

تصميم ونمذجة دارة تبريد ادمصاصية عاملة باستخدام الطاقة الشمسية

الدكتور أيوب عيسى حسن*

معد إسماعيل عثمان**

(تاريخ الإيداع 12 / 2 / 2013. قُبِلَ للنشر في 28 / 4 / 2013)

▽ ملخص ▽

يعدّ هذا البحث طريقة جديدة بديلة لاستخدام أنظمة التبريد التقليدية، حيث يستخدم نظام تبريد ادمصاصي مشغل عن طريق مصدر حراري شمسي لأغراض التبريد والتكييف. قمنا بدايةً في هذا البحث بدراسة مبدأ عمل دارة التبريد ادمصاصية وتمثيل نقاط عملها على مخطط كلايرون، ومن ثم أجرينا التحليل الترموديناميكي لكامل أجزاء الدارة والحسابات الرياضية لتصميم النظام الشمسي. تم خلال البحث إعداد نموذج رياضي باستخدام برنامج (EES) الحراري لتنفيذ حسابات تصميم هذا النظام، إن النموذج الذي تم إعداده يسمح بحساب البارامترات الأساسية التصميمية، بإظهار نتائج تأثير تغير هذه البارامترات على تشغيل وأداء النظام بشكل كامل.

تمكنا من خلال البرنامج تحديد كميات الحرارة اللازمة لتأمين الحمل المطلوب، وذلك بالانطلاق من المعطيات التصميمية للنظام مثل درجات حرارة التوليد والتبخير، وشروط المكان المدروس من درجة حرارة الوسط المحيط وشدة الإشعاع الشمسي، إضافة لنوع تطبيق التبريد المقترح، ثم توصلنا بعد ذلك إلى معرفة مساحة اللواقط وحجم الخزان الحراري، وحساب كل من التدفقات ونسب الكتل والتراكيز لمواد العمل المستعملة ومعاملات الأداء الحرارية والشمسية والمراديد وغيرها، كانت النتائج النهائية لهذا البرنامج المصمم منطقية وفعالة، حيث تمكنا من الوصول لمعامل أداء (COP=0.6) من أجل مساحة لواقط مسطحة (12 m^2) من النوع المفرغ حيث تستطيع تأمين تغطية حمل تكييف (1ton) على الأقل ويشكل مستمر وعند درجات حرارة تبخير وتوليد ($T_g = 90^\circ \text{C}, T_{eva} = 15^\circ \text{C}$)، وبالنهاية يمكن اعتماد هذه النتائج بشكل دقيق خاصة بعد مقارنتها مع نتائج الدراسات النظرية والتجريبية للمراجع المعتمدة في هذا البحث.

الكلمات المفتاحية: تبريد، ادمصاص، مادة ادمصاص، مادة مدمصة، وعاء ادمصاص، طاقة شمسية، طاقة حرارية، وسيط عمل، معامل أداء، نمذجة، لاقط شمسي، قدرة التبريد.

* أستاذ - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** طالب دراسات عليا (ماجستير) - الشركة العامة لمرفأ طرطوس - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Design and Simulation of Adsorption Cooling Cycle Operates By Solar Energy

Dr. Ayyoub Issa Hassan*
Maed Ismail Othman**

(Received 12 / 2 / 2013. Accepted 28 / 4 / 2013)

▽ ABSTRACT ▽

This research is a new alternative way to use conventional cooling systems, which uses an adsorption cooling system that operates by a heat source for solar cooling and air conditioning. We started in this research to identify the principles of adsorption cooling cycle and representing of action points of this cycle on Special Clapeyron scheme, and then we performed Thermodynamic analysis of whole cycle parts and mathematical calculations for the design of the attendant solar system. Through research we developed a model using a thermal program called (EES) to implement design calculations of system according to the model that we made it, where this allowed to calculate the basic design parameters, so too appeared the impact of this change parameters on the operation and performance of the whole system.

We were able through program to determine amounts of heat needed to request load, that depend on the design system data such as generation and evaporation temperatures, studied place conditions as ambient temperature and solar radiation intensity, in addition to cooling application type suggested, then we reached the required area of collectors and size of storage tank, and calculated each of the flows, mass ratios, concentrations of work pairs, solar and thermal performance, cycle efficiency and others. Thus the final results of this program were logical and effective, as we were able to access of performance coefficient (COP = 0.6) for flat collectors area (12m²) from vacuum type, so that covered conditioning load (1ton) at least and without intermittence when generation and evaporation temperatures were ($T_g = 90\text{ }^\circ\text{C}$, $T_{eva} = 15\text{ }^\circ\text{C}$), After all we can avowal these results are correct specially after compared that with theoretical and experimental studies of research references.

Keywords: Refrigeration, adsorption, adsorbent, adsorbate, adsorber, solar energy, thermal energy, work medium, performance coefficient, simulation, solar collector, cooling capacity.

*Professor, Department Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**Postgraduate Student, Tartous Port, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

يعد البحث في موضوع الطاقات المتجددة من المواضيع الأكثر أهمية في وقتنا الحالي كونها طاقات مجانية ودائمة وخاصةً الطاقة الشمسية كونها طاقة نظيفة، وكحل بديل للطاقة الأحفورية الملوثة والآخذة في النفاد، إضافة لأنها تعدّ أمراً متاحاً في بلادنا العربية التي تشكل خزان الطاقة الرئيسي لها، حيث تعدّ سوريا من الدول الغنية بالإشعاع الشمسي على مستوى العالم كما تشير البيانات الإحصائية والدراسات الحسابية [1].

لقد سعى الإنسان منذ بداية حياته في البحث عن أسباب الراحة وتأمين أفضل الشروط للعيش المثالي، لذلك أصبحت عمليات التبريد والتكييف مطلباً من متطلبات حياته اليومية لاسيما وأنها متعلقة بحاجته الشخصية في زمن بات فيه استعمال دارات التبريد الميكانيكية يشكل خطراً على حياتنا وأصبح يهدد بتلوث وشيك سواء من ناحية وسائط عمله الضارة بالبيئة أو نواتج طاقة تشغيله [2].

لوحظ من الإحصائيات العالمية والتي قدرها الباحثون لعام 2005 أنه يوجد ارتفاع واضح في الطلب على استخدام عمليات التبريد والتكييف، حيث تبين أن 25% من الطاقة المستخدمة في العالم تستخدم لأغراض التكييف والتبريد [3].

مما سبق تبلورت فكرة بحثنا فيدراسة دارة التبريد العاملة بالطاقة الشمسية، وذلك بعد الرجوع إلى ما تم التوصل إليه في هذا المجال من تجارب وأبحاث علمية، حيث كان هناك الكثير من الدراسات المرجعية لدارات التبريد الادمصاصية والمشغلة بالطاقة الشمسية، ومن بين هذا الدراسات التجريبية تصميم ثلاجة شمسية تعمل بطريقة الادمصاص في الصين باستطاعة إنتاج جليد حوالي (7kg/day) لكل (1m²) من مساحة اللاقط الشمسي ومن أجل شدة إشعاع شمسي (18 MJ/m²) [4]، وبالتالي تمكنا من تصميم نظام تبريد يعتمد على مبدأ الادمصاص أو الامتزاز بين مادتي عمل تستغلان الطاقة المقدمة من الإشعاع الشمسي في توليد وسيط التبريد اللازم لإعطاء الأثر التبريدي اللازم، وباستخدام كافة المعادلات اللازمة للعمل مع إجراء نمذجة لمتغيرات النظام وتأثيرها على الأداء.

أهمية البحث وأهدافه:

تعتمد معظم مواضيع الطاقات المتجددة وخاصةً الطاقة الشمسية على إمكانية استغلالها في أماكن العمل حيث توفر جزءاً كبيراً من الطاقة التقليدية مع المحافظة على الإنتاجية نفسها والتقليل قدر الإمكان من انبعاث الغازات الدفينة والضارة بالبيئة، لذلك تكمن الأهمية الرئيسية في تحقيق ذلك من خلال نظام التبريد الادمصاصي الذي يعد تطبيقاً جذاباً للطاقة الشمسية، نتيجة لتزامن وتطابق الحمل التبريدي المطبق لحيز ما مع كمية الإشعاع الساقط على هذا الحيز، مع إمكانية تغطية هذا الحمل بشكل مستمر بوجود وعائي ادمصاص، إضافة لكافة تشغيله المنخفضة ومتطلبات صيانتها القليلة [5].

إن هدف البحث هو دراسة نظام التبريد المقترح من خلال الدراسة الحرارية له وتحديد شروط عمله ودراسة تغيرات أدائه وقدرته الإنتاجية ضمن ظروف تشغيل مناسبة، وذلك بالانطلاق من معطيات المكان المدروس وبيانات التشغيل الضرورية.

طرائق البحث ومواده:

أنجز هذا البحث من خلال التعاون بين جامعة تشرين والشركة العامة لمرافق طرطوس, مع دراسة إمكانية تطبيق هذه الدراسة مستقبلاً كبدائل لدارات التكييف المشغلة كهربائياً في روافع الشركة المذكورة, حيث تم اعتماد شروط عملها من درجات حرارة (تكييف - توليد-تكييف) وقيم إشعاع شمسي كبيرة ومساحة لواقط مقبولة وغيرها كشروط أولية لإنجاز هذا البحث (مذكرة حسابية جاهزة للتطبيق).

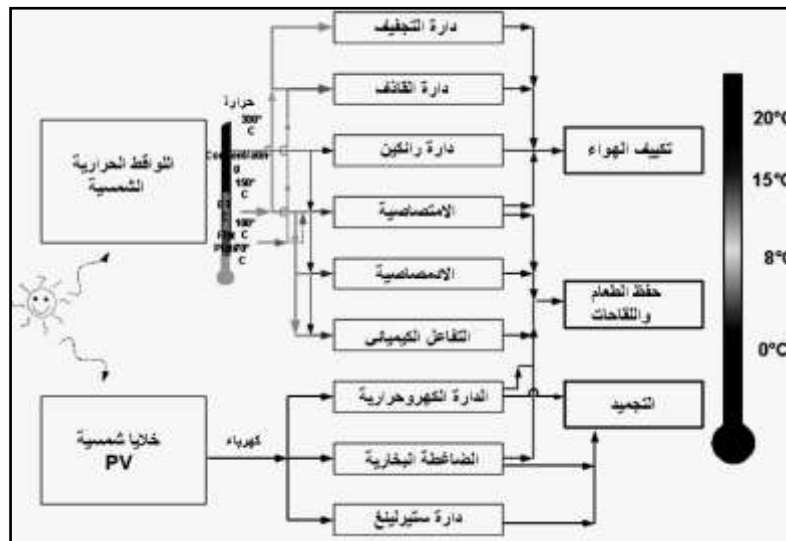
قمنا بدايةً بدراسة نظرية توضح مبادئ وأجزاء دارة التبريد بالادمصاص وأهميتها, مقارنةً بدارات التبريد الأخرى العاملة باستخدام الطاقة الشمسية, إضافةً لمخطط مراحل عملها مع أزواج العمل التي تشغل بها, كما اعتمد في هذا البحث طريقة التحليل العلمي الرياضي من خلال المعادلات المناسبة ومخططات الدراسة, ومن ثم نمذجة هذا التحليل على الحاسب باستخدام برنامج (EES) الحراري وذلك وفق تسلسل الخطوات التالية:

I. أنواع دارات التبريد العاملة على الطاقة الشمسية:

تصنف دارات التبريد التي تعمل باستخدام الطاقة الحرارية الشمسية إلى عدة أنواع أهمها [6]:

1. دارة التكييف الشمسية.
2. دارة قاذفة البخار الشمسية.
3. دارة رانكين الحرارية الشمسية.
4. دارة التبريد الامتصاصية الشمسية.
5. دارة التبريد الادمصاصية الشمسية.
6. الدارة الكهروحرارية المشغلة شمسياً.
7. الدارة الانضغاطية المقادة شمسياً.
8. دارة ستيرلينغ.

يبين الشكل (1) أنواع هذه الدارات والأهمية التي تحتلها دارة التبريد الادمصاصية بالنسبة لباقي الدارات سواء من ناحية درجات حرارة التوليد والتبخير التي تعمل عندها, أو من ناحية أنواع اللواقط اللازمة وهذا مما زاد من اهتمامنا في اختيار هذه الدارة.



الشكل (1) مخطط دارات التبريد العاملة بالطاقة الشمسية [6]

II. مبادئ وأساسيات عملية الإدمصاص:

عملية الإدمصاص أو الامتزاز (Adsorption) هي عبارة عن العملية (solid-sorption) أي ارتباط مادة سائلة مع مادة صلبة لتشكيل ما يسمى بزوج العمل، أي هي عملية فيزيائية تصبح فيها قوى الترابط بين جزيئات هاتين المادتين المندمجتين بصيغة الكترولستاتيك على شكل قوى تباعد وتتافر وفقاً لرابطة فاندرفالس، وبالتالي هي عملية إكسومترية (تغير في الأبعاد بين الجزيئات) يتبعها تحول في المادة من حالة السائل إلى الغاز مع تحرير طاقة إيزوستيرية (طرح حرارة عند تراكيز ثابتة) وهذا يعتمد على نوع وطبيعة زوج العمل المستخدم، حيث تدعى المادة الصلبة بمادة الإدمصاص (adsorbent) وهي التي ستقوم بالإدمصاص بينما تدعى المادة السائلة بالمادة المدمصة (adsorbate) وهي التي ستبخّر وتعطي وسيط التبريد العامل في دارة الإدمصاص [7].

تتم دراسة عملية الإدمصاص من خلال إجراء الموازنة الترموديناميكية وذلك بواسطة المعادلات الإيزوترمية والمرتكزة على حساب البارامترات الثلاثة الأساسية وهي درجة الحرارة لنقاط الدارة (T) والضغط العامل في الدارة (P) وتراكيز المواد المستعملة (X)، كما تستند هذه العملية على نظرية الإدمصاص الأساسية المتمثلة بقوانين هنري وجيبس ولانغموير والمتعلقة بطبيعة مواد الإدمصاص ومساميتها وتراكيزها في المحاليل، وبالتالي يمكن وضع المعادلة العامة لتحديد قدرة الإدمصاص والتي تشمل البارامترات الثلاثة السابقة:

$$x = x_o \exp \left[- D \left(T \cdot \ln \frac{P_s}{P} \right)^n \right] \quad \text{أو} \quad x = x_o \exp \left[- k \left(\frac{T}{T_s} - 1 \right)^n \right] \quad (1)$$

وحدة من الكتلة المدمصة أثناء مراحل الإدمصاص. $x(kg / kg)$ التركيز بين المادة المدمصة ومادة الإدمصاص ضمن الوعاء أو كتلة مادة الإدمصاص لكل

وحدة من الكتلة المدمصة أثناء مراحل الإدمصاص. $x_o(kg / kg)$ كفاءة الإدمصاص العظمى وتعطى تابعة لزوج العمل المستعمل.

n بارامتر خصائص زوج العمل. D معامل الانجذاب (الصلة).

T, Pa الضغط ودرجة حرارة الإدمصاص ضمن الوعاء k, Pa .

T_s, Pa ضغط ودرجة حرارة الإشباع لوسيط التبريد k, Pa .

الثوابت x_o, k, D تابعة لنوع وطبيعة مواد الإدمصاص وتعطى بجدول خاصة حسب زوج العمل.

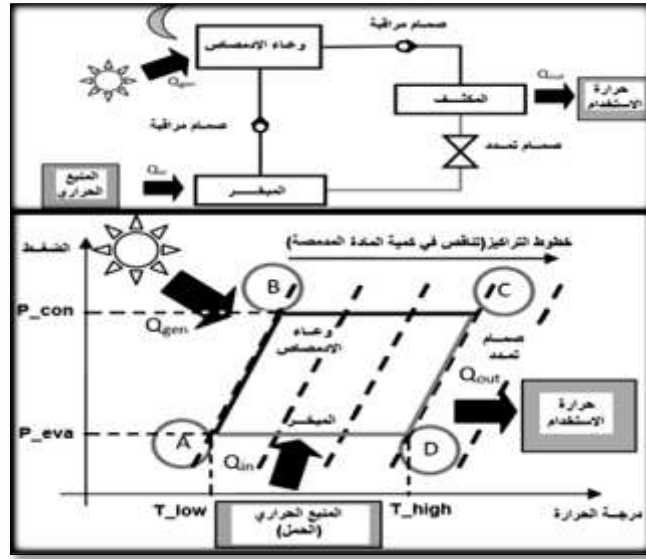
تدعى المعادلة السابقة بمعادلة (دوبيني - استاكهوف) وهي معادلة أساسية لحساب قدرة الإدمصاص والتي تتمثل بتراكيز مواد العمل عند أية مرحلة من مراحل عمل الدارة [8].

III. أجزاء دارة التبريد بالإدمصاص ومراحل عملها:

تتألف دارة التبريد الإدمصاصية من الأجزاء الرئيسية التالية: وعاء الإدمصاص - المكثف - المبخر - صمام التمدد الشكل (2) حيث نجد أن وعاء الإدمصاص يشكل قلب هذا النظام الإدمصاصي، كون معظم العمليات الحرارية والإدمصاصية تجري ضمنه من خلال زوج العمل (مادة الإدمصاص مع المادة المدمصة)، ويعد صلة الوصل مع دارة الطاقة الشمسية، بينما تعدّ بقية الأجزاء مشتركة لأية دارة تبريد، وبالتالي نستطيع أن نجمل معظم العمليات والمراحل التي تجري ضمن هذه الدارة وفق ما يلي: الشكل (2) [5, 7].

1. مرحلة التسخين ورفع الضغط (heating): من النقطة (A) إلى النقطة (B) حيث يبدأ الوعاء في هذه المرحلة بتلقي الحرارة من المنبع الحراري (اللوافظ بفعل الإشعاع الشمسي)، لتبدأ درجة حرارة مادة الإدمصاص بالارتفاع

ويرتفع معها الضغط من ضغط التبخير إلى ضغط التكثيف، بينما يكون الوعاء مغلقاً ويعمل ذلك على امتزاز المادة المدمصة من قبل مادة الادمصاص لتصل إلى حد الإشباع الخاص.



الشكل (2) أجزاء دارة التبريد ادمصاصية مع مخطط مراحل عملها

2.مرحلة التوليد مع التكثيف (desorption): من النقطة (B) إلى النقطة (C) تستمر فيها زيادة درجة الحرارة ضمن الوعاء مع استمرار تلقي الطاقة الحرارية تحت ضغط التكثيف إلى أن تصل حتى درجة حرارة محددة، تبدأ عندها المادة المدمصة بالتبخير لتعطي وسيط التبريد الغازي العامل في الدارة، والذي سينتقل إلى المكثف بعد أن يفتح صمام التحكم للوعاء.

3.مرحلة التبريد (cooling): من النقطة (C) إلى النقطة (D) يقوم الوعاء في هذه الفترة بطرح الحرارة وهو بحالة الإغلاق، وتبدأ درجة حرارة الادمصاص بالانخفاض والتي تحت على انخفاض الضغط إلى ضغط التبخير، وبالوقت نفسه يتم أيضاً طرح حرارة وسيط التبريد ويتحول إلى سائل.

4. مرحلة التبخير والادمصاص (adsorption): من النقطة (D) إلى النقطة (A) يستمر انخفاض درجة الحرارة في الوعاء مع دخول وسيط التبريد إلى المبخر وتبخيره، ثم عملية سحب هذا الوسيط وادمصاصه من قبل مادة الادمصاص تحت ضغط التبخير، وذلك عن طريق الصمام المفتوح بين المبخر والوعاء.

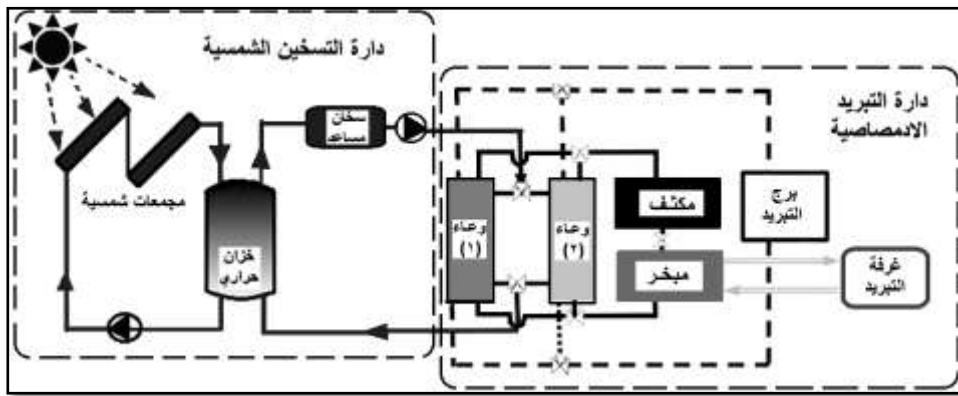
IV. أزواج عمل دارة التبريد ادمصاصية:

يمثل زوج العمل كلاً من مادتي الادمصاص والمدمصة واللتين تلعبان دوراً هاماً في تصميم النظام ادمصاصي. تقسم أزواج العمل إلى عدة أنواع وذلك وفقاً لعدة تصنيفات، فبالنسبة لمواد الادمصاص الأكثر استخداماً والمتداولة تجارياً هي حبيبات السيليكا والزيوليت والكربون المنشط، أما المواد المدمصة فهي الماء والأمونيا والميتانول، حيث يستخدم غالباً الماء مع الزيوليت من أجل درجة حرارة تبريد فوق الصفر المئوي، والكربون المنشط مع الميتانول من أجل درجة الحرارة صفر مئوي ودونها، بينما يستخدم السيليكاكاجيل مع الماء لعمليات التكثيف والراحة [9].

تعود طريقة اختيار زوج العمل المستخدم كما لاحظنا إلى نوع التبريد المراد تطبيقه، وبالتالي لكل زوج عمل درجة حرارة تبريد محددة يتم عندها ادمصاصه وتبخيره، كما لكل زوج عمل خصائص تشغيل وعمل عند ضغوط ودرجات حرارة معينة، كالمسامية وقدرة الادمصاص وتغيرات التراكيز والإشباع وغيرها.

V. نظام التبريد الشمسي الادمصاصي:

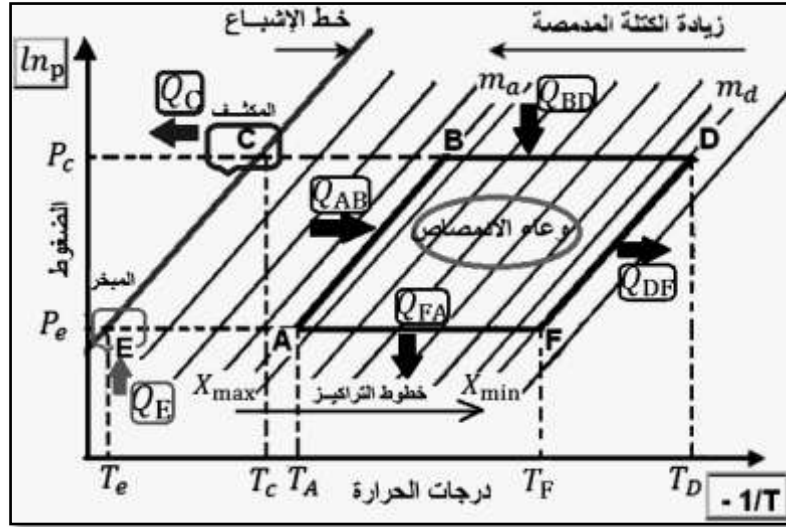
إن عملية ربط دائرة التبريد الادمصاصية مع دائرة الطاقة الشمسية تمكننا من الحصول على الطاقة اللازمة والمحولة عن طريق الإشعاع الشمسي لتشغيل دائرة الادمصاص، ويدعى النظام الناتج من دمج الدائرتين بنظام التبريد الادمصاصي الشمسي [10]. يعدّ وعاء الادمصاص نقطة الوصل بين الدائرتين، حيث تتمثل دائرة الطاقة الشمسية المدروسة في بحثنا بمجموعة اللواقط الشمسية المسطحة ذات النوع المفرغ مع الخزان الحراري والسخان المساعد الشكل (3)، يمكن استخدام وعائي ادمصاص لزيادة الاستطاعة والاستمرار في الحصول على الإنتاج التبريدي دون تقطع حيث يعملان بشكل متناوب ويوصلان مع الدارة الشمسية بشكل مباشر.



الشكل (3) دائرة عمل نظام التبريد الادمصاصي الشمسي باستخدام وعائي ادمصاص

VI. تشغيل نظام التبريد الادمصاصي الشمسي ومخطط عمله:

تعمل دائرة التبريد بالادمصاص وفقاً لمخطط كلايرون والذي يمثل قيم نقاط الدارة الفعلية المخطط (P-T). إضافة لخطوط التراكيز التي تحدد مجال دائرة العمل، وبمساعدة خطوط الضغط وخط الإشباع لقدرة الادمصاص الشكل (4)، يوضح المخطط كيفية توضع خطي ضغط التكثيف والتبخير (P_c, P_e)، وتوضع درجات حرارة التكثيف والتبخير على خط الإشباع، يبين الشكل أيضاً خطي التركيز الأعظمي للادمصاص (X_{max}) والأصغري للتوليد (X_{min}) مع كميات الحرارة المضافة والمطروحة ضمن الدارة، حيث تمثل كمية الحرارة المضافة والموضحة على الشكل الطاقة الحرارية المقدمة من الدارة الشمسية [10].



الشكل (4) مخطط كلايرون لعمليات دارة التبريد الامصاصية الشمسية [10]

VII. التحليل الترموديناميكي لنظام التبريد الامصاصي الشمسي:

تشكل هذه الدراسة قاعدة البيانات التي ستدخل في تنفيذ البرنامج الحاسوبي المتبع، حيث سنقوم فيها بتحديد المعادلات اللازمة لتصميم نموذج النظام المدروس وفق نظام يعطي الحلول المطلوبة والنتائج التي نعمل لأجلها وذلك وفق الترتيب التالي [5,10,11]:

1. التحليل الحراري لوعاء الامصاص:

• كميات الحرارة:

تحدد كميات الحرارة المضافة والمطروحة ضمن مراحل عملية الامصاص التي تم دراستها وفقاً للمعادلات الحرارية، وذلك تبعاً لنقاط الدارة (A-B-D-F) الموضحة على مخطط كلايرون الشكل (4):

$$\dot{Q}_{AB} = \dot{m} (C_{p,m} + xC_{p,a}) (T_B - T_A) \quad (2)$$

حيث: \dot{Q}_{AB} كمية الحرارة المضافة أثناء مرحلة التسخين الإيزوستيري (ثبات التركيز).

\dot{m} (kg / h) التدفق الكتلي لزوج العمل عبر الوعاء ويكون غالباً عبارة عن كتلة مادة الامصاص.

$C_{p,m}, C_{p,a}$ (kJ / kg .K) السعة الحرارية النوعية لكل من مادة الامصاص والمادة المدمصة.

x (kg / kg) تركيز المادة المدمصة من قبل مادة الامصاص.

T_B, T_A درجات الحرارة للنقطتين (A,B).

$$\dot{Q}_{BD} = \dot{m} (C_{p,m} + xC_{p,a}) (T_B - T_A) + \dot{m} \cdot \Delta H_a \cdot (x_B - x_D) \quad (3)$$

\dot{Q}_{BD} كمية الحرارة المضافة أثناء عملية التوليد الإيزوباري.

ΔH_a (kJ / kg) حرارة الامصاص وهي حرارة كامنة للادمصاص والتبخير.

$$\dot{Q}_{DF} = \dot{m} (C_{p,m} + xC_{p,a}) (T_D - T_F) \quad (4)$$

\dot{Q}_{DF} كمية الحرارة المطروحة أثناء عملية التبريد الإيزوستيري.

$$\dot{Q}_{FA} = \dot{m} (C_{p,m} + x C_{p,at}) (T_F - T_A) + \dot{m} \cdot \Delta H_a \cdot (x_A - x_F) \quad (5)$$

كمية الحرارة المطروحة أثناء عملية الادمصاص الإيزوباري.

• ضغط ودرجة حرارة الإشباع:

إن درجة حرارة التبخير والتكثيف تمثلان نقطتي الإشباع واللتين تكونان معروفتين سلفاً حيث تتوضعان على خط الإشباع على مخطط كلايرون، وبالتالي تستنتج قيمة ضغط التبخير والتكثيف المقابل لهما من المخطط مباشرة، أو يتم إيجادها بمساعدة برنامج النمذجة الذي تم استخدامه بدلالة درجات الحرارة للتأكد من قيمة ضغوط الإشباع بالتعويض بالعلاقة:

$$P_{sat} = \exp [\alpha_1 - (\alpha_2 / T)] \quad (6)$$

حيث الثوابت (α_1, α_2) ثوابت تتعلق بوسيط التبريد (المادة المدمصة) [9].

• بارامترات نقاط الدارة:

يتم حساب بارامترات نقاط الدارة الأساسية من ضغط ودرجات حرارة من خلال مخطط كلايرون الممثل بدرجات الحرارة بدلالة الضغوط، بالانطلاق من التراكيز المعطاة لمواد العمل، أو تحسب حرارياً من العلاقة:

$$\ln(P) = a_x + (b_x / T) \quad (7)$$

P (Pa) ضغط النقطة المدروسة. T (K) درجة الحرارة للنقطة المدروسة.

a_x, b_x معاملات ثابتة متعلقة بالتركيز تتبع لزوج العمل وتعطى بجدول خاصة.

2. التحليل الحراري للمكثف والمبخر:

• كمية الحرارة المطروحة في المكثف:

تعطى كمية الحرارة التي يقوم وسيط التبريد بطرحها في المكثف أثناء تبريده وتحويله لسائل بإحدى العلاقتين:

$$\dot{Q}_{con} = \dot{m} \cdot \Delta x \cdot h_{fg,con} \quad \text{أو} \quad \dot{Q}_{con} = \dot{m} \cdot \Delta x \cdot \Delta H_v \quad (8)$$

$\Delta x = x_{max} - x_{min}$ الفرق بين التركيزين الأعظمي والأصغري ضمن الدارة.

ΔH_v (kJ / kg) كمية حرارة التبخير وتعطى بجدول أو تؤخذ من البرنامج المستخدم حسب نوع وسيط العمل.

$h_{fg,con}$ إنتالبي التبخير ويعطى أيضاً حسب نوع الوسيط العامل في الدارة أو بمساعدة برنامج النمذجة.

• كمية الحرارة الممتصة في المبخر:

وتمثل كمية الحرارة اللازمة لتبخير وسيط التبريد ضمن المبخر $(\dot{Q}_{eva}, kJ / h)$ أي الحمل الحراري للمكان المراد

تبريده ويكون معروفاً مسبقاً وفقاً للعلاقة:

$$\dot{Q}_{eva} = \dot{m} \cdot \Delta x \cdot \Delta H_v + \dot{m} \cdot \Delta x \cdot C_{p,at} (T_C - T_E) \quad \text{أو} \quad \dot{Q}_{eva} = \dot{m} \cdot \Delta x \cdot h_{fg,eva} \quad (9)$$

T_C (K) درجة حرارة التكثيف ، T_E (K) درجة حرارة التبخير.

3. معادلات انتقال الكتلة:

تستخدم ضمن النظام ثلاث كتل: كتلة وعاء الادمصاص وغالباً ما تهمل لصغرهما عند التصميم الجيد

للعاء، كتلة مادة الادمصاص (m_m) وكتلة المادة المدمصة (m_{at}) واللذان يشكلان زوج العمل، وتعطيان بالعلاقتين:

$$m_{at} = m_{nt} \cdot x_{\max} \quad \text{أو} \quad m_{at} = \frac{Q_{eva}}{h_o - h_i} \quad (10)$$

قيم الإنتالبي على مدخل ومخرج المبخر .

4. تحليل أداء نظام التبريد بالادمصاص:

(a) معامل الأداء الحراري:

يمثل معامل الأداء الحراري (التبريدي) نسبة كمية الحرارة اللازمة لتبخير وسيط التبريد في المبخر إلى كمية الحرارة المقدمة لتسخين وتوليد هذا الوسيط في المولد أو وعاء الادمصاص وفقاً للعلاقة:

$$COP_{ref} = \frac{Q_{eva}}{Q_g} \quad (11)$$

حيث: Q_g (kJ / h) كمية الحرارة المقدمة إلى وعاء الادمصاص وتعطى بالعلاقة:

$$Q_g = Q_{AB} + Q_{BD} \quad (12)$$

(b) المردود الحراري:

يعطى المردود الحراري للدارة كنسبة معامل الأداء الفعلي (التبريدي) إلى معامل الأداء النظري لدارة كارنو:

$$\eta_{therm} = \frac{COP_{ref}}{COP_{cr}} \quad (13)$$

ويعطى معامل أداء دارة كارنو بالعلاقة:

$$COP_{cr} = (1 - \frac{T_B}{T_D}) / (\frac{T_B}{T_E} - 1) \quad (14)$$

(c) زمن دورة التبريد الادمصاصية:

بحسب الزمن اللازم لإنجاز دارة تبريدية واحدة بدءاً من إعطاء الحرارة ضمن الوعاء مروراً بتبخير وسيط التبريد وتوليد الأثر التبريدي وحتى نهاية إعادة الادمصاص (مقدراً بالثانية) وفقاً للعلاقة:

$$t_{cycle} = 2 \cdot m \cdot \Delta x / m_{at} \quad (15)$$

(d) استطاعة (قدرة) التبريد للنظام:

القدرة التبريدية للنظام المدروس هي مقدار الإنتاج التبريدي في المبخر وتحسب بالعلاقة:

$$Q_{ref} = Q_{eva} / t_{cycle} \quad (16)$$

أما استطاعة التبريد النوعية (specific cooling power) SCP , W / kg وهي مقدار الأثر التبريدي المنتج

خلال زمن محدد وبالنسبة لمقدار معين من مادة الادمصاص أي:

$$SCP = Q_{eva} / t_{cycle} \cdot m_{nt} \quad (17)$$

(e) كثافة التبريد:

يستخدم مفهوم كثافة التبريد للتعبير عن مقدار كمية التبريد المنتجة بالمقارنة مع كمية زوج العمل الموجودة

ضمن وعاء الادمصاص:

$$Q_{dc} = \frac{\Delta x \cdot m_{nt} \cdot \Delta H_a}{V} \quad (18)$$

الحجم الذي تشغله مادة الادمصاص المغمورة بالمادة المدمصة مع الفراغ المحيط بهما. وبعد الحجم عنصراً هاماً في تصميم الوعاء واللاقط الشمسي وفقاً للعلاقة:

$$V = \frac{m}{\sigma_{nt}} \cdot t_{cycle} \quad (19)$$

كثافة مادة الادمصاص σ_{nt} (kg / m^3).

5. التحليل الحراري للنظام الشمسي:

■ كمية الحرارة المطلوبة من النظام الشمسي:

وتتمثل الاستطاعة الحرارية المطلوب تأمينها لتغطية حمل وعاء الادمصاص من النظام الشمسي وفق العلاقة:

$$Q_s = \frac{Q_g}{\eta_{con} \cdot \eta_{coll}} \quad (20)$$

η_{con} مردود أنابيب التوصيل. η_{coll} مردود المجمع الشمسي.

■ التوازن الحراري لخزان الطاقة الشمسية:

من أجل تصميم الخزان الحراري تستخدم معادلة التوازن الحراري لهذا الخزان والتي تعطى بالعلاقة:

$$(M_{st} C_{p,f} + M_{met} C_{p,met}) \frac{dT_{st}}{dt} = m_f C_{p,f} (T_{out} - T_{in}) + UA_{st} (T_{amb} - T_{st}) \quad (21)$$

حيث: M_{st} , $C_{p,f}$, T_{st} درجة الحرارة والسعة الحرارية وكتلة الماء الموجود ضمن الخزان على الترتيب.

UA_{st} معامل الضياعات الحرارية من سطح الخزان الحراري.

M_{met} , $C_{p,met}$ السعة الحرارية والكتلة لمعدن الخزان الحراري.

كمية الحرارة المخزنة ضمن هذا الخزان بين درجة الحرارة الأولية ($T_{st,i}$) ودرجة الحرارة العظمى ($T_{st,max}$)

تعطى بالعلاقة:

$$Q_{st} = M_{st} C_{p,f} (T_{st,max} - T_{st,i}) \quad (22)$$

■ المساحة المطلوبة من اللواقط الشمسية:

يتم إيجاد مساحة اللواقط بمعرفة كمية الحرارة المطلوبة من النظام الشمسي وقيمة شدة الإشعاع الشمسي الساقط

(G) كما يتضح بالعلاقة:

$$A_{coll,s} = \frac{Q_s}{G} \quad (23)$$

من قيمة هذه المساحة المحسوبة يتحدد عدد اللواقط الشمسية (n):

$$n = A_{coll,s} / L.W \quad (24)$$

W, L (m) طول وعرض المجمع الشمسي (اللاقط) على التوالي بحالة مجمع من النوع المسطح.

■ معامل الأداء للنظام الشمسي:

معامل الأداء الشمسي هو النسبة بين كمية الحرارة اللازمة لتغطية الحمل التبريدي المطلوب وكمية الحرارة

المنتجة من النظام الشمسي أي:

$$COP_{sn} = \frac{Q_{eva}}{Q_s} \quad (25)$$

■ إيجاد الكسر الشمسي (نسبة التغطية الشمسية):

بعد حساب كمية الحرارة المستفادة من اللواقط الشمسية نستطيع إيجاد نسبة التغطية بالعلاقة:

$$f = Q_{net} / Q_g \quad (26)$$

VIII. المخطط الصندوق لتصميم النظام:

إن عملية تصميم نموذج رياضي للنظام تتطلب تحديد المعطيات الأساسية وشروط العمل من أجل حساب بارامترات هذا النظام وتغيراتها وإخراج النتائج بشكل دقيق، لذلك تمت عمليات النمذجة هذه باستخدام برنامج (EES) الحراري ذي الوثوقية العالية، حيث تم الاستفادة من خصائصه الحرارية في إدخال قيم بعض البارامترات، إضافة لاستخدام مميزاته في دراسة تغيرات الأداء وفق المنحنيات اللازمة مع إخراج كافة النتائج بشكل دقيق، تم كل ذلك عن طريق هذا البرنامج الذي كان كافياً للنتائج الموضحة لاحقاً ووفق المخطط الصندوقي المبين بالشكل (5):

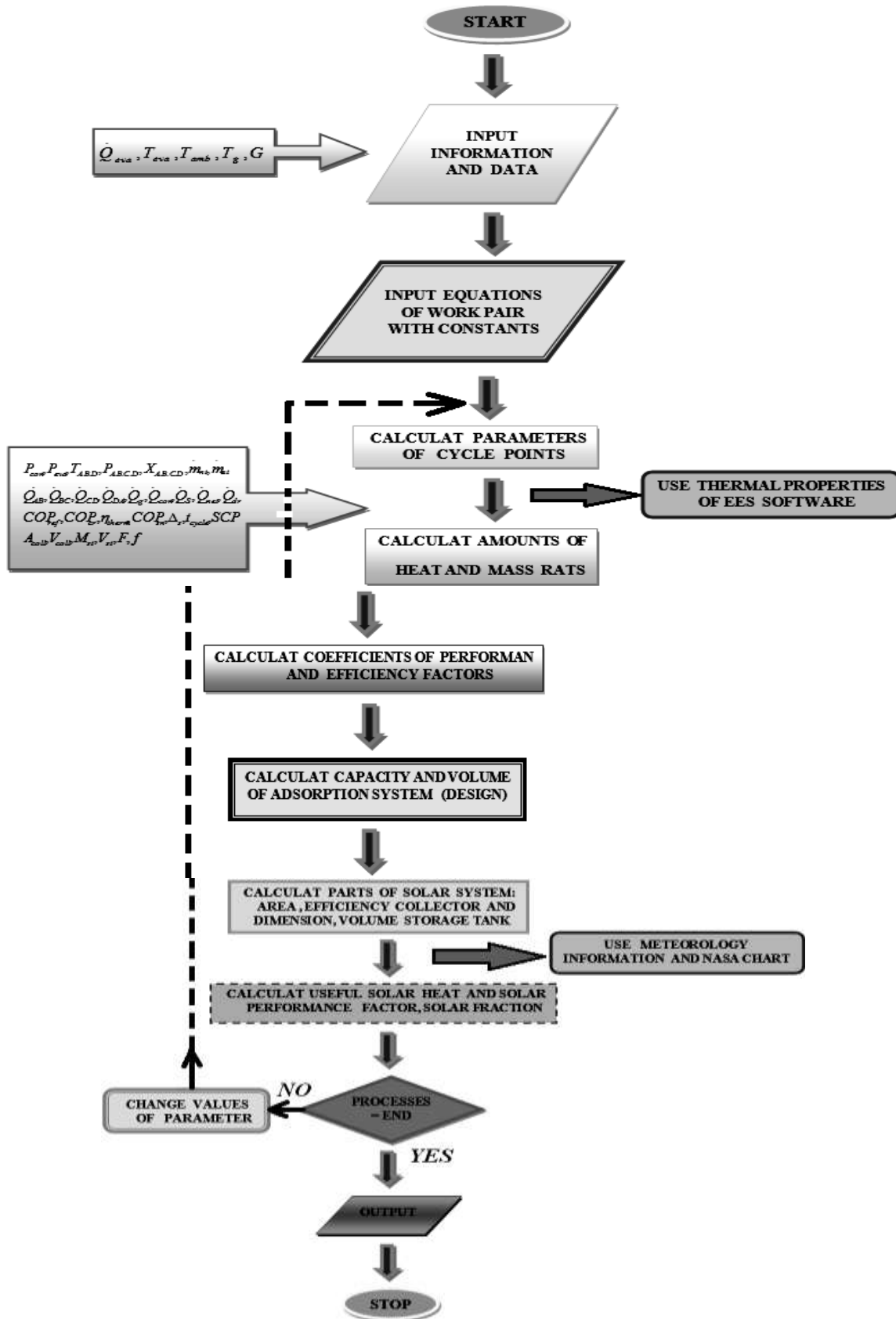
النتائج والمناقشة:

المعطيات الأساسية وشروط الدراسة:

- مكان الدراسة: المنطقة الساحلية (مرفاً طرطوس). - زوج العمل المستخدم: الزيوليت/ماء (تكييف عادي).

- شدة الإشعاع الشمسي: $G = 6000 \text{ Wh} / \text{m}^2 \cdot \text{day}$ (لشهر حزيران مثلاً).

- درجة حرارة الوسط المحيط: $T_{amb} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$. - درجة حرارة التبخير: $T_{eva} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$.



الشكل (5) المخطط الصندوقي لنظام التبريد الامصاصي الشمسي

-درجة حرارة التكثيف: $T_{con} = (T_{amb} + 5)^\circ C$. -درجة حرارة الادمصاص: $T_A = (T_{amb} - 3)^\circ C$.

-درجة حرارة التوليد: $T_g = 90^\circ C$ ودرجة حرارة الدخول إلى اللاقط: $T_m = 35^\circ C$.

-نوع اللواقط المستخدمة: المسطحة ذات النوع المفرغ ونفترض درجة حرارة الدخول إلى الخزان الحراري تساوي درجة حرارة الخروج منها أو درجة حرارة التوليد ($T_{st} = T_C$) مع درجة حرارة أعظمية تصل داخله إلى $T_{st,max} = 115^\circ C$.

-الساعات الحرارية وأنتالبي التبخير والادمصاص وكثافة المواد تحسب من البرنامج مباشرة أو تؤخذ من جداول خاصة.

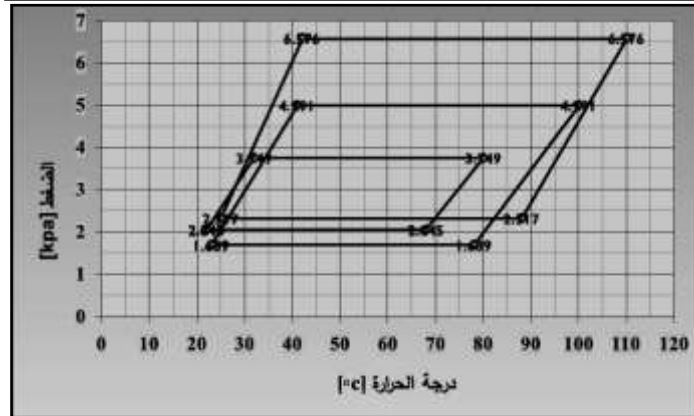
بعد تحديد المعطيات الأساسية توصلنا إلى النتائج التالية:

1. تمثيل دارة التبريد بالادمصاص:

يتم تمثيل دارة التبريد بالادمصاص بعد معرفة بارامترات النقاط الأربع من ضغط ودرجة حرارة، ويمكن الحصول على أكثر من منحني مكافئ لهذه الدارات من خلال تغيير قيمها المفروضة والمحسوبة ضمن البرنامج، كما هو موضح بالشكل (6) على مخطط كلايبيرون بدلالة الضغط ودرجة الحرارة، وتم أخذ ثلاث حالات بتغيير المعطيات في كل حالة وهي درجة التكثيف والتبريد مع درجة حرارة التوليد والادمصاص وفقاً للجدول (1).

الجدول (1) بيانات تمثيل دارة التبريد الادمصاصية بثلاث حالات باستخدام برنامج EES

تبريد دارة	$T_{eva}=18$ $T_A=22$	$T_{con}=28$ $T_C=80$	$T_{eva}=15$ $T_A=23$	$T_{con}=33$ $T_C=100$	$T_{eva}=20$ $T_A=25$	$T_{con}=38$ $T_C=110$
النقطة A	2.045	22	1.689	23	2.317	25
النقطة B	3.749	32	4.991	41	6.576	42
النقطة C	3.749	80	4.991	100	6.576	110
النقطة D	2.045	68	1.689	78	2.317	88
النقطة A	2.045	22	1.689	23	2.317	25

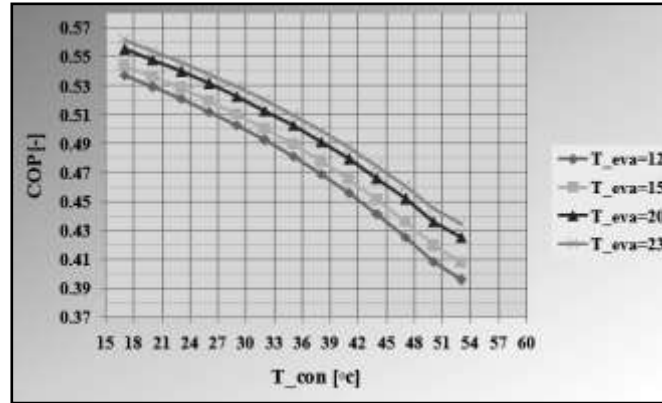


الشكل (6) مخطط يمثل ثلاث دارات ادمصاصية باستخدام البرنامج EES

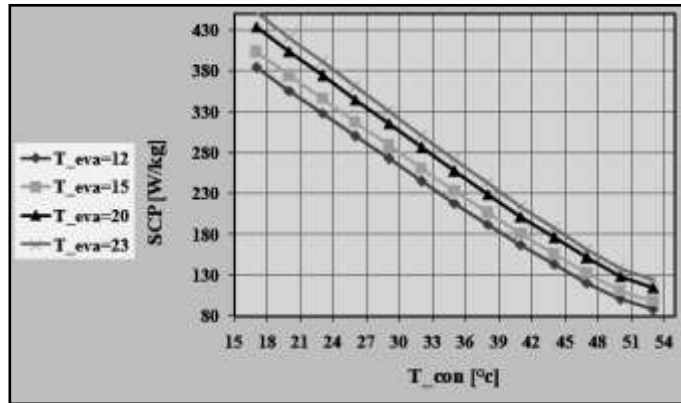
2. تأثير درجة حرارة التكثيف:

تلعب درجة حرارة وسيط التبريد المستخدم في تكثيف بخار المادة المدمصة دوراً كبيراً في تحديد شروط النظام، حيث قمنا بدراسة تأثير درجة حرارة التكثيف على كل من معامل الأداء الحراري واستطاعة التبريد النوعية (SCP)، وذلك عند أربع قيم متغيرة لدرجة حرارة التبخير مع ثبات درجتي حرارة التوليد والادمصاص، فمن المخططات الناتجة

المبينة في الشكلين (7,8) نجد أنه مع زيادة درجة حرارة التكتيف يتناقص كل من معامل الأداء والاستطاعة النوعية، والهدف من تناقص معامل الأداء هو الوصول إلى درجة حرارة التوليد المطلوبة (T_g)، حيث حصلنا على معامل أداء ($COP=0.5$) واستطاعة تبريد نوعية ($SCP=280W/kg$) عند درجة حرارة تكتيف ($T_{con}=33^{\circ}C$) التي تمثل درجة حرارة التكتيف التصميمية في نظامنا المدروس.



الشكل (7) يبين تأثير درجة التكتيف على معامل الأداء الحراري عند عدة قيم لدرجة حرارة التبخير

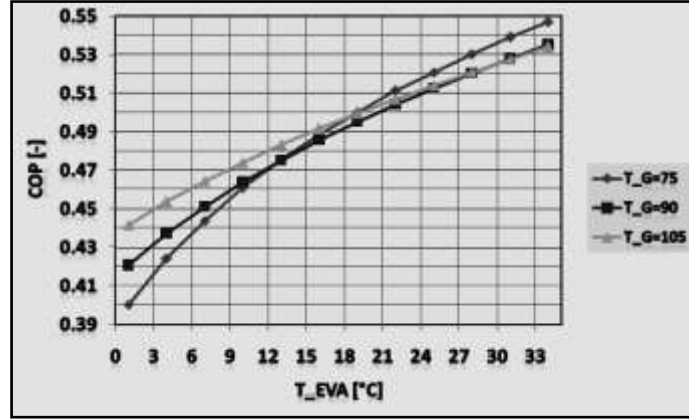


الشكل (8) يبين تأثير درجة التكتيف على استطاعة التبريد النوعية عند عدة قيم لدرجة حرارة التبخير

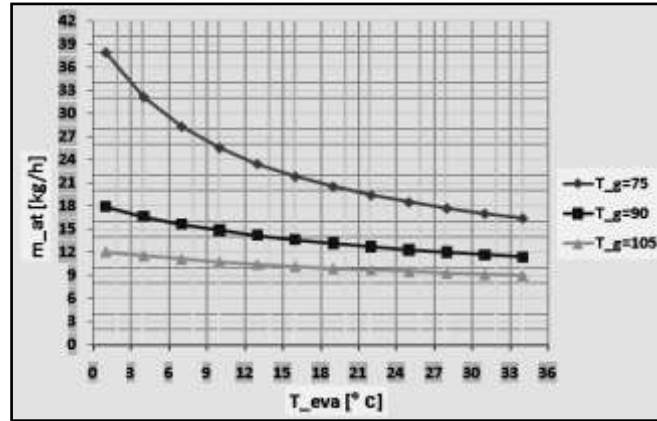
3. تأثير درجة حرارة التبخير:

تبين من الدراسة أنه مع تناقص درجة حرارة التبخير يتناقص معامل الأداء الحراري للدارة الشكل (9)، وهذا يعني أن كمية الحرارة المطلوبة ستزداد من أجل الوصول إلى درجة حرارة توليد ثابتة وبالنتيجة حجم نظام أكبر. كما نجد من الشكل (10) تناقص كتلة مادة الادمصاص مع زيادة درجة حرارة التبخير حتى تثبت عند قيمة محددة، وذلك عند درجة حرارة توليد عظمى ثابتة. نلاحظ من الشكل أيضاً أن القيم المقابلة لدرجات حرارة توليد وتبخير تصميمية

$$(COP = 0.49, m_{at} = 13 \text{ kg / h}) \text{ هي } (T_g = 90^{\circ}C, T_{eva} = 15^{\circ}C)$$



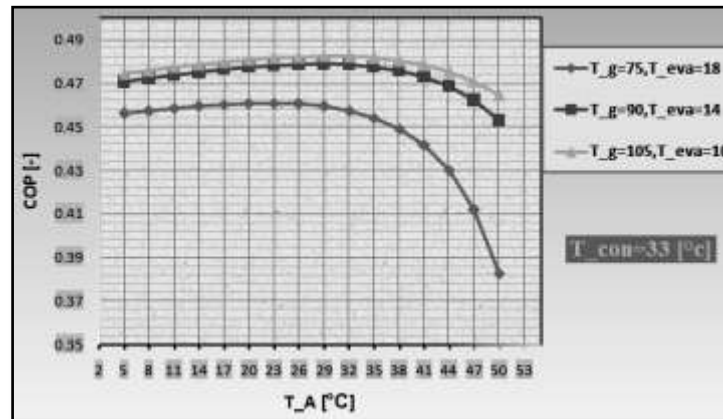
الشكل (9) تأثير درجة حرارة التبخير على معامل الأداء عند عدة قيم لدرجة حرارة التوليد



الشكل (10) تأثير درجة حرارة التبخير على كمية المادة المدمصة عند عدة قيم لدرجة حرارة التوليد

4. تأثير درجة حرارة الإدمصاص:

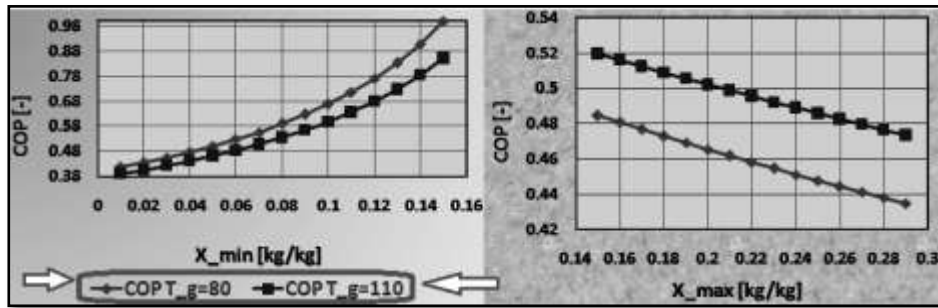
تبين أن الزيادة في درجة حرارة الإدمصاص تؤدي إلى الزيادة في معامل الأداء الحراري حتى قيمة محددة، حيث يبدأ بعدها معامل الأداء بالتناقص، وتعدّ هذه الدرجة تصميمية، بناءً على ذلك تم اختيار درجة حرارة إدمصاص $(T_A = 25^\circ C)$ حيث يتحقق معامل أداء جيد (COP=0.48).



الشكل (11) تأثير درجة حرارة الإدمصاص على معامل الأداء الحراري للدارة

5. تأثير نسب التركيز ضمن الدارة (X_{max}, X_{min}):

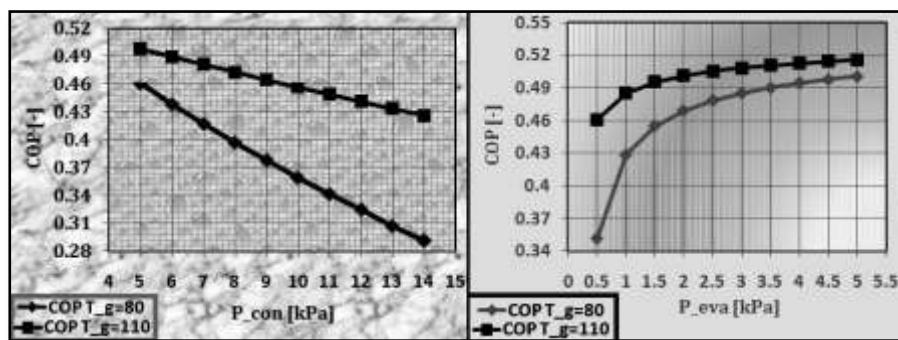
إن التناقص في نسبة التركيز X_{max} يعني تمثيلاً انتقال منحنى هذه القيمة على مخطط كلايرون نحو اليمين، لذلك نلاحظ أن معامل الأداء (COP) يتناقص عندما يزداد هذا التركيز، وهذا يعني الحاجة إلى كمية حرارة أكبر للنظام من أجل القيام بعملية التوليد. أما في حالة زيادة X_{min} والتي تعني أن منحنى التركيز الأصغري يتجه نحو اليسار على المخطط، أي أن فترة التوليد سوف تكون أقل مما هو عليه في الحالة السابقة.



الشكل (12) تأثير نسب التركيز الأعظمي والأصغري على معامل الأداء الحراري عند درجتي توليد

6. تأثير كل من ضغط التكثيف والتبخير على أداء النظام:

تلعب قيم ضغوط التبخير والتكثيف دوراً هاماً في تحديد آلية عمل وفعالية الدارات الادمصاصية، حيث نجد من الشكل (13) أن معامل الأداء (COP) يتحسن مع تناقص ضغط المكثف، وهذا يعني زيادة واضحة في إنتاجية التكثيف، لأن زيادة ضغط التكثيف سوف يزيد من الضغط ضمن وعاء الادمصاص أي زيادة الزمن اللازم من أجل حصول عملية التوليد، وبالتالي تناقص الكمية المتكاثفة بالمكثف. نجد من الشكل نفسه (13) الحالة العكسية والتي تظهر زيادة معامل الأداء (COP) مع زيادة ضغط التبخير، وهذا يدل على أن معدل تدفق وسيط التبريد سيزداد مع زيادة هذا الضغط.

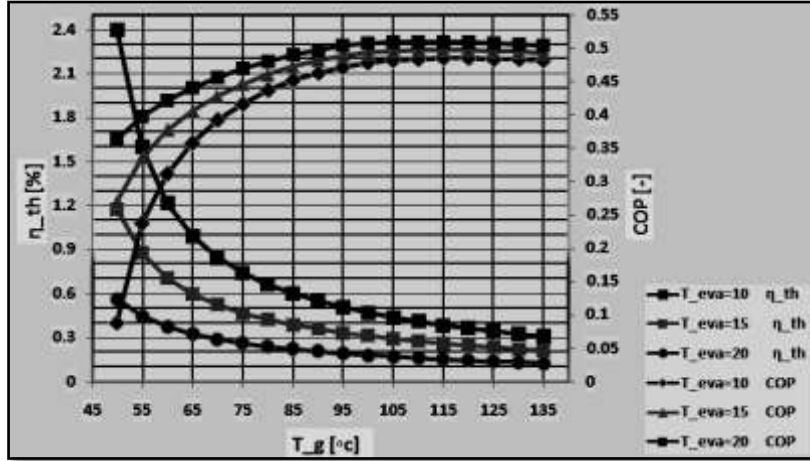


الشكل (13) تغيرات ضغط التبخير والتكثيف مع معامل الأداء الحراري

7. تأثير درجة حرارة التوليد (T_g):

تعدّ درجة حرارة التوليد من أهم البارامترات التي تدخل في تصميم هذا النظام، لكونها تلعب دوراً هاماً في تحديد كمية الحرارة اللازمة للتوليد والتي تناسب إنتاجاً تبريدياً معيماً، إضافة لأنها ترتبط بنوع زوج العمل المستعمل، حيث لكل

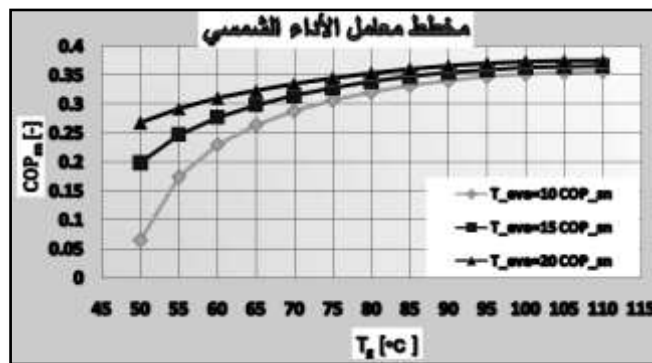
وسيط تبريد درجة معينة يبدأ عندها بالتبخير. قمنا بدراسة تغيرات درجات حرارة التوليد على كل من معامل الأداء الحراري والمردود الحراري وذلك عند ثلاث قيم لدرجة حرارة التبخير والنتائج موضحة بالشكل (14). نستنتج من الشكل أن النظام الادمصاصي يتميز بعمله عند درجات حرارة توليد منخفضة تتراوح بين $(80^\circ\text{C} - 55^\circ\text{C})$ حيث تناسب العمل مع الأنظمة الشمسية المسطحة العادية مع فعالية أداء $(COP = 0.3 - 0.6)$ ومردود حراري يصل إلى (0.9) أي بنسبة 90% ، بينما تشير القيم $(\eta > 1)$ إلى ذهاب الحرارة لحصول عملية الادمصاص (عدم وجود إنتاج تبريدي).



الشكل (14) تأثير درجة حرارة التوليد على معامل الأداء والمردود الحراري

8. معامل الأداء الشمسي للنظام:

يبرز تأثير درجة حرارة التوليد على معامل الأداء الشمسي المرتبط بشدة الإشعاع ومساحة اللواقط والمعبر عنه بالطاقة الحرارية الشمسية المستفاد منها كما هو موضح بالشكل (15):



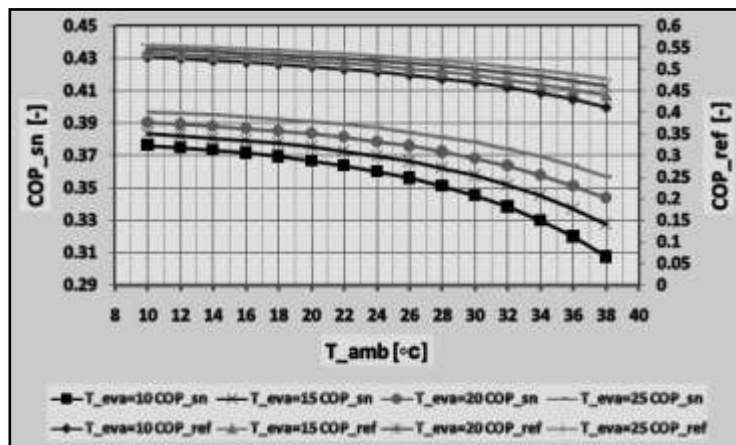
الشكل (15) مخطط معامل الأداء الشمسي مع درجات حرارة التوليد والتبخير

يتبين من الشكل زيادة معامل الأداء الشمسي مع زيادة درجة حرارة التوليد حتى تصل إلى قيمة محددة، هذا من جهة وكذلك زيادته مع زيادة درجة حرارة التبخير أو التكثيف من جهة أخرى، ليثبت عند قيمة محددة، وبالتالي نستطيع الحصول على معامل أداء شمسي $(COP_{sun} = 0.35)$ من أجل استطاعة بحدود (1 ton) وذلك عند درجة حرارة توليد

($T_g = 75^\circ\text{C}$) وهذه قيمة عالية وهامة لهذا الأداء مقارنة مع درجة حرارة التوليد التي تعدّ قليلة بسبب سهولة الحصول عليها بواسطة اللواقط المسطحة.

9. تأثير درجة حرارة الوسط المحيط:

تؤثر درجة حرارة الوسط المحيط في النظام المدروس تأثيراً كبيراً من ناحية تشغيله وأداء عمله، كونها تؤثر في عدة بارامترات تدخل مباشرة في تصميمه وخاصةً درجة حرارة التكثيف والادمصاص، كما أنها خاضعة للتغير تبعاً لفصول السنة، وهذا سينعكس على أداء النظام الادمصاصي والأداء الشمسي كما يظهر بالشكل (16)، الذي يبين بشكل عام تراجع كل من معاملي الأداء الحراري والشمسي مع زيادة درجة حرارة الوسط المحيط.

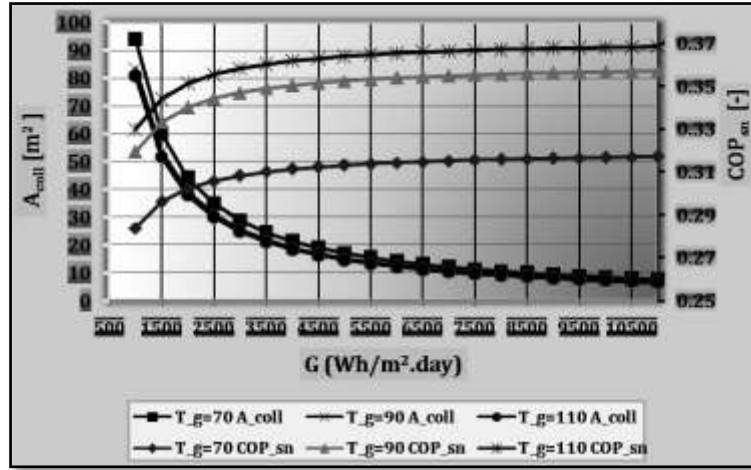


الشكل (16) دراسة تغيرات معاملات الأداء الحراري والشمسي مع تغير درجة حرارة الوسط المحيط

10. تأثير شدة الإشعاع الشمسي:

إن لهذا العامل أثراً كبيراً على تصميم النظام، كون قيمته ستحدد كمية الحرارة اللازمة لتغطية الحمل المطلوب من التبريد، إضافة إلى أن قيمه متغيرة غير ثابتة، لذلك تعدّ دراسته أمراً هاماً.

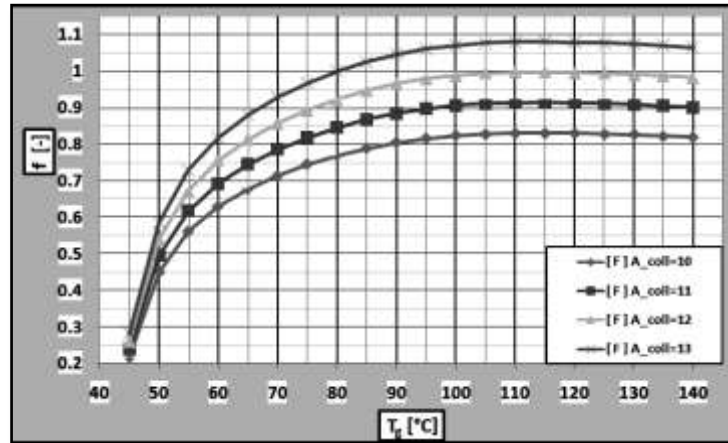
يظهر الشكل (17) تغيرات قيم الإشعاع الشمسي الشهري مع معامل الأداء الشمسي ومساحة اللواقط. نجد أنهمع زيادة قيمة الإشعاع الشمسي يزيد معامل الأداء الشمسي وتتناقص مساحة اللواقط الشمسية حتى يستقر كل منهما عند قيمة معينة.



الشكل (17) تغيرات معامل الأداء الشمسي ومساحة اللواقط مع شدة الإشعاع الشمسي

11. تغيرات معامل التغطية الشمسية (الكسر الشمسي):

تم تصميم البرنامج بناءً على حساب مساحة اللواقط الشمسية اللازمة لتغطية الحمل التبريدي المطلوب، وبالتالي يعدّ تحديد هذه المساحة هاماً اقتصادياً خاصةً عندما تكون درجات حرارة التوليد في اللاقط عالية، لذلك قمنا بحساب تغيرات نسبة التغطية الشمسية من أجل هذه الدرجات وضمن المجال التصميمي لمساحة اللواقط من $[10 - 13 m^2]$ ، وذلك كما في الشكل (18) الذي يوضح زيادة نسبة التغطية مع زيادة درجة حرارة التوليد بشكل كبير لتصل إلى قيمة ثابتة تبدأ بعدها بالانخفاض بشكل حاد وذلك عند عدة قيم مختلفة لمساحة اللواقط، كما نلاحظ أن إمكانية الوصول إلى تغطية كاملة للحمل مرتبط بدرجة حرارة التوليد والمساحة معاً اللتين بازيادهما تؤديان إلى زيادة في هذا المعامل، وبذلك نستطيع تأمين تغطية كامل حمل التبريد التصميمي ($F = 1$) من أجل ($T_g = 100 [^{\circ}C]$, $A_{coll} = 12 [m^2]$) بينما نستطيع تأمين الحمل نفسه عند الدرجة ($T_g = 80 [^{\circ}C]$) على أن تصبح المساحة ($A_{coll} = 13 [m^2]$) كحالة ثانية.



الشكل (18) تغيرات معامل التغطية الشمسية مع درجة حرارة التوليد عند عدة قيم لمساحة اللواقط

12. تأثير زمن مدة دورة التبريد أو عدد دورات التبريد المنجزة خلال اليوم:

يحدد زمن دورة التبريد بالوقت اللازم والكافي الذي تستغرقه الدورة الواحدة بدءاً من مرحلة الادمصاص والتسخين وانتهاءً بمرحلة التبخير وإنتاج الأثر التبريدي، إن زيادة هذا الزمن يكون ضرورياً حتى الوصول إلى درجة

حرارة التوليد اللازمة لتسخين وتبخير الكمية المطلوبة من المادة الادمصاصية، لذلك يمكن التحكم بالزمن تبعاً لشروط درجات الحرارة وكتل المواد وكميات الحرارة اللازمة للنظام، يبين الجدول (2) نتائج النمذجة لتغيير زمن التشغيل.

الجدول (2) تأثير زمن مدة دورة التبريد على أهم بارامترات دورة التبريد الادمصاصية

معامل الأداء شمسي (COP_m)	استطاعة التبريد لنوعية $SCP [W/kg]$	الإنتاج لتبريدي $Q_{evap} [kJ/h]$	كتلة مادة الادمصاص $m_m [kg]$	زمن الدورة $t_{cycle} [h]$
0.3784	128.2	12261	47.83	2
0.1892	256.3	6130	23.91	1
0.09461	512.7	3065	11.96	0.5
0.0473	1025	1533	5.979	0.25

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- من خلال الدراسات التحليلية والحرارية والتصميم البرمجي لنظام العمل تم التوصل إلى ما يلي:
1. تم في هذا البحث تصميم نظام تبريد جديد يعمل وفقاً لطريقة الادمصاص بين مادتين تستخدمان لتوليد وسيط التبريد وإحداث الأثر التبريدي، وذلك بواسطة الطاقة الحرارية الشمسية المستخدمة لتشغيل هذا النظام.
- إمكانية عمل النظام الادمصاصي الشمسي عند درجة توليد منخفضة ($80 - 70^\circ C$)، ويمكن الوصول إليها بسهولة خلال أشهر الصيف في منطقتنا الساحلية، وعند ضغوط تشغيل حوالي (4-8 kPa)، مع معامل أداء جيد ($COP=0.4-0.6$)، ومردود حراري ($\eta=0.5-0.9$)، عند نسبة تغطية شمسية كاملة وبمساحة لواقط معقولة.
- استخدام اللواقط الشمسية المسطحة ذات النوع المفرغ التي تؤمن درجات حرارة توليد عالية مع ضغط تخلخل منخفض يناسب عمليات الادمصاص المتكررة.
- إمكانية تطبيق النظام المصمم على المكيفات التي تعمل باستطاعات صغيرة (1-2 ton) والموضوعة ضمن الأمكنة الصغيرة بأحمال ثابتة ومستمرة كغرف القيادة والتحكم والمحركات في الروافع الكهربائية الثقيلة التي سنطبق عليها دراستنا الحالية لاحقاً.
- نستنتج من تحليل نتائج الحساب والنمذجة إمكانية عمل النظام بشكل مستمر دون تقطع خلال فترات النهار والليل لوجود وعائي ادمصاص يشغلان بشكل متبادل.
- يعدّ هذا النظام تطبيقاً اقتصادياً وصديقاً للبيئة.

التوصيات

- يمكن زيادة معامل الأداء حتى قيم كبيرة وتحسين الأداء من خلال الاستفادة من عمليات استرجاع الحرارة الزائدة واستخدام أنظمة بعدة أوعية ادمصاص إضافة لتحسن عمليات النقل الحراري من وعاء معزول وتصميم محدد كزعانف نقل الحرارة واختيار أزواج عمل أفضل.
- العمل على تحويل الدراسة التصميمية والبرنامج النمذجي إلى تطبيق عملي ودعمه بالاعتمادات اللازمة.
- وضع تصاميم أخرى للنظام من خلال تغيير شروط الدراسة وقيم بارامترات ضمن البرنامج ومقارنتها مع بعضها واختيار الأفضل.

المراجع:

- [1] TINE, H.A.; NAIMEH,W.; MALEH,H.*Environmental&Feasibility study to make use of solar energy in Syria.* Energy Procedia 19, Damascus, Syria,2012,30-37.
- [2] STEPHAN,K.; KRAUSS,R.*Regulated CFCs and their alternatives.* In: Meunier F, editor. *Proceedings: Solid Refrigeration Symposium.* Ministe're de la Recherche et de L'Espace,Paris,(1992), 32–43.
- [3]PRIDASAWAS, W. *Solar-Driven Refrigeration Systems with Focus on the Ejector Cycle*,Doctoral Thesis, Royal Institute ofTechnology, KTH, Denmark, 2006.
- [4] LI, M; SUN, C.J.; WANG, R.Z.; CAI, W.D. *Development of no valve solar ice maker.* Thermal Engineering 24, China, 2004, 865–872.
- [5] El FADAR, A.; MIMET, A.; PE'REZ-GARCI', M.*Modeling and performance study of a continuous adsorption refrigeration system driven by parabolic trough solar collector.*Solar Energy 83, Spain, 2009, 850–861.
- [6]PRIDASAWAS, W.*solarcooling*, Assignment for Ph.D. Course: Solar Heating, Technical Universityof Denmark (DTU),(2003).
- [7] MICHEAL, P. *Principle of Adsorption Cycles for Refrigeration or Heat Pumping.* From Web site, Acquired date; 07.09.2009,< <http://www.The International Adsorption Society-IAS>>.
- [8] WANG,L.W; WANG, R.Z.; LU,Z.S; CHEN C.J.*The performance of two adsorption ice making test units using activated carbon and a carbon composite as adsorbent,* Carbon44 ,(2006),2671-2680.
- [9] WANG, L.W.; WANG, R.Z.; OLIVEIRA R.G. *A review on adsorption working pairs for refrigeration.* Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, Shanghai, China, 2009,518–534.
- [10]KhATTAB, N.M.*A novel solar-powered adsorptionrefrigeration module.*Applied Thermal Engineering 24, Cairo, Egypt, (2004), 2747–2760.
- [11] SANJUNG, Y.; LINWEI, M. *Comparison Among Three Adsorption Pairs for Using as the Working Substances in a Multi-Bed Adsorption Heat Pump.* Applied Thermal Engineering 28, Mechanical Engineering department, National Chung Hsing University, (2008), 988-997.