

## نمذجة نظام دارة تبريد امتصاصية لأغراض التكييف باستخدام برنامج EES.

ناظم ديب\*

(تاريخ الإيداع 27 / 4 / 2014. قُبِلَ للنشر في 1 / 7 / 2014)

### □ ملخص □

تم في هذا البحث نمذجة نظام دارة تبريد امتصاصية يمكن استخدامها لأغراض التكييف باستخدام برنامج EES. كما تمت دراسة تأثير كل من درجة حرارة المولد والمبخر والمكثف على معامل أداء الدارة ومعامل التدوير وعلى عرض مجال التبخير في المولد ، وتحديد القيم والمجالات المثالية لكل جزء . تبين النتائج أنه كلما زادت درجة حرارة المكثف كلما انخفض معامل الأداء  $C.O.P$  ، ومع ازدياد درجة حرارة التكييف من  $18C^{\circ}$  الى  $36C^{\circ}$  فإن قيمة معامل التدوير تزداد ، بينما تنخفض كمية الحرارة المطروحة من المكثف إلى الوسط الخارجي عند نفس مجال درجة الحرارة السابقة . كما أن زيادة درجة حرارة التبخير يزيد من معامل الأداء  $C.O.P$  . كما تم تطبيق هذه النمذجة على دارة تبريد امتصاصية تعمل على محلول (ماء + بروميد الليثيوم) حيث أظهرت النتائج أن زيادة درجة حرارة التبخير من  $4C^{\circ}$  الى  $13C^{\circ}$  تخفض قيمة معامل التدوير وتزداد كمية الحرارة المسحوبة من المكان المراد تبريده ( الانتاجية التبريدية ).

الكلمات المفتاحية: نمذجة - دارة تبريد امتصاصية - تكييف

\* مشرف على الأعمال . قسم المعدات والآليات . كلية الهندسة التقنية . جامعة تشرين . طرطوس . سورية.

## Modeling of Absorptive Cooling Cycle System for Conditioning Purposes by Using EES Program

Nazem Deeb\*

(Received 27 / 4 / 2014. Accepted 1 / 7 / 2014)

### □ ABSTRACT □

In this research an absorptive cooling cycle system modeling which can be used for conditioning purposes by using EES program was done . By using this program , the effect of temperature of the vapor generator , the evaporator and the condenser on the performance of the vapor cycle and the circulating coefficient was studied as well as the effect of the evaporating range width in the generator and the definition the values and ideal ranges for each part . The result showed that whenever the condenser temperature increases the performance coefficient ( COP ) decreases , and by increasing the condensation temperature from 18 – 36 C , thus the values of the circulating coefficient increases , while the average temperature released from the condenser to the external environment decreases at the same range of the previous temperature , and that the increase of the evaporator temperature would increase the performance coefficient ( COP ) . An absorptive cooling circuit system modeling using water and lithium bromide was achieved . Results showed that the increase of the evaporator temperature of between 4 -13 C , the average of heat amount drawn from the desired place to be cooled would increase .

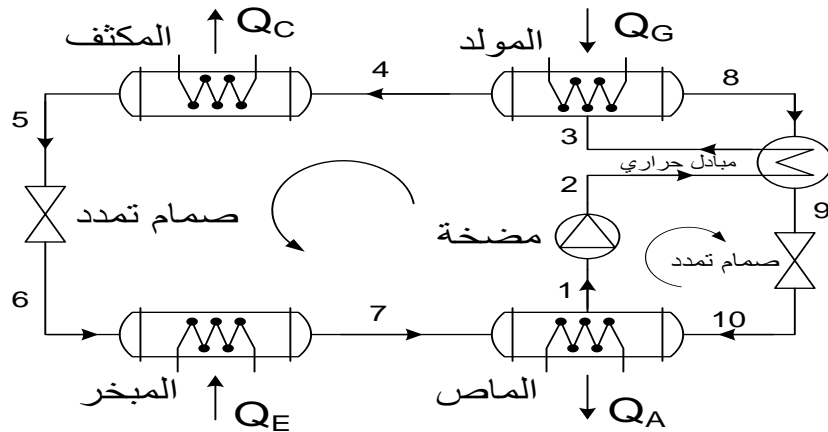
**Key Words :** Modeling – Absorptive cooling system – Conditioning

---

\*Work Supervisor -Technical Engineering College –Tishreen University –Tartous -Syria

## مقدمة:

من المعروف أن آلة التبريد الامتصاصية تعمل بشكل أساسي باستخدام الطاقة الحرارية ولا تحتاج إلا إلى قدر ضئيل من الطاقة الكهربائية ، إلا أنه يمكن تشغيلها من حيث المبدأ باستخدام الطاقة الشمسية أو الطاقات المتجددة الحرارية [1, 2] . يبين الشكل (1) مخطط لدارة تبريد امتصاصية مكونة من العناصر الأساسية التالية المولد، الماص، المضخة، صمام التمدد، مبادل حراري استرجاعي لتحسين معامل أداء الدارة [3] .



الشكل (1): دارة التبريد الامتصاصية

من أهم معالم دارة التبريد الامتصاصية ما يلي:

### 1. عامل أداء الدارة $C.O.P$ .

يعرف معامل أداء دارة التبريد الامتصاصية بأنه النسبة بين معدل الحرارة المسحوبة في المبخر (أي الإنتاجية التبريدية  $Q_E$ ) ومعدل الحرارة المضافة إلى المولد  $Q_G$  أي:

$$C.O.P = Q_E / Q_G \quad (1)$$

### 2. عامل اداء الدارة المثالي $C.O.P_{IDEAL}$ .

$$C.O.P_{IDEAL} = C.O.P_{RC} \cdot \eta^{Car} \quad (2)$$

حيث:  $C.O.P_{RC}$  - عامل أداء دارة كانو العكسية ؛  $\eta^{Car}$  - المردود الحراري لدارة محرك كارنو .

وبالتالي فإن المعادلة (2) تصبح:

$$C.O.P_{IDEAL} = \frac{T_E}{T_C - T_E} \cdot \frac{T_G - T_A}{T_G} \quad (3)$$

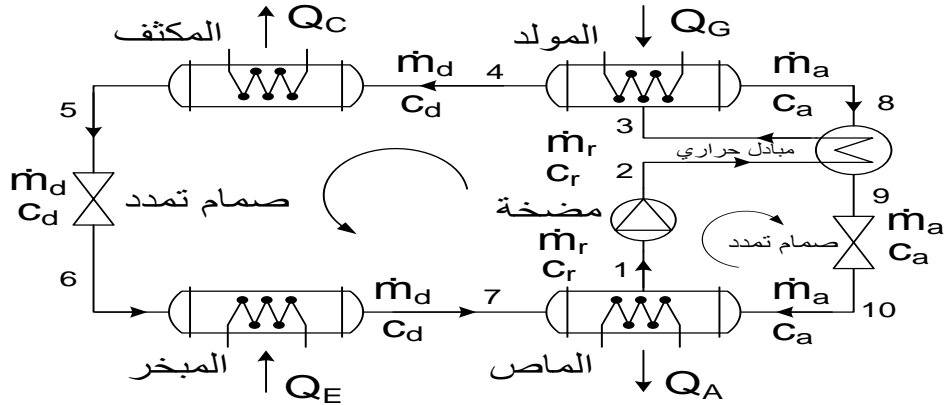
أو :

$$C.O.P_{IDEAL} = \frac{T_E}{T_G} \cdot \frac{T_G - T_A}{T_C - T_E} \quad (4)$$

حيث:  $T_E$  - درجة الحرارة في المبخر [K] ؛  $T_G$  - درجة الحرارة في المولد [K] ؛  $T_C$  - درجة الحرارة في

المكثف [K] ؛  $T_A$  - درجة الحرارة في الجهاز الماص [K] .

يبين الشكل (2) مخطط دارة تبريد امتصاصية مع مبادل حراري استرجاعي، وتستخدم الماء + بروميد الليثيوم (H<sub>2</sub>O - LiBr) كوسيط تبريد [4].



الشكل (2): مخطط دارة تبريد امتصاصية تستخدم (LiBr+H<sub>2</sub>O) وبوجود مبادل حراري استرجاعي

من الملاحظ في هذه الدارة أن درجة تركيز المحلول الثنائي C (وهو نسبة مادة التبريد في المزيج) قد تتغير بين الصفر (بدون مادة تبريد في المحلول الثنائي) والواحد (مادة تبريد صافية). في آلة التبريد الامتصاصية يتم العمل عند التراكيز والكميات التالية مع المواصفات التالية:

$C_r$  - تركيز المحلول الغني (يضخ من الماص إلى المولد، النقاط 1،2،3) ؛  $C_a$  - تركيز المحلول الضعيف (يعود من المولد إلى الماص، النقاط 8،9،10) ؛  $C_d$  - تركيز بخار مادة التبريد (الخارجة من المولد باتجاه المكثف، النقاط 4،5،6،7) ؛  $\Delta C = C_r - C_a$  - فرق التركيز بين المحلولين الغني والفقير (ويسمى: عرض مجال التبخر) .  
 $\dot{m}_a$  - التدفق الكتلي للمحلول الفقير [kg/s] ؛  $\dot{m}_r$  - تدفق وسيط التبريد [kg/s] .

وفي هذه الدارة تسمى نسبة كمية المحلول الغني الخارج من الماص إلى كمية البخار الداخل إلى المكثف والمبخر بمعامل تدوير المحلول ويرمز له بـ  $f$  ، أي :

$$f = \dot{m}_r / \dot{m}_d \quad (5)$$

بتطبيق مبدأ التوازن الكتلي في المولد نحصل على علاقة معامل التدوير :

$$f = \frac{C_d - C_a}{C_r - C_a} = \frac{C_d - C_a}{\Delta C} \quad (6)$$

معادلات توازن الكتل والطاقة لآلة التبريد الامتصاصية:

إن حساب آلة التبريد الامتصاصية وحيدة المرحلة يمكن أن يتم بكتابة معادلات التوازن الطاقى والكتلى لكل عنصر من عناصر الدارة الأساسية (المولد، الماص، المبخر، المكثف، المضخة، المبادل الحراري) المبينة على الشكل (2) كما يلي:

1. الماص: بتطبيق التوازن الحراري والكتلي على الماص نجد :

$$q_A = (h_7 - h_{10}) + f \cdot (h_{10} - h_1) \quad (7)$$

2. المولد

$$q_G = (h_4 - h_8) + f \cdot (h_8 - h_3) \quad (8)$$

3. المكثف: بتطبيق مبدأ التوازن الحراري والكتلي فان كمية الحرارة النوعية المطروحة في المكثف:

$$q_C = h_4 - h_5 \quad (9)$$

4. المبخر: كمية الحرارة المقدمة للمبخر من المكان المراد تبريده (الانتاجية التبريدية) هي:

$$Q_E = \dot{m}_d \cdot (h_7 - h_6) \quad (10)$$

وبالتقسيم على  $\dot{m}_d$  نحصل على حمل التبريد النوعي:

$$q_E = (h_7 - h_6) \quad (11)$$

5. المضخة: الاستطاعة الواجب تقديمها للمضخة هي:

$$\dot{W}_P = \dot{m}_r \cdot (p_C - p_E) / \rho \quad \text{أو} \quad \dot{W}_P = \dot{m}_r \cdot (h_2 - h_1) \quad (12)$$

حيث:  $\rho$  - الكتلة النوعية للمحلول الغني الذي تضخه المضخة  $[kg/m^3]$ ؛  $p_C$  و  $p_E$  - ضغط كل من المكثف والمبخر على الترتيب .

6. المبادل الحراري: معدل كمية الحرارة التي يكتسبها المحلول الغني تساوي معدل كمية الحرارة التي يخسرها

المحلول الفقير .

$$Q_{HE} = \dot{m}_r \cdot (h_3 - h_2) = \dot{m}_a (h_8 - h_9) \quad (13)$$

أو

$$q_{HE} = f \cdot (h_3 - h_2) = (f - 1)(h_8 - h_9) \quad (14)$$

وباعتبار أن قيمة استطاعة المضخة صغيرة جداً بالمقارنة مع الاستطاعات الأخرى بحيث يمكن إهمالها،

وبالتالي تصبح معادلة التوازن الحراري لآلة التبريد الامتصاصية كما يلي:

$$Q_E + Q_G = Q_A + Q_C \quad (15)$$

عامل أداء آلة التبريد الامتصاصية هو النسبة بين استطاعة التبريد إلى الاستطاعة الحرارية المقدمة الى المولد

واستطاعة المضخة :

$$C.O.P = Q_E / (Q_G + \dot{W}_P) \cong Q_E / Q_G = q_E / q_G \quad (16)$$

ويعطى عامل الأداء الأعظمي  $C.O.P_{\max}$  بالعلاقة التالية :

$$C.O.P_{\max} = \frac{T_E}{T_C - T_E} \cdot \frac{T_G - T_A}{T_G} \quad (17)$$

وباعتبار أن تبريد المكثف والماص يتم عن طريق وسيط تبريد عند درجة حرارة الوسط الخارجي  $T_0$  ، فإن

$$T_C = T_A = T_0 \quad \text{وبالتالي:}$$

$$C.O.P_{\max} = \frac{T_E}{T_0 - T_E} \cdot \frac{T_G - T_0}{T_G} \quad (18)$$

اما مردود الدارة  $\eta$  فيعطى بالعلاقة:

$$\eta = \frac{C.O.P}{C.O.P_{\max}} \quad (19)$$

يحسب انتالبي محلول الماء وبروميد الليثيوم بدلالة تركيز بروميد الليثيوم % X في المحلول ودرجة حرارة

المحلول من العلاقة التالية:

$$h = \sum_0^4 A_n \cdot X^n + T \sum_0^4 B_n \cdot X^n + T^2 \cdot \sum_0^4 C_n \cdot X^n \quad (20)$$

إن مجال استخدام العلاقة (20) هو:

$$165^{\circ} \geq T \geq 15^{\circ} \quad \text{و} \quad 40\% \leq X \leq 70\%$$

أما قيم  $A, B, C$  فهي معطاة بالجدول (1):

الجدول (1) الثوابت  $A, B, C$  لحساب انتالبي المحلول ( $\text{H}_2\text{O}, \text{LiBr}$ ).

$A_0 = -24,33$	$B_0 = 18,2829$	$C_0 = -3,7008E - 2$
$A_1 = 163,309$	$B_1 = -1,169175$	$C_1 = 2,887766E - 3$
$A_2 = -4,8816$	$B_2 = 3,248E - 2$	$C_2 = -8,1313E - 5$
$A_3 = 6,303E - 2$	$B_3 = -4,034E - 4$	$C_3 = 9,9117E - 7$
$A_4 = -2,9E - 4$	$B_4 = 1,852E - 6$	$C_4 = -4,444E - 9$

وتحسب درجة حرارة الإشباع للمحلول  $T_s$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] عند تركيز  $X$  من بروميد الليثيوم عند ضغط  $P$  [kPa] من

العلاقة الآتية:

$$T_s = 10^{-3} \cdot X^3 \cdot \text{EXP} \left( \frac{-p \cdot 10^3}{32125} - 1,819 \right) + 16,42 \ln p + 7,525 \quad (21)$$

كما يحسب تركيز المحلول عند الإشباع بدلالة درجة حرارة المحلول  $T_s$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] وضغطه  $P$  [kPa] من العلاقة:

$$X = 10 \cdot \text{EXP} \left( \frac{-p \cdot 10^3}{32125} + 1,819 \right) \cdot (T_s - 16,42 \ln p - 7,525)^{1/3} \quad (22)$$

كما يمكن حساب درجة حرارة الماء المشبع  $T_s$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] داخل المكثف أو المبخر بدلالة الضغط  $P$  [kPa] من

المعادلة التالية:

$$T_s = \frac{-2E}{D + [D^2 - 4E(C - \log p)]^{1/2}} - 273 \quad (23)$$

حيث:  $E = -104095,55$  و  $D = -1595,49$  و  $C = 7,05$

إن مجال استخدام المعادلة (23) هو:  $-15^{\circ} \leq T_s \leq 110^{\circ}$

كما يمكن إيجاد الضغط  $P$  [kPa] بدلالة درجة حرارة الماء المشبع  $T_s$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] من إحدى المعادلتين التاليتين:

$$\log p = 7,05 - \frac{1595,49}{(T_s + 273)} - \frac{104095,5}{(T_s + 273)^2} \quad (24)$$

أو:

$$\log p = 0,21254 + 3,136119 \cdot 10^{-2} \cdot T_s - 1,22512 \cdot 10^{-4} \cdot T_s^2 + 3,6384 \cdot 10^{-7} \cdot T_s^3 - 5,67 \cdot 10^{-10} \cdot T_s^4$$

كما يحسب انتالبي الماء المشبع وانتالبي بخار الماء المشبع بدلالة درجة حرارة الماء المشبع  $T_s$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] من

العلاقات:

$$h'' = (1,8T_s + 2397) \cdot 10^3 \quad \text{و} \quad h' = 4,1868 \cdot 10^3 \cdot T_s \quad (25)$$

أما انتالبي بخار الماء المحمص فيحسب عند ضغط مناظر لدرجة حرارة الماء المشبع  $T_s$  [°C] وعند درجة حرارة تحميص  $T$  [°C] من العلاقة الآتية:

$$h = 10^3 \cdot (1,926T - 0,126T_s + 2397) \quad (26)$$

### أهمية البحث وأهدافه

تكمُن أهمية البحث في إجراء دراسة مرجعية موسعة لكافة عمليات التوازن الحراري والكتلي ضمن آلة التبريد الامتصاصية وعمليات التبادل الحراري. ومن ثم إنشاء نموذج برمجي باستخدام برنامج EES لحساب بارامترات الدارة الامتصاصية وتبيان تأثير كل من درجات حرارة المكثف والمبخر والمولد على أداء الدارة ، ومن ثم تحويل النتائج الحسابية الى منحنيات واضحة القيمة .

### طرائق البحث ومواده

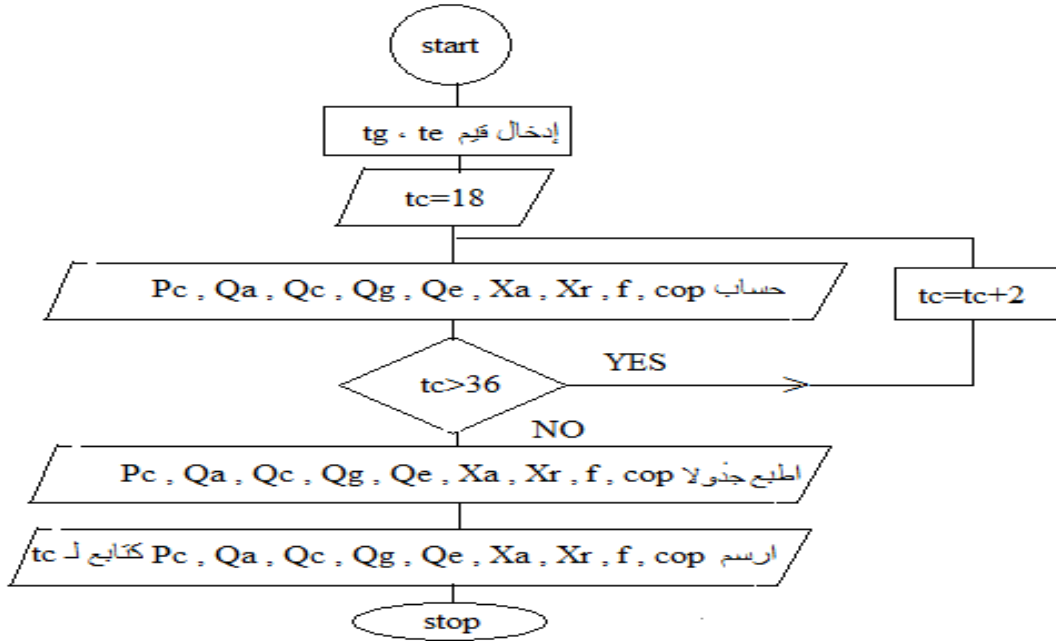
يعتبر برنامج **Engineering Equation Solver (EES)** من أهم البرامج المخصصة للنمذجة الرياضية في المسائل الحرارية [20]. بالإضافة إلى حل المعادلات الرياضية غير الخطية ورسم المخططات البيانية. يحتوي البرنامج على قاعدة بيانات تتضمن الخواص الحرارية والفيزيائية لمعظم وسائط العمل المستخدمة في الآلات الحرارية وآلات التبريد.

#### إنشاء النموذج البرمجي:

بتشغيل البرنامج EES واختيار أمر **New** من قائمة ملف، تظهر نافذة المعادلات فارغة قبل إدخال المعادلات. نقوم بعد ذلك بكتابة الكود الذي يمثل المدخلات وذلك اعتماداً على معادلات توازن الطاقة والكتلة الواردة سابقاً. ثم بعد إدخال المعادلات والتدقيق بواسطة أمر **Check/Format** من قائمة **Calculate** يظهر البرنامج بعد كتابته على النافذة ، وللتأكد من الشكل النهائي للمعادلات نضغط **Formatted Equation** من قائمة **Windows** فنظهر المعادلات بشكلها المنسق ، ولإيجاد الخواص الترموديناميكية مثل الإنتالبي والإنتروبي نستخدم أمر **Function Information** من قائمة **Option** فيعرض نافذة إدخال الخواص الترموديناميكية والفيزيائية لوسائط العمل .

لحل جملة المعادلات نختار أمر **Solve** من قائمة **Calculate** ستظهر 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 كافة البرامترات (الإنتالبي، التدفقات، كميات الحرارة المتبادلة، الضغوط، درجات الحرارة، التراكيز، معامل الأداء، معامل التدوير....) وذلك عند شروط حدية مختلفة .

يمكن أن نعبر عن كل ماسبق من خلال المخطط التدفقي لخوازمية حل المسألة كما بالشكل ( 3 ) ، والذي يعكس النموذج البرمجي لحساب الدارة الامتصاصية ورسم منحنيات تأثير كل من درجة حرارة المكثف والمبخر والمولد على كل من معامل أداء الدارة (معامل التبريد ) ، ومعامل التدوير، وعلى ضغط المكثف والمبخر والمولد واستطاعتهم، وكذلك على تركيز المحلول الغني والفقير .



الشكل ( 3 ) المخطط التدفقي لخوارزمية حل البرنامج

### النتائج والمناقشة:

1- تأثير درجة حرارة المكثف لدراسة تأثير درجة حرارة المكثف على أداء الدارة الامتصاصية قمنا بإنشاء جدول من أجل قيم متغيرة لدرجة حرارة المكثف تتراوح بين  $18-36$  °C ، وقيم ثابتة لكل من درجات حرارة المولد والمبخر ، ثم تم حساب باقي البارامترات الموافقة لتلك الدرجات عن طريق البرنامج ودونت النتائج بالجدول رقم ( 2 ) .

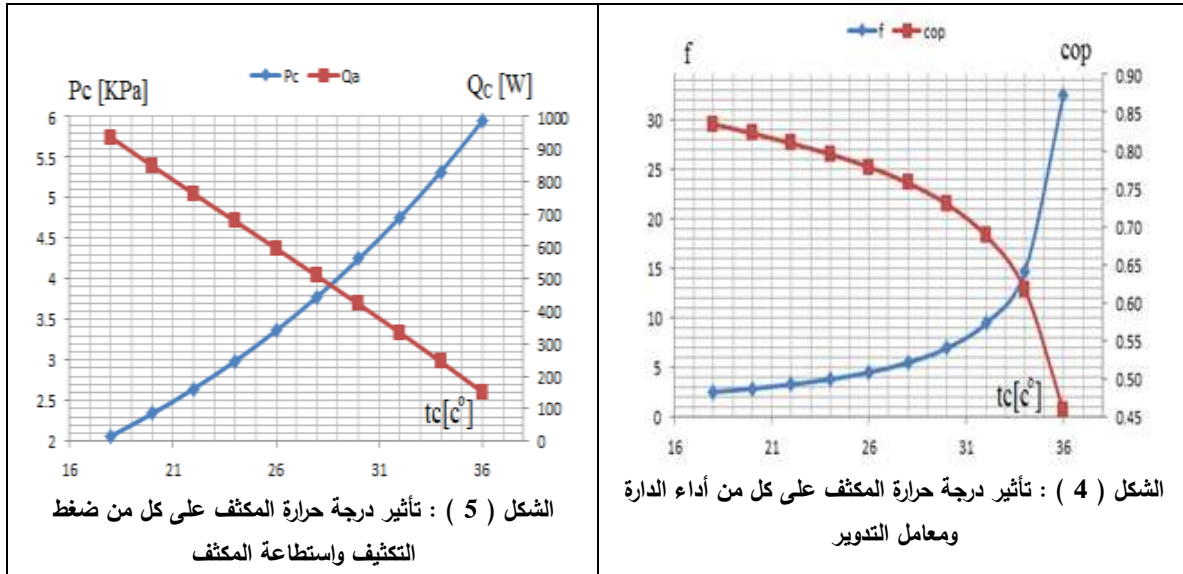
الجدول ( 2 ) نتائج حساب بارامترات الدارة بدلالة درجة حرارة المكثف .

tc	Pc	Qa	Qc	Qe	Qg	Xa	Xr	f	cop
18	2.06	936.7	862.7	818.7	980.8	67.55	44.83	2.97	0.83
20	2.33	848.9	770.2	730.8	888.3	66.46	46.44	3.32	0.82
22	2.64	763.6	681.6	646.6	798.6	65.39	47.9	3.73	0.80
24	2.98	679	595	564.4	709.7	64.33	49.26	4.26	0.79
26	3.36	594.7	509.7	483.4	621	63.28	50.54	4.96	0.77
28	3.78	509.3	424.5	402.5	531.3	62.23	51.76	5.94	0.75
30	4.24	423.3	339.3	321.7	440.9	61.19	52.93	7.41	0.72
32	4.75	335.3	253.1	239.9	348.5	60.13	54.06	9.90	0.68
34	5.32	245.1	165.3	156.7	253.7	59.07	55.16	15.11	0.61
36	5.94	152.3	75.58	71.58	156.2	57.99	56.23	32.95	0.45

ثم نحول النتائج الى منحنيات باختيار New Plot Window من قائمة Plot .

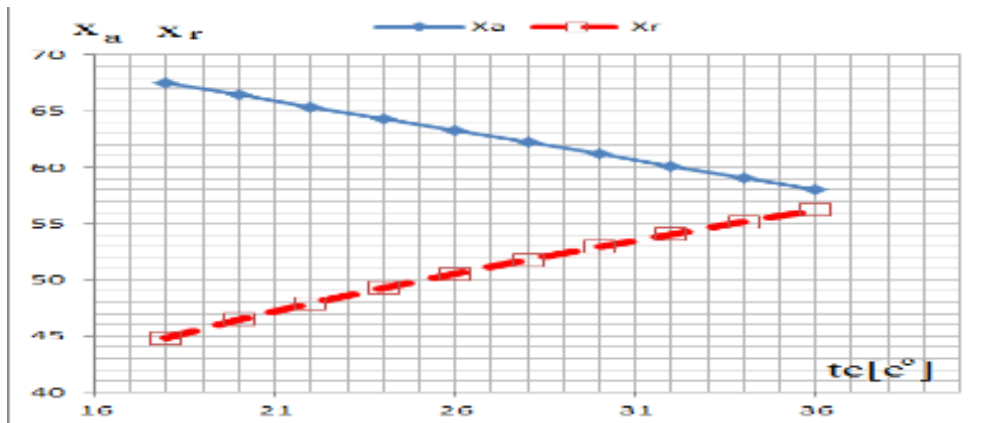
يبين الشكل (4) تأثير درجة حرارة المكثف على معامل الأداء ، حيث بازدياد درجة حرارة المكثف ينخفض معامل الأداء  $C.O.P$  وبلغت قيمته 85% عند درجة حرارة تكثيف منخفضة  $T_c = 18$  °C ، و 45% عند درجة حرارة تكثيف مرتفعة  $T_c = 36$  °C أي انخفض بحدود 40% . كما أنه بازدياد درجة حرارة التكثيف من 18-36 °C





تزداد قيمة معامل التدوير والذي يعرف بأنه نسبة كمية المحلول الغني الى كمية وسيط التبريد، وهذا يعني الحاجة الى ضخ كميات كبيرة من المادة الماصة (بروميدي الليثيوم) من الماص الى المولد لتشغيل آلة التبريد الامتصاصية. كما يظهر الشكل (5) العلاقة بين درجة حرارة المكثف وضغطه واستطاعة المكثف ، ونلاحظ أنه بزيادة درجة حرارة المكثف يزداد ضغطه وهذا يتطلب تشغيل المولد عند نفس الضغط ، وبالمقابل ينخفض معدل الحرارة المطروحة من المكثف الى الوسط الخارجي والذي يؤثر بدوره على عمل الآلة .

يبين الشكل (6) تأثير درجة حرارة التكثيف على تركيز كل من المحلول الغني والمحلل الفقير، حيث تعبر  $X_a$  عن نسبة المادة الماصة الموجودة في المحلول الفقير (المحلل العائد من المولد إلى الماص)، وتعبر  $X_r$  عن نسبة المادة الماصة الموجودة في المحلول الغني (المحلل الساري من الماص إلى المولد). أما الفرق بينهما فيسمى بعرض حزمة التبخير وهو مؤشر على فعالية الآلة ، فكلما كان عرض حزمة التبخير كبيراً كلما ازدادت كمية بخار وسيط التبريد المنفصلة عن المحلول الثنائي في المولد، وكلما كان أداء الدارة أفضل. تتوقف الآلة عن العمل عندما ينعدم عرض حزمة التبخير. من الشكل يتضح انخفاض عرض حزمة التبخير مع ازدياد درجة حرارة المكثف بين 18-36 °C.



الشكل (6) : تأثير درجة حرارة المكثف على تركيز المحلول الغني والفقير

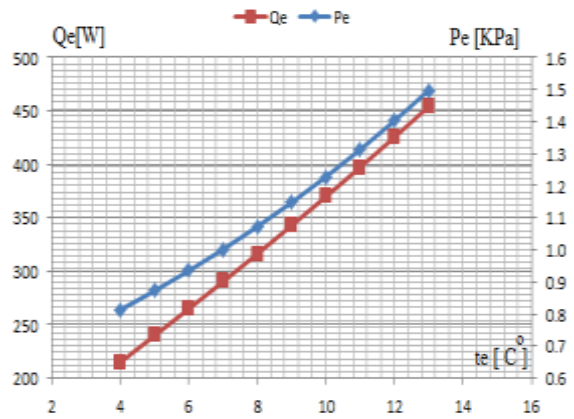
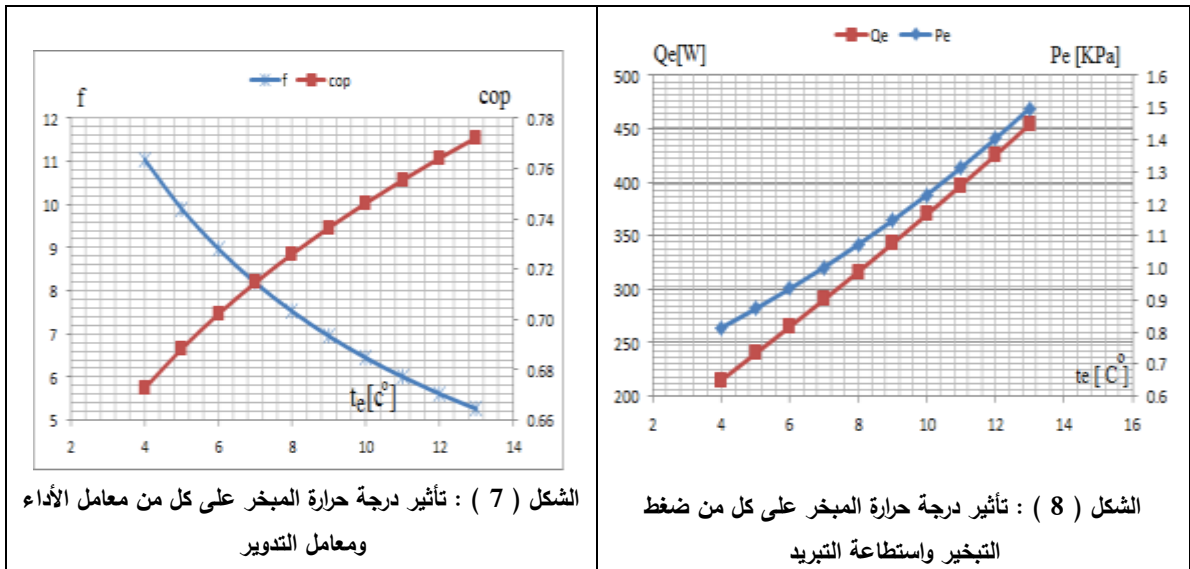
2- تأثير درجة حرارة المبخر لدراسة تأثير درجة حرارة المبخر على أداء الدارة الامتصاصية قمنا بإنشاء جدول من أجل قيم متغيرة لدرجة حرارة المبخر (تتراوح بين 4-13 °C) وقيم ثابتة لكل من درجات حرارة المولد والمكثف ثم تم حساب باقي البرامترات الموافقة لتلك الدرجات عن طريق البرنامج ورتبت في الجدول (3).

الجدول (3) نتائج حساب الدارة الامتصاصية بدلالة درجة حرارة المبخر.

te	Pe	Qa	Qc	Qe	Qg	Xa	Xr	f	cop
4	0.81	307.6	227.0	215.0	319.6	60.13	54.69	11.04	0.67
5	0.87	336.3	253.1	239.9	348.5	60.13	54.06	9.90	0.68
6	0.93	363.0	279.4	265.0	377.4	60.13	53.43	8.97	0.70
7	1.00	391.0	306.0	290.5	406.5	60.13	52.79	8.19	0.71
8	1.07	419.2	333.0	316.4	435.8	60.13	52.14	7.52	0.72
9	1.14	447.9	360.7	342.9	465.6	60.13	51.48	6.94	0.73
10	1.22	476.6	388.7	369.9	495.6	60.13	50.81	6.44	0.74
11	1.31	506.0	417.2	397.3	525.9	60.13	50.12	6.00	0.75
12	1.40	535.8	446.4	425.4	556.7	60.13	49.42	5.61	0.76
13	1.49	566.0	476.2	454.2	588.0	60.13	48.71	5.26	0.77

ثم نحول النتائج الى منحنيات باختيار New Plot Window من قائمة Plot كما يلي.

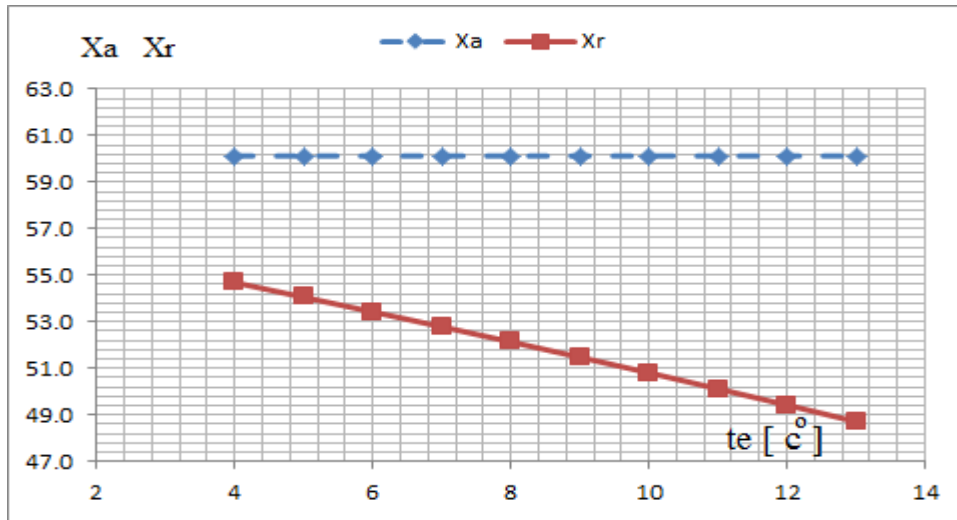
يظهر الشكل (7) تأثير درجة حرارة المبخر على كل من معامل الأداء ومعامل التدوير ، حيث نلاحظ أنه كلما زادت درجة حرارة المبخر كلما ازداد معامل الأداء COP حيث كانت قيمة COP = 0,67 عند درجة حرارة تبخير منخفضة  $T_E = 4^\circ C$  ، أما من أجل درجة حرارة تبخير مرتفعة  $T_E = 13^\circ C$  فإن COP تزداد إلى 0,77 أي بحدود 10 % . بينما نلاحظ أنه بازدياد درجة حرارة المبخر من 4-13 °C تتخفض قيمة معامل التدوير



وهذا يعني الحاجة الى ضخ كميات كبيرة من المادة الماصة (بروميد الليثيوم) من الماص الى المولد لتشغيل آلة التبريد الامتصاصية عند درجات التبريد المنخفضة. يبين الشكل (8) العلاقة بين درجة حرارة المبخر وكل من

ضغطه واستطاعة التبريد ، حيث أنه بزيادة درجة حرارة المبخر يزداد ضغط أبخرة وسيط التبريد وهذا يتطلب تشغيل الماص عند نفس الضغط . كما أنه بزيادة درجة حرارة التبخير من  $4C^{\circ}$  الى  $13C^{\circ}$  ، يزداد معدل كمية الحرارة المسحوبة من المكان المراد تبريده وهذه يعني بدوره استطاعة تبريد مرتفعة.

يبين الشكل ( 9 ) تأثير درجة حرارة المبخر على تركيز كل من المحلول الغني والمحلول الفقير، من الشكل يتضح ازدياد عرض حزمة التبخير مع ازدياد درجة حرارة المبخر من  $4C^{\circ}$  الى  $13C^{\circ}$ .



الشكل ( 9 ) : تأثير درجة حرارة المبخر على تركيز المحلول الغني والفقير

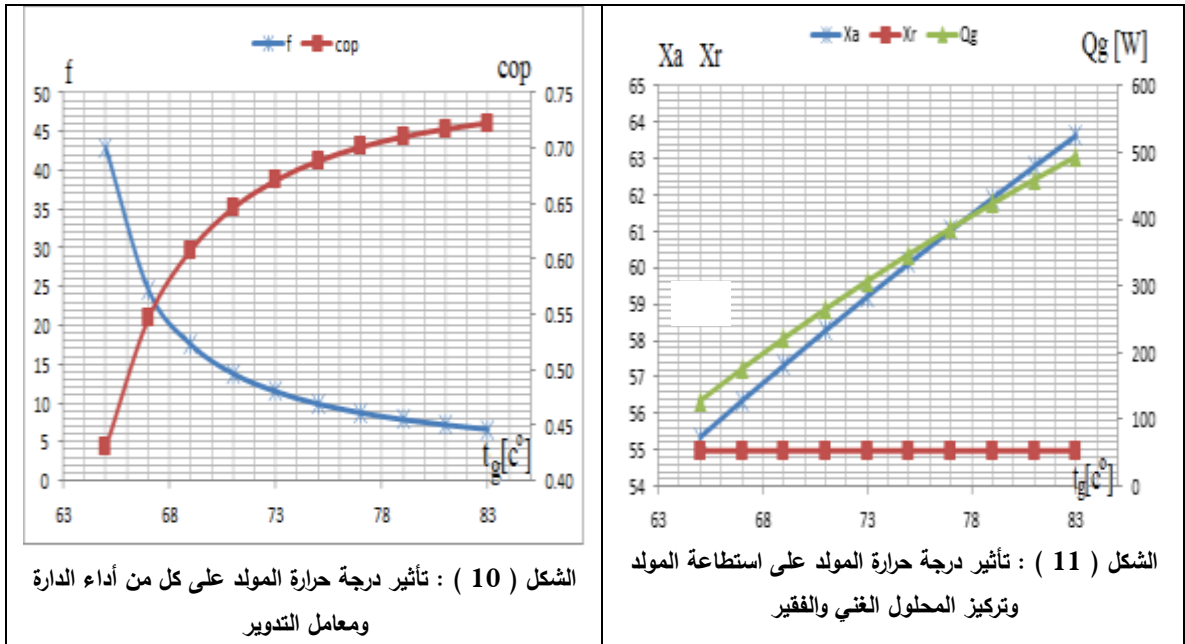
3- تأثير درجة حرارة المولد: لدراسة تأثير درجة حرارة المولد على أداء الدارة الامتصاصية قمنا بإنشاء جدول من أجل قيم متغيرة لدرجة حرارة المولد (تتراوح بين  $65C^{\circ}$  و  $83C^{\circ}$ .) وقيم ثابتة لكل من درجات حرارة المبخر والمكثف ثم تم حساب باقي البارامترات الموافقة لتلك الدرجات عن طريق البرنامج جودونت في الجدول التالي رقم ( 4 ) .

الجدول (4) نتائج حساب الدارة الامتصاصية بدلالة درجة حرارة المولد .

tg	Qg	Qg	Qe	Qg	Xa	Xr	f	cop
65	126.1	57.9	55.3	128.7	55.35	54.06	42.93	0.43
67	171.9	101.1	96.4	176.6	56.35	54.06	24.64	0.54
69	215.5	142.0	135.2	222.3	57.32	54.06	17.57	0.60
71	257.3	180.9	172.0	266.2	58.28	54.06	13.81	0.64
73	297.1	217.8	206.8	308.2	59.21	54.06	11.49	0.67
75	335.3	253.1	239.9	348.5	60.13	54.06	9.90	0.68
77	371.9	286.8	271.4	387.2	61.03	54.06	8.75	0.70
79	407.0	319.1	301.6	424.5	61.92	54.06	7.87	0.71
81	440.5	349.9	330.2	460.3	62.79	54.06	7.19	0.71
83	473.0	379.6	357.7	494.9	63.64	54.06	6.64	0.77

ثم نحول النتائج الى منحنيات باختيار New Plot Window من قائمة Plot كما يلي:

يظهر الشكل (10) تأثير درجة حرارة المولد على كل من معامل الأداء ومعامل التدوير، حيث نلاحظ أنه كلما زادت درجة حرارة المولد كلما ازداد معامل الأداء COP حيث كانت قيمة  $COP = 0,48$  عند درجة حرارة توليد منخفضة  $T_G = 65^\circ C$ ، أما من أجل درجة حرارة توليد مرتفعة  $T_G = 83^\circ C$  فإن قيمة COP تزداد إلى 0,73 أي بحدود 25%. بينما نلاحظ أنه بازياد درجة حرارة المولد من  $65^\circ C$  الى  $83^\circ C$ ، تنخفض قيمة معامل التدوير، وهذا يعني الحاجة الى ضخ كميات قليلة من المادة الماصة (بروميد الليثيوم) من الماص الى المولد لتشغيل آلة التبريد الامتصاصية عند درجات حرارة مولد مرتفعة.



يبين الشكل ( 11 ) العلاقة بين درجة حرارة المولد وكل من استطاعة المولد وتركيز المحلول الغني والفقير. فزيادة درجة حرارة التوليد من  $65^\circ C$  الى  $83^\circ C$ ، يزداد معدل كمية الحرارة المسحوبة من المصدر الحراري وهذا التبخير مع ازدياد يعني بدوره استطاعة تسخين مرتفعة من المجمعات الشمسية أو من المصدر الحراري. كما يتضح ازدياد عرض حزمة درجة حرارة المولد من  $65^\circ C$  الى  $83^\circ C$ .

### الاستنتاجات والتوصيات:

1. النموذج البرمجي لدارة تبريد امتصاصية بوجود وعدم وجود محلول (ماء وبروميد الليثيوم) يمكن استخدامه لأغراض التكييف باستخدام البرنامج EES.
2. باستخدام النموذج المدروس تمت دراسة تأثير كل من درجة حرارة المولد والمبخر والمكثف على معامل أداء الدارة ومعامل التدوير وعلى عرض مجال التبخير في المولد وتحديد القيم والمجالات المثالية لكل جزء.
3. كلما زادت درجة حرارة المكثف كلما قلت قيمة معامل الأداء COP، ومع ازدياد درجة حرارة التكييف بين الدرجة  $18^\circ C$  والدرجة  $36^\circ C$  تزداد قيمة معامل التدوير، بينما يقل معدل الحرارة المطروحة من المكثف إلى الوسط الخارجي عند نفس مجال درجة الحرارة المذكور. وإن زيادة درجة حرارة المبخر يؤدي إلى زيادة قيمة معامل الأداء COP.

4. إن زيادة درجة حرارة المبخر بين الدرجة  $4C^{\circ}$  والدرجة  $13C^{\circ}$  تقل قيمة معامل التدوير عند استخدام محلول (ماء وبروميد الليثيوم). كما تبين وجود علاقة تناسبية بين درجة حرارة المبخر واستطاعة التبريد، وأنه بزيادة درجة حرارة التبخير بين الدرجة  $4C^{\circ}$  والدرجة  $13C^{\circ}$  ، يزداد معدل كمية الحرارة المسحوبة من المكان المراد تبريده.
5. نوصي بتوسيع النماذج البرمجية المنفذة بحيث تشمل حسابات ضياعات الضغط ودراسة تأثير العوامل التصميمية على ضياعات الضغط في المولد وتحديد المجالات المثالية.

#### المراجع:

- [1]- Alizadeh, S. "Multi-pressure absorption cycles in solar refrigeration: a technical and economical study" Solar Energy 69, (2000) 37 – 44
- [2]- Chen, G.; Hihara, E. „A new absorption refrigeration cycle using solar energy“ Solar Energy 66, (1999) 479 – 482.
- [3]- Sözen, A. "Effect of heat exchanger on performance of absorption refrigeration systems" Energy Conversion and Management 42, (2001) 1699-1716.
- [4]-"EES:Engineering Equation Solver" F-Chart Software, [www.fchart.com/eess/eess.shtml](http://www.fchart.com/eess/eess.shtml). or [www.southalabama.edu/engineering/solver.shtml](http://www.southalabama.edu/engineering/solver.shtml), (2012).
- [5] - مصطفى محمد السيد / قدرى أحمد فتحي / إبراهيم السعيد مجاهد، "النماذج الحسابية للنظم الحرارية الشمسية"، جامعة الملك عبد العزيز، الطبعة الثانية 1435 هـ.