مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (1) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (1) 2013

استخدام محطة طاقة شمسية ذات لاقط نوع قطع مكافئ مع تخزين حراري محسوس لتغطية حمولة الذروة الكهربائية لمنطقة تدمر

الدكتور محمد علي*

(تاريخ الإيداع 24 / 6 / 2012. قُبِل للنشر في 13/ 12 / 2012)

□ ملخّص □

بين البحث ضرورة بناء نظام توليد طاقة كهربائية شمسية لتأمين الطاقة النظيفة المتجددة وتلبية احتياجات الناس من الطاقة الكهربائية عند حمولة الذروة والمحافظة على بيئة نظيفة في منطقة تدمر. فتمت في البحث دراسة عمل محطة توليد طاقة كهربائية باستطاعة 30MW خلال النهار، حيث يتم تخزين جزء من الطاقة الحرارية المجمعة في الحقل الشمسي ضمن خزان طاقة حراري محسوس لتغطية حمولة الذروة لاستهلاك الطاقة الكهربائية عند عمل المحطة ليلاً، بين البحث جدوى بناء النظام الشمسي باستخدام لاقط نوع قطع مكافئ في الحقل الشمسي,إذ إن كمية الحرارة المجمعة خلال أشهر السنة مرتفعة وإن ساعات تشغيل المحطة نهاراً تكون كبيرةً، وبناء محطة كهروشمسية عملية مقنعة من الناحية الفنية والاقتصادية. وقد تم في البحث تصميم الحقل الشمسي وتحديد أهم بارامتراته باستخدام برنامج كمبيوتر بلغة C^{++},وكذلك تمت دراسة أهم مؤشرات المحطة عند عملها خلال أشهر السنة.

الكلمات المفتاحية: نظام شمسي لتوليد الكهرباء – تخزين الطاقة الحرارية – المجمعات ذات القطع المكافئ.

* مدرس–قسم هندسة القوى الميكانيكية–كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية–جامعة تشرين–اللاذقية– سورية

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (1) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (1) 2013

Employing a Parabolic Trough Solar Power Plant with a Sensible Thermal Energy Storage for Covering Electrical Peak Load in Palmyra

Dr. Mohammad Ali*

(Received 24 / 6 / 2012. Accepted 13 / 12 / 2012)

□ ABSTRACT □

This research shows the necessity of building the solar electric generating system to provide a clean renewable energy and to meet people's needs of electrical energy at Peak-Load to keep a clean environment in Palmyra region. This paper concluded a study of electric generating power plant with 30MW capacity during day. A part of heat power collected in a solar field is stored in sensible thermal energy storage for covering Electrical Peak Load when the plant operates at night. This research showed the advantage of constructing the solar system with a Parabolic Trough in the solar field. The amount of heat collected during months of the year is high and the hours operating at daytime were great. The building of solar-electric plant is valid technically and economically. This research performed a design of solar field and its Parameters using Computer Program (Language C++) and calculated the most important plant performance during months of the year.

Key Words: Solar electric generating system SEGS -Thermal energy storage, Parabolic trough collector

*Assistant professor, Department of Mechanical power Engineering, Faculty of Mechanical &Electrical Engineering , Tishreen University, Lattakia, Syria

مقدمة:

إنّ أزمات الطاقة العالمية في السنوات الأخيرة،ومشكلة تلوث البيئة بنواتج احتراق الوقود الأحفوري أعطت شعوراً عاماً على مستوى الأفراد والدول بأهمية البحث الجدي عن الطّاقات المتجددة والبديلة، كما أن ارتفاع أسعار الوقود وتوقع نضوبه يلحّان على التفكير باستخدام الطّاقة البديلة، وبالأخص الطاقة الشّمسية في إنتاج الطّاقة الكهربائيّة أو المساعدة على تقليل استهلاك الوقود في محطات توليد الطّاقة الكهربائية التقليدية والمركبة.

بعد دراسة أولية حول المناطق التي يمكن تركيب محطة كهروشمسية فيها في سوريا فقد وجدنا في بحثنا أن منطقة تدمر مناسبةً جداً لتركيب محطة كهروشمسية وذلك من عدة نواحٍ أهمها:

1. من الناحية البيئية حيث يجب المحافظة على بيئة نظيفة في بادية تدمر.
2. عدد السكان القليل والمناطق الصناعية المحدودة واستهلاك المدينة من الطاقة الكهربائية منخفض نسبياً مما يسمح باختيار استطاعة صغيرة للمحطة الكهروشمسية.
3. من الناحية المناخية الطقس فيها مناسب وعدد أيامها المشمسة في السنة كثير.
4. الطبيعة الجغرافية وشدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الهواء المحيط وسرعة الرياح مناسبة.
5. مساحة الأرض المخصصة لبناء المحطة الكهروشمسية متوافرة وبثمن منخفض.

إن حمولة الذروة في سوريا مشكلة حقيقة يعاني منها كل إنسان بسبب انقطاع التيار الكهربائي لفترة معينة يومياً، وخاصة في فصلي الصيف والشتاء (الحر الشديد والبرد الشديد)،حيث يكون الطلب على استهلاك الطاقة الكهربائية أكبر من الطاقة المنتجة في محطات التوليد.

انطلاقاً مما سبق يجب على الباحثين وأيضاً وزارة الكهرباء العمل على إيجاد الحلول المناسبة من أجل معالجة تلوث البيئة ومشكلة تغطية الطلب الأعظمي للطاقة الكهربائية عند حمولة الذروة.

تعدّ المحطات الحرارية الكهروشمسية أحد الحلول الناجحة لمعالجة المشكلة السابقة بالإضافة إلى كونها محطات تستخدم طاقة نظيفة غير ملوثة للبيئة وطاقة متجددة غير مهددة بالنضوب. في أمريكا الشمالية في صحراء موجاف جنوبي كاليفورنيا تم تركيب أكبر محطة حرارية كهروشمسية في العالم استطاعتها الكهربائية الإجمالية حوالي 354MW.

إن النجاح في استخدام الطاقة الشمسية يعتمد على العديد من العوامل المتكاملة[1]، نذكر منها:

1. الموقع الجغرافي.
2. ملاءمة النظام الشمسي لحجم التطبيق.
3. نوعية المنتج (النظام الشمسي).
4. التقنية المستخدمة في تصنيع المنتج .
5. جودة المكونات المستخدمة وكفاءتها.
6. طريقة التركيب والتشغيل.
7. خدمة الصيانة والمتابعة.

من تحليل العوامل السابقة فقد اقترحنا في بحثنا دراسة محطة حرارية كهروشمسية ذات لواقط مركزة من نوع قطع مكافئ من طراز (LUZ–LS–2–UVAC receivers) [2] تشكل الحقل الشمسي المؤلف من صفوف متوازية من اللواقط الضخمة على شكل قطع مكافئ، تقوم بعكس أشعة الشمس نحو أنبوب مستقبل يقع في محرق القطع

المكافئ,حيث تدور السطوح العاكسة حول محور واحد يتجه شمال–جنوب، ويتتبع حركة الشمس خلال النهار من الشرق باتجاه الغرب[3]، يستخدم ناقل حراري سائل بحالة أحادية الطور,يتم ضخه في هذه الأنابيب المركبة في محرق القطع المكافئ لامتصاص الحرارة المعكوسة، وتصل درجة حرارة الناقل الحراري إلى نحو $390^{o}C$.

إن كمية الحرارة الممتصة تستخدم من أجل التبادل الحراري مع الماء ضمن مبادلات حرارية أنبوبية بغرض تسخين وتحويل الماء إلى بخار لاستخدامه في عنفة بخارية مناسبة مربوطة بمولدة كهربائية من أجل إنتاج الطاقة الكهربائية[4].

يتم استخدام قسم من كمية الحرارة الممتصة نهاراً في الناقل الحراري مباشرةً في توليد الطاقة الكهربائية وقسم آخر يتم تخزينه في خزان ساخن يترك لعمل المحطة لتغطية حمولة الذروة المسائية، تزود المحطة بخزانين حراريين ساخن وبارد,حيث يستخدم الخزان الساخن من اجل تخزين كمية حرارة محسوسة محددة من السائل الناقل للحرارة في أثناء النهار عند درجة حرارة مرتفعة على حين يحل الخزان الساخن مكان الحقل الشمسي خلال الفترة المسائية يتم تجميع الناقل الحراري في الخزان البارد, بعد سحب كمية الحرارة منه. يزود الخزان الساخن المحطة بالحرارة اللازمة لعملية تبخير المياه للحصول على العمل المناسب داخل العنفة البخارية لعدة ساعات فقط[5].

من أهم الموائع المستخدمة في عملية النقل الحراري في مثل هذا النوع من المحطات هو الناقل الحراري Therminol VP–1، والذي يتألف من مزيج ذي نقطة انصهار منخفضة(Eutectic mixture) مكون من أكسيد الديفنيل ومن بيفينيل(73. 5% diphenyl oxide and 26. 5% biphenyl),والمركب عبارة عن مائع متغير الطور من سائل إلى بخار وبالعكس[6],ولكن في مجال الطاقة الشمسية يكون أحادي الطور وفي حالته السائلة.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في الاستفادة من المعدلات الساعية واليومية المرتفعة نسبياً للإشعاع الشمسي الكلي (يشمل الإشعاع الشمسي الكلي المنتثر والمباشر)في منطقة حمص(الجدول 32–أطلس الإشعاع الشمسي السوري)[7]،هنا يسمح باستخدام الطاقة الشمسية المجانية والنظيفة في توليد الطاقة الكهربائية، وتخزين جزء من الطاقة الحرارية لعمل المحطة في أوقات الطلب الأعظمي على الطاقة الكهربائية مساءً. يهدف البحث إلى دراسة عمل المحطة الكهروشمسية في الظروف المناخية السورية وتحديد القيم المثلى لبارمترات الناقل الحراري والجسم العامل (الماء–بخار الماء) في العنفة البخارية وحساب فعالية تحويل الطاقة وكفاءته.

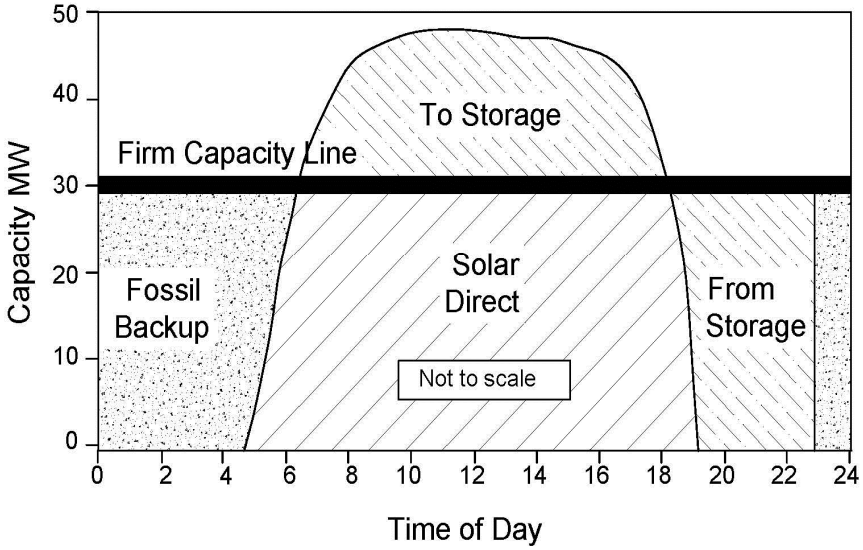
طرائق البحث ومواده:

تعتمد طريقة البحث على مبدأ تقييم طريقة تحويل الطاقة الإشعاعية الشمسية إلى طاقة حرارية في محطة كهروشمسية ومناسبتها مع الظروف السورية من حيث الظروف المناخية والجغرافية والعملية والاقتصادية ومقارنتها بالمحطات الكهروشمسية العاملة في العالم. تم في بحثنا استخدام الدراسة البرمجية لتصميم حقل اللواقط الشمسية لمحطة كهروشمسية وحساب أهم بارامترات هذا الحقل واستخدام الدراسة التحليلية للمحطة وحساب مؤشراتها الرئيسة.

النتائج والمناقشة:

على المصمم تحديد إمكانية استخدام نظام الطاقة الشمسية ستخدماً بشكل فعالاً من أجل التطبيق المعطى، ولكي نقدم الجواب يجب على المصمم أن ينجز تصميم النظام لتقدير:

1-مساحة المجمعات الشمسية المطلوبة،2-مساحة الأرض المطلوبة للمجمعات الشمسية،3- التخزين الحراري ونوعه وتجهيزاته،4-استخدام الوقود العضوي (بتركيب مرجل بخار تقليدي) الذي يمكن إزاحته بواسطة نظام الطاقة الشمسية عند عمل المحطة ليلاً ولتحسين من مواصفات البخار نهاراً في الشتاء كما هو مبين في الشكل(1) [8] .



الشكل (1) مخطط رمزي لطريقة توزع كميات الحرارة المستهلكة في المحطة خلال 24 ساعة.

إن عملية التصميم الموصوف سوف تخدم بوصفها أساساً بحيث تمكن من البدء بالعمليات التفصيلية التي تشمل:

1-اختيار درجة الحرارة التشغيلية للمجمع ونوع جريان الناقل الحراري (ثابت أو متغير),2- دور التخزين الحراري للطاقة وسعة التخزين الحراري ونوعه محسوس أم كامن.

في هذا البحث العلمي تم وضع المسألة وتم تحديد دالة البحث ونلخص مراحل البحث بما يلي:

1. الدراسة التحليلية لاستهلاك الطاقة الكهربائية في مدينة تدمر وتحديد الاستطاعة المناسبة للمحطة الكهروشمسية المقترحة.

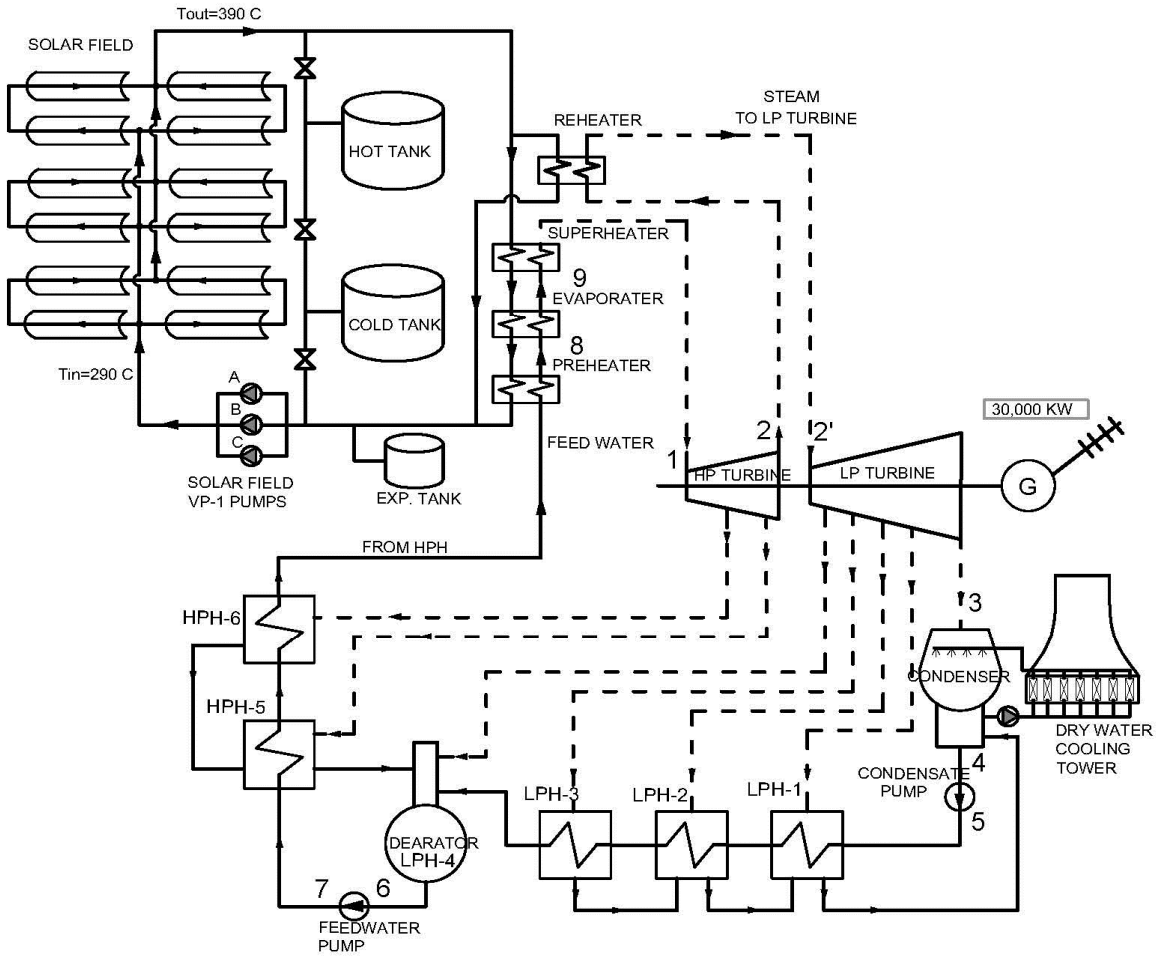
يتغير الطلب على الطاقة الكهربائية خلال اليوم(24 ساعة) بين النهار والليل وكذلك الأمر يتغير استهلاك الطاقة الكهربائية خلال الفصول الأربعة, يتغير الطلب اليومي على الطاقة الكهربائية فعند حمولة ذروة كهربائية يومية يكون استهلاك الطاقة الكهربائية أعظمياً وعند حمولة الحضيض يكون الاستهلاك فيها منخفضاً. ففي منطقة تدمر حمولة الذروة الساعية لاستهلاك الطاقة الكهربائية صغيرة تتراوح بين(18-28MW)صيفاً بين الساعة السابعة والعاشرة مساءً حيث يكون الطلب على استهلاك الطاقة الكهربائية أعظمياً(إحصاءات وزارة الكهرباء-مديرية كهرباء حمص لعام 2010). من التحليل السابق للطلب على

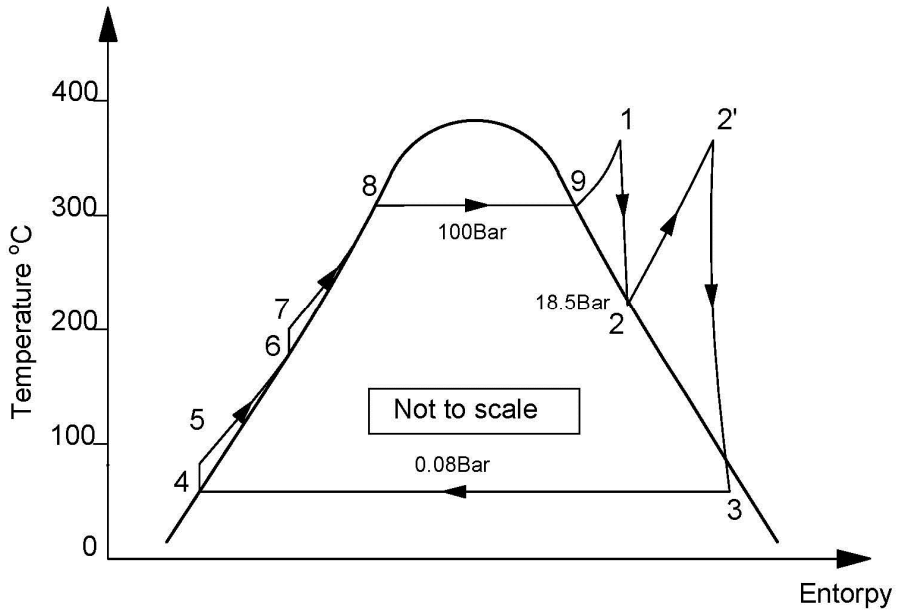
الطاقة الكهربائية وجدنا أن القيمة المثالية لاستطاعة المحطة الكهروشمسية هو 30MW مع لأخذ بالحسبان إمكانية الزيادة المستقبلية للطلب عند حمولة الذروة، والربط بالشبكة الكهربائية السورية.

2. اقتراح دارة حراريّة للمحطة الكهروشمسية.

يتميز الناقل الحراري(VP-1) بأنه وسيط يعمل عند درجات الحرارة العالية، حيث يمكن أن تصل درجة حرارته إلى حوالي $400^{o}C$ دون تغير في الطور. سندرس في هذا البحث عمل المحطة باستخدام الناقل الحراري في الحالة السائلة-أحادية الطور عند درجة حرارة بين($290-393\ ^{o}C$) وضغط تشغيل يتراوح بين(20-42Bar)[9].

لقد تم اختيار الدارة الحرارية للمحطة المقترحة على أساس دارة رانكين مع إعادة تحميص للبخار كما هو مبين في الشكل(2),وتم اختيار درجة حرارة البخار عند مدخل عنفة الضغط العالي $371^{o}C$ وضغط 100Bar





الشكل (2) المخطط الرمزي للدارة الحرارية للمحطة الكهروشمسية المدروسة ودارة رانكين المقابلة على المخطط (T–S).

بحيث تتناسب مع درجة حرارة تشغيل الحقل الشمسي,وتستخدم إعادة تحميص البخار عند درجة حرارة $208^{o}C$ وضغط 18. 5Bar إلى درجة حرارة $371^{o}C$ قبل دخوله إلى عنفة الضغط المنخفض, ويكون الضغط في نهاية عنفة يساوي الضغط في المكثف وقدره 0. 08Bar.

خلال العمل الطبيعي للمحطة والحقل الشمسي تكون الاستطاعة الكهربائية الصافية عند القيمة العظمى,في فصل الشتاء,إذ تنخفض درجة حرارة الناقل الحراري عند خرج الحقل الشمسي ومن ثم تعمل المحطة عند حمولات كهربائية منخفضة. يتم زيادة تدفق الناقل الحراري عندما تكون درجة حرارة الناقل الحراري منخفضة عن طريق مجموعة مضخات الحقل الشمسي حيث يتراوح تدفق مضخة الناقل الحراري بين (240–500 kg/s). عدد ساعات تشغيل المحطة يتعلق بطول النهار في كل يوم من السنة.

بسبب قلة المياه في منطقة تدمر اقترحنا في بحثنا استخدام مكثف بخار العنفة من نوع مكثف مباشر من النوع المزجي (Direct–jet Condenser) مع برج تبريد جاف والمعروف باسم(HELLER)وهذا النوع من المكثفات فعال في الظروف شبه الصحراوية كما هو الحال في مدينة تدمر.

يمكن إضافة مرجل بخار مساعد لعمل المحطة على وقود الغاز الطبيعي,إذ يمكن توليد البخار من المرجل بنسبة تفوق 25%,ويستخدم المرجل أيضاً لتوليد البخار وتسخين البخار(تحميص البخار) المنتج من المبادلات الحرارية عندما تكون درجة حرارة الناقل الحراري منخفضة شتاءً.

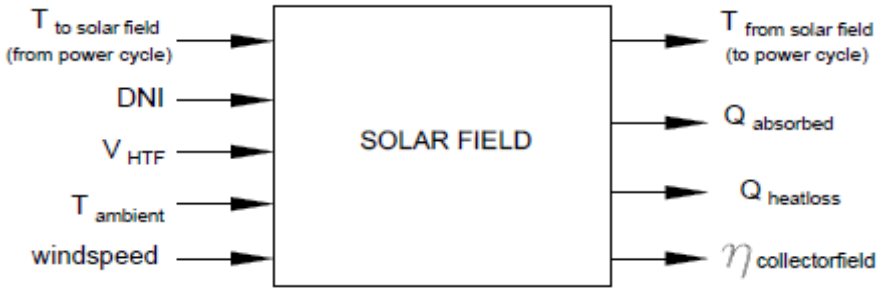
يجب أن تعمل العنفة البخارية عند حمولات إضافية تزيد عن الحمولة التصميمية الفعلية بمقدار 15% وهذا ما يحدث فعلاً في فصل الصيف حيث تكون الطاقة المجمعة من الحقل الشمسي كبيرة ويمكن توليد كمية إضافية من البخار عند درجة حرارة مرتفعة.

3- الدراسة البرمجية لحساب شدة الإشعاع الشمسي وبارامترات الحقل الشمسي للمحطة الكهروشمسية المدروسة.

تم وضع برنامج **كمبيوتر بلغة Visual C++** يقوم بحساب جميع بارامترات الإشعاع الشمسي في جميع أيام السّنة (من1 إلى365) بعد إدخال المعطيات التي تخص كل منطقة. كذلك الأمر يقوم البرنامج بحساب بارامترات الحقل الشمسي بعد إدخال البارامترات التصميمية للاقط المركز المعتمد في الحقل الشمسي وفي بحثنا هو من نوع قطع مكافئ من طراز LS-2. فرق درجة الحرارة للناقل الحراري في الصيف بين دخل الحقل الشمسي وخرجه حوالي $\Delta t=100^{o}K$ إذ تكون درجة حرارة الناقل الحراري عند المدخل والمخرج ($290-390\ ^{o}C$), أما في الشتاء ينخفض فرق درجة الحرارة عندما يكون تدفق الناقل الحراري ثابتاً.

عند تتبع الشمس تم الآخذ بالحسبان عامل التظليل على العاكس في الحقل الشمسي والضياعات الناتجة عن ذلك. يبين الشكل(3) أهم بارامترات الدخل المطلوبة إلى الحقل الشمسي وبارامترات الخرج منها:

1. درجة حرارة مائع انتقال الحرارة (T_{HTF}) عند مدخل الحقل ومخرج الحقل الشمسي (في دارة المحطة).
2. الإشعاع الشمسي العمودي المباشر (DNI) عبر الحقل ويقدر بـ(W/m^2).
3. معدل الجريان لحجمي(V_{HTF})ويقدر بـ(m^3/s).
4. درجة حرارة الوسط المحيط (^{o}C).
5. سرعة الرياح (m/s).



الشكل(3) مخطط رمزي لأهم بارامترات الدخل والخرج في الحقل الشمسي.

تحدد كمية الحرارة الممتصة (المكتسبة) في الناقل الحراري في الحقل الشمسي من العلاقة التالية:

$$Q_{absorber} = DNI.\cos\theta.IAM.Rowshadow.Endloss.\eta_{Field}.\eta_{HEC}.SFA_{Vail} \quad (1)$$

حيث:

$Q_{absorber}$ -الإشعاع الشّمسي الممتص بواسطة أنابيب المستقبل (W/m^2).

DNI-كمية الإشعاع الشّمسي العمودي المباشر الساقط على لواقط الحقل الشمسي ويقدر بـ (W/m^2) وتم تحديدها من الإشعاعية الشّمسية التي يستقبلها سطح أفقي حسب النموذج المعتمد من قبل ASHRAE [10] .

θ -زاوية الورود وتقدر بالدرجة (degree).

IAM-معدلة زاوية الورود (-).

Rowshadow–عامل الأداء ويحسب من أجل التظليل المشترك لصفوف المجمّعات المتوازية خلال الصّباح الباكر والمساء المتأخر (–).

Endloss–ضياع النّهاية وعامل الأداء الذي يحسب من أجل الضياعات في نهايات المجمّعات HCE (–).

η_{field}–مردود الحقل الشمسي ويتم حسابه من أجل الضياعات المطابقة لتقعر المرآة(–)وشوائبها.

η_{HCE}–مردود عنصر تجميع الحرارة(الأنبوب المفرغ الذي بداخله أنبوب مرور الناقل الحراري).

SFA_{Vail}–نسبة مساحة اللواقط في الحقل الشّمسي التي تتبّع حركة الشّمس إلى المساحة الإجمالية للحقل الشمسي.

وتحسب كمية الحرارة المجمعة في الحقل الشمسي بالعلاقة:

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

حيث:

Sf_{pipeHL} – الضياعات الحرارية للأنابيب من الحقل الشّمسي وإليه.

RecHL – مجموع الضياعات الحراريّة في المستقبلات.

تم حساب المردود الحراريّ للحقل الشّمسي $\eta_{solarfield}$ من العلاقة التالية:

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

حيثُ:

A_{total}–المساحة الكلية للحقل الشّمسي تنتج من جداء طول المرآة بعرضها وتقدر بـ(m^2)

$I_{incident}$–الإشعاع الشّمسي المباشر المصحح (W/m^2).

$Q_{collector}$– معدل كسب الطّاقة الحرارية المجمع المفيد ويقدر بـ(W).

ينتج معدل كمية الحراري المفيدة المجمعة في الحقل الشّمسي من معدل الجّريان الكتلي لمائع انتقال الحرارة (m_{HTF}) وتغيّر الانتالبي عبر الحقل ويتم التعبير عنه لكل وحدة سطح الحقل الشّمسي كما يلي:

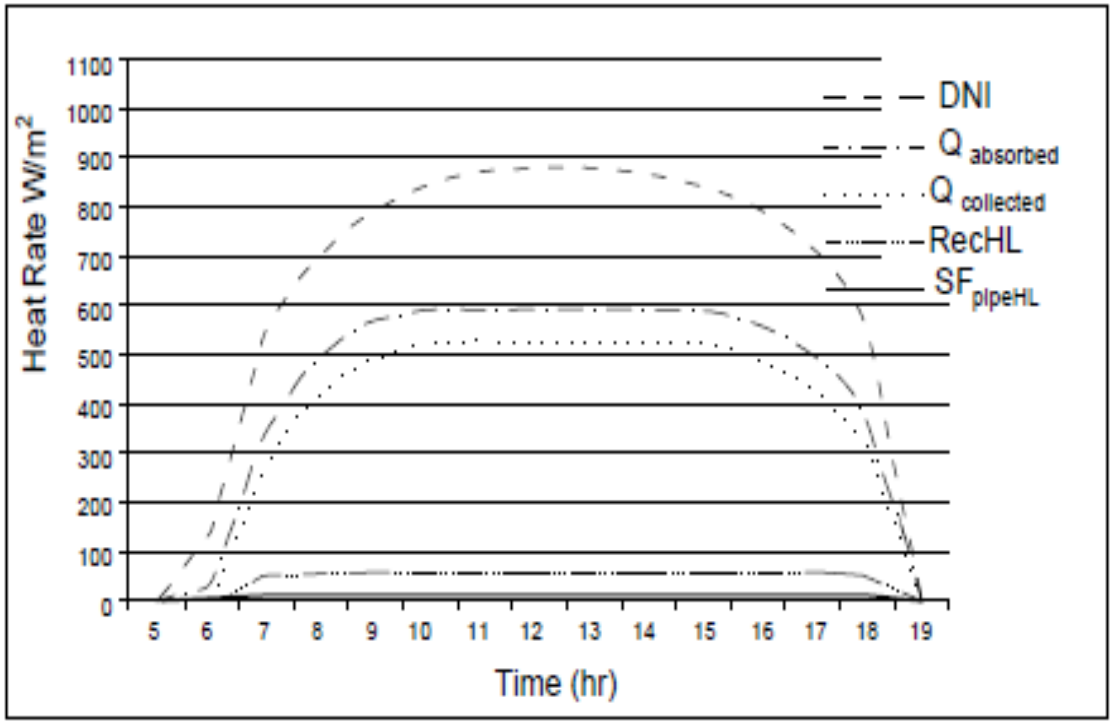
$$Q_{collector} = m_{HTF}(h_{out} - h_{in}) \qquad (4)$$

m_{HTF} –معدل الجّريان الكتلي لمائع انتقال الحرارة عبر الحقل (kg/s).

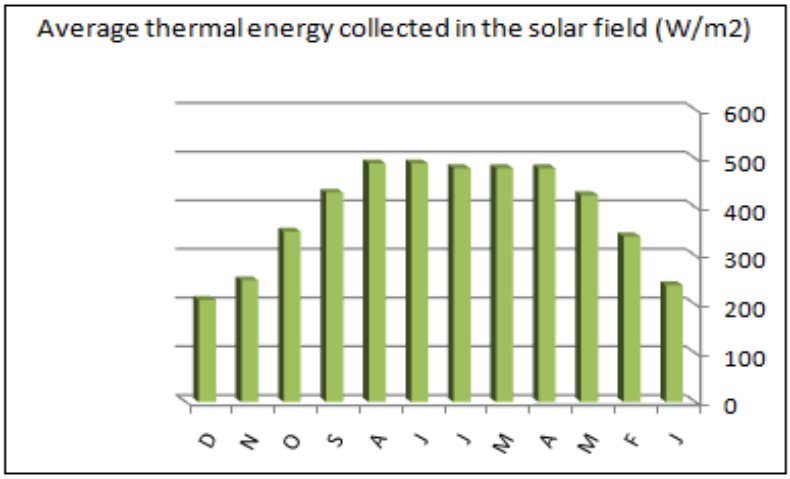
h_{out}–انتالبي مائع انتقال الحرارة عند مخرج الحقل الشّمسي (J/kg).

h_{in}–انتالبي مائع انتقال الحرارة عند مدخل الحقل الشّمسي (J/kg).

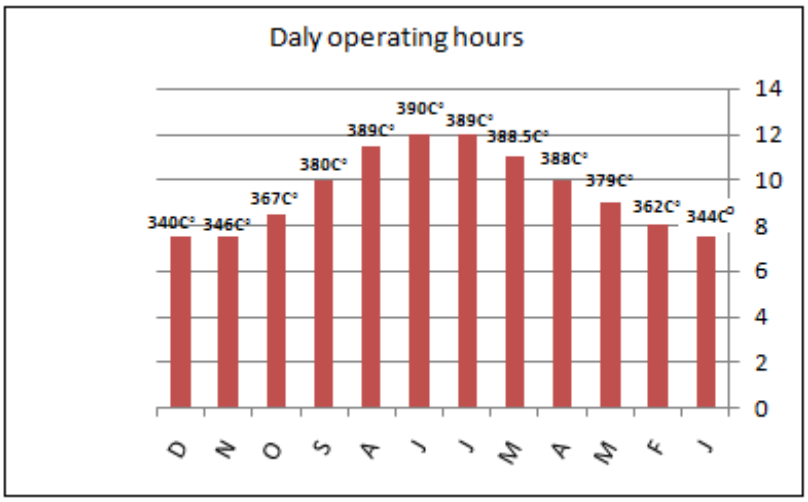
تم بناء خوارزمية لحساب بارامترات خرج الحقل الشمسي وتحديد كمية الحرارة المجمعة الصافية التي تقدم في المبادلات الحرارية لإعطاء الوسيط العامل (الماء–بخار الماء)الطاقة الحرارية المطلوبة ليقوم بالعمل في العنفة البخارية. تبين الأشكال(4),(5),(6),(7),نتائج الحسابات لأهم بارامترات الحقل الشمسي.



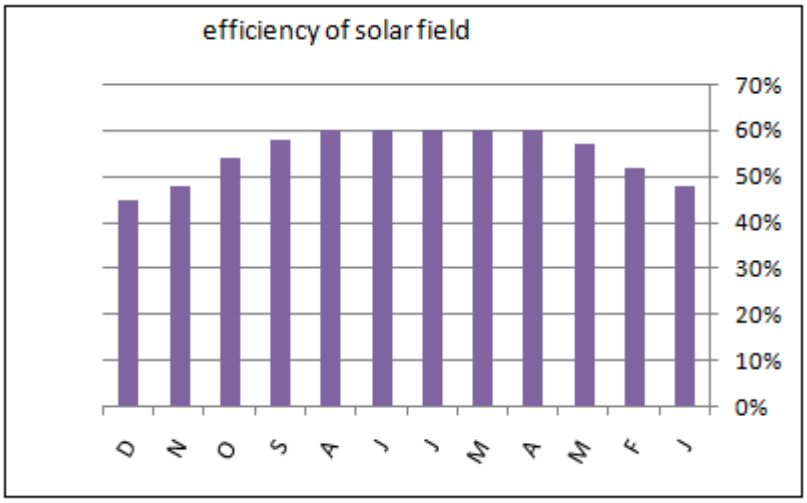
الشكل (4) تغير قيم الإشعاع الشمسي المباشر (DNI) وكمية الحرارة الممتصة والمجمعة والضياعات الحرارية (W/m^2)في الحقل الشمسي خلال ساعات النهار في شهر تموز في منطقة تدمر.



الشكل (5) تغير القيم الوسطية لكمية الحرارة المجمعة (W/m^2)في الحقل الشمسي خلال أ شهر السنة في منطقة تدمر.



الشكل (6) متوسط عدد ساعات تشغيل الحقل الشمسي في اليوم خلال أ شهر السنة ومتوسط درجة حرارة الناقل الحراري عند خرج الحقل الشمسي في منطقة تدمر.



الشكل (7) متوسط مردود الحقل الشمسي خلال أ شهر السنة في منطقة تدمر.

4- تصميم الحقل الشّمسي المناسب.

تشمل دراسة تصميم الحقل الشّمسيّ حساب مساحة سطوح المجمّعات الشّمسيّة التي تؤمّن الطلب على الطّاقة الكهربائيّة خلال ساعات عمل المحطّة،ويجب أن تغطي المساحة المطلوبة كمية الحرارة المطلوب تخزينها لعمل المحطّة عند غياب الشمس لتغطية حمولة الذروة،ولكن في دراستنا هذه لا يوجد تخزين للحرارة بقصد تشغيل المحطّة ليلاً، وإنّما يستخدم تخزين مائع انتقال الحرارة (VP-1) فقط بكميةٍ قليلةٍ نسبياً من أجل إقلاع المحطّة صباحاً عند درجة حرارة مرتفعة تكون حوالي 290 ^{o}C وتم حساب سعة التخزين في الخزان الساخن. عند حساب مساحة المجمّعات يجب أن يؤخذ بالحسبان معامل تغير الحالة الجويّة، إذ إنّه لا تكون جميع الأيام ذات سطوع كامل، وإنّما يوجد هناك أيام غائمة جزئياً أو كليّاً. تم حساب مساحة سطح المجمّعات الشّمسيّة الإجمالية للحقل الشّمسي ليغطي 30MW من الطلب على الطّاقة من خلال العنفة البخارية في المحطّة،وتحسب المساحة الإجمالية لسطوح المجمعات (m^2) من العلاقة التالية:

$$A_{total} = \frac{\text{معامل التغيير } X \text{ الطلب على الطّاقة}}{\text{كمية الحرارة المجمعة } X \ (1 - \text{نسبة الضياعات})} \quad (5)$$

ويحدد معامل التغيير من العلاقة التالية:

معامل التغيير = 1+ نسبة التغطية الكلية

وتحدد نسبة التغطية كما يلي:

$$\text{نسبة التغطية الكلية} = \frac{\text{مجموع معاملات التغطية الكلية}}{\text{مجموع معامل التغطية الكلية + مجموع متوسط عدد ساعات السطوع اليومي}} \quad (6)$$

في بحثنا تم حساب نسبة التغطية من أجل أسوأ ستة أشهر وهي تشرين1،تشرين2،كانون1،كانون2،شباط،آذار, ويتم الحصول على عدد ساعات السطوع وعلى عدد ساعات التغطية من الأطلس الشمسي للقطر العربي السوري[7].

من حيث متوسط عدد ساعات السطوع الشمسي في منطقة تدمر,وعند قيمة متوسطة لكمية الحرارة الممتصة في هذه الشهور الستة والتي تساوي ($308W/m^2$), تتراوح نسبة الضياعات في الحقل الشمسي بين(15-25%)، وقد اعتمدنا في بحثنا القيمة الأكبر للضياعات في الحقل الشّمسي وتساوي (25%)K فحصلنا على مساحة إجمالية للمجمعات الشمسية قدرها $184000\ m^2$، تم حساب عدد المجمعات بحسب مواصفات اللواقط من النوع القطع المكافئ(LUZ-LS-2) كما هو مبين في الجدول(1).

الجدول (1) المواصفات النموذجية للمجمعات القطعية لشركة لوز (LUZ-LS-2)

أهم مواصفات اللاقط نوع قطع مكافئ LUZ – LS-2			
عرض الفتحة	5m	انعاكسية المرآة	0.94
طول المجمع	48m	المردود	0.737 – 0.764%
نسبة التركيز الشمسي	71:1	امتصاصية المستقبل	0.94 – 0.99
قطر المستقبل	0.07 m	السطح الانتقائي (الطلاء)	سيرميت وكروم أسود

5-التخزين الحراري على شكل حرارة محسوسة:

اعتمدنا في هذا البحث دراسة تقريبية لاستخدام التخزين الحراري المحسوس لتعمل المحطة ليلاً لتغطية حمولة الذروة، عن طريق خزانين للناقل الحراري ساخن-بارد[11], حيث يتم شحن الخزان الساخن في ساعات قرب الظهيرة عندما تكون الطاقة الشمسية مرتفعة وتزيد على الطلب,وهذه الطاقة الزائدة يتم تخزينها وتبقى في هذه الحالة نسبة الاستفادة من الطّاقة الشّمسية بين(80-100%)، ودرجة حرارة الناقل الحراري المخزن هي درجة حرارة خرج الحقل الشمسي نفسها, وتم حساب سعة الخزان الساخن ليغطي عمل المحطة حوالي ثلاث ساعات أي بنسبة تخزين تساوي تقريباً 25% من الطلب على الطاقة. إن التخزين الحراري يتطلب زيادة مساحة الحقل الشمسي وتصبح المساحة الإجمالية للمجمعات الشمسية تساوي $224000m^2$، يجب دراسة الحل الأمثل للتخزين الحراري بحيث تكون كلفة نظام التخزين منطقية بالمقارنة مع الكلفة الزائدة نتيجة زيادة مساحة المجمعات لتغطية الطلب على الطاقة الحرارية. يتم تخزين الناقل الحراري في خزانين-الساخن والبارد كما هو مبين في الشكل(2),حجم الخزان الناقل الحراري الساخن

$5350\ m^3$عند تدفق قدره 350 kg/s تكفي لعمل المحطة بين ثلاث وأربع ساعات، يتم عزل الخزانين الساخن والبارد بعزل حراري لتخفيف الضياعات الحرارية إلى الوسط المحيط.

6- دراسة تحليليّة لعملية التبادل الحراري في المبادلات الحرارية للمحطّة الكهروشمسية.

من أجل الحصول على البخار بالبارامترات المطلوبة عند مدخل العنفة البخارية يتم تسخين الماء ثم تحويله الى بخار,ومن ثم تحميص البخار ويتم إعادة تسخين البخار بعد خروجه من عنفة الضغط العالي ضمن مجموعة من المبادلات الحرارية. وتمثل النقاط (a,b,c,d) في الشكل(δ) تغير درجة حرارة مائع انتقال الحرارة VP-1،أمّا النقاط (1,2,3,4) فتشمل تغير حالة الوسيط العامل (ماء – بخار) في المبادلات الحرارية.

تم تحديد بارامترات الماء والبخار من معادلة التوازن الحراري للمبادلات (المسخن الأولي– المبخر–المحمص وإعادة التحميص) على الشكل التالي:

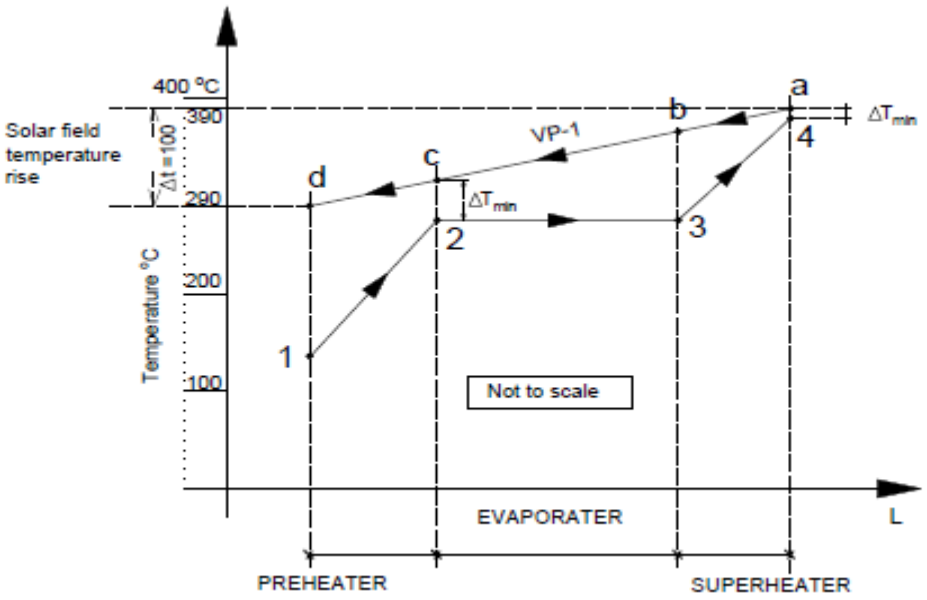
- المسخن الأولي المسبق: $$Q_{Preheater} = m_{water}(h_2 - h_1) = \varepsilon_{HTF}.m_{HTF}(h_c - h_d) \quad (7)$$
- المبخر: $$Q_{Evaporater} = m_{water}(h_3 - h_2) = \varepsilon_{HTF}.m_{HTF}(h_b - h_c) \quad (8)$$
- المحمص: $$Q_{Superheater} = m_{steam}(h_4 - h_3) = \varepsilon_{HTF}.m_{HTF}(h_a - h_b) \quad (9)$$

حيث:

ε_{HTF} –هي فعالية المبادلات الحرارية: (*Heat Exchanger Effectiveness*) والتي تعطى بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon_{HTF} = \frac{Q}{Q_{max}} \quad (10)$$

حيث: Q , Q_{max} –كمية الحرارة المتبادلة وكميّة الحرارة العظمى التي يمكن تبادلها في المبادل الحراري.



الشكل (8) تغيرات درجة حرارة مائع انتقال الحرارة VP-1 ضمن المبادلات الحرارية في دارة المحطة.

7- حساب المؤشرات الرئيسة للمحطة عند حمولات مختلفة.

إن الاستطاعة الكهربائية للمحطة تتعلق بدرجة الناقل الحراري عند مدخل الحقل الشمسي وضغط البخار في مكثف العنفة البخارية وتدفق الناقل الحراري.

$$W_{gross} = f(T_{HTF,in}, P_{Con}, m_{HTF}) \qquad (11)$$

$$\eta_{power,gross} = \frac{W_{electric}}{m_{HTF}(h_{SFout} - h_{SFin})} \qquad (12)$$

$\eta_{power,gross}$ –المردود الإجمالي لدارة المحطة.

$W_{electric}$–الاستطاعة الكهربائية (W).

h_{SFout}–انتالبي مائع انتقال الحرارة عند مخرج الحقل الشّمسي (J/Kg).

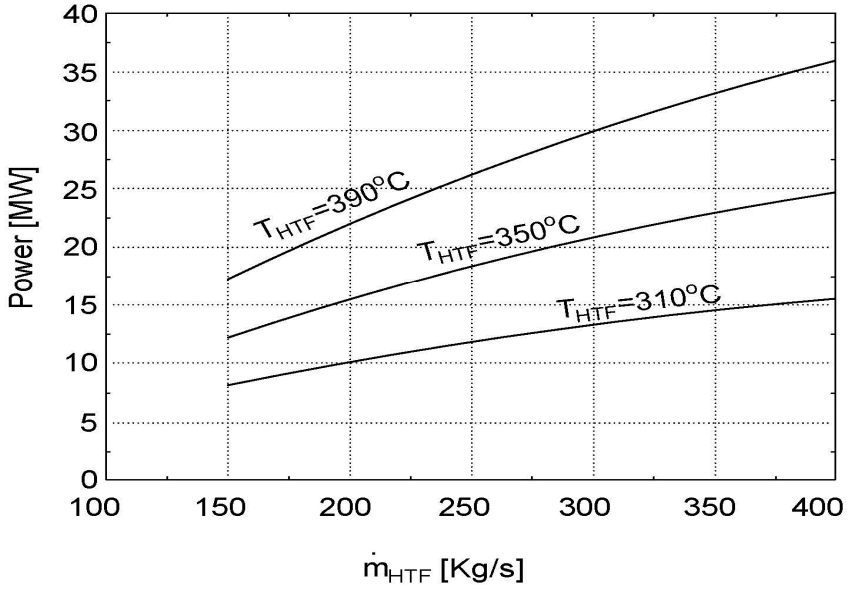
h_{SFin}–انتالبي مائع انتقال الحرارة عند مدخل الحقل الشّمسي (J/Kg).

تتراوح قيمة المردود الصافي للمحطة بين (22–32%),ويتعلق هذا المردود بالإشعاع الشّمسي المباشر المصحح (W/m^2) ودرجة حرارة الناقل الحراري عند خرج الحقل الشمسي وتم حسابه من العلاقة:

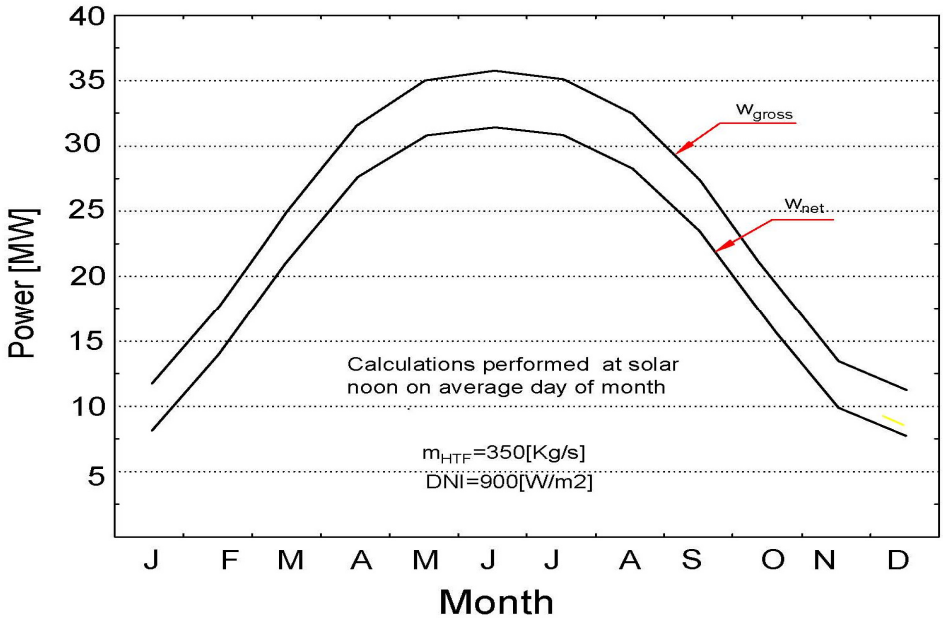
$$\eta_{power,net} = \frac{W_{electric} - W_{PUMPS}}{m_{HTF}(h_{SFout} - h_{SFin})} \qquad (13)$$

$\eta_{power,net}$ –المردود الصافي لدارة المحطة.

W_{PUMPS}–الاستطاعة الكهربائية لجميع المضخات المستخدمة في المحطة (W).



الشكل (9) تأثير تغير درجة حرارة الناقل الحراري والتدفق على الاستطاعة المنتجة في المحطة.



الشكل (10) تغير الاستطاعة المنتجة في المحطة خلال أشهر السنة عند تدفق 350 kg/s.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. بيّن البحث أن كمية الحرارة المجمعة في الحقل الشمسي خلال أشهر السنة في منطقة تدمر مرتفعة وتكون عند قيمة العظمى في شهري حزيران وتموز,وهي تكفي لتوليد البخار وتشغيل المحطة الحرارية عند الاستطاعة المطلوبة خلال النهار.
2. التخزين الحراري المحسوس يكفي لتشغيل المحطة حداً أدنى لمدة ثلاث ساعات ليلاً لتغطية الطلب على الطاقة الكهربائية عند حمولة الذروة وهذا يسهم في حل هذه المشكلة في الشبكة الكهربائية.
3. الاستطاعة الكهربائية المنتجة من المحطة تنخفض عن القيمة الاسمية في الأشهر التي تكون فيها كمية الحرارة المجمعة في الحقل الشمسي منخفضة وكذلك تكون كمية الحرارة المحسوسة المخزنة منخفضة وهذا مبرر بسب انخفاض درجة حرارة الناقل الحراري عند خرج الحقل الشمسي.
4. عند عمل المحطة بشكل طبيعي صيفاً يكون المردود الكهربائي الصافي للمحطة الكهروشمسية مرتفعاً وعند القيمة العظمى ولكن في الأشهر الباردة ينخفض وتتراوح قيمة المردود بين(22-2%).

التوصيات:

1. دراسة عمل المحطة الحرارية عند حمولات جزئية بشكل مفصل.
2. دراسة عمل المحطة باستخدام مرجل بخار مساعد يعمل على الغاز الطبيعي في أوقات الليل، لتوليد البخار وتسخين البخار الشمسي في الأشهر التي تكون فيها كمية الحرارة الممتصة في الحقل الشمسي منخفضة.
3. إجراء دراسة اقتصادية للمحطة الكهروشمسية وتأثير التخزين الحراري المحسوس في ذلك.
4. نوصي وزارة الكهرباء بالاستفادة من بحثنا وإجراء دراسة تفصيلية لإنشاء محطة حرارية كهروشمسية في
5. منطقة تدمر تعمل بالمواصفات التي تم دراستها.

المراجع :

1. John May ,"concentrated Solar Schemes", 48p . 2008 .
2. Price . H, "A Parabolic Trough Solar Power Plant Simulation Model", Sandia National Laboratories, National Renewable Energy Laboratory,USA,12p , 2003
3. A . A . M . SAYIGH , Solar Energy Engineering , Academic Press , New York San Francisco , London,1977.
4. M. Becker , W. Geyer ," Solar Thermal Power Plants ", drafted version with status of may 03, 2000-20p.
5. O. Ercan Ataer ,"Storage Of Thermal Energy ", Gazi university , mechanical engineering department , Ankara.
6. 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. >.
7. الأطلس الشمسي للقطر العربي السوري /2005-ص540/
8. William B. Stine and Michael Geyer, copyright © 2001 by William B. Stine and Michael Geyer, " Solar Energy System Design",218p.
9. Frank Lippke, Simulation Of the Part-Load Behavoir of a 30MWe SEGS Plant,68p,1995.SANDIA National Laboratories, USA.
10. ASHRAE , Handbook of Fundamentals , American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Atlanta, W. S . A . 1981
11. H. Price ,"A Parabolic Trough Solar Power Plant Simulation Model", International solar Energy Conference Hawaii Island, Hawaii March 16–18, 2003 National Renewable Energy Laboratory