

## نمذجة آلات التبريد الامتصاصية ومحاكاتها باستخدام البرنامج EES

الدكتور جابر ديبية\*

(تاريخ الإيداع 10 / 10 / 2012. قُبل للنشر في 10 / 12 / 2012)

### □ ملخص □

تم في هذا البحث تقديم دراسة تحليلية وبرمجية لآلة تبريد امتصاصية أحادية المرحلة ذات استطاعة صغيرة باستخدام المحلول الثنائي (الماء، وبروميد الليثيوم). وبالاعتماد على الميزات الترموديناميكية لهذا المحلول العامل، وعلى المعادلات النفاضية لتوازن الطاقة والكتلة لعناصر الدارة عند شروط حدية متغيرة للمولد؛ تم تحديد خصائص تشغيل الآلة لأغراض التكيف عند شروط حدية مختلفة لكل من المولد، والمبخر، والمكثف باستخدام البرنامج الحاسوبي EES، وتحليل تلك الخواص ومناقشتها.

بينت النتائج أن معامل الأداء يزداد مع ازدياد كل من درجة حرارة المولد والمبخر، وبسبب ازدياد درجة حرارة المكثف انخفاضاً في معامل أداء الدارة. ويمكن أن يستخدم المحلول الثنائي (الماء، وبروميد الليثيوم) لأغراض التكيف بمعامل أداء جيد، ودرجة حرارة منخفضة للمولد يمكن تأمينها عن طريق المجمعات الشمسية المسطحة، حيث تتميز تلك المجمعات ببساطة صنعها ورخص ثمنها. تساعد هذه النتائج في اختيار ظروف التشغيل للنظم القائمة، وتحقيق التشغيل الأمثل لها.

**الكلمات المفتاحية:** تبريد، امتصاصية، Absorption، الطاقة الشمسية، الماء، بروميد الليثيوم.

\*أستاذ مساعد - قسم القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Modeling and Simulation of Vapor Compression Refrigeration Systems by using EES- Program

Dr. Jaber Dieba\*

(Received 10 / 10 / 2012. Accepted 10 / 12 / 2012)

### □ ABSTRACT □

In this research, a single stage vapor compression refrigeration machine with different refrigerants has been analyzed, studied, computed and tested. A computer simulation model EES (Engineering Equation Solver) has been used. The model is based on thermodynamic properties for these refrigerants and on detailed mass and energy balance for the cycle components at various boundary conditions.

The results show that increasing evaporator temperatures cause increasing in coefficient of performance and increasing in cold performance for cycle. The refrigerant Ammoniac "NH<sub>3</sub>" gives the best cold performance and a high coefficient of performance for cycle. These results can be used in selecting operating conditions for existing systems and for maintain optimum operation of the system.

**Keywords:** Modeling, Simulation, Cooler, Vapor Compression, Refrigerant

---

\* Associate Professor, Department of Thermal Energy, Faculty of mechanical and electrical Engineering, Tishreen university, Lattakia, Syria

**مقدمة :**

ازداد الاهتمام في السنوات الأخيرة بأساليب التبريد والتجفيف التي تستخدم الطاقة الحرارية ذات درجات الحرارة المنخفضة؛ حيث من الممكن تحويل الطاقة الحرارية الشمسية إلى طاقة كهربائية، ثم تغذيتها إلى آلة تبريد انضغاطية أو جهاز تكييف هواء للحصول على التأثير التبريدي المطلوب، وتعمل هذه الآلات بمواد تبريد كلورالوجينية لها مضار بيئي؛ لذلك تم في الآونة الأخيرة استصدار تعليمات بمنع استخدام هذه المواد المضرّة بطبقة الأوزون، أو التي تؤدي إلى زيادة الانحباس الحراري في الطبيعة. إن هذه الطريقة لاستخدام الطاقة الشمسية في التبريد والتكييف غير مجدية اقتصادياً، وهذا يستدعي ضرورة البحث عن طرق أخرى للاستفادة من الطاقة الحرارية الشمسية مباشرة بدلاً من تحويلها إلى طاقة كهربائية.

بما أن آلة التبريد الامتصاصية تعمل بشكل أساسي على الطاقة الحرارية، ولا تحتاج إلا إلى قدر ضئيل من الطاقة الكهربائية، فإنه يمكن تشغيلها من حيث المبدأ باستخدام الطاقة الشمسية الحرارية أو بشكل عام باستخدام مصادر أخرى للطاقت المتجددة الحرارية. ولآلة التبريد الامتصاصية ميزتان أساسيتان: الأولى أنه يمكن قيادتها بواسطة الطاقة الحرارية التي يمكن الحصول عليها من الطاقة الشمسية أو طاقة الضياعات الحرارية في المصانع التي تهدر بدون فائدة، وهذا ما يؤدي إلى الوفرة في الطاقة الكهربائية، والوفرة في انبعاث الغازات الضارة بالبيئة. والثانية أن الآلات الامتصاصية تعمل بمواد تبريد طبيعية مثل النشادر والماء...، وهذه المواد ليس لها أي مضار بيئية، وهذا ما يعزز إمكانية استبدال آلات التبريد الانضغاطية بآلات التبريد الامتصاصية، إضافة إلى أن آلات التبريد الامتصاصية لا تحتاج إلى استطاعة كهربائية عالية؛ لأنها يمكن أن تعمل بالطاقة الشمسية الحرارية، أو بواسطة حرق الغاز، أو بواسطة الماء الساخن الناتج من عوادم العمليات الصناعية، وهي تتميز عن أنظمة التبريد التقليدية بما يلي: نظام تشغيل هادئ، وموثوقية عالية، وقدرة أبسط وأسهل للتحكم بالآلية، وصيانة أقل [1 - 3].

يعتمد عمل آلة التبريد الامتصاصية على سحب الحرارة من المكان المطلوب تبريده، وطرحها إلى الوسط الخارجي؛ إذ من الواضح أن مبدأ العمل في هذا النظام هو الاعتماد على التبادل الحراري بين الوسيطين العاملين؛ ولذا يجب على أحد الوسيطين أن يمتص الحرارة من الوسيط الثاني ويتبخّر، ثم يقوم بطرح هذه الحرارة في مكان آخر (المكثف مثلاً). انطلاقاً من ذلك فإن عملية التبادل الحراري ستكون أفضل، كلما كان الفرق كبيراً بين درجتي حرارة تبخر الوسيطين؛ وبهذا لن يكون هناك تعقيد في عملية تصميم آلة التبريد الامتصاصي [4 - 6].

تتصف المادة الماصة بأن درجة حرارة تبخرها أعلى بكثير من درجة حرارة التبخر لوسيط التبريد. وأكثر المحاليل استعمالاً هي: محلول الأمونيا مع الماء باعتبار الأمونيا وسيط التبريد والماء مادة ماصة، ومحلول الماء وبروميد الليثيوم (LiBr)، ويعتبر الماء وسيط التبريد وبروميد الليثيوم هو المادة الماصة. يعتمد اختيار أحد هذين الوسيطين أساساً على شروط التشغيل، ودرجات الحرارة المطلوبة، والأحمال الحرارية المطلوب إزالتها [7].

يفترض أن تكون وسائط التبريد رخيصة الثمن، وأن تكون حرارتها الكامنة للتبخير عالية، وأن تكون قابلة للامتصاص عند درجات حرارة تبريد منخفضة نسبياً من (20 - 40 °C) في المادة الماصة، وأن تكون قابلة للانفصال بشكل جزئي عن المحلول عند درجات حرارة المولد بدءاً من (60 °C). إضافة إلى ذلك يجب أن يحقق المحلول من كلتا المادتين المتطلبات الآتية:

- استقرار حراري وكيميائي لفترات طويلة من التشغيل.
- لزوجة منخفضة عند ظروف التشغيل.

- غير قابل للانفجار، وانعدام أو انخفاض القدرة على التآكل.
- غير سام وضار صحياً.
- انخفاض درجة حرارة تجمده عن أقل درجة حرارة في الدارة.
- انخفاض الحرارة النوعية.

يجب أن تكون درجة حرارة تبخير المادة الماصة مرتفعة بالمقارنة مع درجة حرارة تبخير وسيط التبريد؛ لكي تسهل عملية الفصل في المولد.

### أهمية البحث وأهدافه :

إن هدف البحث هو تحقيق إمكانية التنبؤ بمعامل أداء آلات التبريد الامتصاصية أحادية المرحلة من خلال النمذجة والمحاكاة باستخدام البرنامج الحاسوبي (EES (Engineering Equation Solver)؛ ثم اختيار ظروف التشغيل الأمثل وخواصه المناسبة لآلات التبريد الامتصاصية لأغراض التكيف عند شروط حدية مختلفة، وتحليل تلك الخواص ومناقشتها. وسنقوم في الدراسة الحالية بحساب معامل الأداء، ومعامل التدوير لتلك الآلات عند ظروف تشغيل مختلفة باستخدام المحلول الثنائي (الماء - بروميد الليثيوم)؛ وذلك على اعتبار أن الماء يمثل مادة التبريد وبروميد الليثيوم هو المادة الماصة.

### طرائق البحث ومواده :

#### مبدأ عمل الدارة الامتصاصية:

يوضح الشكل(1) رسماً تخطيطياً لدارة تبريد امتصاصية أحادية المرحلة، تستخدم الدارة محلولاً متجانساً من مادتين، وبإضافة الحرارة إلى المولد الحراري يتم فصل إحدى المادتين من المحلول على شكل بخار يعمل بوصفه وسيط تبريد، يجري هذا البخار من المولد إلى المكثف حيث يتم تكثيفه إلى سائل، وتطرد حرارة التكثيف إلى الجو المحيط، يتمدد سائل وسيط التبريد إلى المبخر عن طريق تمريره عبر صمام تمدد، ويتم تأمين حمل التبريد بسحب الحرارة اللازمة لتبخير وسيط التبريد، ويجري بخار وسيط التبريد إلى الماص.

بعد توليد بخار وسيط التبريد في المولد الحراري يخرج المحلول ضعيف التركيز من المولد الحراري، حيث يمرر في المبادل الحراري، ثم يتمدد (أي ينخفض ضغطه) خلال صمام التمدد إلى الماص، في الماص يمتص المحلول بخار وسيط التبريد القادم من المبخر، وينتج من عملية الامتصاص طاقة حرارية تطرد إلى الجو الخارجي، تقوم المضخة برفع ضغط المحلول الناتج من عملية الامتصاص إلى الضغط المرتفع في المولد الحراري، ثم تستمر الدارة الترتيب السابق نفسه، ويستخدم المبادل الحراري الموضح في الدارة؛ لتحسين أداء الدارة بالتبادل الحراري بين المحلول الساخن العائد من المولد والمحلول البارد الذاهب إلى المولد.



المبخر: عبارة عن مبادل حراري يتم فيه تبريد وسيط التشغيل المار من وشيعة التبريد (الماء) عن طريق تساقط وسيط التبريد على حزم متعددة من الأنابيب. وغالباً ما يكون مصنوعاً من النحاس أو خليطة النحاس مع النيكل، ودرجة حرارة المبخر المطلوب حسب درجة حرارة وشيعة التبريد هي  $7 [^{\circ}\text{C}]$ .

بتطبيق مبدأ التوازن الحراري على المبخر نجد:

$$\dot{Q}_E + \dot{m}_d \cdot h_6 = \dot{m}_d \cdot h_7 \quad (4)$$

ومنه فإن معدل كمية الحرارة المقدمة إلى المبخر من المكان المراد تبريده (استطاعة التبريد) هي:

$$\dot{Q}_E = \dot{m}_d \cdot (h_7 - h_6) \quad (5)$$

الماص: عبارة عن وعاء يتم فيه امتصاص بخار الماء من قبل المحلول بعد خروجه من المبخر، وتنتج عن هذه العملية كمية من الحرارة تتم إزالتها عن طريق برج التبريد المربوط مع المكثف. الوعاء الماص مصنوع من الفولاذ الطري أما أنابيب التبريد فهي من خلائط النحاس مع النيكل.

إن أقل درجة حرارة مسموح بها على مخرج وعاء الامتصاص "حسب معطيات درجة حرارة كل من المكثف

والمبخر" هي

$30 [^{\circ}\text{C}]$ ؛ لمنع تبخر الماء في خط سحب المضخة وكذلك توقف الآلة.

بتطبيق مبدأ التوازن الحراري على الماص نجد:

$$\dot{Q}_A + \dot{m}_d \cdot h_1 = \dot{m}_d \cdot h_7 + \dot{m}_a \cdot h_{10} \quad (6)$$

أما التوازن الكتلي على الماص فيعطي:

$$\dot{m}_r = \dot{m}_d + \dot{m}_a \quad (7)$$

ومنه فإن التدفق الحراري في الماص هو:

$$\dot{Q}_A = \dot{m}_d \cdot h_7 + (\dot{m}_r - \dot{m}_d) \cdot h_{10} - \dot{m}_r \cdot h_1 \quad (8)$$

المكثف: مبادل حراري يتم فيه تبريد بخار الماء "وسيط التبريد" القادم من المولد. يتوضع المكثف قرب المولد

حيث يتكاثف بخار وسيط التبريد خارجياً على أنابيب المكثف المصنوعة من الستانلس ستيل. يتم تبريد المكثف بالهواء

أو الماء وهو المستخدم في الدارة لدينا حيث إن درجة حرارة التكاثف هي  $30 [^{\circ}\text{C}]$ .

بتطبيق مبدأ التوازن الحراري على المكثف نجد:

$$\dot{Q}_C + \dot{m}_d \cdot h_5 = \dot{m}_d \cdot h_4 \quad (9)$$

ومنه فإن معدل كمية الحرارة المطروحة من المكثف هي:

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_d \cdot (h_4 - h_5) \quad (10)$$

المضخة: مهمة المضخة تدوير وسيط التبريد، والمحلول الماص في الدارة، وتأمين فرق الضغط اللازم. من

الشكل (1) نجد أن الاستطاعة الواجب تقديمها للمضخة هي:

$$W_p = \dot{m}_r \cdot (h_2 - h_1) \quad (11)$$

المبادل الحراري: يقوم المبادل الحراري بعملية تسخين للمحلول بعد المضخة، وقبل دخوله للمولد عن طريق التبادل الحراري بين المحلول الغني (العالي التركيز بالملح) الساخن القادم إلى الوعاء الماص، والمحلول الفقير (المنخفض التركيز بالملح) بعد المضخة؛ وذلك بهدف إنقاص كمية الحرارة المطلوبة في المولد وأيضاً تحسين معامل أداء للدارة [9 - 11].

بتطبيق مبدأ التوازن الحراري في المبادل الحراري (الشكل 1) نجد أن معدل كمية الحرارة التي يكتسبها المحلول الفقير تساوي معدل كمية الحرارة التي يخسرها المحلول الغني.

$$\dot{m}_r.(h_3 - h_2) = \dot{m}_a.(h_8 - h_9) \quad (12)$$

صمامي التمدد: يعملان على تخفيض ضغط وسيط التبريد بين المكثف والمبخر، وتخفيض ضغط المحلول الغني بين المولد والوعاء الماص.

بتطبيق مبدأ التوازن الحراري في صمامي التمدد نجد:

$$h_5 = h_6 \quad (13)$$

$$h_9 = h_{10} \quad (14)$$

للتأكد من صحة العلاقات السابقة نكتب معادلة التوازن الكلية لآلة التبريد الامتصاصية اعتماداً على الشكل (1) كما يلي:

$$\dot{Q}_E + \dot{Q}_G + W_P = \dot{Q}_A + \dot{Q}_C \quad (15)$$

وباعتبار أن قيمة استطاعة المضخة  $W_P$  صغيرة جداً، ويمكن إهمالها بالمقارنة مع الاستطاعات الأخرى، تصبح معادلة توازن الاستطاعة على الشكل الآتي:

$$\dot{Q}_E + \dot{Q}_G = \dot{Q}_A + \dot{Q}_C \quad (16)$$

يعرف معامل الأداء لدارة التبريد الامتصاصية بأنه النسبة بين معدل الحرارة المسحوبة بالمبخر (أي حمل التبريد Q E) ومعدل الحرارة المضافة إلى المولد QG؛ أي:

$$COP = \frac{\dot{Q}_E}{\dot{Q}_G} \quad (17)$$

يمكن أن تضاف للدارة بعض العناصر الآتية :

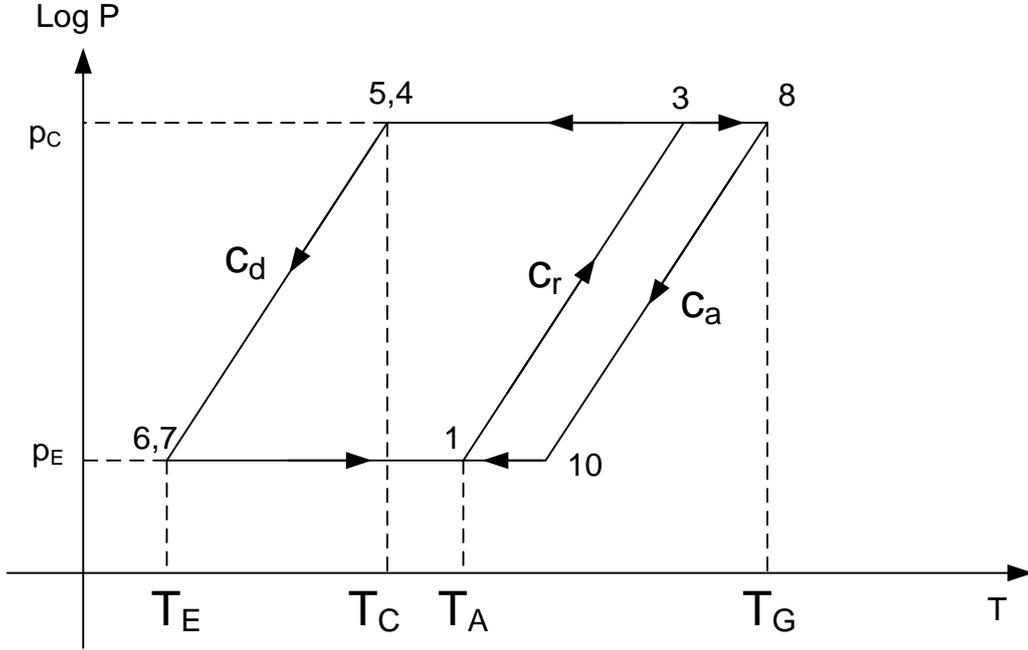
مانع للصدأ: عبارة عن كرومات الليثيوم أو نترات الليثيوم؛ وذلك بهدف حماية الأجزاء الداخلية من الصدأ، ويجب أن تكون درجة الـ PH لهذه الموانع مقبولة، حيث يتم التحكم بدرجة الـ PH عن طريق إضافة هيدروكسيد الليثيوم.

محسّنات الأداء: تستخدم لتحسين أداء الدارة، ومعامل انتقال الحرارة، وأهم هذه المحسّنات هي أوكتيلات الكحول.

[12-13].

### مخطط الضغط ودرجة الحرارة لآلة التبريد الامتصاصية :

يعرض هذا المخطط العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة عند قيم تركيز مختلفة، وتكون هذه العلاقة في الحالة المثالية كخطوط مستقيمة (الشكل 2).



الشكل (2): مخطط الضغط ودرجة الحرارة لآلة التبريد الامتصاصية احادية الطور.

تعمل الدارة في هذا المخطط على النحو الآتي :

يتحول المحلول الثنائي من التركيز Ca إلى التركيز Cr في الماص عبر امتصاص مادة التبريد المتدفقة من المبخر. و تتم هذه العملية عند الضغط PE؛ إذ تنخفض درجة الحرارة في الماص من القيمة T10 إلى القيمة T1. إن المحلول الغني الناتج في النقطة 1 ذي التركيز Cr يتم ضخه عبر المضخة من النقطة 1، ثم يخرج من المبادل الحراري في النقطة 3، حيث يزداد ضغطه من PE إلى PC. وعبر تزويد المولد بالاستطاعة الحرارية QH عند ضغط التكثيف PC، يتم توليد بخار مادة التبريد من المحلول الثنائي، وفي نهاية العملية يغادر المحلول الفقير ذو التركيز Ca المولد عند درجة الحرارة الأعظمية في الدارة T8 = TG متجهاً نحو النقطة 10 بعد مروره في المبادل الحراري؛ وتخفيض ضغطه عبر صمام التمدد. من جهة أخرى يسري بخار مادة التبريد الناتج من المولد إلى المكثف عند الضغط PC (من النقطة 3 إلى النقطة 4)، وعند ذلك يتكاثف البخار على درجة حرارة ثابتة T5 = T4 = TC، ثم يتمدد في صمام التمدد من النقطة 5 التي توافق الضغط الأعظمي إلى النقطة 6 التي توافق الضغط الأصغر، وفي المبخر يتم امتصاص الحرارة من المكان المراد تبريده عند ضغط المبخر PE، فيتم تبخير سائل مادة التبريد عند درجة حرارة ثابتة T7 = T6 = TE، وبعدها يتم امتصاص هذا البخار وفقاً للعملية (1-7) من قبل المحلول الفقير ذي درجة الحرارة T10.

### إنشاء النموذج البرمجي :

من أجل تحديد ظروف التشغيل المثلى لدارة التبريد الامتصاصية، تم استخدام برنامج EES عند شروط عمل مختلفة، بحيث تحقق دارة الامتصاص أكبر معامل أداء ممكن. ويستخدم برنامج EES (Engineering Equation Solver) للنمذجة الرياضية في المسائل الحرارية حيث يقوم البرنامج بحل المعادلات الرياضية الخطية، وغير الخطية، ورسم المخططات البيانية، ويحتوي البرنامج على قاعدة بيانات تتضمن الخواص الحرارية والفيزيائية لعدد ضخم من المواد والموائع المستخدمة. ويتشغيل البرنامج EES واختيار أمر New من قائمة ملف، تظهر نافذة المعادلات فارغة، فنقوم بإدخال معادلات توازن الطاقة والكتلة الواردة سابقاً (المعادلات 1-17)، كذلك يمكن كتابة الكودات الخاصة لاستدعاء الخواص الترموديناميكية والفيزيائية لمحلل العمل المستخدم (الماء، وبروميد الليثيوم) من قاعدة بيانات البرنامج عند الشروط المختلفة، وأخيراً تتم معايرة البارامترات البرمجية الأخرى اللازمة لإتمام عملية الحل [14].

### النتائج والمناقشة :

لحل جملة المعادلات السابقة نختار أمر Solve من قائمة Calculate، فتظهر نافذة الحوار في إشارة إلى تقدم عملية الحل، وعندما تكتمل الحسابات يتغير الزر من إلغاء إلى متابعة، وبالنقر على زر المتابعة، يتم عرض حل هذه المجموعة من المعادلات؛ أي عرض قيم جميع المتحولات (الشكل 3):

Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]				
cop = 0.7514	f = 6.309	$h_1 = 2631$ [kJ/kg]	$h_{10} = 100.2$ [kJ/kg]	$h_2 = 125.7$ [kJ/kg]
$h_3 = 125.7$ [kJ/kg]	$h_4 = 2519$ [kJ/kg]	$h_5 = -3.528$ [kJ/kg]	$h_6 = -3.528$ [kJ/kg]	$h_7 = -54.21$ [kJ/kg]
$h_8 = 39.97$ [kJ/kg]	$h_9 = 100.2$ [kJ/kg]	$m_a = 0.07765$ [kg/s]	$m_d = 0.01462$ [kg/s]	$m_r = 0.09227$ [kg/s]
$p_4 = 1.228$ [kPa]	$p_c = 4.246$ [kPa]	$p_e = 1.228$ [kPa]	$\dot{Q}_A = 44.94$ [kW]	$\dot{Q}_c = 36.64$ [kW]
$\dot{Q}_e = 35$ [kW]	$\dot{Q}_g = 46.58$ [kW]	$t_1 = 70$ [C]	$t_2 = 30$ [C]	$t_5 = 30$ [C]
$t_g = 35$ [C]	$t_c = 30$ [C]	$t_e = 10$ [C]	$t_g = 70$ [C]	$x_a = 58.89$
$x_g = 0$	$X_r = 49.56$			

Calculation time = 0 sec

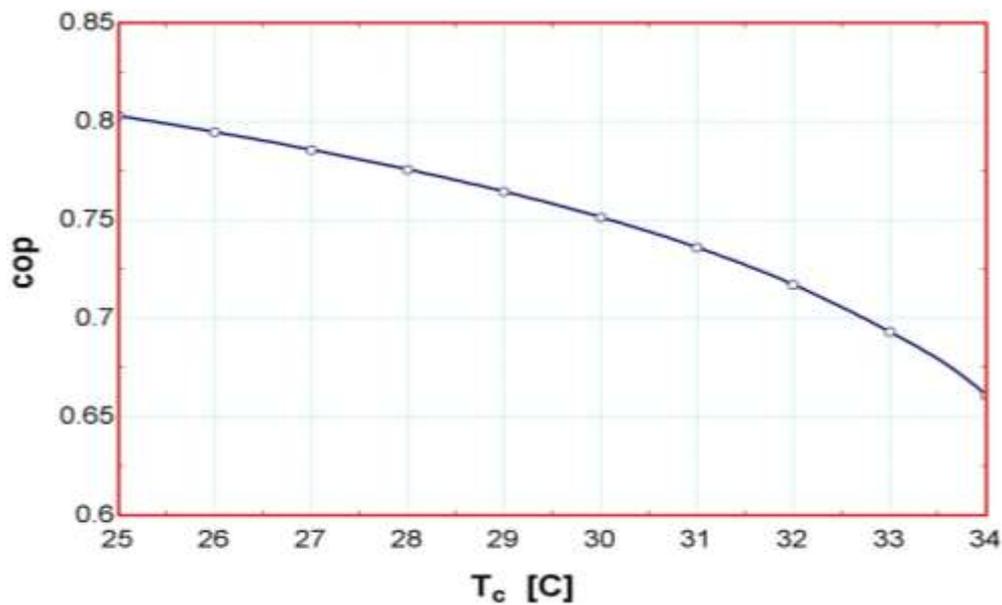
الشكل (3): نافذة حلول برنامج نمذجة ومحاكاة الدارة الامتصاصية

تظهر النتائج التي تربط بين البارامترات المختلفة ضمن جدول كما في الشكل (4):

Run	$T_c$ [C]	cop	$\dot{Q}_A$ [kW]	$\dot{Q}_C$ [kW]	$\dot{Q}_E$ [kW]	$\dot{Q}_S$ [kW]
Run 1	25	0.8028	3.978	41.97	36.63	43.6
Run 2	26	0.7946	4.298	42.42	36.63	44.05
Run 3	27	0.7866	4.67	42.92	36.63	44.55
Run 4	28	0.7756	5.115	43.49	36.63	45.13
Run 5	29	0.7643	5.649	44.16	36.64	45.79
Run 6	30	0.7514	6.309	44.94	36.64	46.58
Run 7	31	0.736	7.151	45.92	36.64	47.56
Run 8	32	0.7171	8.204	47.17	36.64	48.81
Run 9	33	0.6931	9.798	48.85	36.64	50.5
Run 10	34	0.6609	12.08	51.31	36.65	52.96
Run 11	35	0.6152	15.78	55.25	36.65	56.89
Run 12	36	0.5438	22.87	62.71	36.65	64.36
Run 13	37	0.4126	42.44	83.17	36.65	84.83
Run 14	38	0.09489	314.9	367.2	36.65	368.9

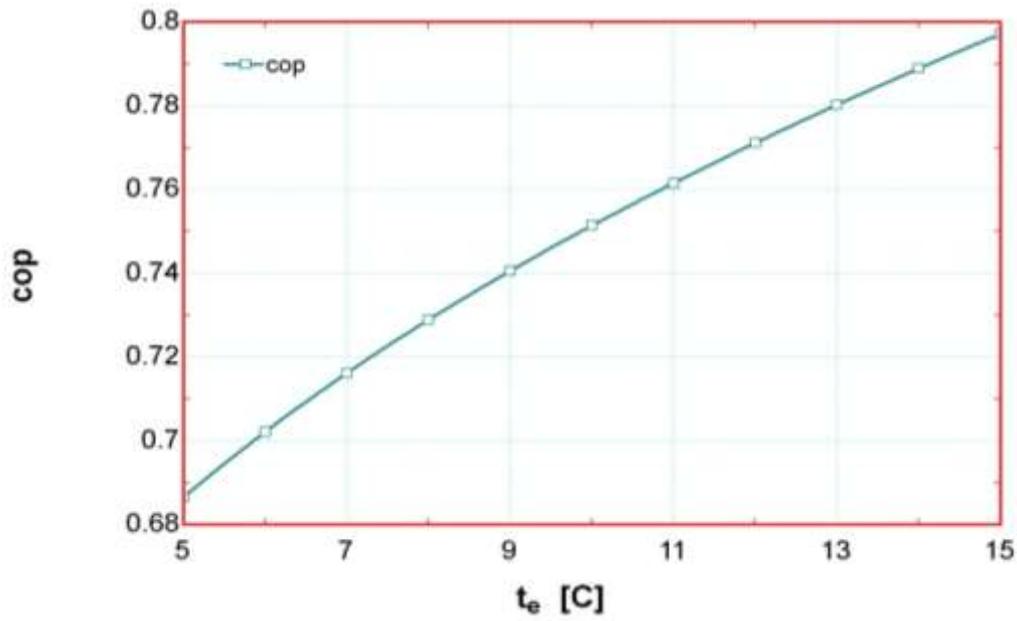
الشكل (4): جدول نتائج محاكاة الدارة الامتصاصية

ثم نقوم برسم المنحنيات باختيار أمر New Plot Window من قائمة Plot فنحصل على المخططات البيانية (الأشكال 5-13):



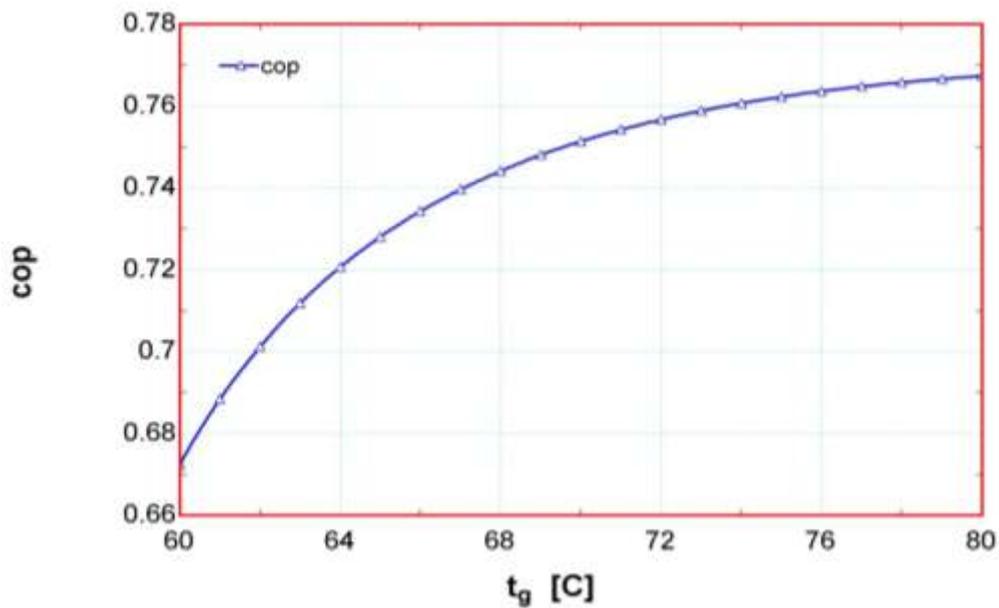
الشكل (5): تأثير درجة حرارة المكثف في أداء الدارة

من المخطط المرسوم بين درجة حرارة المكثف وعامل الأداء للدارة (الشكل 5)، نجد أن عامل الأداء ينخفض كلما ازدادت درجة حرارة المكثف مع ثبات قيم درجات الحرارة لكل من المبخر والمولد.



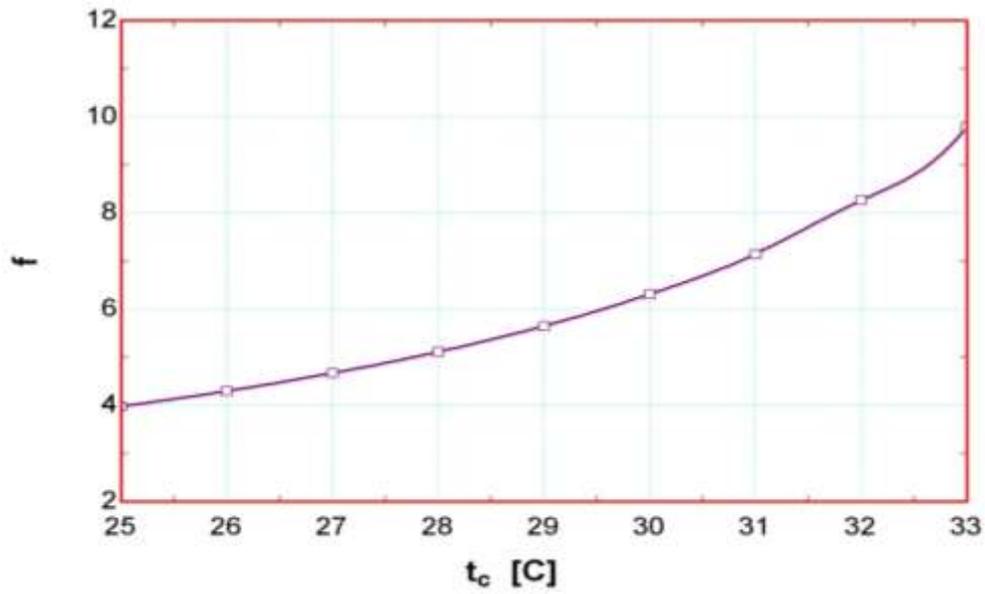
الشكل (6): تأثير درجة حرارة المبخر في أداء الدارة

من المخطط المرسوم بين درجة حرارة المبخر وعامل الأداء للدارة (الشكل 6)، نجد أن عامل الأداء يزداد كلما ازدادت درجة حرارة المبخر مع ثبات قيم درجات الحرارة لكل من المكثف والمولد.



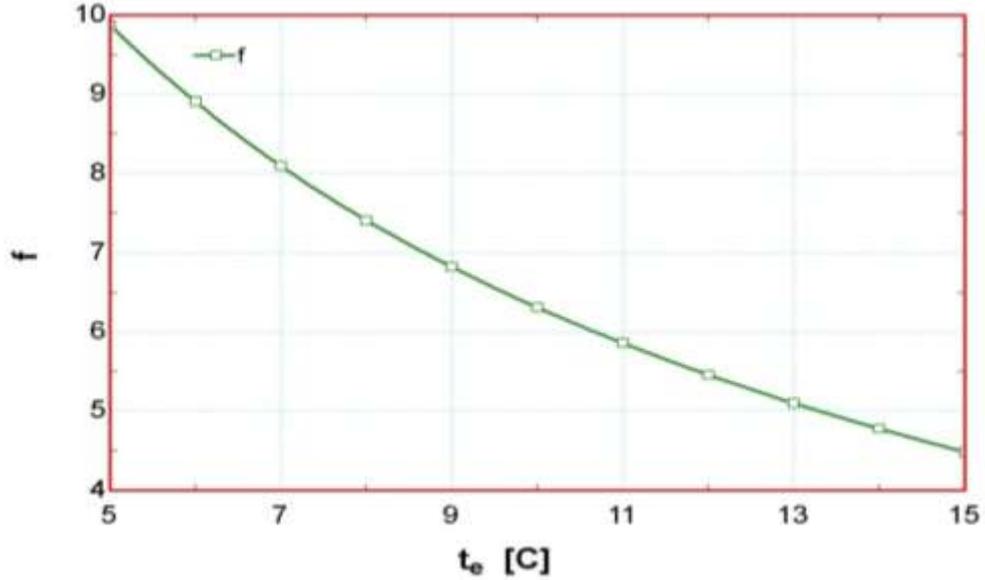
الشكل (7): تأثير درجة حرارة المولد في أداء الدارة

من المخطط المرسوم بين درجة حرارة المولد وعامل الأداء للدارة (الشكل 7)، نجد أن عامل الأداء يزداد كلما ازدادت درجة حرارة المولد مع ثبات قيم درجات الحرارة لكل من المكثف والمبخر.



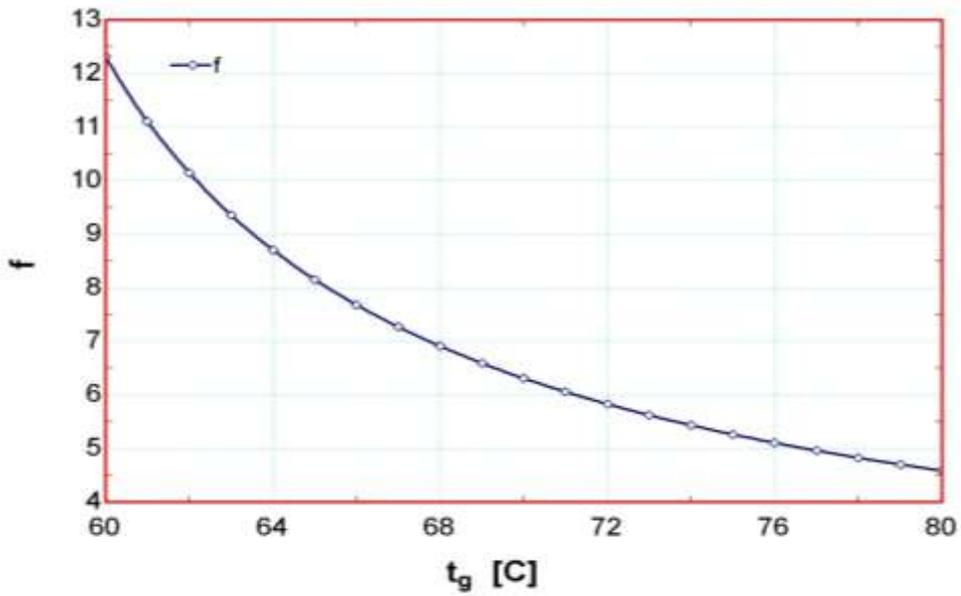
الشكل (8): تأثير درجة حرارة المكثف في معامل التدوير

من المخطط المرسوم بين درجة حرارة المكثف ومعامل التدوير للدارة (الشكل 8)، نجد أن معامل التدوير يزداد بازدياد درجة حرارة المكثف مع ثبات قيم درجات الحرارة لكل من المولد والمبخر.



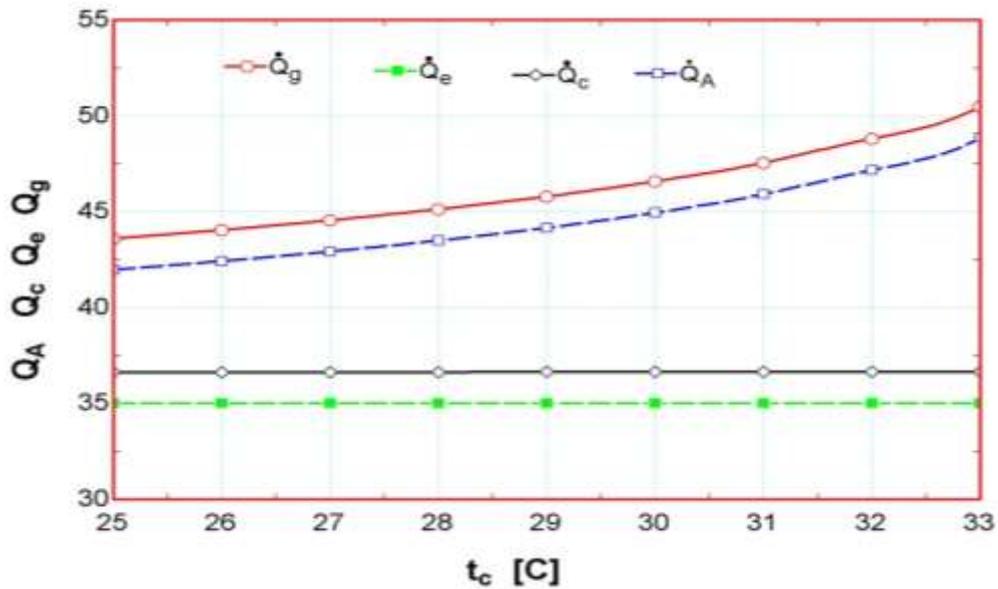
الشكل (9): تأثير درجة حرارة المبخر في معامل التدوير

من المخطط المرسوم بين درجة حرارة المبخر ومعامل التدوير للدارة (الشكل 9)، نجد أن معامل التدوير يتناقص كلما ازدادت درجة حرارة المبخر مع ثبات قيم درجات الحرارة لكل من المكثف والمولد.



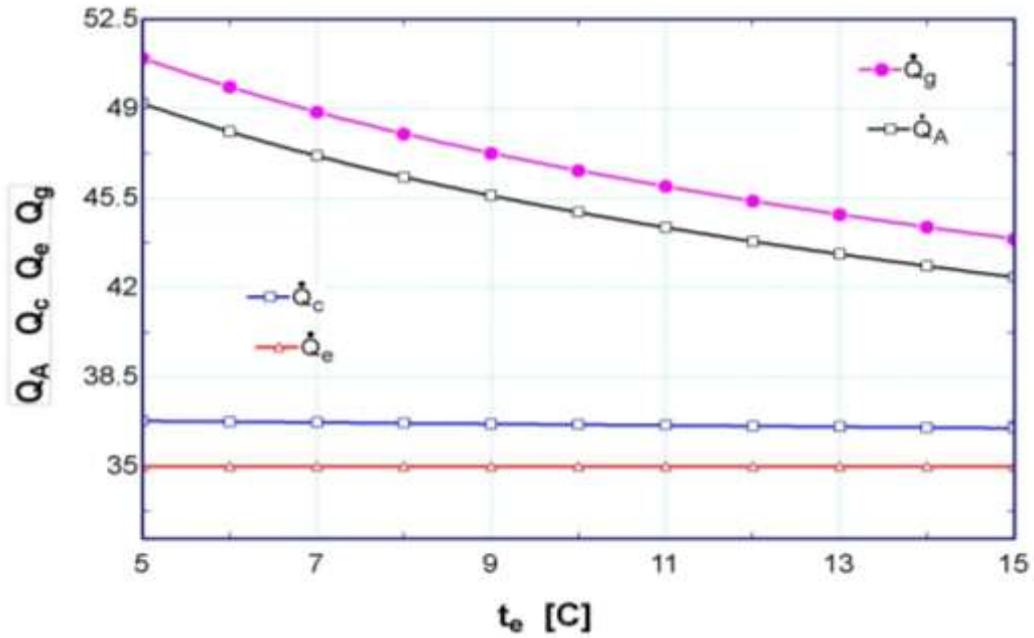
الشكل (10): تأثير درجة حرارة المولد في معامل التدوير

من المخطط المرسوم بين درجة حرارة المولد ومعامل التدوير للدائرة (الشكل 10)، نجد أن معامل التدوير يتناقص كلما ازدادت درجة حرارة المولد مع ثبات قيم درجات الحرارة لكل من المكثف والمبخر.



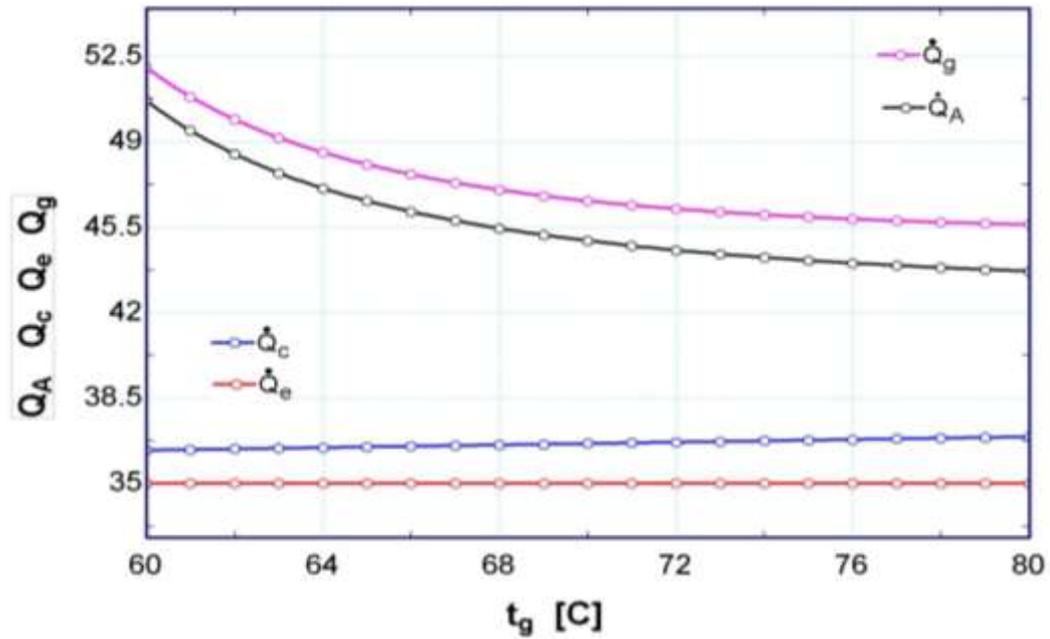
الشكل (11): تأثير درجة حرارة المكثف في الاستطاعات في مكونات الدائرة

نلاحظ من الشكل (11) ثبات قيم الاستطاعة لكل من المبخر والمكثف مع ازدياد قيم الاستطاعة لكل من المولد والماص عند ازدياد درجة حرارة المكثف مع ثبات درجات الحرارة لكل من المبخر والمولد.



الشكل (12): تأثير درجة حرارة المبخر في الاستطاعات في مكونات الدارة

نلاحظ من الشكل (12) ثبات قيم الاستطاعة لكل من المبخر والمكثف مع تناقص قيم الاستطاعة لكل من المولد والماص عند ازدياد درجة حرارة المبخر مع ثبات درجات الحرارة لكل من المكثف والمولد.



الشكل (13): تأثير درجة حرارة المولد في الاستطاعات في مكونات الدارة

نلاحظ من الشكل (13) ثبات قيم الاستطاعة لكل من المبخر والمكثف مع تناقص الاستطاعة لكل من المولد والماص عند ازدياد درجة حرارة المولد مع ثبات درجات الحرارة لكل من المبخر والمكثف.

### الاستنتاجات والتوصيات :

تم في هذا البحث نمذجة النظام الإجمالي ومحاكاته لدارة التبريد الامتصاصية الشمسية العاملة باستخدام المحلول (ماء وبروميد الليثيوم) والتي يمكن الاستفادة منها لأغراض التكييف باستخدام البرنامج EES؛ وذلك بهدف إمكانية التنبؤ بأداء الدارة عند شروط التشغيل المختلفة.

تم دراسة تأثير كل من درجة حرارة المولد، والمبخر، والمكثف في معامل أداء الدارة (c.o.p)، ومعامل التدوير، وتمثيل المخططات التصميمية الحرارية التفصيلية لدارة التبريد الامتصاصية. وقد تم التوصل إلى النتائج الآتية:

- يزداد معامل الأداء مع ازدياد كل من درجة حرارة المولد والمبخر.
- يسبب ازدياد درجة حرارة المكثف انخفاضاً في معامل الأداء.
- ينخفض معامل التدوير لكل دارة مع ازدياد كل من درجة حرارة المولد والمبخر.
- يسبب ازدياد درجة حرارة المكثف ارتفاعاً في معامل التدوير.
- تستخدم دارة التبريد الامتصاصية العاملة بالمحلول المدروس (ماء، وبروميد الليثيوم) بشكل رئيسي في مجال التكييف بدرجات حرارة في المبخر أكبر من  $4 [C^{\circ}]$ .
- لا تحتاج تلك الدارة إلى درجات حرارة عالية في المولد؛ ولذلك يمكن تأمين حرارة المولد باستخدام مجمعات شمسية مسطحة رخيصة الثمن.
- يمكن أن تكون نتائج هذه الدراسة مصدراً مرجعياً للمقارنة في تطوير دارات تبريد امتصاصية جديدة، واستخدام محاليل عمل جديدة.

### المراجع:

- [1] ALIZADEH, S. *Multi-pressure absorption cycles in solar refrigeration: a technical and economical study*. Solar Energy Vol. 69, No. 1, 2000, S: 37 – 44
- [2] CHEN, G.; Hihara, E. *A new absorption refrigeration cycle using solar energy*. Solar Energy Vol. 66, No. 6, 1999, S: 479 – 482
- [3] SARGENT, S.L.; Beckman, W.A. *Theoretical Performance of an Ammonia-Sodium Thiocyanate Intermittent Absorption Refrigeration Cycle*. Solar Energy Vol.12, 1968, S: 137-146
- [4] PITATOWSKY, I.; Rivera, W.; Romero, R. J. *Thermodynamic analysis of monomethylamine-water solutions in a single-stage solar absorption refrigeration cycle at low generator temperatures*. Solar Energy Materials & Solar Cells Vol. 70, 2001, S: 287 – 300
- [5] SIERRA, F.Z.; Best, R.; Holland, F.A. *Experiments on an absorption refrigeration system powered by a solar pond*. Heat Recovery Systems & CHP Vol. 13, No. 5, 1993, S: 401 – 408
- [6] KUNZE, G. *Efficient solar cooling with an improved Ammonia- Absorption System*. Renewable Energy World, 3. Jahrgang Nr.6, 2000, S:111-112, ISSN 1462-6381

- [7] CHEN, G.; HIHARA, E. *A new absorption refrigeration cycle using solar energy.* Solar Energy Vol. 66, No. 6, 1999, S: 479 – 482
- [8] WIJEYSUNDERA, N.E. *Thermodynamic performance of solar-powered ideal absorption cycles.* Solar Energy Vol. 61, No. 5, 1997, S: 313 – 319
- [9] WIJEYSUNDERA W, N.E. *An irre versible-thermodynamic model for solar-powered absorption cooling systems.* Solar Energy Vol. 68, No. 1, 2000, S: 69 – 75
- [10] SÖZEN, A. *Effect of heat exchanger on performance of absorption refrigeration systems.* Energy Conversion and Management Vol. 42, 2001, S: 1699-1716
- [11] WANG, J.; CHIEN, G.; JIANG, H. *Study on a solar-driven ejection absorption refrigeration cycle.* International Journal of Energy Research Vol. 22, 1998, S: 733 – 739
- [12] De Lucas, A.; DONATE, C.; VILLASENOR, J.; RODRIGUEZ, J.F. *Performance evaluation and simulation of a new absorbent for an absorption refrigeration system.* International Journal of Refrigeration Vol. 27, 2004, S: 324 – 330
- [13] AJIB S., NILIU A., DIEBA J., DIAB A., KARNO A. *Betriebscharakteristik einer solarthermisch betriebenen Absorptionskaeltemaschine im Kleinleistungsbereich.* 49 IWK, 2004, TU-Ilmenau 27.-30 sep.
- [14] „EES: Engineering equation solver“ F-Chart Software, [www.fchart.com/ees/ees.shtml](http://www.fchart.com/ees/ees.shtml). or [www.southalabama.edu/engineering/solver.shtml](http://www.southalabama.edu/engineering/solver.shtml) (2010).

### الملحق:

جدول الرموز والمصطلحات المستخدمة

الرمز	مدلول الرمز	الواحدة
$Q_G$	استطاعة المولد	[kW]
$Q_E$	استطاعة المبخر	[kW]
$Q_A$	استطاعة الماص	[kW]
$Q_C$	استطاعة المكثف	[kW]
$W_p$	استطاعة المضخة	[kW]
$m_d$	تدفق وسيط التبريد	[kg/s]
$m_r$	تدفق المحلول الفقير	[kg/s]
$m_a$	تدفق المحلول الغني	[kg/s]
$h$	الانتالبي	[kJ/kg]
COP	عامل إحداث البرودة لآلة التبريد الامتصاصية	[-]
$f$	معامل التدوير	[-]
$T_G$	درجة حرارة المولد	[°C]
$T_E$	درجة حرارة المبخر	[°C]
$T_C$	درجة حرارة المكثف	[°C]
$T_A$	درجة حرارة الماص	[°C]
$p$	الضغط	[kPa]

