

## Thermal Analysis of Adsorption Refrigeration Cycle Works using Solar Energy

Dr. Atef Amer\*

(Received 23 / 1 / 2019. Accepted 8 / 4 / 2019)

### □ ABSTRACT □

The objective of this paper is to investigate the adsorption refrigeration cycle as a promising refrigeration technique that works using clean resources. The major aim is achieving energy-efficient system compared to the traditional system. This is approached by applying the equations of heat and mass equilibrium for a two-stage adsorption refrigeration cycle, taking into consideration the climate conditions in Syria.

We solved the equations numerically to study the effects of different parameters changes. It is proved that the studied cycle can reach a relatively low temperature as -32 [°C]. Moreover, it can be operated in ambient temperature as high as 53 [°C]. In contrast, the coefficient of performance decreases with the decrease of the internal temperature and the increase of the ambient temperature. Additionally, the study shows that increase of the cooling load causes an accelerated reduction in the coefficient of performance.

**Keywords:** Thermal Analysis, Adsorption Refrigeration Cycle, Coefficient of Performance, Desorption.

---

\* Associate Professor, Department of Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Damascus University

## التحليل الحراري لدارة تبريد امتزازية باستخدام الطاقة الشمسية

د. عاطف عامر\*

(تاريخ الإيداع 23 / 1 / 2019. قُبِلَ للنشر في 8 / 4 / 2019)

### □ ملخص □

إن الغاية من هذا البحث هو استخدام دارة التبريد الإمتزازية كتقنية واحدة في مجال التبريد المقاد بالطاقات النظيفة بهدف توفير الطاقة وذلك من خلال وضع المعادلات الناظمة للتوازن الحراري والكتلي لدارة تبريد إمتزازية ثنائية المرحلة وإجراء الحسابات ضمن الشروط التصميمية في سوريا تمت برمجة كافة المعادلات ضمن برنامج حاسوبي ودراسة أثر تغير بعض البارامترات المؤثرة على الدارة وتوصلنا إلى أن الدارة المدروسة يمكن أن تحقق درجات حرارة منخفضة حتى  $[-32\text{ }^{\circ}\text{C}]$  وقادرة على العمل حتى درجات حرارة خارجية  $[53\text{ }^{\circ}\text{C}]$  ولكن معامل الأداء للدارة ينخفض مع انخفاض درجة الحرارة الداخلية المطلوبة ومع ارتفاع درجات الحرارة الخارجية كما أن زيادة الحمل المطلوب تحقيقه يؤدي إلى تناقص متسارع لمعامل الأداء.

**الكلمات المفتاحية:** التحليل الحراري، دارة التبريد الإمتزازية، معامل الأداء، الإلتفاظ.

\* أستاذ مساعد- قسم هندسة القوى الميكانيكية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق - سورية

## مقدمة

بدأ الاهتمام بدارة التبريد الامتزازية (Adsorption Refrigeration cycle) في عشرينيات القرن الماضي من قبل الباحث MILLER [1] عن طريق استخدام السيلكا جل وثاني أكسيد الكبريت، ولكن توفر الطاقة الكهربائية وظهور وسائط التبريد ودارة التبريد الانضغاطية ذات معامل الأداء المرتفع والمجدي اقتصاديا أدى إلى تراجع الأهتمام بدارة التبريد الإمتزازية ولكنها عادت لتلقت الأنظار في السبعينات بسبب أزمة النفط ومخاوف الباحث من نقص الطاقة وكذلك في التسعينيات بسبب اكتشاف المشاكل البيئية التي تسببها مواد (الكلوروفلوروكربونات والهيدروكلوروفلوروكربونات) المستخدمة كوسائط تبريد في الدارة الإنضغاطية من استنزاف لطبقة الأوزون والمساهمة في زيادة تأثير الاحتباس الحراري. إضافة إلى ذلك فإن الإستهلاك المتزايد للطاقة والتي تحوز تطبيقات التبريد والراحة الحرارية الحصة الأكبر منها، جعل ترشيد استهلاك موارد الطاقة واستخدام آليات الإسترجاع الحراري والتقنيات ذات الكفاءة العالية ضرورات ملحة، وبالتالي فإن دارة التبريد الإمتزازية تمثل بديلا واعدا وملائما ونظيفا. ولذلك ظهرت عدة أبحاث تهدف إلى تعزيز هذه الفكرة كان منها صانع الثلج الإمتزازي المقاد بالطاقة الشمسية والذي يعود الفضل الأساسي فيه إلى الباحث [2] Tchernev والذي اعتمد كل من الباحثين [3] Pons and Guillemimot على نتائجه لتطوير نموذج آله تبريد امتزازية (كربون منشط، ميثانول) بمنبع حراري شمسي تنتج 6 كغ من الثلج يوميا بمعامل أداء 0.12. كما طور الباحث [4] Zhang مكيف هواء امتزازي مقاد بغازات العادم بإنتاجية تبريدية نوعية  $25.7 [W/kg]$  ومعامل أداء 0.38 بالإضافة إلى أبحاث أخرى عديدة كان الهدف منها الوصول إلى دارة تبريد إمتزازية مقادة بأحد مصادر الطاقة المتجددة أو آليات الإسترجاع الحراري.

## أهمية البحث وأهدافه

تكمن أهمية البحث في وضع دراسة تحليلية حرارية لدارة تبريد إمتزازية مقادة بالطاقة الشمسية وذلك من خلال وضع معادلات التوازن الحراري والكتلي الناظمة لجميع أجزاء الدارة وبرمجتها حاسوبيا بهدف محاكاة الدارة ودراسة تأثير تغير مختلف البارامترات الأساسية للدارة على عملها والحصول على أعلى معامل أداء ممكن والوصول إلى نظام عمل أمثل.

## طرائق البحث ومواده

في بداية العمل كان لا بد من دراسة مرجعية للتعرف على دارة التبريد الإمتزازية وتوضيح آلية عملها ومن ثم أخذ نموذج لدارة إمتزازية بمرحلتين (سريري امتزاز) [5] ومن أجل الوصول إلى هدف البحث تم اتباع الخطوات التالية:

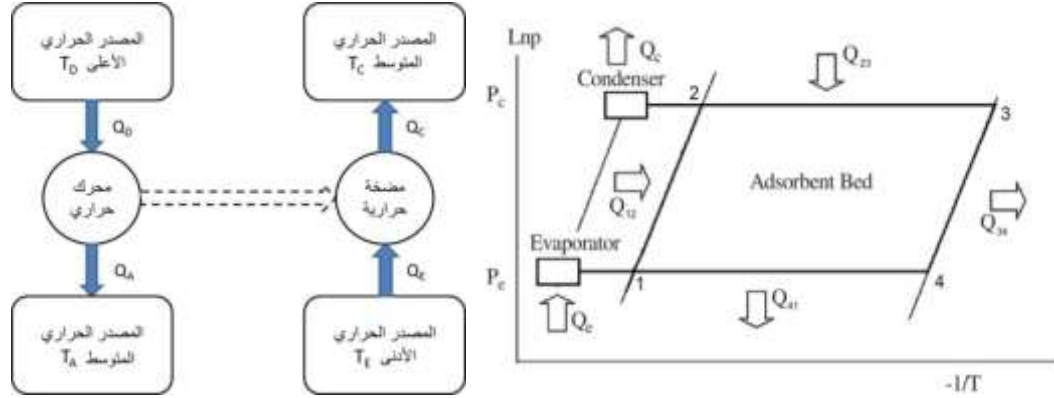
- وضع المعادلات الناظمة لآلية عمل الدارة كدارة ترموديناميكية حرارية.
- اختيار الزوج العامل المناسب لعمل الدارة المقترحة وتنفيذ مخطط (P-T-X) الذي يوضح علاقة كل من درجة الحرارة والضغط بالتركيز بهدف تحديد نقاط الدارة الترموديناميكية.
- استنتاج مجموعة من المخططات التي تبين سلوك بعض بارامترات الدارة وتأثيراتها على البارامترات الأخرى للوصول إلى نظام العمل الأمثل.

### مواصفات دارة التبريد الامتزازية ومبدأ عملها [7,6]:

تتكون دارة التبريد الامتزازية كما الدارة الانضغاطية من مكثف ومبخر وصمام تمدد ولكن يتم استبدال الضاغط بأسرة الامتزاز في الدارة الامتزازية والتي تؤدي نفس وظيفة الضاغط في رفع ضغط وسيط التبريد وذلك من خلال امتزازه ضمن مادة مازة مناسبة ورفع درجة حرارة الجملة حتى درجة حرارة معينة (يتم تحديدها من مخطط [P-T-X] للحصول على الضغط المطلوب).

وتتألف ترموديناميكيا من دارتين، دارة تبريد ودارة محرك حراري حيث يتم توظيف العمل الناتج من دارة المحرك الحراري في رفع ضغط وسيط التبريد العامل في دارة التبريد. وبذلك فهي تعمل ضمن ثلاث سويات طاقة. السوية العليا والتي يتم تأمينها من المنبع الحراري، السوية المتوسطة والتي تتحدد بدرجة حرارة الوسط الخارجي والسوية الدنيا المتمثلة بدرجة الحرارة المطلوب تحقيقها في الفراغ المبرد.

تتألف الدارة من أربع إجراءات، إجراءات بثبات الضغط وإجراءين بثبات التركيز (حيث يمثل التركيز نسبة كتلة بخار وسيط التبريد ضمن واحدة الكتلة من المادة المازة) كما هو موضح في الشكل (1).



الشكل (1) عمليات تبادل الحرارة والإجراءات الترموديناميكية لدارة التبريد الامتزازية المثالية

• **الإجراء (2-1):** هي عملية تسخين بثبات التركيز تكون فيها الصمامات بين سرير الامتزاز وكل من المبخر والمكثف مغلقة، حيث يتم رفع درجة حرارة الجملة (المادة المازة، وسيط التبريد، معدن حاوية سرير الامتزاز) من درجة حرارة التوازن للجملة  $T_1$  إلى درجة حرارة بدء الالتقاط  $T_2$  ولكن بدون حدوث التفاضل. وتعطى كمية الحرارة اللازم تقديمها للجملة خلال هذا الإجراء بالعلاقة:

$$Q_{1,2} = [m \cdot (C_{p,ad} + x \cdot C_{p,ref}) + m_{bed} \cdot C_{p,bed}] * (T_2 - T_1) \dots \dots (1)$$

• **الإجراء (3-2):** وهي عملية تسخين بثبات الضغط ويكون الصمام بين سرير الامتزاز والمكثف مفتوحاً، يتم خلالها التفاضل وسيط التبريد من المادة المازة، ويكون الضغط خلال العملية مساوياً لضغط التكاثف في الدارة وفي نهاية هذه العملية يكون تركيز وسيط التبريد ضمن المادة المازة هو أقل تركيز في الدارة ودرجة الحرارة هي أعلى درجة حرارة في الدارة وتعطى كمية الحرارة اللازمة للعملية بالعلاقة:

$$Q_{2,3} = [m \cdot (C_{p,ad} + x \cdot C_{p,ref}) + m_{bed} \cdot C_{p,bed}] * (T_3 - T_2) + m \cdot \Delta h_{sor} * (x_{max} - x_{min}) \dots \dots \dots (2)$$

نلاحظ أن كمية الحرارة في القسم الأول من المعادلة يستخدم لرفع درجة حرارة الجملة والقسم الآخر لطاقة الامتزاز.

• **الإجراء (3-4):** وهي عملية تبريد بثبات التركيز وتكون الصمامات بين السرير وكل من المبخر والمكثف مغلقة، وتخفض درجة الحرارة من أعلى درجة حرارة في الدارة إلى درجة الحرارة الموافقة لضغط التبخر. وتعطى كمية الحرارة خلال هذه العملية بالعلاقة:

$$Q_{3.4} = [m \cdot (C_{p.ad} + x \cdot C_{p.ref}) + m_{bed} \cdot C_{p.bed}] * (T_4 - T_3) \dots \dots (3)$$

• **الإجراء (1-4):** هي عملية تبريد بثبات الضغط وهي العملية التي تحدث خلالها عملية الامتزاز حيث يرتفع تركيز وسيط التبريد ضمن المادة المازة من أخفض تركيز في الدارة إلى أعلى تركيز، حيث يكون الصمام بين المبخر وسرير الامتزاز مفتوحاً. وتعطى كمية الحرارة خلال هذه العملية بالعلاقة:

$$Q_{4.1} = [m \cdot C_{p.ad} + x \cdot C_{p.ref} + m_{bed} \cdot C_{p.bed}] (T_1 - T_4) + m \cdot \Delta h_{sor} (x_{max} - x_{min}) \dots \dots (4)$$

نلاحظ أنه كما في الإجراء (2.3) فإن القسم الأول من المعادلة يمثل كمية الحرارة الناتجة عن خفض درجة حرارة الجملة والقسم الثاني يمثل حرارة الامتزاز (adsorption heat).

#### ملاحظات:

- 1- إن كميات الحرارة في الإجراءات (1.2)، (2.3) مقدمة إلى الجملة بينما كميات الحرارة في الإجراءات (3.4)، (4.1) ناتجة من الجملة أي خارجة منها.
- 2- إن الإجراءات (1،2،3،4) تمثل العمليات ضمن سرير الإمتزاز بينما الإجراءات (1،2،3،4، مكثف، مبخر) تمثل العمليات ضمن دارة التبريد، حيث تتشارك الدارتان في الإجراءات (1،2،3).
- 3- يعتبر الإجراء (2،3) هو الإجراء الأهم في الدارة حيث يتم فيه خروج بخار وسيط التبريد ذو الضغط المرتفع (ضغط التكاثف) من السرير إلى المكثف، ويتوقف تدفق بخار وسيط التبريد في الدارة خلال مرور سرير الإمتزاز بالإجراءات الأخرى، لذلك فإن حساب أزمنة الإجراءات ضروري لمعرفة زمن الانقطاع. هذا ما دفعنا إلى اعتماد دارة تبريد امتزازية بسريري امتزاز بهدف التقليل من فترة الانقطاع ليصبح مساوياً لزمن الإجراء (1،2) فقط بحيث تتم معايرة الصمامات حتى يكون السرير الأول عند النقطة 1 والسرير الثاني عند النقطة 3 ويمر كل منهما عبر الدارة خلال نفس الزمن. كما يمكن إجراء دراسة لدارة تحوي عدة أسرة للإمتزاز بحيث يتم تغطية كامل فترة الانقطاع وهوما يسمى بتقنية الموجة الحرارية (heating wave) وبالتالي المحافظة على استقرار درجة الحرارة ضمن الفراغ المبرّد.

تم إجراء الدراسة الحرارية وفق ما يلي:

#### 1. الشروط التصميمية

- الغرفة موجودة في محافظة السويداء وأبعادها  $3 \times 2.5 \times 2 \text{ m}^3$ .
- درجة الحرارة الداخلية للغرفة  $[0, -12] [^\circ\text{C}]$ .
- درجة حرارة الوسط الخارجي التصميمية  $[8].37 [^\circ\text{C}]$ .
- الحمل الحراري للغرفة المدروسة  $Q_{room} = 2 [kW]$ .
- درجة الحرارة من المنبع الحراري  $[^\circ\text{C}] (130)$ .
- المعدن المستخدم لتصنيع المكثف والمبخر (AL 3003). [9].

**II. الافتراضات:**

- انتظام الضغط ضمن سرير الامتزاز .

- الاستقرار الكيميائي والفيزيائي والحراري لأجزاء الدارة.

**1- كيفية اختيار الزوج العامل وتنفيذ مخطط [P-T-X]:**

إن المادة الممتازة تلعب دور وسيط التبريد ضمن دارة التبريد لذلك فإن الأمونيا تمثل الخيار الأفضل لأنها وبالرغم من سميتها وعدم توافقها مع العديد من المواد إلا أنها تحقق درجات حرارة منخفضة (حيث درجة حرارة التبخر المطلوبة للعملية [°C] -17) والتي لا تحققها بقية الوسائط المقترحة للدارة الإمتزاجية.

كما يعد الكربون المنشط من أكثر أنواع المواد المازة ملائمة بالنسبة للدارة الامتزازية (في حال لم يكن وسيط التبريد هو الماء) وذلك لتوفرها بعدة أشكال (مساحيق، كتل صلبة) وإمكانية تشكيلها وبالإضافة إلى العامل الأهم والذي يمثل الإمكانية الكبيرة لدراسة سلوكها ضمن مجال درجات حرارة العمل حيث تعتبر مستقرة الخصائص الفيزيائية والحرارية ضمن هذا المجال وكذلك فهي تتمتع بإمكانية كبيرة لتحسين خصائص الامتزاز لها من خلال خلطها مع مواد أخرى مما يزيد سعة الامتزاز ومساحة سطحها ويوسع الفرق بين خطوط ثبات التركيز لها (أي يوسع مجال درجات حرارة العمل لها) مما يسمح للنظام بالوصول إلى درجات حرارة داخلية أكثر انخفاضاً عند درجات حرارة خارجية تصميمية أكثر ارتفاعاً.

وبذلك تم اختيار الزوج (Ammonia - Busofit (Active Carbon) وبسبب عدم وجود مخطط [P-T-X] والمعروف أيضاً باسم مخطط كلايرون تم العمل على تنفيذه من خلال معادلة [10] Dubinin في إحدى حالاتها الخاصة [10] (Dubinin Radushkevich) والتي تعتبر معادلة التوازن الكتلتي لإمتزاز الغازات ضمن المواد الصلبة والتي تأخذ الشكل التالي:

$$x = (W_0/V) \exp\left(-BT^2[\ln(P_s/p)]^2\right) \dots\dots\dots (5)$$

قمنا بتغيير ترتيب حدود المعادلة لتصبح على الشكل التالي:

$$\ln(p) = \ln(P_s) + \left(-\frac{1}{T}\right) \left[\frac{\ln\left(\frac{W_0}{x}\right)}{B}\right]^{0.5} \dots\dots\dots (6)$$

من خلال رسم العلاقة (6) حصلنا على المخطط المبين في الشكل (3) وللتأكد من صحة النتائج السابقة تم تحديد النقاط من المخطط وثم إجراء الحساب يدويا من خلال التعويض في المعادلة (5):

$$T_{ev} = -17 \text{ [}^\circ\text{C]} \gg P_{ev} = 216,77 \text{ Kpa}$$

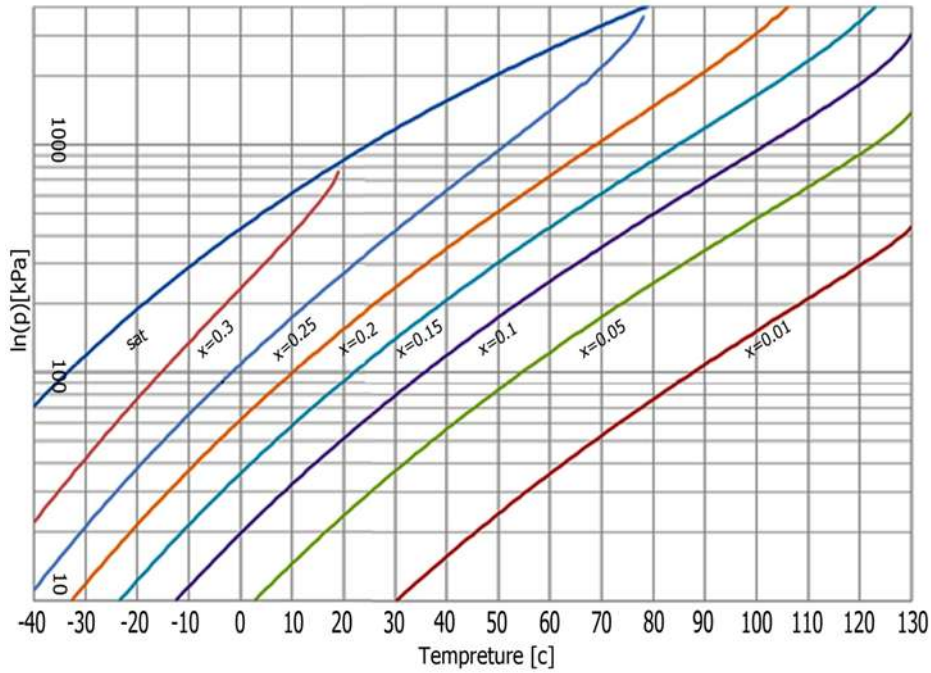
$$T_{cond} = 47 \text{ [}^\circ\text{C]} \gg P_{cond} = 1880,2 \text{ Kpa}$$

يتم تحديد التركيز المنخفض من المخطط من خلال تقاطع خط ثبات الضغط الممثل للضغط المرتفع مع خط ثبات درجة الحرارة للسوية الطاقية العليا [°C] 130 ومنه فإن  $X_{min} \cong 0,068$  . وبذلك نكون حصلنا على النقطة (3) ثم يتم تحديد التركيز المرتفع من المخطط من خلال تقاطع خط ثبات الضغط الممثل للضغط المنخفض مع خط ثبات درجة الحرارة للسوية الطاقية المتوسطة [°C] 42 ومنه فإن  $X_{max} \cong 0,145$  . وبذلك نكون قد حصلنا على النقطة (1).

وبالتعويض في المعادلة (1) نجد:  $X_{max} = 0.0682$  و  $X_{min} = 0.1462$  ومنه فإن كمية الأمونيا العاملة ضمن دارة التبريد تساوي:  $\Delta X = X_{max} - X_{min} = 0.078$  ولتحديد النقاط (4،2) يتم كما يلي:

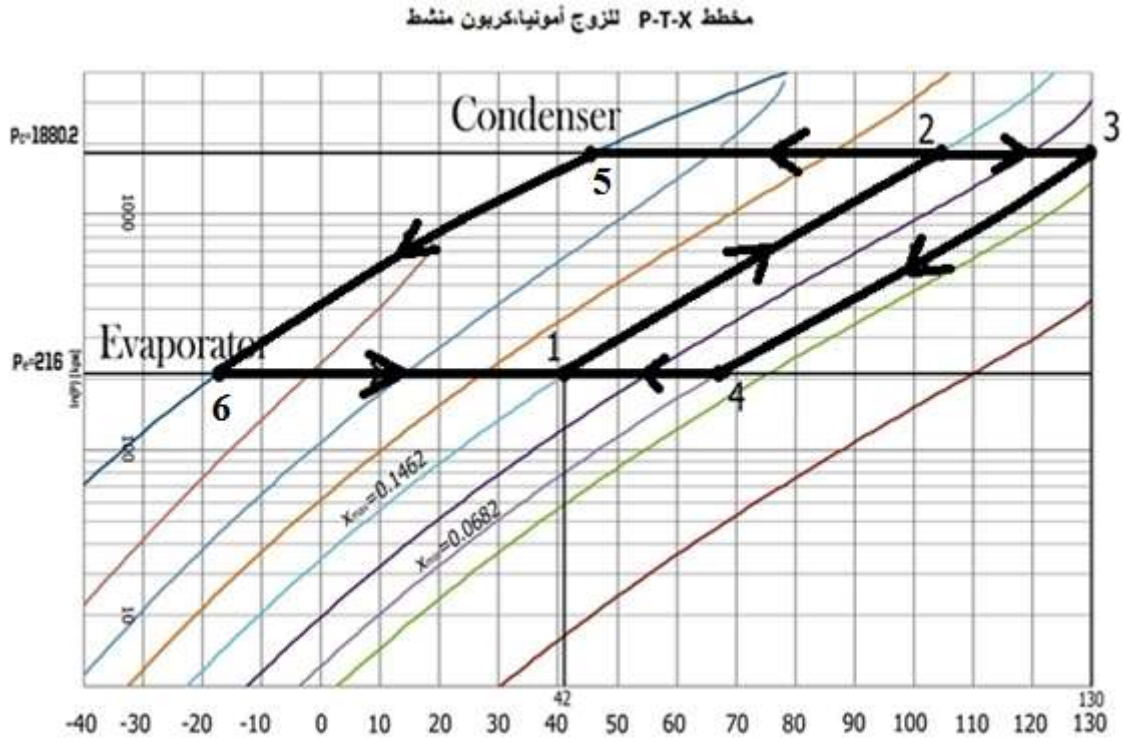
$$x = x_{min} , P = P_{ev} \gg T = T_a = 67.6 [^{\circ}\text{C}]$$

$$x = x_{max} , P = P_{cond} \gg T = T_c = 105.2 [^{\circ}\text{C}]$$



الشكل (2) مخطط [P-T-X] المستنتج للزوج Ammonia - Busofit (Active Carbon)

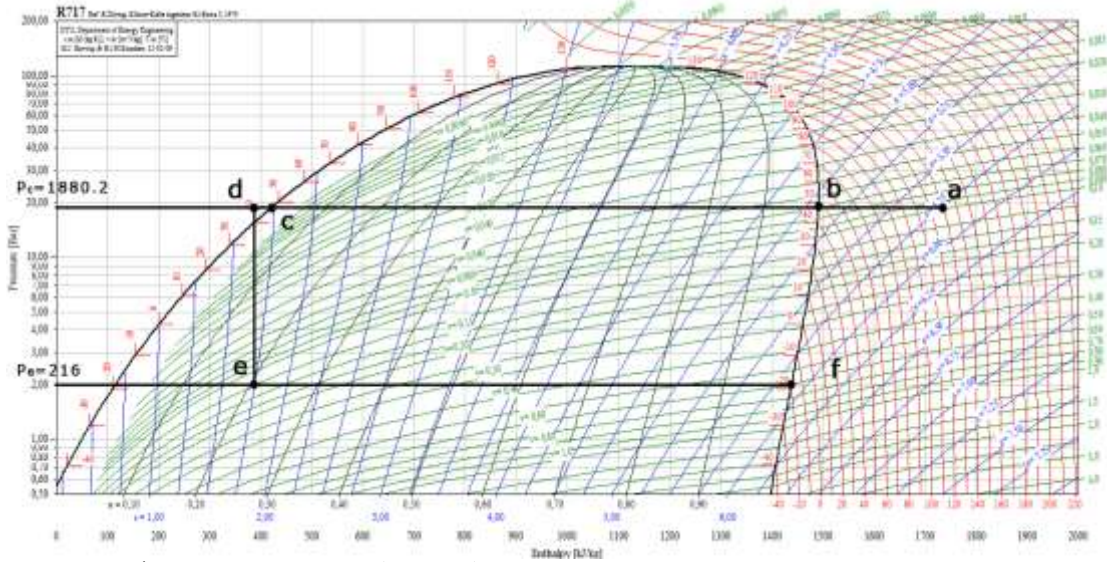
وبذلك نكون قد حصلنا على نقاط دارة المحرك الحراري الأربعة.



## 2- حساب تدفق وسيط التبريد ضمن دارة التبريد:

من تحديد البرامترات على مخطط (LogP-h) للأمونيا، حيث تم إجراء زيادة تبريد ضمن المكثف

بمقدار 5 درجات ومنه:



الشكل (4) تمثيل دارة التبريد للدارة الإمتزازية المدروسة على مخطط (Log P-h) للأمونيا

$$q_0 = h_f - h_e \gg m = \frac{Q_{room}}{q_0} \gg m = 0.00192 \text{ [kg/s]}$$

لتحقيق هذا التدفق من سيرير الامتزاز:

$$\frac{\Delta x}{T_3 - T_2} = 0.003163 \text{ [kg/°C]}$$



أي أن كل ارتفاع درجة واحدة يؤدي إلى تحرير  $0.003163 [kg/°C]$  من الأمونيا لواحدة الكتلة من الكربون ويتقسيم التدفق المطلوب للدارة على هذه القيمة سنعرف فرق درجات الحرارة الذي يجب تحقيقه في الثانية.

$$\Delta T = \frac{0.00192}{0.003163} = 0.607 [°C]$$

وبتطبيق علاقة معدل كمية الحرارة لإجراء الالتقاط ( $2 > 3$ ) على اعتبار فرق درجات الحرارة  $0.607$  وكتلة الكربون المنشط  $1 [kg]$ .

$$Q_{sol} = [m_{carbon} * (c_{p.carb} + \Delta x * c_{p.amm}) + m_{bed} * c_{p.bed}] * \Delta T + \left[ \frac{h_{ads}(\Delta x) * m_{carb}}{\frac{T_3 - T_2}{\Delta T}} \right]$$

$$Q_{sol} = 906 [w]$$

وبالتالي ولسرير واحد فإن:

$$m_{amm_{tot}} = 0.1463 kg$$

$$m_{amm_{still}} = 0.06771 kg$$

$$m_{amm_{cyc}} = 0.07859 kg$$

$$m_{bed} \cong m_{carbon} = 1 kg$$

### 3- حساب كميات الحرارة للعمليات:

عملية التسخين بثبات التركيز عند التركيز العالي:

$$Q_{1-2} = [m_{carbon} (c_{p.carbon} + x_{max} * c_{p.amm}) + m_{bed} * c_{p.bed}] * (T_2 - T_1) = 147.448 [kj]$$

ومنه فإن زمن الإجراء:

$$time_{1-2} = \frac{Q_{1-2}}{Q_{sol}} = 162.7 [s]$$

• عملية الالتقاط بثبات الضغط عند الضغط المرتفع:

$$Q_{2-3} = [m_{carbon} (c_{p.carbon} + x_{mid} * c_{p.amm}) + m_{bed} * c_{p.bed}] * (T_3 - T_2) - m_{carbon} * \Delta h_{ads} * (x_{max} - x_{min})$$

$$Q_{2-3} = 83.135 [kj]$$

ومنه فإن زمن الإجراء:

$$time_{2-3} = \frac{Q_{2-3}}{Q_{sol}} \approx 92 [s]$$

ومنه فإن زمن نصف الدورة لسرير واحد:

$$time_{half\ cycle} = time_{1-2} + time_{2-3} = 254.5 [s]$$

ولكن وعلى اعتبار أن الدارة عبارة عن مرحلتين (سريري امتزاز) فإن هذه الفترة الزمنية تمثل الفاصل بين بداية تدفق وسيط التبريد إلى المكثف ثم توقفه وحتى لحظة بداية التدفق الجديد (القادم من السرير الآخر).

• عملية التبريد بثبات التركيز عند التركيز المنخفض:

$$Q_{3-4} = [m_{carbon} (c_{p.carbon} + x_{mid} * c_{p.amm}) + m_{bed} * c_{p.bed}] * (T_3 - T_4)$$

$$Q_{3-4} = 118.752 [kj]$$

• إجراء الامتزاز بثبات الضغط عند الضغط المنخفض:

$$Q_{4-1} = \left[ m_{carbon} \left( c_{p,carbon} + x_{mid} * c_{p,amm} \right) + m_{bed} * c_{p,bed} \right] * (T_4 - T_1) + m_{carbon} * \Delta h_{ads} * (x_{max} - x_{min})$$

$$Q_{4-1} = 51.435 [kj]$$

ولكن الأمونيا التي تخرج من المبخر إلى السيرير تكون بدرجة حرارة 17- وبالتالي هنالك استطاعة تبريدية

تطرح من طاقة العملية حيث:

$$Q_{amm} = m_{amm}(h_1 - h^{\setminus})$$

حيث  $h_1$  انتالبي الأمونيا عند مخرج المبخر ودرجة الحرارة 17- و  $h^{\setminus}$  انتالبي الأمونيا عند ضغط المبخر

ودرجة حرارة التوازن [°C] 42.

#### 4- حساب سطح المكثف [11,12]:

تم حساب سطح التبادل الحراري لمكثف هوائي يعمل بالحمل الحر من أجل معامل انتقال حرارة بالحمل للهواء

$22.7 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$ ، وعلى اعتبار وسيط التبريد عند مدخله بخار محمص عند ضغط التكاثف ودرجة حرارة (130)

وعند مخرجه سائل مع زيادة تبريد بمقدار خمس درجات ويكون بضغط التكاثف ودرجة حرارة 42 ومنه فإن:

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_{ref}(h_2 - h_5) = 2.562 [kw]$$

$$\Delta T_{log} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \left( \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}} \right)} = 6.8 [^\circ C]$$

$$\alpha_{amm.cond} = 0.555 \left[ \frac{g * \rho_l (\rho_l - \rho_v) \lambda^3_l * h^{\setminus}_{fg}}{\mu_l (T_{sat} - T_{surf}) * D} \right] = 1465 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

$$U_{tot.cond} = 22 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right] \quad , \quad A_{cond} = 16.6 [m^2]$$

#### 5- حساب سطح المبخر [11,12]:

تم حساب سطح التبادل الحراري لمبخر يعمل بالحمل الحر من أجل معامل انتقال حرارة بالحمل للهواء داخل

الغرفة  $8 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$  على اعتبار وسيط التبريد عند مدخله مزيج طوري بكسر جفاف 0.211 وضغط يساوي

ضغط التبخر ودرجة حرارة (42) ومخرجه بخار مشبع بدرجة حرارة (17-) وذلك باستخدام طريقة (Dobson) [13]

$$\dot{Q}_{ev} = \dot{m}_{ref}(h_1 - h_6) = 1.032 [kw]$$

$$\Delta T_{log} = 6 [^\circ C] \quad , \quad Pr = 0.9411$$

$$Nu = 0.23 * Re^{0.8} * Pr^{0.4} \left[ 1 + \frac{2.22}{Z^{0.889}} \right] = 16.37$$

$$Z = \left[ \frac{\phi}{1 - \phi} \right]^{0.9} * \left[ \frac{\rho_{l,ev}}{\rho_{v,ev}} \right]^{0.5} * \left[ \frac{\mu_v}{\mu_l} \right]^{0.1} = 8.011$$

$$Re = \frac{(1 - \phi) * vr * D * \rho_{l,ev}}{\mu_{ev}} = 145.4$$

$$\alpha_{amm.ev} = \frac{Nu * \lambda}{D_{in}} = 1582.4 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

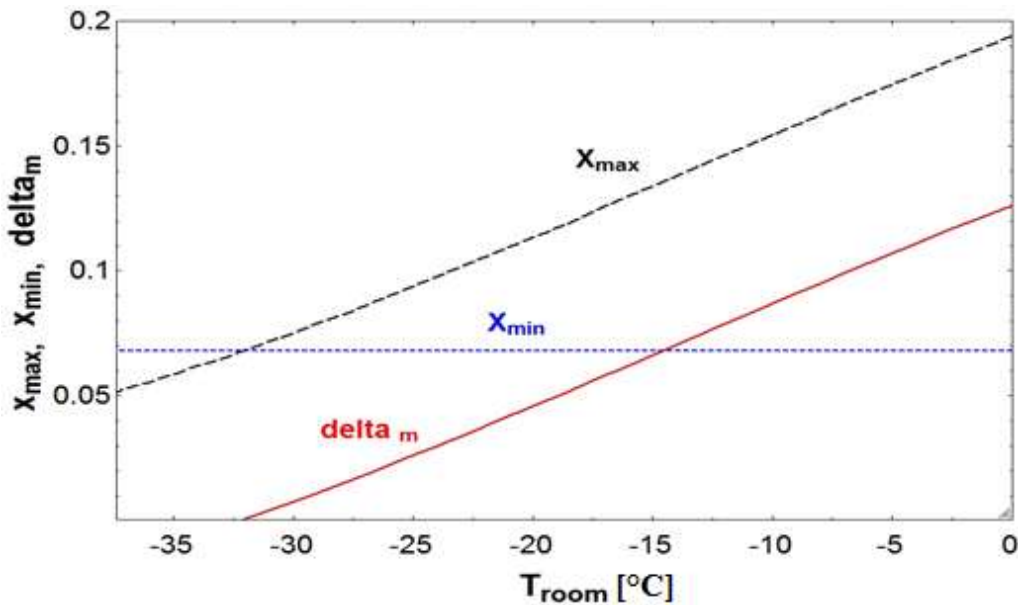
$$U_{tot.ev} = 7.96 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right] \quad , \quad A_{ev} = 21.6 m^2$$

• تأثير تغير درجة الحرارة الداخلية ( $T_{room}$ ) على فرق التراكيز:

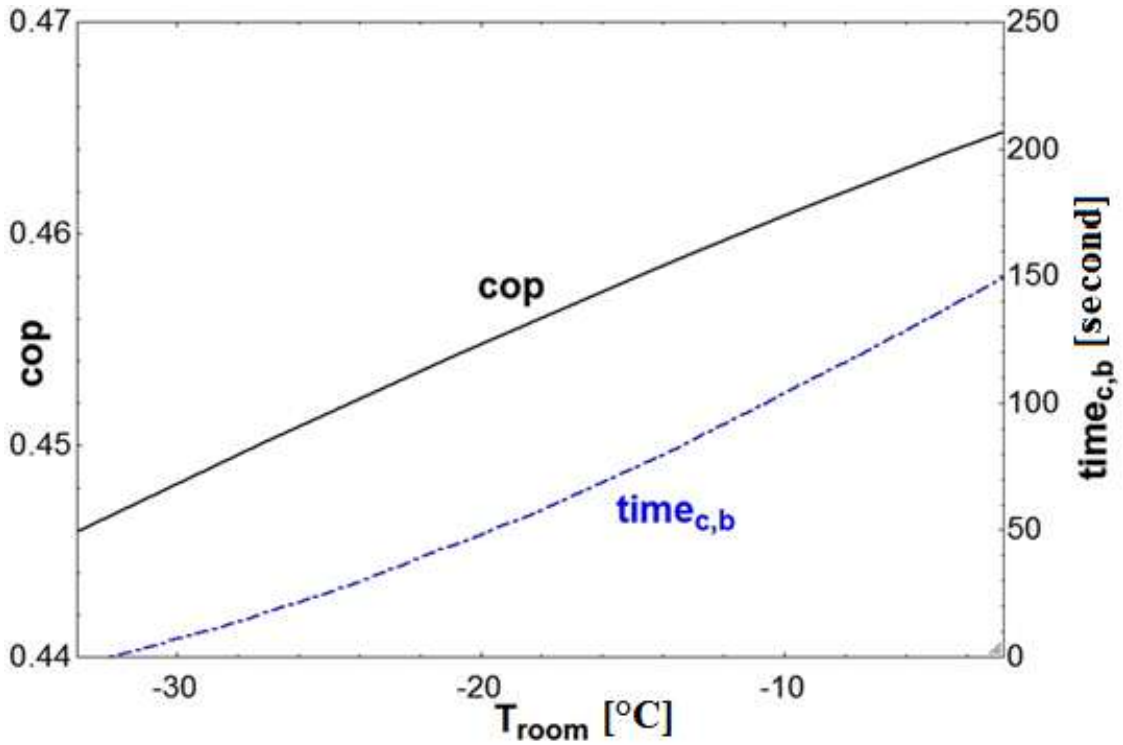
أن التغير في درجة الحرارة الداخلية المطلوبة للغرفة سيؤدي إلى تغير ضغط التبخر ودرجة حرارة التبخر وبالتالي سوف يتقاطع مع درجة الحرارة الخارجية عند نقطة أكثر انخفاضاً مسبباً انخفاض فرق التركيز (بين التركيز المرتفع والمنخفض) وهذا ما يوضحه المخطط (5) حيث ينخفض فرق التركيز حتى يصل نقطة يتساوى فيها التركيزان ويصبح الفرق صفر مما يجعل عمل الدارة غير ممكن والموافقة في حالتنا لدرجة الحرارة  $[-32\text{ }^{\circ}\text{C}]$  وهو ما ينعكس على كل من معامل أداء الدارة وزمن الإجراء الفعال ويظهر هذا التأثير في المخطط (6).

• تأثير تغير درجة الحرارة الخارجية ( $T_{out}$ ) على فرق التراكيز:

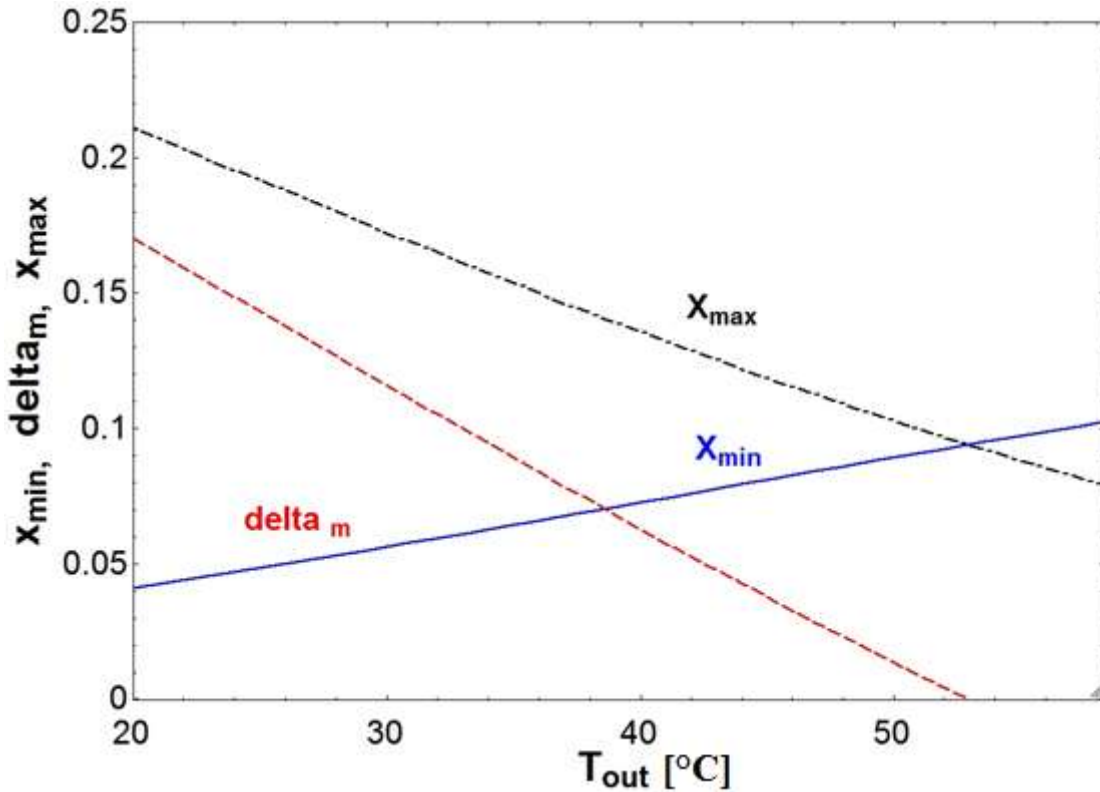
يوضح الشكل (7) أن انخفاض درجة الحرارة الخارجية يؤثر إيجابياً على أداء الدارة لأنه يسمح بفرق أكبر في التركيز ذلك لأن درجة حرارة النقطة الموافقة للضغط المنخفض والتركيز المرتفع سوف تنزاح باتجاه انخفاض درجة الحرارة مما يتيح فرقاً أكبر في التركيز وبالتالي زمناً أكبر لإجراء طرح الأمونيا. ولكن نلاحظ أيضاً أن تغير درجة حرارة الغرفة أثر فقط على التركيز المرتفع بينما يؤثر تغير درجة الحرارة الخارجية على كل من التركيزين المرتفع والمنخفض. ويظهر تأثير التغير على التركيز المنخفض من خلال انخفاض درجة حرارة التكاثف وبالتالي ضغط التكاثف مما يؤدي إلى انزياح النقطة الموافقة للضغط المنخفض والتركيز المنخفض باتجاه انخفاض درجة الحرارة وبالتالي انخفاض التركيز المرتفع.



الشكل (5) مخطط تغير التراكيز بالنسبة لتغير درجة حرارة الغرفة



الشكل (6) مخطط تغير زمن الإجراء الفعال ومعامل الأداء بالنسبة لتغير لدرجة حرارة الغرفة



الشكل (7) مخطط علاقة درجة الحرارة الخارجية مع التراكيز

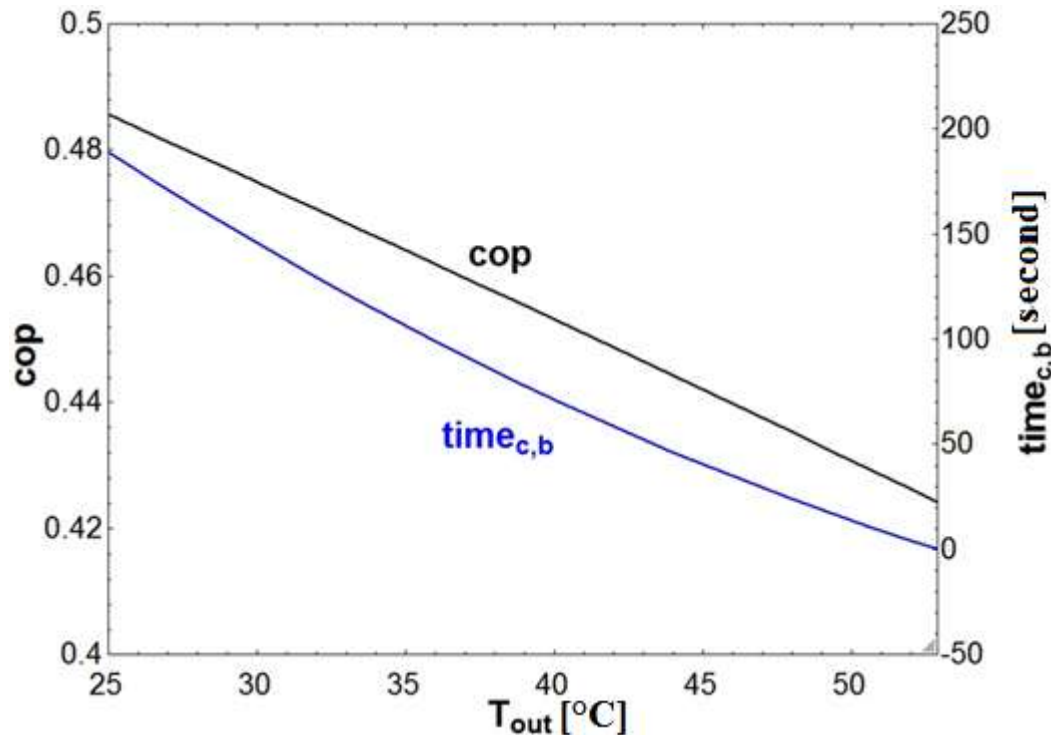
حيث نلاحظ انعدام الفرق عند درجة حرارة خارجية  $53[^\circ\text{C}]$  ولكن بالمقابل فان ارتفاع درجة الحرارة الخارجية يعطي قيما أفضل لأداء المنبع الحراري الشمسي وهنا تبرز نقطة مهمة تستحق الدراسة لإيجاد أفضل نقطة عمل للدارة

ككل عندما تتم تغذيتها من منبع حراري شمسي بحيث تحقق هذه النقطة أفضل أداء ممكن للمنبع الشمسي مع أفضل أداء للدارة ككل.

يوضح المخطط (8) انخفاض كل من معامل أداء الدارة وزمن الإجراء الفعال في الدارة مع ارتفاع درجة الحرارة الخارجية حتى الوصول لحرارة خارجية [53°C] حيث ينعدم زمن الإجراء وهذا موافق لنتيجة المخطط السابق.

• خلال إجراء الدراسة تم افتراض تدفق حراري معين من المنبع الشمسي لذلك كان لا بد من معرفة تأثير هذا الافتراض وإيجاد القيمة الأمثل وكذلك معرفة أثر زيادة حمل الغرفة على معامل الأداء.

نلاحظ من المخطط (9) أن زيادة كمية الحرارة المقدمة من المنبع الشمسي تؤدي إلى انخفاض معامل أداء الدارة وذلك عند نفس السوية (درجة الحرارة) وذلك موضح رياضياً من معادلة حساب معامل الأداء.



الشكل (8) مخطط تغير زمن الإجراء الفعال ومعامل الأداء بالنسبة لدرجة الحرارة الخارجية

$$COP_{Ref} = \frac{Q_e}{Q_s} = \frac{1 - (T_c/T_s)}{(T_c/T_e) - 1}$$

ولكن الأثر الفعلي يتوضح من خلال ملاحظة ثبات التراكيز وثبات تدفق الأمونيا الخارجة من السيرير لوادة الكتلة من الكربون المنشط التي تعمل الدارة ضمنها بينما تكون زيادة كمية الحرارة ناتجة عن زيادة كتلة الكربون المستخدمة في الدارة وبالتالي كمية الحرارة اللازمة لكل إجراء من إجراءات تسخين سيرير الامتزاز. وهنا نلاحظ جانبين:

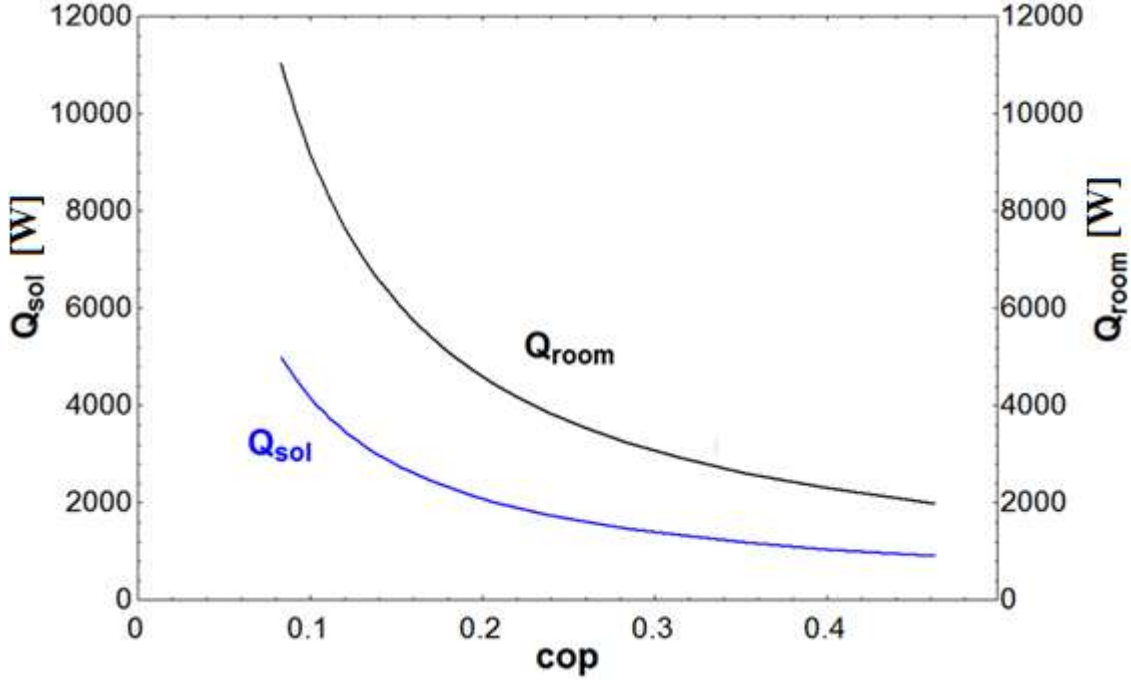
1- زيادة كمية الكربون تتوافق مع زيادة كمية الأمونيا العاملة ضمن الدارة وزيادة التدفق الكلي للأمونيا الخارجة من سيرير الامتزاز والتي تحسب من العلاقة:

$$m'_{amm,tot} = m_{carbon} * m_{amm}$$

وبالتالي تقديم استطاعة تبريد أكبر والتي ستحتاج لكميات أكبر من الحرارة لتحقيق درجات الحرارة المطلوبة من الدارة.

2- إن هذه الزيادة تؤثر تأثيراً واضحاً على معامل أداء الدارة الذي ينخفض مع ازدياد كمية الطاقة الواردة من المنبع الشمسي.

ولكن بثبات بارامترات مدخل ومخرج كل من المكثف والمبخر وبالتالي ثبات الاستطاعة التبريدية النوعية للمبخر.



الشكل (10) مخطط تغير معامل الأداء مع كل من الحمل والتدفق من المنبع الحراري

### من الدراسة السابقة توصلنا إلى النتائج التالية:

1- إن عملية اختيار الزوج العامل تحتاج إلى معرفة دقيقة بتفاصيل الجهاز المرغوب تصميمه وبخصائص الأزواج العاملة وسلوكها ضمن مجال درجات حرارة العمل والذي يتم تحديده من مخطط كلايرون.

2- بالنسبة للزوج العامل (أمونيا-كربون منشط (Busofit)) فهو يتمتع بخصائص حرارية جيدة تسمح باستخدامه ضمن مجال درجات حرارة خارجية مرتفعة ويحقق درجات حرارة داخلية منخفضة ضمن الفراغ المراد تبريده والتي يتم تحديدها من رسم خطوط ثبات الضغط لكل من ضغط التكاثف والتبخير على مخطط كلايرون لهذا الزوج والذي تم استنتاجه أثناء الدراسة اعتماداً على علاقة [5] Dubinin Radushkevich. كما أن مادة الكربون المنشط لديها القابلية لإمكانية تحسين إجراء الامتزاز من خلال خلطها مع مواد أخرى وبالتالي إمكانية الحصول على درجات حرارة أكبر.

3- إن تغير التدفق الحراري من المنبع الحراري يؤثر على معامل أداء الدارة بحيث ينخفض الأخير بشدة عند زيادة التدفق الحراري لكن هذا الانخفاض يكون متباطئاً.

4- إن انخفاض درجة الحرارة الداخلية المطلوبة يؤدي إلى انخفاض التركيز المرتفع ولا يؤثر على التركيز المنخفض وبالتالي فهو يقلل من فرق التركيز المتاح أي تقليل كمية وسيط التبريد العامل ضمن الدارة.

5- كلما انخفضت درجة الحرارة الداخلية المطلوبة فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض زمن الإجراء الفعال للدارة وانخفاض معامل أداء الدارة وذلك ضمن علاقة خطية.

6- إن ارتفاع درجة الحرارة الخارجية التصميمية يؤدي إلى التقارب بين التركيزين المرتفع والمنخفض مما يجعل الدارة تتوقف عن العمل عند درجة حرارة خارجية معينة بسبب انعدام فرق التركيز وهنا نلاحظ أن تغير درجة الحرارة الخارجية يؤثر على التركيزين المرتفع والمنخفض في حين أن تغير درجة الحرارة الداخلية المطلوبة يؤثر على التركيز المرتفع فقط ذلك لأن درجة الحرارة الخارجية تحدد درجات حرارة نقطتي العمل على التركيز المنخفض فالنقطة العليا تحدد من ضغط التكاثف والنقطة الدنيا تحدد من خلال السوية الحرارية المتوسطة للدارة والمساوية لدرجة الحرارة الخارجية .

7- كلما ارتفعت درجة الحرارة الخارجية يتناقص زمن الإجراء الفعال في الدارة وكذلك معامل أداء الدارة وذلك ضمن علاقة خطية.

8- من أجل الحفاظ على استمرارية عملية التبريد في فترات غياب الإشعاع الشمسي، يمكن الاعتماد على تقنيات التخزين الحراري، وذلك لتخزين الطاقة الشمسية نهاراً واستخدامها ليلاً في تشغيل الدارة الامتزازية.

#### جدول الرموز والمصطلحات

الرمز	المعنى	الواحدة
$Q$	معدل كمية الحرارة	$W$
$\alpha$	معامل الانتقال الحراري بالحمل	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
$\lambda$	معامل الانتقال الحراري بالتوصيل	$W/m \cdot ^\circ C$
$T$	درجة الحرارة	$K, ^\circ C$
$Q$	كمية الحرارة	$J, KJ$
$m$	الكتلة	$kg$
$c_p$	السعة الحرارية النوعية	$J / kg \cdot ^\circ C$
$x$	تركيز المادة الممتزة ضمن المادة المازة	$kg_{adsorper} / kg_{adsorper}$
$W_0$	السعة الحجمية الكتلية للمسامات الصغيرة	$cm^3 / g$
$v$	الحجم النوعي	$cm^3 / g$
$B$	ثابت بنيوي يمثل حجم وتوزيع المسامات	$k^{-2}$
$P_s$	ضغط الإشباع	$kPa$
$P$	الضغط	$kPa$
$h$	الانتالي	$kJ / kg$
$q_0$	الإنتاجية التبريدية النوعية	$kJ / kg$
$m'$	معدل التدفق الكتلي	$kg / s$
$time_{half\ cycle}$	زمن نصف الدارة	$s$
$time$	الزمن	$s$
$\Delta h_{ads}$	كمية الحرارة النوعية للإمتزاز	$J/kg$
$U$	معامل الانتقال الحراري	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
$D$	نصف القطر	$m$
$\rho$	الكثافة	$kg/m^3$
$g$	تسارع الجاذبية	$m/s^2$

$kg/m.s$	اللزوجة الحركية		$\mu$
$m^2$	مساحة السطح		$A$
	عدد نوسلت	$Nu$	
	عدد رينولدز	$Re$	
	عدد براندل	$PRE$	
	كسر الجفاف	$\varphi$	
	معامل أداء الدارة	$COP$	

## جدول الملحق السفلية

الداخلي	$in$
الخارجي	$out$
العازل	$I$
الكلي	$tot$
حالة الإشباع	$sat$
المبخر / عملية التبخر	$ev$
المكثف / عملية التكاثف	$cond$
المنبع الشمسي	$sol$
الحد الأعلى	$Max$
القيمة الوسطية	$Mid$
الحد الأدنى	$Min$
تمثيل النقاط على مخطط كلايرون	$a \cdot b \cdot c \cdot d$
الغرفة	$Room$
المادة المازة	$ads$
وسيط التبريد	$Ref$
الأمونيا	$amm$
السرير	$Bed$
المتبقي في السرير	$Still$
ضمن الدارة	$Cyc$
الماء	$water$
الهواء	$air$
تمثيل النقاط على مخطط $\log(P)$ -h أو مخطط T-S	$4,3,2,1$
التحول الطوري	$fg$
سائل، بخار	$v \cdot l$



## المراجع

- [1] John White ، LITERATURE REVIEW ON ADSORPTION COOLING TECHNOLOGY  
، School of Engineering University of Birmingham UK
- [2] Tchernev DI. Solar energy application of natural zeolites،in natural zeolite: occurrence، properties and use. Oxford: Pergamon Press; 1978 [479p].
- [3] Pons M، Guillemint JJ. Design of an experimental solar powered،solid-adsorption ice maker. J Sol Energy—Trans ASME 1986;108(4):332–7.
- [4] Zhang LZ. Design and testing of an automobile waste heat adsorption cooling system. ApplThermEng 2000;20:103–14.
- [5] L.L. Vasiliev، D.A.Mishkinis، A.A. Antukh، L.L. Vasiliev Jr. Solar/gas sorption heat pumps and refrigerators-nature friendly heat
- [6] Hasan Demir، Moghtada Mobedi ،Semra Ulku A review on adsorption heat pump: Problems and solutions
- [7] A THESIS SUBMITTED TO THE GRADUATE SCHOOL OF APPLIED SCIENCES OF NEAR EAST UNIVERSITY by TURGUT ŞAŞMAZ In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science ، THERMODYNAMIC ANALYSIS OF A SOLAR ASSISTED ADSORPTION COOLING SYSTEM
- [8]2007؛ الكود العربي السوري؛ نقابة المهندسين السوريين؛
- [9]HM Wire International ،Inc. [www.hmwire.com](http://www.hmwire.com)
- [10] A.P. Ferreira Leite et al، Applied Thermal Engineering، 31 (2011) 50-58
- [11] Modeling and Comparison of Primary and Secondary Refrigeration System Performance ،A. C. Wood، P. S. Hrnjak and D. L. Thurston ، ACRCCR-7 September 1996
- [12] Fundamentals of Heat and Mass Transfer SIXTH EDITION FRANK P. INCROPERA DAVID P. DEWITT THEODORE L. BERGMAN ADRIENNE S. LAVINE
- [13] Modeling and Comparison of Primary and Secondary Refrigeration System Performance  
A. C. Wood، P. S. Hrnjak and D. L. Thurston