

## The Operation of Parabolic Trough Solar Power Plant at Variable Partial Loads in Palmyra City

Dr.Mohammed ALI<sup>1</sup>  
Dr.Maha AHMD<sup>2</sup>  
Eng.Amar HAMADA<sup>3</sup>

(Received 15 / 11 / 2017. Accepted 25 / 3 / 2018)

### □ ABSTRACT □

Solar radiation which reaches the earth surface in Palmyra city has high rates, so we introduce this research to study the operation of a solar electric power plant with parabolic trough solar collector type.

Electric power plants are usually designed to operate at nominal design power and flow rate, pressure, specific steam temperature. In this case the obtained efficiency is relatively high, but the real conditions in which the plant operates and supplies the electric grid, in addition to the climate variations during monthes and seasons, all lead to a deviation in power value from nominal value, so the plant operate at partial loads. We used the analytical method in this research to study the variation in power plant parameters as the steam turbine load changes. In other words, the study of main plant parameters variation due to variable partial loads. We calculated steam pressure variations through turbine stages and its effect on changing steam flow rate to the recovery water heaters. In addition, we calculated the amount of heat consumed through turbine unit, turbine unit efficiency, and the total efficiency of the power plant.

**Key Words:** SEGS solar electric generating system– Parabolic trough collector – partial variable loads.

## عمل محطة طاقة حرارية شمسية ذات لاقط من نوع قطع مكافئ عند الحمولات الجزئية المتغيرة في مدينة تدمر

د. محمد علي<sup>1</sup>

د. مها أحمد<sup>2</sup>

قمر حمادة<sup>3</sup>

(تاريخ الإيداع 15 / 11 / 2017. قُبِلَ للنشر في 25 / 3 / 2018)

### □ ملخص □

تتميز منطقة تدمر بمعدلات عالية لكمية الإشعاع الشمسي الواصلة لسطح الأرض، لذلك قمنا في هذا البحث بدراسة عمل محطة حرارية كهروشمسية ذات لاقط من نوع قطع مكافئ. عادةً تصمم محطة توليد الطاقة الكهربائية لتعمل عند الاستطاعة الاسمية التصميمية وعند تدفق وضغط ودرجة حرارة بخار محددة بالتالي الحصول على مردود مرتفع نسبياً، غير أن الظروف الفعلية لتشغيل واستثمار المحطة الكهروشمسية ضمن الشبكة الكهربائية ومساهماتها في تغطية الطلب على الطاقة الكهربائية وتغير الظروف المناخية تبعاً للشهور ولفصول السنة يؤدي إلى انحراف الاستطاعة المولدة عن ظروف العمل الاسمية وبالتالي إلى عمل المحطة عند حمولات جزئية. اعتمدنا في بحثنا على منهجية تحليلية لدراسة تغير بارمترات المحطة عند تغير حمولة العنفة البخارية، أي دراسة تغير المؤشرات الرئيسية للمحطة عند حمولات جزئية متغيرة. كما قمنا بحساب تغير ضغط البخار عبر مراحل العنفة وتأثيره على تغير تدفق البخار المتجه نحو مسخنات الماء الإسترجاعية كما قمنا بحساب كمية الحرارة المستهلكة في وحدة العنفة، وحساب مردود وحدة العنفة البخارية والمردود الإجمالي للمحطة.

**الكلمات المفتاحية:** نظام توليد الكهروشمسي-المجمعات ذات القطع المكافئ-الحمولات الجزئية المتغيرة.

<sup>1</sup> أستاذ مساعد - قسم هندسة القوى الميكانيكية-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة تشرين -اللاذقية- سورية

<sup>2</sup> أستاذة - قسم هندسة القوى الميكانيكية-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة تشرين -اللاذقية- سورية

<sup>3</sup> طالبة دراسات عليا - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة تشرين -اللاذقية- سورية

**مقدمة:**

يجب الاستفادة من كمية الإشعاع الشمسي في المدن السورية البعيدة عن نظام نقل الطاقة مثل مدن البادية السورية وخصوصاً تدمر و المحافظة على بيئة نظيفة عند الحدود الدنيا للتلوث الناتج عن توليد الطاقة الكهربائية بالطرق التقليدية وهذا خيار استراتيجي لابدل عنه في المرحلة القادمة.

اقترحنا في بحثنا إنشاء محطة كهروشمسية في مدينة تدمر نظراً لتوفر العديد من المزايا نذكر منها:

- 1- تتميز بمعدلات عالية نسبياً لكمية الإشعاع الشمسي الواصل لسطح الأرض (الجدول 32-أطلس الإشعاع الشمسي السوري) [1] وبدرجات حرارة للهواء المحيط وسرعة رياح مناسبتين.
- 2- الطقس المناسب، حيث أن مناخها صحراوي وعدد الأيام المشمسة في السنة كبير.
- 3- كثافة سكانية منخفضة بالمقارنة مع باقي المدن، وبالتالي فإن استهلاك المدينة من الطاقة الكهربائية منخفضاً نسبياً مما يسمح باختيار استطاعة صغيرة للمحطة.
- 4- توفر المساحة المطلوبة لبناء المحطة الكهروشمسية وبسعر مناسب.

اعتماداً على العوامل السابقة قمنا في هذا البحث بدراسة محطة حرارية كهروشمسية ذات لواقظ مركزة من نوع قطع مكافئ طراز (LUZ-LS-2-UVAC receivers) في مدينة تدمر. يتكون الحقل الشمسي من صفوف متوازية من اللواقظ تقوم بمتابعة حركة الشمس الظاهرية خلال النهار حيث يتم تركيز أشعة الشمس على أنبوب مستقبل يقع في محرق القطع المكافئ يحتوي على الناقل الحراري الذي يمتص الإشعاع المنعكس والمركز ويتحول إلى حرارة، حيث تصل درجة حرارة الناقل الحراري إلى  $390^{\circ}C$ . إن كمية الحرارة الممتصة تستخدم من أجل التبادل الحراري مع الماء ضمن مبادلات حرارية أنبوبية بغرض تسخين الماء وتحويله إلى بخار لاستخدامه في عنفة بخارية موصولة مع مولدة كهربائية من أجل إنتاج الطاقة الكهربائية.

إن الناقل الحراري المستخدم في المحطة الكهروشمسية هو VP-1. يكون أحادي الطور وفي الحالة السائلة يتألف من مزيج يوتكتيك (Eutectic mixture) من أكسيد الديفينيل بنسبة (73.5% diphenyl oxide) و من بيفينيل بنسبة (26.5% biphenyl) [3].

**أهمية البحث وأهدافه:****أهمية البحث:**

استغلال الإشعاع الشمسي المرتفع نسبياً في مدينة تدمر عن طريق محطة كهروشمسية من أجل تلبية احتياجات السكان من الطاقة وتخفيض الطلب على الفيول في ظل الأزمة السورية الراهنة عبر استخدام الطاقة الشمسية النظيفة والمجانبة، والمحافظة على بيئة نظيفة.

**هدف البحث:**

إن الهدف من هذا البحث دراسة تحليلية لعمل محطة حرارية كهروشمسية في الظروف السورية من أجل تغطية الطلب على الطاقة الكهربائية عند حمولة الذروة وعند الحمولات المتغيرة للمحطة تبعاً لتغير الظروف المناخية، ودراسة تأثير عمل المحطة عند الحمولة الإسمية وعند الحمولات الجزئية، وتحديد المؤشرات الرئيسية للمحطة عند عملها خلال اليوم وفي كافة فصول السنة.

## طرائق البحث ومواده:

اعتمدنا من أجل الدراسة النمذجة الرقمية من أجل الوصول إلى نتائج قريبة من الواقع العملي بمساعدة برنامج الماتلاب (Matlab) وهو عبارة عن برنامج هندسي يسمح بعمليات تحليل وتمثيل البيانات من خلال معالجة تلك البيانات تبعاً لقاعدة البيانات الخاصة به.

## فرضيات البحث:

فرضنا أن استطاعة المحطة الكهروشمسية هي  $30(MW)$  على اعتبار أن تلك الاستطاعة قادرة على تأمين الطلب على الطاقة الكهربائية في مدينة تدمر وبناءً على هذه الفرضية تم تصميم النظام الكهروشمسي بدون تخزين حراري.

## مراحل البحث :

بغية إجراء البحث اتبعنا الخطوات الآتية:

1-تحديد المعطيات اللازمة لاستهلاك الطاقة الكهربائية في مدينة تدمر والاستطاعة المناسبة للمحطة الكهروشمسية المقترحة.

يتغير الطلب على الطاقة الكهربائية أو استهلاك الطاقة الكهربائية من وقت لآخر خلال اليوم وبحسب الفصل صيفاً أو شتاءً، إضافة لتغير الشروط المناخية للمدينة، ففي وقت متأخر من الليل وعند الصباح الباكر يكون استهلاك الطاقة الكهربائية منخفضاً ومن ثم يبدأ بالزيادة عند بداية نشاط المستهلكين ليصل إلى قيمة عظمى بين الساعة السابعة والتاسعة صباحاً، ومن ثم ينخفض قليلاً ليعود بالزيادة من جديد مع بداية المساء ويصل إلى قيمة عظمى بين الساعة السابعة والعاشر مساءً، ثم ينخفض من جديد.

تدعى الحمولة التي تقابل الاستهلاك الأعظمي للطاقة الكهربائية بحمولة الذروة أما الحمولة التي تقابل أدنى استهلاك للطاقة الكهربائية فتدعى حمولة الحضيض.

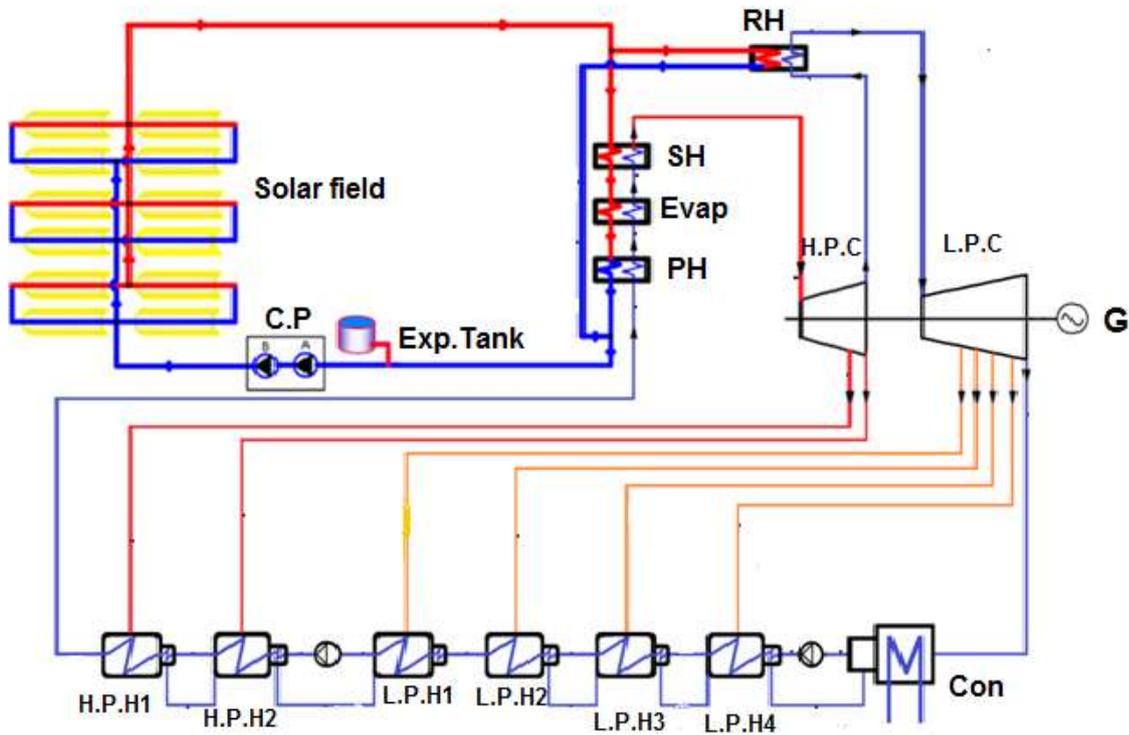
باعتبار تدمر من المدن الصغيرة فإن الاستطاعة المطلوبة لتغطية احتياجاتها الكهربائية تتراوح بين (18-22MW) وذلك حسب احصائيات وزارة الكهرباء مديرية كهرباء حمص لعام 2012. لذلك اعتبرنا أن استطاعة المحطة الكهروشمسية هو  $(30MW)$  مع الأخذ بعين الاعتبار إمكانية الزيادة المستقبلية للطلب عند حمولة الذروة والربط مع الشبكة الكهربائية السورية.

## 2-اقتراح دائرة حرارية للمحطة الكهروشمسية.

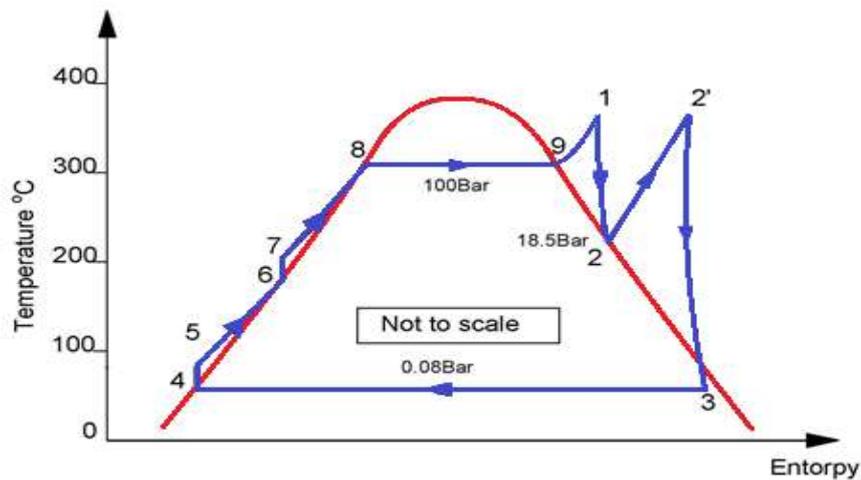
من أجل الدراسة، قمنا باختيار الدارة الحرارية العاملة وفق دائرة رانكين مع إعادة تحميص البخار مع مسخنات استرجاعية، كما هو مبين في الشكل (1). واعتبرنا أن الناقل الحراري هو الوسيط VP-1 والذي يتميز بكونه يعمل عند درجات حرارة عالية تصل إلى  $400^{\circ}C$  دون تغير في الطور. اعتبرنا في هذا البحث أن الناقل الحراري المدروس يبقى في الحالة السائلة (أحادي الطور) عند درجة حرارة بين  $(290-393^{\circ}C)$  وضغط تشغيل يتراوح بين  $(20-42)$  [2] bar.

اخترنا درجة حرارة البخار عند مدخل عنفة الضغط العالي  $(371^{\circ}C)$  وضغط  $(100\text{ bar})$  بحيث تتناسب مع درجة حرارة تشغيل الحقل الشمسي، ويتم إعادة تحميص البخار عند درجة حرارة  $(208^{\circ}C)$  وضغط  $(18.5\text{ bar})$  إلى درجة حرارة  $(371^{\circ}C)$  قبل دخوله إلى عنفة الضغط المنخفض، الضغط في المكثف  $(0.08\text{ bar})$ .

يبين الشكل (2) الدارة الترموديناميكية للوسيط العامل في المحطة على المخطط (T-S).



الشكل (1) المخطط الرمزي للدائرة الحرارية للمحطة الكهروضمسية S.F. الحقل الشمسي -SH محمص - Evap مبخر -PH مسخن مسبق للماء -RH إعادة التحميص -L.P.C قسم عنفة الضغط المنخفض - H.P.H قسم عنفة الضغط العالي - Con المكثف - المبادل حراري ذو الضغط العالي - L.P.H المبادل الحراري ذو الضغط المنخفض



الشكل (2) الدائرة الترموديناميكية الموافقة لدائرة المحطة الكهروضمسية المدروسة على المخطط (T-S).

3- وضع خوارزمية الحساب لكمية الحرارة المجمعة في اللواقط المركزة للحقل الشمسي وتحويلها إلى برنامج

حاسوبي بلغة الماتلاب.

من أجل كتابة البرنامج الرياضي قمنا بوضع مخطط صندوقي يمثل خوارزمية الحل المتبعة في إجراء

الحسابات والمبينة في الشكل (3).

استخدمنا البرنامج الرياضي لحساب جميع بارامترات الإشعاع الشمسي من أجل أي يوم في السنة (من 1 إلى 365) وفق المعطيات المناسبة لمدينة تدمر. كما قمنا بحساب البارامترات التصميمية للحقل الشمسي، واعتبرنا أن فرق درجة الحرارة للناقل الحراري في الصيف بين دخل وخرج الحقل الشمسي هو حوالي  $\Delta t=100^{\circ}C$ ، أما في الشتاء ينخفض فرق درجة الحرارة عندما يكون تدفق الناقل الحراري ثابتاً.

عند تتبع الحركة الظاهرية للشمس تم الأخذ بعين الاعتبار عامل التظليل على العاكس في الحقل الشمسي والضياعات الناتجة عن ذلك. يبين الشكل (4) أهم بارامترات الدخل المطلوبة إلى الحقل الشمسي وبارامترات الخرج منه. تم وضع خوارزمية الحل باستخدام معادلات الزوايا الشمسية [6] والتي تساعد في حساب بارامترات خرج الحقل الشمسي وتحديد كمية الحرارة المجمعة الصافية التي تقدم عن طريق المبادلات الحرارية الطاقة الحرارية اللازمة إلى الوسيط العامل (الماء-بخار الماء)، حيث أهم بارامترات الحقل الشمسي.

تحسب الطاقة الممتصة  $Q_{\text{absorbed}} (W/m^2)$  بواسطة أنابيب المستقبل وفقاً للعلاقة الآتية:

$$Q_{\text{absorber}} = \text{DNI} \cdot \cos \theta \cdot \text{IAM} \cdot \text{Rowshadow} \cdot \text{Endloss} \cdot \eta_{\text{Field}} \cdot \eta_{\text{HEC}} \cdot \text{SFA}_{\text{vail}} \quad (1)$$

-  $\text{DNI}$ : هي كمية الإشعاع الشمسي العمودي المباشر  $(W/m^2)$  وتم تحديدها من الإشعاعية الشمسية التي يستقبلها سطح أفقي حسب النموذج المعتمد من قبل [4], [5].

-  $\theta$ : زاوية الورود (degree).

- IAM: معدلة زاوية الورود.

- Rowshadow: عامل الأداء ويحسب من أجل التظليل المشترك لصفوف المجمعات المتوازية خلال الصباح

الباكر والمساء المتأخر.

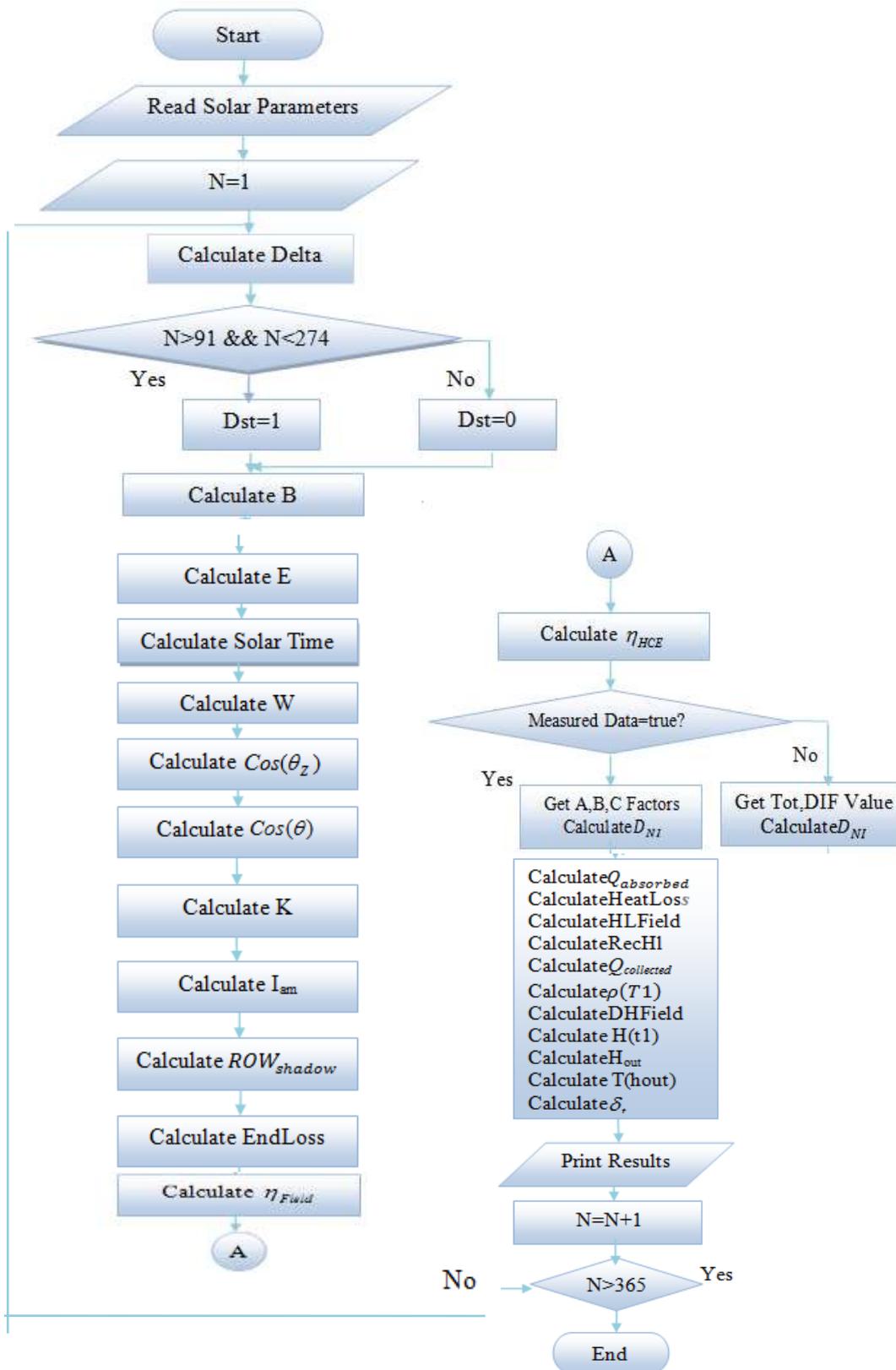
- Endloss: ضياع النهاية وعامل الأداء الذي يحسب من أجل الضياعات الحرارية في نهايات

المجمعات HCE.

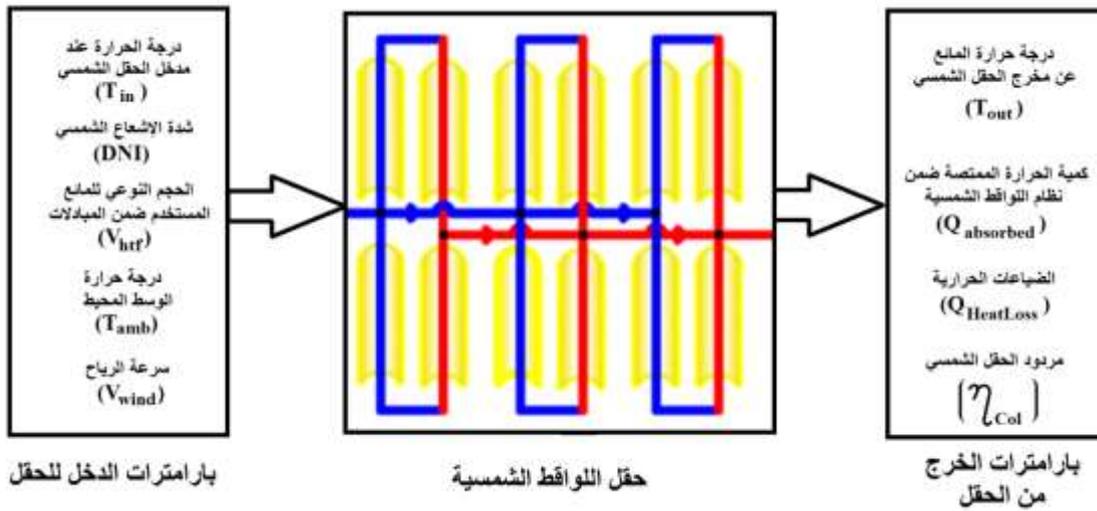
-  $\eta_{\text{field}}$ : مردود الحقل الشمسي ويتم حسابه من أجل الضياعات المطابقة لبصريات وشواذب المرآة.

-  $\eta_{\text{HCE}}$ : مردود عنصر تجميع الحرارة (الأنبوب المفرغ الذي يمر به الناقل الحراري).

-  $\text{SFA}_{\text{vail}}$ : نسبة مساحة الحقل الشمسي الذي يعمل على تتبع حركة الشمس.



الشكل (3) المخطط الصندوقي للبرنامج الرقمي.



الشكل (4) مخطط رمزي لبارامترات الدخل والخرج في الحقل الشمسي - درجة حرارة مائع انتقال الحرارة ( $T_{in}$ ) عند مدخل الحقل ومخرج الحقل الشمسي ( $T_{out}$ ) (في دارة المحطة) - الإشعاع الشمسي العمودي المباشر (DNI) عبر الحقل ( $W/m^2$ ) معدل الجريان الحجمي للمائع المستخدم في المبادلات ( $V_{HTF}$ ) ( $m^3/s$ ) - درجة حرارة الوسط المحيط  $T_{amb}$  ( $^{\circ}C$ ) - سرعة الرياح  $V_{wind}$  ( $m/s$ ).

أما كمية الحرارة المجمعة في الحقل الشمسي فتحسب من العلاقة:

$$Q_{collector} = Q_{absorber} - (RecHL + Sf_{pipeHL}) \quad (2)$$

حيث،  $Sf_{pipeHL}$ : الضياعات الحرارية الناتجة عن الأنابيب الممتدة إلى الحقل الشمسي.

$RecHL$ : مجموع الضياعات الحرارية في المستقبلات.

يمكن حساب المردود الحراري للحقل الشمسي  $\eta_{solarfield}$  من العلاقة التالية:

$$\eta_{solarfield} = \frac{Q_{collector}}{A_{total} \cdot I_{incident}} \quad (3)$$

حيث،  $A_{total}$ : المساحة الكلية للحقل الشمسي وتساوي جداء طول المرآة بعرضها ( $m^2$ ).

$I_{incident}$ : الإشعاع الشمسي المباشر الساقط المصحح ( $W/m^2$ ).

$Q_{collector}$ : معدل كسب الطاقة الحرارية المجمع المفيد ( $W$ ).

ينتج معدل كمية الحرارة المفيدة المجمعة في الحقل الشمسي من معدل الجريان الكتلي لمائع انتقال الحرارة

( $m_{HTF}$ )، وتغير الانتالبي عبر الحقل ويتم التعبير عنه لكل واحدة سطح الحقل الشمسي كما يلي:

(4)

$$Q_{collector} = m_{HTF} \cdot (h_{out} - h_{in})$$

$m_{HTF}$ : معدل الجريان الكتلي لمائع انتقال الحرارة عبر الحقل ( $kg/s$ ).

$h_{out}$ : إنتالبي مائع انتقال الحرارة عند مخرج الحقل الشمسي ( $J/kg$ ).

$h_{in}$ : إنتالبي مائع انتقال الحرارة عند مدخل الحقل الشمسي ( $J/kg$ ).

## 4- وضع برنامج لحساب بارامترات المحطة عند الحمولة الاسمية وعند الحمولات الجزئية

## المتغيرة

قمنا بدراسة المخطط الحراري للمحطة المقترحة عند استطاعة اسمية قيمتها ( $N_E=30MW$ )، حيث تم وضع خوارزمية الحل التي تم اتباعها لحساب بارامترات المحطة عند الحمولة الاسمية و الحمولات الجزئية المتغيرة كما في الشكل (5).

تم اعتماد مواصفات البخار قبل العنفة كما يلي: ( $P_o = 100 \text{ bar}$ )، ( $t_o = 371 \text{ }^\circ\text{C}$ )، أما ضغط البخار في مكثف العنفة الرئيسية فهو  $P_c = 0.08 \text{ bar}$ .

يحدد على أساس الدراسة الاقتصادية-التقنية الفرق بين درجة حرارة إشباع البخار لمسخنات الضغط العالي والضغط المنخفض [7]،  $\theta_{H.P.H} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ ،  $\theta_{L.P.H} = 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ، ومن أجل تبريد البخار المستقلين  $\theta_{cs} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  نعتبر أن فرق درجة الحرارة النهائي في مبردات ماء التصريف لمسخنات الضغط المنخفض ( $\theta_{c.d} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ولمسخنات الضغط العالي ( $\theta_{c.d} = 7 \text{ }^\circ\text{C}$ ) من النشرات الفنية للشركة الصانعة  $\eta_{oi}^{L.P.C} = 84\%$ ،  $\eta_{oi}^{H.P.C} = 85\%$

من أجل الحصول على مواصفات البخار في النقطة المحايدة (هي عبارة عن نقطة تقع على خط تمدد البخار في العنفة بعدها استنزاف البخار لايؤثر بشكل كبير على مردود العنفة) في العنفة البخارية من الضروري تحديد المردود النسبي المطلق لعنفة الضغط العالي من العلاقة

$$\eta_i^{H.P.C} = \frac{h_o - h'_{RH}}{h_o - h_{F.w}} \quad [8]:$$

$h'_{RH}$ : إنتالبي البخار بعد عنفة الضغط العالي

$h_o$ : إنتالبي البخار قبل العنفة

$h_{F.w}$ : إنتالبي ماء التغذية

يحدد هبوط إنتالبي النقطة المحايدة من

$$\Delta h_{ind} = \eta_i^{H.P.C} (h''_{RH} - h'_{RH}) \quad \text{العلاقة :}$$

$h''_{RH}$ : إنتالبي البخار بعد إعادة

التحميص

أما إنتالبي النقطة المحايدة فيحدد كالتالي :

$$h_{ind} = h''_{RH} - \Delta h_{ind}$$

ضغط البخار في النقطة المحايدة ( $P_{ind}$ ) ودرجة حرارة البخار المشبع المقابلة له ( $t_{Sat.ind}$ ) وبالتالي فإن درجة حرارة ماء التغذية المُسخن بوساطة البخار المستنزف من النقطة المحايدة إلى المسخن الثالث  $t_{w.ind} = t_{Sat.ind} - \theta_{H.P.H}$  وباعتبار أن ضغط ماء التغذية ( $P_{F.w}$ ) معلوم فإن إنتالبي الماء بعد المسخن الثالث بدلالة الضغط ودرجة الحرارة

$$. h_{w3.ind} = 757.3 \text{ KJ/Kg}$$

يتم توزيع عملية تسخين ماء التغذية وماء التكاثر اعتباراً من مكثف العنفة إلى النقطة المحايدة بالطريقة التحليلية باستعمال المتواليات الهندسية ، إنتالبي ماء التكاثر في المكثف يساوي ( $h_{c.w}$ ). من مخطط معدات دارة المحطة الحرارية المبين في الشكل (1)، نلاحظ أنه لدينا ست مجالات لتسخين الماء (ست مراحل) حتى النقطة المحايدة (لكن المجال السادس لا يتحقق) :

$$\frac{\tau_{ind}}{\tau_3} = \frac{\tau_3}{\tau_4} = \frac{\tau_4}{\tau_5} = \frac{\tau_5}{\tau_6} = n$$

مجموع هبوطات إنتالبي في هذه المراحل تساوي إلى مقدار الارتفاع العام لإنتالبي الماء في المراحل أي أن :

$$h_{w3.ind} - h_{c.w} = \tau_6(1 + n + n^2 + n^3 + n^4) \\ = \tau_6(1 - n^5)/(1 - n)$$

بفرض أن  $n=1.04$  حيث تقع ضمن المجال (1.04 ÷ 1.01) نحصل على :

$$\tau_6 = (h_{w3.ind} - h_{c.w}) \frac{1 - n}{1 - n^5}$$

وبذلك يمكن حساب إنتالبي الماء بعد المسخنات حيث أن، إنتالبي الماء بعد المسخن السادس  $L.P.H6$ :

$$h_{w6} = h_{c.w} + \tau_6$$

وبالنسبة للمسخن الخامس  $L.P.H5$ :

$$h_{w5} = h_{w6} + n\tau_6$$

وبنفس الطريقة فإن إنتالبي الماء بعد بقية المسخنات يساوي :

$$h_{w4} = h_{w5} + n^2\tau_6$$

$$h_{w3} = h_{w4} + n^3\tau_6 \quad h_{w1} = h_{w2} + n^5\tau_6$$

$$h_{w2} = h_{w3} + n^4\tau_6 \quad h_{w3ind} = h_{w3} + n^6\tau_6$$

إن توزيع عملية تسخين الماء الإسترجاعية بين المراحل صحيحة لأن قيمة  $h_{H3ind}^w = 757.26 \text{ KJ/Kg}$  التي تم

الحصول عليها أعلاه مطابقة لقيمتها التي تم حسابها سابقاً بطريقة النقطة المحايدة .

إذا كان هناك فرق بين القيمتين يتم اختيار قيمة أخرى ل  $n$ : ضمن المجال (1.04 ÷ 1.01) وتعاد الحسابات السابقة. معدل تدفق ماء التغذية يساوي  $D_o = m_{F.W} \cdot D_{F.W}$  أما معدلات تدفق البخار المستنزف إلى المسخنات (الأول والثاني والثالث والرابع والخامس والسادس والمكثف):

$$D_1 = m_1 \cdot D_o$$

$$D_2 = m_2 \cdot D_o$$

$$D_3 = m_3 \cdot D_o$$

$$D_4 = m_4 \cdot D_o$$

$$D_5 = m_5 \cdot D_o$$

$$D_6 = m_6 \cdot D_o$$

$$D_c = m_c \cdot D_o$$

للتأكد من صحة الحسابات السابقة نقوم بحساب استطاعة وحدة العنفة من العمل الذي يقوم به البخار المستنزف

والبخار الواصل إلى المكثف :

$$N_1 = 10^{-3} \cdot D_1 \cdot (h_o - h'_{RH}) \eta_m \cdot \eta_g$$

$$N_2 = 10^{-3} \cdot D_2 \cdot (h_o - h'_{RH} + h''_{RH} - h^{cs}_{s2}) \eta_m \cdot \eta_g$$

$$N_3 = 10^{-3} \cdot D_3 \cdot (h_o - h'_{RH} + h''_{RH} - h^{cs}_{s3}) \eta_m \cdot \eta_g$$

$$N_4 = 10^{-3} \cdot D_4 \cdot (h_o - h'_{RH} + h''_{RH} - h^{cs}_{s4}) \eta_m \cdot \eta_g$$

$$N_5 = 10^{-3} \cdot D_5 \cdot (h_o - h'_{RH} + h''_{RH} - h_{s5}^{cs}) \eta_m \cdot \eta_g$$

$$N_6 = 10^{-3} \cdot D_6 \cdot (h_o - h'_{RH} + h''_{RH} - h_{s6}^{cs}) \eta_m \cdot \eta_g$$

$$N_c = 10^{-3} \cdot D_c \cdot (h_o - h'_{RH} + h''_{RH} - h_c) \eta_m \cdot \eta_g$$

مجموع لاستطاعات المنتجة من البخار في مراحل العنفة

$$\sum N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6 + N_c$$

والتي تساوي (30.012 MW) وهي مطابقة تقريباً للاستطاعة

المفروضة.

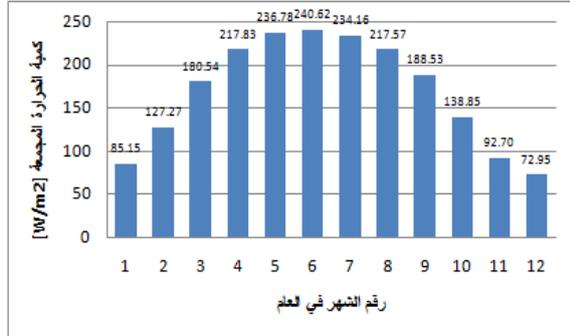
$\eta_m$  : المردود الميكانيكي للعنفة ،  $\eta_g$  : المردود المولدة ،  $h_s^{cs}$  : انتالبي البخار عند منطقة التكاثف للمسخنات .



الشكل (5): الخوارزمية التي المتبعة في الحسابات النهائية للبرنامج الحاسوبي.

## النتائج والمناقشة:

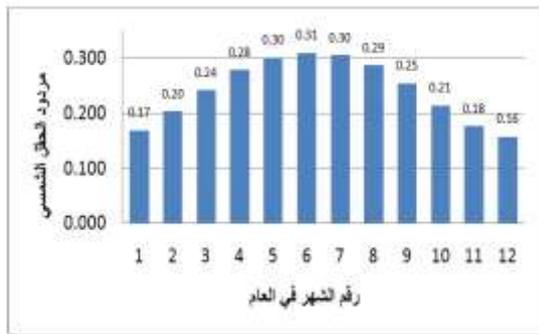
من خلال الدراسة التحليلية للحقل الشمسي، تم رسم المخططات البيانية التي تبين التغيرات الساعية لكمية الإشعاع الشمسي والطاقة الممتصة من قبل الناقل الحراري والمردود الحراري للحقل الشمسي الأشكال (6،7،8،9).



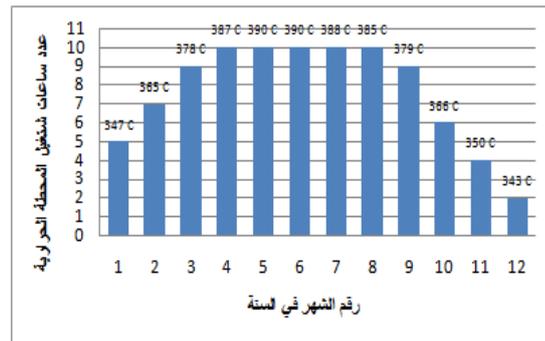
الشكل (7) تغير كمية الحرارة المجمعة في الحقل الشمسي خلال أشهر السنة.



الشكل (6) تغير قيم الإشعاع الشمسي المباشر (DNI) وكمية الحرارة الممتصة والمجمعة والضوايعات الحرارية في الحقل الشمسي خلال ساعات النهار في شهر تموز.



الشكل (9) متوسط مردود الحقل الشمسي خلال أشهر السنة.



الشكل (8) متوسط عدد ساعات التشغيل اليومية للمحطة الحرارية خلال أشهر السنة.

نلاحظ من الشكل (8)، إنه يمكننا في شهر كانون الأول تشغيل المحطة لمدة ساعتين فقط عند درجة حرارة  $343^{\circ}\text{C}$  للناقل الحراري وذلك لتغير شدة الإشعاع الشمسي الساقط والذي يختلف من شهر لآخر ولكن بدءاً من شهر نيسان حتى نهاية آب فإن درجة حرارة الناقل الحراري تكون  $390^{\circ}\text{C}$  وتعمل المحطة عند الحمولة الاسمية ( $30\text{MW}$ ) لمدة 10 ساعات يومياً.

إن ضغط البخار ودرجة الحرارة عند مدخل العنفة البخارية يتعلق بدرجة حرارة الناقل الحراري عند مخرج الحقل الشمسي وهذا يؤدي إلى تغيير بارامترات المحطة كاملةً. تبين الأشكال (10،11،12،13،14،15،16) أهم المواصفات الحرارية للمحطة الكهروشمسية المدروسة .



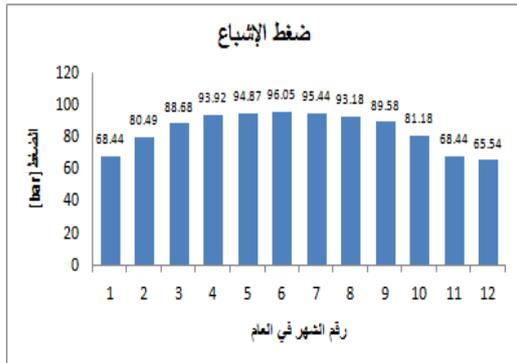
الشكل (11) تغير ضغط البخار عند مدخل العنفة في كل شهر من أشهر العام



الشكل (10) تغير درجة حرارة البخار عند مدخل العنفة في كل شهر من أشهر العام

نلاحظ من الشكل (10) أن درجة حرارة البخار عند مدخل العنفة تتغير خلال أشهر العام، وتبلغ قيمتها الأعظمية في شهر حزيران حيث تصبح  $370^{\circ}C$  ثم تتناقص لتصل إلى أدنى قيمة في شهر كانون الأول  $323^{\circ}C$ ، وذلك يعود إلى تغير درجة حرارة الناقل الحراري تبعاً للإشعاع الشمسي الساقط والذي يختلف من شهر لآخر.

نلاحظ من الشكل (11) أن قيمة ضغط البخار عند مدخل العنفة تتغير خلال أشهر العام، وتبلغ قيمتها الأعظمية في شهر حزيران ثم تتناقص لتصل إلى أدنى قيمة في شهر كانون الثاني.



الشكل (13) تغير ضغط الإشباع في كل شهر من أشهر العام



الشكل (12) تغير درجة حرارة الإشباع في كل شهر من أشهر العام

نلاحظ من الشكلين (12)،(13) أن قيمة درجة حرارة الإشباع وضغط الإشباع يتغيران خلال أشهر العام، ويبلغان قيمتهما الأعظمية في شهر حزيران ثم يتناقصان ليصلا إلى أدنى قيمة لهما في شهر كانون الثاني ويعود ذلك إلى انخفاض درجة حرارة الناقل الحراري VP-1.



الشكل (15) تغير درجة حرارة ماء التغذية عند مخنل المسخنات في كل شهر من أشهر العام



الشكل (14) تغير درجة حرارة المائع عند مخرج الحقل الشمسي في كل شهر من أشهر العام

نلاحظ من الشكلين (14)، (15) أن قيمة درجة حرارة المائع و درجة حرارة ماء التغذية تتغيران خلال أشهر العام، وتبلغان قيمتهما الأعظمية في شهر حزيران ثم تتناقصان لتصل إلى أدنى قيمة لهما، وذلك حسب شدة الإشعاع الشمسي الساقط.



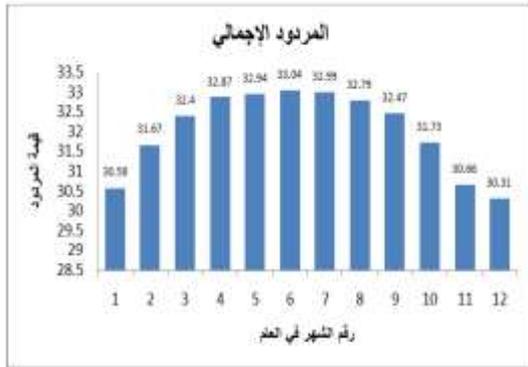
الشكل (17) تغير استطاعة المحطة في كل شهر من أشهر العام



الشكل (16) تغير كمية الحرارة المستهلكة في وحدة العنفة في كل شهر من أشهر العام

يبين الشكل (16) أن كمية الحرارة خلال أشهر العام، بحيث تزداد لتصل إلى أعلى قيمة في شهر حزيران ثم تتناقص لتصل لأدنى قيمة لها في شهر كانون الثاني وتعود لتتزايد من جديد.

يوضح الشكل (17) تغير الاستطاعة المحطة الكهربائية عند الذروة أي عند الطلب الأعظمي للطاقة الكهربائية وهذا يتعلق بساعات النهار والليل وبحسب الفصل صيفا أو شتاء والشروط المناخية السائدة، بحيث نلاحظ أن استطاعة المحطة تزداد لتصل قيمتها العظمى في شهر حزيران وذلك لأن كمية الإشعاع الشمسي الواصلة تكون في هذا الشهر كبيرة والظروف المناخية مناسبة، بالتالي حصلنا على الاستطاعة المطلوبة بينما تتخفف الاستطاعة لتصل لأدنى قيمة لها في شهر كانون الأول نتيجة لتغير كمية الإشعاع الشمسي والظروف المناخية للمنطقة.

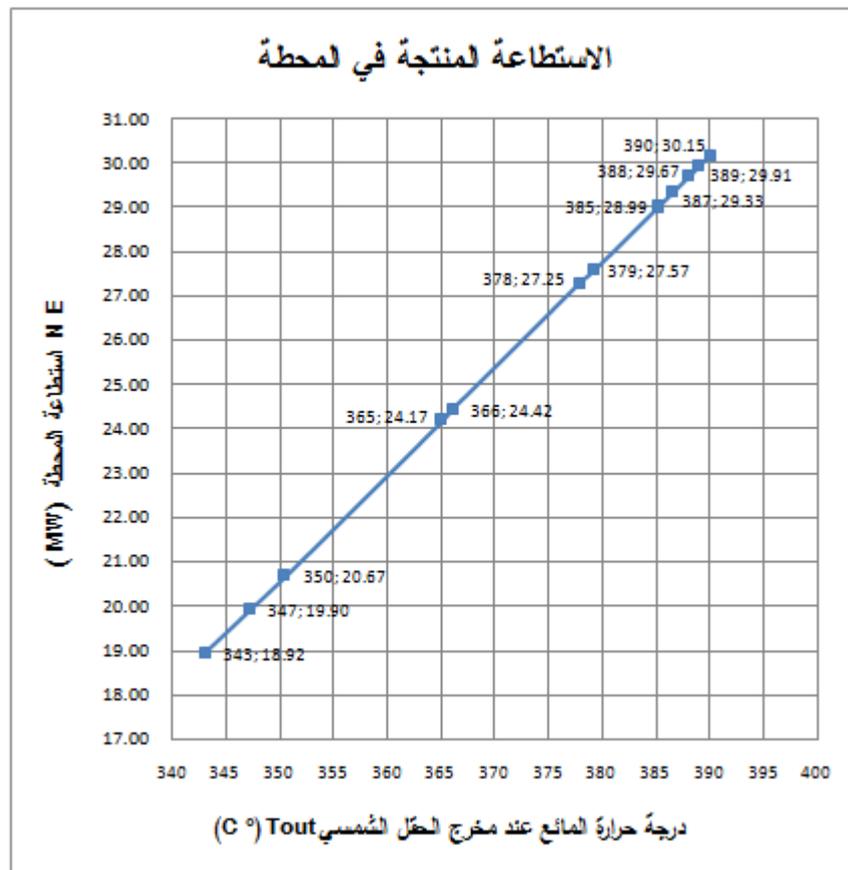


الشكل (19) تغير قيمة المرئود الإجمالي في كل شهر من أشهر العام



الشكل (18) تغير قيمة مرئود وحدة العنفة في كل شهر من أشهر العام

يوضح الشكلان (18)، (19) أن المرئود الحراري لوحدة العنفة و المرئود الحراري الإجمالي للمحطة يتغيران خلال أشهر العام، ويبلغان قيمتهما الأعظمية في شهر حزيران ثم يتناقصان ليصلا إلى أدنى قيمة لهما في شهر كانون الأول، وذلك لأن كمية الحرارة المجمعة تتغير خلال أشهر العام.



الشكل (20) تغير قيمة الاستطاعة المنتجة في المحطة خلال أشهر السنة مع تغير درجة حرارة المانع VP-1 عند مخرج الحقل الشمسي

يوضح الشكل (20) أن الاستطاعة المنتجة في المحطة تتناسب طردياً مع درجة حرارة الناقل الحراري عند مخرج الحقل

الشمسي.

## الاستنتاجات والتوصيات :

### الاستنتاجات:

قمنا في هذا البحث بدراسة تحليلية لعمل محطة كهروشمسية ذات اللاقط من نوع قطع مكافئ واقعة في مدينة تدمر وقد وجدنا أن :

- 1- كانت كمية الحرارة المجمعة في الحقل الشمسي خلال أشهر السنة في منطقة تدمر مرتفعة وكان لها قيم مرتفعة وصلت خلال شهري حزيران وتموز إلى  $(240.6 W/m^2)$ ، وتعتبر تلك القيم كافية للحصول على البخار وتشغيل المحطة الحرارية عند الاستطاعة الاسمية خلال النهار (10 ساعات).
- 2- بين البحث تأثير بارمترات الوسيط العامل ضمن دارة العنفة(ماء- بخار) والناقل الحراري (VP-1) ضمن دارة اللواقط الشمسية على عمل المحطة عند الحمولة الاسمية والحمولات الجزئية المتغيرة.
- 3- بلغت القيمة العظمى للاستطاعة الكهربائية للمحطة خلال شهر حزيران  $(30.15) MW$  أما أدنى قيمة للاستطاعة فكانت عند شهر كانون الأول وقدرها  $(18.93) MW$ .
- 4- كان المردود الإجمالي للمحطة الكهروشمسية مرتفعاً عند عمل المحطة بشكل طبيعي، حيث بلغت قيمته العظمى  $(33.04\%)$  خلال شهر حزيران ولكن أخفض قيمة للمردود خلال شهر كانون الأول، حيث وصلت إلى  $(30.31\%)$ .

### التوصيات:

- 1- نوصي بدراسة عمل المحطة باستخدام مرجل بخار مساعد يعمل على الغاز الطبيعي في أوقات الليل أو عند انخفاض الإشعاع الشمسي لتوليد البخار وتسخين الماء في الأشهر التي تكون فيها كمية الحرارة الممتصة في الحقل الشمسي منخفضة.
- 2- تقديم نتائج إلى وزارة الكهرباء للاستفادة من بحثنا وإجراء دراسة تنفيذية لإنشاء محطة حرارية كهروشمسية في منطقة تدمر تعمل بالموصفات التي تم الحصول عليها.

### المراجع:

- [1] الأطلس الشمسي للقطر العربي السوري، 2005.
- [2] FRANK LIPPKE, *Simulation Of the Part-Load Behavoir of a 30MW SEGS Plant*, 1955, 21p.
- [3] Therminol VP-1 heat transfer fluid system. Therminol VP-1 heat transfer fluid, Performance features of Therminol VP-1 by SALUTIA.  
< [http:// www.therminol.com](http://www.therminol.com).>
- [4] Price . H, "A Parabolic Trough Solar Power Plant Simulation Model" , 2003.
- [5] ASHRAE , Handbook of Fundamentals , American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Atlanta, W. S .A . 1981.
- [6] 498، 2016-2017 جورج ، رامي. الطاقات المتجددة ومحطاتها، منشورات جامعة تشرين ، اللاذقية سوريا،
- [7] KUSTRIKIN, V. A, SHLEBOV, E. G. *Theory of thermal processes and modern issues of equipment steam turbines*, Kharkov, Russia, 2007, 350.
- [8] LAVGINA, V.T, BORAV, V.D, *Thermal Electrical power plants*, MEI, Russia, 2009, 230.