

## تأثير درجة حرارة المولد في أداء آلة التبريد الامتصاصية أمونيا-ماء العاملة على الطاقة الشمسية

د. م. عيسى محمود<sup>(1)</sup>

### الملخص

تحتل آلات التبريد الامتصاصية باهتمام كبير من الباحثين والمصنّعين على مستوى العالم نظراً الى أنّها تستلزم طاقة حرارية يمكن تأمينها من الشمس فضلاً عن أنّ وسائط التشغيل فيها لا تضر بالبيئة. احدى وسائط التشغيل الأكثر انتشاراً هو زوج المحلول (أمونيا-ماء) الذي يسمح لنا بالحصول على درجات حرارة منخفضة تصل الى  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  - . تتضمن الآلة المولد، ووظيفته تحرير بخار عنصر التبريد (الأمونيا) من المحلول السائل فيه عن طريق تزويده بحرارة من مصدر خارجي كالشمس. إنّ غليان المحلول السائل يجري تحت ضغط ثابت ولكن بدرجة حرارة متغيرة من درجة حرارة بدء الغليان الى درجة حرارة بدء التكاثف، ومن ثمّ هناك مجال كبير لقيم درجة حرارة المولد الممكنة. إنّ تحديد درجة حرارة المولد التي تؤدي إلى أعلى قيمة لمعامل أداء الدارة نقطة ضرورية لأنها تدلّ على أقل طاقة مُستهلكة لتأمين حمل تبريدي محدد. في هذا البحث درس تأثير درجة حرارة المولد في أداء آلة التبريد الامتصاصية خلال عدّة درجات حرارة تبخر مختلفة ولدرجتي حرارة تكاثف مختلفتين. تبيّن النتائج أنّ أعلى قيمة لمعامل الأداء تتحقق ضمن المجال من 1.011 إلى 1.055 من النسبة  $t_D/t_B$  (نسبة درجة حرارة المولد إلى درجة حرارة بدء غليان المحلول)، أي عند درجة حرارة قريبة جداً من درجة حرارة بدء غليان المحلول السائل في المولد. تبيّن النتائج أيضاً أنّ مجال النسبة  $t_D/t_B$  التي تعطي أعلى معامل أداء ينخفض مع انخفاض درجة حرارة التكاثف.

الكلمات المفتاحية: آلة التبريد الامتصاصية، المحلول أمونيا-ماء، التركيز الكتلي، درجة حرارة بدء الغليان، درجة حرارة بدء التكاثف، درجة حرارة المولد، معامل الأداء.

<sup>(1)</sup> قسم الميكانيك العام، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

## Effect of generator temperature on the performance of the ammonia-water absorption refrigeration machine working with solar energy

Dr. Eng. Issa Mahmoud<sup>(1)</sup>

### Abstract

Absorption refrigeration machines are receiving a great attention from researchers and manufacturers worldwide since they utilize thermal energy that can be obtained from the sun in addition to that their working fluids do not harm the environment. One of the most common working fluids is the pair solution (ammonia-water) which allows us to obtain temperature as low as -60 [°C]. The machine contains the generator, which has the function of releasing the refrigerant vapor, ammonia, from the liquid solution inside it by supplying it with heat from an external source like the sun. The boiling of the liquid solution is accomplished at constant pressure but with varying temperature from the boiling start temperature to the condensation start temperature, therefore, there is a big range of possible generator temperature values. Determining generator temperature that leads to the highest value of the coefficient of performance, COP, of the cycle is an important point because it indicates the least energy consumption for providing certain cooling load. In this research the effect of the generator temperature on the performance of the absorption refrigeration machine is studied for several evaporation temperatures and two different condensation temperatures. The results show that the highest value of the COP is achieved within the range of 1.011 ~ 1.055 of the ratio  $t_G/t_b$  (the ratio of the generator temperature to the start boiling temperature), i.e., at a temperature that is very close to the start boiling temperature of the liquid solution in the generator. The results also show that the range of the ratio  $t_G/t_b$  that provide the highest value of COP decreases with condensation temperature decrease.

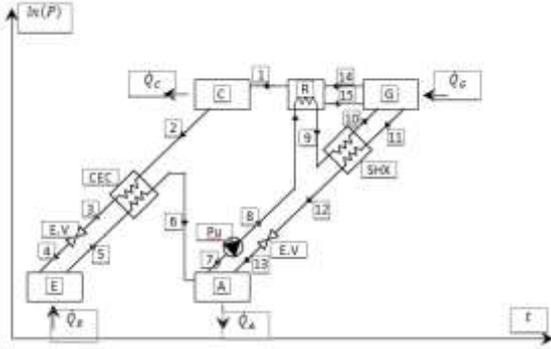
**Key words:** Absorption refrigeration machine, ammonia-water solution, mass concentration, start boiling temperature, start condensation temperature, generator temperature, coefficient of performance.

---

<sup>(1)</sup>General Mechanics Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University.

## 1. المقدمة

كما نعلم أصبح التبريد حاجة ماسة للإنسان خصوصاً مع الارتفاع الملحوظ لدرجات حرارة الهواء المحيط الذي أصبحنا نشهده في السنوات الأخيرة. لتأمين التبريد يعتمد بنسبة كبيرة جداً على آلات التبريد الانضغاطية التي تستهلك طاقة كهربائية كبيرة لإنجاز عمل الضاغط. إن توليد الطاقة الكهربائية من المحطات الحرارية التقليدية يكون مصحوباً بإطلاق كميات هائلة من الملوثات الغازية إلى الهواء المحيط بشكل بات يقلق حكومات العالم كلها والمهتمين بالبيئة. لأجل ذلك أصبح الاهتمام كبيراً جداً بآلات التبريد الامتصاصية التي تعمل بالحرارة، ومن ثمّ يمكن الاستفادة من الطاقة الشمسية، بالإضافة إلى أنّ وسائط التشغيل فيها لا تسهم في نضوب الأوزون ولا في الاحتباس الحراري. في هذه البحث درست دورة التبريد الامتصاصية العاملة على المحلول أمونيا - ماء والتي تتميز بإمكانية الحصول على درجات حرارة تبخر منخفضة تصل إلى  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  - . الشكل (1) يبين مخططاً تمثيلاً لدورة التبريد الامتصاصية أمونيا-ماء أحادية المرحلة على المخطط  $\ln P-t-X$ ، إذ تتألف الدورة تيرموديناميكياً من دورتين: دورة القدرة التي ينجزها المحلول وتتضمن المولد، ووعاء الامتصاص، والمقطر، والمبادل الحراري للمحلول (SHX)، وصمام التمدد، والمضخة، ودورة التبريد، التي ينجزها عنصر التبريد وتتضمن المكثف، وصمام التمدد، والمبخر، والمبادل البيئي بين المكثف والمبخر (CEC).



الشكل (1) مخطط تمثيلي لآلة تبريد امتصاصية أمونيا-ماء أحادية المرحلة على المخطط  $\ln P-t-X$ .

استقطب ربط دورة التبريد الامتصاصية بالطاقة الشمسية عدداً كبيراً من الباحثين، فقد طوّر الباحثون [1] نموذجاً رياضياً للسلوك الحراري أحادي البعد ضمن مركز شمسي مركّب (CPC) بطول  $35\text{ [m]}$  يُستخدم كمولد بخار الأمونيا لآلة تبريد امتصاصية أمونيا-ماء. بيّنت النتائج إمكانية الحصول على استطاعة تبريدية تصل إلى  $3.8\text{ [kW]}$  تقريباً عند درجة حرارة تبخر  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  - بمردود شمسي يصل إلى  $46.3\%$ . طوّر الباحثون [2] برنامجاً رياضياً يساعد في تصميم آلة تبريد امتصاصية أمونيا-ماء تعمل بالطاقة الشمسية ويؤدي إلى تخفيض الكلفة الكلية والأثر البيئي السلبي. خضعت عملية تحرير البخار بالطاقة الحرارية لعدد كبير من البحوث نظراً إلى أهميتها في تحليل أداء الدورة، واعتماد معايير تصميم المولد، فقد طوّر الباحثون [3] نموذجاً تجريبياً لحساب معدلات انتقال الحرارة والكتلة الموضعية لمولد أمونيا-ماء يتكوّن من قنوات صُغرية وقادر على تأمين حمل حراري قيمته  $17.5\text{ [kW]}$  لنظام مضخة حرارية منزلية. بيّن الباحثون أنّ التصميم الهندسي المقترح للمولد مناسب لمكونات آلة التبريد الامتصاصية كلها الأمر الذي يؤدي إلى اتساع سوق المضخات الحرارية الامتصاصية ذات الاستطاعات التبريدية الصغيرة. درس الباحثون [4,5,6] عملية الغليان الساكن للمحلول أمونيا-ماء تجريبياً على

التصميمي للأمونيا في المزيج البخاري المتدفق ضمن دورة التبريد، كذلك الأمر بالنسبة إلى ضغط التبخر . بالاستعانة ببرنامج PROPATh الذي يتضمن المعادلات التجريبية للمحلول أمونيا-ماء التي تعطي بارامتراتة كلها لمختلف حالاته الطورية وفق الباحثين Ibrahim and Klein تكون قيمتا الضغطين كما يأتي:

$$tC=50[°C], Z1=0.996 \rightarrow PC=20.2348[bar]$$

$$tE,i=0[°C], Z1=0.996 \rightarrow PE=4.2745[bar]$$

إن درجة حرارة بدء غليان المحلول ثنائي تعتمد على الضغط وتركيز المحلول. لذلك، ولأجل إيجاد درجة حرارة بدء غليان المحلول، يجب إيجاد تركيز المحلول الغني الداخل إلى المولد. في دارة التبريد الامتصاصية يصبح المحلول غنياً بعنصر التبريد عند مخرج وعاء الامتصاص، أي النقطة 7 في الشكل (1)، بالتالي يتم إيجاد تركيز المحلول الغني بدلالة ضغط وعاء الامتصاص ودرجة حرارته:

$$P7 = 4.2745 [bar], tA = 50 [°C] \rightarrow Z7 =$$

$$0.41472 [kgNH3/kgsoL]$$

إن تركيز المحلول الداخل إلى المولد الممثل بالنقطة 10 هو نفسه تركيز النقطة 7، بالتالي يمكننا إيجاد درجتي حرارة بدء الغليان وبدء التكاثف للمحلول الداخل إلى المولد بدلالة ضغط التكاثف والتركيز كما يتضح في الشكل (2) الذي يبين مخطط t-Z عند ضغط التكاثف.

سطح أسطواني ساخن لمعرفة تأثير التركيز الكتلي للأمونيا ومعدل التدفق الحراري والضغط في معدل انتقال الحرارة. بيّنت النتائج أنّ معدل انتقال الحرارة في المحلول ينخفض بازدياد التركيز الكتلي للأمونيا ويزداد بازدياد معدل التدفق الحراري والضغط ضمن المجال [bar] 4-8. طوّر الباحثون [7,8] المبادل الحراري الصفائحي كمولد لآلات التبريد الامتصاصية أمونيا-ماء التي تُغذّى بالحرارة من الطاقة الشمسية أو الحرارة الضائعة. بناءً على ما تقدم نجد أنّ المولد يشكل أهمية بالغة لعمل آلة التبريد الامتصاصية وأدائها، لأنّه مصدر استهلاك الطاقة الرئيسي للدارة كلها.

## 2. الدراسة التحليلية

إن وظيفة المولد G هي تحرير عنصر التبريد (الأمونيا) من المحلول السائل أمونيا-ماء من خلال تزويده بحرارة من مصدر خارجي. كما نعلم فإن غليان محلول يتكون من مادتين يجري تحت ضغط ثابت و لكن مع ارتفاع في درجة الحرارة من درجة حرارة بدء الغليان إلى درجة حرارة بدء التكاثف (تتطابق القيمتان لأجل غليان مادة نقية). لذلك فهناك مجال كبير من القيم الممكنة لدرجة حرارة المولد. إن الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير درجة حرارة المولد على أداء دارة التبريد الامتصاصية العاملة على المحلول أمونيا-ماء. لأجل ذلك اعتمدت الدارة الموضحة في الشكل (1) مع اعتبار أنّها تعمل باستقرار زمني وفق شروط مدينة دمشق حيث المكثف هوائي ودرجة حرارة التكاثف [°C] 50، ودرجة حرارة مدخل المبخر [°C] 0 والتركيز التصميمي للأمونيا عند مخرج المقطر 0.996. من الخطوات الأولى في تحليل أداء الدارة إيجاد ضغطي التكاثف والتبخر. ونظراً إلى أنّ الوسيط البخاري المتدفق من المقطر إلى المكثف هو مزيج وليس عنصر تبريد نقياً [9] فيجب معرفة بارامترين لتحديد ضغط التكاثف هما درجة حرارة التكاثف والتركيز

الجدول (2) فرضيات الدارة للحالة المدروسة.

مخارج المبادلات الحرارية للدارة كلها في حالات الإشباع
درجة حرارة المحلول الغني الداخل إلى المولد (النقطة 10) أقل بشكل ضئيل من درجة حرارة بدء غليان المحلول لتجنب الجريان ثنائي الطور.
درجة حرارة المزيج البخاري الخارج من الوعاء البيئي (النقطة 6) أعلى بشكل ضئيل من درجة حرارة بدء تكاثف المزيج لضمان تبخر قطرات السائل المسحوبة كلها مع التدفق في النقطة 5.

بعد إيجاد ضغطي التكاثف والتبخير نوجد بارامترات مخرج المبخر (النقطة 5) مع ملاحظة أن عملية التبخر تجري تحت ضغط ثابت ولكن مع ارتفاع درجة الحرارة لأن وسيط التبريد ليس أمونيا نقية، بل محلول من الأمونيا-ماء ذي التركيز الكتلي الوارد في الجدول (1). تشترك النقطة 5 مع النقطة 4 بالضغط وتركيز الأمونيا ولكن تختلف بدرجة الحرارة فتكون بارامترات النقطة 5:

$P_5 = 4.2745$  [bar],  $t_5 = 3$  [°C],  $Z_5 = 0.996$  →  
 $h_5 = 1226.387$  [kJ/kg],  $Qu_5 = 0.96719$   
 نلاحظ أن ارتفاعاً قدره 3 درجات على المبخر كلّه أدى إلى تبخر كبير، إذ وصلت قيمة كسر الجفاف إلى نحو 97%.

بارامترات مخرج المكثف (النقطة 2):

$t_2 = 50$  [°C],  $X_2 = 0.996$  →  
 $h_2 = 238.381$  [kJ/kg]

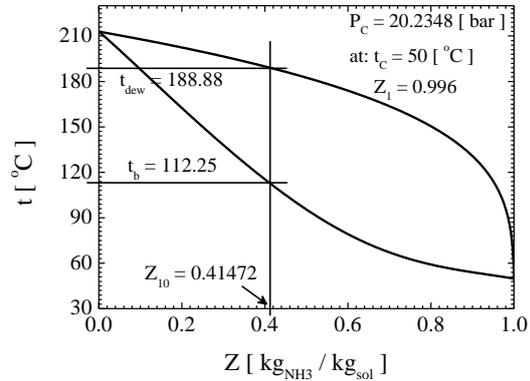
بارامترات مخرج وعاء الامتصاص (النقطة 7):

$P_7 = 4.2745$  [bar],  $t_7 = 50$  [°C] →  
 $h_7 = -9.298$  [kJ/kg],  $v_7 = 0.00119307$  [m<sup>3</sup>/kg]  
 بارامترات مخرج المولد (المحلول السائل الفقير ممثلاً

بالنقطة 11، والبخار المتحرر ممثلاً بالنقطة 14):

$P_G = 20.2348$  [bar],  $t_G = 113$  [°C] →  
 $X_{11} = 0.41114$ ,  $h_{11} = 281.224$  [kJ/kg]  
 $X_{14} = 0.95246$ ,  $h_{14} = 1531.069$  [kJ/kg]

تحديد درجة حرارة مخرج المقطر:



الشكل (2) درجتا حرارة بدء الغليان وبدء التكاثف للمحلول أمونيا-ماء للحالة المدروسة.

المنحني العلوي هو البخار المشبع والمنحني السفلي هو السائل المشبع، ويقسم هذان المنحنيان المخطط إلى ثلاث مناطق طورية، هي: منطقة سائل التبريد المععمق التي تقع أسفل منحني السائل المشبع، ومنطقة البخار المحمص التي تقع أعلى منحني البخار المشبع، ومنطقة المزيج الطوري المحصورة بين المنحنيين. ومن ثم فإن قيمة درجة الحرارة التصميمية للمولد تقع ضمن مجال كبير ضمن المتراجحة الآتية:

$$T_b = 112.25 < T_G < T_{dew} = 188.8 \quad (1)$$

قيم درجات الحرارة ضمن المتراجحة (1) كلها هي قيم ممكنة لدرجة حرارة المولد. لذلك درست الدارة للحالة الأولى ذات المعطيات المبينة في الجدول (1) التي تكون فيها درجة حرارة المولد أعلى بشكل ضئيل جداً من درجة حرارة بدء الغليان. الجدول (2) يبيّن فرضيات الدارة.

الجدول (1) معطيات الدارة للحالة المدروسة.

$t_G = 113$ [°C]	درجة حرارة المولد
$t_C = 50$ [°C]	درجة حرارة المكثف
$t_A = 50$ [°C]	درجة حرارة وعاء الامتصاص
$t_{E,i} = 0$ [°C]	درجة حرارة مدخل المبخر
$t_{E,o} = 3$ [°C]	درجة حرارة مخرج المبخر
$Z_1 = 0.996$	تركيز الأمونيا في المزيج الخارج من المقطر
$\dot{m}_1 = 0.01$ [kg/s]	معدل التدفق الكتلي للمحلول المتدفق ضمن دورة التبريد

$$h_3 = 238.381 - 1354.543 + 1226.387 \\ = 110.225 \text{ [kJ/kg]}$$

بارامترات مخرج المبادل البيني من طرف مخرج المكثف (النقطة 3):

$$P_3 = 20.2348 \text{ [bar]}, X_3 = 0.996, h_3 = 110.225 \text{ [kJ/kg]} \rightarrow: \\ t_3 = 24 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

بارامترات مخرج صمام التمدد في دورة التبريد (النقطة 4):

$$P_4 = 4.2745 \text{ [bar]}, X_4 = 0.996, h_4 = h_3 = 110.225 \text{ [kJ/kg]} \rightarrow: t_3 = 0 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

حساب معدل التدفق الكتلي للمحلول السائل الفقير الخارج من المولد (النقطة 11):

نظراً الى أنّ المولد والمقطر مجموعة واحدة تطبق معادلة توازن الكتلة الكلية عليها فنجد:

$$\dot{m}_{10} = \dot{m}_1 + \dot{m}_{11} \quad (4)$$

نطبق على المجموعة نفسها معادل توازن الكتلة للأمونيا فنجد:

$$X_{10}\dot{m}_{10} = Y_1\dot{m}_1 + X_{11}\dot{m}_{11} \quad (5)$$

بحل المعادلتين (4) و (5) نحصل على:

$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_1 \frac{Y_1 - X_{10}}{X_{10} - X_{11}} \quad (6)$$

بالتعويض نجد:

$$\dot{m}_{11} = 0.01 \frac{0.996 - 0.41472}{0.41472 - 0.41114} \\ = 1.62369 \text{ [kg/s]}$$

حساب معدل التدفق الكتلي للمحلول السائل الغني الداخل إلى المولد (النقطة 10):

بالتعويض في المعادلة (4) نجد:

$$\dot{m}_{10} = 1.62369 + 0.01 = 1.63369 \text{ [kg/s]}$$

حساب معدل التدفق الكتلي للمحلول السائل الراجع من المقطر إلى المولد (النقطة 15):

بتطبيق معادلة توازن الكتلة الكلية على المقطر نجد:

$$\dot{m}_{14} = \dot{m}_1 + \dot{m}_{15} \quad (7)$$

بتطبيق معادلة توازن الكتلة للأمونيا على المقطر نجد:

$$Y_{14}\dot{m}_{14} = Y_1\dot{m}_1 + X_{15}\dot{m}_{15} \quad (8)$$

يجري إيجاد درجة حرارة مخرج المقطر بدلالة التركيز المرغوب للأمونيا عند مخرج المقطر، وضغط التكاثف (المقطر موجود في قسم الضغط العالي للدارة):

$$P_R = 20.2348 \text{ [bar]}, Y_1 = 0.996 \rightarrow: \\ t_R = 71.93 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

بارامترات مخرجي المقطر (المزيج البخاري ممثلاً بالنقطة 1، والمحلول السائل الراجع إلى المولد ممثلاً بالنقطة 15):

$$P_R = 20.2348 \text{ [bar]}, t_R = 71.93 \text{ [}^\circ\text{C]} \rightarrow: \\ Y_1 = 0.996, h_1 = 1368.403 \text{ [kJ/kg]} \\ X_{15} = 0.65584, h_{15} = 123.902 \text{ [kJ/kg]}$$

بارامترات مدخل المولد (النقطة 10):

$$P_{10} = 20.2348 \text{ [bar]}, t_{10} = 112 \text{ [}^\circ\text{C]}, X_{10} = 0.41472 \rightarrow: \\ h_{10} = 276.098 \text{ [kJ/kg]}$$

إيجاد درجة حرارة بدء التكاثف للمحلول المتدفق ضمن المبخر:

$$P_4 = 4.2745 \text{ [bar]}, Z_4 = 0.996 \rightarrow: \\ t_{\text{dew}} = 35.65 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

اعتماد درجة حرارة مخرج المبادل البيني من طرف مخرج المبخر (النقطة 6) أعلى بقليل من درجة حرارة بدء التكاثف لضمان تبخر السائل كله الموجود ضمن التدفق للنقطة 5:

$$t_6 = 35.7 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

بارامترات مخرج المبادل البيني من طرف مخرج المبخر (النقطة 6):

$$P_6 = 4.2745 \text{ [bar]}, t_6 = 35.7 \text{ [}^\circ\text{C]}, X_6 = 0.996 \rightarrow:$$

$$h_6 = 1354.543 \text{ [kJ/kg]}$$

حساب انتالبي مخرج المبادل البيني من طرف مخرج المكثف (النقطة 3) بتطبيق قانون مصونية الطاقة على المبادل البيني:

$$\dot{m}_2(h_2 - h_3) = \dot{m}_5(h_6 - h_5) \quad (2)$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_5 \quad (3)$$

$$\Rightarrow h_3 = h_2 - h_6 + h_5$$

بالتعويض نجد:

$$h_9 = \frac{3.695}{1.63369} + (-4.552) \\ = -2.29 [kJ/kg]$$

بارامترات مخرج المقطر من طرف المحلول السائل  
الغني (النقطة 9):

$$P_9 = 20.2348 \text{ [bar]}, X_9 = 0.41472, h_9 = -2.29 \\ [kJ/kg] \rightarrow: t_9 = 51.3 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

حساب استطاعة المبادل الحراري للمحلول SHX:

بتطبيق معادلة توازن الطاقة على المبادل الحراري  
للمحلول نجد:

$$\dot{Q}_{SHX} = \dot{m}_8(h_{10} - h_9) \quad (12)$$

بالتعويض نجد:

$$\dot{Q}_{SHX} = 1.63369[276.098 - (-2.29)] \\ = 454.8 [kW]$$

حساب انتالبي مخرج المبادل الحراري للمحلول من  
طرف المحلول الفقير (النقطة 12):

بتطبيق معادلة توازن الطاقة على المبادل الحراري  
للمحلول نجد:

$$\dot{Q}_{SHX} = \dot{m}_{11}(h_{11} - h_{12}) \\ \Rightarrow h_{12} = h_{11} - \frac{\dot{Q}_{SHX}}{\dot{m}_{11}} \quad (13)$$

بالتعويض نجد:

$$h_{12} = 281.224 - \frac{454.8}{1.62369} = 1.121 [kJ/kg]$$

بارامترات مخرج المبادل الحراري للمحلول من طرف  
المحلول الفقير (النقطة 12):

$$P_{12} = 20.2348 \text{ [bar]}, X_{12} = 0.41114, h_{12} = \\ 1.121 [kJ/kg] \rightarrow:$$

$$t_{12} = 51.93 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

مخرج صمام التمدد لدورة القدرة (النقطة 13) مع  
ملاحظة أن عملية التمدد تجري بثبات الانتالبي:

$$P_{13} = 4.2745 \text{ [bar]}, X_{13} = 0.41114, h_{13} = \\ 1.121 [kJ/kg] \rightarrow:$$

$$t_{13} = 51.02 \text{ [}^\circ\text{C]}, Qu_{13} = 0.00347$$

حساب استطاعة المبادل البيئي CEC:

بتطبيق معادلة توازن الطاقة على المبادل البيئي نجد:

$$\dot{Q}_{CEC} = \dot{m}_5(h_6 - h_5) \quad (14)$$

بحل المعادلتين (7) و (8) نحصل على:

$$\dot{m}_{15} = \dot{m}_1 \frac{Y_1 - Y_{14}}{Y_{14} - X_{15}} \quad (9)$$

بالتعويض نجد:

$$\dot{m}_{15} = 0.01 \frac{0.996 - 0.95246}{0.95246 - 0.65584} \\ = 0.00147 [kg/s]$$

حساب معدل التدفق الكتلي للمزيج البخاري الخارج من

المولد (النقطة 14):

بالتعويض في المعادلة (7) نجد:

$$\dot{m}_{14} = 0.01 + 0.00147 = 0.01147 [kg/s]$$

حساب استطاعة المقطر:

بتطبيق معادلة توازن الطاقة على المقطر نجد:

$$\dot{Q}_R = \dot{m}_{14}h_{14} - \dot{m}_1h_1 - \dot{m}_{15}h_{15} \quad (10)$$

بالتعويض نجد:

$$\dot{Q}_R = (0.01147 \times 1531.069) \\ - (0.01 \times 1368.403) \\ - (0.00147 \times 123.902) \\ = 3.695 [kW]$$

بارامترات مخرج مضخة دورة القدرة (النقطة 8):

نظراً الى أن السائل غير قابل للانضغاط فالحجم

النوعي لمخرج المضخة هو نفسه لمدخلها:

$$P_8 = 20.2348 \text{ [bar]}, X_8 = 0.41472, v_8 = v_7 = \\ 0.00119307 \text{ [m}^3\text{/kg]} \rightarrow:$$

$$t_8 = 50.79 \text{ [}^\circ\text{C]}, h_8 = -4.552 [kJ/kg]$$

حساب انتالبي مخرج المقطر من طرف المحلول

السائل الغني (النقطة 9):

بتطبيق معادلة توازن الطاقة على المقطر اذ ان الحرارة

المطروحة من عملية التقطير يحصل عليها المحلول

السائل الغني القادم من المضخة وفق ما هو واضح في

الشكل (1) نجد:

$$\dot{Q}_R = \dot{m}_8(h_9 - h_8) \Rightarrow h_9 = \frac{\dot{Q}_R}{\dot{m}_8} + h_8 \quad (11)$$

بالتعويض نجد:

$$\dot{W}_P = \dot{m}_7(h_8 - h_7) \quad (19)$$

بالتعويض نجد:

$$\dot{W}_P = 1.63369[-4.552 - (-9.298)] = 7.7535[kW]$$

حساب معامل الأداء (مع عدم إهمال عمل المضخة):

$$COP = \frac{\dot{Q}_E}{\dot{Q}_G + \dot{W}_P} \quad (20)$$

بالتعويض نجد:

$$COP = \frac{11.1616}{22.9413 + 7.7535} = 0.36363$$

حساب عامل التدوير:

$$CF = \frac{\dot{m}_{10}}{\dot{m}_1} \quad (21)$$

بالتعويض نجد:

$$CF = \frac{1.63369}{0.01} = 163.369$$

يبين عامل التدوير كمية المحلول السائل الغني بعنصر التبريد اللازم ضخها لتوليد 1 كغ من البخار في المولد، ولذلك يجب أن تكون قيمته منخفضة قدر الإمكان.

بعد إنجاز الحسابات كلها للحالة الأولى من درجة حرارة المولد تم إنجاز الحسابات وفق الخطوات المشروحة أعلاه للحالات الإضافية المختلفة لقيم درجة حرارة المولد المبيّنة في الجدول (3).

الجدول (3) الحالات الإضافية المدروسة لدرجات حرارة المولد

المختلفة  $t_G$  [°C]

114	115	116	117	118	121
124	127	130	133	136	139

يجب التنويه إلى أنه عند دراسة الحالة الأولى التي كانت درجة حرارة المولد فيها  $t_G = 113$  [°C] فرضت قيمة معدل التدفق الكتلي للمزيج البخاري الخارج من المقطر والمتدفق إلى المبخر كما يبينه الجدول (1)، ومن مراحل الحل حسب معدل التدفق الكتلي للمحلول السائل الغني الخارج من وعاء الامتصاص (النقطة 10) الذي هو أعلى معدل تدفق كتلي لكامل الدارة. نظراً إلى أن هدف البحث هو دراسة تأثير درجة حرارة المولد ومن ثم سيتم

بالتعويض نجد:

$$\dot{Q}_{CEC} = 0.01(1354.543 - 1226.387) = 1.282[kW]$$

حساب استطاعة المولد:

بتطبيق معادلة توازن الطاقة على المولد نجد:

$$\dot{Q}_G = \dot{m}_{14}h_{14} + \dot{m}_{11}h_{11} - \dot{m}_{10}h_{10} - \dot{m}_{15}h_{15} \quad (15)$$

بالتعويض نجد:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_G &= (0.01147 \times 1531.069) \\ &+ (1.62369 \times 281.224) \\ &- (1.63369 \times 276.098) \\ &- (0.00147 \times 123.902) \\ &= 22.9413[kW] \end{aligned}$$

حساب استطاعة وعاء الامتصاص:

بتطبيق معادلة توازن الطاقة على وعاء الامتصاص

نجد:

$$\dot{Q}_A = \dot{m}_{13}h_{13} + \dot{m}_6h_6 - \dot{m}_7h_7 \quad (16)$$

بالتعويض نجد:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_A &= (1.62369 \times 1.121) \\ &+ (0.01 \times 1354.543) \\ &- [1.63369 \times (-9.298)] \\ &= 30.5556[kW] \end{aligned}$$

حساب استطاعة المكثف:

بتطبيق معادلة توازن الطاقة على المكثف نجد:

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_1(h_1 - h_2) \quad (17)$$

بالتعويض نجد:

$$\dot{Q}_C = 0.01(1368.403 - 238.381) = 11.3002[kW]$$

حساب استطاعة المبخر (الاستطاعة التبريدية):

بتطبيق معادلة توازن الطاقة على المبخر نجد:

$$\dot{Q}_E = \dot{m}_4(h_5 - h_4) \quad (18)$$

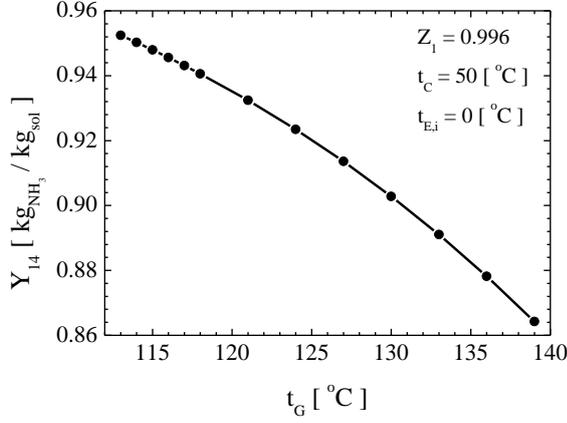
بالتعويض نجد:

$$\dot{Q}_E = 0.01(1226.387 - 110.225) = 11.1616[kW]$$

حساب عمل المضخة:

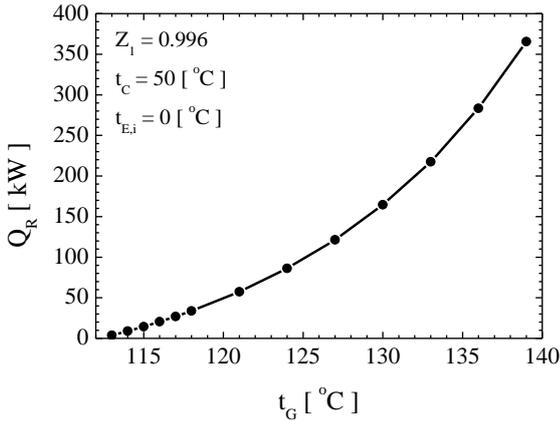
بتطبيق معادلة توازن الطاقة على المضخة نجد:

بخار الماء فضلاً عن بخار الأمونيا، أي ازدياد تركيز الماء في البخار المتحرر .



الشكل (5) تغير تركيز الأمونيا في المزيج البخاري المتحرر من المولد، النقطة 14، مع درجة حرارة المولد.

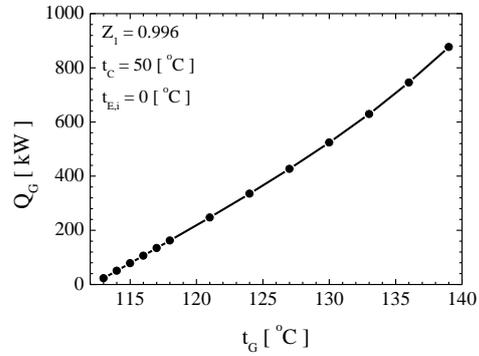
يؤدي هذا إلى ازدياد الاستطاعة الحرارية للمقطر كما يبينه الشكل (6). بالمحصلة فإن معدل التدفق الكتلي للمزيج البخاري الخارج من المقطر، الذي يتمتع بالتركيز التصميمي للأمونيا، متجهاً إلى المكثف يزداد مع ارتفاع درجة حرارة المولد كما يبينه الشكل (7). إن الأثر الإيجابي لهذه النقطة هو ازدياد الاستطاعة التبريدية كما يبينه الشكل (8).



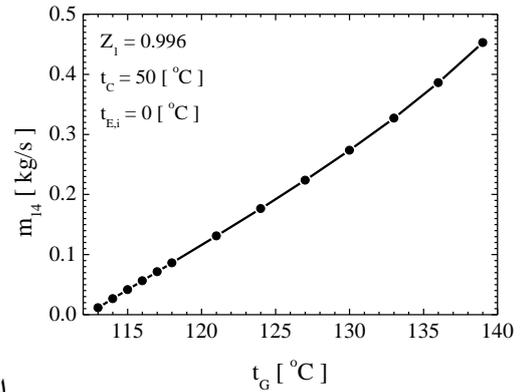
الشكل (6) تغير استطاعة المقطر مع درجة حرارة المولد.

رفع درجة حرارة المولد بالقيم الواردة في الجدول (3) للدائرة نفسها، مما يقضي بضرورة تثبيت معدل التدفق الكتلي للنقطة 10، الذي نتجت قيمته من دراسة الحالة الأولى، وليس للنقطة 1.

الشكل (3) يبين تغير استطاعة المولد مع درجة حرارته. نلاحظ من الشكل ارتفاع قيمة الطاقة الحرارية اللازمة للمولد نتيجة ارتفاع درجة حرارته. إن الأثر المباشر لارتفاع درجة حرارة المولد هي تحرير كمية أكبر من البخار، النقطة 14، ويظهر ذلك جلياً في الشكل (4).



الشكل (3) تغير استطاعة المولد مع درجة حرارته

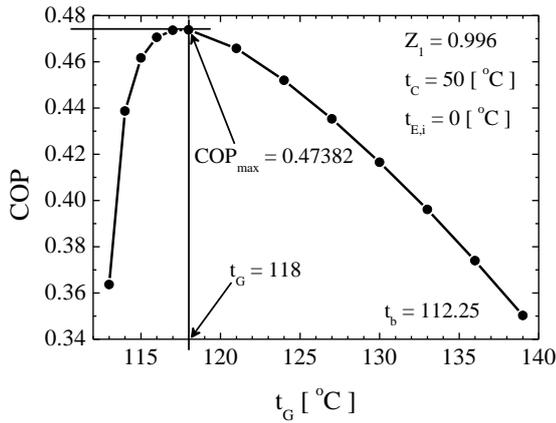


الشكل

(4) تغير معدل التدفق الكتلي للمخرج البخاري للمولد، النقطة 14، مع درجة حرارة المولد.

لكن الأثر السلبي المترافق مع رفع درجة حرارة المولد هو الانخفاض الشديد لتركيز الأمونيا في المزيج البخاري المتحرر كما يبينه الشكل (5) والسبب في ذلك هو تحرير

تؤدي هذه التأثيرات بمجملها إلى تغيير معامل الأداء بطريقة محددة تظهر في الشكل (10) اذ نلاحظ الارتفاع الحاد لمعامل الأداء إلى قيمة أعظمية، ومن ثم انخفاضه بشكل تدريجي. ومن ثم هناك قيمة محددة لدرجة حرارة المولد تعطي أعلى قيمة لمعامل أداء الدارة، التي هي للحالة المدروسة  $118 [^{\circ}\text{C}]$ .



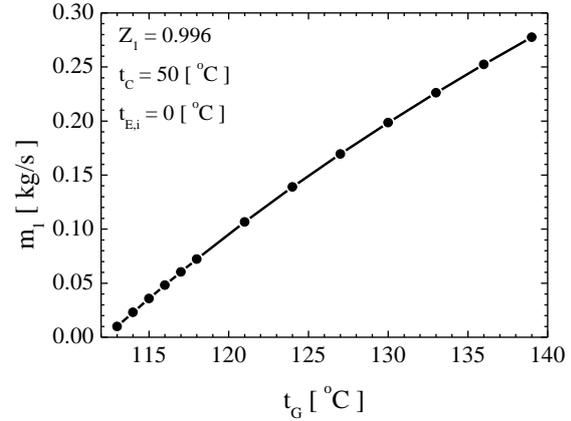
الشكل (10) تغير معامل الأداء مع درجة حرارة المولد.

لدراسة تأثير درجة حرارة التبخر في معامل الأداء تم إنجاز الحسابات المشروحة فيما سبق لأجل درجات حرارة تبخر مختلفة كما هو مبين في الجدول (4) مع ثبات درجة حرارة التكاثر  $t_c = 50 [^{\circ}\text{C}]$ .

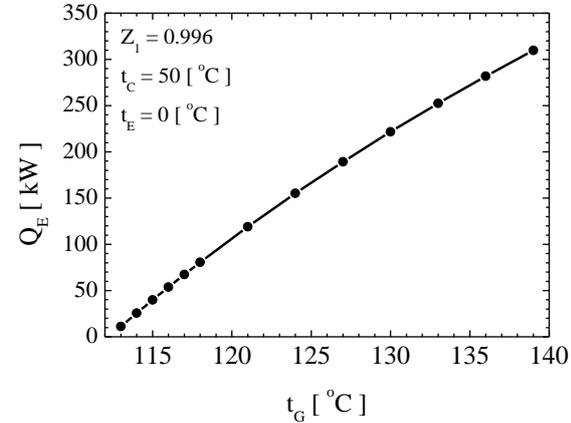
الجدول (4) درجات حرارة التبخر الإضافية المدروسة.

$t_E [^{\circ}\text{C}]$	-10	-20	-30
--------------------------	-----	-----	-----

يؤدي انخفاض درجة حرارة التبخر إلى انخفاض ضغط التبخر الذي يسود المبخّر، وكذلك وعاء الامتصاص، الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض تركيز الأمونيا في المحلول الغني عند مخرج وعاء الامتصاص الذي لم تتغير درجة حرارته. يؤدي ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة بدء غليان المحلول، كما يبينه الشكل (11). لذلك ولأجل سهولة مقارنة حالات درجات حرارة التبخر المدروسة كلّها رسمت تبعية معامل الأداء ليس مع درجة حرارة المولد، وإنما مع نسبة  $t_G$  إلى  $t_b$  كما يتضح في الشكل (12).

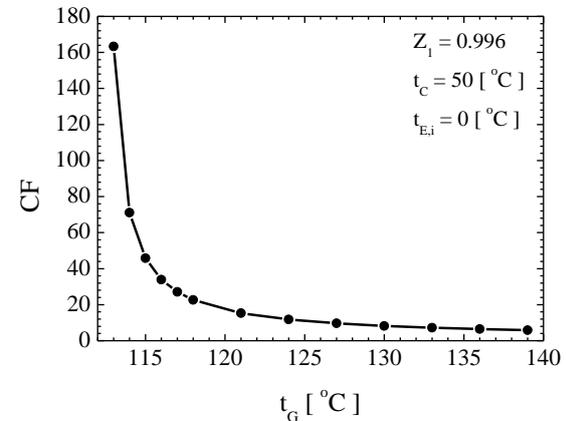


الشكل (7) تغير معدل التدفق الكتلي للمخرج البخاري للمقطر، النقطة 1، مع درجة حرارة المولد.



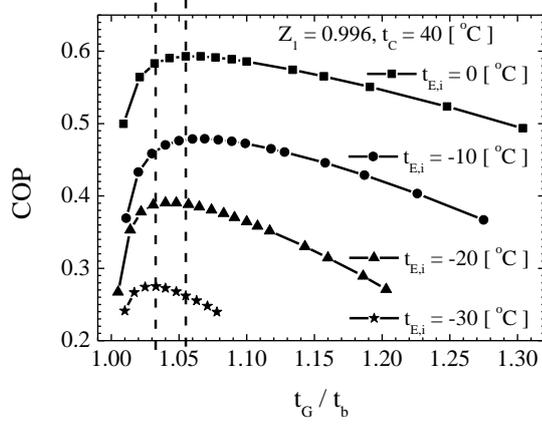
الشكل (8) تغير الاستطاعة التبريدية مع درجة حرارة المولد.

الشكل (9) يبين تغير عامل التدوير مع درجة حرارة المولد اذ نلاحظ الانخفاض الشديد جداً عند ازدياد بسيط في درجة حرارة المولد ليصبح بعدها الانخفاض تدريجياً.



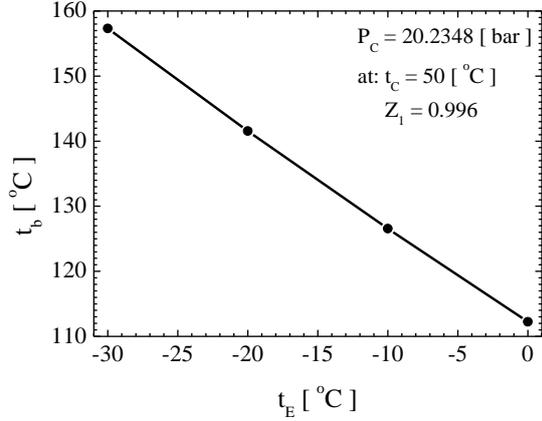
الشكل (9) تغير عامل التدوير مع درجة حرارة المولد.

التبخّر. نلاحظ أيضاً أنّ قيم معامل الأداء الأعظمية تتحقق ضمن المجال من 1.033 إلى 1.055 للنسبة  $t_G/t_b$  لحالة درجة حرارة التكاثف  $40 [^{\circ}\text{C}]$ . بمقارنة الشكلين (12) و(13) نجد أنّ مجال النسبة  $t_G/t_b$  التي تعطي أعلى معامل أداء يضيق مع انخفاض درجة حرارة التكاثف. نجد أيضاً أنّ درجة حرارة المولد التي تعطي أعلى قيمة لمعامل الأداء تكون قريبة جداً من درجة حرارة بدء غليان المحلول الغني في المولد مهما كانت درجة حرارة التبخّر ودرجة حرارة التكاثف.

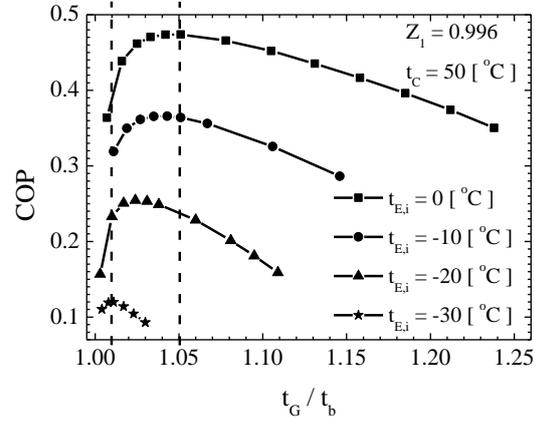


الشكل (13) تغير معامل الأداء مع النسبة  $t_G/t_b$  لحالة درجة حرارة التكاثف  $t_c = 40 [^{\circ}\text{C}]$

بعد إنجاز هذه الدراسة وتحديد قيمة درجة حرارة المولد التي تعطي أعلى قيمة لمعامل أداء دارة التبريد الامتصاصية لشروط الحالة المدروسة ومعطياتها يصبح جديراً بالذكر أنّ درجة الحرارة عن طريق الطاقة الشمسية تزيد على  $170 [^{\circ}\text{C}] \sim 150 [^{\circ}\text{C}]$ ، الأمر الذي يساعد كثيراً في اختيار نوع المجمع الشمسي المزمع استخدامه بحيث يؤمن الطاقة الحرارية اللازمة عند درجة الحرارة المطلوبة بمرود جيد. من الواضح أنّ المجمعات الشمسية المسطحة لا تقي بالغرض، ومن ثمّ يجب استخدام إمّا المجمعات ذات الأنابيب المفرّعة، أو المركّزات الشمسية الخطية ذات القطع المكافئ.

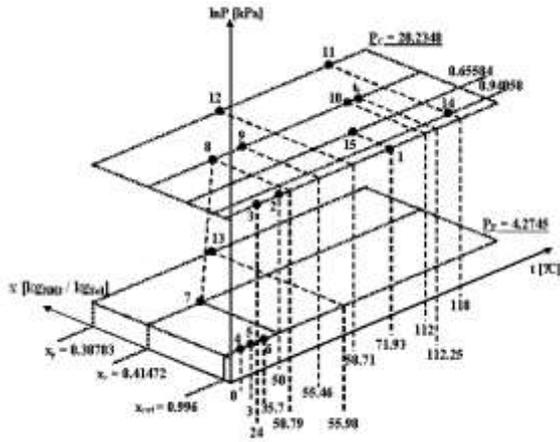


الشكل (11) ارتفاع درجة حرارة بدء الغليان للمحلول الغني مع انخفاض درجة حرارة التبخّر.



الشكل (12) تغير معامل الأداء مع النسبة  $t_G/t_b$  لحالة درجة حرارة التكاثف  $t_c = 50 [^{\circ}\text{C}]$

نلاحظ من الشكل (12) انخفاض معامل الأداء انخفاضاً كبيراً مع انخفاض درجة حرارة التبخّر. نلاحظ أيضاً أنّ قيم معامل الأداء الأعظمية تتحقق ضمن المجال من 1.011 إلى 1.051 للنسبة  $t_G/t_b$ . لدراسة تأثير درجة حرارة التكاثف في السلوك المبين أعلاه تم إنجاز الحسابات المشروحة فيما سبق لأجل درجة حرارة تكاثف مختلفة هي  $t_c = 40 [^{\circ}\text{C}]$ . الشكل (13) يبيّن تغير معامل الأداء مع النسبة  $t_G/t_b$  لحالة درجة حرارة التكاثف الجديدة، ولأجل درجات حرارة التبخّر المختلفة المعتبرة إذ نلاحظ انخفاض معامل الأداء انخفاضاً كبيراً مع انخفاض درجة حرارة



الشكل (15) تمثيل نقاط الدارة كلها على مخطط فراغي lnP-t-X للحالة  $t_{E,i} = 0$  [°C] و  $t_c = 50$  [°C] و  $t_g = 118$  [°C]

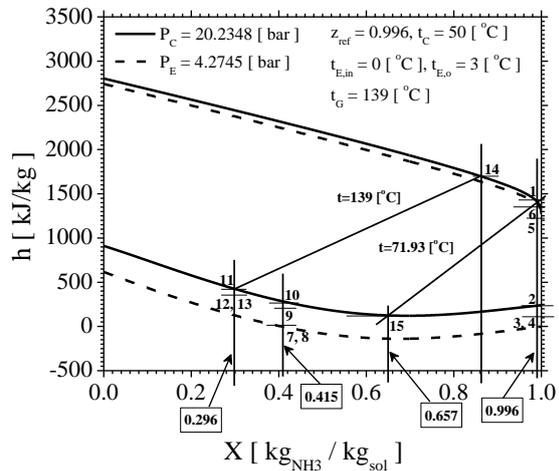
### 3. النتائج:

(1) تتحقق أعلى قيمة لمعامل الأداء ضمن المجال من 1.011 إلى 1.055 للنسبة  $t_g/t_b$ ، أي عند درجة حرارة قريبة جداً من درجة حرارة بدء الغليان للمحلول في المولد للحالات المدروسة كلها . مع العلم أن إيجاد درجة حرارة بدء الغليان للمحلول يجري من خلال معرفة تركيز المحلول الغني بعنصر التبريد وضغط التكاثف.

(2) تسهل النتيجة رقم 1 عملية اختيار نوع المجمع الشمسي الذي يستخدم لتأمين الطاقة الحرارية لمولد الدارة الامتصاصية إذ أنه تصنف المجمعات الشمسية تبعاً لدرجة الحرارة التي يمكن الحصول عليها بمرود جيد.

(3) درجة حرارة المولد، التي تعطي أعلى قيمة لمعامل الأداء تكون قريبة جداً من درجة حرارة بدء غليان المحلول الغني في المولد مهما كانت درجة حرارة التبخر ، ودرجة حرارة التكاثف.

يبين الشكل (14) نقاط الدارة كلها من خلال رسمها على المخطط h-X لحالة محددة تتضح بارامترتها على الشكل نفسه [10].



الشكل (14) رسم الدارة على المخطط h-X لحالة محددة.

يبين الشكل (15) نقاط الدارة كلها من خلال رسم تمثيلي فراغي لها على المخطط lnP-t-X لحالة محددة. من ميزات هذا المخطط هو توضيح الموضع الدقيق لكل نقطة من نقاط الدارة. على سبيل المثال النقطة 7 تمثل مخرج وعاء الامتصاص ومدخل المضخة، والنقطة 8 تمثل مخرج المضخة ومدخل المقطر. تشترك هاتان النقطتان بالتركيز لذلك تقعان بمستوى التركيز نفسه الغني  $X_f = 0.41472$ . تختلف النقطتان بالضغط، لذلك تقع النقطة 7 في مستوى الضغط المنخفض  $P_E = 4.2745$  [bar] في حين تقع النقطة 8 في مستوى الضغط المرتفع  $P_C = 20.2348$  [bar]. وأخيراً تختلف النقطتان اختلافاً بسيطاً بدرجة الحرارة لذلك تقع النقطة 7 في مستوى درجة الحرارة  $t_7 = 50$  [°C] في حين تقع النقطة 8 في مستوى درجة الحرارة  $t_8 = 50.79$  [°C].

4) يضيق مجال النسبة  $t_g/t_b$  الذي يعطي أعلى معامل أداء مع انخفاض درجة حرارة التكاثر.

5) مهما كانت درجة حرارة التكاثر ودرجة حرارة التبخر، فإنَّ معامل أداء الدارة يتغير بطريقة واحدة مع ارتفاع درجة حرارة المولد تتمثل بازدياد حاد إلى قيمة أعظمية، ثم انخفاض تدريجي.

6) انخفاض درجة حرارة التبخر مع بقاء درجة حرارة التكاثر ثابتة يؤدي إلى انخفاض شديد لمعامل الأداء.

7) انخفاض درجة حرارة التكاثر مع بقاء درجة حرارة التبخر ثابتة يؤدي إلى ارتفاع معامل الأداء.

### الدلائل السفلية:

<i>A</i>	وعاء الامتصاص
<i>b</i>	بدء الغليان
<i>C</i>	المكثف
<i>dew</i>	بدء التكاثر
<i>E</i>	المبخر
<i>E, i</i>	مدخل المبخر
<i>E, o</i>	مخرج المبخر
<i>G</i>	المولد
<i>in</i>	داخل
<i>out</i>	خارج
<i>Pu</i>	المضخة
<i>R</i>	المقطر
<i>sol</i>	محلول
<i>tot</i>	كلي
<i>v</i>	بخار
1~15	نقاط الدارة المختلفة

### الرموز والمصطلحات:

<i>CEC</i>	المبرد البيئي مكثف - مبخر
<i>CF</i>	عامل التدوير
<i>COP</i>	معامل الأداء
$\dot{E}$ [kW]	طاقة
<i>E.V</i>	صمام التمدد
$h$ [kJ/kg]	الانتالبي
$\dot{m}$ [kg/s]	معدل التدفق الكتلي
<i>P</i> [bar]	الضغط
$\dot{Q}$ [kW]	الإستطاعة الحرارية
$Q_u$ [kg <sub>v</sub> /kg <sub>tot</sub> ]	كسر الجفاف
<i>SHX</i>	المبادل الحراري للمحلول
<i>t</i> [°C]	درجة الحرارة
$V$ [m <sup>3</sup> /kg]	الحجم النوعي
$\dot{W}$ [kW]	العمل
$X$ [kg <sub>NH3</sub> /kg <sub>sol</sub> ]	التركيز الكتلي للأمونيا في الطور السائل للحالة المعتبرة
$Y$ [kg <sub>NH3</sub> /kg <sub>sol</sub> ]	التركيز الكتلي للأمونيا في الطور البخاري للحالة المعتبرة
$Z$ [kg <sub>NH3</sub> /kg <sub>sol</sub> ]	التركيز الكتلي الكلي للأمونيا للحالة المعتبرة

## REFERENCES المراجع

1. N. Ortega, et al., "Two-phase flow modeling of a solar concentrator applied as ammonia vapor generator in an absorption refrigerator". *Renewable Energy* 33 (2008) 2064-2076.
2. Berhane H. Gebreslassie, et al., "A systematic tool for the minimization of the life cycle impact of solar assisted absorption cooling systems". *Energy* 35 (2010) 3849-3862.
3. Matthew D. Determan, et al., "Ammonia-water desorption heat and mass transfer in microchannel devices". Matthew D. Determan.
4. Francisco Taboas, et al., "Pool boiling of ammonia/water and its pure components: Comparison of experimental data in the literature with the predictions of standard correlations". *International Journal of Refrigeration* 30 (2007) 778-788.
5. A. Sathyabhama, et al., "Experimental investigation in pool boiling heat transfer of ammonia/water mixture and heat transfer correlations". *International Journal of Heat and Fluid Flow* 32 (2011) 719-729.
6. Toshiaki Inoue, et al., "Enhancement of nucleate pool boiling heat transfer in ammonia/water mixtures with a surface-active agent". *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55 (2012) 3395-3399.
7. Francisco Taboas, et al., "Flow boiling heat transfer of ammonia/water mixture in a plate heat exchanger". *International Journal of Refrigeration* 33 (2010) 695 - 705.
8. Francisco Taboas, et al., "Assessment of boiling heat transfer and pressure drop correlations of ammonia/water mixture in a plate heat exchanger". *International Journal of Refrigeration* 35 (2012) 633-644.
9. Jose Fernandez-Seara, et al., "The importance of the ammonia purification process in ammonia-water absorption systems". *Energy Conversion and Management* 47 (2006) 1975-1987.

10. أ.د.م. نديم مخيير، د.م. علي عيسى "هندسة التبريد". منشورات جامعة دمشق 2008.

Received	2017/01/12	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2017/08/21	قبول البحث للنشر