

## توليد الطاقة الكهربائية من البحيرات الشمسية باستخدام دورة رانكين العضوية

م. هدى جريوع<sup>(1)</sup>

### الملخص

البحيرات الشمسية هي إحدى أشكال مجمعات الطاقة الشمسية التي تجمع وتخزن الطاقة الشمسية على شكل حرارة. يمكن استخدام البحيرات الشمسية كمصدر حراري ذي درجة حرارة منخفضة لتوليد الكهرباء. تم في هذا البحث إجراء دراسة للشروط المطلوبة لتوليد استطاعة كهربائية مقدارها  $1\text{ MW}$  من خلال استخدام بحيرة شمسية عند الشروط المناخية لمدينة دمشق باستخدام دورة رانكين العضوية (ORC) باعتبار الماء هو سائل نقل الحرارة من البحيرة الشمسية إلى وسيط التشغيل ضمن دورة رانكين العضوية، وتحديد المساحة المطلوبة للبحيرة، ثم تمت دراسة إمكانية استخدام وسائط تشغيل مختلفة وأداء دورة رانكين العضوية بهدف تحديد شروط العمل الأنسب لتوليد الطاقة من البحيرة الشمسية. أشارت نتائج الدراسة أن مساحة البحيرة للحصول على الاستطاعة المطلوبة تساوي تقريباً  $11,000\text{ m}^2$  باستخدام وسيط تشغيل R245fa بمردود حراري 10% أما المردود وفق قانون الترموديناميك الثاني 56%. تبين أيضاً من خلال الدراسة أن أكبر مساحة مطلوبة للبحيرة الشمسية للحصول على نفس الاستطاعة هي عند استخدام وسائط التبريد R134a و R12، أما أقل مساحة فهي عند استخدام R11 يليه R141b، تبين أيضاً أن أكبر استطاعة ممكن الحصول عليها من الممدد التوربيني عند نفس الاستطاعة المطلوبة هي عند استخدام R218 كوسيط تشغيل، وتبين من خلال دراسة شروط عمل دورة رانكين العضوية أن زيادة درجة حرارة التكايف تؤدي لانخفاض المساحة المطلوبة للبحيرة الشمسية وزيادة المردود الحراري لدورة رانكين العضوية.

الكلمات المفتاحية: البحيرات الشمسية – دورة رانكين العضوية – مصادر منخفضة درجة الحرارة.

<sup>(1)</sup> مهندسة ميكانيك -كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق.

## Production Electricity power by solar pond using Organic Rankine Cycle

Eng.Huda Jarbou<sup>(1)</sup>

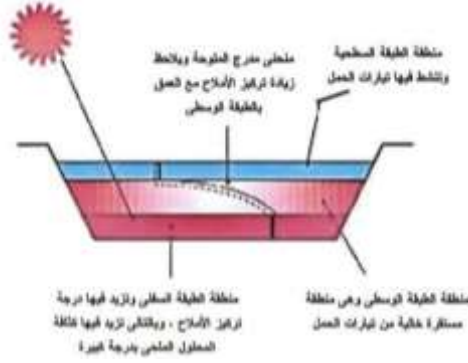
### Abstract

Solar pond are a form of solar collectors that collect and store solar energy in the form of heat. Solar pond could be used as a low-temperature heat source to generate power. In this research, a study was conducted to generate an electrical capacity of 1 MW through the use of a solar pond at the climatic conditions of the city of Damascus using the Organic Rankine Cycle (ORC), and considering water as the heat transfer fluid from the solar lake to the operating medium within the organic Rankine cycle, and determining the required area. The possibility of using different operating fluids and the performance of the organic Rankine cycle was then studied in order to determine the most suitable working conditions for power generation from the solar pond. The results of the study indicated that the area of the lake to obtain the required capacity is approximately 11,000 m<sup>2</sup> using the R245fa operating fluid with a thermal efficiency of 10%, while the efficiency according to the second thermodynamic law is 56%. It was also found through the study that the largest area required for the solar pond is when using R134a and R12 refrigerants, while the least area is when using R11 followed by R141b, and that the largest possible power is obtained when using R218 as an operating fluid, and it was found by studying the working conditions of a cycle Increasing the condensing temperature leads to a decrease in the required area of the solar pond and an increase in the thermal yield of the organic Rankine cycle.

**Key Words:** solar pond – Organic Rankine Cycle – low source temperature.

---

<sup>(1)</sup> Mechanical Engineer. F.M.E.E. Damascus university.



الشكل (1) البحيرة الشمسية SGSP

الميزة الأساسية للبحيرات الشمسية تكمن بأنها نظام متكامل لتجميع الطاقة الشمسية وتخزينها في نفس الوقت، على خلاف أنظمة الـ PV التي تتطلب ألواح الخلايا مع بطاريات بقدرة كبيرة لتخزين الطاقة. وكل ما تتطلبه البحيرة الشمسية هو مساحة مناسبة تملء بالماء المالح وهما عنصران متوافران غالباً، وتتميز بانخفاض كلفتها لكل متر مربع مقارنة مع الأنواع الأخرى من تجهيزات الطاقة الشمسية.

تصل درجة الحرارة في البحيرة الشمسية باعتبار أنها تحوي ماءً وملح بشكل أعظمي إلى  $100^{\circ}\text{C}$ ، ويتعلق مدى استقرار درجة الحرارة بحجم البحيرة [2]. إضافة لذلك فإن درجات الحرارة في قاع البحيرة تبقى ثابتة خلال الليل والنهار وذلك لكبر مساحة البحيرة [1].

بشكل عام هناك نوعين من البحيرات الشمسية [3]:

(1) **بحيرات اللاحمل الشمسية Non-Convecting Solar Ponds**: وهي تعمل على إعاقة تيارات الحمل ولها نوعين:

➤ **بحيرات متدرجة الملوحة Salinity Gradient Solar Ponds**: نجعل الطبقة السفلى أكثر كثافة من الطبقة العليا وذلك بإضافة الملح في الطبقات السفلى، يبطن قاع البحيرة بمادة داكنة اللون (بوتيل المطاط)، تعزز هذه البطانة امتصاص أشعة الشمس

## 1. المقدمة:

تعد الطاقة اليوم إحدى العوامل الضرورية لتطور المجتمعات، ومع نضوب مصادر الطاقة التقليدية من مشتقات نفطية وغيرها وارتفاع أسعارها وتأثيرها الضار على البيئة، بدأت العديد من البلدان في البحث عن طاقة متجددة بديلة لتحل محل تلك التي تتلاشى وبدأت بالفعل بذلك. هناك العديد من أنواع الطاقات المتجددة مثل طاقة الرياح والطاقة المائية والكتلة الحيوية. هناك أيضاً نوع آخر من الطاقة المتجددة المتوفرة دائماً ولا تتضب ولا تؤثر سلباً على البيئة. إنها الطاقة الشمسية.

على الرغم من ميزات الطاقة الشمسية إلا أنها غير متوفرة طوال اليوم، ويعتبر ذلك من أهم سلبياتها التي تتطلب حلها توافر طريقة لتخزين الطاقة الحرارية بحيث يمكن استخدام الطاقة المخزنة لاحقاً عند عدم توفر إشعاع شمسي كاف.

البحيرات الشمسية هي إحدى الخيارات الممكنة الاستخدام لتجميع الحرارة من الشمس وتخزينها.

البحيرة الشمسية عبارة عن حفرة ثلاثية الأبعاد موضوعة في الهواء الطلق مملوءة بمياه ذات خصائص معينة، تستقبل الطاقة الحرارية عن طريق الشمس، ويتم استخراج الحرارة الكامنة فيها من المياه الواقعة في قاع البحيرة ذات التركيز الملحي العالي.

تتفد الأشعة الشمسية خلال طبقات البحيرة ويتم امتصاص أكبر كمية ممكنة من الإشعاع الشمسي الواصل إلى منطقة الخزن ويمكن أن تصل درجة حرارة المحلول الملحي بعد فترة من الزمن إلى ما يقارب  $95^{\circ}\text{C}$ . ولأن الموصلية الحرارية للماء قليلة فإن كمية التسرب الحراري إلى الأعلى تكون قليلة [1].

يبين الشكل (1) شكل توضيحي لبحيرة شمسية مع تدرج درجة الحرارة وفقاً لعمق البحيرة [2].

يهدف هذا البحث إلى تسليط الضوء على البحيرات الشمسية كمصدر حراري لتوليد الطاقة الكهربائية باستخدام دورة رانكين العضوية وإجراء دراسة لشروط عملها وتحديد المساحة المطلوبة للبحيرة.

## 2. بناء البحيرة الشمسية [2]:

عند بناء البحيرة يفضل أن تكون جوانب البحيرة الشمسية مائلة بزاوية  $45^\circ$  ويعتبر العمق (3-5) متر ملائم جداً للبحيرات الشمسية الصغيرة. ولمنع حدوث تسرب الملح من القاع لابد من وضع بطانة جيدة في القاع. ويعد ملء البحيرة فإن تشغيلها يتطلب مراقبة البحيرة والمحافظة عليها. فوضوح المياه والشفافية يمكن ملاحظته بالعين المجردة، وملوحة المياه يمكن قياسها باستخدام جهاز الهيدرومتر، وكذلك يمكن قياس درجة حرارة البحيرة عند أي موقع باستخدام أجهزة قياس مناسبة.

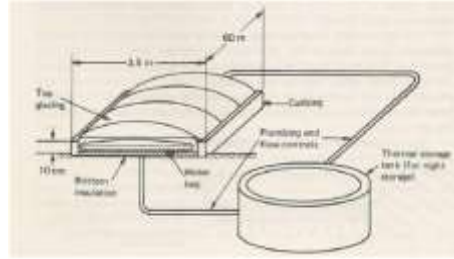
## 3. الشروط المعتبرة لتصميم البحيرات الشمسية:

1. بناء البحيرة النموذجي: تتراوح مساحة سطح البحيرة بين مئات إلى آلاف متر مربع، بعمق (5 - 1) متر، ويبطن قاع البحيرة بمادة داكنة اللون (بوتيل المطاط).
2. موقع البحيرة: يجب أن يكون الموقع عند خطوط العرض الشمالية، بين خطي عرض (40+ و 40-) درجة حيث الإشعاع الشمسي فيها جيد، ويجب أن تكون قريبة من المنطقة التي ستستخدم الطاقة الحرارية للبحيرة أو محطة التحلية.
3. تشخيص التربة المقامة عليها البحيرة: يجب أن تكون الأرض خالية من الضغوط، والإجهادات التي يمكن أن تسبب التوسعات الحرارية التفاضلية. وأن تكون ناقلية حرارية ونفاذيتها منخفضة.
4. الملح المستخدم: يتم اختيار الأملاح المناسبة تبعاً لقابلية الذوبان وازديادها بزيادة درجة الحرارة، ونفاذية المحلول الملحي الكافية للإشعاع الشمسي الساقط،

➤ بحيرات غشائية Membrane Ponds: يوضع عدد من الأغشية الرقيقة على أعماق مختلفة مكونة من هياكل شفافة بحيث لا تمنع الإشعاع الشمسي من التدفق إلى العمق ولا تقلل من القيمة الحرارية المخترقة.

(2) بحيرات الحمل الشمسية Convicting Solar ponds: ولها نوعين:

➤ البحيرات الشمسية الضحلة Shallow Solar Ponds: يتم تغطية سطح البحيرة بغطاء بلاستيكي أو زجاجي يسمح بالانتقال الحراري ويعيق التبخر كما يبين الشكل (2).  
➤ البحيرات الشمسية العميقة deep Ponds: تختلف عن البحيرات الشمسية الضحلة أن المياه لا تحتاج إلى ضخ من وإلى خزان التخزين. خلال ساعات الليل أو الأوقات التي تكون فيها الطاقة الشمسية غير متوفرة تغطي البحيرات بزجاج مزدوج، فوضع العازل الزجاجي على الجزء العلوي من البحيرة يقلل فقدان الحرارة.



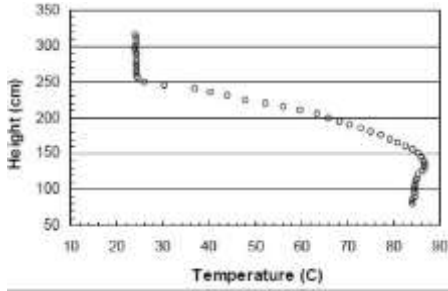
الشكل (2) البحيرات الشمسية الضحلة

أجريت العديد من الدراسات عن البحيرات الشمسية وتطبيقاتها المختلفة [4-9] وطرق زيادة فعالية التخزين الحراري والمواد الممكن إضافة للحصول على استقرار أكثر بدرجة الحرارة [10-13].

ومن الدراسات التي تمت في مجال توليد الطاقة الكهربائية باستخدام البحيرات الشمسية [14,15,16]. حيث أشارت مختلف هذه الدراسات إلى مدى أهمية البحيرات الشمسية كأحد أشكال الاستفادة من الطاقة الشمسية.

هذا ما يسمى تيارات الحمل، وبالتالي فإن البحيرات الطبيعية لا تحتفظ بالحرارة ولا تحقق النتيجة الموجودة. عندما تسقط أشعة الشمس على البحيرات الشمسية تزداد درجة حرارة المياه في الطبقة السطحية، ولأنها مشبعة بالأملاح فإن كثافتها العالية ستمنعها من الصعود للأعلى مما يجبر الماء الساخن أن يبقى في الأسفل بفعل الأملاح. وبالتالي فإن الحرارة التي احتفظ بها في الطبقة الأخيرة المشبعة بالأملاح والتي قد تصل إلى  $85-95^{\circ}\text{C}$  وهي كافية للكثير من التطبيقات العملية التي لا تتطلب درجات حرارة عالية.

أما بالنسبة للعلاقة بين درجة حرارة ماء البحيرة وارتفاعها، نلاحظ وكما يبين الشكل أنه كلما زاد عمق البحيرة تنخفض درجة حرارتها [1].

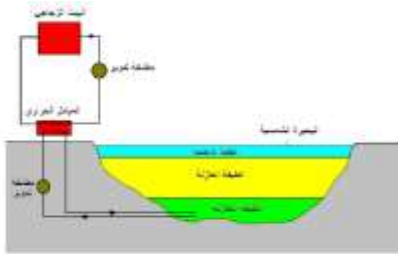


الشكل (3) العلاقة بين ارتفاع البحيرة ودرجة حرارتها.

#### 5. تطبيقات البحيرة الشمسية:

للبحيرات الشمسية تطبيقات عديدة نذكر منها:

- يمكن استخدام الماء الساخن الموجود أسفل البحيرة مباشرة عن طريق مبادل حراري لتدفئة البيوت الزجاجية لزراعة المحاصيل كما في الشكل (4).



الشكل (4) نظام البحيرة الشمسية في الزراعة.

وتوافر الملح بسعر رخيص، وألا تكون لهذه الأملاح أي خطورة على البيئة. يستخدم عادة كلوريد الصوديوم. 5. تأثير العزل لسطح البحيرة: إن أغلبية البحيرات الشمسية مصممة بالسطح الغير مغطى، وبالتالي تفقد %60 - 50 من الحرارة عن طريق السطح أثناء فصلي الخريف والشتاء. بينما يساعد استعمال الغطاء على هذه المشكلة ونحصل على نتائج أفضل. العزل السطحي ليس له تأثير كبير أثناء فصل الصيف والربيع.

6. تأثير سماكة طبقات البحيرة:

✓ الطبقة العليا: عمق هذه الطبقة المثالي  $0.3\text{ m}$  والذي ينكمش بسبب التبخر، لذا يضاف الماء العذب إلى هذه الطبقة، والتي قد تؤثر على أداء واستقرار البحيرة الشمسية.

✓ الطبقة الوسطى: سماكة هذه الطبقة تلعب دوراً مهماً في عملية العزل وسماكتها تتحدد اعتماداً على حرارة التخزين المطلوبة.

✓ الطبقة الأخيرة (طبقة الخزن): لا يؤثر تغير سماكة هذه الطبقة على اللاحم حيث أن سماكتها ستكون ما بقي من العمق الكلي للبحيرة.

#### 4. مبدأ عمل البحيرات الشمسية:

عندما تسقط أشعة الشمس على البحيرات الطبيعية يصل حوالي %30 من الإشعاع الشمسي إلى عمق 2 متر من سطح البحيرة، فتزداد درجة حرارة المياه في الطبقة السفلية وتقل كثافتها فتترفع للأعلى، وبمجرد أن يصل الماء الساخن إلى السطح تضيق تلك الحرارة بالحمل إلى الهواء أو يتبخر حاملاً معه الحرارة.

أما الماء البارد في الطبقة السطحية فإنه يهبط إلى القاع نظراً لكثافته العالية نسبياً لتحل مكانه المياه الدافئة،

رانكين التقليدية، في السنوات الأخيرة أصبحت دارة رانكين العضوية حقل بحوث مكثفة، وتمثل شكل تكنولوجيا واعدة لتحويل الحرارة لعمل مفيد أو كهرباء.

الميزة الأساسية لهذه الدورة هي انخفاض كمية الحرارة المطلوبة لعملية التبخر، وبالتالي القدرة على إنتاج الطاقة من المصادر الحرارية المنخفضة، كما أن عملية التمدد تنتهي في منطقة البخار المحمص وبالتالي تجنب حدوث تآكل الريش، ومن ناحية أخرى فرق الضغط الصغير بين عملية التبخر والتكثف وبالتالي نسبة انخفاض الضغط ستكون أصغر ويمكن استخدام عنفة بسيطة بمرحلة واحدة هذه الميزات تجعل هذه الدورة قابلة للاستخدام لتوليد الطاقة الكهربائية باستخدام البحيرات الشمسية.

تتألف دورة رانكين العضوية كما هو موضح في الشكل (5) من مبخر يتم فيه سحب الطاقة الحرارية من المصدر الحراري (في حالتنا البحيرة الشمسية)، نتيجة لذلك يتبخر وسيط التشغيل المستخدم ثم ينتقل بعدها البخار إلى الممدد، حيث يتمدد وسيط التشغيل وإنتاج العمل الميكانيكي الذي يتحول إلى طاقة كهربائية في المولد الكهربائي. يدخل البخار بعدها إلى المكثف حيث يتكثف البخار ويتحول إلى سائل، يدخل سائل وسيط التشغيل إلى المضخة لينضغط مجدداً للقيام بدورة ثانية وهكذا.

أما الشكل (7) فيبين الدورة الترموديناميكية لدورة رانكين العضوية وهي تتألف من العمليات الترموديناميكية التالية:

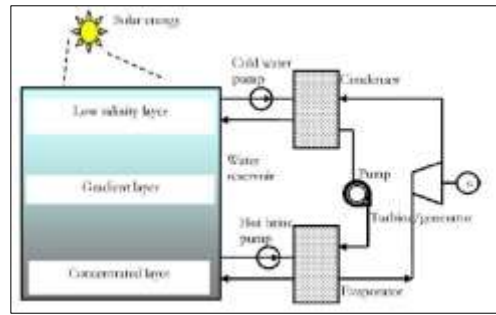
1 - 2 التمدد الفعلي في الممدد (1 - 2s) تمديد ايزوانتروبي.

2 - 3 تبريد إيزوباري في المكثف.

3 - 4 انضغاط في المضخة (3 - 4s) انضغاط ايزوانتروبي

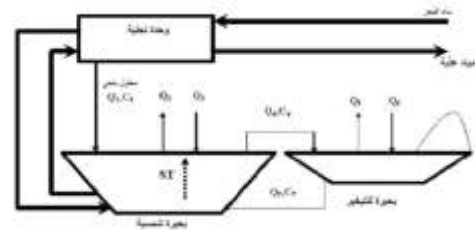
4 - 1 تسخين إيزوباري في المبخر.

○ توليد الكهرباء: حيث يتم تحويل الطاقة الحرارية للماء إلى طاقة كهربائية من خلال سحب المحلول الساخن منها وضخها إلى مبادل حراري موضوع به سائل عضوي سريع الغليان ويتبخر عند درجة حرارة  $50-60^{\circ}\text{C}$  فيتحول السائل إلى الحالة الغازية منتجاً ضغطاً عالياً داخل المولد يعمل على إدارة عنفة متصلة بالمولد الذي يولد الطاقة الكهربائية المطلوبة. تعرف هذه الدورة بدورة رانكين العضوية. وهي موضحة في الشكل (5)



الشكل (5) دورة توليد الطاقة الكهربائية من البحيرة الشمسية باستخدام دورة رانكين العضوية.

○ استخدام البحيرات الشمسية في تحلية المياه: وجد أن استخدام البحيرات الشمسية متدرجة الملوحة في تحلية المياه غير مكلف وجيدة على الصعيد البيئي (الشكل 6).



الشكل (6) محطة تحلية مزودة ببحيرة شمسية.

## 6. توليد الطاقة الكهربائية باستخدام البحيرات الشمسية وفق دورة رانكين العضوية:

تستخدم دورة رانكين العضوية لتوليد الطاقة الكهربائية، وهي مشابهة لدورة رانكين وسميت بالعضوية لأنها تستخدم وسائط تشغيل عضوية بدلاً عن الماء المستخدم في دورة

$$\eta_{ex} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \quad (7)$$

الاستطاعة المفيدة في الدورة:

$$N_{el} = W_{ex} - W_p \quad [\text{kW}] \quad (8)$$

$$= \dot{m}_f [(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)]$$

المردود الحراري للدورة:

$$\eta_{th} = \frac{W_{out}}{Q_{ev}} \quad (9)$$

مردود دورة كارنو:

$$\eta_{ca} = 1 - \left( \frac{T_{in,a}}{T_{in,g}} \right) \quad (10)$$

المردود الثاني في الترموديناميك:

$$\eta_{II} = \frac{\eta_{th}}{\eta_{ca}} \quad (11)$$

ثانياً - العلاقات المستخدمة لحساب شدة الإشعاع

الشمسي الساقط على البحيرة:

نحسب زاوية سقوط الإشعاع الشمسي ( $\theta_i$ ) وزاوية الانكسار الشمسي ( $\theta_r$ ) والتي تختلف باختلاف بالموقع الجغرافي للبحيرة واليوم والساعة وبحسبان من العلاقات:

$$\sin \theta_i = \sin L \cdot \sin G + \cos L \cdot \cos G \cdot \cos \omega \quad (12)$$

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = 1.33 \quad (13)$$

حيث:

$$G = 23.45 \cdot \sin \left[ \frac{360(n - 81)}{365} \right] \quad (14)$$

$$\omega[t] = 15(t - 12) \quad (15)$$

$G$ : زاوية الانحراف الشمسي.

$L$ : زاوية خط العرض.

$n$ : رقم اليوم في السنة.

$\omega$ : الزاوية الساعية للشمس

$t$ : الزمن مقاساً بالساعة.

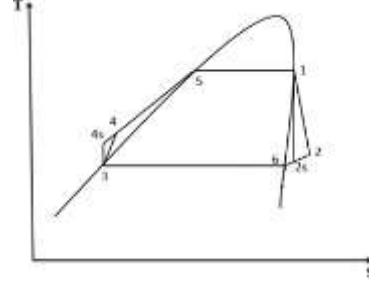
ثالثاً - حساب شدة الإشعاع الشمسي النافذ عبر

طبقات البحيرة:

تحتسب شدة الإشعاع الشمسي المنعكس إلى البحيرة

$n$  بمعامل انعكاس  $r$  بالعلاقة:

تمثل النقاط 5 و6 نقاط تقاطع الدورة الترموديناميكية مع منحنيات الإشباع.



الشكل (7) الدورة الترموديناميكية لدورة رانكين العضوية.

7. العلاقات الرياضية المستخدمة

[15,17,18,19]:

أولاً - الحسابات الحرارية لدورة رانكين العضوية:

تعطى كمية الحرارة التي يكتسبها وسيط التشغيل في مبخر دروة رانكين العضوية  $Q_{ev}$  والتي تساوي كمية الحرارة الناتجة من البحيرة الشمسية:

$$Q_{ev} = \dot{m}_f \cdot (h_1 - h_4) \quad [\text{kW}] \quad (1)$$

حيث  $\dot{m}$  تدفق وسيط التبريد [kg/s].

$h$ : الانتالبي النوعي [kJ/kg]

$W_{ex}$ : العمل المنجز في الممدد:

$$W_{ex} = \dot{m}_f \cdot (h_1 - h_2) \quad [\text{kW}] \quad (2)$$

كمية الحرارة التي يفقدها وسيط التشغيل في

المكثف [kW]:

$$Q_c = \dot{m}_f (h_2 - h_3) \quad [\text{kW}] \quad (3)$$

تعطى كمية الحرارة المطروحة للهواء  $Q_a$  بحالة استخدام مكثف هوائي (وهي تساوي كمية الحرارة المطروحة في المكثف):

$$Q_a = \dot{m}_a \cdot c_{a,p} \cdot (T_{out,a} - T_{in,a}) \quad [\text{kW}] \quad (4)$$

$\dot{m}_a$  تدفق هواء التبريد في المكثف [kg/s].

استطاعة المضخة:

$$W_p = \dot{m}_f \cdot (h_4 - h_3) \quad [\text{kW}] \quad (5)$$

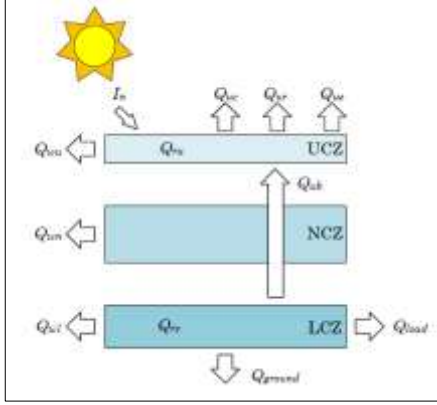
مردود المضخة:

$$\eta_p = \frac{h_3 - h_{4s}}{h_3 - h_4} \quad (6)$$

مردود الممدد:

يبين الشكل (8) شكل توضيحي لميزان الطاقة للبحيرة الشمسية، لحساب كمية الحرارة الممكن استخلاصها من البحيرة تتبع الخطوات التالية وذلك باعتبار الفرضيات التالية:

- جدران البحيرة الشمسية معزولة بشكل جيد وبالتالي فإن كميات الحرارة المتسربة عبر الجدران معدومة أي أن  $w = 0$  لكل طبقات البحيرة.
- نفترض هنا أن طبقات البحيرة عبارة عن جسم متوازي مستطيلات وبالتالي فإن مساحة أسطح الطبقات متساوية.



الشكل (8) شكل توضيحي لتوازن لطاقة للبحيرة الشمسية. دراسة توازن الطاقة للطبقة الأخيرة من البحيرة: وهي تساوي مجموع شدة الإشعاع الواصل لعمقي الطبقة UCZ و NCZ وشدة الإشعاع المعاد انعكاسه من طبقتي البحيرة UCZ و NCZ منقوصاً منها شدة الإشعاع المنعكس من الطبقتين ويعبر عنها بالعلاقة:

$$q_{rs} = I_x = (x_u + x_{ncz}) + I_{sr,x} - (I_{br,x}) \quad (21)$$

بالتعويض وفق العلاقات (18، 19 و 20)

$$I_x = I_n \cdot \left( 0.36 - 0.08 \cdot \ln \left( \frac{x_u + x_{ncz}}{\cos \theta_r} \right) \right)$$

$$I_{sr,x} = (x_u + x_{ncz})$$

$$= \xi \cdot I_n \cdot \left( 0.36 - 0.08 \cdot \ln \left( \frac{z + x_u + x_{ncz}}{\cos 60^\circ} \right) \right)$$

$$I_{br,x} = (x_u + x_{ncz})$$

$$I_n = I_b \cdot \frac{r}{\cos \theta_i} \quad (16)$$

$$r = 0.6 \left( \frac{\sin(\theta_i - \theta_r)}{\sin(\theta_i + \theta_r)} \right)^2 + 0.4 \left( \frac{\tan(\theta_i - \theta_r)}{\tan(\theta_i + \theta_r)} \right)^2 \quad (17)$$

حيث  $I_b [W/m^2]$  : شدة الإشعاع الشمسي النظرية الساقطة على سطح أفقي عند كثافة هواء تساوي الصفر، وتتؤخذ من الجدول (1).

الجدول (1)			
Jan	1230	July	1085
Feb	1215	Aug	1107
Mar	1185	Sept	1152
April	1136	Oct	1193
May	1104	Nov	1221
June	1088	Dec	1234

تحسب شدة الإشعاع الشمسي الواصل إلى عمق  $x$  من البحيرة بالعلاقة:

$$I_x = I_n \cdot \left( 0.36 - 0.08 \cdot \ln \left( \frac{x}{\cos \theta_r} \right) \right) \quad (18)$$

حيث:  $z$  عمق البحيرة.

عندما يصل هذا الإشعاع إلى عمق البحيرة فإن قسماً منه سوف يمتص من قاع البحيرة والقسم الآخر سوف ينعكس من جديد لأعلى، نرسم له بـ  $B_r$ .

$$I_{br} = I_n \cdot \xi \cdot \left( 0.36 - 0.08 \cdot \ln \left( \frac{z-x}{\cos 60^\circ} \right) \right) \quad (19)$$

$\xi$  معامل الانعكاس وقيمته  $0.477$  وفقاً للمرجع [18].

$x$  عمق الطبقة.

أيضاً فإن هذا الإشعاع سوف يستمر حتى يصل إلى سطح البحيرة حيث يعاد انعكاسه إلى الأسفل ونرسم له بـ

$I_{sr}$  تحسب مقدار كل من الشدتين بالعلاقات:

$$I_{sr} = I_n \cdot \xi \cdot \left( 0.36 - 0.08 \cdot \ln \left( \frac{z+x}{\cos 60^\circ} \right) \right) \quad (20)$$

رابعاً - حساب التدفق الحراري للبحيرة الشمسية:



$$W_{ex} = 1026 [kW]$$

نعوض الآن بالعلاقات 9 و 10 و 11 فنحصل على

قيم المراديد التالية:

0.5554	$\eta_{\Pi}$	0.179	$\eta_c$	0.09941	$\eta_{th}$
--------	--------------	-------	----------	---------	-------------

بفرض أن فعالية المكثف الحراري 85% فإن الحمل

الحراري لماء البحيرة الشمسية:

$$Q_w = 1.15 \cdot Q_{ev} = 1.15 \times 8551 \approx 10,000 \text{ KW}$$

ويكون بذلك تم تصميم الدارة الترموديناميكية للبحيرة

الشمسية.

سيتم الآن تصميم البحيرة الشمسية وفق شروط مدينة

دمشق حيث خط العرض  $L = 33.29^\circ$ ، وسنعمد شهر

التصميم هو منتصف شهر حزيران ساعة الذروة  $t = 12$

وحيث يوم التصميم  $n = 196$  وعندها تكون شدة الإشعاع

الشمسي النظرية  $I_b$  مأخوذة من الجدول (1) تساوي

$$1088 \text{ W/m}^2$$

وفقاً للعلاقات 12 ÷ 15 فإن:  $G = 0, \omega[t] = 0$

$$7.54$$

$$\sin \theta_i = 0.815, \quad \sin \theta_r = 0.61$$

زاوية سقوط الإشعاع الشمسي ( $\theta_i$ ) وزاوية الانكسار

$$\theta_r = 47.4^\circ, \theta_i = 78.23^\circ$$

ووفقاً للعلاقة (17) فإن  $r = 0.3117$  ووفقاً للعلاقة

$$(16) \text{ يكون } I_n = 753.7 [W/m^2]$$

لحساب شدة الإشعاع الشمسي الواصل لعمق البحيرة

سنفرض القيم التصميمية التالية للبحيرة الشمسية:

3.25 m	عمق البحيرة
0.7 m	ارتفاع الطبقة السطحية
1.2 m	ارتفاع الطبقة الوسطى
1.35 m	ارتفاع الطبقة الأخيرة

من العلاقة (18) و(19) و(20) فإن:

$$I_x = 654.8 [W/m^2]$$

$$I_{sr,x=(x_u+x_{ncz})} = 202.1 [W/m^2]$$

$$I_{BR,x=(x_u+x_{ncz})} = 19.17 [W/m^2]$$

$$= \xi \cdot I_B \left( 0.36 - 0.08 \cdot \ln \left( \frac{z - x_u + x_{ncz}}{\cos 60^\circ} \right) \right)$$

حيث  $x$  ارتفاع الطبقة،  $z$ : ارتفاع البحيرة.

## 8. النتائج والمناقشة:

الحساب الحراري لبحيرة شمسية عند شروط مدينة دمشق:

انطلاقاً من المعادلات السابقة سيتم تحديد مساحة

البحيرة الشمسية المطلوبة للحصول على استطاعة كهربائية

$$N_{el} = 1 [MW]$$

صافية مقدارها  $N_{el} = 1 [MW]$

سنقوم بداية بتصميم دورة رانكين العضوية وذلك من

أجل وسيط تبريد R245fa حيث سنفرض شروط العمل التالية:

سنعتبر أن درجة حرارة تبخر وسيط التبريد  $t_{ev} = 90^\circ \text{C}$

وأن درجة حرارة تكاثف وسيط التبريد  $t_c = 25^\circ \text{C}$

وسنفرض أن مردود الممدد  $\eta_{ex} = 80\%$  ومردود

المضخة  $\eta_p = 90\%$ ، ومن خلال العلاقات (6) و(7)

نحصل على بارامترات النقاط 2 و 4 للدورة الترموديناميكية:

النقطة	P	T	h	S	X
	bar	K	kJ/kg	kJ/kg.K	-
1	10.09	90	468.1	1.785	1
2	1.478	43	439.9	1.808	
3	1.478	25	232.5	1.113	0
4	10.09	25.35	233.2	1.114	

عند هذه الشروط فإن الدورة الترموديناميكية لوسيط

التبريد تمثل على مخطط T - S بالشكل (9)

الشكل (9) الدورة الترموديناميكية لدورة رانكين العضوية

باستخدام R245fa.

بمعرفة انتالبي نقاط الدارة والاستطاعة الصافية

المطلوبة وبالتعويض بالعلاقة (8) نحصل على تدفق

وسيط التبريد  $m_f = 36.39 [Kg/s]$  نعوض الآن

بالعلاقات 1 و 3 فنحصل على استطاعة المبخر واستطاعة

المكثف،

$$Q_c = 7551 [kW] \quad Q_{ev} = 8551 [kW]$$

كما نحصل بالتعويض بالعلاقات (5) و (2) على

استطاعة المضخة واستطاعة الممدد

$$W_p = 26 [kW]$$

بالشروط الخارجية لمدينة دمشق، وقد تم تحديد مجال درجة حرارة التبخر والتكاثف من خلال اختبار 32 نوعاً لوسائط التبريد بحيث تكون حالة وسيط التبريد عند مخرج الممد التوربيني بخاراً محمص. كما نلاحظ من الجدول فإن أغلب وسائط التبريد يمكن عند استخدامها أن تصل لدرجة حرارة تبخر مساوية لـ 90 °C مع تحقيق الشرط المذكور، باستثناء وسيط التبريد R12 و R134a فلا يمكن الوصول إلى درجة حرارة أعلى من 50 °C، لذلك فإن استخدام هذين الوسيطين سيتطلب مساحات كبيرة للبحيرة الشمسية للحصول على نفس الكمية الحرارة المطلوبة لتوليد استطاعة كهربائية قدرها (1MW) مقارنة بباقي أنواع وسائط التبريد لذلك لا يفضل استخدامها، أما بقية وسائط التبريد المعروفة غير الواردة في الجدول فلا يمكن استخدامها.

الجدول (2) وسائط التبريد لدورة رانكين العضوية العاملة

على البحيرة الشمسية

Refrigerant	Tev	Tc
n-Pentane	90	25
R11	90	25
R114	90	25
R123	90	25
R1234ze	90	25
R236fa	90	25
R245fa	90	25
R600	90	25
R143m	85	25
R1234yf	85	25
R218	70	25
R12	50	25
R134a	50	25

يبين الشكل (12) مقارنة مساحة البحيرة الشمسية لكافة وسائط التبريد الممكن استخدامها للحصول على استطاعة كهربائية 1 MW. وذلك عند استطاعة محسوبة في شهر حزيران نلاحظ من الشكل (12) أن أكبر مساحة مطلوبة للبحيرة الشمسية هي عند استخدام وسائط التبريد R134a و R12، أما أقل مساحة فهي عند استخدام R11 يليه R141b وذلك عند قيمة وسطية لكمية الحرارة المقدمة من

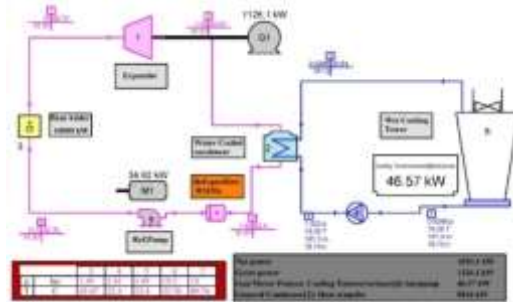
وبالتالي تكون كمية الحرارة المستخرجة من البحيرة الشمسية بالتعويض في العلاقة السابقة  $r_s = 838.29 W/m^2$ .

بتقسيم حمل الماء على كمية الحرارة الوسطية لكل متر مربع من مساحة البحيرة ( $q_s$ ) الممكن الحصول عليها من البحيرة

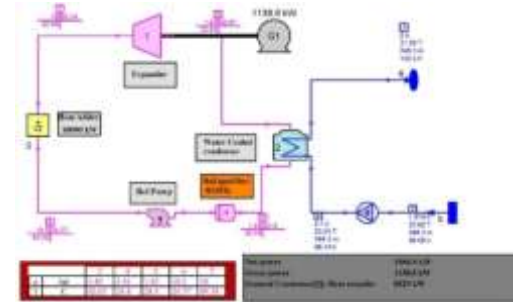
الشمسية فإن مساحة البحيرة تكون:

$$A = \frac{Q_w}{q_s} = \frac{10,000}{0.84} = 11,835 m^2$$

أيضاً باستخدام برنامج Thermoflex وهو برنامج لنمذجة الدارات الحرارية تمت عملية الحساب للدارة السابقة وتوضح الاشكال (10) و(11) طريقة توصيل الدارة والقيم التي وصلنا إليها.



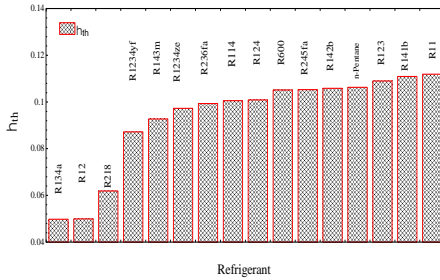
الشكل (10) الدارة مع برج تبريد لتبريد ماء المكثف



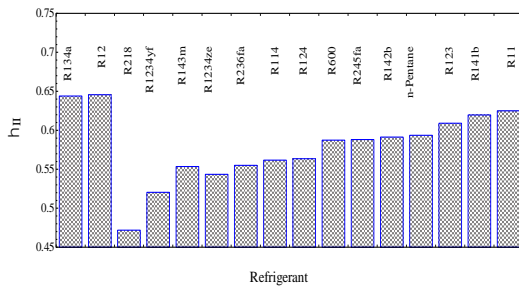
الشكل (11) الدارة مع استخدام الطبقة السطحية من ماء البحيرة نفسها لعملية تبريد المكثف

يبين الجدول (2) وسائط التبريد الممكن استخدامها ضمن دورة رانكين العضوية للاستفادة من حرارة البحيرة الشمسية لتوليد (1MW)، كما يبين أعلى درجة حرارة تبخر ممكن الوصول إليها عند درجة حرارة تكاثف محددة

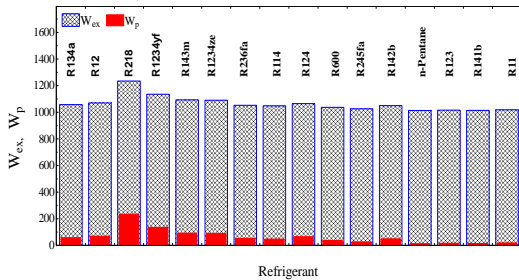
العمل الأخرى، يفسر ذلك أن كمية وسيط التبريد المطلوبة لعمل الدارة أكبر بحالة R218 مقارنة بباقي وسائط التبريد، إضافة لانخفاض قيمة العمل النوعي مقارنة بوسائط التشغيل الأخرى.



الشكل (13) مقارنة المردود الحراري لدورة رانكين العضوية وفقاً لوسيط التبريد المستخدم.



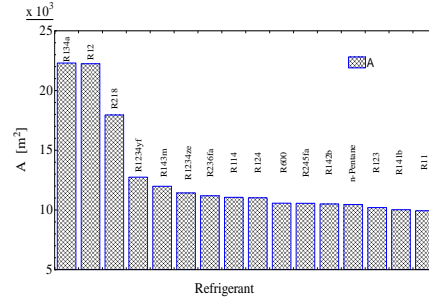
الشكل (14) مقارنة المردود الثاني لدورة رانكين العضوية وفقاً لوسيط التبريد المستخدم.



الشكل (15) مقارنة استطاعة الممدد التوريني والمضخة لدورة رانكين العضوية وفقاً لوسيط التبريد المستخدم.

يبين الشكل (16) تأثير درجة حرارة تبخر وسيط التبريد على مساحة البحيرة الشمسية عند درجة حرارة تكاثف محددة بشروط مدينة دمشق، وذلك لعدة وسائط تبريد. كما نلاحظ فإن زيادة درجة حرارة التكاثف تؤدي لانخفاض المساحة المطلوبة للبحيرة الشمسية.

بحيرة شمسية تبلغ  $0.9 \text{ KW/m}^2$ ، ومن أجل درجة حرارة ماء للبحيرة  $90^\circ\text{C}$ .



الشكل (12) مقارنة مساحة البحيرة المطلوبة وفقاً لوسيط التبريد المستخدم.

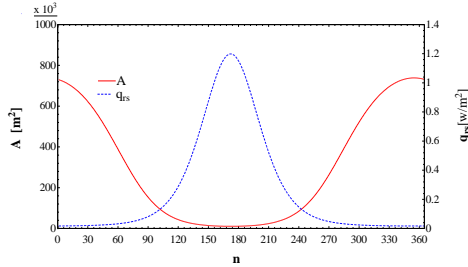
يبين الشكل (13) مقارنة المردود الحراري لدورة رانكين العضوية عند استخدام وسائط تبريد مختلفة، نلاحظ من الشكل أن أعلى مردود لدورة رانكين العضوية هي عند استخدام وسائط التبريد R141b و R11، أما أقل مردود فهي عند استخدام R134a و R12 وذلك عند قيمة وسطية لكمية الحرارة المقدمة من بحيرة شمسية تبلغ  $0.9 \text{ KW/m}^2$ ، ومن أجل درجة حرارة ماء للبحيرة  $90^\circ\text{C}$ .

يبين الشكل (14) مقارنة المردود الثاني لدورة رانكين العضوية عند استخدام وسائط تبريد مختلفة، نلاحظ من الشكل أن أعلى قيمة للمردود الثاني لدورة رانكين العضوية ضمن مجال درجات الحرارة العاملة للدورة هي عند استخدام وسائط التبريد R134a و R12 أما أقل قيمة فهي عند استخدام R218.

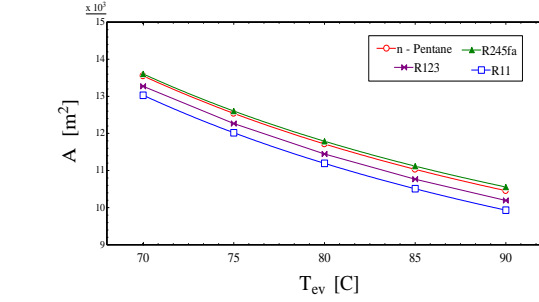
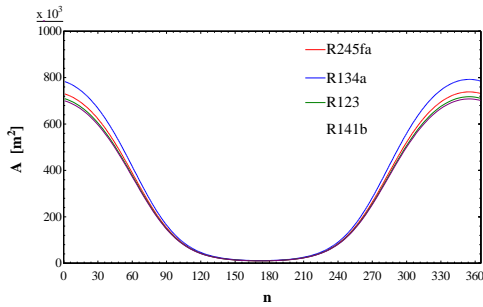
يبين الشكل (15) مقارنة كل من الاستطاعة الناتجة من الممدد التوريني والاستطاعة المستهلكة في المضخة لدورة رانكين العضوية وفقاً لوسيط التبريد المستخدم، من أجل الحصول على استطاعة كهربائية ( $1 \text{ MW}$ )، نلاحظ من الشكل أن أكبر استهلاك للطاقة في المضخة هي عند استخدام وسيط تبريد R218، وأقل استطاعة هي عند استخدام n-pentane. كما أن أكبر عمل للممدد هي عند استخدام R218 كوسيط تشغيل عند نفس شروط

بلغت قيمته الأعظمية  $1200 \text{ W/m}^2$ ، أما قيمته الدنيا فكانت  $16.8 \text{ W/m}^2$  وذلك يوم 356، سينعكس ذلك بالتالي على المساحة المطلوبة للبحيرة الشمسية فكلما زاد الحمل الحراري النوعي للبحيرة تنخفض المساحة المطلوبة للبحيرة. وتكون مساحة البحيرة الأعظمية المطلوبة للبحيرة للحصول على استطاعة  $1 \text{ MW}$  عند استخدام وسيط تبريد R245fa هي  $738630 \text{ m}^2$  أما المساحة الدنيا هي  $10398 \text{ m}^2$ . من هذه القيم نستنتج أن انخفاض شدة الإشعاع الشمسي له أثر كبيرة على المساحة المطلوبة من البحيرة للشمسية.

يبين الشكل (19) أثر تغير الإشعاع الشمسي على مساحة البحيرة الشمسية خلال أيام السنة وذلك عند الساعة 12، عند استخدام وسائط تبريد مختلفة وهي R245fa, R134a, R123, R141b كما يبين الشكل فإن أكبر مساحة مطلوبة بهذه الحالة هي عند استخدام وسيط تبريد R134a أما أقل مساحة فهي عند استخدام وسيط تبريد R141b.

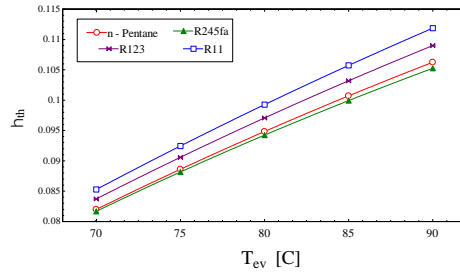


الشكل (18) أثر تغير الإشعاع الشمسي على كل من الحمل الحراري النوعي للبحيرة الشمسية ومساحة البحيرة.



الشكل (16) تأثير درجة حرارة تبخر وسيط التبريد على مساحة البحيرة الشمسية عند درجة حرارة تكاثف محددة بشروط مدينة دمشق.

يبين الشكل (17) تأثير درجة حرارة تبخر وسيط التبريد على المردود الحراري لدورة رانكين العضوية عند درجة حرارة تكاثف محددة بشروط مدينة دمشق، وذلك لعدة وسائط تبريد. كما نلاحظ فإن زيادة درجة حرارة التكاثف تؤدي لزيادة المردود الحراري لدورة رانكين العضوية.



الشكل (17) تأثير درجة حرارة تبخر وسيط التبريد على المردود الحراري لدورة رانكين العضوية عند درجة حرارة تكاثف محددة بشروط مدينة دمشق.

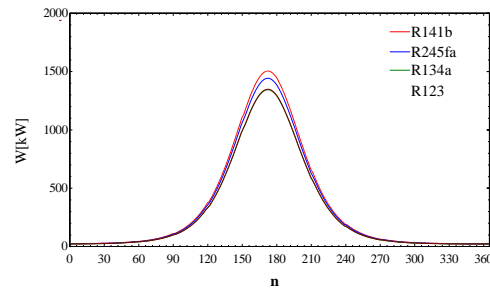
إن كافة القيم التي تمت مناقشتها كما ذكر سابقاً محسوبة عند إشعاع شمسي في شهر حزيران ولا بد من مناقشة أثر تغير الإشعاع الشمسي خلال العام على الاستطاعات المنتجة من البحيرة.

يبين الشكل (18) أثر تغير الإشعاع الشمسي على كل من الحمل الحراري النوعي ومساحة البحيرة الشمسية خلال أيام السنة وذلك عند الساعة 12 ظهراً، كما نلاحظ من الشكل يزداد الحمل الحراري النوعي خلال أشهر الصيف ويصل الحمل الحراري إلى قيمته العليا يوم 172 حيث

1. للحصول على استطاعة كهربائية قدرها  $1\text{ MW}$  نحتاج إلى بحيرة شمسية بمساحة  $11,835\text{ m}^2$  محسوبة خلال شهر حزيران.
2. تتأثر مساحة البحيرة الشمسية المطلوبة للحصول على استطاعة محددة بشكل كبير بتغير شدة الإشعاع الشمسي على مدار العام.
3. من خلال إجراء المقارنة لمختلف وسائط التشغيل المعروفة عند شروط عمل البحيرة الشمسية ودارة رانكين العضوية تبين إمكانية استخدام 32 نوعاً لوسيط التشغيل وأن أغلب وسائط التبريد يمكن عند استخدامها أن تصل لدرجة حرارة تبخر مساوية لـ  $90\text{ °C}$  مع تحقيق الشرط المذكور، باستثناء وسيط التبريد **R12** و **R134a** فلا يمكن الوصول إلى درجة حرارة أعلى من  $50\text{ °C}$  مع الإشارة.
4. أكبر مساحة مطلوبة للبحيرة الشمسية هي عند استخدام وسائط التبريد **R12** و **R134a**، أما أقل مساحة فهي عند استخدام **R11** يليه **R141b** وذلك عند قيمة وسطية لكمية الحرارة المقدمة من بحيرة شمسية تبلغ  $0.9\text{ KW/m}^2$ ، ومن أجل درجة حرارة ماء للبحيرة  $90\text{ °C}$ .
5. أعلى مردود لدورة رانكين العضوية هي عند استخدام وسائط التبريد **R11** و **R141b**، أما أقل مردود فهي عند استخدام **R12** و **R134a** وذلك عند قيمة وسطية لكمية الحرارة المقدمة من بحيرة شمسية تبلغ  $0.9\text{ KW/m}^2$ ، ومن أجل درجة حرارة ماء للبحيرة  $90\text{ °C}$ .
6. أكبر استهلاك للطاقة في المضخة هي عند استخدام وسيط تبريد **R218**، وأقل استطاعة عند استخدام **n-pentane**. كما أن أكبر عمل للممدد هي عند

### الشكل (19) مقارنة أثر الإشعاع الشمسي على مساحة البحيرة الشمسية لعدة وسائط تبريد.

سنقوم الآن بدراسة أثر تغير شدة الإشعاع الشمسي خلال أيام السنة وذلك عند الساعة 12 من أجل مساحة محددة للبحيرة تساوي  $15000\text{ m}^2$  على الاستطاعة المنتجة عند استخدام وسائط تبريد مختلفة وهي **R245fa, R134a, R123, R141b** (20) فإن أكبر استطاعة منتجة عند الشروط المحددة هي عند استخدام وسيط تبريد **R141b** أما أقل استطاعة فهي عند استخدام وسيط تبريد **R134a, R123**. وكانت أعلى قيمة منتجة للاستطاعة عند استخدام وسيط تبريد **R141b** هي  $1504\text{ kW}$ ، وأقل استطاعة  $25\text{ kW}$ .



### الشكل (20) مقارنة أثر الإشعاع الشمسي على الاستطاعة المنتجة من البحيرة الشمسية لعدة وسائط تبريد.

## 9. خلاصة البحث:

تم في هذا البحث تسليط الضوء على البحيرات الشمسية كإحدى مصادر توليد الطاقة الكهربائية لما تتميز به من ميزات بدرجات حرارة التشغيل العالية نسبياً وإمكانية الخزن لفترات طويلة وتم إجراء دراسة للطاقة الممكن الحصول عليها من بحيرة شمسية عند شروط مدينة دمشق بالإضافة لمناقشة إمكانية استخدام وسائط التشغيل المختلفة وتأثير شروط العمل على أداء الدارة وتبين من خلال البحث ما يلي:

## المراجع العلمية

- [1] عمر خليل أحمد، مبادئ الطاقات المتجددة، المعهد التقني، الحويجة،  
<https://www.researchgate.net/publication/315829748>
- [2] baljit singh bhathal singh, power generation from solar pond using thermoelectric generators, phd thesis 2015.
- [3] a.a. el-sebaai 1, m.r.i. ramadan, s. aboul-enein, a.m. khallaf, history of the solar ponds: a review study, renewable and sustainable energy reviews 15 (2011) 3319– 3325.
- [4] haci sogukpinar1, ismail bozkurt2, and serkan c ag3, evaluation of solar ponds and application area, web of conferences (2018)
- [5] bozkurt i., karakilcik m., dincer i., atiz a. (2014). transparent covers effect on the performance of a cylindrical solar pond, int j green energy, 11,404–416
- [6] bozkurt i., karakilcik m. The effect of sunny area ratios on the thermal performance of solar ponds, energy conversion and management, 2015, 91,323–332
- [7] bozkurt, i., deniz, s., karakilcik, m., dincer, i., performance assessment of a magnesium chloride saturated solar pond, renewable energy, 78 (2015), pp. 35-41.
- [8] asaad h. sayer, hazim al-hussaini, alasdair n. campbell, new comprehensive investigation on the feasibility of the gel solar pond, and a comparison with the salinity gradient solar pond, applied thermal engineering 130 (2018) 672–683.
- [9] a. alcaraz, m. montalà, c. valderrama, j.l. cortina, a. akbarzadeh, a. farran, increasing the storage capacity of a solar pond by using solar thermal collectors: heat extraction and heat supply processes using in-pond heat exchangers, solar energy 171 (2018) 112–121.
- [10] m. montalà, j.l. cortina, a. akbarzadeh, c. valderrama, stability analysis of an industrial salinity gradient solar pond, solar energy 180 (2019) 216–225
- [11] karakilcik m., dincer i., bozkurt i., atiz a. (2013). performance assessment of a solar pond with and without shading effect, energy convers manage, 65, 98–107.
- [12] bozkurt i., karakilcik m. (2012). the daily performance of a solar pond integrated with solar collectors, solar energy, 86, 1611–1620.
- [13] sogukpinar h., bozkurt i., karakilcik m., performance comparison of aboveground and

استخدام R218 كوسيط تشغيل عند نفس شروط العمل الأخرى.

7. زيادة درجة حرارة التكاثر تؤدي لانخفاض المساحة المطلوبة للبحيرة الشمسية وزيادة المردود الحراري لدورة رانكين العضوية.

8. من أجل مساحة بحيرة شمسية تساوي  $2 \times 15000$  فإن أكبر استطاعة ممكن الحصول عليها هي بحالة استخدام وسيط تبريد R141b وتساوي  $1500 \text{ kW}$ .

## 10. توصيات لأبحاث لاحقة:

- (1) مقارنة الطاقة المنتجة من البحيرة الشمسية مع الطاقة المنتجة من مصادر الطاقات المتجددة الأخرى.
- (2) إجراء المزيد من الدراسات حول اختيار المائع الأمثل للعمل ضمن الشروط المحلية.

الجدول الرموز المستخدمة في البحث:

الرمز	التسمية	الوحدة
A	مساحة	$\text{m}^2$
Cp	الحرارة النوعية عند ضغط ثابت	$\text{KJ}/\text{Kg} \cdot \text{K}$
I	شدة الإشعاع الشمسي	$\text{W}/\text{m}^2$
$\dot{m}$	معدل تدفق	$\text{kg}/\text{s}$
k	معامل التوصيل الحراري	$\text{W}/\text{mK}$
W	الاستطاعة	$\text{kW}$
t	درجة حرارة	C
P	ضغط	bar
$\rho$	الكثافة	$\text{Kg}/\text{m}^3$
$\mu$	اللزوجة الحركية	$\text{N} \cdot \text{m}/\text{s}$
$\eta$	المردود	-
Q	معدل كمية الحرارة	$\text{kW}$
h	انتالبي	$\text{J}/\text{kg}$
q	الحرارة لوحدية السطح	$\text{W}/\text{m}^2$
$\alpha$	معامل انتقال الحرارة	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
x	ارتفاع الطبقة	m
الدليل السفلي		
f	وسيط تشغيل	
a	هواء	
w	ماء	

- pp. 303-314. DOI: 10.1016/S0196-8904(03)00122-5
- [18] Duffie J.A., Beckman W.A. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes, 4th ed. Hoboken, New Jersey, USA.
- [19] Hawlader M.N.A. (1980). The influence of the extinction coefficient on the effectiveness of solar ponds, Solar Energy, Vol. 25, No. 5, pp. 461-464. DOI: 10.1016/0038-092X(80)90454-5
- [20] THERMOFLEX Software, 2018.
- [21] EES, Engineering Equation Solver, 2013
- underground solar ponds, thermal science, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 953-961.
- [14] arezu zeynalia, ali akbarib, morteza khalilian, investigation of the performance of modified organic rankine cycles (orcs) and modified trilateral flash cycles (tfcs) assisted by a solar pond, solar energy 182 (2019) 361–381.
- [15] vincenzo la rocca, massimo morale, solar pond for feeding a thermoelectric generator or an organic rankine cycle system, international journal of heat and technology vol. 35, special issue 1, september 2017, pp. s435-s441
- [16] l.c. ding, a. akbarzadeh, lippong tan, a review of power generation with thermoelectric system and its alternative with solar ponds, renewable and sustainable energy reviews (2017).
- [17] Husain H., Patil S.R., Patil P.S., Samdarshi S.K. (2004). Simple methods for estimation of radiation flux in solar ponds, Energy Conversion and Management, Vol. 45, No. 2,