

## The Use Of Sun Energy for Performance Improvement of Compound Power Generation Stations (Steam - Gas )

Roza Ali Deeb<sup>\*</sup>

(Received 22 / 11 / 2018. Accepted 27 / 1 / 2019)

### □ ABSTRACT □

The global energy crises of recent years and the problem of environmental pollution have given a general sense of the importance of serious and continuous research on renewable and alternative energies. Rising fuel prices and their forecasting make it necessary to consider using solar energy to produce electricity and help reduce fuel consumption in power plants Electric and conventional

In this research we present a descriptive and analytical study of the integration of a solar plant with compound power plants (gas-steam) to utilize solar energy as an auxiliary source for water heating and steam generating and roasting in compound power plants, in order to reduce fuel consumption. In torn , this leads to an economy an one hand and reducing the pollution of the environment on the other . It also develops an to economize on the one hand, and to reduce pollution of the environment on the other. To be algorithm to calculate the amount of net solar heat collected, and then converted to a computer program language VisualC ++, And to view the results obtained.

**Key words:** Solar power, Performance improvement, Compound Station, Vissual C++

---

<sup>\*</sup>Master, production and design engineering Department- Faculty of Mech, &,Elect, eng- teshreen university

## الاستفادة من الطاقة الشمسية في تحسين مردود محطات توليد الطاقة المركبة (بخارية - غازية) لإنتاج الطاقة الكهربائية

روزا علي ديب\*

تاريخ الإيداع 22 / 11 / 2018. قُبل للنشر في 27 / 1 / 2019

### □ ملخص □

إن أزمات الطاقة العالمية في السنوات الأخيرة، ومشكلة تلوث البيئة أعطت شعوراً عاماً بأهمية البحث الجدي والمستمر عن الطاقات المتجددة والبديلة، كما إن ارتفاع أسعار الوقود وتوقع نضوبه يجعلان من الضروري التفكير باستخدام الطاقة الشمسية في إنتاج الطاقة الكهربائية، والمساعدة بتقليل استهلاك الوقود في محطات توليد الطاقة الكهربائية التقليدية و المركبة.

نقدم في هذا البحث دراسة تحليلية وبرمجية لدمج محطة الطاقة الشمسية مع محطات توليد الطاقة المركبة (غازية - بخارية)، من أجل الاستفادة من الطاقة الشمسية كمصدرٍ مساعدٍ لتسخين الماء وتوليد وتحميص البخار في محطات توليد الطاقة المركبة، بهدف التقليل من استهلاك الوقود، والذي بدوره يؤدي إلى توفير الاقتصادي من جهة، والتقليل من تلوث البيئة من جهةٍ أخرى. وكذلك وضع خوارزمية من أجل حساب كمية الحرارة الشمسية الصافية المجمعة، و ثم تحويلها إلى برنامج كمبيوتر بلغة VisualC++ وكذلك عرض للنتائج الحاصلة.

**الكلمات المفتاحية:** الطاقة الشمسية، تحسين الأداء، محطات الدمج، برنامج VisualC++

\* ماجستير - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

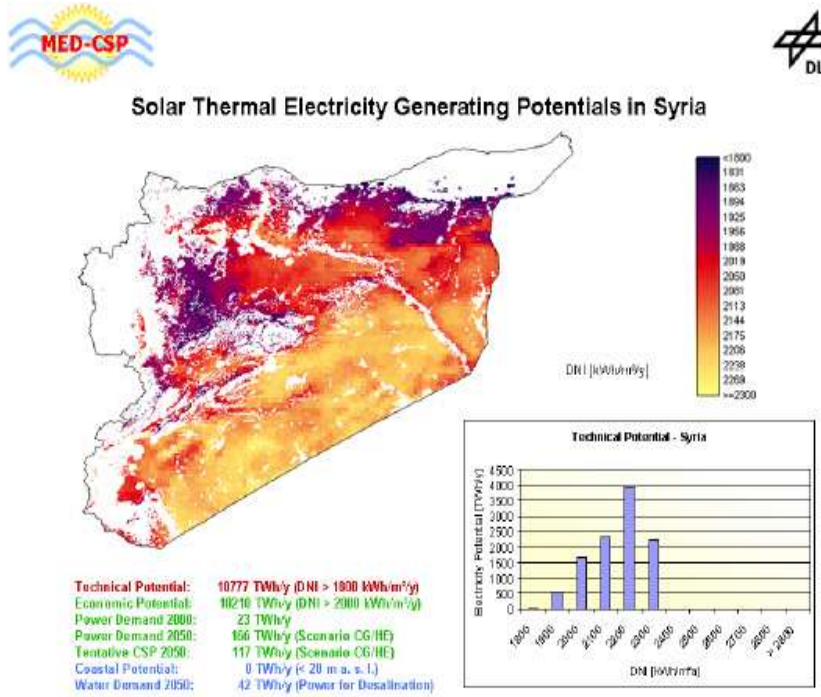
## مقدمة:

إن استخدام الوقود للحصول على الطاقة يتم فقط في حالة عدم توافر احتمالاتٍ أخرى للحصول على الطاقة بأنواعها الكثيرة، إن أشعة الشمس هي الشكل النبيل للطاقة التي نشأت تحتها الحياة، وواصلت تقدمها على الأرض، و استخدام طاقة هذه الأشعة الشمسية بأي قدر لا يشكل خطورةً على أي نوعٍ من أنواع الكائنات الحية، في حين يؤدي استخدام أي نوعٍ من أنواع الوقود إلى تلويث البيئة المحيطة بالكائنات الحية (هواء - ماء - تربة...)، أما في المناطق المشمسة من العالم، فلا بدّ من استخدام الطاقة الشمسية، حيث إنّه لو لم يكن هناك وفرةً في أنواع الوقود الأحفوري (نفت- غاز طبيعي- فحم...)، لكان لدينا اليوم اقتصاد مبني على الطاقة الشمسية بنفس فاعلية و كفاءة الاقتصاد القائم على الوقود الأحفوري. إنّ أنواع الوقود الأحفوري محدودةً ومنتهيةً، و ما تختزنه الأرض منها كافٍ لتزويدنا بالطاقة لفترةٍ محدودةٍ فقط، فماذا سيكون الموقف بعد نضوب هذه الأنواع المختلفة من الوقود، لذلك كان لا بد من التفكير في أنواع أخرى للطاقات الجديدة والمتجددة وخاصة الاستفادة من الطاقة الشمسية في توليد الطاقة الكهربائية [1].

إنّ فكرة الاستفادة من الطاقة الشمسية في توليد الطاقة الكهربائية ليست بالحديثة على المستوى العربي والعالمي، حيث بدأت فكرة توليد الكهرباء الشمسية على يد العالم فرانك شومان عندما قام ببناء أول محطة شمسية حرارية في العالم في المعادي (مصر) جنوب القاهرة عام 1913 [2]، وكانت عبارة عن حقل مجمعات شمسية مؤلفٍ من خمسة صفوفٍ بطول 62 متر مع عنفة بخارية [3].

كذلك تمّ بناء تسعة أنظمة للتوليد الكهربائي الشمسي في صحراء موجاف في جنوبي كاليفورنيا بين العام (1984 و 1990) استطاعتها الإجمالية حوالي (354 MW)، تمّ بناء أول محطتين في داجيت و استطاعة إحداهما 14MW والأخرى 30MW، وخمسة منها في كرامراكشن استطاعة كلّ منها 30 MW، وتم بناء آخر محطتين في هاربيرك واستطاعة كلّ منها 80MW، وهذه المحطات عبارة عن محطات مدمجة (محطة بخارية تقليدية - حقل شمسي) [4] حيث تتألف الأنظمة الشمسية من عدة أنواعٍ من المجمعات القطعية، وكلّ هذه المحطات لا تزال مستمرة بالتشغيل حتى الآن. ومن إحدى المحطات الشمسية المبكرة في العالم محطة Sunshine في اليابان التي تمّ بناؤها عام 1981، و تبلغ استطاعتها 1MWe وهي عبارة عن مستقبلٍ برجّي. وكذلك من المحطات الشمسية الحرارية القابلة للتطوير المحطة المدمجة (محطة مركبة - نظام شمسي) في الجزائر، وتبلغ استطاعتها الشمسية حوالي 35MWe من استطاعتها الإجمالية 140 MWe. وتم بناء محطات أخرى ومتنوعة في العالم حتى هذا الوقت [5].

ومن هنا نشأت فكرة البحث وإمكانية الاستفادة من الطاقة الشمسية في توليد الطاقة الكهربائية ومجالات تطبيقها [6] [7] في محطات توليد الطاقة في القطر العربي السوري الحبيب لما أمده الله من المحصول الشمسي السنوي الوفير، وليقدم أفضل ما عنده للسعي في طلب الكهرباء الشمسية لمواجهة التزايد المضطرد للحاجة إلى استهلاك الطاقة الكهربائية، مما يوجب التوسع في استخدام الطاقة الشمسية، ويوضح الشكل (1) التالي ثراء سورية بالإشعاع الشمسي [8] [9]، حيث يبيّن توزيع الإشعاع الشمسي المباشر في مناطقها المختلفة الذي تتراوح قيمه الوسطية بين  $(1820-2300 \text{ kWh/m}^2/\text{y})$ .



الشكل (1): يبين قيم الإشعاع الشمسي المباشر في سورية [8] [9] .

## أهمية البحث وأهدافه:

إن هدف البحث وأهميته تكمن في عملية دمج محطة الطاقة الشمسية مع محطات توليد الطاقة المركبة (غازية-بخارية)، من أجل الاستفادة من الطاقة الشمسية كمصدرٍ مساعدٍ لتسخين الماء وتوليد وتحميص البخار في محطات توليد الطاقة المركبة، بهدف التقليل من استهلاك الوقود، وهذا يؤدي إلى التوفير الاقتصادي من جهة، والتقليل من تلوث البيئة من جهةٍ أخرى. حيث سيتم تصميم الحقل الشمسي المناسب والدراسة التحليلية لعملية التبادل الحراري بين المحطة المركبة ومجموعة الطاقة الشمسية ومن ثم اقتراح دارة حرارية مركبة جديدة. تعمل على تحسين المردود الإجمالي للمحطة المركبة، وبقية المؤشرات الرئيسة الأخرى.

## طرائق البحث ومواده

تعتمد طرائق لبحث ومواده على إيجاد الحلول والاقتراحات لعملية دمج محطة الطاقة الشمسية مع محطات توليد الطاقة المركبة (غازية - بخارية) حيث سنقوم بتطبيقه على محطة جندر المركبة (بخارية-غازية) لتوليد الطاقة والموجودة في مدينة حمص وسنتبع في منهجية البحث العلمي الدراسة التحليلية للنظام الشمسي والمحطة المركبة، والمراحل المتبعة والتي تشمل مواصفات المحطة كاملة و أجزاء المحطة و مبدأ عملها و بارامترات البخار وغازات الاحتراق و الاستطاعة... وتحديد الحمولة المثلى للنفقة الغازية في محطة جندر ومن أجل الدراسة التحليلية لموقع المحطة: سنحدد خط الطول و خط العرض و الارتفاع عن سطح البحر ومن ثم الاختيار الأمثل لتوضع الحقل الشمسي من الناحية الجغرافية و سرعة الرياح....

وكذلك الدراسة التحليلية والبرمجية للحقل الشمسي والتي تشمل اختيار نوع المجمعات وتوجيه المجمعات الشمسية واختيار مائع انتقال الحرارة في المجمعات والتخزين الحراري وحساب مساحة الحقل الشمسي وتحديد المواصفات الحرارية للحقل الشمسي تحليليا وبرمجيا .

### النتائج والمناقشة:

بما أن الطاقة الشمسية هي طاقة نظيفة ومتوفرة بشكل كبير في القطر العربي السوري، و نظراً لارتفاع المتزايد في أسعار الوقود، وزيادة الحاجة إلى استخدامه في جميع مجالات الحياة، سنقوم بدراسة إمكانية الاستفادة من الطاقة الشمسية كمصدر مساعد لتسخين الماء وتوليد البخار في محطات توليد الطاقة المركبة؛ بهدف التقليل من استهلاك الوقود؛ مما يؤدي إلى توفير الاقتصادي من جهة، والتقليل من تلوث البيئة من جهة أخرى،، لقد اتبعنا في منهجية البحث العلمي الدراسة التحليلية للنظام الشمسي وللمحطة المركبة، والدراسة التحليلية والبرمجية للحقل الشمسي وكذلك الدراسة التحليلية لعملية الدمج بين الحقل الشمسي ومحطة جندر. وحساب لمؤشرات الرئيسة التي تدل على أداء المحطة قبل وبعد عملية دمج نظام الطاقة الشمسية.

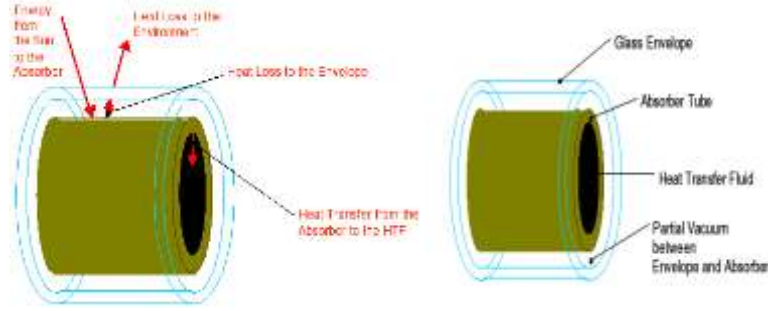
ن تركيبة المجمع الشمسي (SCA)(Solar Collector Assembly) هي العنصر الأساسي في الحقل الشمسي، وكل تركيبة (SCA) هي عبارة عن مجمع قطعي أسطواني يتتبع حركة الشمس بشكل مستقل عن تركيبات المجمعات القطعية الأخرى. تتألف كل تركيبة من عواكس قطعية (مرايا بشكل قطع مكافئ)، ومن تركيبة داعمة معدنية، وأنايب استقبال، ونظام تتبع والذي يتضمن بدوره جهاز قيادة وحساسات وضوابط.

تحتوي البنية الهندسية ل ET100 و ET150 على قناة ريش، مع تتبع الشمس من الشروق وحتى الغروب. تركز مجمعات يورو الإشعاع الشمسي بواسطة وجوه المرايا القطعية الموجودة فيها على أنايب الامتصاص الموجودة على طول الخط المحرق، حيث يدور مائع انتقال الحرارة (HTF) ضمن هذه الأنايب؛ وهذا المائع هو عبارة عن زيت صناعي يسخن تقريباً إلى حوالي 400°C؛ و تتألف أنواع المجمع القطعي يورو من وحدات قياسية متماثلة للمجمع ذات طول 12m، وتتضمن كل واحدة 28 لوحاً من الألواح العاكسة القطعية (المرايا)، وتتوضع (7) منها على امتداد المحور الأفقي بين البوابات، و (4) في المقطع العرضي العمودي. وكل مرآة مستندة على تركيبة المجمع في أربع نقاط من مؤخرتها، مما يسمح للزجاج بالانحناء في حدود مجال مرونته بدون تأثير على النقطة المحرقة، يحوي النوع ET100 ذوالطول 100 متر على 8 وحدات مقطعية من المجمع، وتبلغ مساحة سطحه حوالي 545m<sup>2</sup>، أما النوع ET150 ذوالطول 150 m فيحوي على 12 وحدة قياسية من المجمع، وتبلغ مساحة سطحه حوالي 814 m<sup>2</sup>.

### 1- الدراسة التحليلية للحقل الشمسي:

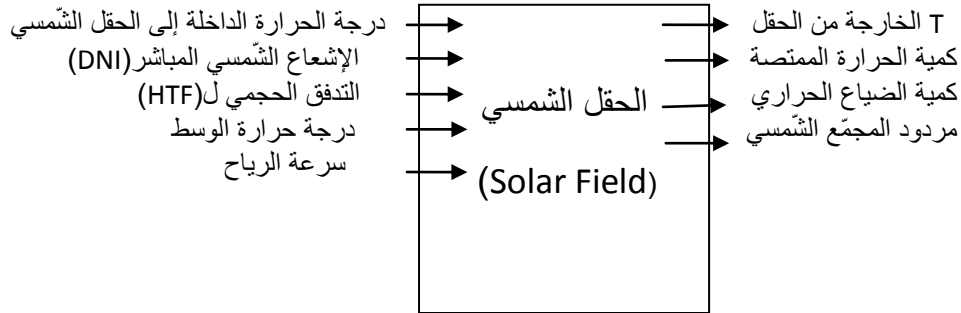
إن محطات الطاقة الكهربائية الحرارية الشمسية (SEGS) (Solar Electric Generating System) هي عبارة عن محطات طاقة شمسية مركزة تقوم بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية ( Concentrating Solar Power ) (CSP) Plants، حيث تنتج الكهرباء عن طريق استخدام الطاقة الحرارية المجمع في سلاسل من المجمعات الشمسية المركزة، و من ثم تنتقل هذه الطاقة الحرارية إلى محطة الطاقة البخارية (دائرة رانكين) ليتم إنتاج الكهرباء فيها، إذا يبدأ توليد الطاقة الكهربائية في محطات SEGS من الحقل الشمسي، الذي يتكون من عدة صفوف من المجمعات الشمسية المتتعبة (المتعقبة) لمسار الشمس في السماء، و التي تكون ذات محور تتبّع مفرد أو ثنائي، و يتألف كل مجمع حوضي من مرايا منحنية (بشكل قطع مكافئ) مشكّلة و مصقولة، تقوم بتركيز الإشعاع الشمسي المباشر

الوارد من الشمس على عناصر التجمع الحراري (Heat Collection Element)، ويرمز له اختصاراً (HCE)، التي تمتد على طول الخط المحرقى لكل مجمع. ويبين الشكل (2) التالي عنصر التجميع الحراري.



الشكل (2-أ): عنصر التجميع الحراري (HCE) الشكل (2-ب): انتقال الحرارة في عنصر التجميع الحراري (HCE)

يتم امتصاص الطاقة المشعة المركزة من الشمس عبر HCE كما هو مبين بالشكل (2-ب) ثم يتم نقلها إلى مائع انتقال الحرارة في المجمع (Heat Transfer Fluid)، والذي يرمز له اختصاراً بالرمز (HTF)، وهو عبارة عن زيت صناعي مثل البيفينيل أو الديفينيل أو أكسيدالديفينيل (مثلترمينال VP-1 و VP-2 و VP-3 وغيرها الموضحة، حيث يتم ضخه عبر كل أنبوب في عنصر التجميع الحراري وسيتم اعتبار حقل المجمع الشمسية كعنصر حتى نستطيع حساب درجة حرارة مائع انتقال الحرارة (HTF) المغادر الحقل الشمسي كما هو مبين بالشكل (3):



إذا قيم المدخلات المطلوبة إلى الحقل الشمسي هي:

1- درجة حرارة مائع انتقال الحرارة (HTF) عند مدخل الحقل (المائع القادم من محطة الطاقة).

2- الإشعاع الشمسي العمودي المباشر (DNI) عبر الحقل ويقدر ب ( $W/m^2$ )

3- معدل الجريان لحجمي (HTF) ويقدر ب ( $m^3/sec$ )

4- درجة حرارة الوسط المحيط ( $^{\circ}C$ )

5- سرعة الرياح ( $m/sec$ )

ويعطي الحقل الشمسي (T) درجة مائع انتقال الحرارة (HTF) عند المخرج، معدل الطاقة الممتصة، الضياع الحراري من الحقل، والمردود البصري اللحظي لحقل المجمع ككل. ويتم حساب درجة الحرارة عند مخرج الحقل الشمسي كما يلي:

أولاً: حساب الإشعاع الممتص ( $Q_{absorbed}$ ):

ثانياً: حساب الضياع الحراري من المستقبلات ( $Q_{heatloss}$ ):

ثالثاً: حساب درجة حرارة مخرج الحقل الشمسي .:

أولاً: حساب الإشعاع الشمسي الممتص (كمية الحرارة الممتصة) ( $Q_{\text{absorbed}}$ ):

تعطى معادلة الإشعاع الشمسي الممتص وفق العلاقة التالية:

$$Q_{\text{absorbed}} = \text{DNI} \cdot \cos \theta \cdot \text{IAM} \cdot \text{Rowshadow} \cdot \text{Endloss} \cdot \eta_{\text{field}} \cdot \eta_{\text{HEC}} \cdot \text{SFA}_{\text{vai}} \quad (1)$$

حيث إن:

$Q_{\text{absorbed}}$ : الإشعاع الشمسي الممتص بواسطة أنابيب المستقبل ( $\text{W/m}^2$ ).

$\text{DNI}$ : الإشعاع الشمسي العمودي المباشر ويقدر ب ( $\text{W/m}^2$ ).

$\theta$ : زاوية الورود وتقدر بالدرجة (deg).

$\text{IAM}$ : معدلة زاوية الورود (-).

$\text{Rowshadow}$ : عامل الأداء ويحسب من أجل التظليل المشترك لصفوف المجمعات المتوازية خلال الصباح الباكر والمساء المتأخر (-).

$\text{Endloss}$ : ضياع النهاية وعامل الأداء الذي يحسب من أجل الضياعات في نهايات المجمعات  $\text{HCE}_S$  (-).

$\eta_{\text{field}}$ : مردود الحقل ويتم حسابه من أجل الضياعات المطابقة لبصريات وشوائب المرآة (-).

$\eta_{\text{HEC}}$ : مردود  $\text{HCE}$  والذي يحسب من أجل الضياعات التابعة إلى بصريات وشوائب  $\text{HCE}$ .

$\text{SFA}_{\text{vai}}$ : جزء الحقل الشمسي الذي يعمل على تتبع حركة الشمس في السماء.

ثانياً- حساب الضياع الحراري من المستقبلات ( $Q_{\text{heatloss}}$ ): ويمكن حسابه من العلاقة التالية:

$$\text{Heatloss} = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot T^3 + \text{DNI}(b_0 + b_1 \cdot T) \quad (2)$$

حيث أن:

$\text{Heatloss}$ : الضياع الحراري من السطح الأبعد للمستقبل لكل وحدة طول ( $\text{W/m}$ )

$T$ : درجة حرارة المائع ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\text{DNI}$ : الإشعاع الشمسي المباشر العمودي ( $\text{W/m}^2$ )

$b$ : معاملات يتم تعيينها من الجداول

ثالثاً- حساب درجة حرارة مخرج الحقل الشمسي:

يتم حساب درجة حرارة مخرج الحقل الشمسي من المعادلة التجريبية التالية:

$$\text{Sf}_{\text{pipe HL}} = 0.01693\Delta T - 0.0001683\Delta T^2 + 6.78 \cdot 10^{-7}\Delta T^3 \quad (3)$$

تم التعبير عن الضياعات الحرارية للأنابيب ( $\text{Sf}_{\text{pipe HL}}$ ) لكل وحدة مساحة سطح الحقل الشمسي ( $\text{W/m}^2$ )

$\Delta T$ : هي الفرق بين درجة حرارة الحقل الوسطية مع درجة حرارة الهواء المحيط :

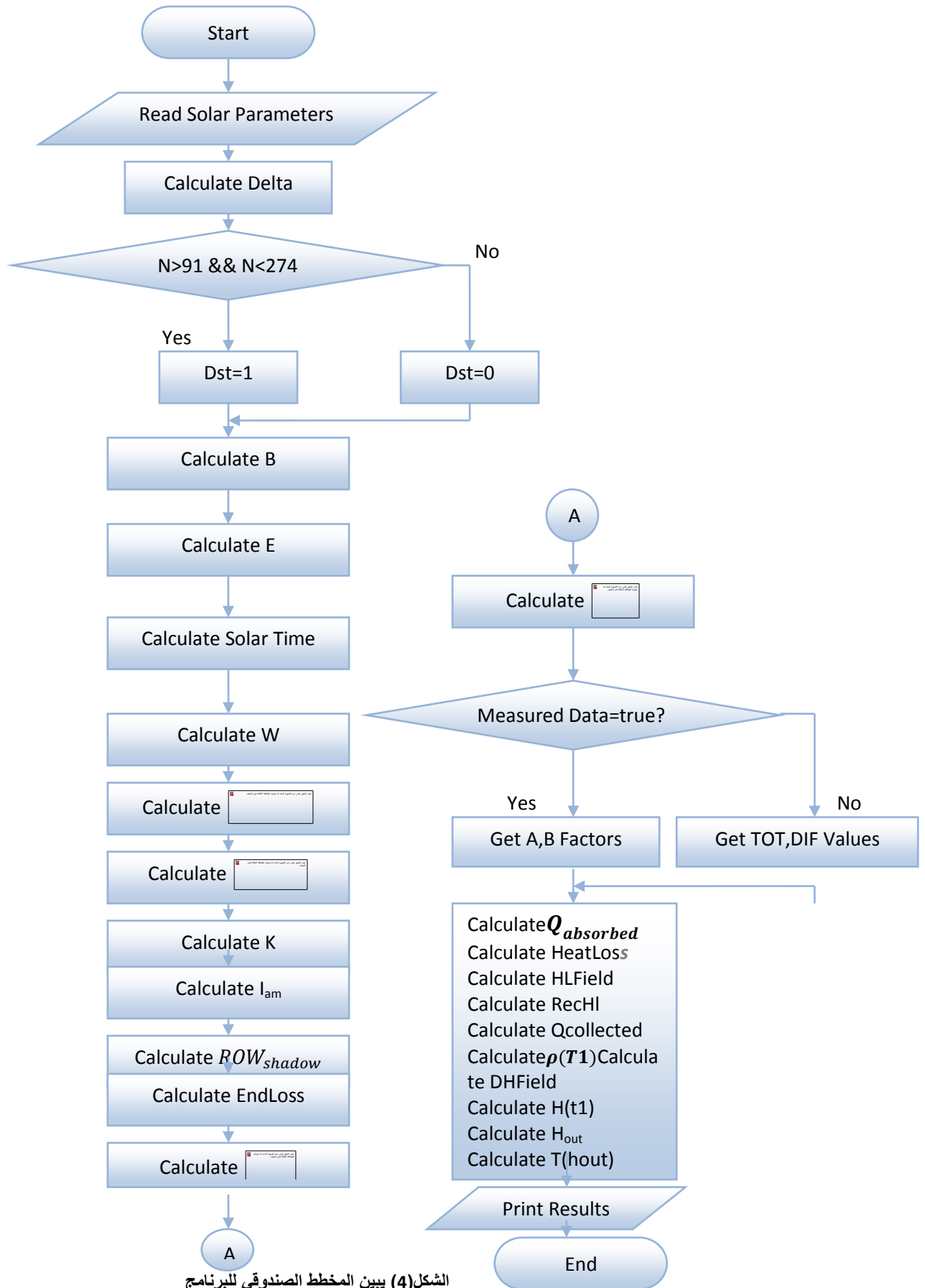
$$\Delta T = \frac{T_{\text{fieldoutlet}} + T_{\text{fieldinlet}}}{2} - T_{\text{ambient}} \quad (4)$$

## 2- الدراسة البرمجية للحقل الشمسي:

تشمل الدراسة البرمجية عملية إنشاء برنامج كمبيوتر بلغة [10] Visual C++ حيث، البنية التركيبية

(المعادلات الضمنية) لهذا البرنامج على المعادلات السابقة للدراسة التحليلية للحقل الشمسي: ويبين الشكل (4) التالي المخطط

الصندوق للبرنامج:



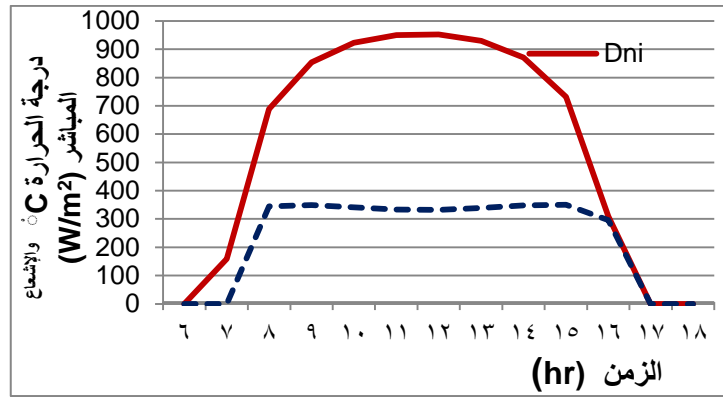


ويبين الجدول التالي ( 1 ) القيم الوسطية الناتجة عن البرنامج خلال أشهر السنة لكل من كمية الحرارة المجمعة ونسبة الضياعات ومردود الحقل ودرجة حرارة مخرج الحقل الشمسي:

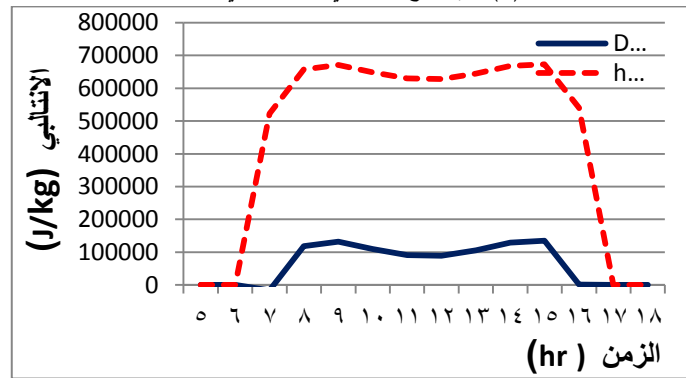
الجدول ( 1 ) : القيم الوسطية الناتجة عن البرنامج خلال أشهر السنة

الشهر	عدد ساعات التشغيل اليومية (hour)	كمية الحرارة المجمعة الوسطية $W/m^2$	نسبة الضياعات قي الحقل الشمسي %	انتالبي مائع انتقال الحرارة عند مخرج الحقل $(KJ/kg)$	درجة حرارة المخرج الوسطية $(^{\circ}C)$	مردود الحقل الشمسي %
كانون 2	7.5 (8 ص - 3.5 م)	241	22%	653	344	48.2 %
شباط	8 (8 ص - 4 م)	342	17%	702	362	54%
آذار	9 (7.5 ص - 4.5 م)	436	13.60%	746.2	379	58%
نيسان	10 (7 ص - 5.5 م)	493	12.10%	773	388	60.10%
أيار	11 (7 ص - 6 م)	494	12%	774	388.5	60.70%
حزيران	12 (6.5 ص - 6.5 م)	495	11.80%	774.1	389	61%
تموز	12 (6.5 ص - 6.5 م)	503	11.60%	777.7	390	61.30%
آب	11.5 (7 ص - 6.5 م)	500	11.70%	774.1	389	61.10%
أيلول	10 (7.5 ص - 5.5 م)	445	13.20%	750.2	380	58.30%
تشرين 1	8.5 (7.5 ص - 4 م)	366	15.60%	709	367	55%
تشرين 2	7.5 (8 ص - 3.5 م)	257	20.80%	661	346	49%
كانون 1	7.5 (8 ص - 3.5 م)	210	24.80%	638.8	340	46.50%

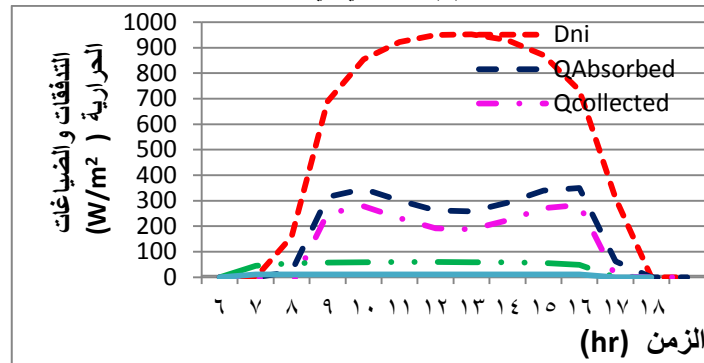
وتبين المخططات التالية من ( 5-18 ) القيم الوسطية لكل من الإشعاع الشمسي المباشر، و كمية الحرارة الممتصة وكمية الحرارة المجمعة، و الضياعات الحرارية في مستقبلات الحقل الشمسي وفي الأنابيب خلال ساعات اليوم في كل شهر، وكذلك درجة حرارة و انتالبي مائع انتقال الحرارة عند مخرج الحقل الشمسي



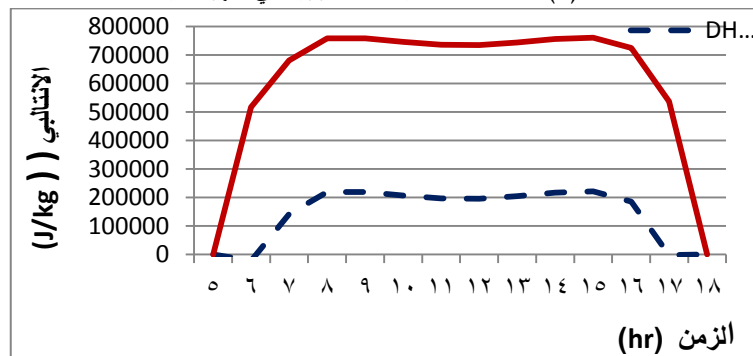
الشكل (5): الإشعاع الشمسي المباشر في شهر ك2



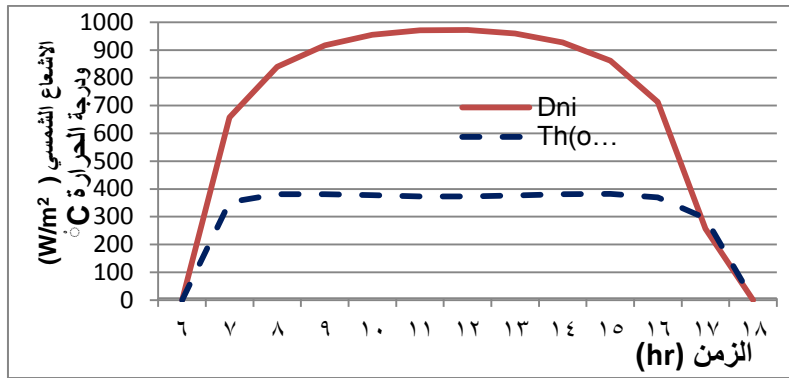
الشكل (6): الانتالبي في شهر شباط



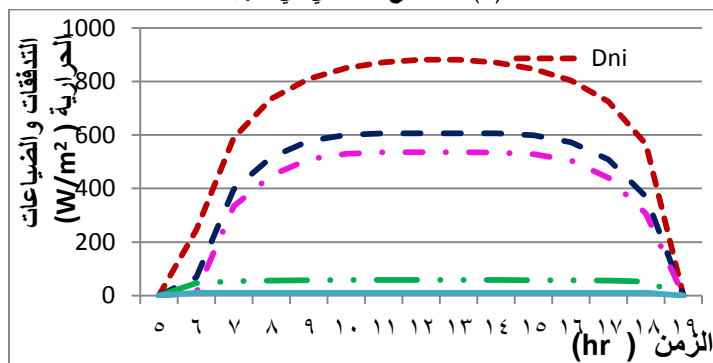
الشكل (7): التدفقات والضياعات الحرارية في شهر شباط



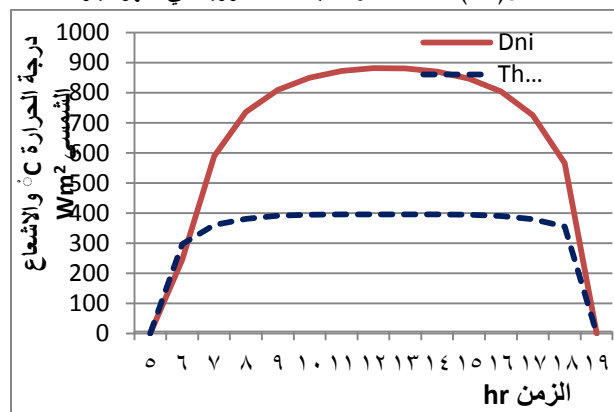
الشكل (8): الانتالبي في شهر شباط



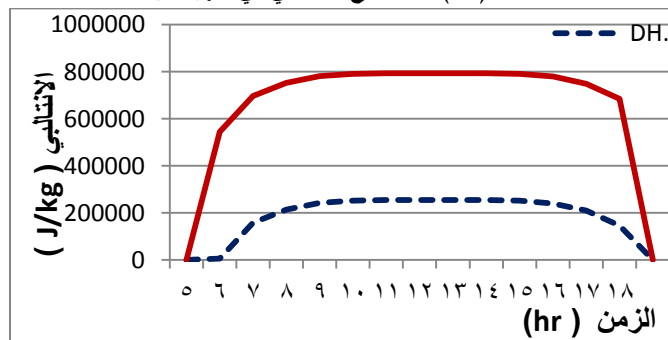
الشكل (9): الإشعاع الشمسي في شهر نيسان



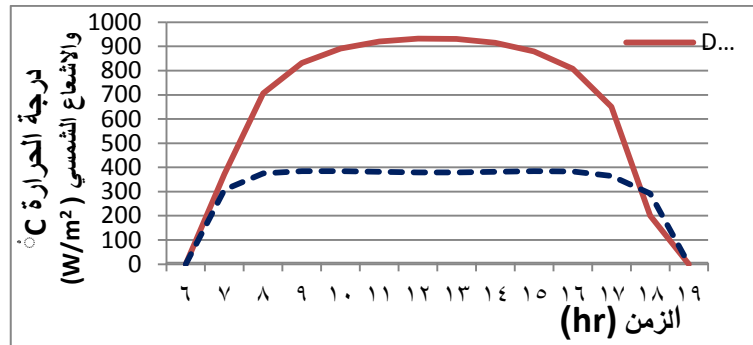
الشكل (10): التدفقات والضياعات الحرارية في شهر أيار



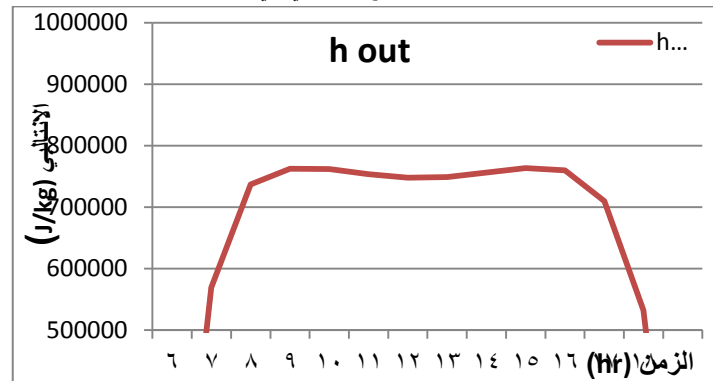
الشكل (11): الإشعاع الشمسي في شهر أيار



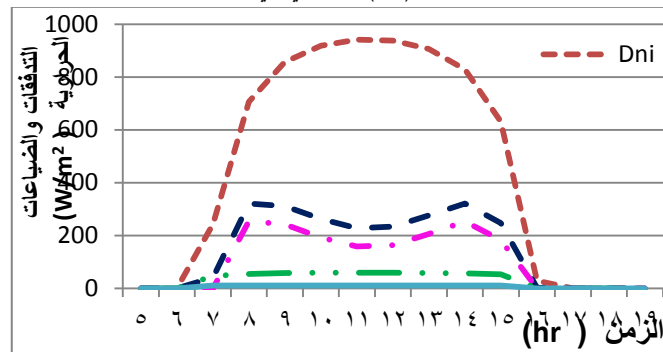
الشكل (12): الانتالبي شهر أيار



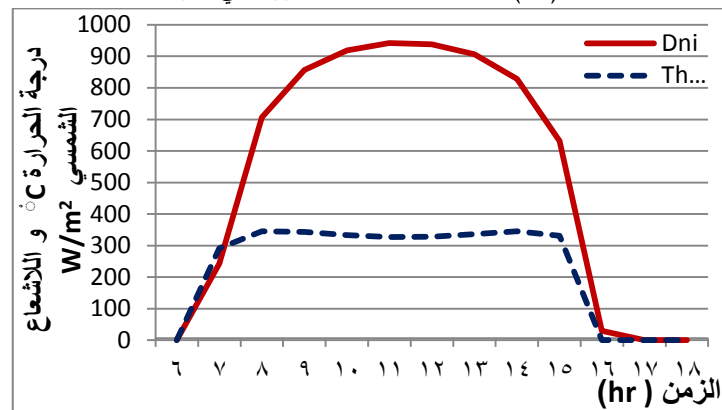
الشكل (13) : الإشعاع الشمسي في شهر آب



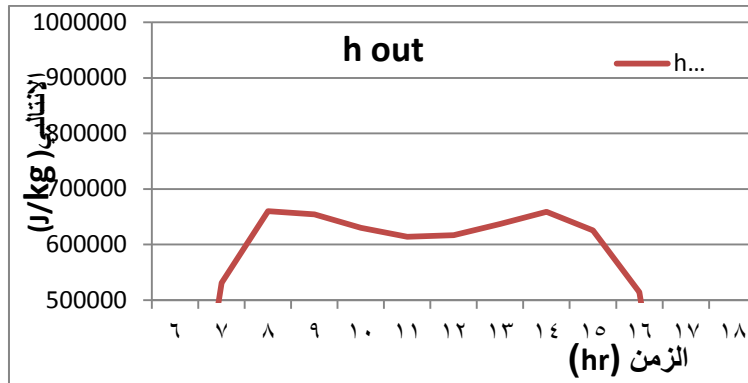
الشكل (14):الانتالي في آب



الشكل(15): التدفقات والضياعات الحرارية في تشرين 1

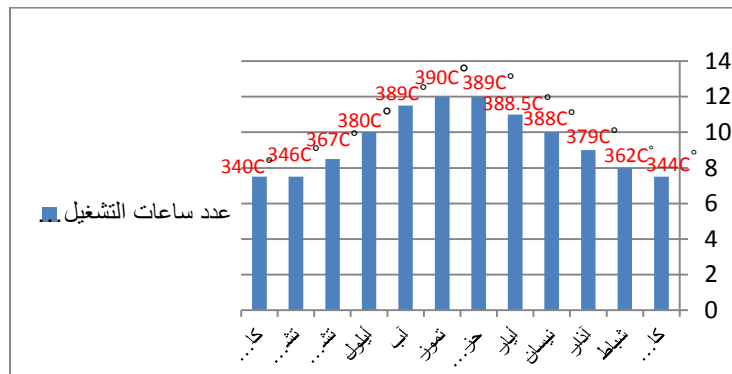


الشكل (16) : الإشعاع الشمسي في شهر ت

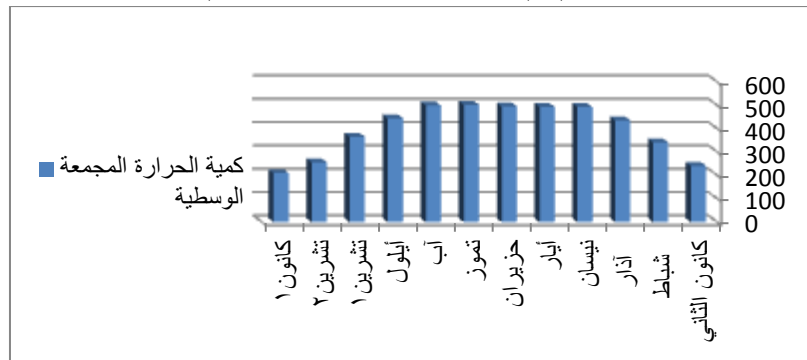


الشكل (17): الانتالبي في شهرت 1

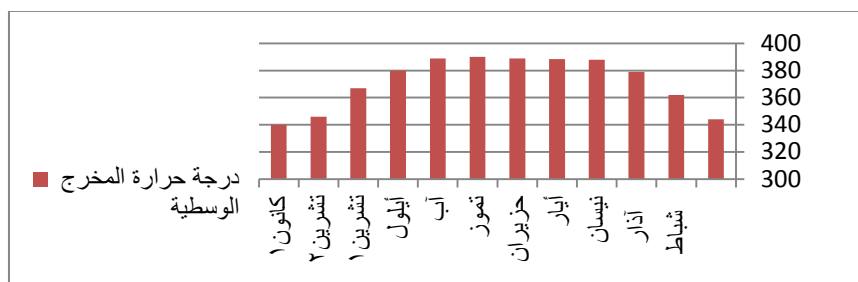
وتبين المخططات البيانية التالية من ( 18-22 ) القيم الوسطية لكل من عدد ساعات التشغيل اليومية وكمية الحرارة المجمعة ودرجة حرارة مائع انتقال الحرارة عند مخرج الحقل الشمسي والمردود الحراري للحقل الشمسي وعلاقته بالضيعات الحرارية خلال أشهر السنة.



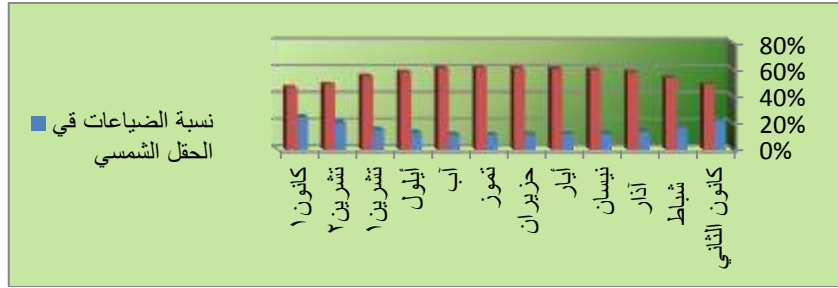
الشكل (18): عدد ساعات التشغيل اليومية (hou)



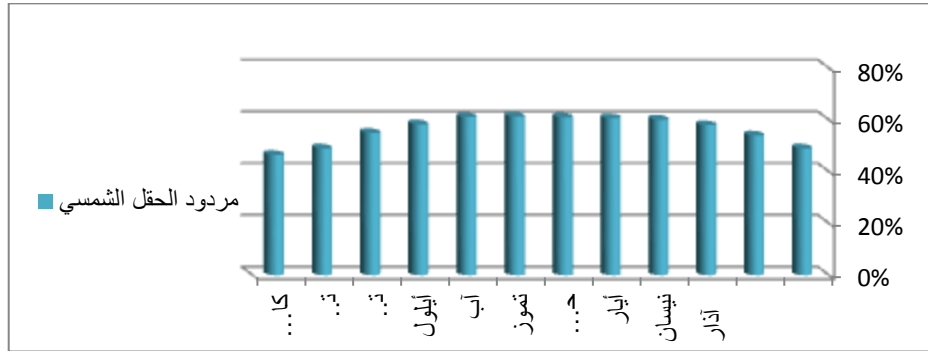
الشكل (19): كمية الحرارة المجمعة الوسطية ( W/m<sup>2</sup> )



الشكل (20): درجة حرارة المخرج الوسطية (C°)



الشكل (21): العلاقة بين مردود الحقل الشمسي ونسبة الضياعات



الشكل (22): مردود الحقل الشمسي

### 3-تصميم نظام الطاقة الشمسية:

يتم تحديد درجة الحرارة التشغيلية للمجمّع نموذجياً من خواص الطلب على الطاقة (مثلاً الطاقة الحرارية يجب أن يتم إنتاجها عند درجة حرارة مرغوب بها)، ويتم وفقاً لإحدى الحالتين التاليتين:

#### 3-1-درجة الحرارة التشغيلية المضبوطة للمجمّع:

يجب معرفة درجة الحرارة التشغيلية المطلوبة للمجمّعات الشمسية من أجل تقدير خرج الطاقة الحرارية من المجمّع الشمسي. تستخدم معظم المجمّعات الحرارية الشمسية مائع انتقال حرارة أحاديّ الطور (غير متغير الطور)، وبالتالي تعتمد على زيادة درجة حرارة هذا المائع من أجل عملية تجميع الطاقة الحرارية.

#### 3-2- دور تخزين الطاقة الحرارية:

يوجد نوعين لتخزين الطاقة الحرارية يتم تقديمها في معظم أنظمة الطاقة الحرارية الشمسية، النوع الأول يتم فيه تخزين كمية قليلة من الطاقة الحرارية تدعى بحاجز التخزين، حيث يتم تقديمها عادةً للسماح بالإقلاع وهذا ما سنستخدمه في بحثنا .

#### 3-3-طرق التصميم:

ان القواعد التصميمية ذات الحسابات التقريبية هي الخطوة الأولى في الدراسة التحليلية لحقل المجمّعات الشمسية وهي تحديد درجة الحرارة التشغيلية للمجمّع.

وتقدم هذه القواعد ذات الحسابات التقريبية بشكل خاص للمجمّعات القطعية الحرارية و الصحنون حيث أن البخار لا يتم توليده في المستقبل. وفيما يلي سنقدم هذه القواعد:

1- فرق درجة الحرارة عبر حقل المجمّعات ( $\Delta T$ ) مع التخزين الحراري المحسوس: إذا كانت سعة التخزين مهمة في نظام الطاقة الشمسية، فإن فرق درجة الحرارة عبر حقل المجمّعات ( $\Delta T$ ) سوف يكون تقريباً حوالي  $140^{\circ}\text{C}$  أو الفرق بين الدرجة  $315^{\circ}\text{C}$  ودرجة حرارة البخار المشبع والتي تكون أصغر.

2 - فرق درجة الحرارة ( $\Delta T$ ) في حقل المجمعَات بدون تخزين: في حالة انعدام التخزين سوف يكون فرق درجة الحرارة ( $\Delta T$ ) في حقل المجمعَات تقريباً ضمن المجال ( $55 - 85$  °C) أو الفرق بين الدرجة  $315^\circ\text{C}$  ودرجة حرارة البخار المشبع أي الأصغر منها.

3- درجة الحرارة التشغيلية للمجمع: درجة حرارة المجمع سوف تكون نصف  $\Delta T$  لحقل المجمعَات فوق درجة حرارة البخار المشبع، ودرجة الحرارة الوسطية للمجمع هي المتوسط بين درجات حرارة مدخل ومخرج المجمع.

4 - فرق درجة الحرارة ( $\Delta T$ ) في حقل المجمعَات بدون تخزين: عندما يخدم نظام الطّاقة الشمسية عملية الطلب على الطّاقة والتي تستخدم آلية حرارية محسوسة (أي مثلاً ليس عملية بخارية) فسوف تكون  $\Delta T$  للحقل الشمسي هي تقريباً ذاتها  $\Delta T$  للعملية، أو من أجل المركّزات (مثلاً الصحون والأحواض القطعية) يكون حوال  $(55 - 85)$ ، أو تكون  $\Delta T$  للعملية أكبر حوالي  $100^\circ\text{C}$ .

5- فرق درجة الحرارة  $\Delta T$  للحقل مع التخزين الحراري المحسوس: إذا كانت سعة التخزين هامة ومقدمة في نظام الحقل الشمسي فإن  $\Delta T$  للحقل الشمسي سوف تكون تقريباً الفرق بين درجة الحرارة المنخفضة للعملية و  $315^\circ\text{C}$  إذا كان المجمع مركز، أو درجة الحرارة التشغيلية الأعلى الموصى بها من قبل المصنعيين (المجال  $70 - 60^\circ\text{C}$  هو اقتراح جيد إذا لم يكن هناك معطيات)

6- درجة الحرارة التشغيلية للمجمع: درجة الحرارة التشغيلية للمجمع: سوف تكون  $1/2$  درجة حرارة الحقل فوق درجة الحرارة المنخفضة للعملية. وهي ببساطة المتوسط بين درجة حرارة مدخل ومخرج المجمع. أما من أجل المجمعَات المستوية حيث يمكن أن يتم طلب معرفة درجة حرارة مدخل المجمع، فإن درجة حرارة مدخل المجمع تعادل درجة الحرارة المنخفضة للعملية وذلك عند النقطة التي يتم فيها التقابل بين نظام المجمع المستوي مع العملية .

7- الشروط الأساسية لمساحة الأرض: مساحة الأرض المطلوبة لنشر المجمعَات الشمسية هي تقريباً حوالي ( 2 - 3.5 مرة) من مساحة السطح الكلي للمجمعَات، الشروط الأساسية لمساحة الأرض تكون على أساس التحليل المتعاقب لتظليل المجمعَات و الضياعات الحرارية من شبكة أنابيب الحقل.

8- سعة التخزين: إذا كان سيتم دمج التخزين داخل النظام المصمم ولا يوجد أي سبب لتحديد مساحة المجمع فإن الاتحاد المناسب بين سعة التخزين ومساحة المجمع يكون مترافق مع درجة الإزاحة الأعظمية على المخطط القياسي المناسب للتخزين.

9- تناقص خرج المجمع: خرج الطّاقة الحرارية من حقل المجمعَات المركبة سوف يكون حوالي ( 85 - 75 %) من خرج الطّاقة الحرارية من المجمع المعزول والنظيف المختبر. الضياعات الحرارية من شبكة أنابيب الحقل والأوساخ على المجمعَات والتظليل بين المجمعَات سوف تنقص خرج الطّاقة الحرارية لحقل المجمعَات المحسوب باستخدام معطيات الاختبار، ويقدر هذا التناقص بحوالي ( 25 - 15 %) من أجل حقل نموذجي، وإن استعمال عامل التصحيح حوالي 0.85 - 0.75 إلى الخرج المحسوب سوف يقدم تقريب واقعي لأداء حقل المجمعَات الحقيقي.

#### 4- عملية الدمج بين النظام الشمسي المصمم ومحطة جندر

##### 4-1 - تصميم الحقل الشمسي:

تشمل دراسة تصميم الحقل الشمسي حساب مساحة سطوح المجمعَات الشمسية التي تؤمن الطلب على الطّاقة الكهربائية خلال ساعات عمل المحطة، ويجب أن تغطي المساحة المطلوبة كمية الحرارة المطلوب تخزينها لعمل المحطة عند غياب الشمس، ولكن في دراستنا هذه لا يوجد تخزين للحرارة بقصد تشغيل المحطة ليلاً، وإنما يستخدم

تخزين مائع انتقال الحرارة (VP-1) فقط بكمية قليلة من أجل إقلاع المحطة صباحاً عند درجة حرارة مرتفعة تكون حوالي 290 °C ..

### a- حساب مساحة سطح المجمعات الشمسية $A_{total}$ :

سوف نقوم بتصميم الحقل الشمسي ليغطي 30MW من الطلب على الطاقة من خلال العنفة البخارية في المحطة المركبة، و تحسب المساحة من العلاقة التالية:

$$\frac{\text{معامل التغييم} \times \text{الطلب على الطاقة}}{(1 - \text{نسبة الضياعات}) \times \text{كمية الحرارة المجمعة}} = A_{total} \quad (5)$$

ويحدد معامل التغييم من العلاقة التالية:

معامل التغييم = 1 + نسبة التغطية الكلية

وتحدد نسبة التغطية كما يلي:

مجموع معاملات التغطية الكلية

$$\text{نسبة التغطية الكلية} = \frac{\text{مجموع معاملات التغطية الكلية}}{\text{مجموع معاملات التغطية الكلية} + \text{مجموع متوسط عدد ساعات السطوع اليومي}}$$

ويتم الحصول على عدد ساعات السطوع وعلى عدد ساعات التغطية من الأطلس الشمسي للقطر العربي السوري، وفي دراستنا سوف نقوم بحسابه من أجل أسوأ ستة أشهر في السنة (وهذه الأشهر هي تشرين 1، تشرين 2، كانون 1، كانون 2، شباط، آذار) من حيث متوسط عدد ساعات السطوع الشمسي في منطقة حمص، وبالتالي عدد ساعات التغطية المقابلة لها، وتؤخذ القيم المقابلة لها من الجدول (2) والجدول (3) التاليين:

الجدول (2): متوسط عدد ساعات السطوع اليومي في محطة الأرصاد الجوية في حمص

الشهر	كانون 2	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	أب	أيلول	تشرين 1	تشرين 2	كانون 1	السنوي
عدد ساعات السطوع	3.7	5.4	6.5	7.9	10	11.8	11.7	10.9	9.6	7.8	6.0	4.2	7.2

الجدول (3): معامل التغطية الكلية في محطة الأرصاد الجوية في حمص

الشهر	كانون 2	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	أب	أيلول	تشرين 1	تشرين 2	كانون 1	السنوي
معامل التغطية الكلية	3.2	4.3	4.0	3.7	2.9	0.9	0.6	0.7	0.7	2.3	3.4	4.6	2.8

من العلاقات السابقة نقوم بحساب مساحة المجمعات الشمسية المطلوبة في دراستنا:

$$\text{نسبة التغطية الكلية} = \frac{(3.2+4.3+4+2.3+3.4+4.6)}{(3.2+4.3+4+2.3+3.4+4.6)+(3.7+5.4+6.5+7.8+6+4.2)} = \frac{21.8}{21.8+33.6} = 30.39\%$$

وبالتالي يصبح معامل التغييم مساوياً:  $1+0.393=1.393$

نقوم بحساب مساحة المجمعات عند قيمة متوسطة لكمية الحرارة الممتصة في هذه الشهور الستة والتي تساوي  $(308W/m^2)$ ، وكذلك نأخذ أكبر نسبة للضياعات في الحقل الشمسي وتساوي (25%). فتكون مساحة المجمعات

المطلوبة كما يلي:



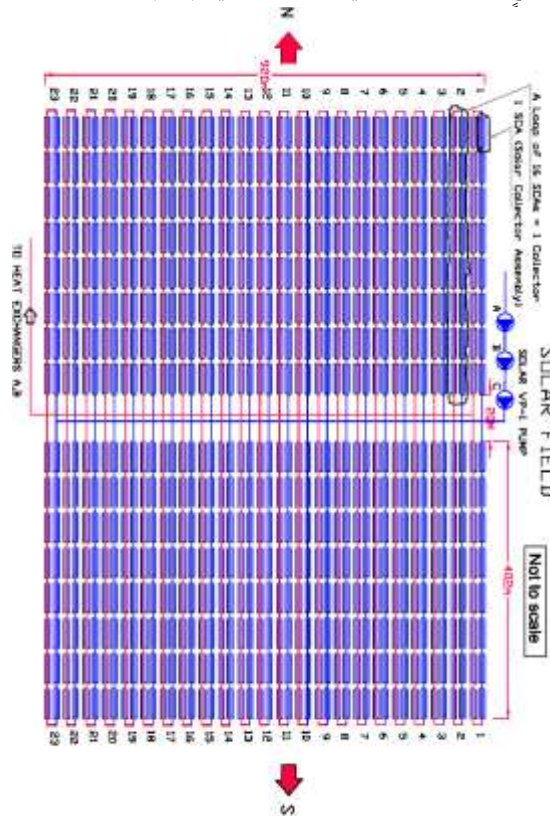
$$\frac{30000 \cdot 1.393}{0.308 \cdot (1-0.25)} = 180909.09 \text{ m}^2 = A \text{ total}$$

**b- حساب عدد المجمّعات:**

بما أننا اخترنا مجمعات الحقل من النوع القطعي (2-LS-LUZ) ذات طول 50 m وعرض الفتحة 5m، وبالتالي مساحة سطح الفتحة للمجمّع تساوي: (250m<sup>2</sup>)، ومن أجل الحصول على الاستطاعة المطلوبة من الحقل الشمسي، وحتى نستطيع الحصول على عدد صحيح من المجمّعات نقرب مساحة الحقل إلى الرقم التالي: 184000m<sup>2</sup> وهي مساحة المجمّعات المطلوبة لدينا، وللحصول على عدد المجمّعات في الحقل الشمسي نقوم بتقسيم المساحة الإجمالية للحقل على مساحة المجمّع الواحد:

$$\text{عدد المجمّعات} = \frac{184000}{5 \cdot 50} = 736 \text{ مجمع}$$

نقوم بتحديد عدد حلقات المجمّعات الشمسية ضمن الحقل الشمسي بحيث تحوي كلّ حلقة (Loope) على 16 مجمع (ويسمى كلّ مجمع بتركيبية المجمّع الشمسي، ويرمز له بالرمز SCA اختصاراً لـ Solar Collector Assembly)، فنحصل على 46 حلقة، إذا اعتبرنا أنّ الحقل الشمسي مؤلف من جزئين A وB، فيصبح لدينا كلّ جزء مؤلف من 23 حلقة وكلّ حلقة مؤلفة من 16 مجمع كما هو مبين في الشكل التالي (24).



الشكل (23) ترتيب الحقل الشمسي

**c- حساب مساحة الأرض اللازمة للحقل الشمسي المصمم:**

لدينا 46 حلقة من المجمّعات الشمسية، وسوف يتم تقسيم الحقل الشمسي إلى جزأين (A.B) المسافة بينهما 20m، وكلّ جزء يحوي 23 حلقة، البعد بين المجمع والآخر يساوي 0.25m وطول المجمع 50m، وعرض المجمع تساوي 5m. ونم حساب الطول الكلي لحقل المجمّعات ويساوي 402m وحساب العرض الكلي لحقل المجمّعات الشمسية ويساوي 920m ويمكن حساب كتلة مائع انتقال الحرارة في الخزان وتساوي

$$M_{tank} = 3038.2437 \text{ kg}$$

وهي كتلة مائع انتقال الحرارة المطلوبة من أجل التخزين الحراري لمائع انتقال الحرارة، وهذا النوع من التخزين يتم فقط من أجل المحافظة على درجة حرارة مائع انتقال الحرارة عند مدخل الحقل الشمسي بدرجة تبلغ حوالي 290°C، من أجل الإقلاع الهادئ للمحطة في الصباح الباكر.

#### 4-2- الدراسة التحليلية لمبادلات نظام الطاقة الشمسية:

سوف نعرض أيضاً في دراستنا هذه إن:

##### a- مسخن الماء الأولي المسبق (preheater Feed Water):

يعمل مسخن الماء المسبق عند ماء مشبع، ويقوم المسخن برفع درجة حرارة الماء من (1 إلى 2) كما هو مبين في الشكل (22)، ويتم تحديد انتالبي الماء المشبع على أساس الضغط عند مخرج المسخن من جداول البخار والماء المشبع عند  $X=0$ :

$$h_{Feedwater,out} = h(P_{Feedwater,out}, X = 0)$$

ويتم حساب ضغط الماء في نهاية المسخن، ويجب أن يتم التبادل الحراري بين الماء ومائع انتقال الحرارة بحيث لا يحدث غليان للماء ضمن المسخن.

##### b- مولد البخار (Steam generator) أوالمبخر (Evaporater):

ويكون البخار الخارج منه مشبعاً ( $X=1$ )، وهو عبارة عن مبادل حراري أنبوبي (Shell-and-Tube)، ينساب فيه مائع انتقال الحرارة  $Vp-1$  داخل الأنابيب، وحول أنابيب الماء، ويتشكل البخار المشبع نتيجة للتبادل الحراري بين الماء ومائع انتقال الحرارة (العملية من 2 إلى 3 كما هو مبين في الشكل (22))، و يكون معامل انتقال الحرارة عند الغليان كبيراً، ويتم التحكم بتدفق البخار مع المحافظة على مستوي ثابت للماء داخل مولد البخار. وعند الحمولة الأعظمية 100% فإن قيمة  $U.A$  لمولد البخار تكون حوالي 2051 KW/K، وسنفرض أن ضغط البخار داخل المبخر يساوي ضغط البخار عند المخرج:

$$p_{steam,in} = p_{steam,out}$$

$$(h_{steam,out} = p_{steam,out}, X = 1)$$

وتدفق الماء عند مدخل مولد البخار يساوي تدفق البخار عند المخرج:

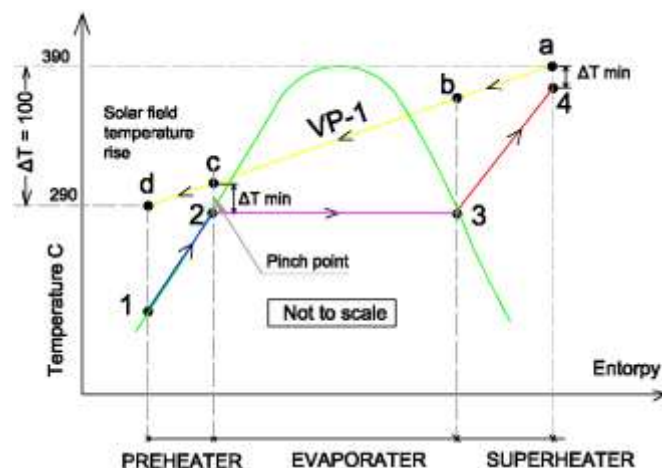
$$m_{Feedwater,in} = m_{steam,out}$$

وتدفق مائع انتقال الحرارة عند مدخل المبخر يساوي تدفقه عند المخرج:

$$m_{HTF,in} = m_{HTF,out}$$

##### c- محمص البخار (Superheater):

هو عبارة عن مبادل حراري أنبوبي (Shell-and-Tube) ذي جريان متعاكس، يدخل البخار إلى المحمص عند درجة حرارة قريبة من درجة حرارة الإشباع (الحالة من 3 إلى 4 كما هو مبين في الشكل (22))، ويتم تحميم البخار إلى درجة حرارة قريبة من درجة حرارة مائع انتقال الحرارة عند مدخل المحمص. يبين الشكل (25) عملية التبادل الحراري بين الوسيط العامل (ماء - بخار) المستخدم ومائع انتقال الحرارة في المبادلات الحرارية ذات الجريان المتعاكس.



الشكل (24): عملية التبادل الحراري بين الوسيط العامل (ماء - بخار) المستخدم ومائع انتقال الحرارة في المبادلات الحرارية.

وتبين النقاط (a,b,c,d) في الشكل (24) تغير درجة حرارة مائع انتقال الحرارة VP-1،  
3-4- النتائج والمؤشرات الرئيسية لمحطة جندر دون إضافة نظام الطاقة الشمسية وبعد إضافة نظام  
الطاقة الشمسية:

تم حساب المؤشرات الرئيسية للمحطة عند قيمتين حراريتين مختلفتين للوقود الغازي (LHV=10351 Kcal/Kg و  
LHV=10567 Kcal/Kg) المستخدم في محطة جندر دون إضافة نظام الطاقة الشمسية وبعد إضافة نظام الطاقة  
الشمسية وهي مبينة في الجدول (4) التالي:

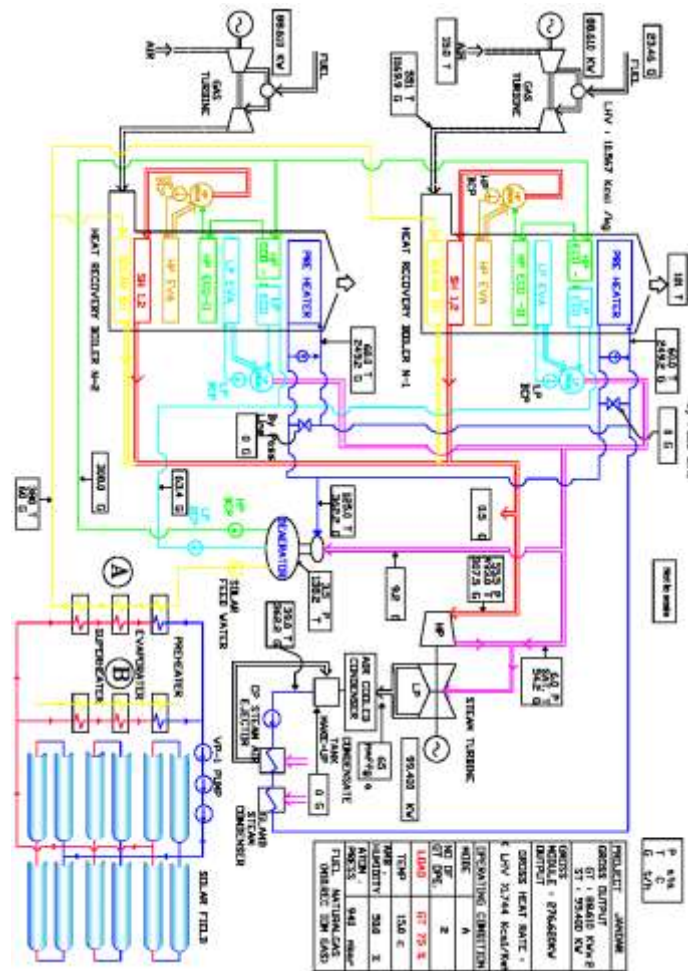
الجدول (4): أهم النتائج والمؤشرات على فعالية تحويل الطاقة في المحطة المشتركة،

حيث يتم المقارنة بين هذه المؤشرات دون إضافة نظام الطاقة الشمسية، ومع إضافة نظام الطاقة الشمسية:

القيمة الحرارية الدنيا للوقود LHV = 44241.91KJ/Kg		القيمة الحرارية الدنيا للوقود LHV = 43339.93KJ/Kg		المؤشرات الهامة للمحطة
مع طاقة شمسية	بدون طاقة شمسية	مع طاقة شمسية	بدون طاقة شمسية	
117.31	99.4	117.31	99.4	الاستطاعة الفعلية للتعفة البخارية (MWe)
18.02%	-	18.02%	-	نسبة الزيادة في الاستطاعة الفعلية للتعفة البخارية
0.51	0.479	0.521	0.489	المردود الإجمالي
6.48%	-	6.55%	-	نسبة زيادة المردود الإجمالي
0.3169	0.3144	0.3169	0.3144	مردود مجموعة التعفة البخارية
0.8%	-	0.8%	-	نسبة زيادة مردود مجموعة التعفة البخارية
0.1595	0.1698	0.1594	0.1698	معدل استهلاك الوقود النوعي للمحطة (Kg/kw-h)
6.1%	-	6.12%	-	نسبة التوفير في معدل استهلاك الوقود النوعي للمحطة
11360.05	11450.38	11360.05	11450.38	معدل استهلاك الحرارة النوعي في التعفة البخارية (kJ/kw-h)
2713.47	2735.36	2713.47	2735.36	(kcal/kw-h)
0.78%	-	0.78%	-	نسبة التوفير في معدل استهلاك الحرارة النوعية في التعفة البخارية

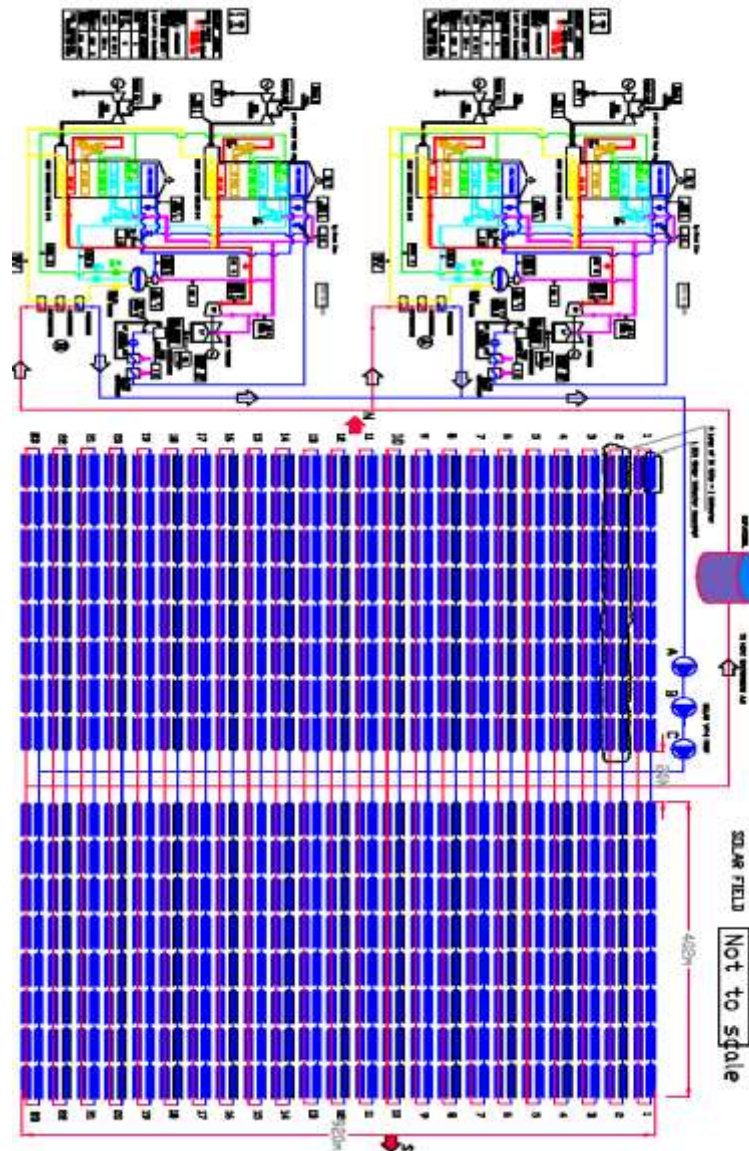
7058.82	7515.65	6909.788	7361.96	معدل استهلاك الحرارة النوعي في المحطة (kJ/kw-h)
1686.27	1795.90	1650.67	1758.69	(kcal/kw-h)
6.07%	-	6.14%	-	نسبة التوفير في معدل استهلاك الحرارة النوعي في المحطة

وبين الشكل (25) عملية الدمج بين مجموعة من مجموعات محطة جندر مع النظام الشمسي المصمم:



الشكل (25): الدمج بين نظام الطاقة الشمسية مع مجموعة واحدة من محطة جندر

وبين الشكل (26) النظام الناتج عن عملية الدمج بين جميع أجزاء محطة جندر مع النظام الشمسي المصمم من أجل الاستفادة من الطاقة الشمسية المدمجة فيه في محطة جندر.



الشكل (26): الدمج بين النظام الشمسي و بين جميع أجزاء محطة جندر

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات:

1- زيادة الطاقة المنتجة للعنفة البخارية بعد عملية الدمج بين النظام الشمسي ومحطة جندر، حيث كانت الطاقة المنتجة للعنفة البخارية 99.4MW دون استخدام نظام الطاقة الشمسية، ومع استخدام نظام الطاقة الشمسية أصبحت 117MW، وبالتالي حصلنا على زيادة في استطاعة العنفة البخارية للمحطة بعد عملية الدمج مع نظام الطاقة الشمسية حوالي 18%.

2- تحسين المردود الإجمالي للمحطة بعد الاستفادة من الطاقة الشمسية في النظام الشمسي، حيث ازداد المردود الإجمالي للمحطة من 0.489 دون الدمج مع النظام الشمسي إلى 0.521 للمحطة المدمجة مع النظام الشمسي، وبالتالي حصلنا بعد إضافة النظام الشمسي على تحسن في المردود الإجمالي للمحطة بنسبة 6.55%.

- 3- انخفاض معدل استهلاك الحرارة النوعي للمحطة بعد عملية الدمج مع النظام الشمسي بشكل واضح، حيث انخفض معدل استهلاك الحرارة النوعي للمحطة من  $1758.69 \text{Kcal/KW-h}$  إلى  $1650.67 \text{Kcal/KW-h}$  (6909.788 KJ/KW-h) بعد عملية الدمج مع نظام الطاقة الشمسية، وبالتالي حصلنا على انخفاض معدل استهلاك الحرارة في المحطة بنسبة 6.14% بعد إضافة نظام الطاقة الشمسية، وقيمته عند الدمج مع النظام الشمسي أقل من قيمته عند أفضل الشروط لعمل المحطة بدون إضافة الطاقة الشمسية.
- 4 - تقليل معدل الاستهلاك الحراري في العنفة البخارية بعد إضافة نظام الطاقة الشمسية.
- 5 - لا يوجد أية زيادة في استطاعة العنفة الغازية بعد دمج نظام الطاقة الشمسية مع محطة جندر.
- 6- التخفيض من تلوث البيئة بسبب التقليل من مقدار الوقود المستخدم، حيث انخفض معدل استهلاك الوقود النوعي للمحطة من  $0.1698 \text{Kg/KW-h}$  إلى  $0.1594 \text{Kg/KW-h}$ ، وبالتالي نسبة التوفير في معدل استهلاك الوقود النوعي للمحطة تساوي 6.12%.
- 7- لا يقل عدد ساعات تشغيل النظام الشمسي عن 7 ساعات يومياً على مدار العام.
- 8- يمكن استخدام برنامج الكمبيوتر المصمم في هذا البحث؛ لحساب كمية الحرارة المجمعة من الحقل الشمسي؛ في جميع المواقع السورية الأخرى.
- 9- تؤكد من خلال نتائج البرنامج بأن كمية الحرارة الممتصة في الحقل الشمسي ذي المجمعات القطعية يمكن استخدامها في توليد الطاقة الكهربائية في سورية.

#### التوصيات

- 1- تمت الدراسة بدون تخزين حراري بهدف توليد الطاقة الكهربائية، وبالتالي نقترح الدراسة مع التخزين الحراري للطاقة الحرارية من أجل عمل المحطة المشتركة عند غياب الإشعاع الشمسي / ليلاً /.
- 2- دراسة أداء المحطة عند عمل عنفة غازية واحدة مع مرجل استرجاعي واحد مع نظام الطاقة الشمسية.
- 3- تركيب محمص بخار إضافي ضمن المرجل الاسترجاعي لتسخين البخار المتشكل في نظام الطاقة الشمسية.
- 4- إضافة نظام أتمتة وتحكم إلى نظام التحكم والأتمتة بمحطة جندر من أجل التحكم المشترك ببارامترات المحطة ونظام الطاقة الشمسية.
- 5- دراسة الحقل الشمسي مع تغيير تدفق مائع انتقال الحرارة حسب فصول السنة.

## المراجع:

- [1] - F. BURKHOLDER and CKUTSHER " *Heat-Loss Testing of Solel's UVAC Parabolic Trough Receiver* "380p , 2008
- [2] - Dr. ASHVINI KOMAR-"*Parabolic Trough Technology : Status and Issues of Development*" ,New Delhi 440 p – 2008
- [3] -يوسف شعبان يوسف " *الطاقات الجديدة والمتجددة*. جامعة القاهرة، 450 ص - 2007-2008
- [4] -*دراسات إستراتيجية* ، مركز الدراسات والبحوث الإستراتيجية - جامعة دمشق ، العدد (21-22) - ص 12-15  
2007, 15
- [5] -ERON JACOBSONA, "*Solar Parabolic Trough Simulation and Application for a Hybrid Power Plant*" Thailand ,460p, 2006
- [6]- C.K.HO and B.D. IVERSON, *Review of high – temperature central receiver designs for concentration solar power ' renew sustain energy rev* , vol 29,pp835-846,jan 2014.
- [7]- D.G. MORRIS , A. LOPEZ , I. PATELLA, and M. MNOZ- MORRIS, *Selection of high Temperature Materials for concentration solar power System , Property Maps and Experiments ' Solar Energy'* vol 112 pp246-258 Feb 2015.
- [8] – MED. CSP. *Multi – Effect Destination Plant /Mediterranean Region , Concentrating Solar Power* 360 p , 2005
- [9] -الأطلس الشمسي للقطر العربي السوري ص 20-22 , 2005
- [10]- MARISM KAMRA, *Use of Tchar in Visual C++ , , Café courses, Windows, APT, Visual C++*, Source Code, Jun 2013.
- [11] - مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية -سلسلة العلوم الهندسية للمجلد (35) العدد (2) 2013 .  
دراسة تأثير شدة الإشعاع الشمسي على أداء مضخة مياه تعمل بالطاقة الشمسية د. صلاح داؤود