الحقل والمسافات بين الصفوف	38
الشكل (2-3)	صورة منظم الشحن الذي تم إختياره في هذا البحث	43
الشكل (2-4)	صورة المعرج الذي تم إختياره في هذا البحث	44
الشكل (2-5)	أبعاد كابلات التيار المستمر والتيار المتناوب للمشروع المنفذ	45
الشكل (2-6)	أبعاد كابلات التيار المستمر لنظام 24v عند هبوط جهد مقداره 3 %	46
الشكل (2-7)	توضع اللوحات الكهرضوئية مع غرف المدخرات وباقي تجهيزات النظام على السطح	50
الشكل (2-8)	مخطط تفصيلي للنظام الكهروضوئي المستقل المنفذ	51
الشكل (2-9)	سلسلة المدخرات المؤلفة من 12مدخرة موصولة على التسلسل	52
الشكل (2-10)	توضع الشواحن والمعرج وطريقة الربط مع تجهيزات الحماية	52
الشكل (2-11)	أجهزة الإنارة التي تغذى من النظام الكهرضوئي المستقل	52
الشكل (3-1)	صورة لمدخرة رصاصية حامضية سائلة	54
الشكل (3-2)	صورة لمدخرة رصاصية حمضية جافة بتقنية AGM	54
الشكل (3-3)	صورة لمدخرة رصاصية حمضية بتقنية GEL	55
الشكل (3-4)	دارة ثيفينين المكافئة للمدخرة الكهركيميائية	55
الشكل (3-5)	خصائص (التوتر – تيار) لمدخرة كهركيمياية	56
الشكل (2-6)	الدارة المكافئة بأخذ الحالة الساكنة والحالة الديناميكية بعين الاعتبار	57
الشكل (3-7)	منحنيات التفريغ للمدخرة عند معدلات تفريغ نختلفة	57
الشكل (3-8)	علاقة توتر المدخرة والوزن النوعي للمحلول الكهرليتي بحالة الشحن SOC	58
الشكل (3-9)	مقارنة لسعة مدخرة الرصاص الحامضية من أجل درجات حرارة ونسب تفريغ متعددة	58
الشكل (3-10)	علاقة عمق التفريغ DOD للمدخرة الرصاصية الحمضية مع درجة الحرارة	59

الشكل (3-11)	علاقة عمر المدخرة كتابع لدرجة الحرارة	59
الشكل (3-12)	جهد الشحن للمدخرة تبعا لدرجة حرارة الوسط المحيط	60
الشكل (3-13)	علاقة عمق التفريغ للمدخرات DOD بعدد دورات الشحن وتأثيرها على سعة المدخرة	60
الشكل (3-14)	منحني عدد دورات الشحن والتفريغ كتابع لعمق التفريغ لمدخرة نموذج 12pvv2280	61
الشكل (3-15)	علاقة كلفة وحدة الطاقة الكهربائية بعمق تفريغ المدخرات في الأنظمة المستقلة	63
الشكل (3-16)	تيار الحقل Ipv والمدخرات IB وتيار الحمل IL وحالة الشحن SOC ليوم في الشتاء	65
الشكل (3-17)	تيار الحقل Ipv والمدخرات IB وتيار الحمل IL وحالة شحن SOC ليوم في الصيف	67
الشكل (3-18)	منحنيات الاشعاع الشمسي لكل من شهر تموز وشهر كانون الأول	68
الشكل (3-19)	مقارنة منحني الحمل ومنحني التوليد لجميع أشهر السنة (القيم النظرية)	69
الشكل (3-20)	منحنيات القدرة الكهربائية المولدة والمستهلكة لشهور السنة	70
الشكل (4-1)	الواجهة الرئيسية لبرنامج تصميم النظم الكهروضوئية المستقلة المنفذ ضمن الأطروحة	73
الشكل (4-2)	المخطط الصندوقي لحساب شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل	76
الشكل (4-3)	المخطط الصندوقي لحساب شدة الإشعاع الشمسي المعتمد والزوايا المثلى لكل شهر	77
الشكل (4-4)	واجهة البرنامج لبحساب قيمة الإشعاع الشمسي المعتمد وزوايا نظام تتبع الشمس	78
الشكل (4-5)	المخطط الصندوقي لحساب طاقة الأحمال-حقل الألواح – بنك المدخرات	81
الشكل (4-6)	واجهة البرنامج الخاصة بحساب الأحمال-حقل الألواح – بنك المدخرات	82
الشكل (4-7)	خوارزمية حساب القدرة الكهربائية السنوية وحساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية	84
الشكل (4-8)	واجهة البرنامج الخاصة بحساب القدرة الكهربائية السنوية وكلفة وحدة الطاقة	86
الشكل (4-9)	منحنيات طاقة الإشعاع الشمسي اليومية لأشهر السنة عند قيم مختلفة للزاوية b	87
الشكل (4-10)	منحنيات التوليد ومنحنيات الحمل	87
الشكل (5-1)	العلاقة بين معدل الفائدة وكلفة وحدة الطاقة الكهربائية لنظام كهروضوئي مستقل	96
الشكل (5-2)	العلاقة بين عامل التعجيل وكلفة وحدة الطاقة الكهربائية لنظام كهروضوئي مستقل	97

قائمة الجداول List of Tables

رقم الشكل	الوصف	رقم الصفحة
الجدول(1-1)	تطبيقات الطاقة الكهروضوئية المنفذة في سوريا	9
الجدول(1-2)	تطبيقات الطاقة الكهروضوئية المنفذة في بعض الدول العربية	10
الجدول(1-3)	الأحمال الكهربائية لمنزل صغير في إحدى قرى ألمانيا بإستطاعة اجمالية 5kW	11
الجدول(1-4)	نتائج التصميم لمكونات النظام الكهرضوئي لتغذية حمل باستطاعة 5kW	11
الجدول(1-5)	محددات النظام الكهرضوئي المستقل للنظام المستقل باستطاعة 5kW	11
الجدول(1-6)	الأحمال الكهربائية لمنزل صغير في إحدى قرى ألمانيا بإستطاعة اجمالية 20kW	12
الجدول(1-7)	نتائج التصميم لمكونات النظام الكهرضوئي لتغذية حمل باستطاعة 20kW	12
الجدول(1-8)	محددات النظام الكهرضوئي المستقل لتغذية حمل باستطاعة 20kw	12
الجدول(1-9)	مقارنة بيانات التصميم لعدة نظم كهرضوئية مستقلة مع نتائج النظام المراد تنفيذه	13
الجدول(1-10)	مساحة اللوحات الكهرضوئية لنظام باستطاعة 1kW تبعاً لنوع الخلايا المستخدمة	15
الجدول(1-11)	المردود الأعظمي المخبري والتجاري لكل من الخلايا واللوحات الكهروضوئية	16
الجدول(1-12)	خصائص بعض أنواع المدخرات الكهركيميائية	21
الجدول(2-1)	زمن السطوع النظري والفعلي اليومي لأشهر السنة عند زاوية خط عرض f=34°	26
الجدول(2-2)	الطاقة الإشعاعية اليومية الوسطية على سطح أفقي عند زاوية خط عرض f=34°	27
الجدول(2-3)	قيم تقريبية لعامل انعكاسية بعض أنواع سطوح الأرض	27
الجدول(2-4)	القيم الثابتة والقيم المحسوبة للشهر الأول من السنة (كانون الأول)	30
الجدول(2-5)	قيم شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل لشهور السنة في الموقع المدروس	30
الجدول(2-6)	قيم شدة الإشعاع الشمسي الأصغري والوسطي والأعظمي	31
الجدول(2-7)	نتائج قيم الإشعاع الشمسي الأعظمي Gmax(β) والزاوية المقابلة له bideal	31
الجدول(2-8)	الأحمال الكهربائية لكل من فصل الصيف وفصل الشتاء	32
الجدول(3-1)	حساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية بناء على قيمة عمق التفريغ التصميمية	62
الجدول(3-2)	تيار الحقل Ipv والمدخرات IB وتيار الحمل IL وحالة شحن SOC ليوم في الشتاء	64
الجدول(3-3)	تيار الحقل Ipv والمدخرات IB وتيار الحمل IL وحالة شحن SOC ليوم في الصيف	66
الجدول(3-4)	قياسات كل من الطاقة المولدة والطاقة المستهلكة ليوم نموذجي لكل شهر من السنة	70
الجدول(5-1)	الكلفة الاقتصادية لعناصر النظام كنسبة مئوية من استطاعة النظام المستقل	91
الجدول(5-2)	قيم نسبة الصيانة والتشغيل الدورية تبعا لنوع المنشأة	92
الجدول(5-3)	علاقة كلفة وحدة الطاقة الكهربائية بنسبة الفائدة السنوية للنظام المنفذ	95

ABBREVIATION:

الرمز	المصطلح بالإنكليزي	معناه
AA	Array Area	مساحة حقل اللوحات الكهرضوئية
AC	Alternating Current	التيار المتناوب
Ah	Ampere-hour	وحدة قياس سعة المدخرات
ALCC	Annual Life Cycle Cost	الكلفة السنوية للمشروع
ALCCT	Annual Life Cycle Cost With Tracking System	الكلفة السنوية للمشروع بوجود نظام تتبع الشمس
Am	Module Area	مساحة اللوحة الكهرضوئية
AM	Air Mass	كتلة الهواء
BE	Battry Efficiency	كفاءة المدخرة
CHE	Charger Efficiency	كفاءة الشاحن
C/d	Charge/discharge	نسبة الشحن/التفريغ
C_B	Initial Cost Of Batteries	الكلفة التأسيسية للمدخرات
C_{BIPW}	Cost Of Batteries Per Lifetime Of The System	كلفة المدخرات خلال كامل عمر المشروع
C_{MOPW}	maintenance cost per lifetime of the system	كلفة الصيانة خلال كامل عمر المشروع
C_c	Charger Cost	كلفة الشواحن
C_{INV}	Inverter Cost	كلفة المعرجات
C_{WP}	Wiring And Protection Cost	كلفة كابلات وتجهيزات حماية
C_O	Other Costs	تكاليف أخرى (ملحقات)
C_{Inst}	Installation Cost	كلفة التركيب
C_{TS}	Tracking System Cost	كلفة نظام تتبع الشمس
C_{PV}	PV Array Cost	كلفة اللوحات الكهرضوئية
d	Interest Rate	نسبة الفائدة السنوية
DC	Direct Current	التيار المستمر
DOD	Depth of discharge	عمق التفريغ للمدخرة
DOS	Days Of Storage	عدد أيام التخزين (الأيام الغائمة)
EA	Annual Energy	الطاقة الكهربائية السنوية
G	Global irradiation	شدة الإشعاع الشمسي

i	Inflation Rate	عامل التعجيل
IE	Inverter Efficiency	كفاءة المعرج
kW	Kilo Watt	وحدة قياس الإستطاعة الكهربائية
kWh	Kilo Watt Hour	وحدة قياس الطاقة الكهربائية
LCC	Life Cycle Cost	كلفة دورة الحياة
LCCT	Life Cycle Cost With Tracking System	كلفة دورة الحياة بوجود نظام تتبع الشمس
ME	Module Efficiency	كفاءة اللوحة الكهرضوئة
M / *yr*	Maintenance Cost Per Year	كلفة الصيانة السنوية
MOR	Maintenance & Operation Rate	نسبة كلفة الصيانة والتشغيل
MPP	maximum power point	نقطة الإستطاعة العظمى
N	Period Of Analysis	فترة التحليل (عمر المشروع)
NB	Battaery Life	عمر المدخرة
NOM	Nomber Of Moudule	عدد اللوحات الكهرضوئية
PSH	Peak Sun Hour	عدد ساعات سطوع الشمس بإشعاع $1000W/m^2$
A_p	Array Power	استطاعة الحقل الكهرضوئي
M_p	Module Power	استطاعة اللوحة الكهرضوئية
PV	Photovoltaic	كهرضوئي
SE	Storage Efficiency	كفاءة نظام التخزين
SOC	State of Charge	حالة شحن المدخرة
TC	Temperature Coefficient	معامل درجة الحرارة
TSC	Total Storage Capacity	سعة التخزين الإجمالية
US	Useful Storage	سعة التخزين المفيدة
UEC	Unit Electrical Cost	كلفة وحدة الطاقة الكهربائية
UECT	Unit Electrical Cost With Tracking System	كلفة وحدة الطاقة الكهربائية بوجود نظام تتبع الشمس

الملخص:

تعتبر الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقات المتجددة التي تتولد بصورة طبيعية ومستديمة، كما أن الطاقة الكهربائية لا تصل إلى كثير من المناطق النائية البعيدة عن الشبكة الكهربائية العامة فقد تم استخدام النظم الكهرضوئية المستقلة لتوليد الطاقة الكهربائية والتي تتميز بالكثير من المحاسن حيث لا تحتاج إلى وقود دائم كما لا تصدر أي ضجيج ولكن انحصر استخدامها في بعض التطبيقات الخاصة بسبب الكلفة العالية لوحدة الطاقة الكهربائية المولدة منها ، لذا تم من خلال هذا البحث دراسة جميع تطبيقات النظم الكهروضوئية ومكوناتها ، كما قمنا بتصميم وتنفيذ نظام كهرضوئي مستقل باستطاعة 12kWp لتغذية إنارة أحد الأبنية التعليمية الخضراء في جامعة القلمون الخاصة ، حيث قمنا بتحديد مواصفات عناصر النظام (اللوحات الكهرضوئية ، المدخرات ، الشواحن ، المعرجات ، باقي أجزاء النظام) ، بالإضافة إلى تنفيذ برنامج لتصميم النظم الكهروضوئية المستقلة واجراء حساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية باستخدام لغة البرمجة #C، وقد تم استخدام البرنامج في دراسة تأثير عمق تفريغ المدخرات على كلفة وحدة الطاقة الكهربائية ، وقد تم أخذ القياسات والقراءات من هذا النظام وذلك لرسم منحني التوليد ومنحني الإستهلاك لجميع أشهر السنة بهدف مقارنة النتائج العملية مع نتائج الحساب النظرية عند التصميم ، وأخيرا قمنا بدراسة الكلفة الإقتصادية للنظام الكهرضوئي المستقل الذي تم تنفيذه باستطاعة 12kWp وحساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية الناتجة من هذا النظام .

Abstract:

- Solar energy is the most important sources of renewable energies which is generated naturally and Sustainable. Also, the electric power doesn’t reach Remote areas far from the electric grid. Stand-alone PV systems are used to generate electric power in those areas - as they don’t make noise neither need a lot of fuel. However, their use has been limited to some special applications because of the high cost of the electric power unit produced. So We’ve done in this research A referential study for PV systems' applications, and components also we have been Designing and implementation a stand-alone PV system of 12 kWp. To supply the electrical power for lighting green educational building at the University of Kalamoon, and identifying the specifications of the system's components (PV Module, Batteries, Chargers, Inverters, And all other systems components). In addition to implementing a program to design a stand-alone PV system, and calculating the cost of the electric power unit by using C# programming language. Also, we used the programe in Studying of the solar batteries Depth of discharge effects on the electric power unit cost. we done all Measurements on the systems for drawing generation and consumption curves for all months of the year to compar theoretical calculation with practical results. Finally, studying the economic cost of the implemented 12 kWp stand-alone PV system. Then calculating the cost of the system's electric power unit.

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Mechanical & Electrical Engineering
Department of Electrical Power

Improve The Performance Of Stand-Alone PV System Through Studying The Effect Of Depth Of Discharge On The Cost Of Energy

A Study Prepared For The Masters Degree In Electrical Power Engineering

Prepared by

ENG.YOUSSEF ALJALLAB

Supervision

PHD ENG : ABBAS SONDOUK

Damascus 2013

المقدمة

Introduction

لقد أضحت الطاقة الكهربائية من أهم مقومات الحياة المعاصرة ، وأصبحت القوة الدافعة لحياة الأمم وتقدمها في جميع مناحي الحياة المختلفة كالصناعة ، والزراعة ، والتجارة ، والخدمات المنزلية . و في ظل المتغيرات الراهنة وزيادة الطلب على الطاقة الكهربائية ، تم البحث عن بدائل لمصادر الطاقة التقليدية (الفحم والنفط والطاقة النووية) بسبب ارتفاع أسعارها وزيادة الأضرار البيئة الناجمة عنها، وتوجهت جميع الدول المتقدمة لإستغلال الطاقات المتجددة التي تتولد بصورة طبيعية ومستديمة وكان من أهمها الطاقة الشمسية ، حيث تعددت طرائق الاستفادة منها كاستخدام المرايا العاكسة لتجميع ضوء الشمس كمجمّعات تكنولوجية وتحويله إلى طاقة حرارية أو طاقة كهربائية (النظم الكهروشمسية الحرارية) ، أو تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية بواسطة الخلايا الكهروضوئية (بنوعيها النظم المستقلة والنظم المرتبطة بالشبكة الكهربائية) . وتعتبر سوريا إحدى المناطق الغنية بالإشعاع الشمسي حيث تقع في المنطقة الدافئة من الاقليم المناخي للبحر الأبيض المتوسط وتتميز بمعدل عالي للإشعاع الشمسي السنوي يصل إلى $1925kWh/m^2$ ولكن الكلفة العالية للنظم الكهرضوئية مقارنة بطرق التوليد الأخرى أدت إلى الحد من انتشارها حيث اقتصر استخدامها في المناطق النائية والبعيدة عن الشبكة العامة وبعض التطبيقات الخاصة ، حيث تم في هذا البحث دراسة مايلي :

- الفصل الأول: يبحث هذا الفصل في تطبيقات النظم الكهرضوئية بنوعيها النظم المستقلة والنظم المرتبطة بالشبكة الكهربائية العامة ، ودراسة جميع مكونات النظم الكهرضوئية المستقلة .
- الفصل الثاني : يتضمن هذا الفصل تصميم وتنفيذ نظام كهرضوئي مستقل باستطاعة 12kW لتغذية إنارة أحد الأبنية التعليمية الخضراء في جامعة القلمون ، وتحديد مواصفات عناصر النظام (اللوحات الكهرضوئية ، المدخرات ، الشواحن ، المعرجات ، باقي أجزاء النظام) .
- الفصل الثالث : دراسة مدخرات النظم الكهرضوئية ودراسة تأثير عمق تفريغ المدخرات وظروف عملها من درجة حرارة وزمن شحن وتفريغ على عمر هذه المدخرات وعلى كلفة وحدة الطاقة الكهربائية ، وتحسين أداء هذه النظم من خلال الاستفادة من الطاقة المولدة الفائضة في أشهر الصيف . وإجراء جميع القياسات على هذا النظام ومقارنة النتائج العملية مع الحسابات النظرية .
- الفصل الرابع : تنفيذ برنامج لتصميم النظم الكهروضوئية المستقلة و حساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية باستخدام لغة البرمجة C#، بالاضافة لوضع الخوازميات التي تم استخدامها في البرمجة
- الفصل الخامس : دراسة الكلفة الإقتصادية للنظام الكهرضوئي المستقل الذي تم تنفيذه باستطاعة 12kW وحساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية الناتجة من هذا النظام .

الفصل الأول

تطبيقات النظم الكهروضوئية ومكوناتها

1-1 مقدمة

يبحث هذا الفصل في تطبيقات النظم الكهرضوئية بنوعيها النظم المستقلة والنظم المرتبطة بالشبكة الكهربائية العامة ، بالاضافة لبعض مشاريع الطاقة الكهرضوئية المنفذة محليا وعربيا وعالميا واعتماد إثنين من المشاريع المنفذة عالميا كدراسة مرجعية في تصميم وتنفيذ النظام الكهرضوئي المستقل في هذه الأطروحة ، ودراسة جميع مكونات النظم الكهرضوئية المستقلة .

1-2 أنواع النظم الكهرضوئية

يمكن تقسيم النظم الكهرضوئية بشكل عام إلى نوعين رئيسيين وهما :

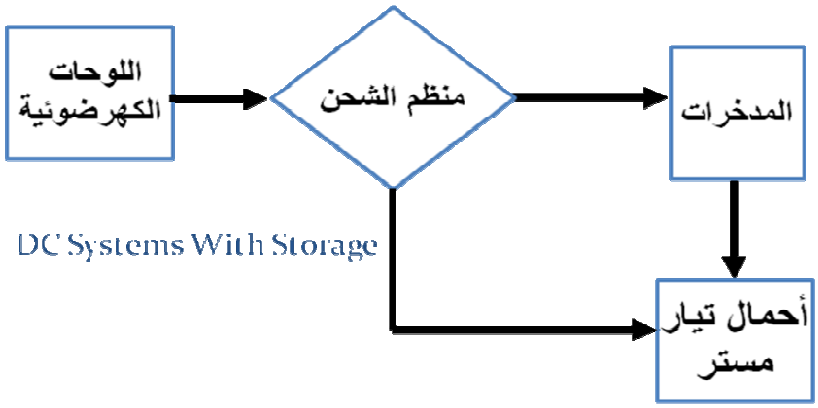
- ✓ النظم الكهروضوئية المستقلة عن الشبكة الكهربائية العامة .
- ✓ النظم الكهروضوئية المربوطة مع الشبكة الكهربائية العامة .

وسيتم توضيح المكونات الرئيسية لتطبيقات النظم الكهرضوئية المستقلة والمرتبطة بالشبكة العامة .

1- نظام كهروضوئي مستقل يغذي أحمال تيار مستمر مباشرة بدون تخزين يستخدم لضخ المياه وبعض التطبيقات الصغيرة كما في الشكل (1-1) .

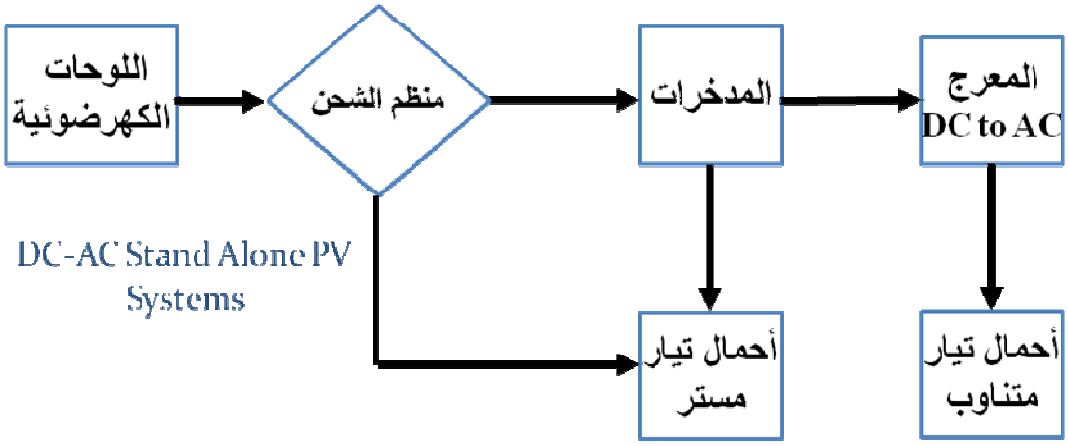
الشكل (1-1) مخطط نظام مستقل يغذي أحمال تيار مستمر بشكل مباشر بدون نظام تخزين . [1]

2- نظام كهروضوئي مستقل مع نظام تخزين يغذي أحمال تيار مستمر يستخدم لإنارة المنازل و أنظمة الحماية الكاثودية لأنابيب البترول وبعض التطبيقات الصغيرة كما في الشكل (1-2) .



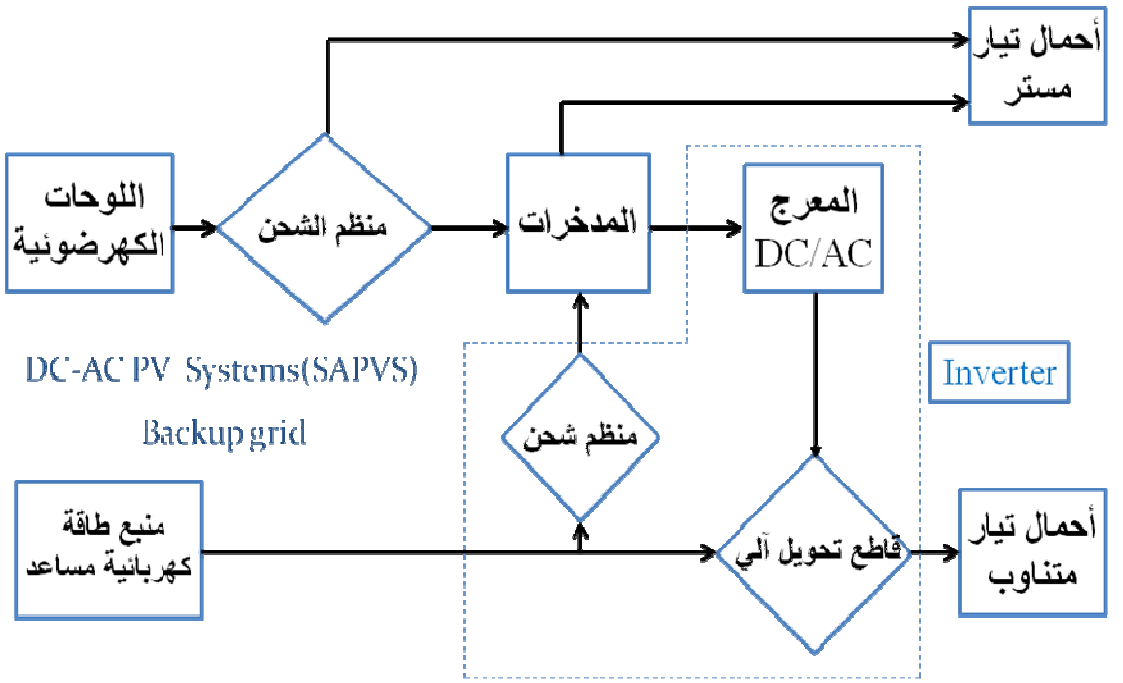
الشكل (1-2) مخطط نظام مستقل يغذي أحمال تيار مستمر بشكل مباشر مع نظام تخزين . [1]

3- نظام كهروضوئي مستقل يغذي أحمال تعمل على التيار المستمر وأحمال تعمل على التيار المتناوب مع نظام تخزين يستخدم كأنظمة صغيرة الاستطاعة لتغذية المنازل في المناطق النائية لعدم توفر الشبكة الكهربائية العامة كما في الشكل (1-3).



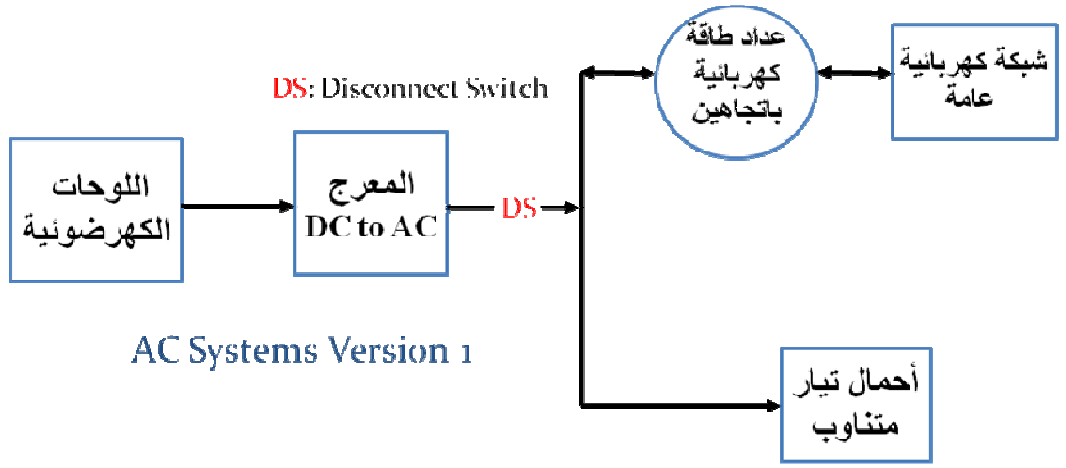
الشكل (1-3) مخطط نظام مستقل يغذي أحمال تيار مستمر وتيار متناوب مع نظام تخزين . [1]

4- نظام نظام كهروضوئي مستقل بوجود منبع مساعد لتأمين استمرارية التغذية الكهربائية للأحمال التي تعمل على التيار المستمر و التيار المتناوب بوثوقية عالية مع نظام تخزين و يستخدم كأنظمة متوسطة الاستطاعة لتغذية المنازل ومحطات الاتصالات كما في الشكل (1-4) وسيتم إعتماد هذا النموذج في تصميم النظام الكهرضوئي المستقل باستطاعة 12kw في مشروعنا حيث يتميز هذا النموذج بوثوقية عالية في تغذية الحمل بسبب وجود قاطع التحويل الآلي الموجود ضمن المعرج الذي يقوم بتحويل التغذية الكهربائية لمنبع آخر في حالة انقطاع الطاقة الكهربائية .



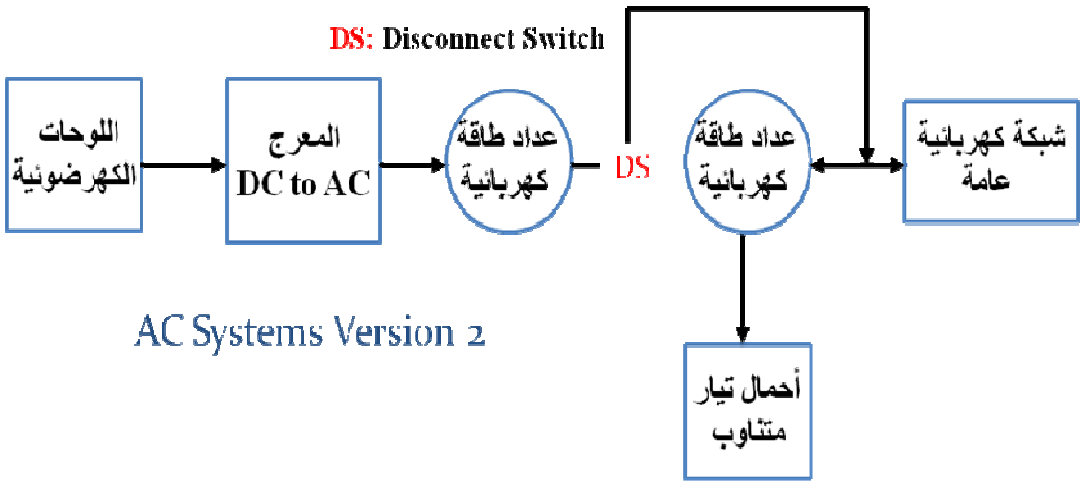
الشكل(1-4) مخطط نظام مستقل يغذي أحمال تيار مستمر ومتناوب بوجود منبع مساعد مع نظام تخزين . [1]

5- نظام كهروضوئي مربوط مع الشبكة العامة لتغذية الأحمال الكهربائية التي تعمل على التيار المتناوب حيث يتم تغذية الحمل إما من المولد الكهرضوئي أو من الشبكة العامة والاستطاعة التي تزيد عن حاجة الحمل يتم ضخها إلى الشبكة العامة حيث لا يوجد نظام تخزين مما يجعل الكلفة التأسيسية منخفضة مقارنتا بالأنظمة المستقلة ، النظام مزود بمقياس استطاعة ذو اتجاهين كما هو مبين في الشكل (1-5) .



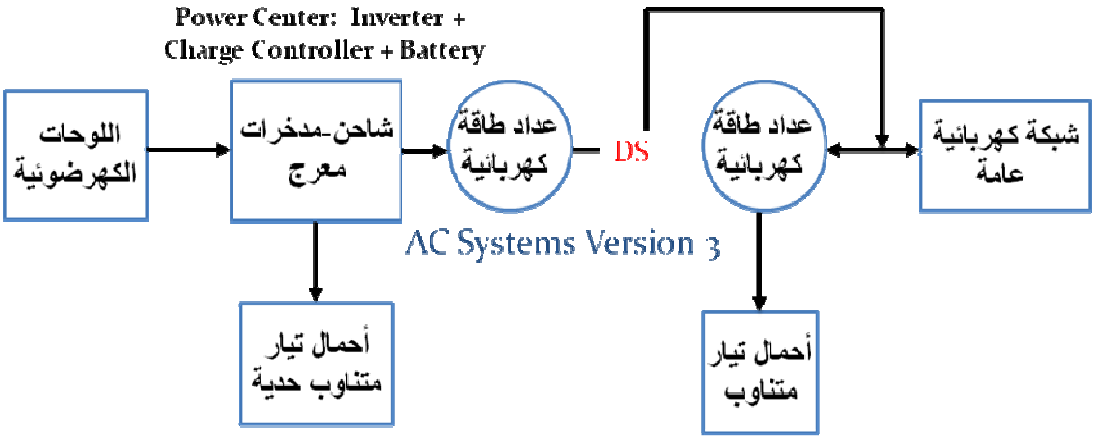
الشكل (1-5) مخطط نظام كهرضوئي مرتبط بالشبكة العامة يغذي أحمال تيار متناوب . [1]

6- نظام كهروضوئي مربوط مع الشبكة الكهربائية العامة لضخ الاستطاعة الكهربائية إلى الشبكة عن طريق مقياس استطاعة خاص بالتوليد ، وتغذية الأحمال الكهربائية التي تعمل على التيار المتناوب من الشبكة العامة عن طريق مقياس استطاعة خاص بالحمل ، هذا النموذج لا يحوي على نظام تخزين مما يجعل الكلفة التأسيسية منخفضة مقارنة بالأنظمة الكهروضوئية المستقلة ، ويستخدم هذا النظام في محطات التوليد الكهروضوئي حيث لا يوجد علاقة بين استطاعة الحمل واستطاعة التوليد كما هو موضح في الشكل (1-6) .



الشكل (1-6) مخطط نظام كهرضوئي يضخ القدرة الكهربائية إلى الشبكة لتغذي أحمال تيار متناوب . [1]

7- نظام كهروضوئي مربوط مع الشبكة الكهربائية العامة لضخ الاستطاعة الكهربائية الزائدة عن حاجة حمل ثابت القيمة إلى الشبكة عن طريق مقياس استطاعة ، حيث يحوي على نظام تخزين متكامل لتغذية حمل ثابت ، وتغذية أحمال كهربائية متنوعة ومتغيرة القيمة من الشبكة العامة عن طريق مقياس استطاعة أخر، كما هو موضح في الشكل (1-7) .

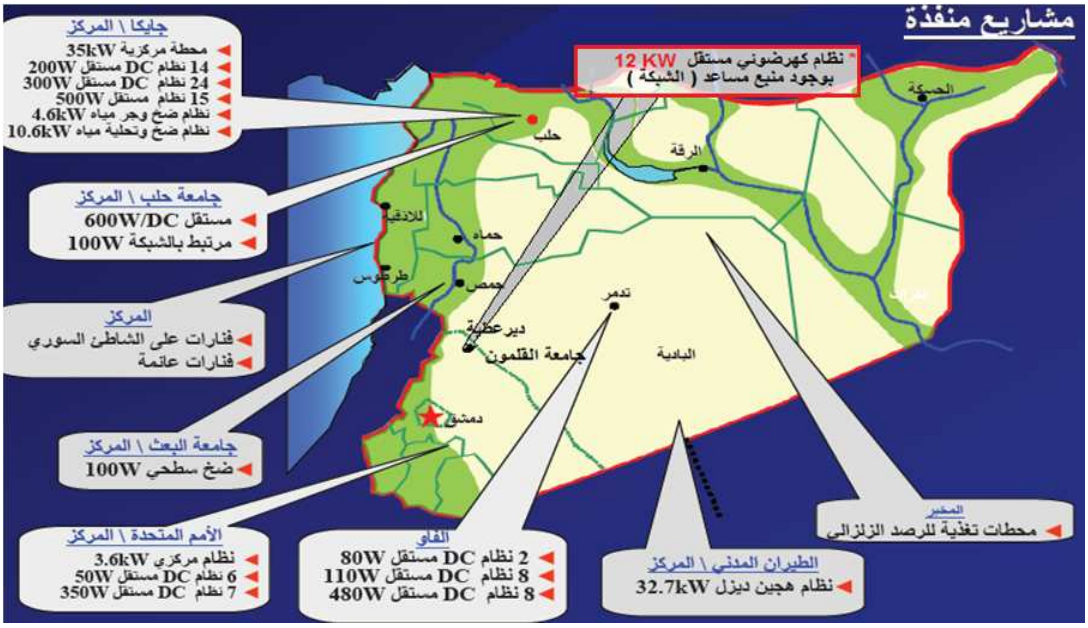


الشكل (1-7) مخطط نظام كهروضوئي مرتبط بالشبكة العامة يغذي أحمال تيار متناوب مع نظام تخزين . [1]

1-3 بعض مشاريع الطاقة الكهرضوئية المنفذة محليا وعربيا وعالميا

1-3-1 المشاريع المنفذة محليا وعربيا

تنحصر المشاريع المنفذة في سوريا في عدد من القرى المعزولة عن الشبكة الكهربائية مثل (المشيرفة، أبوصرة ، زرزريتا وغيرها) وبدعم من المنظمات الدولية ، بالاضافة للعديد من المشاريع في مجال ضخ المياه وإنارة بعض اللوحات الإعلانية والشكل (1-8) يبين توزع مشاريع الطاقة الكهرضوئية المنفذة في سوريا بنوعيها المستقلة والمرتبطة بالشبكة الكهربائية العامة .



الشكل(1-8) توزع مشاريع الطاقة الكهروضوئية المنفذة في سوريا .[2].

ولم يتم الإستفادة من هذه المشاريع في بحثنا حيث أن غالبية المشاريع المنفذة صغيرة الإستطاعة ، إذ يعتبر مشروع تصميم وتنفيذ نظام كهرضوئي مستقل باستطاعة 12kW أكبر محطة كهرضوئية مستقلة عن الشبكة الكهربائية العامة نُفذت في سوريا حتى الآن ، وقد نفذ هذا المشروع في جامعة القلمون حيث يهدف هذا المشروع إلى تعزيز القدرات الوطنية في مجالات البحث والتطوير والتشغيل .

ويبين الجدول (1–1) تطبيقات الطاقة الكهروضوئية المنفذة في سوريا بالإضافة للمشروع الذي تم تنفيذه في هذه الأطروحة وهو ملخص عن الشكل (1–9) .

الجدول (1–1) تطبيقات الطاقة الكهروضوئية المنفذة في سوريا . [2]

تطبيقات الطاقة الكهرضوئية في سوريا PV Systems						
المنطقة	نظام مستقل DC		نظام مستقل DC-AC		نظام مرتبط بالشبكة AC G-C	
	عدد المشاريع	السعة (kW)	عدد المشاريع	السعة (kW)	عدد المشاريع	السعة (kW)
ديرعطية - جامعة القلمون	1	0.96	1	12.16	1	0.96
حلب-جامعة حلب	1	0.6	-	-	1	0.1
حلب-زرزريتا-مشروع جايكا	38	10	16	42.5	-	-
درعا-الأمم المتحدة	13	2.75	1	3.6		
تدمر-الفاو	18	4.88	-	-	-	-
المنطقة	ضخ المياه		تحلية مياه		نظام هجين ديزل	
	عدد المشاريع	السعة (kW)	عدد المشاريع	السعة (kW)	عدد المشاريع	السعة (kW)
حمص-جامعة البعث	1	0.1	-	-	-	-
حلب-زرزريتا-مشروع جايكا	1	4.6	1	10.6	-	-
البادية السورية -الطيران المدني	-	-	-	-	1	32.7

كما يبين الجدول (1–2) تطبيقات الطاقة الكهروضوئية المنفذة في بعض الدول العربية .

الجدول (1–2) تطبيقات الطاقة الكهروضوئية المنفذة في بعض الدول العربية . [3]

تطبيقات الطاقة الكهرضوئية في بعض الدول العربية						
نوع التطبيق	كهرباء للأرياف		ضخ المياه		تحلية المياه	
	عدد المشاريع	السعة (kW)	عدد المشاريع	السعة (kW)	عدد المشاريع	السعة (kW)
سوريا	88	109.5	2	4.7	1	10.6
الأردن	32	32.9	24	102.8	-	-
السعودية	1	350	-	-	1	11
عمان	4	2.9	2	9.55	1	3.5
فلسطين	sev	50.5	-	-	-	-
مصر	2	204	8	22	3	23.5
اليمن	10	8.3	-	-	-	-

نوع التطبيق	الحماية المهبطية		محطات الراديو-التلفاز		الإتصالات	
	عدد المشاريع	السعة (kW)	عدد المشاريع	السعة (kW)	عدد المشاريع	السعة (kW)
سوريا	-	-	-	-	3	1.7
الأردن	-	-	-	-	13	18.6
السعودية	sev	723	-	-	540	318.5
عمان	sev	6	sev	212.7	sev	28.96
فلسطين	-	-	-	-	sev	5.5
مصر	-	-	-	-	sev	218
اليمن	-	-	19	12.8	18	92.4
نوع التطبيق	العيادات الطبية		إنارة الشوارع		TOTAL	
	عدد المشاريع	السعة (kW)	عدد المشاريع	السعة (kW)	عدد المشاريع	السعة (kW)
سوريا	-	-	-	-	94	126.5
الأردن	5	7.9	-	-	74	162.2
السعودية			4	143.2	beg	1545.6
عمان	-	-	sev	85	beg	348.6
فلسطين	9	10	-	-	beg	66
مصر	-	-	150	123.5	beg	591
اليمن	3	1	15	1.5	65	116

1-3-2 المشاريع المنفذة عالميا

عالميا يوجد الكثير من محطات التوليد الكهرضوئية بنوعيها المستقلة والمرتبطة بالشبكة العامة وبمختلف الإستطاعات، وقد تم الإطلاع على عدة مشاريع بإستطاعات مختلفة وكدراسة مرجعية تم اختيار نظامين كهرضوئيين مستقليين يستخدمان لتغذية أحمال كهربائية متنوعة لعدم توفر الشبكة الكهربائية العامة، الأول نظام مستقل مع نظام تخزين متوسط الإستطاعة بإستطاعة 5kW ، والثاني نظام مستقل مع نظام تخزين لتغذية أحمال كهربائية بإستطاعة 20kW .

1- نظام كهرضوئي مستقل بإستطاعة 5kW

يغذي هذا النظام الكهرضوئي الأحمال الكهربائية لمنزل صغير يحوي على التجهيزات المبينة في الجدول (1-3) .

الجدول (1–3) الأحمال الكهربائية لمنزل صغير في إحدى قرى ألمانيا بإستطاعة اجمالية 5kW . [4]

available energy with the kit 5kw(12250Wh)					
Appliances	Qty	Power	instantaneous power	Average time per day	energy consumed per day(Wh)
Low consumption light	5	11W	55W	5h	275Wh
TV	2	300W	600W	5h	3000Wh
DVD player	2	100W	200W	5h	1000Wh
Radio	1	55W	55W	1h	55Wh
Fan*	3	100W	300W	7h	2100Wh
Small washing machine	1	800W	800W	2h	1600Wh
Microwave oven	1	1000W	1000W	1h	1000Wh
Vacuum cleaner*	1	1000W	1000W	1h	1000Wh
Mobilephone charger	2	10W	20W	1h	20Wh
Computer	2	220W	440W	5h	2200Wh
TOTAL			**4470W**		**12250Wh**

وقد صمم هذا النظام من أجل إشعاع شمسي قدره 3kWh/m2/d ونسبة تفريغ للمدخرات DOD=25% وعدد أيام غائمة DOS=3، وكانت نتائج التصميم كما في الجدول (1–4) .

الجدول (1–4) نتائج التصميم لمكونات النظام الكهرضوئي لتغذية حمل باستطاعة 5kW . [4]

Composition of the system			
	Reference	Specificity	Quantity
Photovoltaic panels	CPS 190W	190W/36V mono	30
Charge controller	SMA SIC40	2.1kW 48Vdc/40A	3
Communication interface	SI-PB		3
Batteries	RA12-260D	12V 260Ah	16
Stand alone inverter	SMA SI5048	5kW, 48Vdc/230Vac	1
Solar cable	CPS002	6 mm^2	500m
Connectors	PV GZX0601-3T	T connector	9Pairs
Connectors	CPS0300	MC4 connector	42Pairs
Selector	CPS05012/D	DC selector	3
Support	Sole-in Flat	Terrace support	36

ويبين الجدول (1–5) محددات النظام الكهرضوئي المستقل بإستطاعة حمل 5kW .

الجدول (1–5) محددات النظام الكهرضوئي المستقل 5kW .[4]

Definition of the system	
Power of inverter	5000W
Power of PV grid	5700W
Self-sufficiency	3 days without sun
Max. time for recharging the system	7 hours
Available energy	12250Wh
Simultaneous power usable	4470W

2- نظام كهرضوئي مستقل بإستطاعة 20kW

يغذي هذا النظام الكهرضوئي منزل صغير والذي يحوي على التجهيزات المبينة في الجدول(1-6).

الجدول (1-6) الأحمال الكهربائية لمنزل صغير في إحدى قرى ألمانيا بإستطاعة اجمالية 20kW . [4]

available energy with the kit 20kw(49000wh)					
Appliances	Qty	Power	instantaneous power	Average time per day	energy consumed per day(Wh)
Low consumption light	20	11W	220W	5h	1100Wh
TV	8	300W	2400W	5h	12000Wh
DVD player	8	100W	800W	5h	4000Wh
Radio	4	55W	220W	1h	220Wh
Fan*	12	100W	1200W	7h	8400Wh
Small washing machine	4	800W	3200W	2h	6400Wh
Microwave oven	4	1000W	4000W	1h	4000Wh
Vacuum cleaner*	4	1000W	4000W	1h	4000Wh
Mobilephone charger	8	10W	80W	1h	80Wh
Computer	8	220W	1760W	5h	8800Wh
TOTAL			**17880W**		**49000Wh**

وقد صمم هذا النظام من أجل إشعاع شمسي قدره 3kWh/m2/day ونسبة تفريغ للمدخرات DOD=25% وعدد أيام غائمة DOS=3 وكانت نتائج التصميم كما هو مبين في الجدول (1-7).

الجدول (1-7) نتائج التصميم لمكونات النظام الكهرضوئي لتغذية حمل باستطاعة 20kW . [4]

Composition of the system			
	Reference	Specificity	Quantity
Photovoltaic panels	CPS190W	190W/36V mono	120
Charge controller	SMA SIC40	2.1kW 48Vdc/40A	12
Communication interface	SI-PB		12
Batteries	RA12-260D	12V 260Ah	64
Stand alone inverter	SMA SI5048	5kW, 48Vdc/230Vac	4
Solar cable	CPS002	6 mm^2	2000m
Connectors	PV GZX0601-3T	T connector	36Pairs
Connectors	CPS0300	MC4 connector	168Pairs
Selector	CPS05012/D	DC selector	12
Support	Sole-in Flat	Terrace support	144

ويبين الجدول (1-8) محددات النظام الكهرضوئي المستقل بإستطاعة حمل 20kW .

الجدول (1-8) محددات النظام الكهرضوئي المستقل لتغذية حمل باستطاعة 20kw . [4]

Definition of the system	
Power of inverter	20000W
Power of PV grid	22800W
Self-sufficiency	3 days without sun
Max. time for recharging the system	7 hours
Available energy	49000Wh
Simultaneous power usable	17880W

وبعد الإطلاع على جميع المشاريع المنفذة في سوريا وفي عدة دول عربية لم نجد مشروع كهرضوئي مستقل باستطاعة قريبة من استطاعة المشروع المراد تنفيذه لذا لم يتم الإستفادة منها في بحثنا ، أما المشاريع المنفذة عالميا فهناك الكثير من التطبيقات وبمختلف الإستطاعات ، وقد تم إعتماد المشروعين المنفذين عالميا باستطاعة 5Kw و20kW كدراسة مرجعية والجدول(1–9) يبين بيانات هذه المشاريع مع نتائج التصميم للنظام الكهرضوئي المراد تنفيذه .

الجدول (1–9) مقارنة بيانات التصميم لعدة نظم كهرضوئية مستقلة مع نتائج تصميم النظام المراد تنفيذه . [4]

مقارنة بين محددات النظام الكهرضوئي الذي تم تصميمه مع نظامين مرجعيين تبعا لقيمة الحمل الكهربائي وشدة الإشعاع الشمسي			
محددات النظام الكهرضوئي المستقل	5 (kW) Load	5 (kW) Load	20 (kW) Load
	نتائج تصميم النظام	دراسة مرجعية	دراسة مرجعية
استطاعة الحمل (W)	4326	4470	17880
طاقة الحمل (Wh)	39320	12250	49000
الاشعاع الشمسي (kWh/m2/day)	4.1	3	3
استطاعة الحقل (W)	12160	5700	22800
اللوحات الكهرضوئية	64/190W-27v polo	30/190W-36v mono	120/190W-36vmono
الشاحن	Qnt=4 (1.8kW 24Vdc/70A)	Qnt=3 (2.1kW 48Vdc/40A)	Qnt=12 (2.1kW 48Vdc/40A)
المعرج	Qnt=2 (2.3kW 24Vdc/230Vac)	Qnt=1 (5kW 48Vdc/230Vac)	Qnt=4 (5kW 48Vdc/230Vac)
المدخرات	Qnt=24 (2Vdc/1650Ah)	Qnt=16 (12Vdc/260Ah)	Qnt=64 (12Vdc/260Ah)
طاقة مخزنة (Wh/day)	79200	49920	199680
عدد أيام التخزين	DOS=1	DOS=3	DOS=3
عمق التفريغ	DOD=49%	DOD=25%	DOD=25%

ويعود الإختلاف في نتائج التصميم لعدة نقاط منها :

- شدة الإشعاع الشمسي في مكان تركيب الحقل : حيث أن طاقة الاشعاع الشمسي في جامعة القلمون أكبر $4.1kWh/m^2/d$ مقابل $3kWh/m^2/d$ في إحدى مدن ألمانيا ، مما يخفض من استطاعة الحقل الكهرضوئي اللازم .
- استطاعة الأحمال الكهربائية المركبة : استطاعة الأحمال المراد تغذيتها 4.32kW مقابل 4.47kW للنظام المرجعي والتي تنعكس على قيمة استطاعة المعرجات والتي تساوي 4.6kW في جامعة القلمون مقابل 5kW للنظام المرجعي .

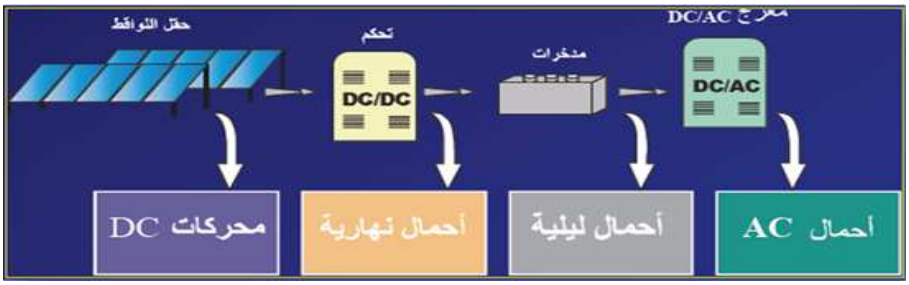
- الطاقة الكهربائية اللازمة للأحمال يومياً : إن استهلاك طاقة في مبنى المكتبة في جامعة القلمون لتغذية الإنارة مقداره 39.2kwh/day مقابل 12.2kWh/day للنظام المرجعي نحتاج لاستطاعة حقل كهرضوئي أكبر حيث أن قيمة الإستطاعة المركبة للنظام الكهرضوئي في جامعة القلمون 12.16kW مقابل 5.7kW للنظام المرجعي ، وبالتالي نحتاج إلى نظام تخزين بسعة أكبر 79.2kWh مقابل 49.9kWh للنظام المرجعي .
- عدد أيام التخزين (الأيام الغائمة) : وهي تؤثر بشكل كبير على تحديد سعة نظام التخزين حيث إعتمدنا عدد الأيام الغائمة هي DOS=1 ، بالاضافة إلى أن المعرجات مزودة بخاصية التغذية من منبع آخر وهو الشبكة الكهربائية العامة ، بينما عدد الأيام الغائمة DOS=3 للنظام المرجعي مما يزيد من سعة نظام التخزين اللازم للنظام المرجعي .
- عمق التفريغ للمدخرات: وتعتبر من أهم المحددات حيث تؤثر على كل من سعة نظام التخزين وعمره ، كما تتعلق نسبة عمق التفريغ بنوع المدخرات . وقد تم اعتماد قيمتها DOD=25% كدراسة مرجعية ، ولخفض كلفة نظام التخزين لأسباب مالية تتعلق بالجهة الممولة للمشروع فقد تم اعتماد قيمتها DOD=49% في مشروعنا كون الهدف الرئيسي لهذا المشروع هو البحث العلمي.

4-1 مكونات النظم الكهرضوئية المستقلة

يتكون النظام الكهرضوئي بشكل عام من الأجزاء التالية :

- ✓اللوحات الكهرضوئية .
- ✓منظمات الشحن .
- ✓المدخرات .
- ✓المعرجات .
- ✓باقي أجزاء النظام .

والشكل (1-9) يبين المكونات الرئيسية للنظم المستقلة تبعا لنوع التطبيق ونوع الحمل الكهربائي .



الشكل (1-9) المكونات الرئيسية المستخدمة في النظم المستقلة تبعا لنوع الحمل الكهربائي.

1-4-1 اللوحات الكهروضوئية

تتكون اللوحة الكهروضوئية من مجموعة من الخلايا التي تقوم بتحويل ضوء الشمس المباشر إلى طاقة كهربائية ، وهذه الخلايا مصنوعة من مواد نصف ناقلة وحساسة للضوء، كعنصر السيلكون ومحاطة بغلاف أمامي وخلفي ناقل للكهرباء . يمكن أن تنتج الخلية الواحدة جهداً مقداره 0.5V وتياراً مقداره 2.5A ، وهذا يعادل طاقة عظمى تصل إلى 1.25W للخلية الواحدة، وتربط هذه الخلايا مع بعضها على التسلسل لتشكل ما يسمى باللوحة الكهروضوئية ويُحدد نوع ومواصفات اللوحة تبعا لنوع الخلية المكونة لها ، إن الجدول (1-10) يعطي المساحة المطلوبة من اللوحات الكهرضوئية لكل 1kW بحسب نوع الخلية المستخدمة .

الجدول (1-10)مساحة اللوحات الكهرضوئية المطلوبة لنظام باستطاعة 1kW تبعاً لنوع الخلايا المستخدمة. [5]

Cell material	Required PV area for 1 kW,
Monocrystalline	7–9 m²
Polycrystalline	8–11 m²
Thin-film: Copper indium diselenide (CIS)	11–13 m²
Cadmium telluride (CdTe)	14–18 m²
Amorphous silicon	16–20 m²

يبين الجدول (1-10) أنه عند إستخدام لوحات كهرضوئية ذات خلايا وحيدة البلورة Monocrystalline نحتاج لأقل مساحة من اللوحات الكهرضوئية وقدرها $9m^2$ كحد أعظمي من أجل استطاعة مركبة قدرها 1kW ، بينما نحتاج لأكبر مساحة من اللوحات الكهرضوئية وقدرها $20m^2$ كحد أعظمي من أجل استطاعة مركبة قدرها 1kW . إن قيمة الطاقة التي تعطيها الخلية مرتبطة بكفاءة التحويل التي وصلت في الظروف المخبرية إلى 35% وفي الظروف العملية وصلت إلى 15.5% وهو ما يعرف بالمردود التجاري، والجدول (1-11) يبين المردود الأعظمي للخلايا واللوحات الكهرضوئية مخبريا وتجاريا تبعا لنوع الخلايا المستخدمة في صناعتها، وسيتم إستخدام اللوحات الكهرضوئية ذات خلايا **Polycrystalline silicon** ذات المردود 14.5% في المشروع المراد تنفيذه .

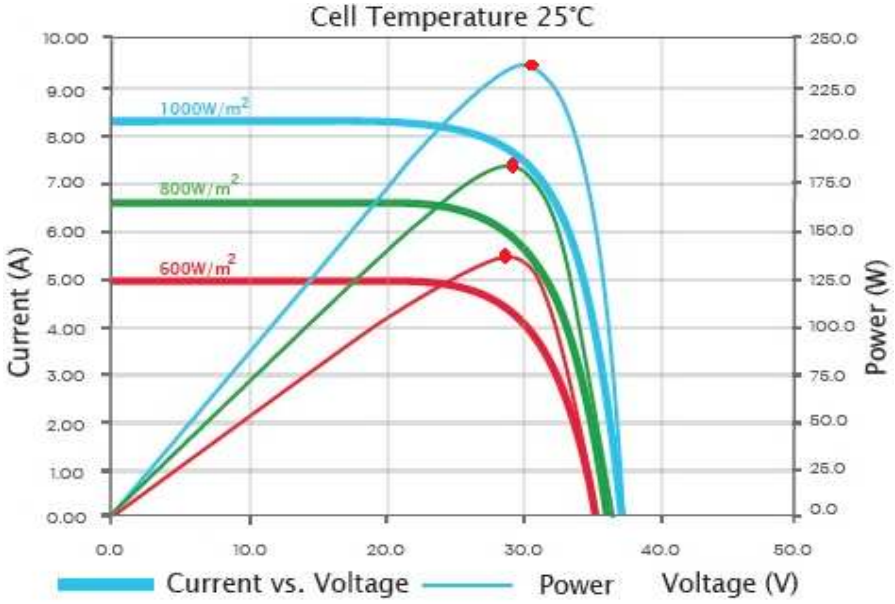
الجدول(1−11)المردود الأعظمي المخبري والتجاري لكل من الخلايا واللوحات الكهروضوئية . [5]

Solar cell material	Cell efficiency (Laboratory)	Cell efficiency (Production)	Module efficiency (series pro)
Monocrystalline silicon	24.7%	18%	15.5%
Polycrystalline silicon	19.8%	16%	14.5 %
Ribbon silicon	19.7%	14%	13%
Crystalline thin-filmsilicon	19.2%	9.5%	7.9%
Amorphous Silicon	13%	10.5%	7.5%
Micromorphous Silicon	12%	10.7%	9.1%
Cadmium telluride	16.4%	10%	9%

ومن أجل المقارنة بين أنواع الخلايا الكهروضوئية يتم اختبارها ورسم منحنيات الخصائص الكهربائية (التيار،التوتر، الاستطاعة) عند شروط الاختبار القياسية (STC) وهي:

- شدة إشعاع شمسي 1000 W/m2 .
- درجة حرارة الخلية 25 °C .
- كتلة هواء AM 1.5 .

وللحصول على المنحنيات المميزة (I-V Curves) ومنحنيات الاستطاعة (P Curves) نقوم بوضع مقاومة متغيرة على طرفي اللوح الكهروضوئي وتغير المقاومة بين الصفر واللانهاية ، ويتم تسجيل قيمة كل من الجهد والتيار ومن ثم رسم هذه المنحنيات ، ونحصل على الطاقة القصوى للوح الكهروضوئي بتغيير قيمة الحمل للوصول لأعلى قيمة لاستطاعة الخرج . وعندما يكون الإشعاع الشمسي أقل من 1000W/m2 فإن شكل المنحنى يكون مشابهاً للمنحنى الأول ولكن المساحة تحت المنحنى تكون أقل ونقطة الاستطاعة العظمى ستتحرك إلى اليسار كما هو مبين على المنحنيات في الشكل (1−10) .



الشكل(1–10) منحنيات (التوتر – تيار) ومنحنيات الاستطاعة ونقاط الاستطاعة العظمى للوحة كهرضوئية باستطاعة 210W تبين أثر تغير الإشعاع الشمسي عند درجة حرارة ثابتة $25^{\circ}C$. [5]

حيث يتم تحديد ثلاث نقط هامة من هذه المنحنيات وهي :

1– نقطة الاستطاعة العظمى MPP وهي النقطة على منحني الاستطاعة التي عندها تعطي الخلية استطاعتها العظمى P_{MPP} ، وتيارها الأعظمي I_{MPP} ، وتوترها الأعظمي V_{MPP} .

2– تيار القصر I_{SC} .

3– توتر الدارة المفتوحة V_{OC} .

2-4-1 منظمات الشحن

إن الهدف الأساسي لمنظمات الشحن هو تنظيم شحن المدخرات عن طريق السماح بالشحن الكامل لها دون الوصول إلى حالة الشحن الزائد أو التفريغ العميق، بالإضافة لمنع عودة التيار من المدخرات إلى الخلايا الشمسية ليلاً أو في حالة الإشعاع الشمسي المنخفض . ويجب أن يكون التوتر الأعظمي للوحة الكهرضوئية عند أعلى درجة حرارة كافي لشحن المدخرات، فمثلا من أجل نظام كهرضوئي مستقل ذو توتر 12v يجب أن يكون توتر الشحن 14.4v تقريبا وبالتالي يستخدم لوح بتوتر أسمي مابين 15- 18v. بالإضافة إلى أخذ ضياعات الجهد في الكابلات وديودات التمرير بالحسبان والتي عادة تكون بحدود 1-2% من التوتر الأعظمي . كما يجب الأخذ بالحسبان درجات الحرارة المنخفضة حيث يصبح التوتر الأعظمي للوحة الكهرضوئية أعلى ما يمكن عندها يجب فصل المدخرات لحمايتها، هنا يأتي دور منظم الشحن في حماية المدخرات من الجهد العالي وتنظيم شحنها وعدم وصولها لحالة الشحن الزائد وهنا نميز ثلاث دارات أساسية متوضعة في منظمات الشحن وهي:

1- المبدل التسلسلي

يستخدم هذا المبدل لأجل توتر حمل أقل من توتر خرج المولد الكهرضوئي حيث يقوم بخفض التوتر بما يناسب جهد شحن المدخرات بالاضافة لفصل التوتر عن المدخرات عند الشحن الكامل .

2- المبدل التفرعي

ويستخدم المبدل التفرعي لأجل توتر حمل أكبر من توتر خرج المولد الكهرضوئي حيث يقوم برفع التوتر بما يناسب جهد شحن المدخرات بالاضافة لقصر خرج الحقل عند الشحن الكامل .

3- ملاحق نقطة الاستطاعة العظمى

إن نظام تتبع نقطة الاستطاعة العظمى عبارة عن مبدل الكتروني يقوم بتنظيم توتر الخرج عن طريق تغيير زاويا القدح للقاطع الالكتروني وذلك تبعا لقيمة كل من درجة الحرارة وقيمة الإشعاع الشمسي . والحفاظ على توتر خرج ثابت للحصول على أكبر طاقة ممكنة من اللوحة الكهرضوئية ، وذلك باستخدام تقنية متتبع نقطة الاستطاعة العظمى (MPPT) ، أو تقنية تعديل عرض النبضة (PWM)

ويجب أن تحتوي منظمات الشحن على الحمايات والخصائص التالية :

1- شحن مثالي للمدخرات للوصول لحالة الشحن الأعظمية والحماية من الشحن الزائد .
2- الحماية من عكس القطبية لكل من الأحمال ، اللوحات ، والمدخرات .
3- الحماية من تيارات القصر لكل من الأحمال وحقل الألواح باستخدام منصهرة الكترونية آلية
4- الحماية من ارتفاع جهد الحقل الكهرضوئي عند الدخل .
5- الحماية من توتر الدارة المفتوحة بدون وجود المدخرات .
6- الحماية من التيار العكسي ليلاً .
7- الحماية من التيار الزائد ومن درجة الحرارة العالية .
8- عرض حالة شحن المدخرات (SOC) و قيمة الجهد عند الدخل والخرج .
9- فصل تيار حقل الألواح اعتمادا على حالة الشحن وإعادة الوصل بشكل آلي .
10- كفاءة عالية تصل إلى 96% .
11- تقنية شحن متعدد المستويات .
12- مزود بمأخذ لسحب البيانات .
13- مزود بتقنية تعديل عرض النبضة (PWM) أو تقنية متتبع نقطة الاستطاعة العظمى (MPPT) . **[6]**

3-4-1 المدخرات الكهركيميائية

إن الأنظمة الكهروضوئية المستقلة عن الشبكة بحاجة إلى طريقة لتخزين الطاقة الكهربائية أثناء فترة التوليد الزائد حتى يستطيع النظام استرجاع هذه القدرة أثناء فترات ذروة الأحمال أو استخدامها ليلاً، وتعتبر المدخرات أفضل خيار لتخزين الطاقة الكهربائية بالإضافة لقدرتها على تزويد الأحمال بالطاقة اللازمة عند الذروة وعند التيارات العابرة والتي تزيد قيمتها اللحظية عن قيمة تيار الحقل الكهروضوئي.

1-4-3-1 أنواع المدخرات الكهركيميائية

إن التخزين الكهربائي هو أحد المواضيع الرئيسية المرتبطة بتوسيع انتشار النظم الكهرضوئية والمشاكل المتعلقة بخزن الطاقة الكهربائية هي ارتفاع أسعار المدخرات ، واحتياجها لصيانة دائمة ، وعمرها المحدود . وهناك جهود كبيرة لصناعة مدخرات تتميز بكثافة تخزين عالية وسعر منخفض مع عدد دورات شحن كبيرة، وسنبين الأنواع الرئيسية للمدخرات القابلة للشحن :

- مدخرات الرصاص الحامضية lead-acid (Pb-acid) .
- مدخرات النيكل – كادميوم nickel-cadmium (Ni-Cd) .
- مدخرات النيكل – هيدرات المعادن nickel-metal hydride (Ni-MH) .
- مدخرات الليثيوم – أيون lithium-ion (Li-ion) .
- مدخرات الصوديوم – كبريت Sodium-Sulfur (Na-S) .
- مدخرات الزنك – هواء zinc-air .

وسنقوم بذكر ميزات ومساوئ كل نوع من أنواع هذه المدخرات بشكل مختصر. **[9]**

1- مدخرات الرصاص الحامضية lead-acid (Pb-acid)

تتكون مدخرة الرصاص الحامضية من الكترود موجب من ثاني أكسيد الرصاص PbO_2 والكترود سالب من بنية الرصاص المعدني . كلا الاكترودين مغمورين بشكل تام في محلول كهرليتي يتكون من محلول حمض كبريتي وماء. ويتم الإشارة إلى قطبي المدخرة بالموجب والسالب ، إن المصعد هو الالكترود الذي تحدث عليه عمليات الأكسدة ، أثناء التفريغ تتحرر الالكترونات من القطب السالب لتمر عبر الحمل ومنه إلى القطب الموجب . وعندما تصل المدخرة إلى حالة التفريغ الكامل فإن توتر المدخرة سوف ينخفض بشكل حاد بينما ترتفع مقاومتها الداخلية بشكل كبير، وتتميز مدخرات الرصاص الحماضية بسعرها المنخفض مقارنتا بالأنواع الأخرى ، ولكن من سلبياتها عمرها القصير نسبيا .

2- مدخرات النيكل – كادميوم nickel-cadmium (Ni-Cd)

تتكون مدخرات النيكل كادميوم من إلكترود سالب مصنوع من هيدروكسيد النيكل وإلكترود موجب مصنوع من الكادميوم ويتم عزل الإلكترودين بعازل يصنع من النايلون أما الوعاء الكهروليتي فيصنع من الستانلس ستيل والمحلول الكهروليتي مكون من هيدروكسيد البوتاسيوم ، وتصنع هذه المدخرات بحيث تكون مغلقة بإحكام وبوزن يصل إلى نصف وزن المدخرة الرصاصية الحمضية ، وتستخدم حاليا لتغذية الكثير من الأجهزة القابلة للشحن وذلك يعود لكونها ذات دورة عمر أطول وأكثر تحمل لدرجات الحرارة ولكن هذه التقنية لديها سيئتان أولاهما ما يدعى بأثر الذاكرة والذي ينقص من سعة المدخرة عند عدم استخدامها لفترة طويلة وثانيهما التأثير البيئي الضار للكادميوم .

3- مدخرات النيكل – هيدرات المعادن nickel-metal hydride (Ni-MH)

هذه المدخرات هي تطور لتقنية Ni-Cd وهي تعطي كثافة طاقة أفضل من Ni-Cd ، الاختلاف الرئيسي بين مدخرات النيكل كادميوم ومدخرات النيكل –هيدرات المعادن هو أن المصعد مصنوع من هيدرات المعادن مما يزيل التأثير البيئي الضار الناتج عن الكادميوم ، بالإضافة إلى أن أثر الذاكرة في هذا النوع منخفض لكن سيئة هذا النوع أن معدل التفريغ الذاتي عالي . بالمقارنة مع Ni-Cd فإن كلفة Ni-MH أكبر لكن التوقعات المستقبلية تشير إلى انخفاض كبير في ثمنها .

4- مدخرات الليثيوم – أيون lithium-ion (Li-ion)

تتميز مدخرات الليثيوم–أيون بكثافة طاقة أكبر بثلاث مرات من مدخرات الرصاص الحمضية وهذا ناتج عن الوزن الذري المنخفض لليثيوم ، إن مدخرات الليثيوم–أيون ذات توتر خلية يصل إلى 3.5v مقابل 2v لمدخرات الرصاص الحمضية و 1.2v لباقي أنواع المدخرات ، وبالتالي نحتاج لعدد خلايا أقل للوصول إلى جهد المدخرة المطلوب مما يقلل من الكلفة، ومن سيئات هذه المدخرات أنها تتعرض للعطب عند زيادة الشحن لذلك فإنها تحتاج دارات شحن دقيقة .

5- مدخرات الصوديوم – كبريت Sodium Sulfur (NaS) batteries

تتميز مدخرات الصوديوم كبريت بتوفرها بسعات كبيرة وهي ذات درجات حرارة عالية وتتألف من كبريت سائل (منصهر) في الإلكترود الموجب ومن صوديوم سائل (منصهر) في الإلكترود السالب وهما المادتان الفعالتان والمحلول الكهروليتي هو ثاني الومينات السيراميك وهو صلب وناقل جيد لايونات الصوديوم. من إيجابيات هذا النوع من المدخرات أن كثافة طاقتها عالية جداً. تعمل هذه المدخرات عند درجة حرارة حوالي 300C° وعند شروط معينة حيث يجب أن تبقى المادتان الفعالتان في القطبين

بشكل سائل أما المادة الكهرليتية فيجب أن تبقى صلبة عند هذه الدرجة ، كما أن لديها إمكانية إعطاء استطاعة أكبر بست مرات من الاستطاعة الاسمية وذلك لفترة زمنية مقدارها 30sec، ومن مميزات هذه المدخرات السعة الكبيرة والتي تنتج من وصل عدة مدخرات لتصل السعة إلى عدة MWh بسهولة، كما أنها تحتاج إلى مساحة تساوي تقريبا ثلث المساحة اللازمة لمدخرات الرصاص .

6- مدخرات الزنك – هواء zinc-air

تتكون هذه المدخرات من إلكترود سالب من الزنك ومحلول كهروليتي من هيدروكسيد البوتاسيوم وإلكترود موجب من الكربون والمعرض للهواء ، خلال عملية التفريغ الأكسجين القادم من الهواء ينخفض في إلكترود الكربون (لذلك يدعى مهبط هوائي) وعندها تتم أكسدة إلكترود الزنك حيث يقوم الكربون بامتصاص الأكسجين من الهواء ويتحول إلى أيونات من الأكسجين والتي تنتقل إلى مصعد الزنك، نلاحظ أن توفر الهواء ضروري للوصول لأداء جيد لهذه المدخرات وهي قليلة الإنتشار .

وسيتم التركيز على دراسة المدخرات المستخدمة في النظم الكهرضوئية ودراسة أثر عمق التفريغ ودرجة الحرارة وزمن الشحن للمدخرات على كلفة وحدة الطاقة الكهربائية في الفصل الثالث .

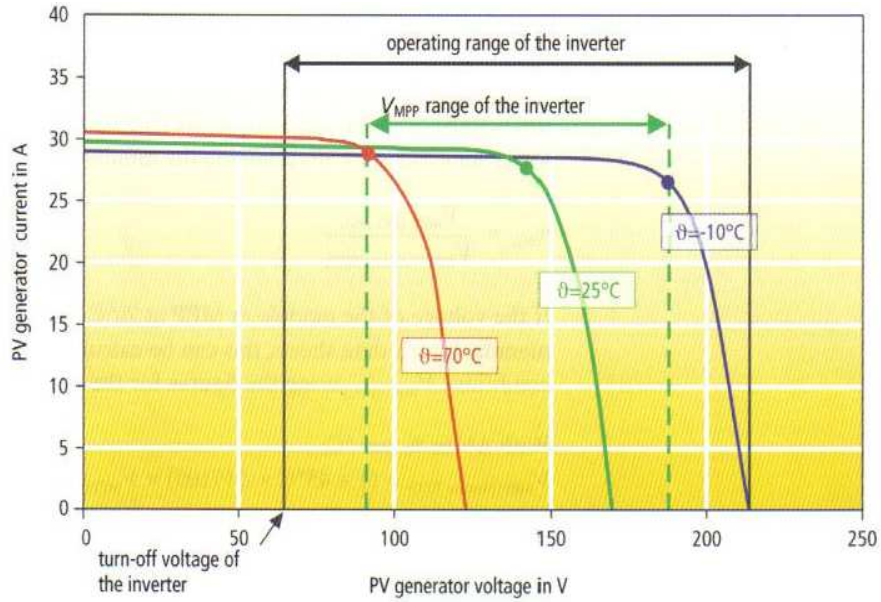
وفي هذا الجدول (1-12) نلخص بعض الخصائص الأساسية لمختلف أنواع المدخرات الكهركيميائية .

الجدول (1-12) خصائص بعض أنواع المدخرات الكهركيميائية . [7]

	Nominal voltage	Massic energy	Volumetric energy	Specific power	Cycle life (DOD 80%)	kWh cost 1 = NiCd
Lead-acid Pb/PbO_2	2.0 V	10-30 Wh/kg	50-90 Wh/l	moderate to high	200 - 700	0.15 - 0.3
Lithium battery system	4.0 V	90 Wh/kg	200 Wh/l	moderate	300 - 700	3.5
Nickel-cadmium	1.2 V	40-55 Wh/kg	80-150 Wh/l	high	300 - 700	1.0
Nickel-Metal hybrides	1.2 V	50-80 Wh/kg	175-200 Wh/l	moderate to high	300 - 500	1.6
NiZn S. C. P. S.	1.6 V	80-120 Wh/kg	~150 Wh/l	high	+ of 1,000	~0.65

1-4-4 المعرجات

تستخدم المعرجات لتحويل التيار المستمر إلى تيار متناوب ويوجد العديد من أنواع المعرجات مثل معرج السلسلة ومعرج اللوح والمعرج المركزي، وهذا يتبع لتصميم النظام. كما يتعلق عدد المعرجات باستطاعة النظام الكهروضوئي وطريقة الربط بين اللوحات الكهرضوئية . ويجب أن ينسجم مجال تشغيل المعرج مع منحني خواص الحقل الكهروضوئي حيث إن مجال نقطة الاستطاعة العظمى (MPP) للمعرج يجب أن يضم جميع نقاط الاستطاعة العظمى (MPPs) للحقل الكهروضوئي عند درجات الحرارة المختلفة كما هو مبين في الشكل (1-11) .



الشكل (1-11) مجال عمل المعرج تبعا لقيمة خرج توتر اللوحة الكهروضوئية . [5]

ويجب أن تحتوي المعرجات على الحمايات والخصائص التالية :

1- الحماية من التفريغ العميق للمدخرات .

2- الحماية من زيادة الحمل .

3- الحماية من دارة القصر .

4- الحماية من عكس القطبية.

5- حماية من ارتفاع درجة الحرارة .

6- موجة جيبيه عند الخرج خالية من التوافقيات .

7- وثوقية عالية مع فصل الحمل وإعادة وصله بشكل آلي .

8- إمكانية تقاسم الحمل وربط عدة معرجات على التفرع .

9- كفاءة عالية تصل إلى 95% . **[13]**

1-4-5 باقي أجزاء النظام الكهرضوئي

إن متممات النظام الكهروضوئي لها أهمية كبيرة وهامة في تصميم النظام مثل الكابلات وأنظمة الحماية الكهربائية والحماية من الصواعق....الخ .

1-5-4-1 الكابلات

عند تصميم الكابلات هناك ثلاث نقاط هامة يجب مراعاتها وهي :

✓ **توتر التحمل**

لا تنتج النظم الكهروضوئية عادةً توتراً أكبر من حد احتمال الكابلات النظامية للتوتر لكن في النظم الكبيرة التي تحتوي على سلاسل طويلة، يجب تفحُّص مقاومة الكابلات آخذين بعين الاعتبار أكبر توتر دارة مفتوحة عند درجة حرارة 10C° .

✓ **سعة حمل التيار**

تحدد مقاطع الكابلات استناداً إلى أكبر تيار يمكن أن يمر عبرها وتؤخذ سعة حمل التيار للكابلات المستخدمة في النظم الكهرضوئية من خلال جداول يعطيها الصانع تبعا لدرجة الحرارة وطريقة مد الكابلات. فعندما نقوم بتنفيذ نظام كهروضوئي مثبت على السطح قد تصل الحرارة إلى 70C° .

✓ **تصغير ضياعات الكابل (هبوط التوتر)**

عند تحديد مساحة مقطع الكابل يجب التقليل من هبوط التوتر إلى الحد الأدنى الممكن. فعند تصميم مقاطع الكابلات يسمح بهبوط توتر مقداره 3% عند الشروط النظامية .

1-5-4-2 الحماية وتجهيزات الفصل

للحصول على نظام متكامل من حيث معايير الأمان يجب علينا إدخال القواطع والمنصهرات في كافة أجزاء النظام . وذلك لفصل هذه التجهيزات عن مصادر الطاقة ، من لوحات كهروضوئية إلى مدخرات إلى معرجات ، بالإضافة لتحقيق الحماية الكهربائية لهذه التجهيزات . حيث هناك العديد من أنواع الحمايات مثل حماية زيادة التيار والتوتر الزائد و الحماية من تغير اتجاه الاستطاعة . وتستخدم القواطع و المنصهرات عند مدخل ومخرج الشواحن بالإضافة لمدخل ومخرج المعرجات والشكل (1-12) يبين بعض أنواع الحمايات المستخدمة في النظم الكهروضوئية .

الشكل (1-12) صورة للحمايات الكهربائية المستخدمة في النظم الكهروضوئية . [8]

الفصل الثاني

تصميم وتنفيذ نظام كهرضوئي مستقل باستطاعة *12kWp*

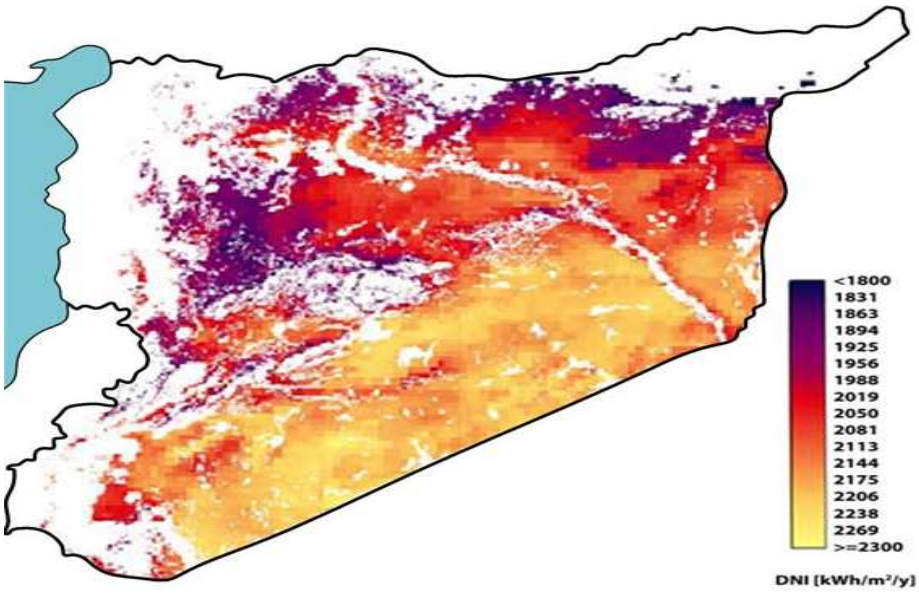
2-1 مقدمة

يتضمن هذا الفصل تصميم وتنفيذ نظام كهرضوئي مستقل باستطاعة 12kW في جامعة القلمون وتحديد مواصفات عناصر النظام (اللوحات الكهرضوئية ، المدخرات ، الشواحن ، المعرجات ، باقي أجزاء النظام) ، إن الوظيفة الأكثر أهمية عند تصميم نظام مستقل هي تحقيق التوازن بين الطاقة المولدة والطاقة المستهلكة ، وتم إتباع النقاط الأساسية في تصميم النظم الكهرضوئية المستقلة وهي :

1. دراسة تفصيلية لحساب الإشعاع الشمسي على سطح الحقل الكهرضوئي في مكان التركيب .
2. دراسة الأحمال الكهربائية المراد تغذيتها وتحديد استطاعتها ، والطاقة الكهربائية اللازمة .
3. حساب محددات النظام الكهرضوئي (عدد اللوحات الكهرضوئية ، استطاعة الشاحن ، سعة المدخرات ، استطاعة المعرجات ، توتر النظام ، باقي أجزاء النظام الكهرضوئي ...الخ) .
4. وضع مخطط تنفيذي لطريقة الوصل بين عناصر النظام يوضح عدد اللوحات المربوطة على التسلسل وعدد السلاسل التفرعية، وعدد المدخرات المربوطة على التسلسل وعدد السلاسل التفرعية.

2-2 الإشعاع الشمسي وعدد ساعات السطوع الشمسي المعتمدة

تعد سوريا من الدول الغنية بالإشعاع الشمسي حيث تبلغ قيمة الطاقة الشمسية الساقطة على السطح الأفقي في سوريا مابين 1800-2300 $kWh/m^2/year$ ويقدر عدد الأيام الغائمة حوالي 40 d/year فقط ، كما أن معظم المناطق السورية ذات سوية إشعاعية جيدة على مدار العام كما يبين الشكل (2-1) توزع الإشعاع الشمسي السنوي في سوريا.



الشكل(2-1) توزع طاقة الإشعاع الشمسي السنوية في القطر العربي السوري . [9]

ويتغير الإشعاع الشمسي تبعا لعدة عوامل منها:

- ✓ حسب فترات السنة : حيث نجد انه خلال فترات الصيف بالنسبة لزاوية خط عرض $\phi=34$ أن عدد ساعات السطوع النظرية للشمس أكبر منها خلال فترات الشتاء بالنسبة لجميع الاتجاهات.
- ✓ حسب الاتجاه : نجد أن عدد ساعات السطوع النظرية في الاتجاه الجنوبي اكبر منها في الاتجاه الشرقي والغربي واكبر بكثير من الاتجاه الشمالي .

ومن خلال مقارنة عدد ساعات السطوع الفعلي والنظري تبين أن مدة السطوع الفعلي في فترة الشتاء تنخفض إلى نصف مدة السطوع النظري تقريبا كما يبين الجدول (2−1) الفرق بين مدة السطوع النظري والفعلي لأشهر السنة لمكان تركيب الحقل الكهرضوئي عند زاوية خط عرض $\phi=34°$.

الجدول (2−1) زمن السطوع النظري والفعلي اليومي لجميع أشهر السنة عند زاوية خط عرض $\phi=34°$. [2]

أشهر السنة	كانون اول	تشرين تاني	تشرين أول	أيلول	آب	تموز	حزيران	أيار	نيسان	أذار	شباط	كانون الثاني
زمن السطوع النظري Ts(h/day)	8.0	8.0	10	12.0	12	12	14.0	12.0	12.0	12.0	10.0	8.0
زمن السطوع الفعلي Ts(h/day)	6.5	7.5	8.5	10.5	12	12	12.6	10.8	9.5	8.5	7.5	6.8

من الجدول السابق نلاحظ مايلي :

1− تقارب مدة السطوع الفعلية من النظرية من شهر أيار وحتى شهر تشرين الثاني .

2− تتخطى مدة السطوع الفعلية مدة السطوع النظرية في شهر تموز .

3− تنخفض مدة السطوع الفعلية عن مدة السطوع النظرية من شهر كانون الأول وحتى شهر نيسان.

وبما أن معطيات الإشعاع الشمسي المتوفرة هي طاقة الإشعاع الشمسي على سطح أفقي لأشهر السنة كقيمة وسطية ورمزها G ، وبالتالي يجب حساب قيمة الإشعاع الشمسي على سطح اللوحات الكهرضوئية المائلة بزاوية ميل β بالنسبة للسطح الأفقي حيث يكون الإشعاع الشمسي أكبر عندما يكون عاموديا على سطح اللوحات ويرمز له $G(\beta)$ ، ومن ثم تحديد شدة الإشعاع الشمسي الملائم لتصميم النظام (الاشعاع الأصغري ، الوسطي ، الأعظمي) واعتماداً على هذه القيمة التي تعتبر دخل النظام يتم حساب محددات النظام الكهرضوئي المستقل ، وحساب الزوايا المثلى لأشهر السنة التي يكون عندها الإشعاع الشمسي أعظمياً ليتم استخدام هذه الزوايا في تصميم نظام تتبع الشمس ، وسنقوم بحساب شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل وحساب القيمة التصميمية للإشعاع الشمسي لمكان تركيب النظام باستخدام الخطوات التالية :

1- تم استخدام معطيات الطاقة الإشعاعية الإجمالية اليومية الوسطية على سطح أفقي لكل شهر من شهور السنة G وهي قيم متعلقة بموقع تركيب اللوحات الكهرضوئية عند زاوية خط عرض محددة $\phi=34°$ وتؤخذ قيم G إما من خلال القياس على مدار العام أو من أطلس الإشعاع الشمسي كما في الجدول رقم (2-2) .

2- رقم اليوم في السنة n ويؤخذ من جدول الأيام النموذجية لكل شهر من السنة الجدول (2-2) .

الجدول (2-2) الطاقة الإشعاعية اليومية الوسطية على سطح أفقي عند زاوية خط عرض $\phi=34°$. [9]

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

3- الثابت الشمسي S= 1367W/m2 .

4- زاوية خط العرض لموقع تركيب النظام $\phi=34°$.

5- تحديد انعكاسية الأرض ρ لمكان تركيب النظام تبعا لطبيعة المنطقة وتؤخذ من الجدول (2-3).

الجدول (2-3) قيم تقريبية لعامل انعكاسية بعض أنواع سطوح الأرض. [5]

السطح	معامل الانعكاس	السطح	معامل الانعكاس
العشب (في تموز وآب)	0.25	أرض صحراوية	0.2
المرج	0.18-0.23	غابات	0.05-0.18
العشب اليابس	0.28-0.32	المناطق الرملية	0.10-0.25
التربة القاحلة	0.17	طبقة ثلج سميكة	0.45-0.70
الحصى	0.18	مستوى سطح الماء (γ_s >20 °C)	0.12

وقد تم تحديد قيمة انعكاسية الأرض وهي تساوي : $\rho = 0.2$.

6- تم اختيار زاوية ميل الألواح الكهروضوئية β لتحقق أفضل إشعاع شمسي في شهر Dec .

$\beta = 45 \quad (\deg)$

7- حساب الزوايا الشمسية لكل شهر من شهور السنة تبعا لرقم اليوم في السنة فمن أجل n=17 الشهر الأول تكون قيم الزوايا كمايلي :

✓ زاوية الانحراف الشمسي لكل أيام السنة δ

$$\delta = \frac{\pi}{180} * 23.45^{o} * \sin\left[\frac{2\pi}{365}(n-81)\right] \quad (2-1)$$

$\delta = -0.365 \quad (Rad) \quad , \quad \delta = -20.9 \quad (\deg)$

✓ الزاوية الساعية عند سطح أفقي ω_s

$$\omega_s = \pm\frac{24}{360}\cos^{-1}(\tan\phi\tan\delta)$$

$\omega_s = 1.309 \quad (Rad) \quad , \quad \omega_s = 75 \quad (\deg)$

✓ الزاوية الساعية عند سطح مائل ω'_s

$$\omega'_s = \cos^{-1}\{-\tan(\phi-\beta)\tan\delta\} \quad (2-3)$$

$\omega'_s = 1.644 \quad (Rad) \quad , \quad \omega'_s = 94.22 \quad (\deg)$

✓ الزاوية الساعية الأصغرية ω_o

$$\omega_o = \min\{\omega_s, \omega'_s\} \quad (2-4)$$

$\omega_o = 1.309 \quad (Rad) \quad , \quad \omega_o = 75 \quad (Deg)$

8- حساب الطاقة الإشعاعية اليومية على حدود الغلاف الجوي B_o ويتم حساب قيمتها لكل شهر من شهور السنة ومن أجل n=17 تكون قيمتها .

$$B_0 = 5.226 \quad B_0 = \frac{24}{\pi}S\left\{1+0.033\cos\left(\frac{2\pi n}{365}\right)\right\}(\cos\phi\cos\delta\sin\omega s+\omega_s\sin\phi\sin\delta) \quad (2-5)$$

9- حساب K_T معامل الصفاء Clearness index الذي يصف الإضعاف الوسطي للإشعاع الشمسي من قبل الغلاف الجوي لكل شهر من شهور السنة لموقع تركيب النظام الكهروضوئي فمن أجل n=17 .

$$K_T = \frac{G}{B_0} \quad (2-6)$$

$K_T = 0.555$

10- حساب D المركبة المنتثرة Diffuse للطاقة الإشعاعية اليومية على سطح أفقي لكل شهر فمن أجل n=17 .

$$D = f_1(K_T) = (1 - 1.13K_T).G \quad (2-7)$$

$$D = 1.082$$

11- حساب B المركبة المباشرة للطاقة الإشعاعية اليومية على سطح أفقي لكل شهر .

$$B = G - D \quad (2-8)$$

B=1.818

12- حساب الإشعاع المباشر B(β) على السطح المائل بزاوية β عن الأفق .

$$B(\beta) = B\frac{\cos(\phi\text{-}\beta)\cos\delta\sin\omega_0 + \omega_0\sin(\phi\text{-}\beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + \omega_s\sin\phi\sin\delta} \quad (2-9)$$

$$B(\beta) = 3.652 \quad (kWh/m^2/day)$$

13- حساب D (β) وهي الطاقة الإشعاعية المنتثرة على السطح المائل .

$$D(\beta) = \frac{1}{2}(1+\cos\beta)\times D \quad (2-10)$$

$$D(\beta) = 0.923 \quad (kWh/m^2/day)$$

14- حساب R (β) وهي الطاقة الإشعاعية المنعكسة عن سطح الأرض .

$$R(\beta) = \frac{1}{2}(1+\cos\beta)\rho\, G \quad (2-11)$$

$$R(\beta) = 0.085 \quad (kWh/m^2/day)$$

15- حساب الطاقة الإشعاعية الإجمالية اليومية على سطح مائل لكل شهر من شهور السنة G (β) .

$$G(\beta) = B(\beta) + D(\beta) + R(\beta) \quad (2-12)$$

$$G(\beta) = 4.66 \quad (kWh/m^2/day)$$

والجدول (2-4) يبين القيم الثابتة والقيم المحسوبة للشهر الأول من السنة.

الجدول (2-4) القيم الثابتة والقيم المحسوبة للشهر الأول من السنة (كانون الأول) . [10]

IN PUTS		
شهركانون الثاني	degree	radian
beta β =	45.000	0.785
month num	1.000	17.000
latittude φ	34.100	0.595
G	2.900	
ro ρ	0.2	

OUT PUTS		
		degree
delta δ=	-0.365	-20.917
ws =	1.309	75.003
B0	5.226	
KT	0.555	
D	1.082	
B	1.818	
B(beta)	3.652	
Ws'	1.644	94.221
Wo	1.309	75.003
D(beta)	0.923	
R(beta)	0.085	
G(beta)	4.660	

وتتكرر عمليات الحساب لجميع أشهر السنة للحصول على شدة الاشعاع الشمسي على السطح المائل بزاوية β ، والجدول (2–5) يبين النتائج لجميع أشهر السنة كمايلي :

الجدول (2–5) قيم شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل لشهور السنة في الموقع المدروس. [10]

الاشعاع G(β)	كانون اول	تشرين تاني	تشرين أول	أيلول	آب	تموز	حزيران	أيار	نيسان	أذار	شباط	كانون الثاني
(kWh/m² /d)	**4.1**	**5.23**	**5.67**	**5.77**	**5.8**	**5.5**	**5.07**	**4.90**	**5.09**	**4.90**	**4.92**	**4.66**

16– حساب قيمة الإشعاع التصميمي تبعا للإشعاع الأصغري أو الوسطي أو الأعظمي .

- حساب قيمة الإشعاع الشمسي الأصغري على سطح مائل عن طريق اختيار القيمة الصغرى من قيم الإشعاع الشمسي لشهور السنة 12 قيمة .

$$G(\beta)_{\min} = \min\{ G(\beta)[12\ month\ ]\} \quad (2-13)$$

- حساب قيمة الإشعاع الشمسي الوسطي على سطح مائل عن طريق اختيار القيمة الوسطى من قيم الإشعاع الشمسي لشهور السنة 12 قيمة .

$$G(\beta)_{ave} = ave\ \{G(\beta)[12\ month\ ]\} \quad (2-14)$$

- حساب قيمة الإشعاع الشمسي الأعظمي على سطح مائل عن طريق اختيار القيمة العظمى من قيم الإشعاع الشمسي لشهور السنة 12 قيمة .

$$G(\beta)_{\max} = \max\{ G(\beta)[12\ month\ ]\} \quad (2-15)$$

- اختيار القيمة المعتمدة للإشعاع الشمسي PSH (الأصغري ، الوسطي ، الأعظمي) وهذا يتعلق بدرجة الوثوقية في تغذية الحمل ودرجة أهمية الأحمال ويتم الاختيار من قبل

المصمم وهذا الاختيار ينعكس بشكل كبير على جميع محددات النظام وبالتالي الكلفة الاقتصادية ، والنتائج مبينة في الجدول (2–6) .

الجدول (2–6) قيم شدة الإشعاع الشمسي الأصغري والوسطي والأعظمي . [10]

الإشعاع الأصغري	**4.105**	**(kWh/m²/day)**
الإشعاع الوسطي	**5.210**	**(kWh/m²/day)**
الإشعاع الأعظمي	**5.839**	**(kWh/m²/day)**

$$PSH = Choice\ [G(\beta)_{\min}, G(\beta)_{ave}, G(\beta)_{\max}] \quad (2-16)$$

وغالبا يتم التصميم على أساس الإشعاع الأصغري فتكون قيمة الإشعاع التصميمي هي :

PSH=4.1 (kWh/m²/day)

17– إيجاد زاوية الميل المثلى لجميع أشهر السنة والخاصة بنظام تتبع الشمس ويتم ذلك من خلال حساب قيم شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل من أجل قيم مختلفة لـ β ابتداءً من 5 درجات وانتهاءً بـ 90 درجة بتغير قدره 5 درجة ، ومن ثم اختيار القيمة الأعظمية لكل شهر على حدا والتي عندها تكون زاوية الميل المثلى للألواح عند هذا الشهر .

$$G(\beta)month = G(\beta = 5,10,15,20,\ldots\ldots,85,90) \quad (2-17)$$

$$G(\max)_{\beta} month \longrightarrow (\beta_{IDEAL})month \quad (2-18)$$

وباجراء الحسابات لقيم شدة الاشعاع الشمسي على سطح مائل عند جميع قيم زاوية الميل β تم أخذ أكبر قيمة للإشعاع الشمسي وأخذ الزاوية المقابلة لها وكانت النتائج كما في الجدول (2–7) الذي يبين نتائج قيم الإشعاع الشمسي الأعظمي Gmax(β) والزاوية المقابلة له βideal.

الجدول (2–7) نتائج قيم الإشعاع الشمسي الأعظمي Gmax(β) والزاوية المقابلة له βideal. [10]

JAN	Feb	Mar	Apri	May	JUN	JUL	Aug	Sep	OCT	NOV	DEC	month
4.76	4.94	4.98	5.56	5.9	6.5	6.9	6.6	5.95	5.68	5.33	4.22	G(max)[kwh/m2.d]
60	50	35	15	0	0	0	10	30	45	55	60	β(Ideal)[deg]

2–3 الأحمال الكهربائية

عند تصميم نظام كهروضوئي مستقل لتزويد منشأة ما بالكهرباء على مدار العام تصبح الدراسة أكثر تعقيداً وذلك بسبب الاختلاف الكبير في مستوى الإشعاع الشمسي ما بين الصيف والشتاء ، فعند تصميم نظام كهرضوئي من أجل متطلبات الشتاء سيؤدي لوجود فائض كبير خلال بقية العام وهذا سيجعل التصميم غير اقتصادي ، لذلك يجب دراسة الأحمال الكهربائية لكل من فصل الشتاء وفصل الصيف للاستفادة من الطاقة الناتجة من النظام في جميع أشهر السنة كما في الجدول (2–8) .

الجدول (2-8) الأحمال الكهربائية لكل من فصل الصيف وفصل الشتاء

جدول الأحمال الكهربائية فصل الشتاء					
نوع الحمل	استطاعة الجهاز(W)	العدد	الاستطاعة(W)	ساعات التشغيل(h)	الطاقة الكهربائية (Wh/d)
جهاز انارة بمصابيح توفير	3*13	54	2106	from 8 to 10	21060
جهاز انارة بمصابيح توفير	1*45	34	1530	6	9140
جهاز انارة بمصابيح LED	1*5	42	210	from 14 to 16	3360
جهاز تلفاز LCD TV	160	3	480	from 10 to 12	5760
الاستطاعة الإجمالية للأحمال (W)			4326		
الطاقة الكهربائية اللازمة للأحمال (Wh/day)					39320
جدول الأحمال الكهربائية فصل الصيف					
نوع الحمل	استطاعة الجهاز(W)	العدد	الاستطاعة(W)	ساعات التشغيل(h)	الطاقة الكهربائية (Wh/d)
جهاز انارة بمصابيح توفير	3*13	54	2106	from 10 to 12	25272
جهاز انارة بمصابيح توفير	1*45	34	1530	6	9180
جهاز انارة بمصابيح LED	1*5	42	210	from 14 to 16	3360
جهاز تلفاز LCD TV	160	3	480	from 10 to 12	5760
الاستطاعة الإجمالية للأحمال [W]			4326		
حمل اضافي توربينات	300	5	1500	11	16500
الطاقة الكهربائية اللازمة للأحمال (Wh/day)					60072

ملاحظة : لقد تم إستخدام مؤقث زمني لعمل كل من أجهزة الانارة ليلا وتوربينات التهوية نهارا بحيث يتم التبديل بينهما بشكل آلي ولا يمكن أن تعمل معا بسبب الاستطاعة المحددة للمعرجات ، ولكن الحل الأفضل هو اضافة معرج يعمل في فصل الصيف فقط ولكن هذا يزيد من الكلفة الإجمالية .

وللاستفادة من كامل الطاقة الكهربائية المولدة في فصل الصيف قمنا بوضع أحمال نهارية تعمل بالتناوب مع أحمال ليلية ، من خلال مؤقتات زمنية حيث أن استطاعة المعرجات لا تسمح بوصل أحمال إضافية ، للتمكن من الاستفادة قدر الإمكان من الطاقة المتاحة في أشهر الصيف ، وتحسب قيمة الأحمال الكهربائية الإجمالية كمايلي :

1. تحديد الطلب اليومي على الطاقة الكهربائية الحمل المستمر DC والحمل المتناوب AC ، حيث يتم تعديل الحمل المتناوب بقسمته على كفاءة المعرج IE لإيجاد الحمل المستمر المكافئ ومن ثم إضافة الحمل المستمر (إن وجد).

$$Total.Load = DC.Load + \frac{AC.Load}{InverterEf\ ficiency} \qquad (2-19)$$

$$Total.Load = 0 + \frac{39320}{0.95} = 41390 \qquad (Wh/Day)$$

2. اختيار توتر النظام V و تحويل الحمل المستمر الكلي من [Wh] إلى [Ah].

$$Total\ \ Load = \frac{Total\ \ Load\ \ (Wh/day)}{System\ \ Voltage\ \ (v)} \qquad (2-20)$$

$$Total.Load = \frac{41390}{24} = 1725 \qquad (Ah/Day)$$

3. تحديد الحمل اليومي الوسطي تبعاً لشهر التصميم وبما أن قيم الأحمال محددة مسبقا وهي ثابتة في جميع أشهر السنة لذا فهو مساوي للواحد (معامل شهر التصميم DE-m F).

$$Total\ \ Load\ \ Design = DE-mf \times Total\ \ Load \qquad (2-21)$$

$$Total\ \ Load\ \ Design = 1 \times 1725 = 1725 \qquad (Ah/Day)$$

2-4 تصميم النظام الكهروضوئي المستقل

يتم تصميم النظام الكهرضوئي اعتماداً على قيم كل من شدة الإشعاع الشمسي التصميمي والحمل الكهربائي التصميمي ، وذلك ابتداءً بتحديد استطاعة الحقل الكهرضوئي وطريقة الربط بين اللوحات تبعا لتوتر النظام ومن ثم تحديد سعة نظام التخزين وطريقة الربط بين المدخرات ، وتحديد استطاعة كل من الشواحن والمعرجات ، وانتهاءً بحساب مقاطع الكابلات .

2-4-1 تصميم الحقل الكهرضوئي PV Array

يتم تصميم الحقل الكهرضوئي بالاعتماد على القيم المحسوبة والمعطيات المحددة التالية :

1- الإشعاع الشمسي المعتمد (وفق عدد ساعات السطوع الشمسي PSH في اليوم للمكان المدروس) :

PSH=4.1 (kWh/m²/day)

2- الحمل الكهربائي المعتمد :

$Total\ \ Load = 41.39\ \ (kWh/day)$

3- بيانات اللوحات الكهرضوئية التي تم اختيارها (وتؤخذ من الشركة الصانعة) وهي :

- كفاءة اللوحة $(ME = 0.145)$
- عامل تصحيح درجة الحرارة للخلية $(Tc = 0.95)$
- مساحة اللوحة الواحدة $(AM = 1.4m^2)$
- توتر اللوحة الإسمي عند نقطة الاستطاعة العظمى $(V_{mp} = 27v)$
- تيار اللوحة الإسمي عند نقطة الاستطاعة العظمى $(I_{mp} = 7A)$
- استطاعة اللوحة الاسمية عند نقطة الاستطاعة العظمى $(M_p = 190\ W)$

4- حساب مردود نظام التخزين SE وهو جداء مردود الشاحن CHE بمردود المدخرات BE .

$$SE = CHE \times BE \qquad (2-22)$$

$$SE = 0.95 \times 0.9 = 0.812$$

5- حساب مساحة حقل اللوحات الكهروضوئية AA .

$$AA = \frac{Total\ .Load}{(PSH \times ME \times SE \times T_C)} \qquad (2-23)$$

$$AA = \frac{41.39}{(4.1 \times 0.145 \times 0.812 \times 0.95)} = 90.25 \quad (m^2)$$

6- حساب العدد الكلي للوحات الكهروضوئية .

$$NOM = \frac{AA}{A_M} \qquad (2-24)$$

$$NOM = \frac{90.25}{1.46} = 62$$

ولكن سيتم تقسيم الحقل إلى أربع مجموعات وبالتالي يجب أن يكون العدد صحيح لذا سيتم اعتماد عدد الألواح 64 لوحة كهرضوئية كل مجموعة مؤلفة من 16 لوحة .

7- حساب الإستطاعة العظمى للحقل الذي تم حساب مساحته في الخطوة السابقة .

$$A_p = NOM \times M_p \qquad (2-25)$$

$$A_p = 64 \times 190 = 12160 \qquad (W)$$

8- حساب عدد اللوحات المربوطة على التسلسل في السلسلة الواحدة .

$$Module\ .in\ .Series = \frac{System\ .Voltage}{Module\ .Voltage} \qquad (2-26)$$

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

9- حساب عدد السلاسل التفرعية في الحقل الكهرضوئي .

$$String\ .in.Parallel\ = \frac{NOM}{Module\ .in.Series} \qquad (2-26)$$

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

10- اختيار المسافة المثلى بين صفين من اللوحات الكهروضوئية ضمن الحقل الكهرضوئي .

نتيجة توضع الألواح على شكل صفوف متتالية يحدث ضياعات تنتج عن تظليل صفوف اللوحات على بعضها البعض ، و يتم تخفيض هذه الضياعات من خلال اختيار المسافة الفاصلة بين الصفوف باستخدام العلاقات الرياضية الآتية لمختلف الظروف الجوية و في مختلف المواقع لحساب زاوية التظليل γ والمسافة بين صفوف اللوحات d1 بإستخدام المعادلات الآتية :

$$\gamma = \frac{\Delta I(180-\beta)}{f_{diff}} \qquad (2-27)$$

$$d_1 = \frac{h}{\tan\gamma} \qquad (2-28)$$

حيث:

ΔI :التخفيض في قيمة الإشعاع الناتجة عن التظليل

γ :زاوية التظليل

β:زاوية ميلان اللوحات .

f_{diff}: القيمة الوسطى للنسبة بين الإشعاع المبعثرD والإشعاع المباشر B لجميع أشهر السنة .

$$f_{diff} = \frac{D}{B} \qquad (2-29)$$

d_1 : المسافة مابين مسقط نهاية الصف الأول وبداية الصف الذي يليه وهو القيمة المراد حسابها .

h : ارتفاع الألواح عن سطح الأرض .

ويتم حساب النسبة بين الإشعاع المنتثر والمباشر لجميع أشهر السنة لإيجاد القيمة المتوسطة كما يلي:

$$f_{diff\,1} = \frac{D1}{B1} = \frac{1}{1.8} = 0.55$$

$$f_{diff\,2} = \frac{D2}{B2} = \frac{1.3}{2.2} = 0.59$$

$$f_{diff\,3} = \frac{D3}{B3} = \frac{1.8}{2.6} = 0.7$$

$$f_{diff\,4} = \frac{D4}{B4} = \frac{2.1}{3.3} = 0.63$$

$$f_{diff\,5} = \frac{D5}{B5} = \frac{2.4}{3.5} = 0.69$$

$$f_{diff\,6} = \frac{D6}{B6} = \frac{2.4}{4.1} = 0.6$$

$$f_{diff\,7} = \frac{D7}{B7} = \frac{2.1}{4.4} = 0.48$$

$$f_{diff\,8} = \frac{D8}{B8} = \frac{1.9}{4.6} = 0.41$$

$$f_{diff\,9} = \frac{D9}{B9} = \frac{1.7}{3.6} = 0.47$$

$$f_{diff\,10} = \frac{D10}{B10} = \frac{1.4}{2.9} = 0.48$$

$$f_{diff\,11} = \frac{D11}{B11} = \frac{1}{2.2} = 0.45$$

$$f_{diff\,12} = \frac{D12}{B12} = \frac{1}{1.4} = 0.71$$

$$f_{diff\,(Average)} = \frac{f_1+f_2+f_3+f_4+f_5+f_6+f_7+f_8+f_9+f_{10}+f_{11}+f_{12}}{12} = \frac{6.76}{12} = 0.563$$

و عادة يتم اعتبار قيمة الضياعات الناتجة عن التخفيض في التظليل بحيث لا تزيد عن $\Delta I = 10\%$ بالتالي تكون زاوية التظليل :

$$\gamma = \frac{\Delta I(180-\beta)}{f_{diff}} = \frac{0.1\times(180-45)}{0.563} = 24 \quad (\text{deg})$$

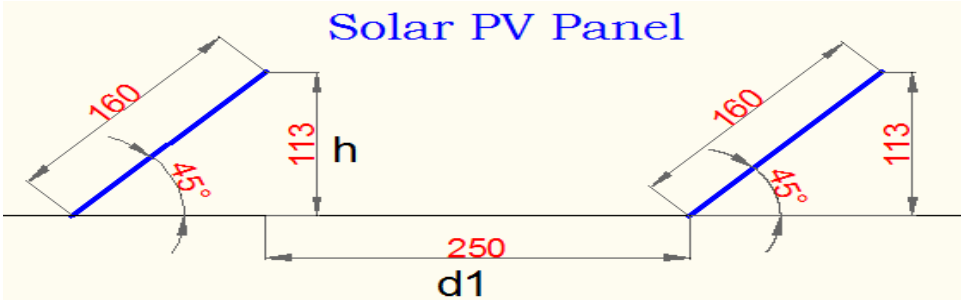
إن أبعاد اللوحة الكهروضوئية 180 cm*90 فيكون أرتفاع اللوحة :

$$h = 160 \times \sin 45^\circ = 113 \qquad (cm)$$

وبالتالي تكون المسافة بين صفين متتاليين :

$$d_1 = \frac{h}{\tan\gamma} = \frac{113}{\tan 24} = 254 \quad (cm)$$

وبالتالي نأخذ البعد بين كل صفين متتاليين 250cm و على أساس هذا البعد نصمم أبعاد الحقل ويبين الشكل (2-2) توضع صفين متتاليين مع توضيح الأبعاد والزوايا المختلفة .



الشكل(2-2) توضع صفين متتاليين من الألواح الكهروضوئية في الحقل والمسافات بين الصفوف

2-4-2 حساب سعة نظام التخزين

- تحديد عدد أيام التخزين المطلوبة DOS وتم تحديدها في هذا النظام مساو ليوم واحد وذلك لخفض التكاليف قدر الإمكان كون الشبكة الكهربائية العامة متوفرة في المبنى .

$$DOS = 1$$

- تحديد توتر المدخرة BV تبعا لتوتر النظام وسعة التخزين الإجمالية لنظام التخزين.

$$V_B = 2 \quad (v)$$

- تحديد سعة المدخرة CB : تؤخذ من المواصفات الفنية للمدخرة التي تم إختيارها عند تيار تفريغ C20 ، من الجدول (2-9) وهي من طراز 12 PVV 2280 .

$$C_B = 1854 \quad (Ah)$$

- تحديد عمق التفريغ للمدخرة DOD : ويتم تحديدها من قبل المصمم وهي تؤثر بشكل كبير في تحديد السعة الكلية لنظام التخزين وتحديد عمر المدخرات ، وتتحدد القيمة المثلى لعمق التفريغ من خلال منحني عمق التفريغ للمدخرة مع عدد دورات الشحن والتفريغ والتي تعطيه الشركة الصانعة للمدخرات وهنا تم اختياره مساو إلى :

$$DOD = 25\%$$

- تحديد معامل درجة الحرارة ونسبة التفريغ TDR ويؤخذ من المواصفات الفنية للمدخرة .

$$TDR = 0.94$$

- تحديد كفاءة المدخرة BE ويؤخذ من المواصفات الفنية للمدخرة .

$$BE = 0.9$$

- حساب القيمة المفيدة للتخزين US .

$$US = Total.Load \times DOS \qquad (2-30)$$

$$US = 1725 \times 1 = 1725 \qquad (Ah/day)$$

- حساب سعة التخزين الكلية TSC .

$$TSC = \frac{US}{DOD \times TDR} \qquad (2-31)$$

$$TSC = \frac{1725}{0.25 \times 0.94} = 7340 \qquad (Ah)$$

- حساب القيمة الفعلية للتخزين Actual C .

$$Actual\ .C = \frac{Total\ .Load\ (Wh)}{System\ .Voltage \times DOD} \qquad (2-32)$$

$$Actual\ .C = \frac{41390}{24 \times 0.25} = 6898 \qquad (Ah)$$

- حساب عدد المدخرات في السلسلة الواحدة NS .

$$NS = \frac{System\ .Voltage}{BV} \qquad (2-33)$$

$$NS = \frac{24}{2} = 12 \qquad (cells)$$

- حساب عدد السلاسل التفرعية للمدخرات NP .

$$NP = \frac{TSC}{CB} \qquad (2-34)$$

$$NP = \frac{7340}{1854} = 4 \qquad (Braches)$$

وبالتالي يكون لدينا العدد الإجمالي للمدخرات 48 مدخرة ، ولكن بسبب الكلفة الأولية العالية للمدخرات حيث تجاوزت الكلفة الإجمالية لرأس المال المخصص لهذا المشروع إقترحت الجهة الممولة تخفيض سعة نظام التخزين كون الهدف الرئيسي لتنفيذ هذا النظام المستقل هو هدف علمي وبحثي ، مع التنويه إلى أنه عند القيام بتنفيذ هذا النظام لم يكن هناك أي قانون في وزارة الكهرباء لإستثمار الطاقة الشمسية وربطها بالشبكة العامة ، وبعد صدور قرار يسمح بإستثمار الطاقات المتجددة في سوريا تم إقتراح تحويل هذا النظام بعد إنتهاء عمر المدخرات إلى نظام مرتبط بالشبكة العامة . ولخفض سعة نظام التخزين تم خفض عدد السلاسل التفرعية إلى $NP = 2$ ليصبح العدد الكلي للمدخرات مساويا لـ 24 مدخرة فقط وهذا يرفع من نسبة عمق التفريغ للمدخرات لتصبح مساوية إلى :

$$DOD = \frac{US}{TSC \times TDR}$$

$$TSC = 1854\,(Ah) \times 2 = 3708 \qquad (Ah)$$

$$DOD = \frac{1725}{3708 \times 0.94} = 49\%$$

3-4-2 حساب محددات الشاحن CHARGER

يتم تحديد تيار الشحن وجهد الشحن كمايلي :

✓ توتر الشحن :

- توتر المدخرة التي تم إختيارها .

$$V_B = 2 \quad (v)$$

وبالتالي نحتاج لوصل 12 مدخرة على التسلسل لينتج توتر النظام .

$$V_S = 2 \times 12 = 24 \quad (v)$$

وبالتالي يجب أن يكون توتر الشحن للخلية الواحدة 2.4v للوصول لحالة الشحن الكامل للمدخرات وبالتالي يكون توتر الشحن لـ 12 مدخرة موصولة على التسلسل :

$$V_{Charger} = 28.8 \quad (v)$$

✓ تيار الشحن :

- سعة المدخرة التي تم اعتمادها عند تيار تفريغ مقداره C20 من معطيات الصانع.

$$C_B = 1854 \quad (Ah)$$

- نسبة التفريغ المعتد في التصميم .

$$DOD = 0.49$$

- سعة التخزين اليومي لكل سلسلة من المدخرات حيث لدينا سلسلتين من المدخرات .

$$C_S = 0.49 \times 1854 = 908 \quad (Ah)$$

- تحدد عدد ساعات الشحن من خلال عدد ساعات سطوع الشمس الفعلية لأسوء يوم في السنة كما في الجدول (2-1) وسنعتمد قيمتها في شهر DEC.

$$T_S = 6.5 \quad (h)$$

- فتكون قيمة تيار الشحن اللازم لكل سلسلة من المدخرات .

$$I_C = \frac{C_S}{T_S} = \frac{908}{6.5} = 139.5 \quad (A)$$

وبالتالي نحتاج إلى شاحن بتيار خرج 140A للسلسلة الواحدة والمؤلفة من 12 مدخرة ، وعند البحث عن شاحن خاص بالطاقة الشمسية لعدة شركات ليلبي الغرض وجدنا شاحن تياره الاسمي 70A لذلك تم تقسيم الحقل الكهرضوئي إلى أربع مجموعات كل مجموعة مؤلفة من 16 لوحة موصولة على التفرع وتربط على دخل كل شاحن من الشواحن الأربعة اللازمة لشحن سلستي المدخرات وبالمواصفات التالية:

- تيار دخل الشاحن ويجب أن يكون مساوي أو أكبر قليلا من تيار القصر للوحات الكهروضوئية Module Current .

$$I_{IN} = 16 \times I_{SC} = 16 \times 7.6 = 121.6 \quad (A)$$

وتم إختيار شاحن تيار دخله مساوي إلى :

$$I_{IN} = 140 \quad (A)$$

- تيار الخرج ويجب أن يكون مساوي لتيار الحمل وهو تيار شحن المدخرات .

$$I_{OUT} = I_C = 70 \quad (A)$$

والشكل (2-3) يبين أحد منظمات الشحن المستخدمة في الجزء العملي وهي انتاج شركة Steca

الشكل(2-3) صورة منظم الشحن الذي تم إختياره في هذا البحث

2-4-4 محددات المعرج المستقل

تستخدم المعرجات المستقلة لتغذية الأحمال الكهربائية التي تعمل على التيار المتناوب والتي تقوم بتحويل الجهد المستمر ذو القيمة 24vDC من خرج المدخرات إلى جهد 220vAC ذو موجة جيبية خالية من التوافقيات لخفض الضياعات قدر الإمكان ، وتتمتع المعرجات المصنعة حديثا بمجال تشغيل واسع لجميع أنواع الأحمال الكهربائية ابتداءً بالمحركات الكهربائية ومختلف التجهيزات المنزلية وانتهاءً بالتجهيزات الإلكترونية الحساسة مثل أجهزة الاتصالات بالإضافة لتمتعها بميزة التحويل التلقائي إلى منبع أخر عند فشل التغذية للمنبع الرئيسي ، وهي خاصة بتطبيقات الطاقات المتجددة (طاقة الرياح والطاقة الشمسية) وتتميز المعرجات التي تم اعتمادها بالمواصفات.

- خرج المعرج موجة جيبية متناوبة بتوتر وتردد مستقر وبدون توافقيات .
- كفاءة تحويل عالية ، في مختلف مجال نسبة التحميل .
- إمكانية التحميل الزائد لزمن معين مع وجود خاصية التزامن مع معرجات أخرى .
- وجود حماية التفريغ العميق للمدخرات .
- استهلاك منخفض للطاقة كهربائية عند العمل في حالة التشغيل بدون حمل .

- الحماية من تيار القصر والحماية من زيادة الحمل .

ويتم حساب الاستطاعة الاسمية للمعرج من خلال العلاقة الآتية :

$$Power \cdot of \cdot Inverter = \frac{Sum \cdot of \cdot All \cdot AC \cdot Load \quad (W)}{Power \cdot Factor} + Safety \cdot \text{Re}serve \quad (2-35)$$

$$Power \cdot of \cdot Inverter = \frac{4326 \quad (W)}{0.95} + 50 = 4604 \qquad (VA)$$

وبما أنه لدينا مجموعتين من المدخرات لذا تم تقسيم الأحمال الكهربائية إلى مجموعتين تغذيان من معرجين كل معرج بإستطاعة 2300VA فتكون استطاعة المعرجين مساوية إلى 4600VA .

والشكل (2-4) يبين شكل المعرج المستخدم في المشروع وهو من انتاج شركة Steca .

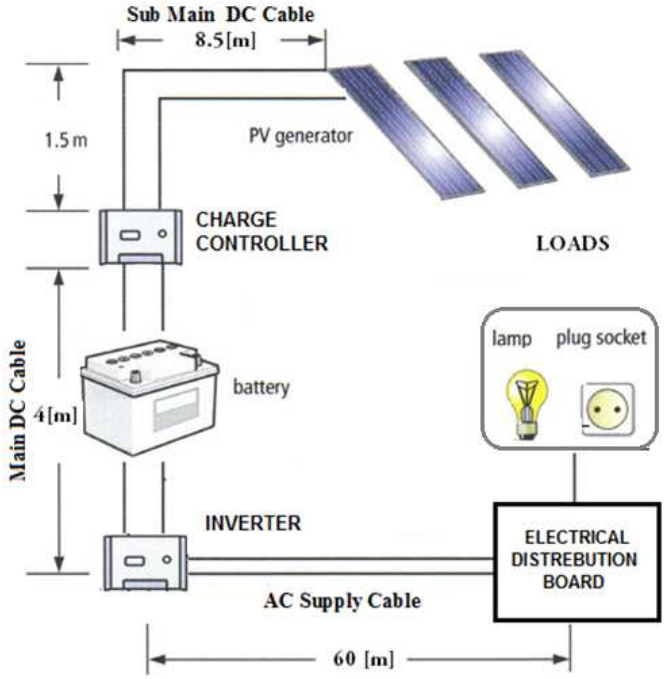
الشكل (2-4) صورة المعرج الذي تم إختياره في هذا البحث .

2-4-5 حساب مقاطع الكابلات

عند تصميم مقاطع الكابلات هناك ثلاث نقاط هامة يجب مراعاتها وهي :

- ✓ توتر التحمل .
- ✓ سعة حمل التيار .
- ✓ هبوط التوتر .

والشكل (2-5) يبين أبعاد كابلات التيار المستمر الفرعية والرئيسية وكابلات التيار المتناوب في النظام الكهروضوئي المستقل المنفذ .



الشكل (2-5) أبعاد كابلات التيار المستمر والتيار المتناوب للمشروع المنفذ

2-4-5-1 تحديد أبعاد كابل السلسلة Sub Main DC Cable

يتم حساب مساحة مقطع كابل سلسلة اللوحات بافتراض أن هبوط التوتر المسموح مقداره 3% باستخدام العلاقة الآتية :

$$A_M = \frac{2.L_M.I_{st}}{3\%.V_{MPP}.K} \qquad (mm^2) \qquad (2-36)$$

حيث :

- LM طول الكابل من اللوحة الكهروضوئية إلى منظم الشحن وبأخذ أطول كابل ضمن الحقل

$L_M = 10 \qquad (m)$ ا

- Ist تيار اللوحة أو تيار السلسلة وهنا لدينا في السلسلة لوحة واحدة فيكون التيار مقداره :

$I_{ST} = 7 \qquad (A)$

- Vmpp توتر اللوحة أو توتر السلسلة وهنا لدينا في السلسلة لوحة واحدة فيكون التوتر مقداره :

$V_{MPP} = 27.15 \qquad (v)$

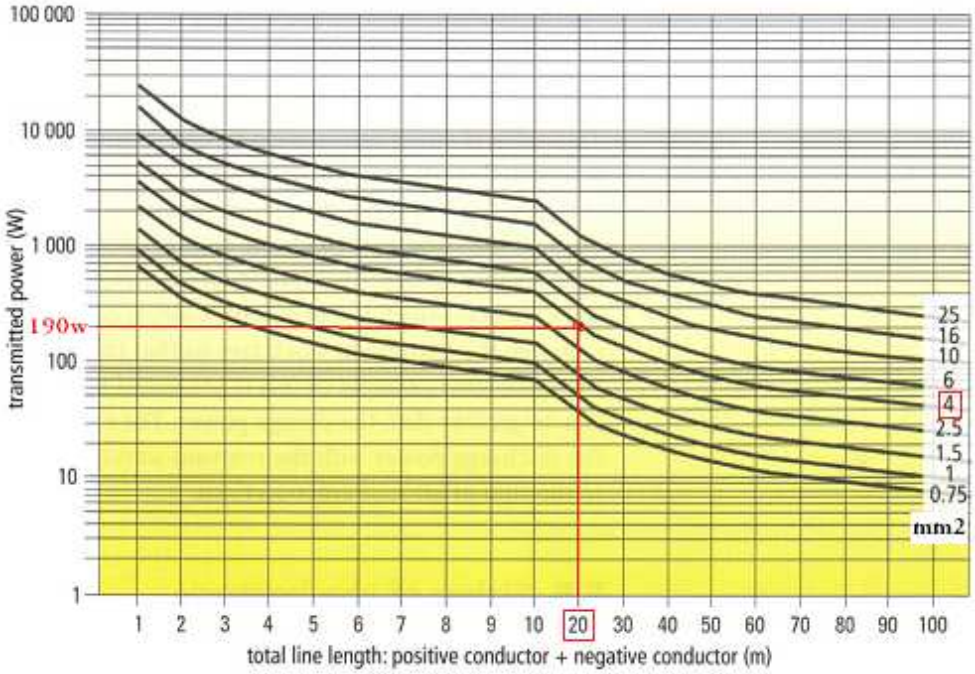
- K الناقلية الكهربائية وهي (للنحاس Kcu=56 ، للألمنيوم Kal=34).

$$A_M = \frac{2.L_M.I_{st}}{3\%.V_{MPP}.K} = \frac{2\times10\times7}{0.03\times27\times56} = 3 \quad (mm^2)$$

وتحدد مساحة مقطع الكابل بعد التحقق من سعة حمل التيار وهبوط التوتر من جداول الكابلات التي تعطيها الشركة الصانعة تبعا لدرجة الحرارة وطريقة مد الكابلات وبحسب المقاطع المتوفرة يؤخذ .

$$A_M = 4 \quad (mm^2)$$

ويمكن استخدام المنحنيات المبينة في الشكل (2−6) لتحديد مقاطع الكابلات تبعا لقيمة توتر النظام الكهروضوئي عند هبوط توتر مقداره 3% ودرجة حرارة أقل من 30C° وهذه المنحنيات لأجل نظام بتوتر 24Vdc .



الشكل (2−6) أبعاد كابلات التيار المستمر لنظام 24v عند هبوط توتر مقداره 3 % . [5]

حيث يتم تحديد توتر النظام الكهرضوئي تبعا لإستطاعته 12v,24v,48v حيث أن مساحة مقطع للكابلات تتناسب عكساً مع مربع التوتر فإذا ضاعفنا قيمة توتر النظام ستنخفض قيمة مساحة المقطع إلى الربع ، وبالتالي تخفيض في تكاليف الكابلات .

2−4−5−2 تحديد أبعاد الكابل الرئيسي الحامل للتيار المستمر Main DC Cable

يتم حساب مساحة مقطع كابل التغذية الرئيسي لخرج النظام الكهروضوئي الواصل بين باسبار التجميع وبين منظم الشحن والكابل الواصل من خرج منظم الشحن إلى المدخرات باستخدام العلاقة الآتية :

$$A_{DC.cable} = \frac{2.L_{DC.cable}.I_n^2}{LF\,(P_{PV} - P_M).K} \qquad (\text{mm}^2) \qquad (2-37)$$

حيث :

- $A_{DC\ cable}$ مقطع الكابل الرئيسي .
- $L_{DC\ cable}$ طول الكابل الرئيسي الواصل بين باسبار التجميع ومنظم الشحن وبين منظم الشحن والمدخرات ، نأخذ الكابل الأطول فيكون :

$$L_{DC} = 4 \qquad (m)$$

- I_n^2 التيار الأسمي للنظام الكهروضوئي وبما أنه تم تقسيم النظام الكهروضوئي إلى مجموعتين فيكون التيار الأسمي للمجموعة الواحدة 32 لوحة كهرضوئة موصولة على التفرع بقيمة تيار 7A للوحة الواحدة .

$$I_n^2 = (32\times 7)^2 = 50176$$

- P_{pv} الاستطاعة الاسمية للحقل الكهرضوئي ويؤخذ لكل سلسلة من المدخرات على حدا .

$$P_{PV} = 32\times 190w = 6080 \qquad (W)$$

- PM مقدار الضياعات في كابلات الألواح عند الشروط النظامية STC وبما أنه لدينا أطوال مختلفة للكابلات سنعتمد أطول كابل [m]10 وبالتالي ستكون القيمة تقريبية وتحسب ضياعات الكابلات لجميع كابلات اللوحات NOM=32 .

$$P_M = 2\frac{L\times {I_n}^2}{K\times NOM\times A_M} = \frac{2\times 10\times 50176}{56\times 32\times 4} = 140 \qquad (W)$$

- LF عامل الضياع ويجب أن لا يتجاوز 2% ويتم إعتبار قيمته مساوية لـ :

$$LF = 2\%$$

- K الناقلية الكهربائية وهي (للنحاس Kcu=56 ، للألمنيوم Kal=34).

$$A_{DC.cable} = \frac{2.L_{DC.cable}.I_n^2}{LF\,(P_{PV}-P_M).K} = \frac{2\times 4\times 50176}{0.02\times(6080\text{ -}140)\times 56} = 60.3 \qquad (\text{mm}^2)$$

ويتم أخذ قيمة مقطع الكابل بعد النظر إلى الجداول والمقاطع المتوفرة مساوي لـ

$$A_{DC.cable} = 70 \qquad (\text{mm}^2)$$

2-4-5-3 تحديد أبعاد كابل التغذية المتناوب Main AC Supply Cable

إن كابل التيار المتناوب يربط بين المعرج والمستهلك، ويجب أن يراعى في تصميمه التقليل من هبوط التوتر إلى الحد الأدنى، حيث يجب ألا يزيد هبوط التوتر عن 3%. ويتم حساب مقطع الكابل في حال النظام الآحادي الطور من المعادلة الآتية :

$$A_{AC.cable} = \frac{2.L_{AC.cable}.I_{nAC}.\cos\varphi}{3\%.V_n.K} \qquad (\text{mm}^2) \quad (2-38)$$

حيث :

- $A_{AC\ cable}$ مقطع الكابل المغذي للتيار المتناوب ويحسب من خرج المعرج إلى الأحمال الكهربائية.
- $L_{AC\ cable}$ طول الكابل المغذي للتيار المتناوب .

$$L_{AC} = 60 \qquad (m)$$

- I_{nAC} التيار الأسمي للمعرج حيث أن استطاعة المعرج 2600VA للمجموعة الواحدة .

$I_{AC} = 14 \quad (A)$

- CosΦ عامل الاستطاعة للأحمال وهو ما بين 1-0.8 .

$COS\varphi = 0.8$

- Vn توتر الشبكة وهو 230Vac للشبكة أحادية الطور .
- K الناقلية الكهربائية وهي (للنحاس Kcu=56 ، للألمنيوم Kal=34).

$$A_{AC.cable} = \frac{2.L_{AC.cable}.I_{nAC}.\cos\varphi}{3\%.V_n.K} = \frac{2\times60\times14\times0.8}{0.03\times220\times56} = 3.6 \approx 4 \quad (mm^2)$$

2-5 حساب الطاقة الكهربائية السنوية المولدة

يتم حساب الطاقة الكهربائية التي يعطيها النظام الكهروضوئي نظريا من خلال حساب الطاقة الناتجة من النظام شهريا تبعا لشدة الاشعاع الشمسي لكل شهر وذلك باعتبار أن شدة الإشعاع الشمسي ثابتة خلال الشهر ومن ثم يتم جمع القدرة الكهربائية السنوية EA .

$$Ea\ (month\ ) = G\ (\beta)month\ * AA * ME * SE * 30 \quad (2-39)$$

$$G\ (\beta = 45\ )_{JAN} = 4.66 \quad (kwh\ / m2 / day\ )$$

$$Ea(JAN) = 4.66\times90.4\times0.145\times0.812\times30 = 1506 \quad (kWh)$$

$$Ea(Feb) = 4.92\times90.4\times0.145\times0.812\times30 = 1584 \quad (kWh)$$

$$Ea(Mar) = 4.9\times90.4\times0.145\times0.812\times30 = 1581 \quad (kWh)$$

$$Ea(Apr) = 5\times90.4\times0.145\times0.812\times30 = 1615 \quad (kWh)$$

$$Ea(May) = 4.9\times90.4\times0.145\times0.812\times30 = 1581 \quad (kWh)$$

$$Ea(Jun) = 5\times90.4\times0.145\times0.812\times30 = 1615 \quad (kWh)$$

$$Ea(Jul) = 5.5\times90.4\times0.145\times0.812\times30 = 1777 \quad (kWh)$$

$$Ea(Aug) = 5.84\times90.4\times0.145\times0.812\times30 = 1886 \quad (kWh)$$

$$Ea(Sep) = 5.77\times90.4\times0.145\times0.812\times30 = 1864 \quad (kWh)$$

$$Ea(Oct) = 5.67\times90.4\times0.145\times0.812\times30 = 1832 \quad (kWh)$$

$$Ea(Nov) = 5.23\times90.4\times0.145\times0.812\times30 = 1690 \quad (kWh)$$

$$Ea(Dec) = 4.11\times90.4\times0.145\times0.812\times30 = 1328 \quad (kWh)$$

وتحسب الطاقة الكهربائية السنوية المنتجة من النظام الكهرضوئي وسطياً كمايلي :

$$EA = E_{Jen} + E_{Feb} + E_{Mar} + E_{Apr} + E_{May} + E_{Jun} + E_{Jul} + E_{Aug} + E_{Seb} + E_{Oct} + E_{Nov} + E_{Des} \quad (2-40)$$

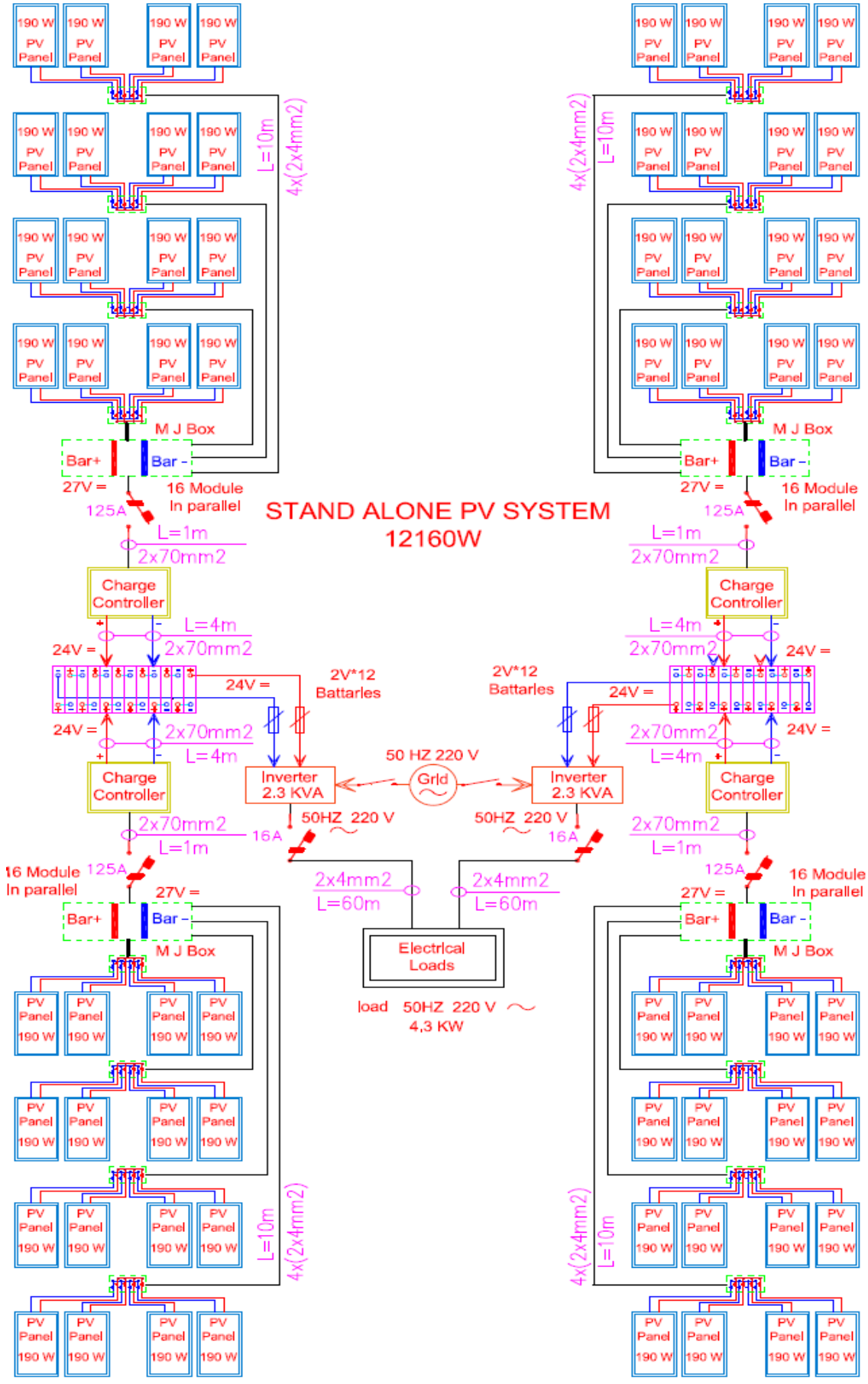
$$EA = 19960 \quad (kWh / year)$$

6-2 تنفيذ النظام الكهرضوئي المستقل باستطاعة 12kW

قامت الدائرة الهندسية بالتعاون مع كلية الهندسة الكهربائية في جامعة القلمون الخاصة بتنفيذ نظام كهرضوئي مستقل ليغذي بعض الأحمال الكهربائية في بناء بيئي أخضر تبلغ مساحته $2600m^2$ تقريبا \ بناء المكتبة المركزية \ ، وقد تم تركيب النظام الكهرضوئي من قبل فريق عمل من المكتب الهندسي في جامعة القلمون والمؤلف من مهندسين وأربع فنيين وقد قام المهندس يوسف الجلاب بالإشراف على تركيب هذا النظام ومتابعته خطوة بخطوة لحين إنتهاء العمل والتجريب ، وقد تم مراقبة عمل النظام الكهرضوئي وأخذ القراءات والقياسات لكل من الشواحن والمعرجات والحقل الكهرضوئي على مدار سنة كاملة بأخذ يوم نموذجي لكل شهر من أشهر السنة لرسم منحنيات الحمل والتوليد العملية بهدف مقارنة النتائج العملية مع نتائج الحسابات النظرية . والشكل (2-7) يبين توضع اللوحات الكهرضوئية وغرف المدخرات على سطح البناء البيئي الأخضر في جامعة القلمون .

الشكل (2-7) توضع اللوحات الكهرضوئية مع غرف المدخرات وباقي تجهيزات النظام على سطح البناء

ويتألف النظام الكهرضوئي الذي تم تنفيذه من 64 لوحة كهرضوئية باستطاعة 190Wp للوحة الواحدة فتكون استطاعة الحقل الكهرضوئي المركبة 12kWp مما يصنف هذا النظام من فئة الأنظمة كبيرة الإستطاعة حسب التصنيف العالمي ويتم إستجرار الطاقة عن طريق أربع منظمات شحن مزودة بتقنية تعديل عرض النبضة كل شاحن بتوتر خرج 24v وتيار مقداره 70A ليتم شحن 24 مدخرة جافة كل مدخرة بسعة 1854Ah وتوتر 2v لتبلغ السعة الاجمالية لنظام التخزين 89kWh لتغطي أحتياج الحمل لمدة يوم غائم عند عمق تفريغ مقداره 49% ، ويتم تحويل التيار المستمر الى تيار متناوب لتغذية الأحمال التي تعمل على التيار المتناوب عن طريق معرجين تبلغ استطاعة المعرج الواحد 2300vA ولتحقيق مبدأ رفع كفاءة الطاقة تم استخدام أحمال انارة ذات كفاءة عالية كما تم توزيع أجهزة الانارة لتؤمن إنارة جيدة للمبنى ، والشكل (2-8) يبين المخطط العام لمكونات النظام الكهرضوئي المستقل الذي تم تنفيذه .



الشكل (2-8) مخطط تفصيلي للنظام الكهروضوئي المستقل المنفذ

ويبين الشكل (2-9) توضع 12 مدخرة موصولة على التسلسل ضمن غرفة المدخرات .

الشكل (2-9) سلسلة المدخرات المؤلفة من 12مدخرة موصولة على التسلسل .

ويبين الشكل (2-10) توضع الشواحن والمعرج وطريقة الربط مع تجهيزات الحماية ضمن غرفة التجهيزات المتوضعة على السطح قرب حقل اللوحات الكهرضوئية .

الشكل (2-10) توضع الشواحن والمعرج وطريقة الربط مع تجهيزات الحماية .

كما يبين الشكل (2-11) أجهزة الإنارة ضمن المكتبة التي تغذى من النظام الكهرضوئي المستقل .

الشكل (2-11) أجهزة الإنارة التي تغذى من النظام الكهرضوئي المستقل .

الفصل الثالث

تأثير عمق التفريغ لمدخرات النظم الكهرضوئية على كلفة وحدة الطاقة الكهربائية

سنبين في هذا الفصل أثر عمق التفريغ وظروف عمل المدخرات على كلفة انتاج الطاقة الكهربائية من النظم الكهرضوئية المستقلة .

3-1 مدخرات النظم الكهرضوئية وخصائصها

بما أن المدخرات تعد من أهم مكونات النظم الكهرضوئية المستقلة وأكثرها كلفة خلال عمر النظام ، لذا يجب دراسة نظام التخزين بشكل جيد بما في ذلك نوع المدخرات ، سعة التخزين ، عمق التفريغ ، ليتم استخدامها لفترات طويلة دون الحاجة إلى مراقبة دائمة ومن أهم المواصفات الواجب توافرها في مدخرات النظم الكهروضوئية :

1. كلفة كيلو وات ساعي منخفضة: وهي مجموع تكاليف الإنشاء (التأسيسية) والتكاليف الجارية مقسمة على مجموع الطاقة المختزنة فيها خلال فترة عمر المدخرة.
2. عمر المدخرة : يجب أن يكون عمر المدخرة طويل بقدر الإمكان لتخفيض تكاليف المنشأة.
3. المردود العام العالي (Overall efficiency) η_{tot} ويعطى بالعلاقة التالية :

$$\eta_{tot} = \eta_I . \eta_V \qquad (3-1)$$

حيث :

- η_I : هو مردود الشحن أو ما يدعى بـ (coulomb efficiency) ويقاس دوماً عند نسبة تفريغ ثابتة . وهو ذو قيمة وسطية بحوالي 80-85% من أجل الأنظمة المستقلة عن الشبكة ويرتفع في فترات الشتاء إلى 90-95%.

- η_v :مردود التوتر (voltage efficiency) ويساوي متوسط توتر التفريغ V_D على متوسط توتر الشحن V_C وتؤثر المقاومة الداخلية للمدخرة بشكل كبير في هذا المردود .

$$\eta_V = \frac{V_D}{V_C} \qquad (3-2)$$

4. تفريغ ذاتي منخفض : إن التفريغ الذاتي يؤدي إلى إنخفاض الطاقة المختزنة في المدخرة وذلك عندما تكون المدخرة في دارة مفتوحة ، وذلك بسبب الأثر السلبي للتفاعلات الطفيلية التي تحصل على الالكترودات ويظهر أثرها أكثر مع ارتفاع الحرارة .
5. تكاليف الصيانة منخفضة .

إن أكثر أنواع المدخرات انتشارا وإستخدما في النظم الكهروضوئية هي مدخرة الرصاص الحامضية لذلك سيتم استعراض جميع أنواعها ودراسة الخصائص الكهربائية لها .

أولا : مدخرات الرصاص_الحامضية السائلة Flooded Lead Acid Battery (FLA)

امتلكت مدخرات الرصاص_الحامضية السائلة أكبر تسجيل للاستخدام في التطبيقات الكهروضوئية و ما زالت تستخدم في الغالبية من الأنظمة الكهروضوئية المستقلة . وتتميز بأقل كلفة لكل أمبير ساعي، ولكن تحتاج لصيانة دورية منتظمة من حيث الفحص المائي للخلية والمحافظة على رؤوس الأقطاب نظيفة والشكل (3-1) يبين أحد أشكال هذا النوع من المدخرات .

الشكل (3-1) صورة لمدخرة رصاصية حامضية سائلة . [14]

ثانياً : مدخرات الرصاص الحامضية الجافة absorbed glass mat sealed lA(AGM)

تزايد ظهور هذه المدخرات في الأنظمة الكهروضوئية مع انخفاض أسعارها و عدم حاجتها الى صيانة دائمة وكونها مغلقة بشكل كامل لا تحتاج إلى فحص دوري للمحلول الكهرليتي ،كما أنها لا تصدر أي أبخرة أو غازات مؤذية ، وتتميز بتفريغ ذاتي منخفض أقل من 2% خلال عملية النقل أو التخزين وهي ذات مقاومة متغيرة بشكل كبير ، وتتوفر هذه المدخرات بكافة السعات والتوترات وهي متوفرة بشكل واسع بتوتر2v من أجل أنظمة التخزين كبيرة السعة كما يبين الشكل(3-2) أحد أشكال هذه المدخرات

.

الشكل (3-2) صورة لمدخرة رصاصية حمضية جافة بتقنية AGM . [14]

ثالثاً:مدخرات الرصاص-الحامضية ذات المحلول اللزج Gelled Electrolyte Sealed LAB

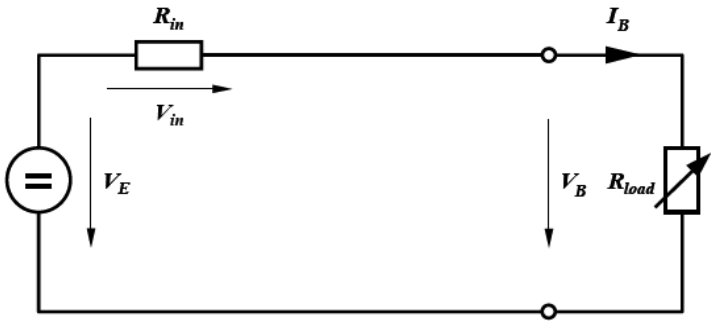
سبقت المدخرات الهلامية في ظهورها المدخرات الجافة حيث تمتلك المدخرات الهلامية المواصفات الجيدة للمدخرات السائلة (الرصاصية-الحامضية)، حيث يكون المحلول ذو لزوجة عالية ، ولكن تحتاج لزمن شحن أطول من المدخرات السائلة والمدخرات الجافة ، و بما أنه لدينا عدد محدد من ساعات

الإشعاع الشمسي وبالتالي نحتاج إلى تخزين كل وات شمسي قبل غياب الشمس فإذا كان الشحن بمعدل عالي جداً ستتشكل جيوب من الغازات على الأقطاب مؤديا لانخفاض سعة المدخرة وهذه من أهم مساوئ المدخرات الهلامية ويبين الشكل (3-3) أحد أشكال هذه المدخرات .

الشكل (3-3) صورة لمدخرة رصاصية حمضية بتقنية GEL . [14]

3-3-4-2 الخصائص الكهربائية لمدخرات الرصاص الحامضية

تتكون الدارة المكافئة الأساسية للمدخرة من منبع توتر بتوتر التوازن V_E على التسلسل مع المقاومة الداخلية للمدخرة (R_{in}) كما هو مبين في الشكل (3-4) .



الشكل (3-4) دارة ثيفينين المكافئة للمدخرة الكهركيميائية . [10]

إن قيمة كل من توتر الدارة المفتوحة V_E ، والمقاومة الداخلية للمدخرة R_{in} تتعلق بعدد من المتحولات مثل حالة الشحن SOC ، ودرجة الحرارة ، وعمر المدخرة (تقادمها) . فأثناء عمليات الشحن والتفريغ يكون توتر خرج المدخرة V_B مختلف عن التوتر في حالة الدارة المفتوحة V_E . فعند حالة الشحن يكون $V_B > V_E$ أما في حالة التفريغ يكون $V_B < V_E$ أثناء التفريغ يمكن حساب قيمة توتر الخرج باستخدام العلاقة التالية :

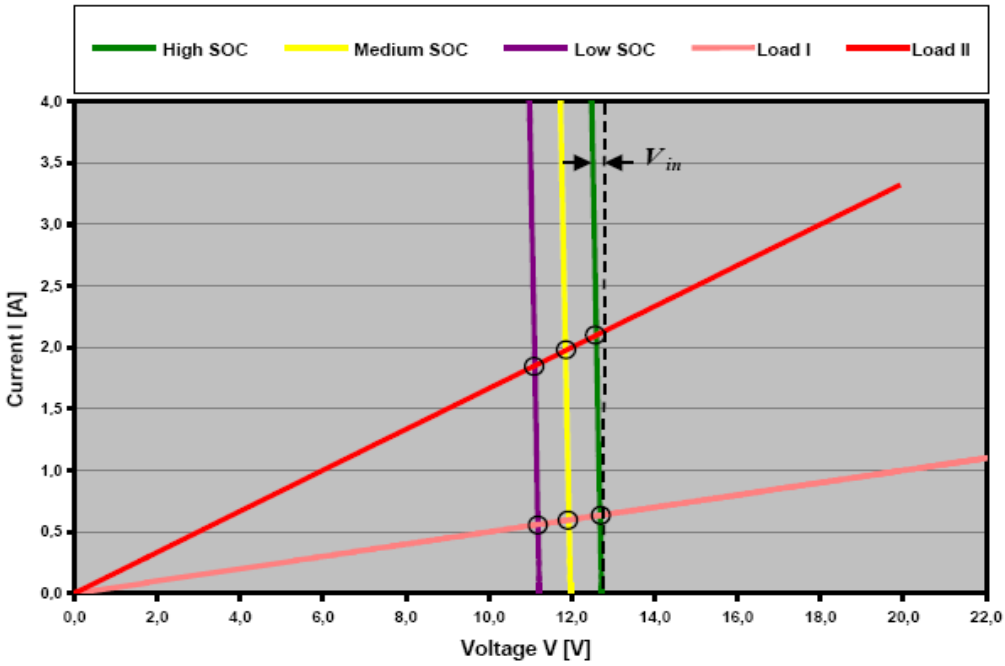
$$V_B = V_E - V_{in} = V_E - R_{in}.I_B \qquad (3-3)$$

حيث :

V_{in} توتر الضياعات الداخلية .

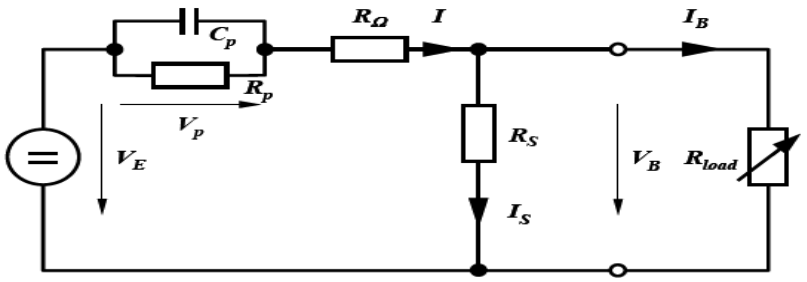
I_B تيار التفريغ .

نلاحظ من المعادلة أن زيادة قيمة تيار المدخرة I_B سيؤدي إلى انخفاض كبير في قيمة جهد المدخرة V_B وذلك يعود إلى تأثير المقاومة الداخلية للمدخرة ويبين الشكل (3–5) خصائص (التوتر– تيار) ونقاط العمل لمدخرة كهركيميائية مربوطة بشكل مباشر إلى حملين أوميين مختلفين وذلك بفرض درجة حرارة وحالة شحن ثابتين. إن ميلان الخط الكامل في الشكل عن الخط المقطع يعبر عن الضياعات الداخلية (V_{in}) .



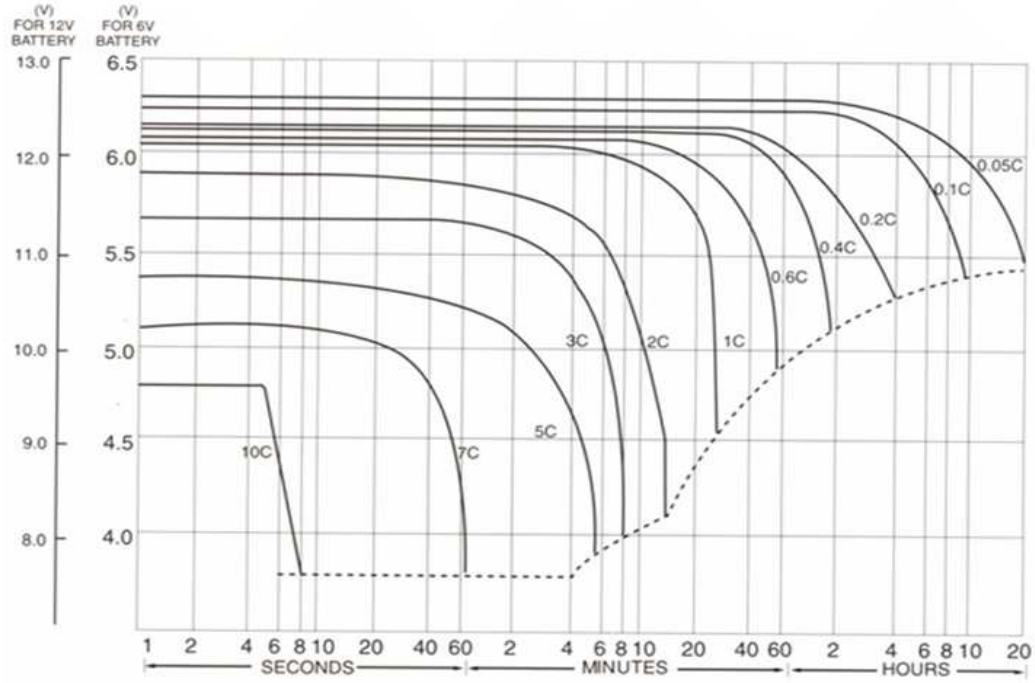
الشكل(3–5) خصائص (التوتر – تيار) لمدخرة كهركيميائية . [10]

من أجل النظم الكهروضوئية فمن الضروري معرفة أداء المدخرات على مدى فترات طويلة من الزمن لذلك كان من المهم الأخذ بعين الاعتبار الحالة الديناميكية لعمل المدخرة. لذلك فإن أي ارتفاع في التوتر ناتج عن التفاعلات الكيميائية أو أي عملية أخرى تحدث على الأيونات في المحلول الكهرليتي ، ببساطة يمكن توصيفها بالمتحول توتر الاستقطاب (Polarization voltage) V_p بينما يتم مكافأة انخفاض التوتر بالمقاومة R_Ω . من أجل الحالات الساكنة فإن المكثف C_p سوف يختفي كما هو بين في الشكل (3–6) الدارة المكافأة للمدخرة تسمى دارة (Shepherd model) .



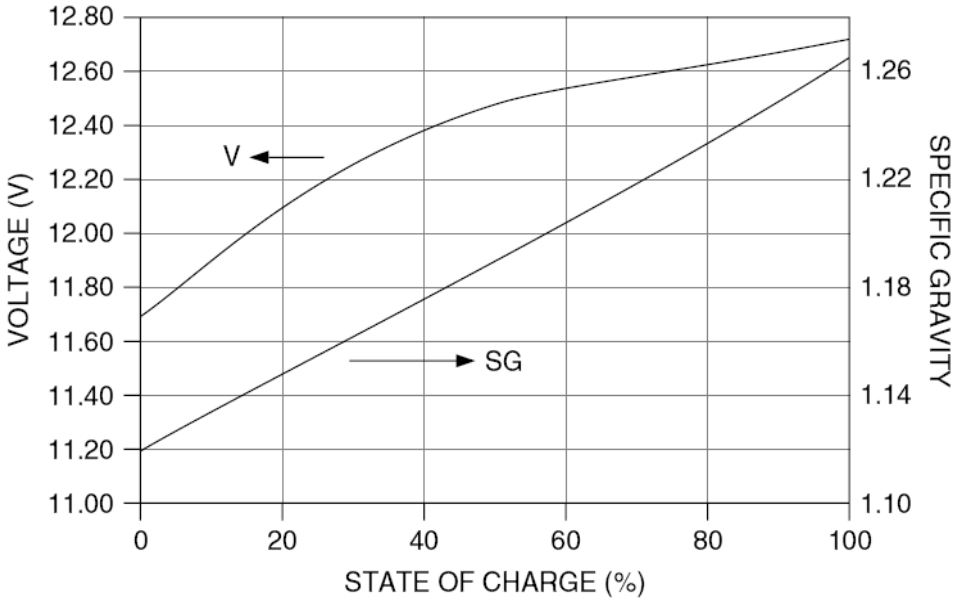
الشكل(3–6) الدارة المكافئة بأخذ الحالة الساكنة و الحالة الديناميكية بعين الاعتبار . [10]

هناك ضياعات أخرى في المدخرة ناتجة عن التفريغ الذاتي والتي يعبر عنها بالمقاومةR_s ، ويجب أن تتمتع المدخرات المستخدمة في الأنظمة الكهروضوئية بمقاومة R_s كبيرة جداً أي تفريغ ذاتي منخفض لإبقاء هذه الضياعات ضمن نطاق ضيق .إن التوتر الاسمي للخلية الواحدة من مدخرة الرصاص الحامضية يساوي 2v وبالتالي يتم ربط 6 خلايا على التسلسل لنحصل على توتر 12v ، ولكن في حالات التفريغ فإن أصغر توتر يسمح للمدخرة بالوصول إليه يدعى بتوتر القطع وأي انخفاض في التوتر تحت هذه القيمة قد يؤدي إلى تلفها. وعند ترك المدخرة لمدة طويلة بعد عمليات التفريغ العميق فإن الرصاص سوف يتحول إلى كبريتات الرصاص ، وبالتالي تكون المدخرة قد فقدت جزءً من سعتها التخزينية. وفي التطبيقات العملية يتم فصل الأحمال بشكل سريع عند وصول توتر المدخرة إلى عتبته الدنيا ، و يتم ذلك باستخدام حماية التفريغ العميق للمدخرة ، وتعطى قيمة توتر القطع في النشرة الفنية للمدخرة من أجل معدلات تفريغ متعددة كما في الشكل (3–7) .



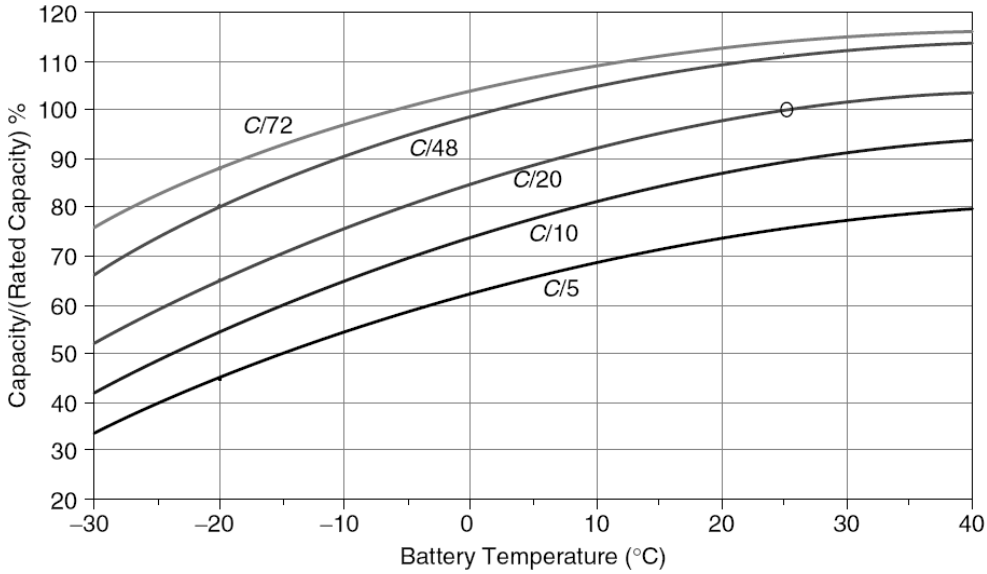
الشكل (3–7) منحنيات التفريغ للمدخرة عند معدلات تفريغ مختلفة . [9]

إن كمية الحمض الكبريتي التي تلتصق بشكل مؤقت على الصفائح تعتمد على طول المدة التي يسمح للكبريت فيها بالتواجد أثناء دورة العمل ، لذلك لكي نزيد في عمر المدخرة من المهم إبقاؤها في وضعية الشحن الكامل وأن يتم شحنها بشكل دوري اعتيادي، كما أن توتر المدخرة يتغير تبعاً لحالة الشحن (State of charge) وهي النسبة المئوية للطاقة المختزنة في المدخرة ، كما في الشكل (3–8) الذي يبين علاقة توتر المدخرة والوزن النوعي للمحلول كتابع لحالة الشحن SOC .



الشكل (3–8) علاقة توتر المدخرة والوزن النوعي للمحلول الكهرليتي بحالة الشحن SOC . [9]

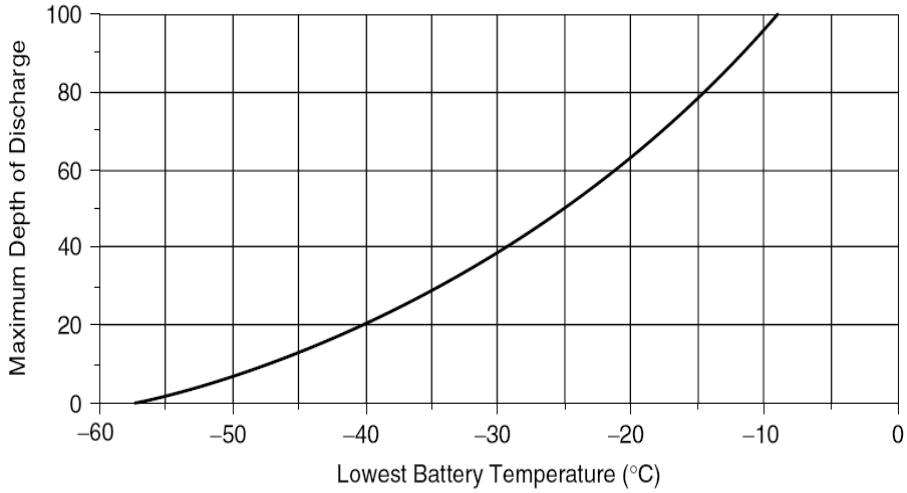
حيث نلاحظ من الشكل (3–8) ارتفاع قيمة كل من توتر المدخرة والوزن النوعي للمحلول الكهرليتي بزيادة نسبة شحن المدخرة . كما أن السعة التخزينية للمدخرة تتعلق بكل من نسبة التفريغ ودرجة الحرارةً . حيث يبين الشكل (3–9) مقارنة لسعة مدخرة رصاص حامضية بدرجة الحرارة من أجل معدلات تفريغ مختلفة منسوبة إلى قيم مرجعية (نسبة تفريغ C/20 ودرجة حرارة 25C°) .



الشكل (3–9) مقارنة لسعة مدخرة الرصاص الحامضية من أجل درجات حرارة ونسب تفريغ متعددة. [9]

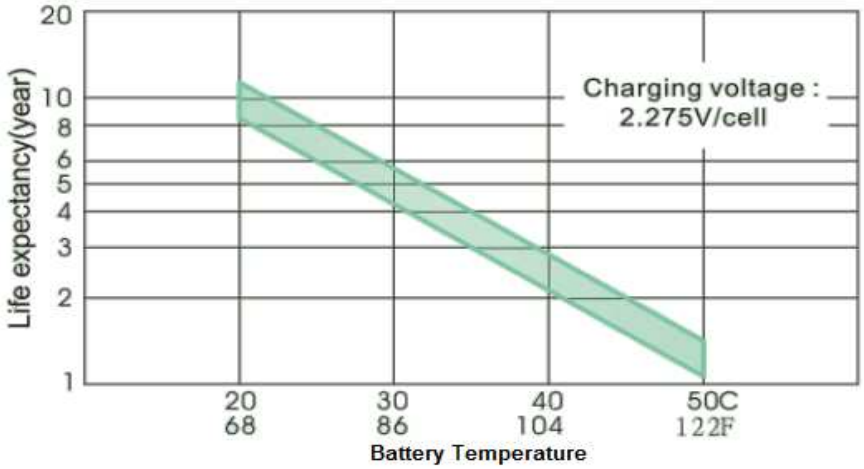
نلاحظ من الشكل (3–9) انخفاض سعة المدخرة بشكل ملحوظ مع انخفاض درجة الحرارة . فمثلا عند درجة حرارة 30C°- ستعطي المدخرة نصف سعتها التخزينية الاسمية عند نسبة تفريغ C/20 لذلك فإن انخفاض درجات الحرارة يؤدي إلى إنخفاض السعة بشكل كبير بينما عند وضع المدخرة بدرجة حرارة 25C° وعند معدل تفريغ C/20 ستعطي المدخرة سعتها الأسمية . كما يبين الشكل (3–10) علاقة

درجة حرارة التجمد لمدخرة رصاص حامضية بعمق التفريغ DOD فمثلاً مدخرة رصاص حامضية سائلة مفرغة بالكامل ستتجمد عند درجة حرارة 8C°- ، بينما تحتاج المدخرة المشحونة بشكل كامل إلى درجة حرارة 57C°- لتصل لحالة التجمد ، لذلك تستخدم المدخرات الجافة في المناطق الباردة فهي أقل تأثراً بانخفاض درجة الحرارة، وبالتالي فإن وضع المدخرات في أجواء باردة جداً يجب خفض معدل عمق التفريغ لتجنت حالات التجمد للمدخرات .



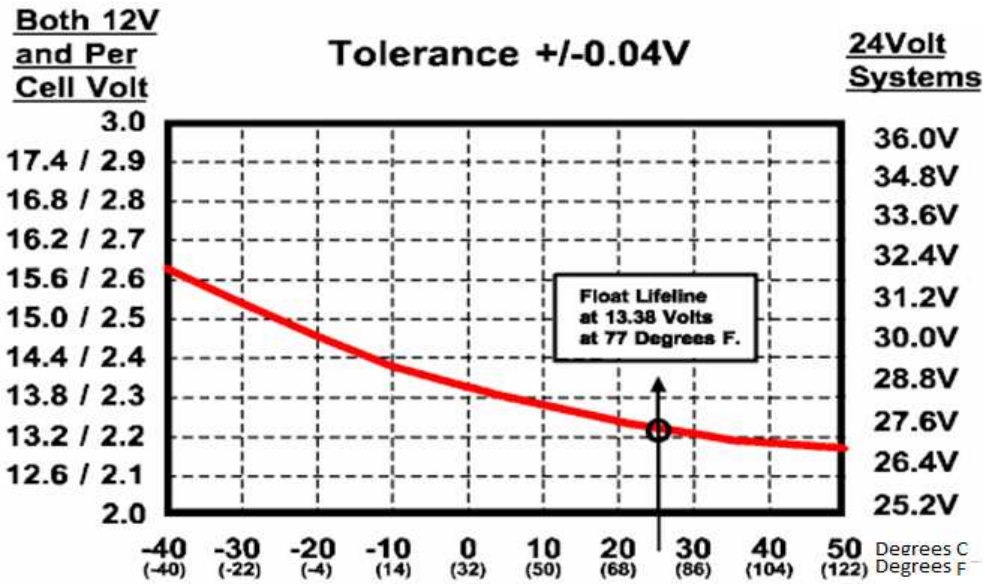
الشكل (3–10) علاقة درجة حرارة التجمد لمدخرة رصاص حامضية سائلة بعمق التفريغ DOD . [9]

كما أن ارتفاع درجات الحرارة للمدخرة سيؤدي إلى انخفاض في عمر المدخرة بنسبة 50% من أجل ارتفاع درجة الحرارة 10C° عن درجة العمل الطبيعية 25C° والشكل (3–11) يبين علاقة عمر المدخرة كتابع لدرجة الحرارة .



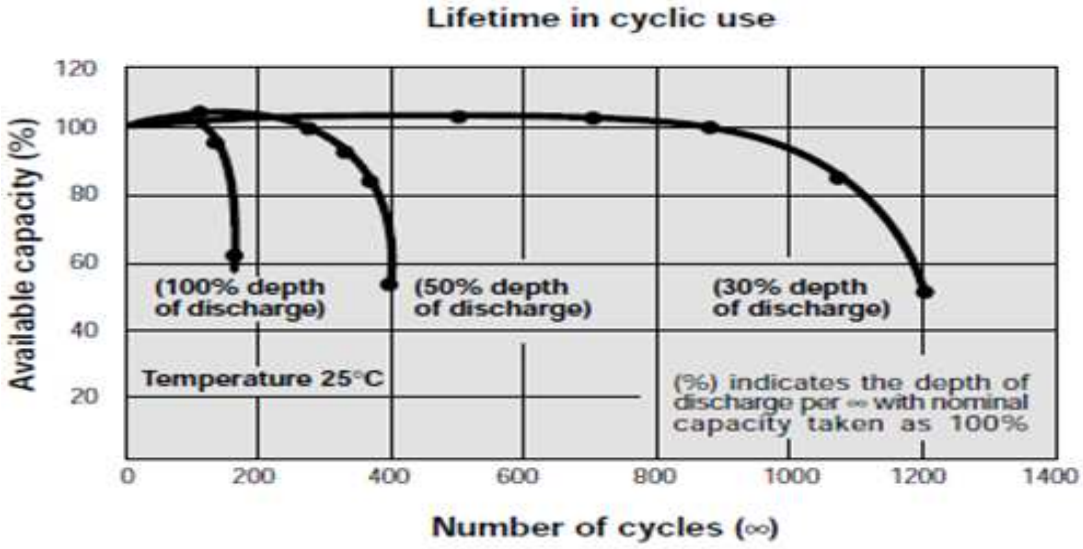
الشكل (3–11) علاقة عمر المدخرة كتابع لدرجة الحرارة .[9]

إن إنخفاض درجات الحرارة يؤدي إلى ارتفاع في قيمة توتر المدخرة وارتفاعها يؤدي إلى انخفاض في توتر المدخرة وبالتالي ستتغير قيمة توتر الشحن اللازم تبعا لقيمة درجة الحرارة لمكان تركيب نظام التخزين كما في الشكل (3–12) الذي يبين علاقة جهد الشحن للمدخرة بدرجة حرارة الوسط المحيط .



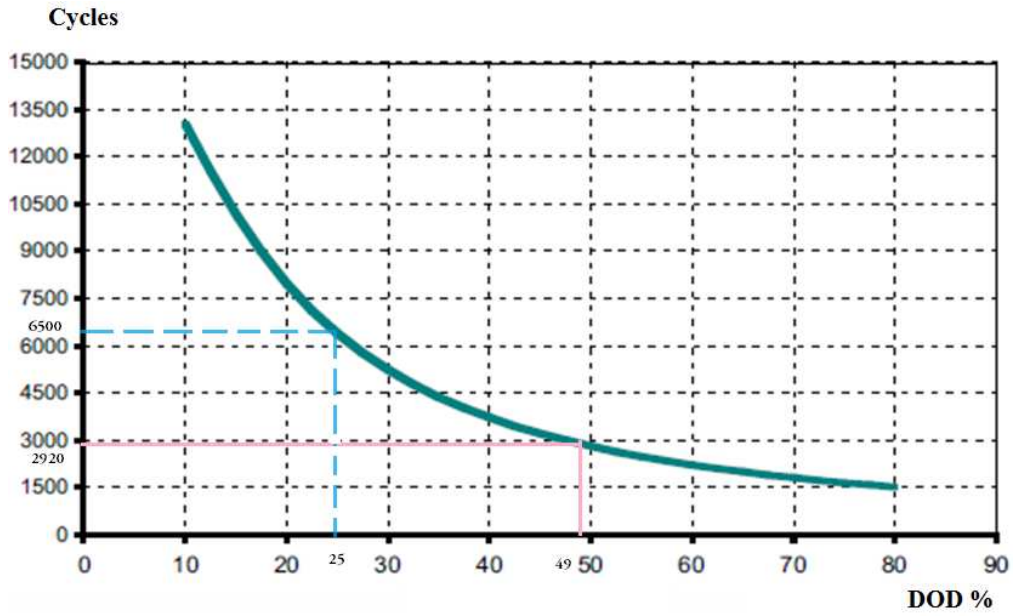
الشكل (3–12) جهد الشحن للمدخرة تبعا لدرجة حرارة الوسط المحيط .[9]

إن من أهم العوامل التي تؤثر على عدد دورات الشحن والتفريغ للمدخرة هو عمق التفريغ DOD كما نلاحظ من الشكل (3–13) أنه كلما كان معدل عمق التفريغ أقل كلما زادت عدد دورات الشحن والتفريغ وحافظت المدخرة على سعتها خلال عمرها وهذه المنحنيات عند درجة حرارة 25C° .



الشكل (3–13) علاقة عمق التفريغ للمدخرات DOD بعدد دورات الشحن وتأثيرها على سعة المدخرة . [9]

ويعطى منحني عدد دورات الشحن والتفريغ بدلالة نسبة عمق التفريغ DOD من قبل الشركة الصانعة للمدخرة كما هو مبين في الشكل (3–14) حيث نلاحظ من الشكل أن العلاقة بين عدد دورات الشحن وعمق التفريغ علاقة غير خطية .



الشكل (3-14) منحني عدد دورات الشحن والتفريغ للمدخرات كتابع لعمق التفريغ . [11]

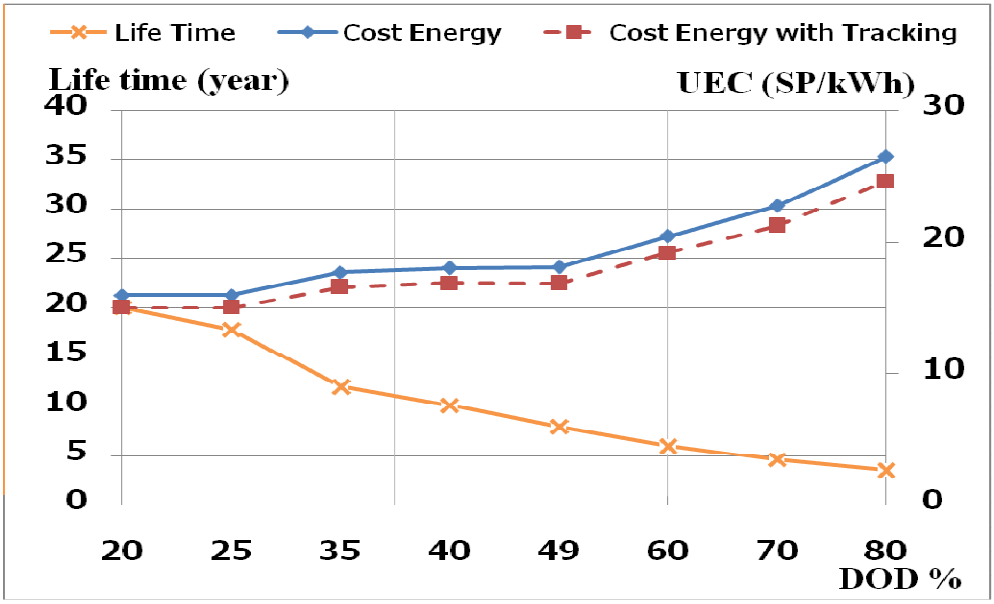
3-2 دراسة تأثير عمق التفريغ على كلفة وحدة الطاقة الكهربائية

يحدد عمر المدخرات من خلال عدد دورات الشحن والتفريغ والتي يتم تحديد عددها من خلال نسبة عمق التفريغ خلال فترة عمل المدخرة ، فكلما كان عمق تفريغ المدخرات منخفض كلما زادت عدد دورات الشحن والتفريغ كما هو مبين في الشكل (3-14) لمدخرة رصاص حامضية جافة وباستخدام المعادلات الرياضية الخاصة بحساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية والتي سنبينها في الفصل الخامس تم إنشاء الجدول (3-1) والذي يبين عدد دورات الشحن وعمر المدخرة باعتبار أن كل دورة شحن وتفريغ تمثل يوم واحد عند نسب تفريغ مختلفة من DOD=10% إلى DOD=80% والذي تم استخلاصه من المنحنيات في الشكل (3-14) والمعطاة من الشركة الصانعة للمدخرات BAE ، كما يبين الجدول كلفة وحدة الطاقة الكهربائية عند نسب مختلفة لعمق تفريغ ابتداءً من 10% وانتهاءً بـ 80% .

الجدول (3-1) حساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية بناء على قيمة عمق التفريغ التصميمية .

G (kWh/y)	GT (kWh/y)	UECT(SP/kWh)	UEC(SP/kWh)	TSC (Ah)	Life Time (y)	Cycle	DOD %
19960	21770	15	15.97	3519	35.07	12800	10
19960	21770	15	15.97	3519	20	7300	20
19960	21770	15	15.97	3519	17.81	6500	25
19960	21770	16.6	17.7	3519	12.05	4400	35
19960	21770	16.9	18	3519	10.14	3700	40
19960	21770	16.88	18.1	3519	8.00	2920	49
19960	21770	19.2	20.45	3519	6.03	2200	60
19960	21770	21.24	22.75	3519	4.66	1700	70
19960	21770	24.63	26.45	3519	3.56	1300	80

وبينت النتائج أنه كلما كان معدل عمق التفريغ للمدخرات من أجل نفس سعة نظام التخزين أكبر ستنخفض عدد دورات الشحن والتفريغ وبالتالي تزداد عدد مرات تبديل المدخرات خلال عمر المشروع ومن خلال الدراسة الإقتصادية وبأخذ عامل التعجيل في حساب كلفة المدخرات بالحسبان تبين أنه كلما كان معدل عمق التفريغ أقل كلما انخفضت كلفة نظام التخزين خلال عمر المشروع . وبالتالي انخفضت كلفة أنتاج وحدة الطاقة الكهربائية من النظم الكهرضوئية المستقلة ، وتختلف قيم هذا الجدول تبعا لنوع المدخرات أي تبعا لمنحني عدد دورات الشحن والتفريغ بدلالة عمق التفريغ وهذا يعود إلى أن العلاقة بين عمر المدخرة وعمق التفريغ علاقة غير خطية ، مع ملاحظة أنه يجب أن يتم اختيار قيمة معدل عمق التفريغ للمدخرات بحيث تحقق عمر يتناسب مع العمر الكلي للنظام لينتج لدينا عدد صحيح لعدد مرات تبديل المدخرات خلال عمر المشروع ، والشكل(3-15) يبين تأثير عمق تفريغ المدخرات على عمر المدخرات وعلى كلفة انتاج وحدة الطاقة الكهربائية من النظام الكهرضوئي المستقل الذي تم تنفيذه باستطاعة 12kW من أجل نفس سعة نظام التخزين .



الشكل (3-15) علاقة كلفة وحدة الطاقة الكهربائية بعمق تفريغ المدخرات في الأنظمة المستقلة .

نستنتج من خلال النتائج والمنحنيات العملية التي حصلنا عليها أن قيمة عمق تفريغ المدخرات النظرية تتراوح ما بين 10% و 80% ولكن عمليا يتم اختيار قيمتها ما بين 20% و 80% ، ووجدنا أن أفضل عمق تفريغ لمدخرة الرصاص الحامضية الجافة المستخدمة في مشروعنا هي 20% ولكن في تصميم هذا المشروع تم إعتماد نسبة عمق تفريغ مساوية لـ 49% وذلك لخفض سعة نظام التخزين إلى النصف تقريبا من أجل خفض الكلفة للمشروع الأولية لإرتباط تنفيذ هذا المشروع برأس مال محدد مسبقا من قبل الجهة الممولة ، وكانت عدد دورات الشحن والتفريغ 2920 دورة شحن لتحقق عمر 8 سنوات

للمدخرات ، وكانت كلفة وحدة الطاقة الكهربائية عند عمق تفريغ 49% مساوية لـ 19.9 ليرة سورية . حيث أن الهدف من تنفيذ هذا النظام دراسة العوامل المؤثرة على المدخرات في النظم المستقلة .

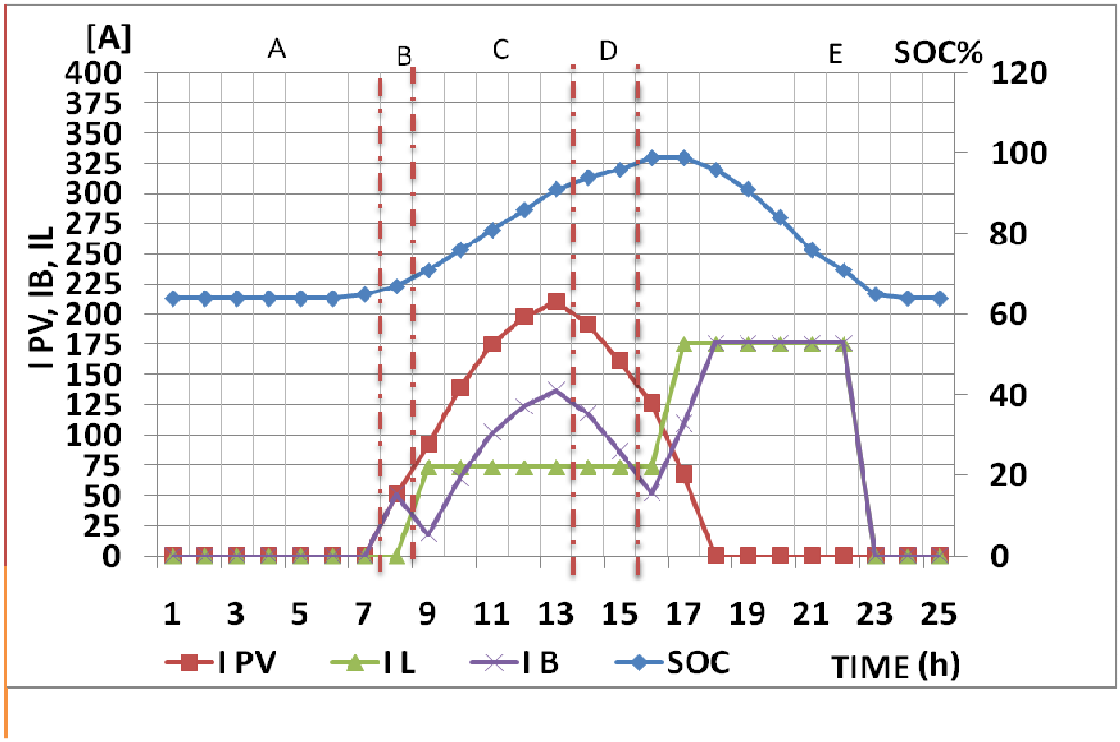
3-3 القياسات والنتائج

من خلال إجراء القياسات العملية على النظام وأخذ القراءات لكل من الشواحن والمعرجات وقياس تيار الحقل الكهرضوئي وتيار المدخرات وتيار الحمل خلال اليوم وإجراء هذه القياسات على مدار عام كامل بإختيار يوم نموذجي لكل شهر من أشهر السنة . فقد تم أخذ القياسات لـ 12 شهر ولكن سيتم وضع النتائج لشهرين مميزين وهما شهر كانون الأول في فصل الشتاء وشهر تموز في فصل الصيف بهدف إجراء المقارنة لهذه القيم، ويبين الجدول (3-2) القراءات لشهر كانون الأول في فصل الشتاء .

الجدول (3-2) القراءات لشهركانون الأول

U inv [V]	V Bat [V]	V mod [V]	P Load [W]	P G(pv) [W]	SOC %	I L (A)	I B (A)	I PV (A)	TIME (h)	D
230	24	0	0	0	64	0	0	0	0	17/12/2012
230	24	0	0	0	64	0	0	0	1	
230	24	0	0	0	64	0	0	0	2	
230	24	0	0	0	64	0	0	0	3	
230	24	0	0	0	64	0	0	0	4	
230	24	0	0	0	64	0	0	0	5	
230	24.5	0	0	0	65	0	0	0	6	
230	25	26	0	1326	67	0	51	51	7	
230	25	26.5	1702	2438	71	74	18	92	8	
230	26	27	1702	3753	76	74	65	139	9	
230	26	27	1702	4752	81	74	102	176	10	
230	27	28	1702	5544	86	74	124	198	11	
230	27	28.5	1702	6013.5	91	74	137	211	12	
230	27.5	28	1702	5376	94	74	118	192	13	
230	28	28	1702	4508	96	74	87	161	14	
230	28.2	27	1702	3402	99	74	52	126	15	
230	28	26	4048	1742	99	176	109	67	16	
230	27.5	25	4048	0	96	176	177	0	17	
230	27	0	4048	0	91	176	177	0	18	
230	26	0	4048	0	84	176	177	0	19	
230	25	0	4048	0	76	176	177	0	20	
230	25	0	4048	0	71	176	177	0	21	
230	24	0	0	0	65	0	0	0	22	
230	24	0	0	0	64	0	0	0	23	
230	24	0	0	0	64	0	0	0	24	
			37.90	38.85	الطاقة الاجمالية اليومية (Wh)					

ومن خلال النتائج والقياسات التي أجريت على النظام في شهر كانون الأول تم رسم المنحنيات المبينة في الشكل (3-16) ليوم نموذجي في الشتاء لكل من تيار الحقل Ipv ، وتيار المدخرات IB، وتيار الحمل IL، وحالة شحن المدخرات SOC .



الشكل(3-16) تيار الحقل Ipv والمدخرات IB وتيار الحمل IL وحالة الشحن SOC ليوم نموذجي في الشتاء

شرح المنحنيات :

المنطقة:A (0H-7H) :

في هذه الفترة يكون تيار الحقل الكهرضوئي معدوم Ipv=0 ويغذى الحمل من المدخرات فقط .

المنطقة B (7H-8H) :

في هذه الفترة يزداد تيار الحقل الكهرضوئي ويستمر تغذية الحمل من المدخرات IB=IL .

المنطقة C (8H-13H) :

في هذه الفترة يكون تيار الحقل الكهرضوئي أكبر من تيار الحمل ويغذى الحمل من اللوحات الكهرضوئية Ipv > IL والتيار المتبقي يشحن المدخرات IB=Ipv-IL .

المنطقة D (13H-15H) :

في هذه الفترة يكون تيار الحقل الكهرضوئي أكبر من تيار الحمل Ipv > IL وتستمر تغذية الحمل من الحقل الكهرضوئي ويستمر شحن المدخرات لصل حالة الشحن SOC إلى SOCmax .

المنطقة E (15H-23H) :

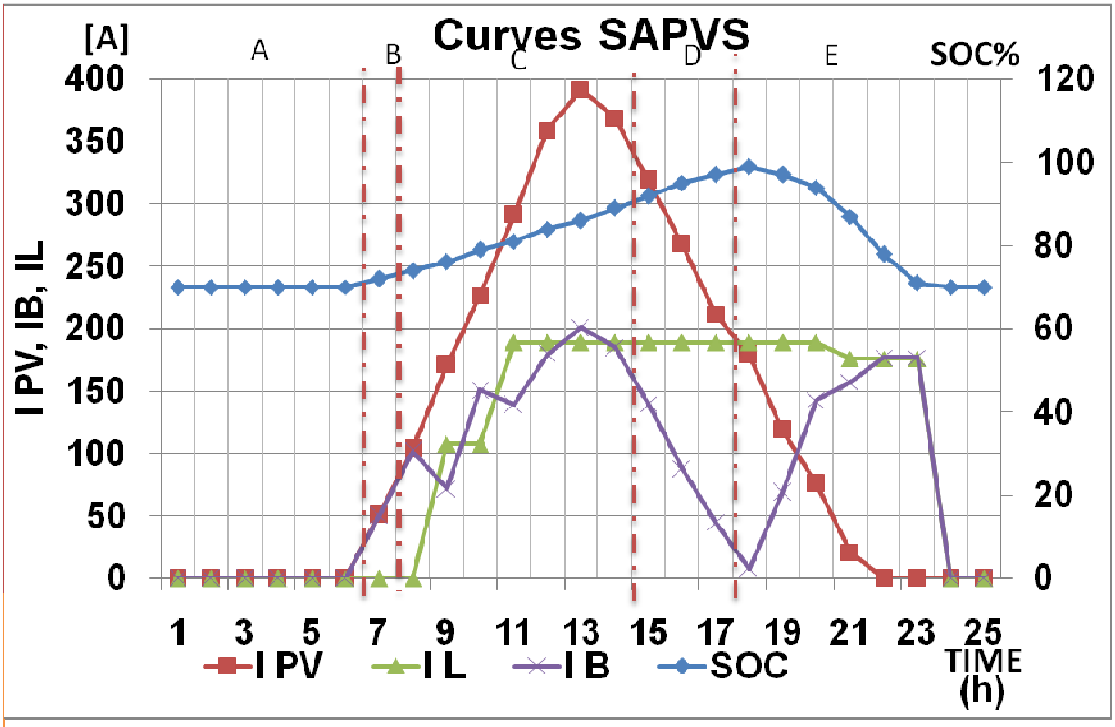
في هذه الفترة يكون تيار الحقل الكهرضوئي أصغر من تيار الحمل IL > Ipv وبالتالي يغذى الحمل من المدخرات وتبدأ نسبة الشحن SOC بالإنخفاض حتى انعدام Ipv ليصبح IB=IL .

ويبين الجدول (3-3) القراءات ليوم نموذجي في شهر تموز في فصل الصيف لكل من تيار الحقل الكهرضوئي Ipv ، وتيار المدخرات IB، وتيار الحمل IL، وحالة شحن المدخرات SOC .

الجدول (3-3) القراءات لشهر تموز

U inv [V]	V Bat [V]	V mod [V]	P Load [W]	P G(pv) [W]	SOC %	I L (A)	I B (A)	I PV (A)	TIME (h)	D
230	24	0	0	0	70	0	0	0	0	18/7/2012
230	24	0	0	0	70	0	0	0	1	
230	24	0	0	0	70	0	0	0	2	
230	24	0	0	0	70	0	0	0	3	
230	24	0	0	0	70	0	0	0	4	
230	24	0	0	0	70	0	0	0	5	
230	24.5	0	0	0	72	0	50	51	6	
230	25	26	0	2704	74	0	102	104	7	
230	25	26.5	2484	4531.5	76	108	72	171	8	
230	26	27	2484	6129	79	108	151	227	9	
230	26	27	4347	7857	81	189	139	291	10	
230	27	28	4347	10052	84	189	179	359	11	
230	27	28.5	4347	11143	86	189	201	391	12	
230	27.5	28	4347	10332	89	189	185	369	13	
230	28	28	4347	8932	92	189	140	319	14	
230	28.2	27	4347	7236	95	189	88	268	15	
230	28	26	4347	5512	97	189	45	212	16	
230	27.5	25	4347	4475	99	189	8	179	17	
230	27	0	4347	0	97	189	69	119	18	
230	26	0	4347	0	94	189	143	76	19	
230	25	0	4048	0	87	176	157	21	20	
230	25	0	4048	0	78	176	177	0	21	
230	24	0	4048	0	71	176	177	0	22	
230	24	0	0	0	70	0	0	0	23	
230	24	0	0	0	70	0	0	0	24	
			60582	78904	الطاقة الاجمالية اليومية (Wh)					

ومن خلال النتائج والقياسات التي أجريت على النظام في شهر تموز تم رسم المنحنيات المبينة في الشكل (3-17) ليوم نموذجي في فصل الصيف لكل من تيار الحقل Ipv ، وتيار المدخرات IB، وتيار الحمل IL، وحالة شحن المدخرات SOC.



الشكل(3-17) تيار الحقل Ipv والمدخرات IB وتيار الحمل IL وحالة شحن SOC ليوم نموذجي في الصيف

شرح المنحني :

المنطقة A (0H-6H) :

في هذه الفترة يكون تيار الحقل الكهرضوئي معدوم Ipv=0 ويغذى الحمل من المدخرات فقط .

المنطقة B (6H-7H) :

في هذه الفترة يزداد تيار الحقل الكهرضوئي ويستمر تغذية الحمل من المدخرات IB=IL .

المنطقة C (7H-14H) :

في هذه الفترة يكون تيار الحقل الكهرضوئي أكبر من تيار الحمل ويغذى الحمل من اللوحات الكهرضوئية Ipv > IL والتيار المتبقي يشحن المدخرات IB=Ipv-IL .

المنطقة D (14H-17H) :

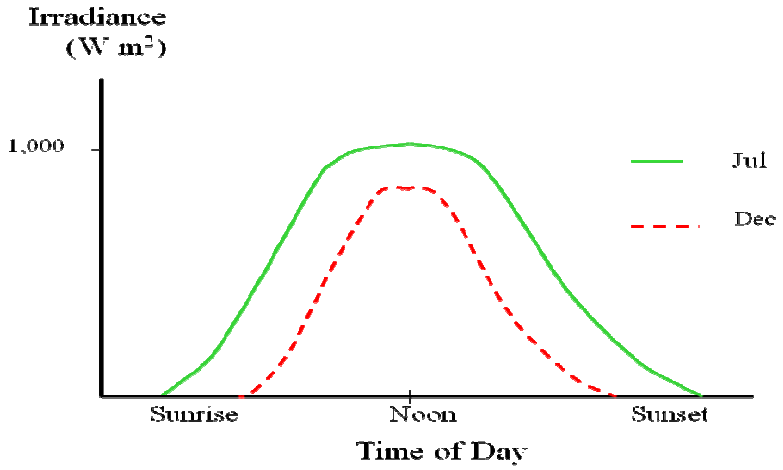
في هذه الفترة يكون تيار الحقل الكهرضوئي أكبر من تيار الحمل Ipv > IL وتستمر تغذية الحمل من الحقل الكهرضوئي ويستمر شحن المدخرات لصل حالة الشحن SOC إلى SOCmax .

المنطقة E (17H-24H) :

في هذه الفترة يكون تيار الحقل الكهرضوئي أصغر من تيار الحمل Ipv < IL وبالتالي يغذى الحمل من المدخرات وتبدأ نسبة الشحن SOC بالإنخفاض حتى انعدام Ipv ليصبح IB=IL .

4-3 حساب الفائض من الطاقة الكهربائية

يُولد النظام الكهروضوئي في أشهر الصيف فائض من الطاقة تزيد عن حاجة الحمل في فصل الشتاء وللإستفادة من هذه الطاقة الفائضة يجب إستغلالها في تغذية أحمال تعمل في هذه الأشهر من السنة فقط . وذلك بهدف رفع كفاءة كل من التوليد والإستهلاك لخفض كلفة وحدة الطاقة الكهربائية الناتجة من النظم الكهرضوئية المستقلة . ويبين الشكل (3-18) الاختلاف الكبير في طاقة الإشعاع الشمسي بين أشهر الصيف وأشهر الشتاء .



الشكل (3-18) منحنيات الاشعاع الشمسي لكل من شهر تموز وشهر كانون الأول

ولإيجاد الطاقة الكهربائية السنوية الفائضة والتي تزيد عن حاجة الأحمال الكهربائية الثابتة التي تم تصميم النظام الكهرضوئي على أساسها ، قمنا بحساب الطاقة الكهربائية الوسطية الناتجة من النظام لجميع أشهر السنة تبعا لقيمة الإشعاع الشمسي في كل شهر وبجمع هذه القيم نحصل على الطاقة الكهربائية النظرية المولدة من النظام سنويا .

- الطاقة الكهربائية السنوية الوسطية الناتجة من النظام الكهرضوئي نظريا

$$EA\,(Gen\,) = 19960 \quad (kWh\ /\ year\ )$$

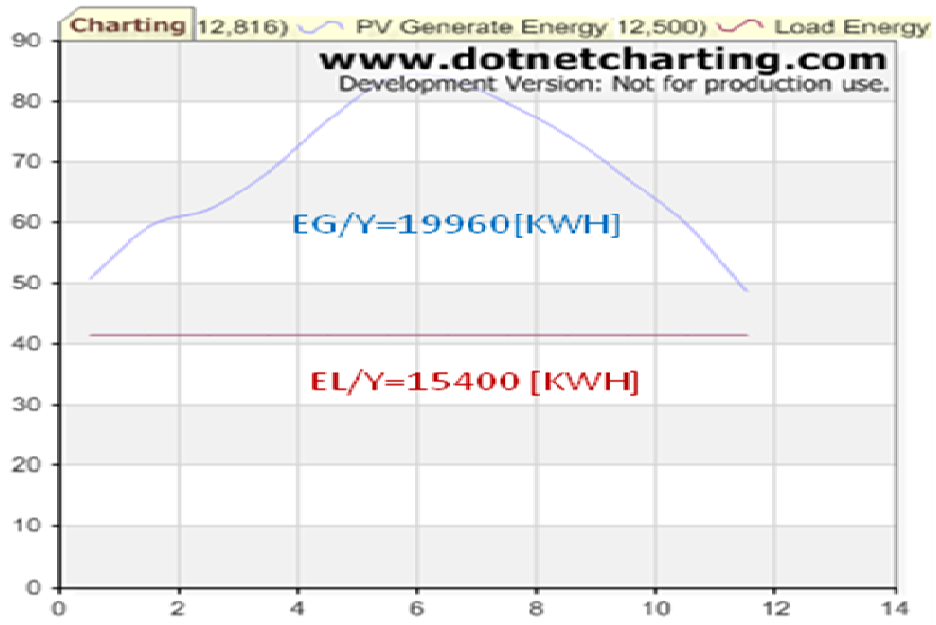
- الطاقة الكهربائية اللازمة للأحمال الكهربائية سنويا .

$$EA\,(Load\,) = 15400 \quad (kWh\ /\ year\ )$$

- الفائض السنوي من الطاقة الكهربائية المولدة .

$$EA\,(Loos\,) = 19960\ -15400\ = 4560 \quad (kWh\ /\ year\ )$$

وبعد إجراء الحسابات تم رسم منحنيات الطاقة المولدة والطاقة المستهلكة اليومية النظرية لجميع أشهر السنة كما هو مبين في الشكل (3-19) .



الشكل (3-19) مقارنة منحني الحمل ومنحني التوليد لجميع أشهر السنة (القيم النظرية).

ونلاحظ من هذه المنحنيات النظرية أن الطاقة الكهربائية المولدة الفائضة عن حاجة الحمل ناتجة عن طرح منحني التوليد السنوي EG/Y من منحني الإستهلاك EL/Y . وللاستفادة من هذه الطاقة الفائضة في أشهر الصيف والزائدة عن حاجة الحمل قمنا بتطبيق نظام بسيط لإدارة الأحمال الكهربائية عن طريق استخدام أحمال تعمل فقط خلال أشهر الصيف نهاراً وقد تم تغذية توربينات التهوية الخاصة بتجديد الهواء للمبنى بالتوازي مع أحمال ليلية ، وبذلك تم رفع منحني الإستهلاك ليحقق أقل فائض في الطاقة الكهربائية المولدة من الشهر الرابع إلى الشهر التاسع صيفا ، وقد تم قياس الطاقة الفائضة بعد تحسين منحني الحمل ليحقق أفضل توازن مع منحني التوليد عمليا كمايلي :

- الطاقة الكهربائية السنوية الوسطية الناتجة من النظام عمليا .

$$EA\,(Gen\,) = 20566 \quad (kWh\ /\ year\,)$$

- الطاقة الكهربائية المستهلكة بعد تطبيق نظام إدارة الأحمال الكهربائية .

$$EA\,(Load\,) = 17848 \quad (kWh\ /\ year\,)$$

- الفائض في القدرة الكهربائية السنوية بعد التحسين .

$$EA\,(Loos\,) = 20566 - 17848 = 2718 \quad (kWh\ /\ year\,)$$

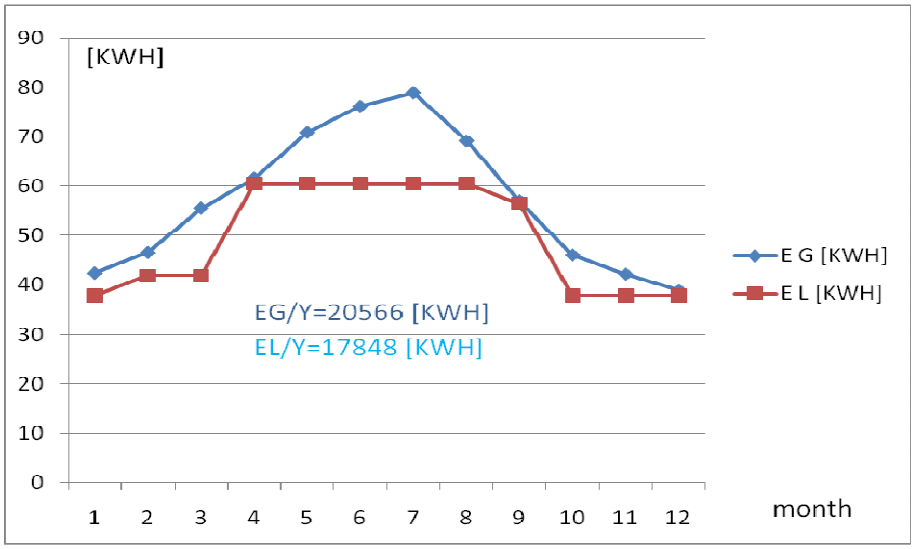
وبالتالي تم تخفيض مقدار الفائض السنوي من 4560kWh إلى 2718kWh .

وقد تم أخذ القياسات العملية لكل من الطاقة الكهربائية المولدة والمستهلكة ليوم نموذجي في كل شهر من أشهر السنة كما هو مبين في الجدول (3-4) ، لرسم منحنيات الحمل والتوليد العملية .

الجدول (3-4) قياسات كل من الطاقة المولدة والطاقة المستهلكة ليوم نموذجي لكل شهر من السنة

2012/الشهر	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول
الطاقة المولدة EG (kWh/day)	42.4	46.6	55.5	61.6	70.9	76.1	78.9	69.2	57.0	46.0	42.2	38.9
الطاقة المستهلكة EL (kWh/day)	37.9	42.0	42.0	60.6	60.6	60.6	60.6	60.6	56.5	37.9	37.9	37.9

وقد تم رسم مخطط بياني لكل من الطاقة المستهلكة والطاقة المولدة بدلالة أشهر السنة على جملة إحداثيات واحدة لمقارنة منحني الحمل مع منحني التوليد كما هو مبين في الشكل (3-20) .



الشكل (3-20) منحنيات الطاقة الكهربائية المولدة والمستهلكة الناتجة عن القياسات العملية لشهور السنة

ونلاحظ من هذه المنحنيات توازن مقبول لمنحني الحمل مع منحني التوليد لجميع أشهر السنة ما عدا الأشهر 8-7-6-5 حيث هناك طاقة كهربائية فائضة بسبب زيادة الإشعاع الشمسي في هذه الأشهر ويمكن الاستفادة من هذه الطاقة الضائعة بإضافة حمل آخر يعمل فقط في هذه الأشهر من السنة ، لنحصل بذلك على أفضل أداء لهذه النظام المستقلة بالإستفادة الكاملة من كامل الطاقة المولدة وتحقيق التوازن مابين الحمل والتوليد . ومن خلال مقارنة المنحنيات النظرية المبينة في الشكل (3-19) مع المنحنيات العملية المبينة في الشكل (3-20) نلاحظ وجود إختلاف في منحني التوليد وذلك نتيجة لإختلاف في قيم الإشعاع الشمسي مابين الواقع ومابين القيم المقاسة تبعا لليوم الذي تم فيه القياس وهذا ينعكس على قيمة الطاقة الكهربائية المولدة ولكن تعتبر النتائج العملية جيدة وقريبة من النتائج النظرية .

الفصل الرابع

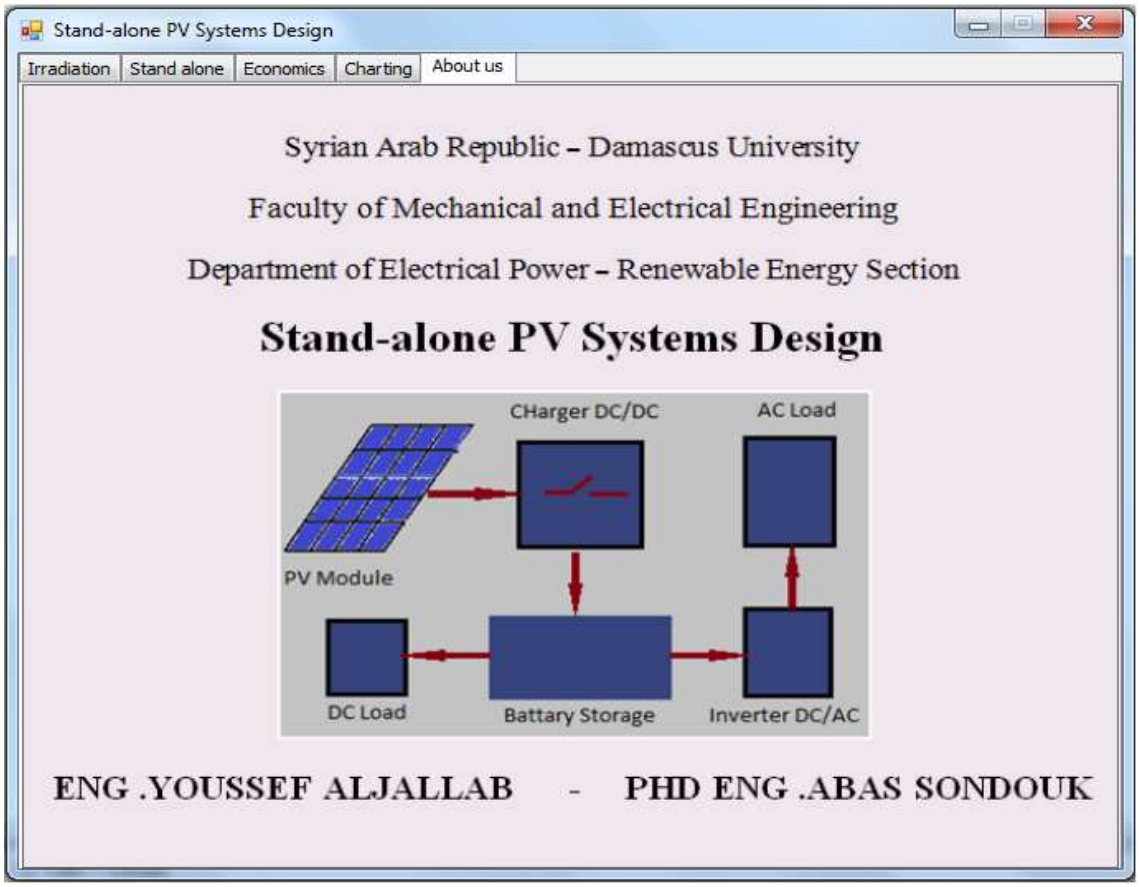
تنفيذ برنامج لتصميم النظم الكهروضوئية المستقلة باستخدام لغة البرمجة C#

4-1 مقدمة

إن اختيار لغة البرمجة لتصميم برنامج لتصميم النظام هو من الأمور الهامة ، إذ يجب أن تتوافر في لغة البرمجة صفات معينة مثل الأداء العالي لحل المعادلات الرياضية وتوفر المكتبات التي تدعم التعامل مع الواجهات بالإضافة إلى مكتبات التعامل مع الملفات ومن خلال الدراسة والبحث تبيّن لنا أن لغة الـ C++ هي لغة مناسبة كون ملفّاتها التنفيذية هي الأكثر جودة بين لغات البرمجة ، ولكن لسهولة الاستخدام وقع الخيار على لغة الـ C# ضمن بيئة الـ "دوت نت" حيث تعتبر هذه البيئة هي المعيار القياسي الذي تستخدمه عدة لغات برمجة . حيث تتميز هذه البيئة بمكتباتها الغنيّة بالإضافة إلى توفّر التوثيق "documentation" الجيد لهذه البيئة . كما أن لغة الـ C# هي لغة غرضيَّة التَّوجه و يمكننا من خلالها التعامل مع واجهات المستخدم بسهولة حيث تم استخدام عدد من المكتبات التي ساعدتنا في العمل مثل مكتبات التّعامل مع الملفّات ومكتبة رسم المخططات البيانية ومكتبات التوابع الحسابية ومكتبات الواجهات التي تزودنا بها بيئة الـ "دوت نت" . كما سنعرض في هذا الفصل المخططات الصندوقية والخوازميات والمعادلات الرياضية التي تم استخدامها في تصميم البرنامج بالإضافة لواجهات البرنامج ومراحل التّنفيذ .

4- 2 الخوارزميات والنماذج الرياضية

لقد تم تنفيذ برنامج تصميم النظم الكهرضوئية المستقلة ليساعدنا في تصميم النظم الكهروضوئية المستقلة بمختلف الاستطاعات الصغيرة والمتوسطة والكبيرة بالاضافة لإجراء لحسابات الاقتصادية لكلفة الطاقة الكهربائية الناتجة من النظام الذي تم تصميمه على هذا البرنامج ويبين الشكل (4-1) الواجهة الرئيسية للبرنامج الذي تم تنفيذه باستخدام لغة الـ C# .



الشكل (4–1) الواجهة الرئيسية لبرنامج تصميم النظم الكهروضوئية المستقلة المنفذ ضمن الأطروحة

ولسهولة التعامل مع البرنامج تم تقسيمه إلى أربعة أجزاء رئيسية وهي كالآتي :

الجزء الأول : الإشعاع الشمسي

يتم حساب الطاقة الإشعاعية الإجمالية اليومية على وحدة المساحة من السطح المائل بزاوية β لكل شهر من شهور السنة G(β) ، وتتضمن هذه الخطوة مجموعة من الخيارات لتحديد الطاقة الشمسية الملائمة لتصميم النظام (إشعاع أصغري ، وسطي ، أعظمي) تبعا لشهر التصميم للنظام المدروس، بالإضافة لحساب الزوايا المثلى لكل شهر من شهور السنة تبعا لقيمة الإشعاع الشمسي الأعظمي للحصول على أكبر طاقة ممكنة ليتم استخدام هذه الزوايا في تصميم نظام تتبع الشمس Tracking (System) .

الجزء الثاني:تصميم النظام الكهروضوئي المستقل

يعتبر خرج الجزء الأول G(β) كدخل لتصميم النظام الكهروضوئي المستقل عن الشبكة، بالإضافة لحساب الطاقة اللازمة للأحمال الكهربائية ، وتُحسب مساحة حقل الألواح واستطاعة الحقل وعدد اللوحات الكهرضوئية وطريقة التوصيل بين اللوحات تبعا لاستطاعة وتوتر النظام . كما ويُحسب عدد وسعة المدخرات اللازمة لتغطية الحمل ليلاً أو في الأوقات الغائمة .

الجزء الثالث:الحسابات الاقتصادية والقدرة الكهربائية السنوية

يتم في هذا الجزء حساب الطاقة الكهربائية التي يعطيها النظام الكهروضوئي في الحالتين ، حالة وجود نظام تتبع الشمس ، وحالة عدم وجوده . ويقوم بحساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية .

الجزء الرابع : رسم منحنيات الخرج

يتم رسم مخطط بياني لقيم شدة الإشعاع الشمسي في اليوم لكل شهر من شهور العام على جملة إحداثيات واحدة لمقارنة قيمة شدة الإشعاع الشمسي عند زوايا ميل مختلفة ابتداءً من 5 درجات وانتهاءً بـ 90 درجة بتغير قدره 5 درجة ، ويتم رسم مخطط بياني للحمل ورسم مخطط بياني للطاقة الكهربائية التي يعطيها النظام الكهروضوئي بدلالة أشهر العام على جملة إحداثيات واحدة لمقارنة الحمل مع التوليد (توازن الحمل والتوليد).

4-2-1 واجهة حسابات الإشعاع الشمسي

تم تنفيذ هذه الواجهة من خلال بناء خوارزمية حساب الإشعاع الشمسي على سطح مائل واستخدام المعادلات الرياضية الخاصة بذلك، وتم وضع الواجهة الخاصة بحسابات الإشعاع الشمسي وتحتوي نتائج التصميم الخاصة بالمشروع العملي لأطروحة الماجستير كمثال تطبيقي عملي .

4-2-1-1 خوارزمية حساب شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل

يتم بناء الخوارزمية اللازمة لحساب الإشعاع الشمسي على سطح مائل لكل يوم من أيام السنة باستخدام الخطوات التالية :

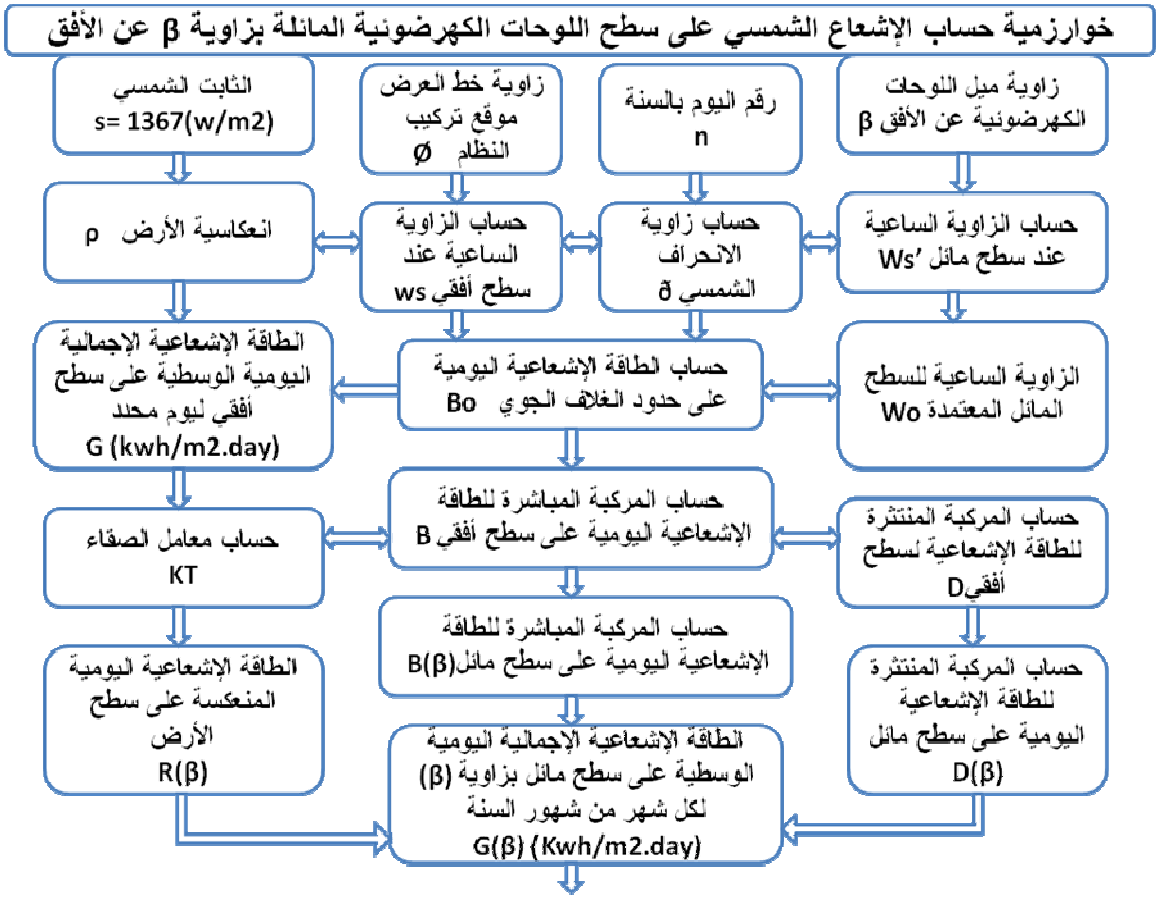
1. إدخال المعطيات التالية:

- رقم اليوم في السنة n ويؤخذ من جدول الأيام النموذجية لكل شهر من السنة الجدول (1-1) "تحفظ ضمن البرنامج".
- الثابت الشمسي يساوي S= 1367W/m2 "يحفظ ضمن البرنامج" .
- زاوية خط العرض لموقع تركيب النظام ϕ ويتم إدخال قيمتها من قبل المصمم .
- الطاقة الإشعاعية الإجمالية اليومية الوسطية على سطح أفقي لكل شهر من السنة G وهي قيم متعلقة بموقع تركيب الألواح وتؤخذ إما من خلال القياس على مدار العام أو من أطلس الإشعاع الشمسي ويتم إدخال قيمها من قبل المصمم .
- انعكاسية الأرض Ground Reflectivity (ρ) ويتم إدخال قيمتها من قبل المصمم تبعا لطبيعة موقع التركيب وتؤخذ من الجدول (1-2) .

- حساب الزوايا الشمسية: زاوية الانحراف الشمسي لكل أيام السنة δ، الزاوية الساعية عند سطح أفقي ω_s، الزاوية الساعية عند سطح مائل $\acute{\omega}_s$ ، الزاوية الساعية الأصغرية ω_0 . ويتم حساب هذه الزوايا ضمن البرنامج دون إظهار قيمها.

2. حساب B_o وهي الطاقة الإشعاعية اليومية على حدود الغلاف الجوي Extraterrestrial daily irradiation ويتم حساب قيمتها ضمن البرنامج دون إظهار قيمها .
3. حساب K_T معامل الصفاء Clearness index الذي يصف الإضعاف الوسطي للإشعاع الشمسي من قبل الغلاف الجوي لكل شهر من شهور السنة لموقع تركيب النظام الكهروضوئي ، ويتم حساب قيمتها ضمن البرنامج دون إظهار قيمها .
4. حساب D المركبة المنتثرة Diffuse للطاقة الإشعاعية اليومية على سطح أفقي لكل شهر ، ويتم حساب قيمتها ضمن البرنامج دون إظهار قيمها.
5. حساب B المركبة المباشرة Beam للطاقة الإشعاعية اليومية على سطح أفقي لكل شهر ، ويتم حساب قيمتها ضمن البرنامج دون إظهار قيمها .
6. حساب الإشعاع المباشر B(β) على السطح المائل بزاوية β عن الأفق حيث يقوم هذا الجزء من البرنامج بأخذ قيم للزاوية β من 0^o وحتى ^{o} 90 بتغير قدره ^{o} 5 درجات، ويتم حساب قيمتها ضمن البرنامج دون إظهار قيمها .
7. حساب (β) D وهي الطاقة الإشعاعية المنتثرة على السطح المائل ، ويتم حساب قيمتها ضمن البرنامج دون إظهار قيمها .
8. حساب (β) R وهي الطاقة الإشعاعية المنعكسة عن سطح الأرض ، ويتم حساب قيمتها ضمن البرنامج دون إظهار قيمها .
9. حساب الطاقة الإشعاعية الإجمالية اليومية على وحدة المساحة من السطح المائل لكل شهر من شهور السنة (β) G ، ويتم حساب قيمتها ضمن البرنامج و إظهار قيمها على واجهة البرنامج .

والشكل (4–2) يبين المخطط الصندوقي لحساب شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل(β) G .



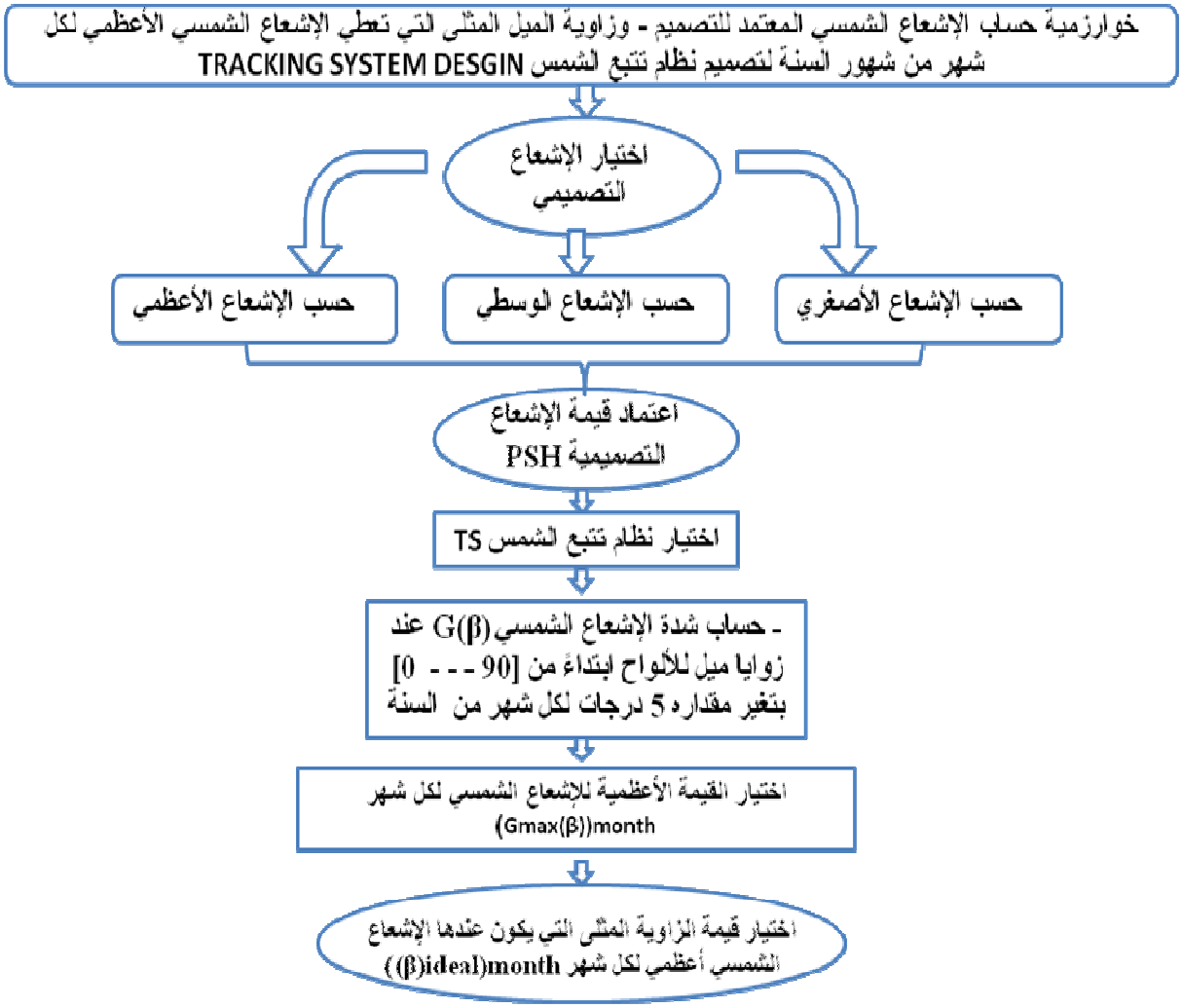
الشكل (4-2) المخطط الصندوقي لحساب شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل . [10]

4-2-1-2 خوارزمية حساب الإشعاع الشمسي المعتمد وزاوية الميل المثلى

يتم بناء الخوارزمية اللازمة لحساب شدة الإشعاع الشمسي على السطح المائل بزاوية β والمعتمد في التصميم وحساب الزوايا المثلى لكل شهر والخاصة بنظام تتبع الشمس بإتباع الخطوات الآتية :

1. حساب قيمة الإشعاع الشمسي الأصغري على سطح مائل عن طريق اختيار القيمة الصغرى من قيم الإشعاع الشمسي لشهور السنة 12 قيمة .
2. حساب قيمة الإشعاع الشمسي الوسطي على سطح مائل عن طريق اختيار القيمة الوسطى من قيم الإشعاع الشمسي لشهور السنة 12 قيمة .
3. حساب قيمة الإشعاع الشمسي الأعظمي على سطح مائل عن طريق اختيار القيمة العظمى من قيم الإشعاع الشمسي لشهور السنة 12 قيمة .
4. اختيار القيمة المعتمدة للإشعاع الشمسي PSH (الأصغري ، الوسطي ، الأعظمي) وهذا يتعلق بوثوقية الحمل ودرجة أهمية الأحمال ويتم الاختيار من قبل المصمم وهذا الاختيار ينعكس بشكل كبير على استطاعة النظام المركبة وبالتالي الكلفة الاقتصادية .

5. حساب قيم شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل من أجل قيم مختلفة لـ β ابتداءً من 5 درجات وانتهاءً بـ 90 درجة بتغير قدره 5 درجة ويتم الحساب ضمن البرنامج فقط .
6. اختيار القيمة العظمى لشدة الإشعاع الشمسي لكل شهر من شهور السنة Gmax(β)month المحسوبة من الخطوة 5 ويتم اختيار زاوية الميل المثلى التي تعطي قيمة أعظمية للطاقة الإشعاعية الإجمالية الساقطة سنويا على المتر المربع لكل شهر من شهور السنة . ويتم إظهار النتائج على الواجهة الرئيسية للإشعاع الشمسي والخاصة بنظام تتبع الشمس ، حيث أن الهدف من إيجاد زاوية الميل المثلى للألواح الكهروضوئية يضمن الحصول على أعظم قيمة للإشعاع الشمسي على مدار العام وبالتالي الحصول على أكبر قدر ممكن من الطاقة الكهربائية من النظام الكهروضوئي مما ينعكس على الكلفة الاقتصادية . ويبين الشكل (3-4) المخطط الصندوقي لحساب شدة الإشعاع الشمسي والزوايا المثلى لكل شهر من السنة الخاصة بنظام تتبع الشمس العامودي .



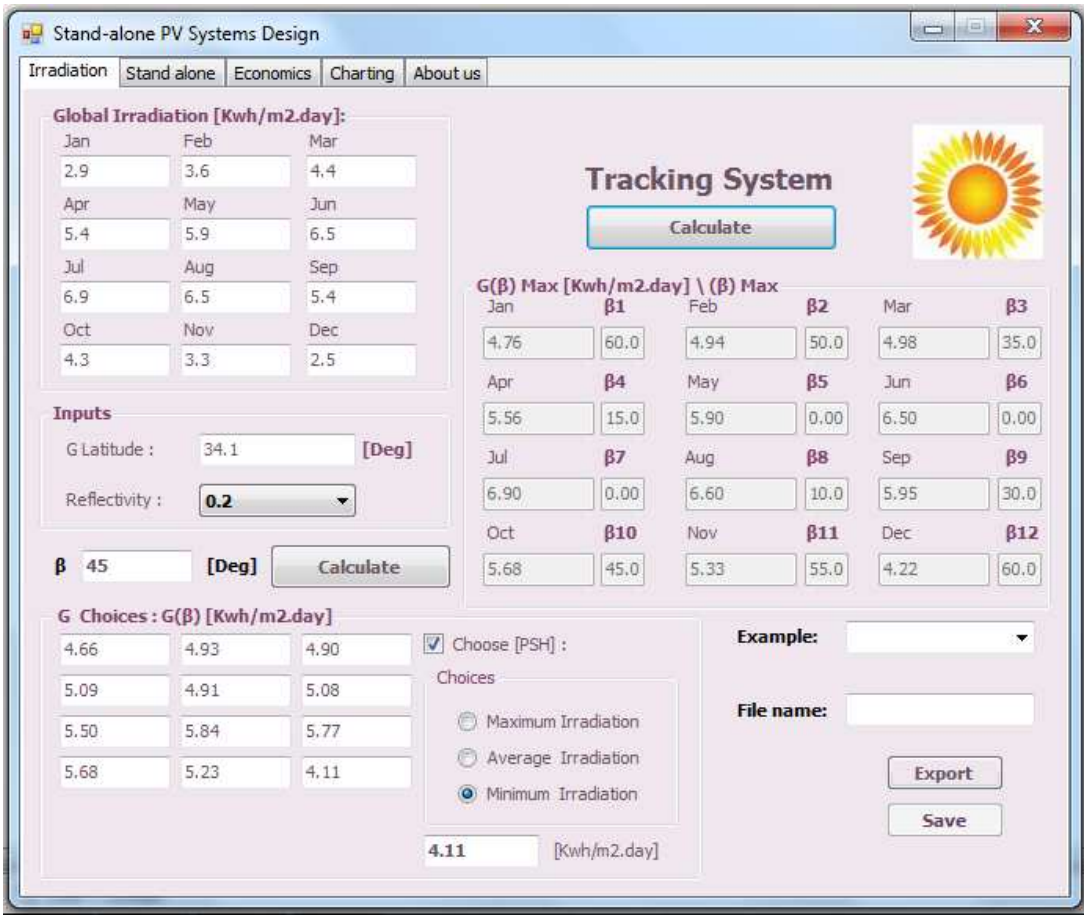
الشكل (3-4) المخطط الصندوقي لحساب شدة الإشعاع الشمسي المعتمد وحساب الزوايا المثلى لكل شهر . [10]

4-2-1-3 الواجهة الرئيسية لحسابات الإشعاع الشمسي

تتضمن هذه الواجهة خلاصة جميع الخوارزميات السابقة والمعادلات الرياضية الخاصة بحسابات الإشعاع الشمسي ، بحيث يقوم المصمم بإدخال المحددات التالية :

- الطاقة الإشعاعية الإجمالية اليومية الوسطية على سطح أفقي لكل شهر من شهور السنة . G (kWh/m²/ day)
- زاوية خط العرض لموقع تركيب النظام ϕ .
- انعكاسية الأرض ρ .
- زاوية ميل الألواح الكهروضوئية β .

وعند القيام بإجراء الحسابات بضغط الزر Calculate سيظهر خرج هذه الواجهة وهو الطاقة الإجمالية الإشعاعية على السطح المائل لكل شهور السنة G(β) وتتضمن هذه الواجهة من البرنامج مجموعة من الخيارات مثل اختيار الإشعاع الوسطي أو الأعظمي أو الأصغري من أجل قيمة محددة للزاوية β ، وذلك لتحديد الإشعاع الشمسي المعتمد ليستخدم في المراحل التالية ، كما تتضمن هذه الواجهة نتائج نظام تتبع الشمس (قيمة الإشعاع الأعظمي لكل شهر من شهور السنة Gmax(β) والزاوية المقابلة له βideal) كما في الشكل (4-4) واجهة حساب الإشعاع الشمسي.



الشكل(4-4) واجهة البرنامج لبحساب قيمة الإشعاع الشمسي المعتمد وقيم الزوايا الخاصة بنظام تتبع الشمس

4-2-2 واجهة تصميم النظام الكهروضوئي المستقل

يعتبر خرج واجهة الإشعاع الشمسي G(β) كدخل لواجهة تصميم النظام الكهروضوئي المستقل، حيث يتم في هذه الصفحة حساب الطاقة الكهربائية اللازمة للأحمال الكهربائية ، وحساب محددات الحقل الكهروضوئي (استطاعة الحقل وعدد اللوحات الكهرضوئية وطريقة الربط بينها تبعا لاستطاعة وتوتر النظام) ، وحساب محددات نظام التخزين (سعة المدخرات ، عدد المدخرات ، توتر المدخرة ، طريقة الربط بين هذه المدخرات) .

4-2-2-1 خوارزمية تصميم النظام الكهروضوئي المستقل

يتم بناء الخوارزمية اللازمة لحساب طاقة الأحمال الكهربائية ، الحقل الكهروضوئي ، نظام التخزين بإتباع الخطوات التالية :

أولاً: الأحمال الكهربائية

4. تحديد الطلب اليومي على الطاقة الكهربائية الحمل المستمر DC والحمل المتناوب AC ، حيث يتم تعديل الحمل المتناوب بقسمته على كفاءة المعرج IF لإيجاد الحمل المستمر المكافئ ومن ثم إضافة الحمل المستمر (إن وجد) .
5. إدخال توتر النظام V و تحويل الحمل المستمر الكلي من (Wh) إلى (Ah).
6. تحديد الحمل اليومي الوسطي تبعاً للشهر الذي يتم التصميم على أساسه وغالبا يؤخذ أكبر قيمة له وهو مساوي للواحد (معامل شهر التصميم DE-m F) .

ثانياً: الحقل الكهروضوئي

1. يتم استخدم بيانات الإشعاع الشمسي المحسوبة في واجهة الإشعاع الشمسي ، الإشعاع الشمسي المعتمد(عدد ساعات الإشعاع PSH عند sun 1 في اليوم للمكان المدروس في شهر التصميم) .
2. إدخال بيانات اللوحة الكهرضوئية المستخدمة وهي :

ME كفاءة اللوحة ، TC عامل تصحيح درجة الحرارة ، AM مساحة اللوحة الواحد، Vmp توتر اللوحة الاسمي ، Imp تيار اللوحة ، PM استطاعة اللوحة الاسمية .

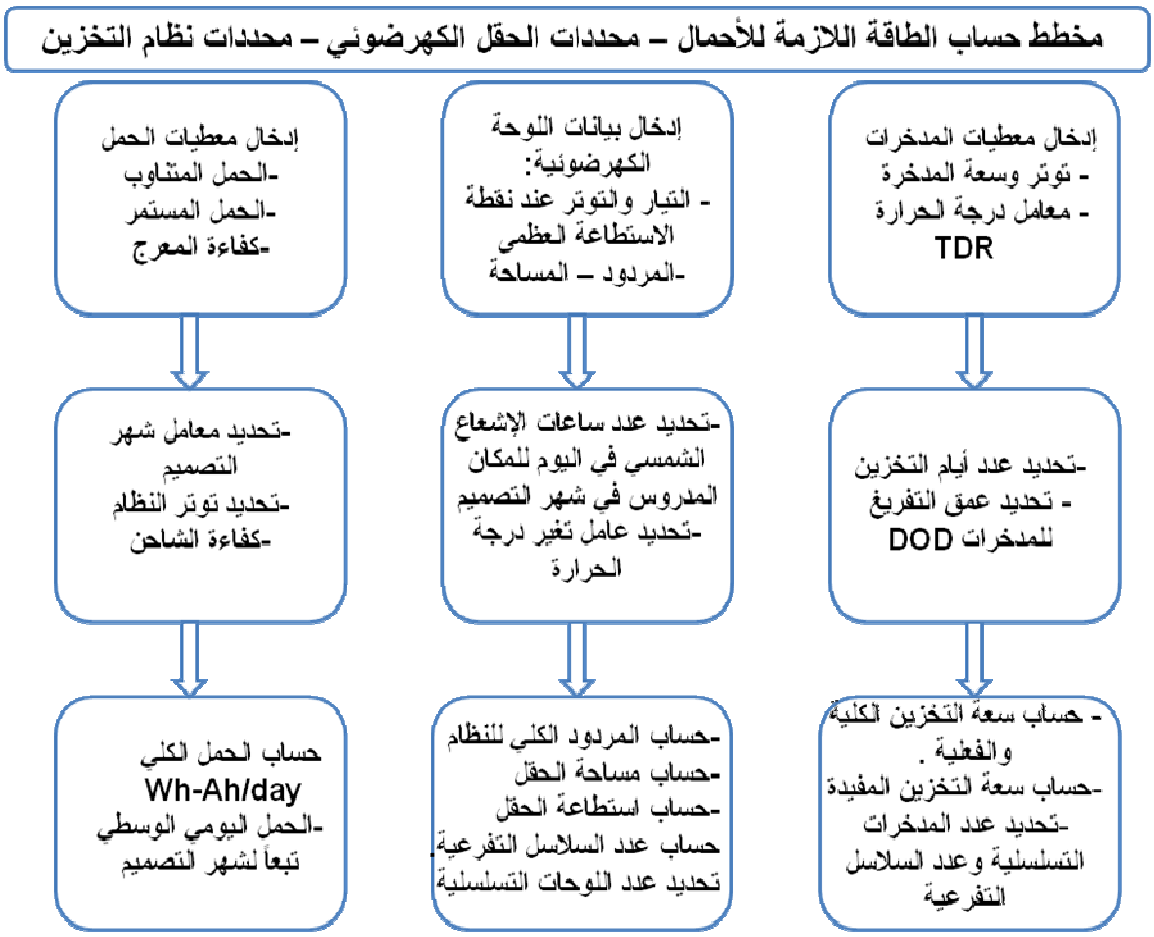
3. حساب المردود الكلي لنظام التخزين SE وهو حاصل جداء مردود الشاحن CHE بالمردود الكلي للمدخرات BE الذي يتم إدخالهم من قبل المصمم .
4. حساب مساحة الحقل الكهرضوئي اللازم لتلبية الأحمال المقررة في الخطوة (1) .

5. حساب العدد الكلي للوحات الكهروضوئية Number Of Module .
6. حساب استطاعة الحقل العظمى الذي تم حساب مساحته في الخطوة السابقة PA .
7. تحديد عدد اللوحات في السلسلة الواحدة .
8. حساب عدد السلاسل التفرعية في الحقل الكهرضوئي .

ثالثاً: المدخرات (نظام التخزين)

1. إدخال عدد أيام التخزين DOS ويتم إدخالها من قبل المصمم تبعا لعدد الأيام الغائمة .
2. إدخال توتر المدخرة BV ويتم إدخالها من قبل المصمم تبعا للمواصفات الفنية للمدخرة .
3. إدخال سعة المدخرة CB ويتم إدخالها من قبل المصمم تبعا للمواصفات الفنية للمدخرة .
4. إدخال عمق التفريغ للمدخرة DOD ويتم إدخالها من قبل المصمم وهذا المحدد مهم جدا في تحديد السعة الكلية لنظام التخزين وتحديد عمر المدخرات .
5. إدخال معامل درجة الحرارة ونسبة التفريغ TDR ويؤخذ من المواصفات الفنية للمدخرة .
6. إدخال كفاءة المدخرة BE ويؤخذ من المواصفات الفنية للمدخرة .
7. حساب القيمة المفيدة للتخزين US .
8. تحديد سعة التخزين الكلية TSC .
9. تحديد القيمة الفعلية للتخزين Actual C .
10. تحديد عدد المدخرات في السلسلة الواحدة NS .
11. تحديد عدد السلاسل التفرعية للمدخرات NP .

والشكل (4-5) يبين المخطط الصندوقي لحساب الطاقة الكهربائية اللازمة للأحمال – حساب محددات الحقل الكهرضوئي – حساب محددات نظام التخزين .



الشكل (4–5) المخطط الصندوقي لحساب محددات النظام الكهرضوئي المستقل . [10]

4–2–2–2 الواجهة الرئيسية لتصميم الأنظمة الكهروضوئية المستقلة

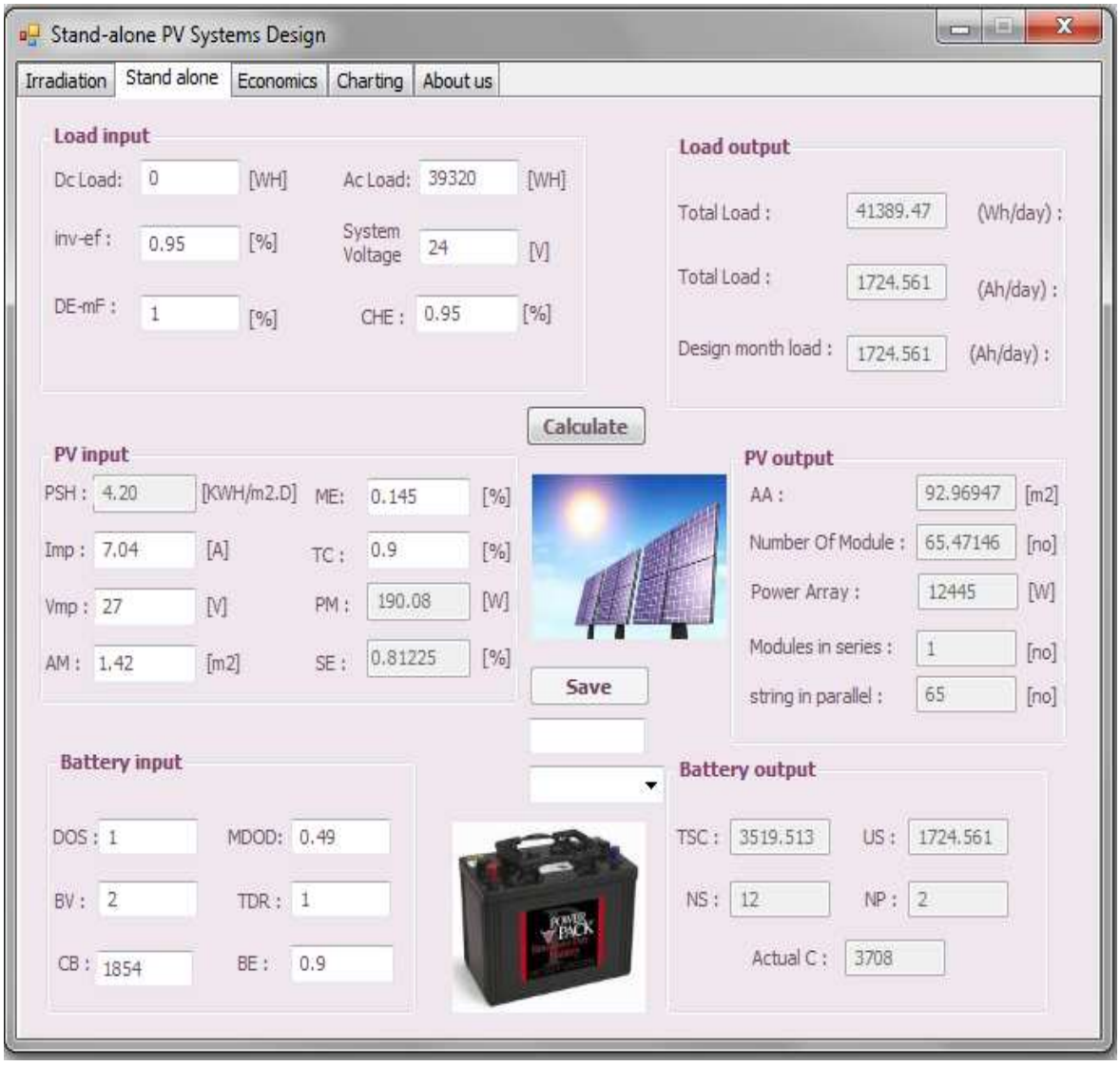
تتضمن هذه الواجهة خلاصة جميع الخوارزميات السابقة والمعادلات الرياضية الخاصة بحسابات الطاقة الكهربائية اللازمة للأحمال ، محددات الحقل (استطاعة الحقل ،المساحة المطلوبة ، استطاعة اللوحة الكهرضوئية ، عدد اللوحات ، عدد السلاسل التفرعية ، عدد اللوحات في السلسلة) ، توتر النظام ، حساب محددات المدخرات (سعة المدخرات ، عدد المدخرات المربوطة على التسلسل ، عدد السلاسل التفرعية) . حيث يقوم المصمم بإدخال المحددات التالية :

1. الحمل المستمر DC والحمل المتناوب AC وكفاءة المعرج IF وتوتر النظام V ومعامل شهر التصميم DE-m F. كفاءة الشاحن CHE.
2. بيانات اللوحة: كفاءة اللوح ME ، عامل تصحيح درجة الحرارة TC ، مساحة اللوحة AM ، توتر اللوحة الاسمي Vmp ، تيار اللوحة Imp، استطاعة اللوحة الاسمية PM.
3. بيانات المدخرات وتتضمن عمق التفريغ الأعظمي DOD ومعامل نسبة التفريغ ودرجة الحرارة TDR وعدد أيام الشحن DOS وتوتر البطارية الواحدة BV وسعتها CB وكفاءتها BE .

وعند القيام بإجراء الحسابات بضغط الزر Calculate سيظهر خرج هذه الواجهة وهو :

1. الحمل: ويتضمن الحمل المستمر الكلي بواحدة (Ah/day) والحمل المستمر الكلي بواحدة (Wh/day) و الحمل اليومي الوسطي تبعاً للشهر الذي تم التصميم على أساسه .
2. الحقل الكهروضوئي : ويتضمن مساحة الحقل AA اللازم لتلبية الأحمال المطلوبة والاستطاعة العظمى التي يعطيها الحقل PA وعدد اللوحات الكلي NOM وكذلك عدد اللوحات في السلسلة الواحدة وعدد السلاسل التفرعية .
3. المدخرات : وتتضمن سعة التخزين الكلية TSC والقيمة المفيدة للتخزين US والقيمة الفعلية للتخزين Actual C وعدد سلاسل المدخرات NP وعدد المدخرات في السلسلة الواحدة NS.

والشكل (4–6) يبين الواجهة الخاصة بحساب الأحمال–حقل الألواح – بنك المدخرات .



الشكل (4–6) واجهة البرنامج الخاصة بحساب الأحمال–حقل الألواح – بنك المدخرات

4-2-3 واجهة حساب الطاقة الكهربائية المولدة والكلفة الاقتصادية

يتم في هذا الجزء حساب الطاقة الكهربائية التي يعطيها النظام الكهروضوئي في الحالتين ، حالة وجود نظام تتبع الشمس ، وحالة عدم وجوده . و حساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية في الحالتين أيضا .

4-2-3-1 خوارزمية حساب الطاقة الناتجة وكلفة وحدة الطاقة

يتم بناء الخوارزمية اللازمة لحساب القدرة السنوية الناتجة من النظام وكلفة وحدة الطاقة الكهربائية ، في حالة وجود نظام تتبع الشمس ، وفي حالة عدم وجوده كمايلي :

أ- إدخال المعطيات التالية:

- فترة التحليل (N) وغالبا يكون هو عمر المشروع .
- معدل الفائدة السنوية (d) .
- عامل التعجيل (i) .
- العمر الافتراضي للمدخرات (NB) تبعا لنسبة التفريغ .
- CPV سعر اللوحات الكهروضوئية .
- CB سعر المدخرات .
- Cc سعر الشواحن (تجهيزات التحكم) .
- Cinv سعر المعرج .
- Cwp كلفة الكابلات وتجهيزات الحماية لكل من التيار المستمر والتيار المتناوب .
- Co تكاليف أخرى مثل (كلفة القواعد الحاملة للألواح ،.....) .
- Cinst تكاليف التركيب ووضع النظام في الخدمة .
- CTc تكاليف نظام الملاحقة إن وجد .
- MOR نسبة تكاليف الصيانة والتشغيل تؤخذ كنسبة مئوية من التكاليف الإجمالية .

ب- حساب كلفة وحدة الطاقة بإتباع الخطوات التالية :

1- حساب I عدد مرات تبديل المدخرات .

2- حساب CBI كلفة المدخرات المعجلة التي ستركب على مدى عمر النظام .

3- حساب C_{BIPW} .

4- حساب (M / yr) كلفة الصيانة والتشغيل السنوية الحالية .

5- حساب C_{MOPW} كلفة الصيانة والتشغيل المعجلة على مدى عمر المشروع .

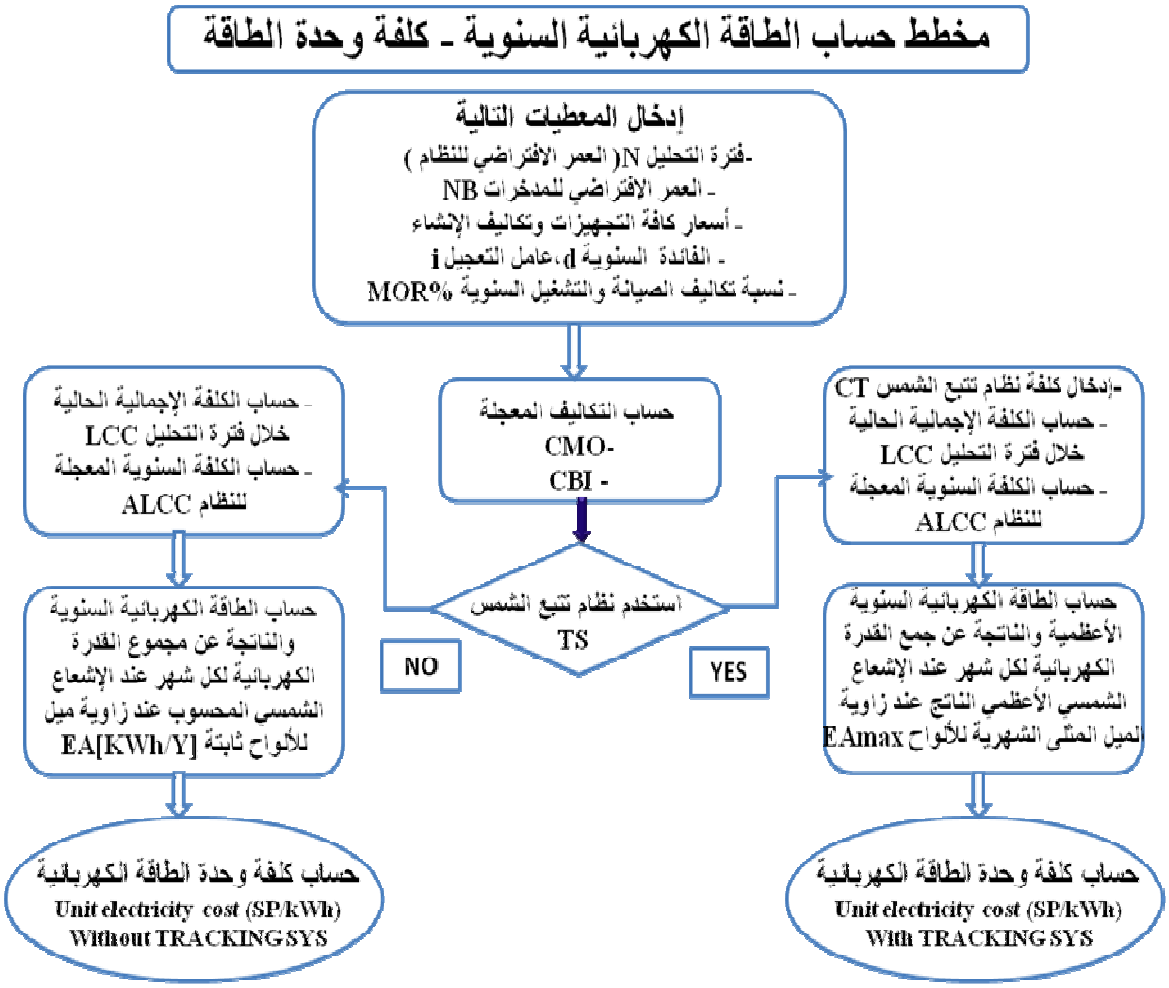
6- حساب LCC الكلفة الإجمالية الحالية للمشروع على مدى فترة التحليل (عمر المشروع) في كلا الحالتين (حالة وجود نظام تتبع للشمس وحالة عدم وجوده) .

7- حساب ALCC الكلفة السنوية المعجلة لكامل النظام في كلا الحالتين (حالة وجود نظام تتبع للشمس وحالة عدم وجوده) .

8- حساب الطاقة الكهربائية المولدة في السنة كلا الحالتين (حالة وجود نظام تتبع للشمس وحالة عدم وجوده) .

9- حساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية Unit electricity cost والناتجة من النظام في كلا الحالتين(حالة وجود نظام تتبع للشمس وحالة عدم وجوده) .

والشكل (4-7) يبين المخطط الصندوقي لحساب الطاقة الكهربائية السنوية وحساب كلفة وحدة الطاقة.



الشكل (4-7) مخطط حساب الطاقة الكهربائية السنوية المولدة وحساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية . [10]

4-2-3-2 الواجهة الرئيسية لحساب الطاقة السنوية المولدة وكلفة وحدة الطاقة

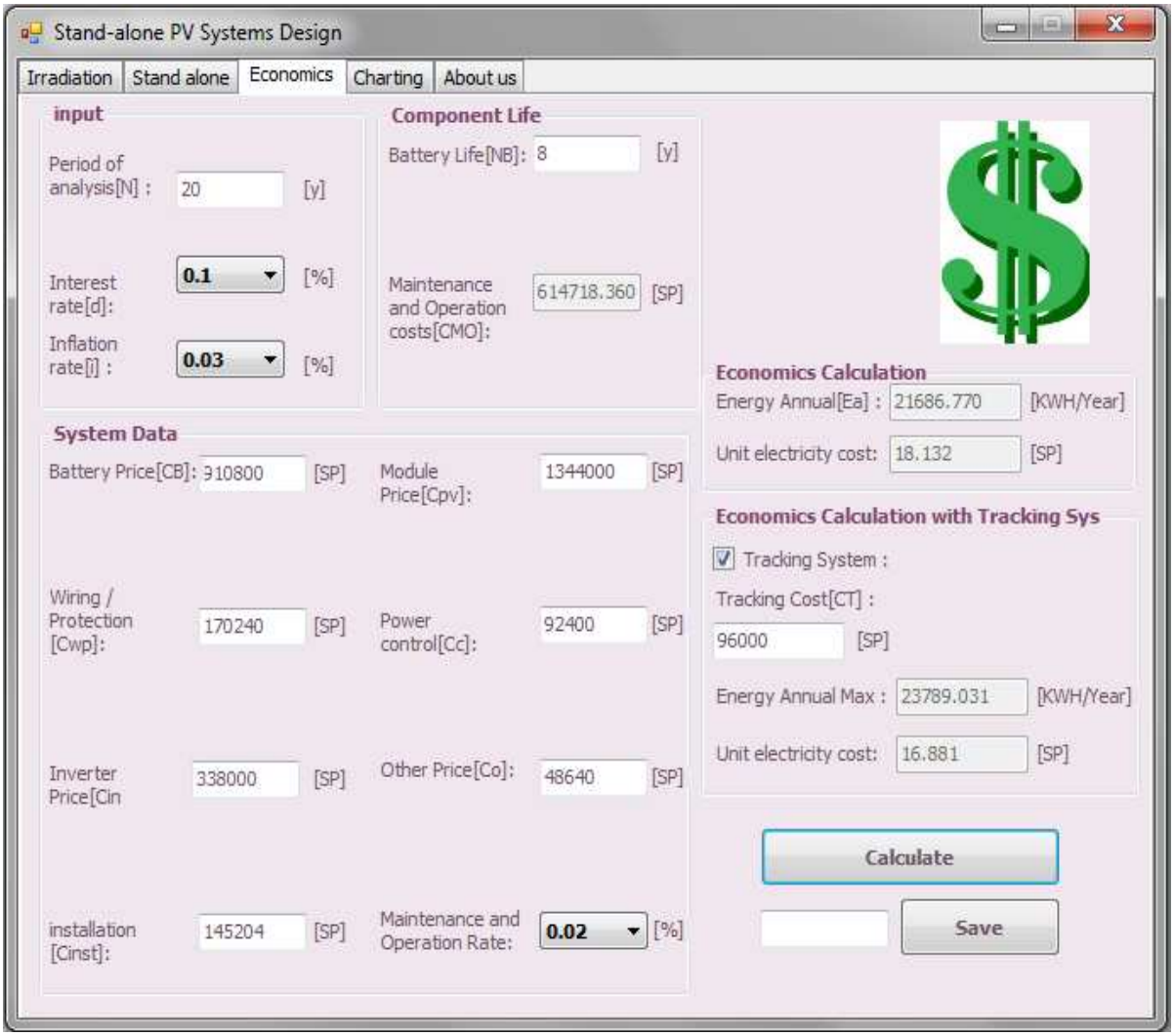
تتضمن هذه الواجهة خلاصة جميع الخوارزميات السابقة والمعادلات الرياضية الخاصة بحسابات القدرة الكهربائية السنوية الناتجة من النظام الكهروضوئي و حساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية .

حيث يقوم المصمم بإدخال المحددات التالية :

- فترة التحليل (N) .
- معدل الفائدة السنوية (d) .
- عامل التعجيل (i) .
- العمر الافتراضي للمدخرات (NB) .
- أسعار كافة التجهيزات Capital cost (سعر المدخرات ، سعر الألواح ، سعر تجهيزات التحكم ، سعر المعرج ، تكاليف التمديدات والهياكل الداعمة وتكاليف الإنشاء والتركيب) .
- نسبة تكاليف الصيانة والتشغيل MOR .
- كلفة نظام تتبع الشمس CT إن وجد .

وبالضغط على زر Calculate سيظهر خرج هذه الواجهة وهو :

- كلفة الصيانة والتشغيل المعجلة على مدى فترة التحليل (عمر النظام) CMO.
- الطاقة الكهربائية السنوية في الحالتين حالة وجود نظام ملاحقة وحالة عدم وجوده .
- كلفة وحدة الطاقة الكهربائية المولّدة في الحالتين حالة وجود نظام ملاحقة وحالة عدم وجوده. والشكل (4-6) يبين الواجهة الخاصة بحساب القدرة الكهربائية السنوية وحساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية.

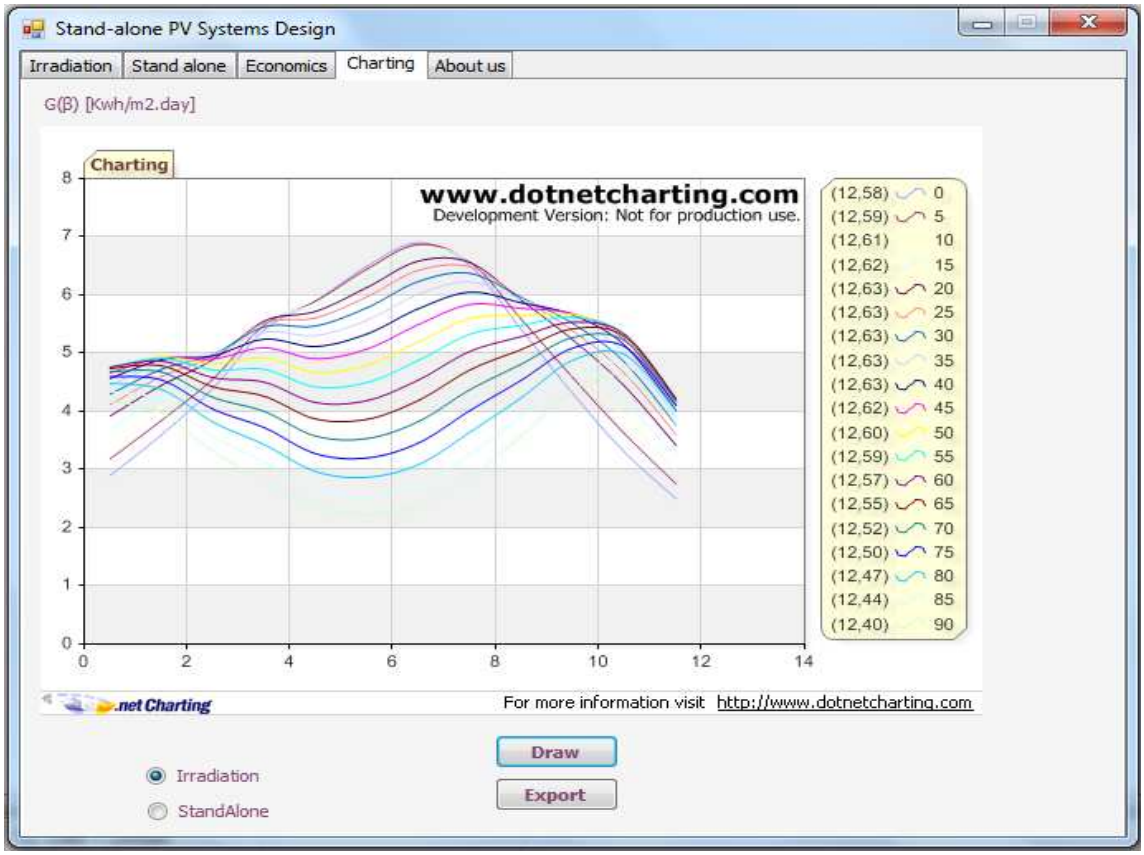


الشكل (4–8) واجهة البرنامج الخاصة بحساب الطاقة الكهربائية السنوية المولدة وكلفة وحدة الطاقة

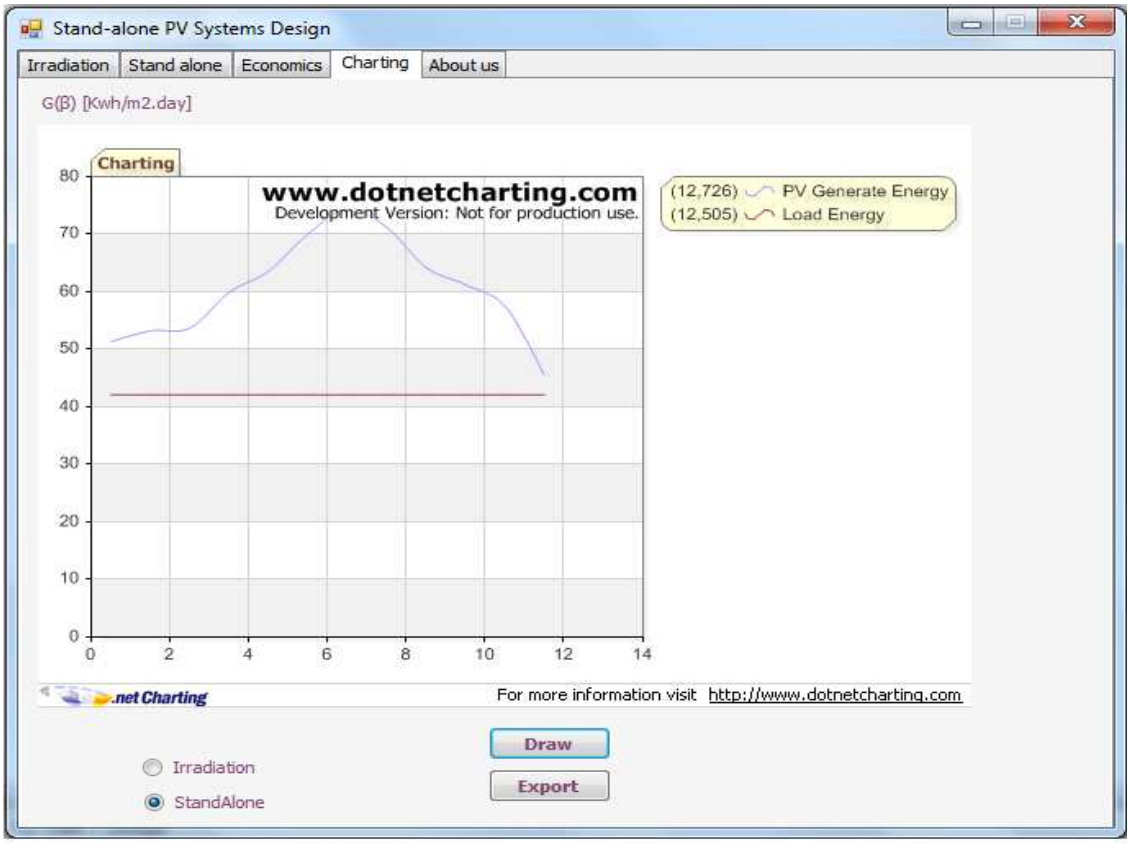
4–2–4 واجهة رسم منحنيات الخرج Charting Page

يتم رسم مخطط بياني لقيم شدة الإشعاع الشمسي في اليوم لكل شهر من شهور العام على جملة إحداثيات واحدة لمقارنة قيمة شدة الإشعاع الشمسي عند زوايا ميل مختلفة ابتداءً من 5 درجات وانتهاءً بـ 90 درجة بتغير قدره 5 درجة ، ويتم رسم مخطط بياني للحمل ورسم مخطط بياني للطاقة الكهربائية التي يعطيها النظام الكهروضوئي بدلالة أشهر العام على جملة إحداثيات واحدة لمقارنة الحمل مع التوليد (توازن الحمل والتوليد).

حيث يبين الشكل (4–9) منحنيات طاقة الإشعاع الشمسي اليومية لكل شهر من أشهر السنة عند قيم مختلفة لزاوية ميل الألواح الكهروضوئية β . ويبين الشكل (4–10) المقارنة بين منحني التوليد ومنحني الحمل لجميع أشهر السنة .



الشكل(4–9) منحنيات طاقة الإشعاع الشمسي اليومية لكل أشهر السنة عند قيم مختلفة لزاوية ميل اللوحات β



الشكل(4–10) منحنيات التوليد (الطاقة الكهربائية المولدة) ومنحنيات الحمل (الطاقة الكهربائية المستهلكة)

الفصل الخامس

الكلفة الاقتصادية وكلفة وحدة الطاقة الكهربائية للنظام الكهروضوئي المستقل باستطاعة *12kW*

5-1 مقدمة

نظراً إلى التكاليف العالية لإنشاء المحطات الكهرضوئية فإنه تجري الآن العديد من البحوث والدارسات التي تهدف بصفة رئيسية إلى خفض تلك التكلفة عن طريق تحسين كفاءة الخلايا الكهرضوئية وذلك بمعالجة تركيبها وخفض كلفة تصنيعها واستخدام عناصر جديدة من أنصاف النواقل . وتستخدم غالبا النظم الكهرضوئية المستقلة في المناطق النائية التي تكون فيها كلفة مد شبكات الطاقة الكهربائية مكلفة ، وتتوقف كلفة إنتاج الكهرباء من الخلايا الشمسية على عدة عوامل أهمها تكاليف إنشاء المحطة ، والعمر الافتراضي لها ، وتكاليف التشغيل والصيانة، وتكاليف تخزين الطاقة الكهربائية المولدة ، إضافة إلى معدل الإشعاع الشمسي في تلك المنطقة ، والظروف البيئية ، والعائد المادي من رأس المال المستثمر . وسيتم في هذا الفصل حساب الكلفة الاقتصادية وحساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية للنظام الكهرضوئي المستقل الذي تم تنفيذه باستطاعة 12kW ، مع الأخذ بالحسبان كلفة التركيب وتكاليف الصيانة والتشغيل على مدى عمر المشروع (فترة الدراسة) .

5-2 حساب الكلفة الاقتصادية وكلفة وحدة الطاقة الكهربائية

إن مشاريع النظم الكهروضوئية المستقلة تتصف من الناحية الاقتصادية بمايلي :

- كلفة إنشاء النظام Capital Cost عالية جدا مقارنة بطرق التوليد الأخرى .
- كلفة التشغيل معدومة حيث أن الوقود هو الإشعاع الشمسي .
- كلفة الصيانة منخفضة .
- كلفة تبديل منخفضة حيث تنحصر على تبديل المدخرات خلال عمر النظام .

ولحساب الكلفة الإجمالية للنظام (كلفة دورة الحياة LCC) وكلفة وحدة الطاقة الكهربائية المولدة UEC ، يجب معرفة بعض المعطيات وتحديدها لإجراء الحسابات اللازمة باستخدام المعادلات الخاصة بالحسابات الاقتصادية وذلك بإتباع الخطوات الآتية : **[16]**

1-فترة التحليل Period Of Analysis (N)

وغالبا يكون هو عمر المشروع حيث تم افتراض عمر المشروع من عمر الألواح الكهروضوئية، حيث أن العمر الوسطي لمحطات التوليد الشمسية تتراوح بين (Year) 25-15 .

$$N = 20 \qquad (year)$$

2- معدل الفائدة السنوية (d) Interest Rate

وهو يتعلق بقيمة رأس المال وقيمة القسط السنوي، وتم اعتماد قيمته عند الدراسة مساوياً لـ :

$$d = 10\%$$

3- عامل التعجيل (i) Inflation Rate:

وهو نسبة مئوية تنظم مقارنة الأشياء مع اختلاف الزمن، وعليه فهو العامل الذي يسمح بحساب قيم الأشياء التي جرى تبادلها في أزمنة مختلفة ، إن قيمة عامل التعجيل تؤثر بشكل كبير على كلفة وحدة الطاقة الكهربائية وقيمته تتعلق بالنواحي التالية :

- إن قيمة عامل التعجيل تابع لعامل الفائدة السنوية يتزايد بتزايده ويتناقص بتناقصه.
- إن قيمة عامل التعجيل تتعلق بأهمية المشروع فكلما كان المشروع أكثر أهمية كلما كان عامل تعجيله صغيرا، والعكس صحيح.
- إن قيمة عامل التعجيل تتعلق بالأموال الجاهزة والواردات المنتظرة فكلما كان رأس المال جاهز كلما صغر عامل التعجيل.
- إن قيمة عامل التعجيل تتعلق بالأموال الجاهزة وبواردات المشروع فكلما كانت كبيرة كلما صغر عامل التعجيل والعكس صحيح.

وتتراوح قيمة عامل التعجيل مابين % (1-10) ويؤخذ لمشاريع الطاقات المتجددة بحدود 3% .

$$i = 3\%$$

4- العمر الافتراضي للمدخرات Battery Life (NB)

وتعتمد قيمته على كل من عمق التفريغ DOD وعلى درجة حرارة مكان توضع المدخرات .

$$NB = 8 \qquad (year)$$

5- أسعار كافة التجهيزات Capital cost

وهي أسعار كل مكون من مكونات النظام الكهروضوئي باستطاعة 12KW وذلك عند سعر صرف للدولار خلال فترة تنفيذ المشروع (sp) 48=($)1 وهي كالآتي :

- كلفة المدخرات.

$$C_B = 911000 \qquad (sp)$$

- كلفة اللوحات الكهروضوئية.

$$C_{PV} = 1344000 \qquad (sp)$$

- كلفة الشواحن (تجهيزات التحكم) .

$C_C = 92500 \qquad (sp)$

- كلفة المعرجات .

$C_{INV} = 338000 \qquad (sp)$

- كلفة الكابلات وتجهيزات الحماية لكل من التيار المستمر والتيار المتناوب .

$C_{WP} = 170000 \qquad (sp)$

- تكاليف أخرى مثل (كلفة القواعد الحاملة للألواح ،.....) .

$C_O = 48500 \qquad (sp)$

- تكاليف التمديدات والهياكل الداعمة وتكاليف الإنشاء والتركيب .

$C_{Inst} = 145000 \qquad (sp)$

- تكاليف نظام الملاحقة إن وجد .

$C_{TC} = 96000 \qquad (sp)$

والجدول (5-1) يبين كلفة كل عنصر من عناصر النظام على حدا كتابع لوحدة قياس الإستطاعة .

الجدول (5-1) الكلفة الاقتصادية لعناصر النظام كنسبة مئوية من استطاعة النظام الكهروضوئي المستقل

كلفة النظام الكهرضوئي المستقل باسطاعة مركبة 12kW					
اللوحات الكهروضوئية	المدخرات	منظمات الشحن	المعرجات	الكابلات ،أجهزة الحماية	التركيب
110.5 (SP/W)	23 (SP/Ah)	165 (SP/A)	65 (SP/VA)	18 (SP/W)	12 (SP/W)
الكلفة الإجمالية :	3049000 (SP)			251 (SP/W)	

6- نسبة تكاليف الصيانة والتشغيل Maintenance& Operation Rate (MOR)

ويقصد بها النفقات السنوية للصيانة الدورية الثابتة غير المتعلقة بالإنتاج وتقدر هذه التكاليف كنسبة مئوية من قيمة المشروع، والجدول (5-2) يبين بعض القيم لنسبة الصيانة والتشغيل الدورية تبعا لنوع المنشأة.

الجدول (5-2) قيم نسبة الصيانة والتشغيل الدورية تبعا لنوع المنشأة[4]

نوع المنشأة	M&O RATE (%)
محطة توليد مائية	0.5
محطة توليد نووية	2-4
محطة توليد بخارية	1
محطة توليد ديزل	2
محطة توليد دورة مركبة	1.5
محطة توليد غازية	0.7
محطة توليد الطاقة الكهرضوئية (عمر وسطي 20y)	2

$$MOR = 2\%$$

7-حساب القيم المعجلة لنظام التخزين على مدى عمر النظام C_{BIPW} كمايلي :

- حساب المحدد I وهو عدد مرات تبديل المدخرات خلال فترة عمر المشروع.

$$I = \frac{N}{NB} - 1 \qquad (5-1)$$

$$I = \frac{20}{8} - 1 = 1.5$$

حيث يتم تقريب القيمة إلى الرقم الصحيح الأقرب .

$$I \approx 2$$

- حساب CBI كلفة المدخرات المعجلة التي ستركب على مدى عمر النظام .

$$C_{BIPW} = C_B \times \left[\frac{1+i}{1+d}\right]^{INB} \qquad (5-2)$$

فاذا كان I=2 عندها يتم الحساب على الشكل :

$$C_{B1} = C_B \times \left[\frac{1+i}{1+d}\right]^{1\times NB} \qquad (5-3)$$

$$C_{B1} = 911000 \times \left[\frac{1+0.03}{1+0.1}\right]^{8} = 538362 \qquad (sp)$$

$$C_{B2} = C_B \times \left[\frac{1+i}{1+d}\right]^{2\times NB} \qquad (5-4)$$

$$C_{B2} = 911000 \times \left[\frac{1+0.03}{1+0.1}\right]^{16} = 318149 \qquad (sp)$$

ويكون C_{BIPW} هو مجموع :

$$C_{BIPW} = C_{B1} + C_{B2} \qquad (5-5)$$

$$C_{BIPW} = 538362 + 318149 = 856512 \qquad (sp)$$

8-حساب كلفة الصيانة والتشغيل السنوية الحالية (M/yr) :

$$(M/yr) = (C_{pv} + C_B + C_c + C_{inv} + C_{wp}) \times MOR \quad (5-6)$$

$$(M/yr) = (1344+911+92.5+338+170) \times 1000 \times 0.02 = 57111 \quad (sp)$$

9-حساب كلفة الصيانة والتشغيل المعجلة على مدى عمر المشروع C_{MOPW}:

$$C_{MOPW} = (M/yr) \times \left[\frac{1+i}{1+d}\right] \times \left[\frac{1-\left[\frac{1+i}{1+d}\right]^{N}}{1-\left[\frac{1+i}{1+d}\right]}\right] \qquad (5-7)$$

$$C_{MOPW} = 57111 \times \left[\frac{1+0.03}{1+0.1}\right] \times \left[\frac{1-\left[\frac{1+0.03}{1+0.1}\right]^{20}}{1-\left[\frac{1+0.03}{1+0.1}\right]}\right] = 614097 \quad [SP]$$

10- حساب الكلفة الإجمالية الحالية للمشروع على مدى فترة التحليل LCC

وهي تحسب في حالتين :

- حالة عدم وجود نظام تتبع الشمس

$$Lcc = C_{PV} + C_B + C_{BIPW} + C_C + C_{INV} + C_{W\&P} + C_O + C_{INST} + C_{MOPW} \quad (5-8)$$

$$Lcc = 4509500 \qquad (sp)$$

- حالة وجود نظام تتبع الشمس

$$Lcc_T = C_{PV} + C_B + C_{BIPW} + C_C + C_{INV} + C_{W\&P} + C_O + C_{INST} + C_{MOPW} + C_{TC} \quad (5-9)$$

$$LCC_T = 4605000 \quad (sp)$$

11- حساب الكلفة السنوية المعجلة لكامل النظام ALCC

أ- حالة عدم وجود نظام تتبع الشمس :

$$ALLC = LCC \times \left[\frac{1-\left[\frac{1+i}{1+d}\right]}{1-\left[\frac{1+i}{1+d}\right]^N} \right] \qquad (5-10)$$

$$ALCC = 392693 \quad (sp)$$

ب-حالة وجود نظام تتبع الشمس :

$$ALLC_T = LCC_T \times \left[\frac{1-\left[\frac{1+i}{1+d}\right]}{1-\left[\frac{1+i}{1+d}\right]^N} \right] \qquad (5-11)$$

$$ALCC_T = 400635 \quad (sp)$$

12- حساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية Unit Electrical Cost

أ- حالة عدم وجود نظام تتبع الشمس :

$$\text{UEC} = \frac{\text{ALCC}}{EA} \qquad (5-12)$$

القدرة الكهربائية السنوية في حالة عدم وجود نظام ملاحقة وحالة عدم وجوده Energy Annual

$$EA = 19960 \qquad (kWh \ / \ year)$$

$$\text{UEC} = \frac{392693}{19960} = 19.67 \qquad (sp \ / \ kWh)$$

ب-حالة وجود نظام تتبع الشمس :

$$\text{UEC}_{\text{T}} = \frac{\text{ALCC}_{\text{T}}}{EA_{\max}} \qquad (5-13)$$

القدرة الكهربائية السنوية في حالة وجود نظام ملاحقة وحالة عدم وجوده Energy Annual

$$EA = 21778 \qquad (kWh \ / \ year)$$

$$\text{UEC}_{\text{T}} = \frac{400635}{21778} = 18.4 \qquad (sp \ / \ kWh)$$

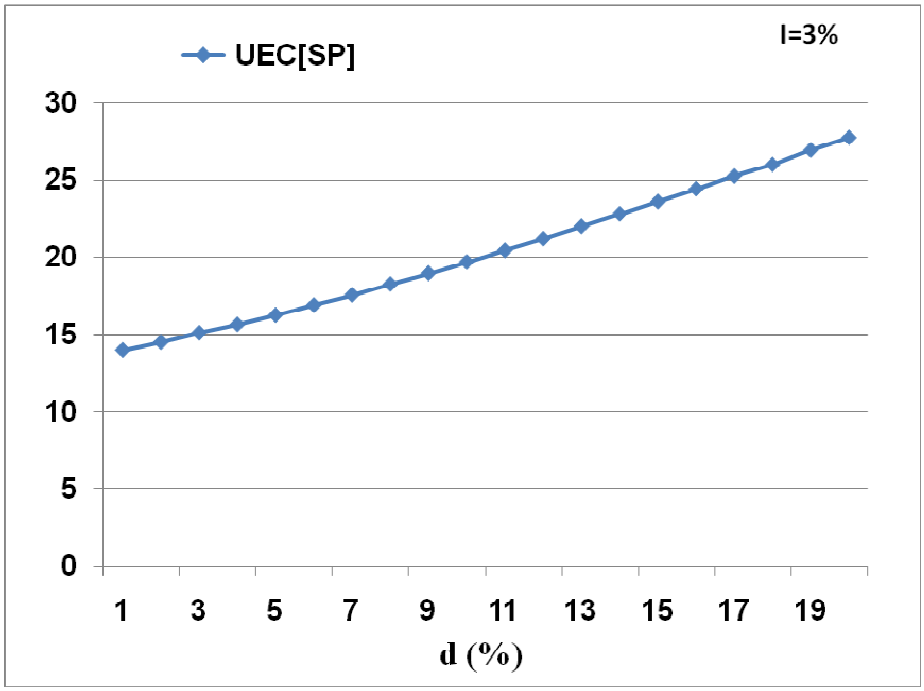
5-3 دراسة تأثير نسبة الفائدة السنوية على كلفة وحدة الطاقة

بعد إجراء حساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية عند نسب فائدة سنوية مختلفة تبين أنه كلما كانت نسبة الفائدة السنوية أصغر كلما أنخفضت كلفة وحدة الطاقة ، ولبيان علاقة كلفة وحدة الطاقة الكهربائية بالفائدة السنوية تم إجراء الحساب عند قيمة عامل تعجيل ثابتة،والنتائج مبية في الجدول(5-3).

الجدول (5-3) علاقة كلفة وحدة الطاقة الكهربائية بنسبة الفائدة السنوية للنظام المنفذ

جدول كلفة الكيلو وات الساعي بتغير الفائدة السنوية فقط		
عامل التعجيل	الفائدة السنوية	كلفة وحدة الطاقة (sp/kWh)
0.03	0.01	13.99
0.03	0.02	14.5
0.03	0.03	15.1
0.03	0.04	15.64
0.03	0.05	16.25
0.03	0.06	16.9
0.03	0.07	17.56
0.03	0.08	18.25
0.03	0.09	18.96
0.03	0.1	19.7
0.03	0.11	20.45
0.03	0.12	21.2
0.03	0.13	22
0.03	0.14	22.8
0.03	0.15	23.6
0.03	0.16	24.43
0.03	0.17	25.25
0.03	0.18	26
0.03	0.19	26.94
0.03	0.2	27.75

والشكل(5-1) يبين منحني تأثير الفائدة السنوية على كلفة وحدة الطاقة الكهربائية الناتجة من النظام الكهروضوئي المنفذ بإستطاعة 12kW حيث نلاحظ أنه كلما كان رأس المال متوفر وكانت نسبة الفائدة السنوية منخفضة كلما كانت كلفة وحدة الطاقة الكهربائية أقل .



الشكل(5-1) العلاقة بين معدل الفائدة وكلفة وحدة الطاقة الكهربائية لنظام كهروضوئي مستقل

5-4 دراسة تأثير عامل التعجيل على كلفة وحدة الطاقة

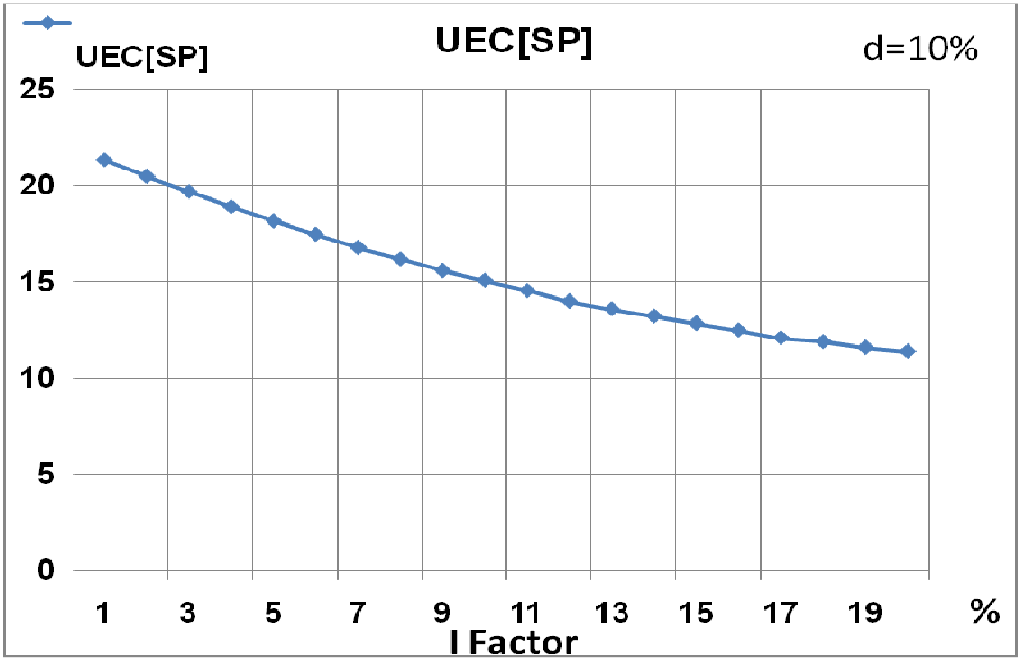
بعد إجراء حساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية عند نسب عامل تعجيل مختلفة تبين أنه كلما كان عامل التعجيل أكبر كلما أنخفضت كلفة وحدة الطاقة ، ولبيان علاقة كلفة وحدة الطاقة الكهربائية بعامل التعجيل عند فائدة السنوية ثابتة تم إجراء الحساب ووضعت النتائج في الجدول(5-4).

الجدول (5-4) علاقة كلفة وحدة الطاقة الكهربائية بعامل التعجيل

جدول كلفة الكيلو وات الساعي بتغير عامل التعجيل فقط		
عامل التعجيل	الفائدة السنوية	كلفة وحدة الطاقة (sp/kWh)
0.01	0.1	21.36
0.02	0.1	20.5
0.03	0.1	19.7
0.04	0.1	18.92
0.05	0.1	18.18
0.06	0.1	17.48
0.07	0.1	16.8
0.08	0.1	16.2
0.09	0.1	15.6
0.1	0.1	15.1
0.11	0.1	14.55
0.12	0.1	14
0.13	0.1	13.6
0.14	0.1	13.23
0.15	0.1	12.85
0.16	0.1	12.5

12.1	0.1	0.17
11.9	0.1	0.18
11.6	0.1	0.19
11.4	0.1	0.2

والشكل(5-3) يبين منحني تأثير قيمة عامل التعجيل على كلفة وحدة الطاقة الكهربائية حيث نلاحظ أنه كلما كان عامل التعجيل أكبر كانت كلفة وحدة الطاقة الكهربائية أقل .



الشكل(5-3) العلاقة بين عامل التعجيل وكلفة وحدة الطاقة الكهربائية لنظام كهروضوئي مستقل

5-5 المناقشة الاقتصادية

بعد دراسة الكلفة الاقتصادية للمحطة الكهرضوئية و دراسة منحني التوليد اليومي الوسطي و القدرة الإجمالية المولدة سنويا، وبافتراض أن كلفة الكيلو وات الساعي المحقون في الشبكة 10SP لكل كيلو وات ساعي مولد من المحطات التقليدية و 17SP مولد من محطات الطاقات المتجددة (السعر موضوع اعتمادا على تصريح لوزير الكهرباء أن الكيلو وات الساعي الواحد المولد يكلف الدولة أكثر من 9 ليرة سورية) ولحساب مدة استرجاع رأس المال للمحطة الكهروضوئية المستقلة باستطاعة 12KW التي تم تنفيذها نتبع الخطوات الآتية:

$$T = \frac{TC}{AE} \quad [Year] \quad (5-14)$$

حيث :

T مدة استرجاع رأس المال

TC الكلفة الإجمالية خلال عمر المشروع متضمنة جميع التكاليف والنفقات وهي تساوي:

$$TC = N \times ALCC \qquad (year) \quad (5-15)$$

ALCC الكلفة السنوية للمشروع التي تم حسابها سابقا، N عمر المشروع ، وبالتعويض في العلاقة

$$TC = 20 \times 392693 = 7853860 \qquad (sp)$$

AE المردود المالي الناتج من النظام سنويا، وباعتبار سعر الكيلوات من الطاقة الشمسية كما حددته وزارة الكهرباء 17 ليرة سورية والنظام ينتج سنويا قدرة مقدارها Ea وبالتالي يكون المردود مقداره

$$AE = Ea \times 17 = 19960 \times 17 = 339320 \qquad (sp)$$

وبالتالي تكون مدرة استرداد رأس المال مساوية لـ :

$$T = \frac{7853860}{339320} = 23.14 \qquad (year)$$

إن عدد سنوات استرداد رأس المال أكبر من عمر المشروع ولكن يجب الأخذ بعين الاعتبار مايلي :

- السعر العالمي لوحدة الطاقة الكهربائية المولدة من منابع الطاقات المتجددة مابين 45 Cent \$/kWh وهذا يكافئ حسب سعر صرف الدولار في فترة تنفيذ المشروع 21.6SP .
- ارتفاع سعر الوقود عالميا بوتيرة متسارعة مما ينعكس بزيادة كلفة الكيلو وات الساعي المولد من المحطات التقليدية .
- الحفاظ على البيئة وخفض انبعاث الغازات الدفيئة، وبالأخص كمية غاز ثاني أكسيد الكربون CO2 التي كانت ستطلق في الجو فيما لو ولدت تلك الطاقة من محطة توليد كهربائية تقليدية.

نتائج وتوصيات

- بعد الدراسة المرجعية لكل من الإشعاع الشمسي على سطح الكرة الأرضية عموما والإشعاع الشمسي في سوريا خصوصا تبين أن سوريا من الدول الغنية بالإشعاع الشمسي مقارنة بالدول الأخرى وبالتالي يجب تشجيع الإستثمار في مجال التوليد الكهرضوئي من خلال بناء محطات كهرضوئية مرتبطة مع الشبكة العامة .
- بعد الدراسة التفصيلية لعناصر النظام الكهرضوئي المستقل تبين أن العنصر الأهم والأكثر كلفة على مدى عمر المشروع هو المدخرات، والتي تشكل عائق أمام انتشار هذه النظم في المناطق النائية والبعيدة عن الشبكة الكهربائية العامة ، وهذا يؤدي إلى ارتفاع كلفة انتاج الطاقة الكهربائية من هذه النظم . فمن خلال الدراسة تبين أنه عند وضع المدخرات في ظروف عمل مناسبة (درجة حرارة 25C° ، عمق تفريغ منخفض DOD=25% كحد أصغري و DOD=50% كحد أعظمي تبعا لنوع المدخرات المستخدمة) سيؤدي إلى زيادة كبيرة في عمر المدخرات وبالتالي خفض كبير في كلفة الطاقة الكهربائية المنتجة .
- لوحظ مناسبة النظم الكهرضوئية لتغذية المباني الدراسية والتعليمية كون فترة التوليد الشمسي متزامنة مع فترة الدوام لغالبية الأبنية التعليمية و يمكن الاستفادة من ذلك في تغذية المباني الدراسية في المناطق البعيدة عن الشبكة بوجود منبع تعويض آخر عند الحاجة له بما يسمح بنشر التعليم في بعض المناطق التي كانت الكهرباء عائقا أمام نشره فيها.
- على الرغم من ارتفاع تكاليف الأنظمة الكهرضوئية لكن من الضروري استخدام مثل هذه المحطات كمنابع رافدة للشبكة وخصوصا مع الانخفاض المستمر في مستوى المخزون النفطي وارتفاع أسعار النفط عالمياً بالتالي يمكن استغلال النفط المصروف على التوليد الكهربائي في عملية التصدير بما يرفع المردود المالي للمخزون النفطي. يجب أن تسن الدولة تشريعات خاصة لشراء الطاقة المنتجة من محطات الطاقة المتجددة وأن يلحظ في هذه القوانين أسعار جيدة للكيلو وات الساعي المنتج من محطات الطاقة النظيفة .

الملحق 1

الإشعاع الشمسي (Solar Radiation)

1- طبيعة الضوء

لقد تطور مفهوم طبيعة الضوء خلال القرون القليلة الماضية ففي ستينيات القرن التاسع عشر أثبتت صحة نظريات ماكسويل حول الإشعاع الكهرومغناطيسي ، واعتبر الضوء جزءاً من طيف عريض من الموجات الكهرومغناطيسية ذات أطوال موجية مختلفة ، وفي عام 1905 توصل أينشتين إلى أن الضوء يتألف من جسيمات متقطعة من الطاقة ، ويعتبر الضوء أحياناً كفوتونات وهكذا أصبح يُعبّر عن طبيعة الضوء بالثنائية (جسيم – موجة) .

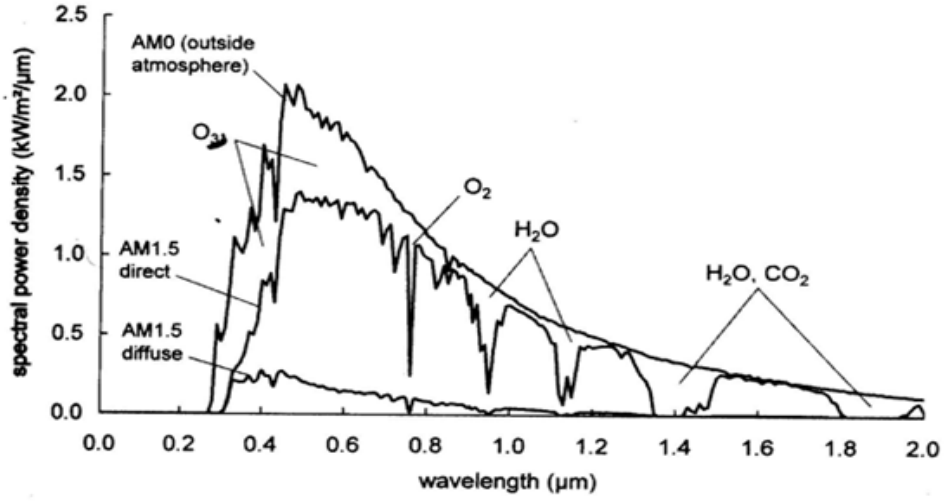
2- طبيعية الشمس

الشمس عبارة عن كرة غازية ساخنة يبلغ نصف قطرها 696 مليون متر وكتلتها حوالي $2x10^{30}Kg$ ودرجة حرارة سطحها حوالي 6000k . مكوناتها الأساسية هي غاز الهيدروجين (حوالي75%) وغاز الهليوم (حوالي23%)، بالإضافة إلى كميات ضئيلة من بعض العناصر الأخرى كالحديد والسيلكون والكربون والنتروجين والنيون والمنغنزيوم. تتولد الطاقة في الشمس نتيجة التحول المستمر لكل أربعة ذرات من الهيدروجين إلى ذرة واحدة من الهليوم في تفاعل اندماجي نووي . ولما كانت ذرة الهليوم الناتجة من التفاعل أقل من مجموع كتل ذرات الهيدروجين الداخلة فيه ، فإن فرق الكتلة هذا يتحول إلى حرارة وضوء ينبعث من السطح الخارجي للشمس الذي يدعى فوتوسفير .

3- العوامل المؤثرة على الإشعاع الشمسي

على الرغم من أن الإشعاع المنبعث من سطح الشمس ثابت ، فإنه يتغير كثيراً لدى وصوله للأرض وذلك بسبب ما يتعرض له من امتصاص وتبعثر في الغلاف الجوي للأرض . عندما تكون السماء صافية فإن أكبر إشعاع شمسي يصل الأرض إذا كانت الشمس فوق المكان مباشرة عندها يكون مسار ضوء الشمس عبر الغلاف الجوي أصغرياً ، ويشار عادة لطول المسار بالمصطلح كتلة الهواء Air Mass (AM) التي يخترقها الإشعاع الشمسي ليصل إلى الأرض ولأجل الخلايا الشمسية ومعاييرها ومواصفاتها نستخدم الإشعاع AM=1.5 (ويكون عند زاوية سمت $\phi = 48.2°$) ويبين الشكل

(1) طيف ضوء الشمس على حدود الغلاف الجوي (AMo) وأيضاً على سطح الأرض AM1.5 . حيث الإشعاع AMo لا يتغير وكثافة الطاقة الشمسية له الناتجة من التكامل على كامل الطيف ثابتة تقريباً وتسمى الثابت الشمسي .



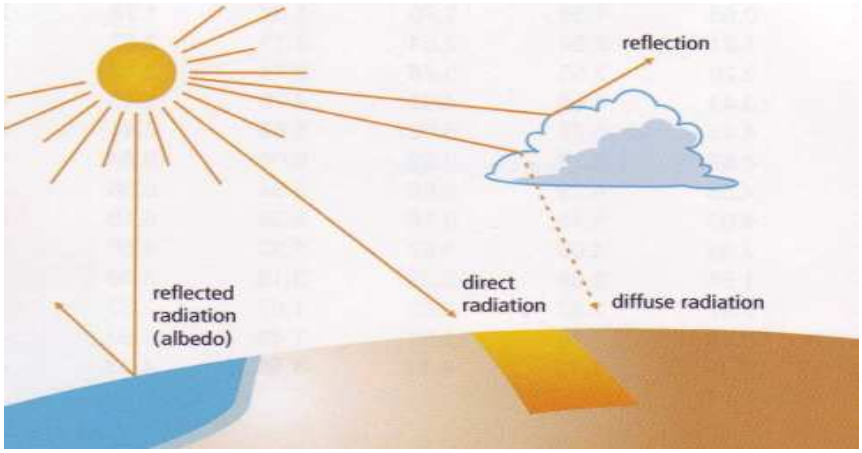
الشكل (1) الطيف لأجل AMo و AM1.5 مبيناً الامتصاص من قبل غازات جوية مختلفة. [2]

4- الإشعاع الشمسي المباشر وغير المباشر

يضعف الإشعاع الشمسي بمقدار 30% خلال عبوره الغلاف الجوي عن طرق عوامل الانعكاس Reflection ، التبعثر Scattering ، والامتصاص Absorption وأسباب ذلك كثيرة أهمها:

- انعكاس الإشعاع الشمسي على حدود الغلاف الجوي .
- تبعثر رايلاي Rayleigh لإشعاع الشمسي من قبل جزئيات الغلاف الجوي، وبخاصة لأجل الموجات القصيرة .
- التبعثر من قبل دقائق الغبار ومواد خاصة (وهي مواد صلبة أو مائعة معلقة في الهواء من مصادر مختلفة كمبيدات الحشرات) .
- الامتصاص من قبل غازات جوية مثل الآزوت O_3 والأكسجين O_2 وبخار الماء H_2O وثاني أكسيد الكربون CO_2 كما هو موضح في الشكل (1) .
- تعتبر الغيوم سبب أساسي في إضعاف الإشعاع الشمسي وتبعثره ، فالغيوم المكدسة على ارتفاعات منخفضة تقوم بحجب ضوء الشمس بشكل كبير ، حيث أن ثلثي الإشعاع المباشر المحجوب يتحول إلى إشعاع منتثر .

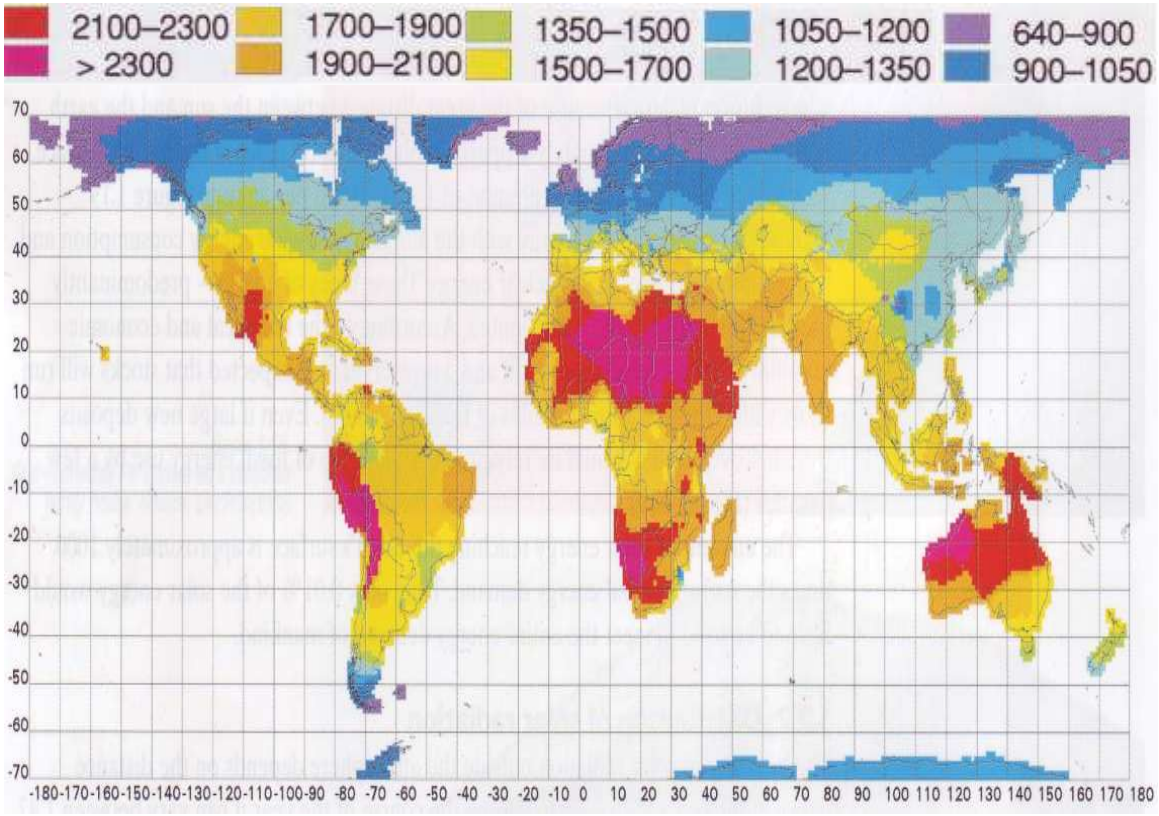
ومنه فإن الإشعاع الشمسي الواصل للأرض هو مجموع المركبة المباشرة والمركبة المنتثرة . والشكل (2) يبين **الإشعاع الشمسي في طريقه عبر الغلاف الجوي وما يتعرض له من عوامل ومؤثرات** وكيف أن تبعثر الإشعاع الشمسي في الغلاف الجوي يوّلد المركبة المنتثرة لضوء الشمس الواصلة إلى الأرض.



الشكل(2) الإشعاع الشمسي في طريقه عبر الغلاف الجوي. [10]

5- توزع الإشعاع الشمسي على سطح الكرة الأرضية

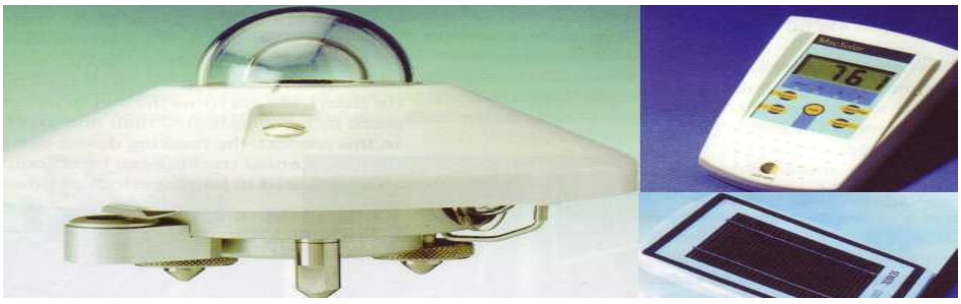
إن شدة الإشعاع الشمسي خارج حدود الغلاف الجوي تعتمد على المسافة بين الشمس والأرض ، والتي تتغير خلال السنة وبالتالي تتغير شدة الإشعاع الشمسي بين 1325 W/m2− 1412 ، ولاعتماد قيمة ثابتة لشدة الإشعاع الشمسي على سطح الغلاف الجوي تم تثبيت قيمة تسمى بالثابت الشمسي وهي S=1366W/m2 . ولكن ليس كامل الإشعاع الشمسي يصل إلى سطح الأرض حيث تنخفض قيمة الإشعاع الشمسي بسبب الغلاف الجوي عن طريق عدة عوامل مثل الانعكاس ، الامتصاص (الغازات والأبخرة مثل الأزون وأكسيد الكربون) ، والتبعثر (الحبيبات والغبار في الجو) . فتصبح قيمة الإشعاع الشمسي الواصلة إلى الأرض بحدود 1000W/m2 وذلك عند ظروف الطقس الجيدة ظهرا وعلى مستوى سطح البحر، وهي تقريباً أعظم استطاعة شمسية يمكن استقبالها على سطح الأرض. ويبين الشكل (3) متوسط الإشعاع السنوي الساقط على واحدة المتر المربع على سطح الكرة الأرضية .



الشكل(3) متوسط الإشعاع السنوي الساقط على سطح الكرة الأرضية والتي تقاس (KWh/m²/year) . [10]

6- قياس الإشعاع الشمسي

يتم قياس الإشعاع الشمسي إما عن طريق مقياس البايرنوميتر pyranometer أو الحساس الفوتوفولطي أو من خلال التحليل غير المباشر لصور الأقمار الصناعية . كما هو مبين في الشكل (4) أشكال مقاييس الإشعاع الشمسي.



الشكل (4) يبين مقاييس الإشعاع الشمسي . [10]

الملحق 2

جداول المواصفات الفنية لمكونات النظام الكهرضوئي المستقل :

1- المواصفات الفنية للوحة الكهرضوئية التي تم اختيارها كما في الجدول (1) .

الجدول (1) مواصفات اللوحة الكهرضوئية التي تم اختيارها .

ITEM NO	MS-Poly-190W
Type of cell	Poly
Maximum power (Wp)	190W
Maximum power voltage (V)	27V
Maximum power current (A)	7.03A
Open circuit voltage (V)	32.4V
Short circuit current (A)	7.59A
Number of cells (Pcs)	54
Size of module (mm)	1480x990x50mm
Maximum system voltage (V)	1000
Temperature coefficients of Isc (%)	+ 0.1/ °C
Temperature coefficients of Voc (%)	-0.38/ °C
Temperature coefficients of Pm (%)	-0.47/ °C
Tolerance Wattage (e.g. +/-3%)	+/-3%
Surface Maximum Load Capacity	60m/s(200kg/sq.m)
Weight per piece (kg)	19kg
Junction Box Type	(TUV)
Connectors and Cables Type	(TUV)
Length of Cables (mm)	900mm
Cell Efficiency (%)	≥15.5%
Output tolerance (%)	+/-3%
Frame (Material, Corners, etc.)	Aluminum
Warranty	5Years products warranty and 25 years 80% of power
Standard Test Conditions	AM1.5 100mW/cm2 25°C
FF (%)	72%

2- السعات التخزينية لمدخرة الرصاصية الحمضية الجافة عند معدلات تفريغ مختلفة التي تم استخدامها وهي نموذج 12 PVV 2280 كما في الجدول (2) المعطى من قبل الصانع.

الجدول (2) السعات التخزينية لمدخرة رصاصية حمضية جافة عند نسبة تفريغ مختلفة . [11]

Type	$C_{1\,h}$ Ah	$C_{10\,h}$ Ah	$C_{20\,h}$ Ah	$C_{72\,h}$ Ah	$C_{100\,h}$ Ah	$C_{120\,h}$ Ah	$C_{240\,h}$ Ah	R_i1) mΩ	I_k 2) kA	Length mm	Width mm	Height mm	Weight kg
Ue (100 %)/Vpc	1.65	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80						
Ue (80 %)/Vpc	1.74	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91						
12 PVV 2280	963	1,650	1,854	2,160	2,210	2,232	2,296	0.240	8.58	215	277	855	115.0
16 PVV 3040	1,302	2,250	2,520	2,952	3,010	3,048	3,144	0.180	11.40	215	400	815	156.2
20 PVV 3800	1,632	2,820	3,180	3,708	3,790	3,828	3,936	0.144	14.30	215	490	815	195.0
22 PVV 4180	1,765	3,020	3,400	3,960	4,040	4,080	4,200	0.131	15.67	215	580	815	216.0
24 PVV 4560	1,976	3,440	3,860	4,521	4,620	4,668	4,824	0.120	17.10	215	580	815	236.0
26 PVV 4940	2,086	3,570	4,020	4,680	4,780	4,824	4,968	0.111	18.52	215	580	815	250.0

3- المواصفات الفنية للشاحن الذي تم إعتماده نموذج Power Tarom 2140 كما في الجدول(3) الذي يبين مواصفات الشاحن من قبل الشركة الصانعة

والجدول (3) مواصفات الشاحن من قبل الشركة الصانعة Steca .[12]

	2070	2140	4055	4110	4140
Characterisation of the operating performance					
System voltage	12 V (24 V)		48 V		
Own consumption	14 mA				
DC input side					
Open circuit voltage solar module	< 50 V		< 100 V		
Module current	70 A	140 A	55 A	110 A	140 A
DC output side					
Load current	70 A	70 A	55 A	55 A	70 A
End of charge voltage	13.7 V (27.4 V)		54.8 V		
Boost charge voltage	14.4 V (28.8 V)		57.6 V		
Equalisation charge	14.7 V (29.4 V)		58.8 V		
Reconnection voltage (SOC / LVR)	> 50 % / 12.6 V (25.2 V)		> 50 % / 50.4 V		
Deep discharge protection (SOC / LVD)	< 30 % / 11.1 V (22.2 V)		< 30 % / 44.4 V		
Operating conditions					
Ambient temperature	-10 °C ... +60 °C				
Fitting and construction					
Terminal (fine / single wire)	50 mm² - AWG 1	95 mm² - AWG 000	50 mm² - AWG 1	70 mm² - AWG 00	95 mm² - AWG 000
Degree of protection	IP 65				
Dimensions (X x Y x Z)	330 x 330 x 190 mm	360 x 330 x 190 mm	330 x 330 x 190 mm	360 x 330 x 190 mm	
Weight	10 kg				

4- المواصفات الفنية للمعرجات التي تم إعتمادها نموذج 24-2600 كما في الجدول (3) المعطى من قبل الشركة الصانعة Steca .

الجدول (3) مواصفات المعرج من قبل الشركة الصانعة Steca . [13]

	1600-12	2600-24	4000-48
Characterisation of the operating performance			
System voltage	12 V	24 V	48 V
Continuous power	1,300 VA	2,300 VA	3,500 VA
Power 30 min.	1,600 VA	2,600 VA	4,000 VA
Power 5 sec.	3,900 VA	6,900 VA	10,500 VA
Max. efficiency	94 %	95 %	95 %
Own consumption standby / ON	0.6 W / 6 W	0.9 W / 9 W	1.4 W / 12 W
Input side			
Input voltage	adjustable: 150 V AC ... 230 V AC		
Charging current adjustable	0 A ... 55 A	0 A ... 55 A	0 A ... 50 A
Max. current on transfer system	16 A		
Switching time transfer relay	< 40 ms		
Battery side			
Battery voltage	9.5 V ... 16 V	19 V ... 32 V	38 V ... 64 V
Battery monitoring	LVD, HVD, floating and equalisation voltage adjustable by user		
AC output side			
Output voltage	230 V AC +0 / -10 % (true sine wave)		
Output frequency	50 Hz +/-0.05 % (crystal controlled)		
Load detection (standby)	adjustable: 1 W ... 25 W		
Operating conditions			
Ambient temperature	-20 °C ... +55 °C		
Fitting and construction			
Input current repartition, „Power Sharing"	1 A ... 16 A		
Cable length battery	165 cm		
Degree of protection	IP 20 / with optional top cover: IP 22		
Dimensions (X x Y x Z)	215 x 480 x 124 mm	215 x 480 x 124 mm	215 x 670 x 124 mm
Weight	16 kg	17.1 kg	29.4 kg

الملحق 3

– كود برنامج تصميم النظم الكهروضوئية المستقلة الذي تم تنفيذه

```
private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Double Glatitude = Convert.ToDouble(textBox2.Text);
    Double beta = Convert.ToDouble(textBox145.Text);
    Double Reflectivity = Convert.ToDouble(comboBox5.Text);
    Double[] Gs = new Double[12];
    Gs[0] = Convert.ToDouble(textBox1.Text);
    Gs[1] = Convert.ToDouble(textBox3.Text);
    Gs[2] = Convert.ToDouble(textBox4.Text);
    Gs[3] = Convert.ToDouble(textBox5.Text);
    Gs[4] = Convert.ToDouble(textBox11.Text);
    Gs[5] = Convert.ToDouble(textBox12.Text);
    Gs[6] = Convert.ToDouble(textBox13.Text);
    Gs[7] = Convert.ToDouble(textBox14.Text);
    Gs[8] = Convert.ToDouble(textBox15.Text);
    Gs[9] = Convert.ToDouble(textBox16.Text);
    Gs[10] = Convert.ToDouble(textBox17.Text);
    Gs[11] = Convert.ToDouble(textBox18.Text);

    Gbetas = getGbetas(Glatitude, beta, Reflectivity, Gs);

    textBox144.Text = Gbetas[0].ToString("F2");
    textBox143.Text = Gbetas[1].ToString("F2");
    textBox142.Text = Gbetas[2].ToString("F2");
    textBox141.Text = Gbetas[3].ToString("F2");
    textBox140.Text = Gbetas[4].ToString("F2");
    textBox139.Text = Gbetas[5].ToString("F2");
    textBox138.Text = Gbetas[6].ToString("F2");
    textBox137.Text = Gbetas[7].ToString("F2");
    textBox136.Text = Gbetas[8].ToString("F2");
    textBox98.Text = Gbetas[9].ToString("F2");
    textBox97.Text = Gbetas[10].ToString("F2");
    textBox73.Text = Gbetas[11].ToString("F2");
```

```
Double[] Gbetas = new Double[12];
Double[] getGbetas(Double Glatitude, Double beta, Double Reflectivity, Double[] Gs)
{
    Double[] Gbs = new Double[12];
    Glatitude = DegreeToRadian(Glatitude);
    beta = DegreeToRadian(beta);
    Double[] Deltas = new Double[12];

    Double[] Wss = new Double[12];
    Double[] B0s = new Double[12];
    Double[] KTs = new Double[12];
    Double[] Ds = new Double[12];
    Double[] Bs = new Double[12];
    Double[] Ws1s = new Double[12];
    Double[] W0s = new Double[12];
    Double[] Bbetas = new Double[12];
    Double[] Dbetas = new Double[12];
    Double[] Rbetas = new Double[12];
```

```
for (int i = 0; i < 12; i++)
{
    Deltas[i] = getDelta(n[i]);
}
for (int i = 0; i < 12; i++)
{
    Wss[i] = getws(Glatitude, Deltas[i]);
}
for (int i = 0; i < 12; i++)
{
    B0s[i] = getB0(n[i], Glatitude, Deltas[i], Wss[i]);
}
for (int i = 0; i < 12; i++)
{
    KTs[i] = getKT(Gs[i], B0s[i]);
}
for (int i = 0; i < 12; i++)
{
    Ds[i] = getD(KTs[i], Gs[i]);
}
for (int i = 0; i < 12; i++)
{
    Bs[i] = getB(Gs[i], Ds[i]);
}
for (int i = 0; i < 12; i++)
{
    Ws1s[i] = getWs1(Glatitude, beta, Deltas[i]);
}
for (int i = 0; i < 12; i++)
{
    W0s[i] = getW0(Glatitude, Deltas[i], beta);
}
for (int i = 0; i < 12; i++)
{
    Bbetas[i] = getBbeta(Glatitude, beta, Deltas[i], W0s[i], Wss[i], Bs[i]);
}
for (int i = 0; i < 12; i++)
{
    Dbetas[i] = getDbeta(beta, Ds[i]);
}
for (int i = 0; i < 12; i++)
{
    Rbetas[i] = getRbeta(beta, Reflectivity, Gs[i]);
}
for (int i = 0; i < 12; i++)
{
    Gbs[i] = getGbeta(Dbetas[i], Rbetas[i], Bbetas[i]);
}
return Gbs;
Double getDelta(Double x)
{
    Double Delta = 0;

    Delta = (Math.PI / 180) * 23.45 * Math.Sin(((2 * Math.PI) / 365) * (x - 81));

    return Delta;
}
Double getws(Double GLatitude, Double Delta)
{
    Double ws = 0;
    ws = Math.Acos(-Math.Tan(GLatitude) * Math.Tan(Delta));
    return ws;
}
```

```
Double getB0(Double n, Double gLatitude, Double delta, Double ws)
{
    Double b0 = 0;
    Double t1 = (24.0 / Math.PI) * 1.367;
    Double t2 = (1 + 0.033 * (Math.Cos((2 * Math.PI * n) / (365))));
    Double t3 = Math.Cos(gLatitude) * Math.Cos(delta) * Math.Sin(ws) + ws * Math.Sin(gLatitude) * Math.Sin(delta);
    b0 = t1 * t2 * t3;
    return b0;
}
Double getKT(Double G, Double b0)
{
    return G / b0;
}
Double getD(Double Kt, Double G)
{
    return (G * (1 - 1.13 * Kt));
}
Double getB(Double G, Double D)
{
    return (G - D);
}
Double getWs1(Double gLatitude, Double beta, Double delta)
{
    Double Ws1 = 0;
    Ws1 = Math.Acos(-Math.Tan(gLatitude - beta) * Math.Tan(delta));
    return Ws1;
}
Double getW0(Double GLatitude, Double Delta, Double beta)
{
    return Math.Min(getws(GLatitude, Delta), getWs1(GLatitude, beta, Delta));
}
Double getBbeta(Double gLatitude, Double beta, Double delta, Double w0, Double ws, Double B)
{
Double Bbeta = 0;
Double baset = Math.Cos(gLatitude - beta)*Math.Cos(delta)*Math.Sin(w0)+ w0*Math.Sin(gLatitude-beta)* Math.Sin(delta);
Double mqam = Math.Cos(gLatitude) * Math.Cos(delta) * Math.Sin(ws) + ws * Math.Sin(gLatitude) * Math.Sin(delta);
Bbeta = B * (baset / mqam);
return Bbeta;
}
Double getDbeta(Double beta, Double D)
{
    return (0.5 * D * (1 + Math.Cos(beta)));
}
Double getRbeta(Double beta, Double reflectivity, Double G)
{
    return (0.5 * G * reflectivity * (1 - Math.Cos(beta)));
}
Double getGbeta(Double Dbeta, Double Rbeta, Double Bbeta)
{
    return Dbeta + Bbeta + Rbeta;
}
```

```
Double Glatitude = Convert.ToDouble(textBox2.Text);
Double Reflectivity = Convert.ToDouble(comboBox5.Text);
Double[] Gs = new Double[12];
Gs[0] = Convert.ToDouble(textBox1.Text);
Gs[1] = Convert.ToDouble(textBox3.Text);
Gs[2] = Convert.ToDouble(textBox4.Text);
Gs[3] = Convert.ToDouble(textBox5.Text);
Gs[4] = Convert.ToDouble(textBox11.Text);
Gs[5] = Convert.ToDouble(textBox12.Text);
Gs[6] = Convert.ToDouble(textBox13.Text);
Gs[7] = Convert.ToDouble(textBox14.Text);
Gs[8] = Convert.ToDouble(textBox15.Text);
Gs[9] = Convert.ToDouble(textBox16.Text);
Gs[10] = Convert.ToDouble(textBox17.Text);
Gs[11] = Convert.ToDouble(textBox18.Text);

Double[][] ee = new Double[19][];
int h = 0;
for (int i = 0; i <= 90; i += 5)
{
    Double[] gbs = getGbetas(Glatitude, i, Reflectivity, Gs);
    ee[h] = gbs;
    h++;
}
h = 0;
for (int j = 0; j < 12; j++)
{
    for (int i = 0; i < 19; i++)
    {
        if (Maxs[j] < ee[i][j])
        {
            Maxs[j] = ee[i][j];
            betas[j] = i * 5;
        }
    }
    h++;
}
textBox34.Text = Maxs[0].ToString("F2");
textBox33.Text = Maxs[1].ToString("F2");
textBox32.Text = Maxs[2].ToString("F2");
textBox31.Text = Maxs[3].ToString("F2");
textBox30.Text = Maxs[4].ToString("F2");
textBox29.Text = Maxs[5].ToString("F2");
textBox28.Text = Maxs[6].ToString("F2");
textBox27.Text = Maxs[7].ToString("F2");
textBox26.Text = Maxs[8].ToString("F2");
textBox25.Text = Maxs[9].ToString("F2");
textBox24.Text = Maxs[10].ToString("F2");
textBox23.Text = Maxs[11].ToString("F2");
textBox35.Text = betas[0].ToString("F2");
textBox42.Text = betas[1].ToString("F2");
textBox46.Text = betas[2].ToString("F2");
textBox36.Text = betas[3].ToString("F2");
textBox41.Text = betas[4].ToString("F2");
textBox45.Text = betas[5].ToString("F2");
textBox37.Text = betas[6].ToString("F2");
textBox40.Text = betas[7].ToString("F2");
textBox44.Text = betas[8].ToString("F2");
textBox38.Text = betas[9].ToString("F2");
textBox39.Text = betas[10].ToString("F2");
textBox43.Text = betas[11].ToString("F2");
```

```
double tdcl, tl, deml, uss, tsc, abn, stinp, moins, ns, np;
tdcl = Convert.ToDouble(textBox10.Text)+Convert.ToDouble(textBox83.Text)/Convert.ToDouble(textBox80.Text);
textBox68.Text = Convert.ToString(tdcl);
tl = tdcl / Convert.ToDouble(textBox81.Text);
textBox69.Text = Convert.ToString(tl);
deml = Convert.ToDouble(textBox82.Text) * tl;
textBox70.Text = Convert.ToString(deml);
Double SE = 0;
Double InvEf = Convert.ToDouble(textBox80.Text);
Double PE = Convert.ToDouble(textBox76.Text);
Double CHE = Convert.ToDouble(textBox7.Text);
Double AM = Convert.ToDouble(textBox20.Text);
SE = InvEf * PE * CHE;
textBox8.Text = SE.ToString();
Double PSH = Convert.ToDouble(textBox75.Text);
Double AA = 0;
Double TotalLoad = Convert.ToDouble(textBox68.Text);
Double ME = Convert.ToDouble(textBox19.Text);
Double TC = Convert.ToDouble(textBox6.Text);
Double IMP = Convert.ToDouble(textBox74.Text);
Double VMP = Convert.ToDouble(textBox72.Text);
Double SV = Convert.ToDouble(textBox81.Text);
Double NOM = 0;
Double PA = 0;
Double PM = 0;
Double ModSeries = 0;
Double StringParallel = 0;
AA = TotalLoad / (1000 * PSH * ME * SE * TC);
textBox21.Text = AA.ToString();

NOM = AA / AM;

PM = IMP * VMP;

PA = NOM * PM;

ModSeries = Convert.ToInt32(SV / VMP);
StringParallel = Convert.ToInt32(NOM / ModSeries);
textBox78.Text = Convert.ToInt32(PA).ToString();
uss = tl * Convert.ToDouble(textBox63.Text);
tsc = uss / (Convert.ToDouble(textBox65.Text) * Convert.ToDouble(textBox67.Text));
ns = Math.Round(Convert.ToDouble(textBox81.Text) / Convert.ToDouble(textBox66.Text), 0);
np = Math.Round(tsc / Convert.ToDouble(textBox64.Text), 0);
abn = Convert.ToDouble(textBox64.Text) * np;
textBox60.Text = Convert.ToString(uss);
textBox59.Text = Convert.ToString(tsc);
textBox62.Text = Convert.ToString(np);
textBox61.Text = Convert.ToString(ns);
textBox58.Text = Convert.ToString(abn);
textBox71.Text = PM.ToString();
textBox22.Text = NOM.ToString();
textBox79.Text = ModSeries.ToString();
textBox77.Text = StringParallel.ToString();
```

```
Double I = 0;
Double MYR = 0;
Double CMO = 0;
Double[] CBIs = new Double[50];
Double CBI = 0;
Double Lcc = 0;
Double LccT = 0;
Double ALcc = 0;
Double ALccT = 0;
Double Uec = 0;
Double UecT = 0;
Double N = (Convert.ToDouble(textBox104.Text));
Double i = (Convert.ToDouble(comboBox3.Text));
Double d = (Convert.ToDouble(comboBox4.Text));
Double MOR = (Convert.ToDouble(comboBox6.Text));
Double NB = (Convert.ToDouble(textBox87.Text));
Double CB = (Convert.ToDouble(textBox93.Text));
Double CPV = (Convert.ToDouble(textBox95.Text));
Double CC = (Convert.ToDouble(textBox90.Text));
Double Cinv = (Convert.ToDouble(textBox103.Text));
Double Cwp = (Convert.ToDouble(textBox91.Text));
Double Co = (Convert.ToDouble(textBox96.Text));
Double Cinst = (Convert.ToDouble(textBox89.Text));
Double CT = 0;
if (checkBox2.Checked)
{
    CT = (Convert.ToDouble(textBox53.Text));
}
Double EA = 0;
Double EAT = 0;
Gbetas[0] = Convert.ToDouble(textBox144.Text);
Gbetas[1] = Convert.ToDouble(textBox143.Text);
Gbetas[2] = Convert.ToDouble(textBox142.Text);
Gbetas[3] = Convert.ToDouble(textBox141.Text);
Gbetas[4] = Convert.ToDouble(textBox140.Text);
Gbetas[5] = Convert.ToDouble(textBox139.Text);
Gbetas[6] = Convert.ToDouble(textBox138.Text);
Gbetas[7] = Convert.ToDouble(textBox137.Text);
Gbetas[8] = Convert.ToDouble(textBox136.Text);
Gbetas[9] = Convert.ToDouble(textBox98.Text);
Gbetas[10] = Convert.ToDouble(textBox97.Text);
Gbetas[11] = Convert.ToDouble(textBox73.Text);
Double AA = Convert.ToDouble(textBox21.Text);
Double ME = Convert.ToDouble(textBox19.Text);
Double SE = Convert.ToDouble(textBox8.Text);
double sum = 0;
for (int k = 0; k < 12; k++)
{
    EAs[k] = getea(AA, ME, SE, Gbetas[k]);
    sum += EAs[k];
}
EA = sum;
textBox102.Text = EA.ToString("F3");
```

```
I = Convert.ToInt32((N / NB) - 1);
for (int k = 1; k <= I; k++)
{
    CBIs[k] = CB * Math.Pow(((1 + i) / (1 + d)), k * NB);
    CBI += CBIs[k];
}
MYR = (CPV + CB + CC + Cinv + Cwp) * (MOR);
Double y1=(Math.Pow((1 + i) / (1 + d), N));
Double y2=(1 + i) / (1 + d);
CMO = MYR * ((1 + i) / (1 + d)) * ((1 - y1) / (1 - (y2)));

textBox49.Text = CMO.ToString();
if (checkBox2.Checked)
{
    Lcc = CPV + CB + CBI + CC + Cinv + CMO + Co + Cwp + Cinst;
    LccT = CPV + CB + CBI + CC + Cinv + CMO + Co + Cwp + Cinst + CT;
}
else
{
    Lcc = CPV + CB + CBI + CC + Cinv + CMO + Co + Cwp + Cinst;
}
double x1 = ((1 + i) / (1 + d));
double x2 = Math.Pow((1 + i) / (1 + d), N);

if (checkBox2.Checked)
{
    ALcc = Lcc * ((1 - x1) / (1 - x2));
    ALccT = LccT * ((1 - x1) / (1 - x2));
}
else
{
    ALcc = Lcc * ((1 - x1) / (1 - x2));
}
if (checkBox2.Checked)
{
    Uec = ALcc / EA;

    AA = Convert.ToDouble(textBox21.Text);
    ME = Convert.ToDouble(textBox19.Text);
    SE = Convert.ToDouble(textBox8.Text);
    sum = 0;
    for (int kk = 0; kk < 12; kk++)
    {
        EAs[kk] = getea(AA, ME, SE, Maxs[kk]);
        sum += EAs[kk];
    }
    EAT = sum;
    textBox48.Text = EAT.ToString("F3");
    UecT = ALccT / EAT;
    textBox47.Text = UecT.ToString("F3");
}
else
{
    Uec = ALcc / EA;
}
textBox85.Text = Uec.ToString("F3");
```

```
Double getea(Double AA, Double ME, Double SE, Double gbeta)
{
    return gbeta * AA * ME * SE * 30; ;
}
Double[] Gbetas = new Double[12];
Double[] getGbetas(Double Glatitude, Double beta, Double Reflectivity, Double[] Gs)
{
    Double[] Gbs = new Double[12];
    Glatitude = DegreeToRadian(Glatitude);
    beta = DegreeToRadian(beta);
    Double[] Deltas = new Double[12];
    Double[] Wss = new Double[12];
    Double[] B0s = new Double[12];
    Double[] KTs = new Double[12];
    Double[] Ds = new Double[12];
    Double[] Bs = new Double[12];
    Double[] Ws1s = new Double[12];
    Double[] W0s = new Double[12];
    Double[] Bbetas = new Double[12];
    Double[] Dbetas = new Double[12];
    Double[] Rbetas = new Double[12];
    for (int i = 0; i < 12; i++)
    {
        Deltas[i] = getDelta(n[i]);
    }
    for (int i = 0; i < 12; i++)
    {
        Wss[i] = getws(Glatitude, Deltas[i]);
    }
    for (int i = 0; i < 12; i++)
    {
        B0s[i] = getB0(n[i], Glatitude, Deltas[i], Wss[i]);
    }
    for (int i = 0; i < 12; i++)
    {
        KTs[i] = getKT(Gs[i], B0s[i]);
    }
    for (int i = 0; i < 12; i++)
    {
        Ds[i] = getD(KTs[i], Gs[i]);
    }
    for (int i = 0; i < 12; i++)
    {
        Bs[i] = getB(Gs[i], Ds[i]);
    }
```

الملحق 4

استمارة تصميم نظام توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الخلايا الشمسية PV System

1_ تحديد أفضل مساحة مناسبة على السطح لإستخدامها لوضع الألواح الشمسية

*مساحة السطح الإجمالي _____م2

* مساحة السطح المختار _____م2

*إتجاه توضع الخلايا الشمسية _____

*ميل السطح _____

*زاوية ميل الألواح الشمسية _____

2_تحديد الأحمال الكهربائية المراد تغذيتها من النظام الكهرضوئي

أحمال الإنارة _____ [kw]

عدد ساعات العمل لأجهزة الانارة _____ [hour]

أحمال المآخذ _____ [kw]

عدد ساعات العمل لأجهزة الكمبيوتر _____ [hour]

الطاقة الكهربائية اللازمة للأحمال _____ [kwh.day]

3_تحديد قيم الإشعاع الشمسي

زاوية خط العرض لمنطقة التركيب _____

زاوية ميل الألواح الشمسية _____

شدة الإشعاع الشمسي على سطح اللوح المعتمد _____ [kwh/m2.day]

عامل الإنعكاس لمنطقة التركيب _____

توقع النسبة المؤية لتأثير التظليل : _____

4_تحديد مواصفات الموديول المستخدم والقيم المميزة له

الشركة الصانعة: _____ ، كود النوع: _____

الإستطاعة الإسمية : _____ ، المردود : _____

Voc: _____ ، Isc: _____

VMPP : _____ ، IMPP : _____

نوع الخلية المستخدمة: _____ ، مدة الكفالة : _____

عامل التغليف اللوح : _____ ، درجة حرارة العمل للخلية:_____

طول اللوح : _____ ، عرض اللوح : _____

مساحة اللوح : _____ ، سعر اللوح : _____

عدد ديودات التمرير: _____ ، عدد ديودات العبور : _____

5_ تحديد الأبعاد التقريبية لمساحة المولد الكهرضوئي

مساحة سطح المولد:_____م2 استطاعة المولد الكهرضوئي:_____

عدد موديولات النظام الكامل: _____ ، المسافة بين صفي موديول : _____

6_ تحديد تشكيلة النظام ونوع وعدد المعرجات

اختيار تشكيلة النظام

معرج مركزي :_____، معرج السلسلة: _____ ، عدد المعرجات: _____

7_ المعرج والقيم المميزة له

الشركة الصانعة : _____ ، كود النوع : _____

استطاعة المولد الكهرضوئي العظمى : _____

استطاعة الخرج الاسمية : _____

مجال العملVMPP :_____ ، المردود: _____

V DCmax:_____ ، I DCmax : _____

مدة الكفالة : _____، عرض البيانات : _____

امكانية الربط على التفرع مع المعرجات الأخرى : _____

أبعاد المعرج : _____ ، السعر : _____

8_ تقديرات خرج النظام الكلي :

عدد الأنظمة المطلوب: _____ ، استطاعة المولد الكهرضوئي للنظام: _____

عدد الموديولات في السلسة: _____ ، عدد السلاسل التفرعية: _____

العدد الكلي للموديولات: _____ ، المساحة الكلية للموديولات : _____

استطاعة خرج النظام الواحد: _____ ، مردود النظام : _____

REFERENCE المراجع العلمية

[1]-Bob Parkins, "Energy Services Mgr Western Area Power", 2009.

[2]- Mohammad Sabone - Stand Alone PV System Industry, PV Laboratory-NSC, 2005.

[3] - Mohamad Kordab "Training Course on Sustainable Management of the Iraqi Marshlands" Organized by (UNEP) & (ACSAD) 7-15 April, 2008.

[4]- International energy outlook http://www.cp-solar.com/files/32-1315471353.pdf , [Internet]: Energy Information Administration; 2010.

[5]- Planning and installing photovoltaic systems a guide for installers, architects, and engineers. Sterling, VA: Earthscan; 2005. English, Book, Illustrated edition.

[6]-Mukund R. Patel "Wind and Solar Power Systems"U.S. Merchant Marine Academy Kings Point, New York 1999 by CRC Press LLC.

[7]-Wind and Solar - Design, Analysis, and Operation, U.S. Merchant Marine Academy, New York, 2006.

[8]- Photovoltaic System Protection Application Guide,Cooper Bussmann (UK) Ltd, 2012.

[9]- Graduation Projects Engineering, Damascus University, 2008.

[10]- Ali Hamzah "PV System Engineering Design and Analysis", Damascus University, Arabic, Book, 2008.

[11]- Technical Document- BAE SECURA PVV CELL solar "Technical Specification for Valve Regulated Lead-Acid Batteries (VRLA)/2008".

[12]- Technical Document - Steca Elektronik GmbH Germany "Steca Power Tarom 2140".

[13] Technical Document - Steca Elektronik GmbH | 87700 Memmingen "Steca Compact 2600-24.

[14]- Mahmoud Marwan M. (2004) "On the storage batteries used in solar electric Power Systems and development of an algorithm for determining their ampere-hour capacity": Electric Power Systems Research.71 (85-89).

[15]- Ahmed Chikouche,"Energy Management for Stand Alone PV System" (JJMIE 2010), Jan. ISSN 1995-6665.

[16]-Sheeraz Kirmani Et. Al. "Techno Economic Feasibility Analysis Of A Stand-Alone PV System To Electrify A Rural Area Household In India"Department Of Electrical Engineering. /International Journal Of Engineering Science And Technology Vol. 2(10), 2010, 5231-5237.