

تحسين أداء محطة بانياس الحرارية باستخدام الطاقة الشمسية

الدكتور محمد عطا بطل*
الدكتور عهد محمود سليمان**
حسام محمد داود***

(تاريخ الإيداع 2 / 6 / 2013. قُبِلَ للنشر في 30 / 7 / 2013)

▽ ملخص ▽

تستخدم محطات توليد الطاقة عادةً الوقود من أجل توليد الطاقة الكهربائية، ولكن مع مرور الوقت فإن هذا الوقود سوف يقل وينضب فضلاً عن تأثيره السلبي على البيئة نتيجة انطلاق الغازات الملوثة الناتجة عن احتراقه، لذلك كان لابد من البحث عن طاقة بديلة لاستخدامها في محطات توليد الطاقة من مثل الطاقة الشمسية التي يمكن استخدامها عن طريق دمجها مع دارة المحطة الحرارية، وكون دارة العنفة في المحطات الحرارية تعمل وفقاً لدارة رانكين والمؤلفة من عدة استنزافات للبخر، لتسخين ماء تغذية مرجل المحطة الحرارية، وهنا فبالإمكان استخدام الطاقة الشمسية بشكل جزئي أو كلي، لتسخين ماء التغذية، بدلاً من استنزاف البخر، وهذا البخر سوف يعود بدوره إلى دارة العنفة ويتمدد ضمن مراحلها منتجاً عملاً إضافياً على محور العنفة وبالتالي زيادة استطاعة المحطة الحرارية وتحسن مردودها، ومن هنا نلاحظ مدى فائدة دمج الطاقة الشمسية الحرارية مع دارة المحطة الحرارية وتأثيره.

الكلمات المفتاحية: المحطة الحرارية، الحقل الشمسي، الدمج بين المحطة الحرارية والحقل الشمسي، دارة التحكم، استطاعة المحطة الحرارية.

* أستاذ - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** أستاذ مساعد - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
*** طالب دراسات عليا (ماجستير) - ماجستير طاقة شمسية - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Improve the performance of the Baniasthermal station by using solar energy

Dr. Mohammad Ata Batal*
Dr. Ahed Suleiman**
Hussam Mohammad Daoud***

(Received 2 / 6 / 2013. Accepted 30 / 7 / 2013)

▽ ABSTRACT ▽

Power plants usually use fuel to generate electricity, but with the passage of time, this fuel will reduce and run out at least in addition to its negative impact on the environment as a result of the start of polluting gases resulting from combustion, so it was necessary to search for alternative energy for use in power stations such as solar energy, which can be used by integrated with cycle station thermal. Almost all power plants utilize Rankine cycle thermodynamically, in which some steam is bled-off from the turbine to be used to pre-heat the boiler feedwater, the bled-off steam is partly or totally replaced by solar energy heat to pre-heat the boiler feedwater. Therefore, the saved steam can continue to expand in the turbine to generate more work and power, and the thermal plant efficiency will be increase, so we note the usefulness and impact of the integration of solar thermal power with Power plants.

Keywords: Power station, Solar field, Integration between power station and solar field, Control system, Power station output.

*Professor in department of mechanical power engineering- Faculty of mechanical and electrical engineering-Tishreen university-Latakia- Syrian Arabic Republic.

**Associate Professor in department of mechanical power engineering- Faculty of mechanical and electrical engineering-Tishreen university-Latakia- Syrian Arabic Republic.

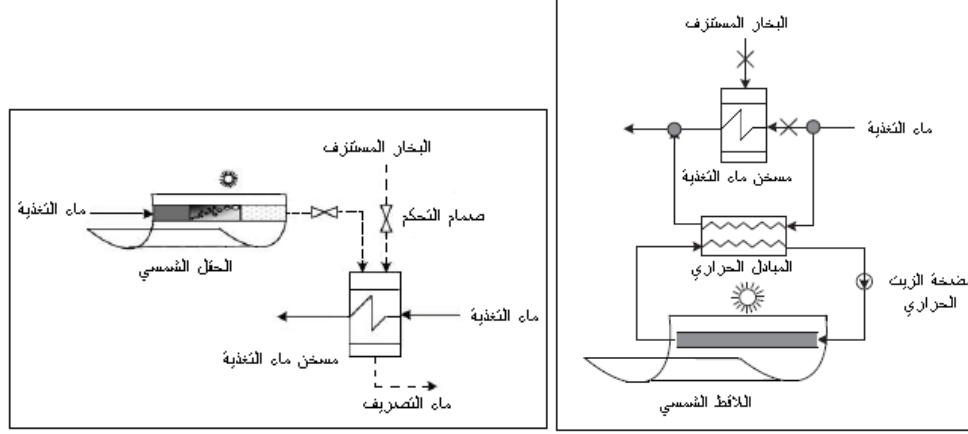
***Postgraduate Student of science in mechanical power engineering –Solar energy- Faculty of mechanical and electrical engineering-Tishreen university-Latakia- Syrian Arabic Republic.

مقدمة:

لا تزال محطات توليد الطاقة الكهربائية العاملة على الوقود الأحفوري هي الطريقة السائدة لتوليد الكهرباء في العالم وستكون كذلك على مدى عقود قادمة، ولكن التلوث البيئي وانبعاث غازات احتراق الوقود في الجو وانخفاض مصادر الوقود الأحفوري أدى إلى تصميم محطات توليد ذات معدل استهلاك أقل للوقود وبالتالي انبعاثية أقل لغازات الاحتراق. ومن المعلوم أن الإجراءات المتبعة من أجل زيادة المردود الإجمالي لمحطات توليد الطاقة الكهربائية بما فيها تطوير أجهزة المحطة لا تؤدي إلى زيادة كبيرة في المردود أو تكون كلفة الإنفاق للحصول عليها مرتفعة، لهذا السبب قام مصممو محطات توليد الطاقة بتطوير طرائق تحسين المحطات الكهربائية التقليدية عن طريق استخدام أساليب أخرى؛ لتوليد الطاقة والاستعانة بمصادر الطاقة المتجددة والصدقية للبيئة، بدلاً من الطاقة التقليدية [1].

ومن الطاقات المتجددة الطاقة الشمسية والتي تعتبر من أهم مصادر الطاقة نظراً لتوفرها في بلادنا وكونها من الطاقات النظيفة والصدقية للبيئة. يمكن استغلال الطاقة الشمسية عن طريق تجميعها وتحويلها إلى شكل آخر من أشكال الطاقة، وتعتبر المجمعات الشمسية العنصر الأساسي في نظام الطاقة الشمسية وهي تشكل الوحدة الأساسية في جميع تجهيزات الأنظمة الشمسية حيث تقوم بتجميع الإشعاع الشمسي الوارد عليها وتحويله إلى شكل آخر للطاقة والقابلة للاستخدام سواءً أكانت طاقة حرارية أم كهربائية أو فوتوكيميائية، وتوجد أنواع عدة للمجمعات [2,3]، منها المجمعات الشمسية المسطحة (المستوية)، والمجمعات الشمسية المركزة؛ من مثل المجمعات الشمسية ذات الحوض القطعي (Parabolic Trough)، والدش القطعي (parabolic dish)، وعواكس فريزل (Fresnel Reflector) والأبراج الشمسية (Solar Tower). وفي إطار تطوير عمل محطات توليد الطاقة الكهربائية كان لاستخدام الطاقة الشمسية دورٌ كبيرٌ في تحسين أداء المحطات الحرارية بشكل عام، وهناك العديد من مجالات الاستفادة من الطاقة الشمسية في محطات توليد الطاقة الكهربائية وتعتبر محطة توليد الطاقة الكهربائية في جنوبي كاليفورنيا والتي تأسست بين العام (1984-1990) من أهم المحطات التي استخدمت الطاقة الشمسية في مجال توليد الكهرباء وقد تم فيها استخدام المجمعات الشمسية والتي تُشكل الحقل الشمسي فضلاً عن الزيت الحراري، بوصفه وسيطاً عاملاً؛ لنقل الحرارة الناتجة عن الإشعاع الشمسي والمستخدمة في توليد البخار الداخل إلى العنفة لتوليد الطاقة الكهربائية عن طريق مبادل حراري بين دارة الطاقة الشمسية ودارة المحطة الحرارية وفي هذه الحالة تدخل الطاقة الشمسية بشكل مباشر في توليد البخار، الأمر الذي يتطلب من الطاقة الشمسية تأمين درجات حرارة عالية وعدة مجمعات شمسية أكبر، وبالتالي مساحات واسعة من أجل الحقل الشمسي. ومع تقدم البحث في مجال الطاقة الشمسية، أجريت عدة دراسات جديدة لتطوير دمج الطاقة الشمسية مع دارة المحطة الحرارية وكون أغلب المحطات الحرارية تعمل وفقاً لدارة رانكين لبخار الماء فإنه يوجد فيها استنزافات عدة للبخار من مراحل العنفة إلى مسخنات ماء التغذية لتسخينه قبل دخوله إلى مرجل المحطة الحرارية، في هذه الحالة يمكن استخدام الطاقة الشمسية الحرارية في تسخين ماء التغذية قبل دخوله إلى المرجل، بدلاً من استنزاف البخار للتسخين، وهذا يؤدي إلى عودة البخار المستنزف إلى مراحل العنفة ليتمدد وينتج عملاً إضافياً للمحطة الحرارية وبالتالي إنتاج استطاعة إضافية للمحطة الحرارية، وإنفاص استخدام الوقود في المرجل؛ لتوليد البخار، وبالتالي التقليل من تلوث البيئة عن طريق خفض انبعاث غازات الاحتراق [4] وهذه الطريقة من الدمج بين دارة الطاقة الشمسية ودارة المحطة الحرارية تختلف عن الطريقة التقليدية للدمج إذ إن الطاقة الشمسية تساهم في توليد البخار الداخل إلى العنفة، الأمر الذي يتطلب درجات حرارة عالية أما في الطريقة الحديثة الأتفة الذكر، فإن الطاقة الشمسية تستخدم لتسخين ماء التغذية عند درجات حرارة متوسطة أو منخفضة، وهذه الدرجات من الحرارة

تستطيع الطاقة الشمسية تأمينها بشكل أسهل وبالتالي نحتاج إلى عدة مجمعات شمسية أقل ومساحات أقل للحقل الشمسي وبالتالي تكون أكثر اقتصادية، ويوجد عدة نماذج للدمج بين دارة المحطة الحرارية ودارة الطاقة الشمسية كما في الشكلين (1) و(2) :



الشكل (1) النموذج الأول للدمج بين دارة المحطة الحرارية ودارة الطاقة الشمسية الحرارية ودارة الطاقة الشمسية. الشكل (2) النموذج الثاني للدمج بين دارة المحطة الحرارية ودارة الطاقة الشمسية الحرارية.

في النموذج الأول للدمج بين الدارتين فإن دارة الطاقة الشمسية سوف تقوم بتسخين ماء التغذية أو جزء منه بحسب توفر الإشعاع الشمسي ضمن مبادل حراري، بحيث يدخل هذا الماء إلى المرجل بدرجة الحرارة نفسها، قبل الاستعاضة عن استنزاف البخار [5].

في النموذج الثاني للدمج، وبعد خروج ماء التغذية من طارد الغازات في دارة العنفة يتم أخذ فرع من ماء التغذية وتسخينه عن طريق دارة الطاقة الشمسية، وإدخاله إلى مسخن ماء التغذية، وذلك بوجود استنزاف البخار ليتبادل الحرارة مع ماء التغذية الداخل عبر خط الماء الرئيسي إلى المسخن ليدخل بعدها إلى المرجل عند درجة الحرارة المطلوبة ويلجأ هذا الفرع مكان استنزاف البخار أو جزء منه بحسب توفر الإشعاع الشمسي [6].

أهمية البحث وأهدافه :

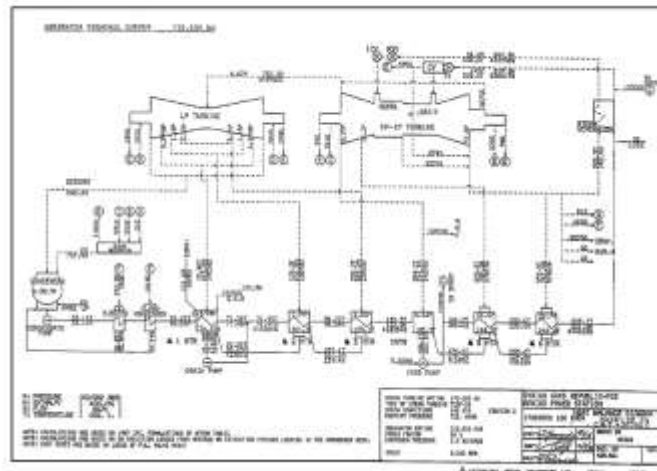
إن انخفاض مصادر الوقود الأحفوري ومحدوديتها، وتوقع نضوبه، فضلاً عن ارتفاع أسعاره عالمياً، أدت إلى البحث عن مصادر أخرى للطاقة، لتوليد الطاقة الكهربائية، ومنها الطاقة الشمسية التي تم استخدامها في المحطات الحرارية بشكل فعال، وسوف نستخدم الطاقة الشمسية في المحطة الحرارية الواقعة في مدينة بانياس عن طريق الدمج بين دارة الطاقة الشمسية ودارة المحطة الحرارية حيث ستعمل الطاقة الشمسية، بوصفها مصدراً حرارياً مساعداً، لتسخين ماء تغذية مرجل المحطة الحرارية، الأمر الذي سيؤدي إلى تقليل استهلاك الوقود المستخدم وبالتالي التقليل من تلوث البيئة بغازات الاحتراق، الأمر الذي ينعكس اقتصادياً على أداء المحطة الحرارية من حيث زيادة استطاعة المحطة الحرارية وتحسن في مردودها الكلي، وقد أجري هذا البحث في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين.

طرائق البحث ومواده:

إن هذا البحث عبارة عن دراسة حرارية للمحطة الحرارية في بانياس، حيث تم تصميم برنامج حاسوبي يقوم بالحساب الحراري للمحطة الحرارية من خلال برنامج EES وهي اختصار لعبارة (Engineering Equation Solver) المستخدم للنمذجة الرياضية في المسائل الحرارية [7]، وهذا البرنامج بدوره يقوم بحساب البارامترات الأساسية للمحطة الحرارية من درجة حرارة وانتالبي، وضغط وذلك في مختلف حالات المحطة الحرارية سواءً بوجود استنزاف للبخار من العنفة أو من دونه. وبما أنه سوف يتم الدمج بين المحطة الحرارية ودارة الحقل الشمسي فإنه تم تصميم برنامج لحساب الحقل الشمسي عن طريق Microsoft Excel والذي يقوم بحساب عدد اللواقط الشمسية المطلوبة للحقل، فضلاً عن حساب درجة حرارة مخرج الحقل الشمسي. ومن أجل تنظيم عمل المحطة الحرارية والحقل الشمسي بعد الدمج تم استخدام دارة تحكم بحيث يتم الحصول على أفضل نتائج للدمج وبالتالي تحسين أداء عمل المحطة الحرارية.

1. المحطة الحرارية في مدينة بانياس:

تقع المحطة الحرارية في مدينة بانياس، في محافظة طرطوس، على ساحل البحر المتوسط مباشرة، وتتألف من أربع مجموعات عنفية (4x170 MW) وسوف تتم الدراسة على المجموعة العنفية الثالثة وهي من نوع ميتسوبيشي يابانية الصنع، وتتألف من عنفة بخارية بثلاث مراحل (مرحلة الضغط العالي HP ومرحلة الضغط المتوسط IP ومرحلة الضغط المنخفض LP) ومولد بخار (مرجل) ومكثف ومجموعة من المضخات. وكون هذه المحطة تعمل وفقاً لدارة رانكين للبخار فإنها تحتوي على عدة استنزافات لبخار الماء والبالغ عددها ستة استنزافات حيث تقوم بتسخين ماء تغذية مرجل المحطة ضمن مسخنات، والبالغ عددها أيضاً ستة مسخنات وهي نوعان: خمسة مسخنات سطحية، ومسخن مزجي (طارد الغازات) كما في الشكل (3):



الشكل (3) مخطط المحطة الحرارية مع بارامترات مختلف نقاط الدارة.

ويظهر الشكل (4) الواجهة التطبيقية لبرنامج حساب المحطة الحرارية حيث يقوم بحساب الاستطاعة الكلية للمحطة N_{tot} والمردود الصافي للمحطة ومجموعة من القيم المطلوبة:

Simulation results from EES software:

$T_{in} = 3.98$	$T_{in} = 0.4617$	$T_{out} = 1.34$	$T_{in} = 0.29$	$T_{in} = 0.191$	$T_{in} = 11.2615$
$h_{in} = 155$	$h_{in} = 120.5$	$h_{in} = 139.8$	$h_{in} = 0.004342$	$h_{in} = 6888$	$h_{in} = 13490$
$h_{21} = 350.2$	$h_{21} = 407.8$	$h_{21} = 1094$	$h_{21} = 3408$	$h_{21} = 3110$	$h_{21} = 746.2$
$h_{22} = 3076$	$h_{22} = 158.8$	$h_{22} = 2346$	$h_{22} = 3178$	$h_{22} = 3395$	$h_{22} = 3537$
$h_{23} = 2907$	$h_{23} = 2774$	$h_{23} = 2579$	$h_{23} = 296.0$	$h_{23} = 381.1$	$h_{23} = 3068$
$h_{24} = 335.9$	$h_{24} = 413.8$	$h_{24} = 448.8$	$h_{24} = 558.2$	$h_{24} = 5.883E+08$	$h_{24} = 310.6$
$h_{25} = 1.200E+08$	$h_{25} = 5.210E+08$	$h_{25} = 3.820E+08$	$h_{25} = 3.074E+08$	$h_{25} = 5.280E+08$	$h_{25} = 4.950E+06$
$h_{26} = 169.7$	$h_{26} = 0.05$	$h_{26} = 170.9$ [MM]	$h_{26} = 384936$	$h_{26} = 444.9$	$h_{26} = 168$
$h_{27} = 248.8$	$h_{27} = 643.1$	$h_{27} = 346.5$	$h_{27} = 2284$	$h_{27} = 380947$	$h_{27} = 420649$
$h_{28} = 8$	$h_{28} = 0$	$h_{28} = 8$	$h_{28} = 0$	$h_{28} = 0$	$h_{28} = 8$

الشكل (4) الواجهة التطبيقية لبرنامج حساب المحطة الحرارية وفقاً لبرنامج ال EES.

Simulation results table from EES software:

	h [kJ/kg]	T [DEG]	Q	h	h [DEG]
[1]	33.14	33.14	334469	5.07	0.4794
[2]	36.03	36.03	334469	5.95	0.5167
[3]	71.36	71.36	334469	30.08	0.9717
[4]	71.91	71.91	416305	30.67	0.9784
[5]	74.16	74.16	818361	32.26	1.006
[6]	80.23	80.24	42362	47.83	1.079
[7]	98.94	98.79	416305	98.93	1.293
[8]	167.2	167	23614	129.6	1.366
[9]	132.9	132.9	416305	289.1	1.658
[10]	162.1	160.7	506620	620	1.848
[11]	160	164.1	494219	20463	1.848
[12]	178.2	176.1	71239	916	2.107
[13]	205.2	200	404819	1953	2.345
[14]	209.6	205.6	43762	1744	2.383
[15]	261.0	243.5	494519	3557	2.734
[16]	519.3	638	506619	13731	6.534
[17]	742.9	353.3	442996	3548	6.662
[18]	844.9	638	442996	3470	7.269
[19]	733.3	304.2	303982	168.3	7.396
[20]	580.3	33.13	330005	5.07	8.388
[21]	742.9	353.3	43762	3548	6.662
[22]	789.5	423.2	27877	1936	7.331
[23]	733.1	304.2	15076	622.3	7.369
[24]	699.2	230.7	23614	343.3	7.429
[25]	693	129.3	16448	110.5	7.466
[26]	816	75.4	19224	39.21	7.676
[27]	742.9		490		
[28]	766.4		1014		
[29]	56.98		490		

الشكل (5) البارامترات نقاط دائرة المحطة الحرارية وفقاً لبرنامج ال EES.

بالنظر إلى نتائج البارامترات السابقة في الشكل (5) فإنها تنطبق مع البارامترات الموجودة على مخطط المحطة الحرارية وهذا ما يعطي مصداقية للبرنامج المصمم لحساب المحطة الحرارية.

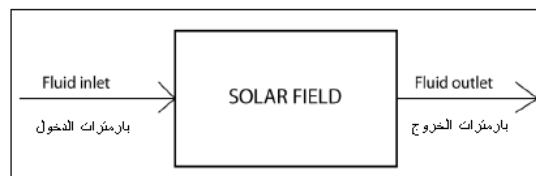
2. دائرة الطاقة الشمسية المطلوبة :

عند الاستغناء عن أحد استنزافات العنفة سواء جزئياً أم كلياً، فإنه يتم استخدام الحقل الشمسي المؤلف من عدد من اللواقط الشمسية بحيث يؤمن هذا الحقل كمية الحرارة اللازمة لتسخين ماء التغذية في المحطة الحرارية. إن اللواقط الشمسية المستخدمة في هذا الحقل عبارة عن عواكس ذات مرايا بشكل قطع مكافئ أسطواني، لكي تركز أشعة الشمس

إلى الخط المحرق، حيث يتوضع الأنبوب (المستقبل) الذي يحتوي على الوسيط الحراري الذي يمتص الإشعاع المنعكس والمركّز ويتحول إلى حرارة، ويقاد عبر هذا الوسيط الحامل للحرارة بشكل تيار. ولإرجاع الإشعاع المنعكس، والفوائد الحرارية في الأنبوب يجب أن يحاط أنبوب الامتصاص بأنبوب زجاجي، والفراغ بين الأنبوبين يفرغ تماماً لمنع التسرب والضياع الحراري أيضاً، وفي هذه الدراسة تم استخدام لواقط LS-2 ذات القطع المكافئ. وقد تم دراسة الحقل الشمسي بالاعتماد على المعادلات الرياضية اللازمة لحسابه [8,9,10] بحيث يتم الحساب ضمن شروط المنطقة المدروسة بعد معرفة قيمة خط الطول وخط العرض ودرجة حرارة الوسط المحيط فضلاً عن رقم اليوم في السنة ونوع الوسيط الناقل للحرارة وهنا تم استخدام الزيت الحراري Therminol VP1 تيرمينال [11] والواجهة التطبيقية للبرنامج كما في الشكل (6):

الشكل (6) الواجهة التطبيقية لبرنامج حساب الحقل الشمسي خلال أشهر السنة.

بعد الحقل الشمسي عنصراً له دخل وخرج كما في الشكل (7) :



الشكل (7) مخطط دخل الحقل الشمسي وخرجه.

حيث يدخل مائع نقل الحرارة إلى الحقل الشمسي عند بارمترات معينة ويخرج من الحقل عند قيم أخرى ومن هذه البارمترات درجة حرارة مائع نقل الحرارة والأنتالبي .

وبالتالي يمكن حساب كمية الحرارة المفيدة والمكتسبة $Q_{col}[kW]$ من الحقل الشمسي بالعلاقة الآتية :

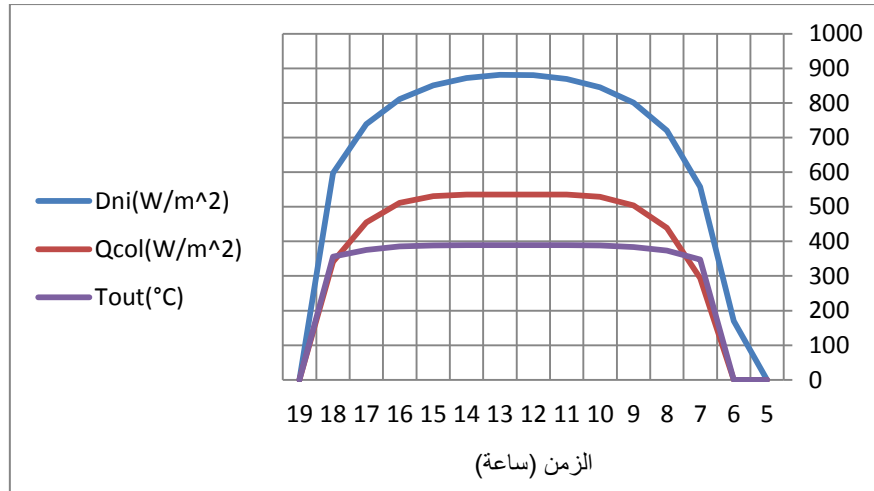
$$Q_{col} = \dot{m}(h_{out} - h_{in})$$

حيث \dot{m} تدفق مائع نقل الحرارة عبر الحقل الشمسي $\frac{kg}{s}$

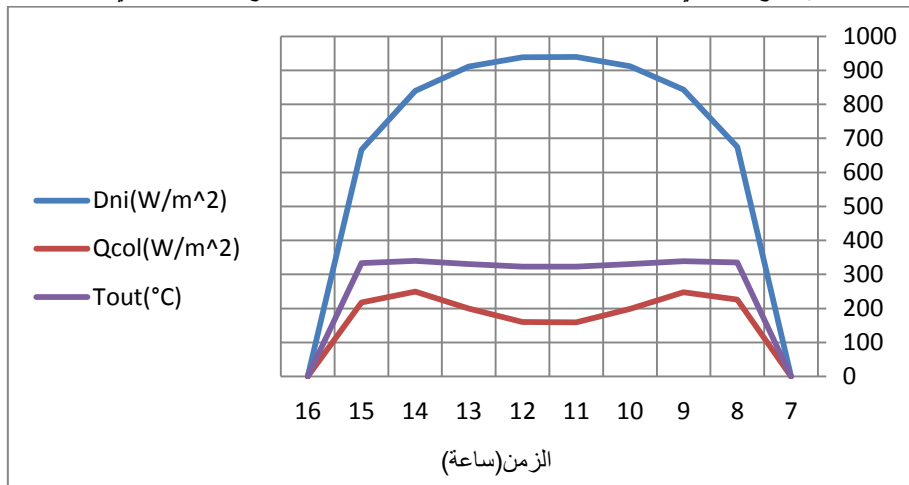
h_{out} انتالبي مائع نقل الحرارة عند مخرج الحقل $\frac{kJ}{kg}$

h_{in} انتالبي مائع نقل الحرارة عند مدخل الحقل $\frac{kJ}{kg}$

يقوم هذا البرنامج بحساب كمية الحرارة المفيدة $Q_{col}[kW]$ الناتجة عن الحقل الشمسي والمستخدم في تسخين ماء التغذية بدلاً من استنزاف البخار من العنفة فضلاً عن حساب مردود الحقل الشمسي $\eta_{solarfield}$ و درجة حرارة مخرج الحقل $T_{out} [^{\circ}C]$ وذلك خلال أشهر السنة وحساب مساحة الحقل الشمسي بحسب عدد اللواقط $A_{total} [m^2]$. من خلال برنامج حساب الحقل الشمسي والمصمم وفقاً لبرنامج Microsoft Excel نجد المخططات في الشكلين (8) و (9) :



الشكل (8) مخطط الإشعاع الشمسي المباشر وكمية الحرارة المفيدة و درجة حرارة مخرج الحقل الشمسي خلال شهر حزيران.



الشكل (9) مخطط الإشعاع الشمسي المباشر وكمية الحرارة المفيدة و درجة حرارة مخرج الحقل الشمسي خلال شهر كانون الأول.

لقد تم اختيار هذين الشهرين إذ إن شهر حزيران وفقاً لبرنامج حساب الحقل الشمسي يعطي أكبر قيمة لكمية الحرارة المفيدة والمستخدم في الحقل الشمسي، وبالتالي أفضل شهر، أما شهر كانون الأول فيعطي أخفض قيمة لكمية الحرارة المفيدة وبالتالي أسوأ شهر.

يتم الدمج بين دارة الحقل الشمسي ودارة المحطة الحرارية عن طريق مبادل حراري ذي جريان عكسي وفعالية عالية؛ للاستفادة القصوى من كمية الحرارة الناتجة عن الحقل الشمسي، ونقلها إلى ماء التغذية في المحطة بشكل جيد.

3. دارة التحكم الناظمة لعمل الدارة بعد الدمج :

إن أغلب الدراسات السابقة في مجال المحطات الحرارية، افترضت الاستفادة الكاملة والدائمة من الطاقة الشمسية، من دون الأخذ بالحسبان أن الطاقة الشمسية نوع من أنواع الطاقات البديلة، والتي توصف بعدم الاستقرار وعدم الوثوقية وذلك لأسباب عدة منها :

- 1- غياب الإشعاع الشمسي ليلاً وبالتالي لا يوجد لدينا طاقة شمسية.
- 2- في الأيام الغائمة أو الممطرة تتخفف شدة الإشعاع الشمسي وبالتالي لا تستطيع الطاقة الشمسية القيام بالمطلوب منها.

وبالتالي كان لا بد من حل هذه المشاكل عن طريق تصميم دارة تحكم تنظم عمل كل من المحطة الحرارية والحقل الشمسي كالآتي:

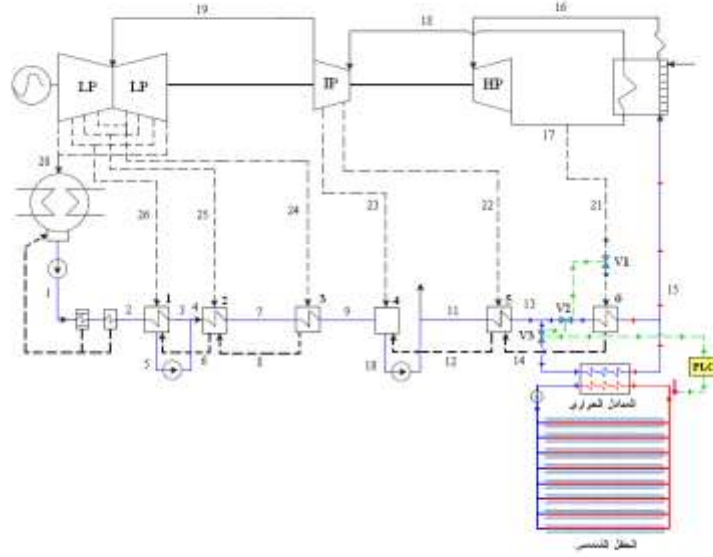
- a. في حالة وجود طاقة شمسية كافية تؤمن الحرارة المطلوبة منها لعمل المحطة الحرارية فإنه سوف يتم الاستغناء عن استنزاف البخار من إحدى مراحل العنفة والذي ستحل مكانه الطاقة الشمسية بشكل كامل.
 - b. في حالة انخفاض الطاقة الشمسية عن القيمة المطلوب تأمينها سوف يتم فتح استنزاف البخار من العنفة بشكل جزئي؛ أي يشترك استنزاف البخار والطاقة الشمسية في تسخين ماء تغذية المرجل.
 - c. في حال عدم وجود طاقة شمسية أو كانت قيمتها منخفضة، سوف تعمل المحطة الحرارية كالعادة؛ أي بوجود استنزاف البخار الذي كان مُلغى.
- الأجهزة المطلوبة في دارة التحكم:

- 1- جهاز التحكم الـ PLC أو "PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER": عبارة عن جهاز إلكتروني رقمي يحتوي على ذاكرة يمكن برمجتها لتخزين بعض الأوامر أو المعلومات.
- 2- صمامات التحكم (Control Valve) بتدفق البخار المستنزف وتدفق ماء التغذية [12] وتُركب على خط البخار المستنزف وخط ماء التغذية.

3- مقياس درجة حرارة: يوضع هذا المقياس عند مخرج الحقل الشمسي ؛ لقياس درجة حرارة الزيت الحراري الناقل للحرارة. وعلى أساس هذا القياس يقوم جهاز الـ PLC بفتح الصمامات الموجودة في دارة التحكم وإغلاقها، وذلك بحسب شدة الإشعاع الشمسي، بحيث تصل مياه التغذية إلى درجة الحرارة المطلوبة قبل دخولها المرجل.

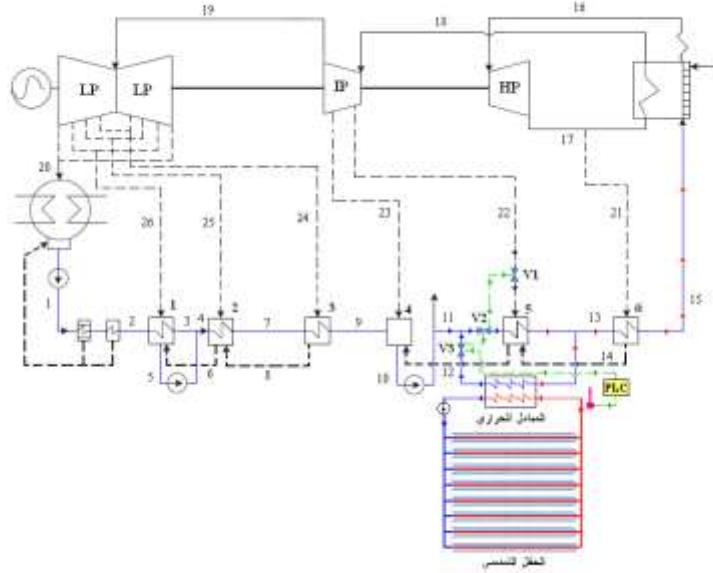
وفيما يأتي نماذج الدمج بين دارة المحطة الحرارية، ودارة الطاقة الشمسية، كما وردت سابقاً وبوجود دارة التحكم وهي عبارة عن مخططات رمزية للدمج:

النموذج الأول للدمج بين دارة المحطة الحرارية ودارة الطاقة الشمسية:
الحالة الأولى (مرحلة الضغط العالي (HP) كما في الشكل (10):



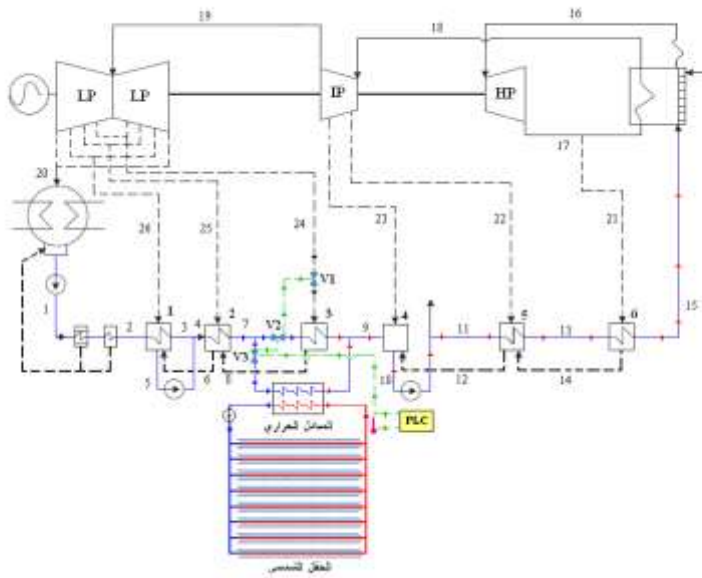
الشكل (10) مخطط دارة المحطة الحرارية والحقل الشمسي بوجود دارة التحكم وذلك عند الاستنزاف/21/من الغنفة HP وفقاً للنموذج الأول للدمج.

الحالة الثانية (مرحلة الضغط المتوسط (IP) كما في الشكل (11):



الشكل (11) مخطط دارة المحطة الحرارية والحقل الشمسي بوجود دارة التحكم وذلك عند الاستنزاف/22/من الغنفة IP وفقاً للنموذج الأول للدمج.

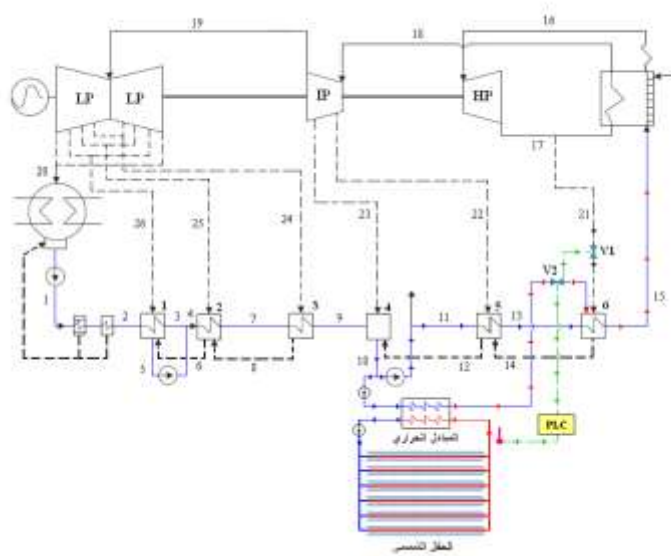
الحالة الثالثة (مرحلة الضغط المنخفض LP) كما في الشكل (12):



الشكل(12)مخطط دائرة المحطة الحرارية والحقل الشمسي بوجود دائرة التحكم وذلك عند الاستنزاف/24/من العنفة LP وفقاً للنموذج الأول للدمج.

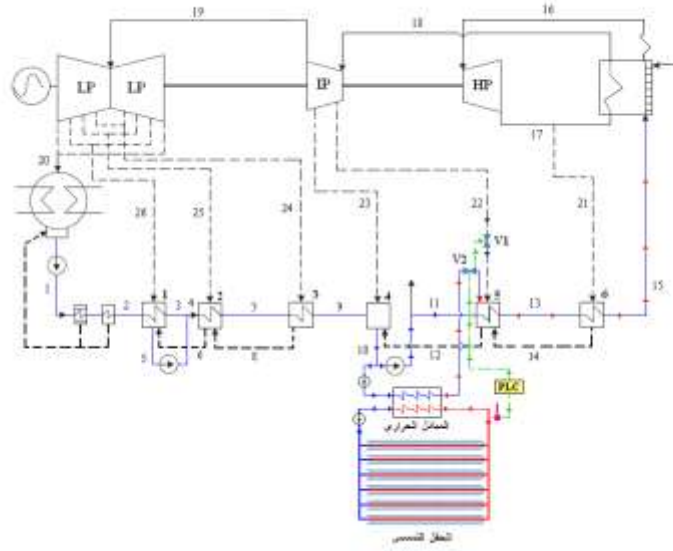
النموذج الثاني للدمج بين دائرة المحطة الحرارية ودائرة الطاقة الشمسية:

الحالة الأولى (مرحلة الضغط العالي HP) كما في الشكل (13):



الشكل(13)مخطط دائرة المحطة الحرارية والحقل الشمسي بوجود دائرة التحكم وذلك عند الاستنزاف /21/من العنفة HP وفقاً للنموذج الثاني للدمج.

الحالة الثانية (مرحلة الضغط المتوسط IP) كما في الشكل (14):



الشكل(14)مخطط دارة المحطة الحرارية والحقل الشمسي بوجود دارة التحكم وذلك عند الاستنزاف /22/من الغنفة IP وفقاً للنموذج الثاني للدمج.

النتائج والمناقشة :

1.4. معايير التقييم: لتقييم كفاءة الدمج بين دارة المحطة الحرارية، ودارة الطاقة الشمسية، سوف يتم إجراء مقارنات بين الحالة الاسمية للمحطة الحرارية (من دون طاقة شمسية أي $N_{tot} = 170$ [MW] مع حالات الدمج السابقة وفقاً للبارامترات الآتية :

1. الاستطاعة الناتجة عن المحطة الحرارية N_{tot} [MW]

2. الاستهلاك الساعي للوقود B_f [$\frac{ton}{h}$] ويعطى بالعلاقة الآتية: $B_f = \frac{Q_H}{Q_f}$

حيث: Q_H كمية الحرارة الناتجة عن حرق الوقود MW

Q_f القيمة الحرارية الوسطى لاحتراق الوقود $\frac{kJ}{kg}$

3. الاستهلاك الصافي للوقود b_f [$\frac{kg}{kW.h}$] ويعطى بالعلاقة الآتية: $b_f = \frac{3600}{Q_f \cdot \eta_{tot}}$

حيث: η_{tot} المردود الكلي للمحطة

4. المردود الصافي للمحطة الحرارية η_{St}^N ويعطى بالعلاقة الآتية: $\eta_{St}^N = \frac{E - E_S}{Q_H}$

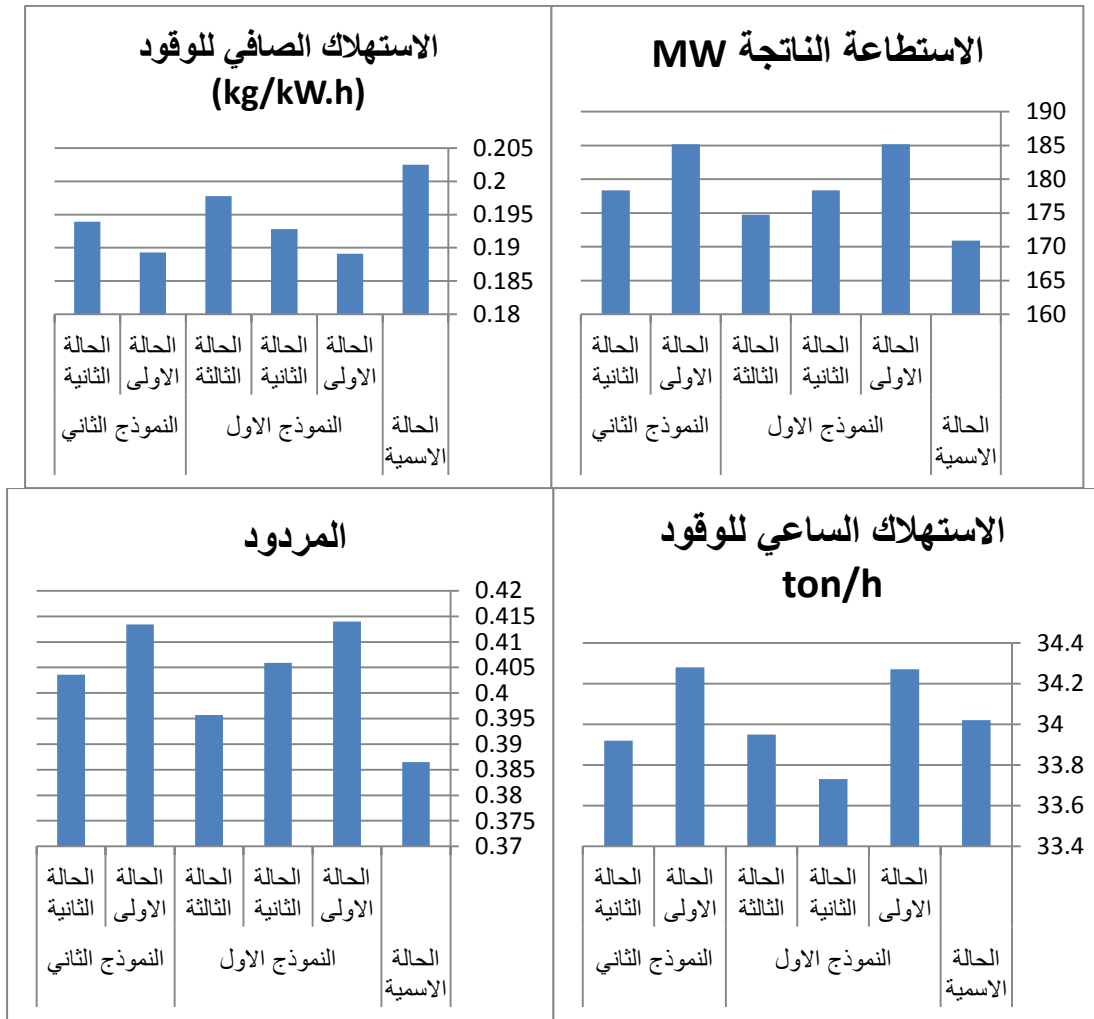
حيث: E الطاقة الكهربائية المنتجة

E_S الطاقة الكهربائية المستهلكة في معدات المحطة (مضخات الماء- المراوح- أجهزة تحكم)

2.4. النتائج بعد الدمج بين المحطة الحرارية والحقل الشمسي :

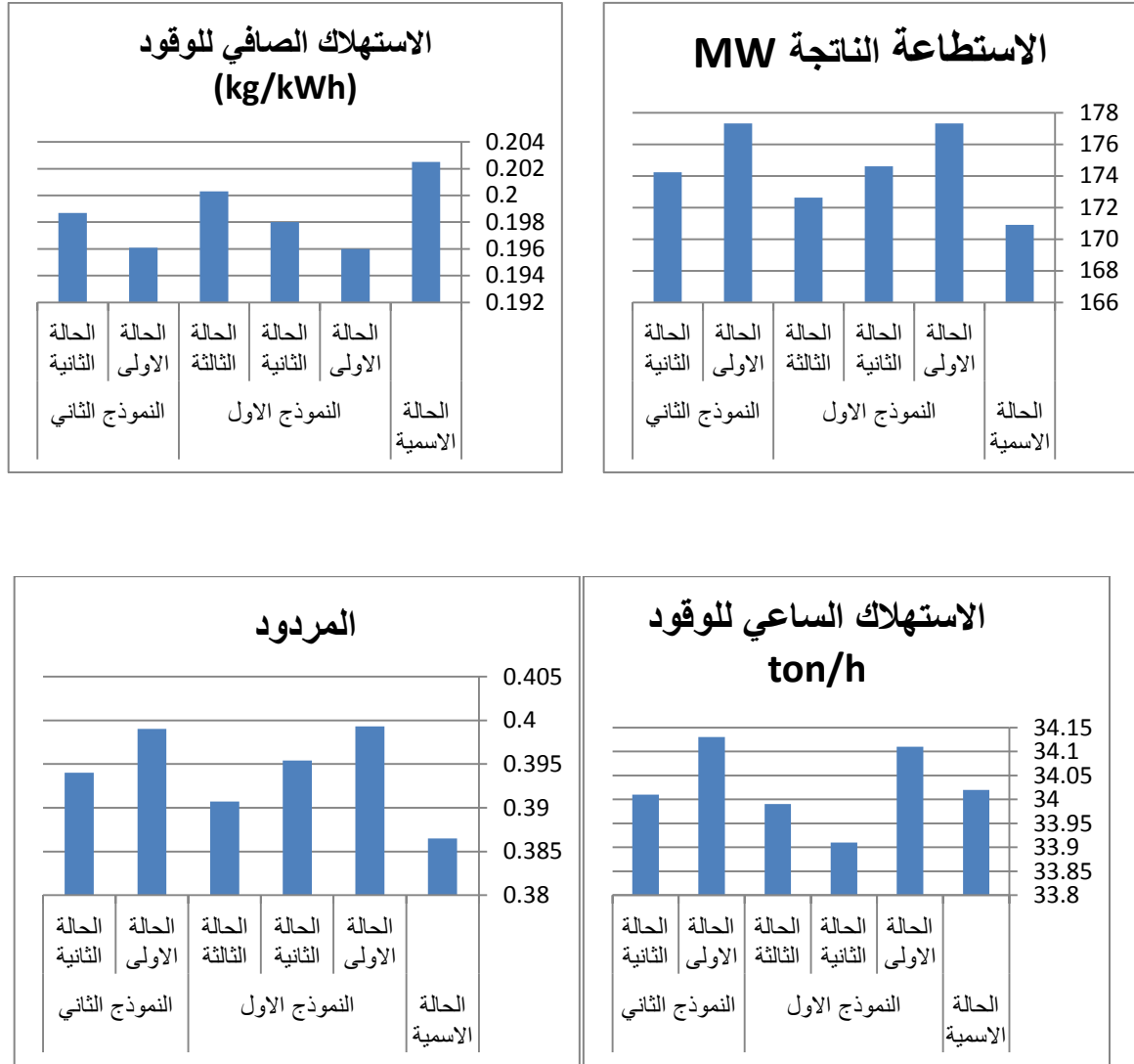
سوف تتم المقارنة بين الحالة الاسمية للمحطة الحرارية ونموذجي الدمج بين المحطة الحرارية والحقل الشمسي

كما في الشكلين (15) و(16):



الشكل (15) مخططات الاستطاعة الناتجة عن المحطة الحرارية والاستهلاك الصافي والساعي للوقود ومردود المحطة الحرارية بعد الدمج مع الحقل الشمسي خلال شهر حزيران.

إن المخططات السابقة تعبر عن نتائج الدمج بين المحطة الحرارية في بانياس، والحقل الشمسي المصمم خلال شهر حزيران، والذي يعتبر من أفضل الشهور من حيث كمية الحرارة المفيدة والمستخدم في الحقل الشمسي وبالتالي إنتاج أعظم زيادة في استطاعة المحطة الحرارية خلاله، واستهلاك أقل للوقود، وزيادة في المردود بعد دمجها بالحقل الشمسي .



الشكل (16) مخططات الاستطاعة الناتجة عن المحطة الحرارية والاستهلاك الصافي والساعي للوقود ومردود المحطة الحرارية بعد الدمج مع الحقل الشمسي خلال شهر كانون الأول.

إن المخططات السابقة تعبر عن نتائج الدمج بين المحطة الحرارية في بانياس والحقل الشمسي المصمم، وذلك خلال شهر كانون الأول، الذي يعدّ من أسوأ الشهور من حيث كمية الحرارة المفيدة، والمستخدم في الحقل الشمسي، وبالتالي إنتاج أقل زيادة في استطاعة المحطة الحرارية عن الحالة الاسمية خلاله، بعد دمجها بالحقل الشمسي.

3.4 مناقشة النتائج:

من خلال طريقة الدمج بين دارة الطاقة الشمسية، والمحطة الحرارية والمتبعة في الدراسة، فإنه يتم استخدام الطاقة الشمسية عند درجات حرارة متوسطة ومنخفضة لتسخين ماء التغذية قبل دخوله إلى مرجل المحطة الحرارية. ويتضح من النتائج مدى تحسن أداء المحطة الحرارية من خلال زيادة الاستطاعة المنتجة فوق الاستطاعة الاسمية (170 MW) نتيجة إلغاء أحد استنزافات العنفة وبالتالي تحسن المردود الكلي للمحطة الحرارية وأيضاً انخفاض الاستهلاك الصافي للوقود المستخدم في المرجل، وهذا ما ينعكس إيجابياً على اقتصادية تشغيل المحطة الحرارية.

الاستنتاجات والتوصيات :

من خلال نتائج البحث نجد ما يأتي:

- زيادة في الاستطاعة الناتجة عن المحطة الحرارية في بانياس على مدار السنة بنسبة تتراوح بين % 2.79 - % 8.93.
 - تحسن عام في مردود المحطة الحرارية الكلي، وذلك عند الدمج مع دارة الطاقة الشمسية بمقدار % 6.8.
 - انخفاض في الاستهلاك الصافي للوقود $b_f(\frac{kg}{kW.h})$ المستخدم في مرجل المحطة والمستخدم في توليد البخار اللازم لتدوير العنفة وكحد أعظمي حوالي % 7 فضلاً عن انخفاض الاستهلاك الساعي للوقود $B_f(\frac{ton}{h})$ المستخدم بشكل عام.
 - عند انخفاض معدل الاستهلاك الصافي للوقود فإنه مؤشر على انخفاض التلوث البيئي الناتج عن حرق الوقود، وهذا الأمر بالغ الأهمية في ظل التلوث البيئي الحاصل في العالم.
 - من جهة أخرى، فقد هذه استخدمنا في هذه الدراسة الطاقة الشمسية، بوصفها مصدراً حرارياً مساعداً في تسخين ماء التغذية، وليس مصدراً أساسياً في توليد البخار للمحطة الحرارية، أي لا تعمل مولداً للبخار، وإنما مصدراً مساعداً للتسخين، ومن هنا نلاحظ انخفاضاً في عدد اللواقط الشمسية المستخدمة في الحقل الشمسي، الأمر الذي ينعكس على اقتصادية الدراسة.
 - تتناسب الاستطاعة الناتجة عن المحطة الحرارية طردياً مع شدة الإشعاع الشمسي الناتج، مما يؤكد فعالية استخدام الطاقة الشمسية الحرارية في دارة المحطة الحرارية.
 - عند انخفاض مصروف الوقود، فإن ذلك ينعكس بشكل إيجابي على اقتصادية عمل المحطة الحرارية.
 - التوفير في تكلفة الاستطاعة الإضافية الناتجة عن المحطة، بعد الدمج بين دارة الطاقة الشمسية، ودارة المحطة الحرارية، وهذا أمر بالغ الأهمية؛ أي توفير في المال المطلوب .
 - تحسن أداء محطة بانياس الحرارية وبالتالي تحقق الهدف المرجو من الدراسة.
- من أهم التوصيات :
- إمكانية استخدام أنواع أخرى من اللواقط الشمسية غير المستخدمة في البحث؛ وذلك لتسخين ماء التغذية من مثل اللواقط الشمسية المفرغة من الهواء أو اللواقط الشمسية المسطحة وخاصة أن درجات حرارة ماء التكاثف المطلوب تأمينها بوساطة مسخنات الضغط المنخفض منخفضة نسبياً، وخاصةً مرحلة عنفة الضغط المنخفض.
 - تمت الدراسة من دون تخزين حراري للطاقة الشمسية الحرارية، وبالتالي يُنصح باستكمال الدراسة، مع وجود تخزين حراري؛ لاستمرار عمل النظام في الليل.
 - توجيه كتاب إلى وزارة الكهرباء، لدراسة المشروع بشكل معمق وجدي؛ لأن النتائج التي توصلت إليها الدراسة إيجابية، وخاصة التحسن في مردود المحطة الحرارية، وزيادة الاستطاعة المنتجة، والتوفير في الوقود، وهذا أمر بالغ الأهمية في ظل ارتفاع أسعار الوقود، وازدياد التلوث البيئي. لذلك ينصح بالعمل على تطبيق هذه الدراسة على أرض الواقع؛ لأن سورية غنية بالطاقة الشمسية، وذلك سواءً في محطة بانياس الحرارية أم في غيرها.

المراجع:

- [1] Yang, H.L. Pollitt, M. *Incorporating both undesirable outputs and uncontrollable variables into DEA: the performance of Chinese coal-fired power plants*. European Journal of Operational Research .Vol.197,No.3,2009,1095-1105.
- [2] Stoddard, L. Abiecunas, J. Connell, R.O. *Economic, Energy, and Environment Benefits of Concentrating Solar Power in California*. National Renewable Energy Laboratory,2006.
- [3] Fadar, A.E.I. Minmet, A. Azzabakh, A. Perez-Garcia, M. Gastaing, J. *Study of a new solar adsorption refrigerator powered by a parabolic trough collector*.Applied Thermal Engineering.Vol.29,No.6,2009,1267-1270.
- [4] Hu, E. Yang, Y.P. Nishimura, A. Yilmaz, F. *Solar aided power generation*. Applied Energy. Vol.87,2009, 2881-2885.
- [5] Yang,Y. Yan,Q. Zhai,R. Hu,E. *An efficient way to use medium-or-low temperature solarheatfor power generation-- integration into conventional power plant*. Applied ThermalEngineering. Vol.31,2011, 157-162.
- [6] Yan, Q. Yang, Y.P. Nishimura, A. Kouzani, A. Hu,E. *Multi-point and Multi-level solar integration into conventional power plant*. Vol.24,No.7,2010, 3733-3738.
- [7] Klein, S. A. *Engineering Equation Solver (EES) for Microsoft Windows Operating System: Commercial and Professional Versions*. Madison, 2002. WI: F-Chart Software. (available on the Web at <http://www.fchart.com>)
- [8] Stuetzle, Thorsten A. *Automatic Control of the 30MWe SEGS VI Parabolic Trough Plant*. Master's Thesis, Department of Mechanical Engineering, University ofWisconsin –Madison, 2002.
- [9] Henry,P. David,K. *Reducing the Cost of Energy from Parabolic Trough Solar Power Plants*. National Renewable Energy Laboratory, NREL/CP-550-33208. January 2003.
- [10] Patnode, A. *Simulation and Performance Evaluation of Parabolic Trough Solar Power Plants*. Retrieved from University of Wisconsin-Madison,2006. (available on the Web at <http://minds.wisconsin.edu/handle/1793/7590>)
- [11] Russell, Forristall. *Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver*. National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-550-34169. October 2003.
- [12]Miguel,E. *Modelling, Simulation and Optimisation of Hybrid Solar Power Plants*. Solar augmentation for Coal-Fired power plants, Universitat Politècnica de Catalunya.June2011.