

مقارنة أداء آلة تبريد امتصاصية باستخدام المحاليل الثنائية (ماء / بروميد الليثيوم وأمونيا / نترات الليثيوم)

رامي زيود*

(تاريخ الإيداع 4 / 6 / 2012. قُبل للنشر في 27 / 9 / 2012)

□ ملخص □

يتناول البحث إجراء مقارنة لأداء آلة تبريد امتصاصية أحادية المرحلة باستخدام المحاليل الثنائية (ماء / بروميد الليثيوم وأمونيا / نترات الليثيوم) عند شروط حرارية مختلفة لكل من المولد والمبخر والمكثف من خلال النمذجة والمحاكاة باستخدام برنامج حاسوبي EES.

بينت النتائج أن دارة (أمونيا - نترات الليثيوم) يمكن أن تستخدم للتكييف وتعطي أداء أفضل من دارة (ماء / بروميد الليثيوم) عند درجات حرارة المولد المنخفضة، وبالتالي إمكانية تشغيلها باستخدام الطاقة الشمسية الحرارية. يزداد معامل الأداء لكل دارة مع ازدياد كل من درجة حرارة المولد والمبخر. بسبب ازدياد درجة حرارة المكثف انخفاضاً في أداء النظام لجميع الدارات.

تساعد هذه النتائج في اختيار ظروف التشغيل للنظم القائمة وتحقيق التشغيل الأمثل لها.

الكلمات المفتاحية: تبريد - امتصاصية - محاليل ثنائية - ماء / بروميد الليثيوم - أمونيا / نترات الليثيوم.

* مشرف على الأعمال في قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

Comparative The Efficiency Of Absorption Refrigeration Machine Using Binary Solutions (Water/Lithium Bromide, Ammonia/Lithium Nitrate)

Rami Zayoud *

(Received 4 / 6 / 2012. Accepted 27 / 9 / 2012)

□ ABSTRACT □

This study discusses comparative the efficiency of single stage absorption refrigeration machine using binary solutions (water/lithium bromide, ammonia/ lithium nitrate) at various generator, evaporator, and condenser temperatures through modeling and simulation using EES program.

The results show that the lithium nitrate – ammonia may be used for conditioning which gives better performance than the water- lithium bromide cycle at low generator temperature, thus the possibility of operation using the solar thermal energy so may be work by solar thermal energy. Increasing generator temperatures and evaporator cause a increasing in system performance. Increasing condenser temperatures cause a decrease in system performance for each cycle.

These results can be used in selecting operating conditions for existing systems and for maintain optimum operation of the system.

Keywords: refrigeration; absorption; binary solutions; water/lithium bromide; ammonia/ lithium nitrate.

*work Supervisor· Faculty of Mechanical and Electrical Engineering Faculty, Tishreen University, Lattakia, Syria

مقدمة:

يلعب التبريد دوراً هاماً في حياتنا اليومية وله علاقة مباشرة أو غير مباشرة بكثير من مرافق الحياة وتعددت استعمالاته مع التطور الحضاري للمجتمعات ولم يعد يقتصر على النواحي الصناعية وحفظ الأغذية بل امتدت لتشمل التكيف في أماكن العمل والإقامة وتأمين شروط الراحة [1].

يعرف التبريد بأنه عملية تخفيض درجة حرارة المكان أو المادة المراد تبريدها إلى درجة حرارة مناسبة مع المحافظة على هذه الدرجة، لا يمكن لهذه العملية أن تتم إلا باستهلاك مقدار من الطاقة متمثلة بالطاقة الميكانيكية في دارة التبريد الانضغاطية والطاقة الحرارية في دارة التبريد الامتصاصية التي تتميز عن أنظمة التبريد التقليدية بما يلي: نظام تشغيل هادئ، موثوقية عالية، قدرة أبسط وأسهل للتحكم بالآلية، صيانة أقل، وقد ازداد الاهتمام في السنوات الأخيرة بأساليب التبريد التي تستخدم الطاقة الحرارية ذات درجات الحرارة المنخفضة التي يمكن الحصول عليها من الطاقة الشمسية الحرارية أو بواسطة حرق الغاز أو بواسطة الماء الساخن الناتج من عوادم العمليات الصناعية [2].

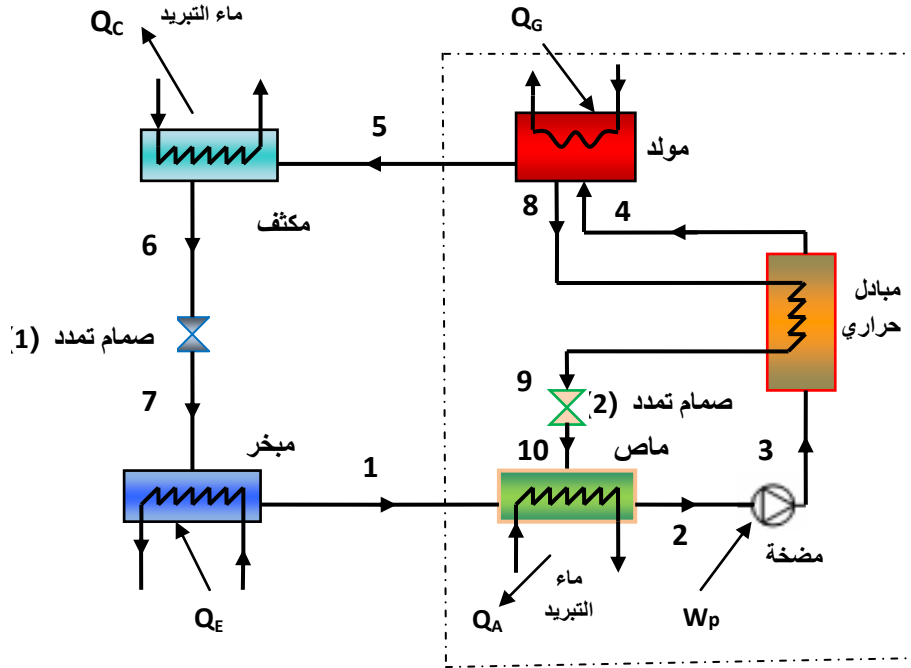
أهمية البحث وأهدافه:

إن هدف البحث هو اختيار محلول التبريد المناسب الذي يؤمن أعلى فعالية ممكنة لآلة تبريد امتصاصية في حال استخدامها لأغراض التكيف. حيث قمنا في الدراسة الحالية بمقارنة معامل الأداء لكل من دارات الامتصاص أحادية المرحلة التي تستخدم محاليل العمل الثنائية التالية: $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$ ، $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$.

طرائق البحث ومواده:

نظام التبريد الامتصاصي:

يوضح الشكل (1) رسماً تخطيطياً لدارة تبريد امتصاصية أحادية المرحلة. حيث تستخدم هذه الدارة محلولاً متجانساً من مادتين: الأولى هي المادة الماصة والثانية هي وسيط التبريد يجري وسيط التبريد في كامل الدارة لكن المادة الماصة تدور فقط ضمن (الماص، مضخة المحلول، والمبادل الحراري الخاص بمحلول التبريد والمولد) يتبخر وسيط التبريد السائل في المبخر نتيجة لامتناسه كمية من الحرارة Q_E (من المواد المراد تبريدها)، وبعدها يتم امتصاصه من قبل المحلول ضعيف التركيز في الماص، ويتحول إلى محلول غني إذ يتم طرح كمية حرارة الامتصاص Q_A إلى ماء أو هواء تبريد الامتصاص، يسخن محلول التبريد الغني بتقديم عمل ميكانيكي W_P بواسطة مضخة المحلول من الماص إلى المولد عبر المبادل الحراري للمحلول، حيث يسخن من قبل المحلول الفقير الساخن العائد من المولد إلى الماص عبر صمام تمدد المحلول (2). ويتم تسخين المحلول الغني في المولد إلى درجة الغليان عن طريق تقديم كمية من الحرارة Q_G ، إذ يتم توليد بخار وسيط التبريد من المحلول مرة أخرى عند درجة الحرارة المرتفعة للمولد، وفي المكثف يتم تكاثف هذا البخار وذلك نتيجة طرح الحرارة عند ضغط ودرجة حرارة التكاثف إلى الوسط المحيط. بعد خروج سائل وسيط التبريد المتكاثف من المكثف يعبر ضمن صمام التمدد (1) حيث ينخفض الضغط من ضغط التكثيف وصولاً إلى ضغط التبخير في المبخر. في المبخر يتم امتصاص كمية من الحرارة عند درجة حرارة التبخير ويتم بذلك تبخر وسيط التبريد ثانية وتدفعه إلى الماص إذ يتم امتصاصه من قبل محلول التبريد ضعيف التركيز وبذلك تكون دارة التبريد قد اكتملت [3].



الشكل (1) رسم تخطيطي لنظام بسيط لدورة تبريد بالامتصاص أحادية المرحلة

التحليل الترموديناميكي للدائرة:

يمكن حساب معامل الأداء لدائرة التبريد الامتصاصية السابقة اعتماداً على معادلات توازن الطاقة والكتلة لكل

عنصر من عناصر هذه الدائرة كما يلي [4]:

المبخر:

$$\dot{Q}_E + \dot{m}_7 \cdot h_7 - \dot{m}_1 \cdot h_1 = 0 \quad (1)$$

$$\dot{m}_7 - \dot{m}_1 = 0 \quad (2)$$

الماص:

$$\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_{10} \cdot h_{10} - \dot{Q}_A - \dot{m}_2 \cdot h_2 = 0 \quad (3)$$

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_{10} - \dot{m}_2 = 0 \quad (4)$$

مضخة المحلول:

$$W_p = \dot{m}_2 (h_3 - h_2) = \dot{m}_2 \cdot v_3 \cdot (p_3 - p_2) = \dot{m}_2 \cdot v_3 \cdot (p_c - p_E) \quad (5)$$

$$\dot{m}_2 - \dot{m}_3 = 0 \quad (6)$$

ويإهمال عمل المضخة ينتج:

$$h_3 = h_2 \quad (7)$$

في المولد:

$$\dot{Q}_G + \dot{m}_4 \cdot h_4 - \dot{m}_5 \cdot h_5 - \dot{m}_8 \cdot h_8 = 0 \quad (8)$$

$$\dot{m}_4 - \dot{m}_5 - \dot{m}_8 = 0 \quad (9)$$

في المكثف:

$$\dot{m}_5 \cdot h_5 - \dot{Q}_C - \dot{m}_6 \cdot h_6 = 0 \quad (10)$$

$$\dot{m}_5 - \dot{m}_6 = 0 \quad (11)$$

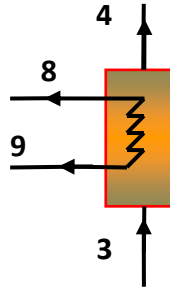
صمام التمدد (1):

$$\dot{m}_6 \cdot h_6 - \dot{m}_7 \cdot h_7 = 0 \quad (12)$$

$$\dot{m}_6 - \dot{m}_7 = 0 \quad (13)$$

$$h_7 = h_6 \quad (14)$$

المبادل الحراري للمحلول:



رسم تخطيطي للمبادل الحراري للمحلول

$$\dot{m}_3 \cdot h_3 - \dot{m}_4 \cdot h_4 + \dot{m}_8 \cdot h_8 - \dot{m}_9 \cdot h_9 = 0 \quad (15)$$

$$\dot{m}_3 - \dot{m}_4 = 0 \quad (16)$$

$$\dot{m}_8 - \dot{m}_9 = 0 \quad (17)$$

ويعطى مردود المبادل الحراري بالعلاقة التالية:

$$\eta_{SHE} = \frac{h_8 - h_9}{h_4 - h_3} \quad (18)$$

$$h_9 = h_8 - \eta_{SHE}(h_4 - h_3) \quad (19)$$

صمام التمدد (2):

$$\dot{m}_9 \cdot h_9 - \dot{m}_{10} \cdot h_{10} = 0 \quad (20)$$

$$\dot{m}_9 - \dot{m}_{10} = 0 \quad (21)$$

$$h_9 = h_{10} \quad (22)$$

معامل التدوير ويعرف: بأنه نسبة كمية المحلول الخارج من الماص إلى كمية البخار الداخلة إلى المكثف:

$$\left(\frac{\text{kg}_{\text{sol}}}{\text{kg}_{\text{ref}}} \right) \quad (23)$$

معامل أداء الدارة:

$$(24) \text{COP} = \frac{\dot{Q}_E}{\dot{Q}_G + W_P}$$

إن العمل الميكانيكي الذي تزود به مضخة المحلول صغير ومهمل بالنسبة لكمية حرارة المولد، لذلك غالباً لا يؤخذ بعين الاعتبار أثناء الحسابات الطاقية للدارة وبالتالي:

$$(25) \text{COP} = \frac{\dot{Q}_E}{\dot{Q}_G}$$

موازنة كتلة وسيط التبريد:

$$\dot{m}_4 X_4 = \dot{m}_5 X_5 + \dot{m}_8 X_8 \quad (26)$$

معادلة توازن الطاقة للدارة بعد إهمال عمل المضخة:

$$\dot{Q}_A + \dot{Q}_C \quad (27)$$

قمنا في الدراسة الحالية باستخدام المحاليل الثنائية التالية:

- محلول أمونيا - نترات الليثيوم ($\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$): الأمونيا هي وسيط التبريد ونترات الليثيوم هي المادة الماصة.
- ماء - بروميد الليثيوم ($\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$): الماء هو وسيط التبريد وبروميد الليثيوم هو المادة الماصة.

الخصائص الترموديناميكية لوسائط العمل:

إن الخصائص الحرارية للمحاليل من ضغط ودرجة حرارة وتركيز وانتالبي وكثافة تعتمد على بعضها البعض وهي ضرورية للنمذجة الرياضية لأنظمة التبريد الامتصاصية، حيث تم استخدام الخصائص الحرارية لوسيط التبريد من مخرج المولد إلى مدخل الماص، وفي باقي أجزاء الدارة تم استخدام الخصائص الحرارية للمحلول. ونبين فيما يلي الخصائص الحرارية لمحاليل العمل التي سيتم استخدامها:

وسيط التبريد NH_3 :

في مجالات درجة الحرارة والضغط المعتادة في تطبيقات التبريد فإن الضغط ودرجة الحرارة لوسيط التبريد

ترتبطان بالعلاقة التالية [5]:

$$P_{\text{NH}_3} = 10^3 \sum_{i=0}^6 a_i (T-273.15)^i \quad (28)$$

كما ويتم التعبير عن الانتالبي النوعي للسائل والبخار المشبع لـ NH_3 من حيث درجة الحرارة على النحو التالي [6]:

$$h_{l(\text{NH}_3)} = \sum_{i=0}^6 b_i (T-273.15)^i \quad (29)$$

$$h_{v(NH_3)} = \sum_{i=0}^6 c_i (T-273.15)^i \quad (30)$$

حيث يبين الجدول (1) قيم الثوابت للمعادلات السابقة.

جدول (1) قيم الثوابت للمعادلات (28) و (29) و (30)

i	معادلة (28) ai	معادلة (29) bi	معادلة (30) ci
0	$4,2871 \cdot 10^{-1}$	$1,9879 \cdot 10^2$	$1,4633 \cdot 10^3$
1	$1,6001 \cdot 10^{-2}$	$4,4644 \cdot 10^0$	$1,2839 \cdot 10^0$
2	$2,3652 \cdot 10^{-4}$	$6,2790 \cdot 10^{-3}$	$-1,1501 \cdot 10^{-2}$
3	$1,6132 \cdot 10^{-6}$	$1,4591 \cdot 10^{-4}$	$-2,1523 \cdot 10^{-4}$
4	$2,4303 \cdot 10^{-9}$	$-1,5262 \cdot 10^{-6}$	$1,9055 \cdot 10^{-6}$
5	$-1,2494 \cdot 10^{-11}$	$-1,8069 \cdot 10^{-8}$	$2,5608 \cdot 10^{-8}$
6	$1,2741 \cdot 10^{-13}$	$1,9054 \cdot 10^{-10}$	$-2,5964 \cdot 10^{-10}$

محلول NH₃/LiNO₃:

تعطى العلاقة بين الضغط ودرجة حرارة التشبع بالمعادلة التالية [6]:

$$\log P = A - \frac{B}{T} \quad (31)$$

حيث أن:

$$A = 16.29 + 3.859(1 - X)^3 \quad (32)$$

$$B = -2802 - 4192(1 - X)^3 \quad (33)$$

ويعطى انتالبي الخليط كتابع لدرجة الحرارة والتركيز بالعلاقة التالية [5]:

$$h(T,X) = A + B(T-273.15) + C(T-273.15)^2 + D(T-273.15)^3 \quad (34)$$

حيث أن:

$$A = -215 + 1570(0.54 - X)^2 \quad \text{if } X \leq 0.54 \quad (35)$$

$$A = -215 + 689(X - 0.54)^2 \quad \text{if } X \geq 0.54 \quad (36)$$

$$B = 1.15125 + 3.3826X \quad (37)$$

$$C = 10^{-3}(1.099 + 2.3965X) \quad (38)$$

$$D = 10^{-5}(3.93333X) \quad (39)$$

كثافة المحلول متعلقة بالتركيز ودرجة الحرارة وتعطى بالعلاقة [5]:

$$\rho(T,X) = 2046.22 - 1409.65X^{0.5} - 1.3463(T-273.15) - 0.0039(T-273.15)^2 \quad (40)$$

وسيط التبريد H₂O:

ضغط الإشباع للماء الصافي P[Pa] عند درجة الحرارة T [K] يعطى بالعلاقة التالية [7]:

$$\log P = 10.04999 - 1603.541/T - 104095.51/T^2 \quad (41)$$

يعطى انتالبي الماء الصافي [kJ/kg] عند درجة الحرارة [K] بالعلاقة التالية [7]:

$$h_{w(H_2O)} = 4.19(T-273.15) \quad (42)$$

ويشكل مماثل يعطى الانتالبي كتابع لدرجة الحرارة [K] بالعلاقة [6]:

$$h_{v(H_2O)} = 2.326[(0.004932T - 2.2493008) P / 6894.76 + (0.80895T - 854.2151086)] \quad (43)$$

محلول H₂O/LiBr:

يحدد انتالبي محلول بروميد الليثيوم عند التركيز X ودرجة الحرارة T بالعلاقة التالية [7]:

$$h_{(H_2O-LiBr)} = 2.326 \left[\sum_{n=0}^4 A_n X^n + (1.8T - 459.67) \sum_{n=0}^4 B_n X^n + (1.8T - 459.67)^n \sum_{n=0}^4 C_n X^n \right] \quad (44)$$

حيث يوضح الجدول (2) قيم ثوابت المعادلة:

جدول (2) قيم الثوابت للمعادلة (44)

$A_0 = -1015,7$	$B_0 = 4,68108$	$C_0 = -4,9107.10^{-3}$
$A_1 = 79,5387$	$B_1 = -0,3037766$	$C_1 = 3,83184.10^{-4}$
$A_2 = -2,358016$	$B_2 = 8,44845.10^{-3}$	$C_2 = -1,078963.10^{-5}$
$A_3 = 0,03031583$	$B_3 = -1,047721.10^{-4}$	$C_3 = 1,3152.10^{-7}$
$A_4 = -1,400261.10^{-4}$	$B_4 = 4,80097.10^{-7}$	$C_4 = -5,897.10^{-10}$

يحدد الضغط P والتركيز X ودرجة الحرارة T لبروميد الليثيوم بالعلاقة [7]:

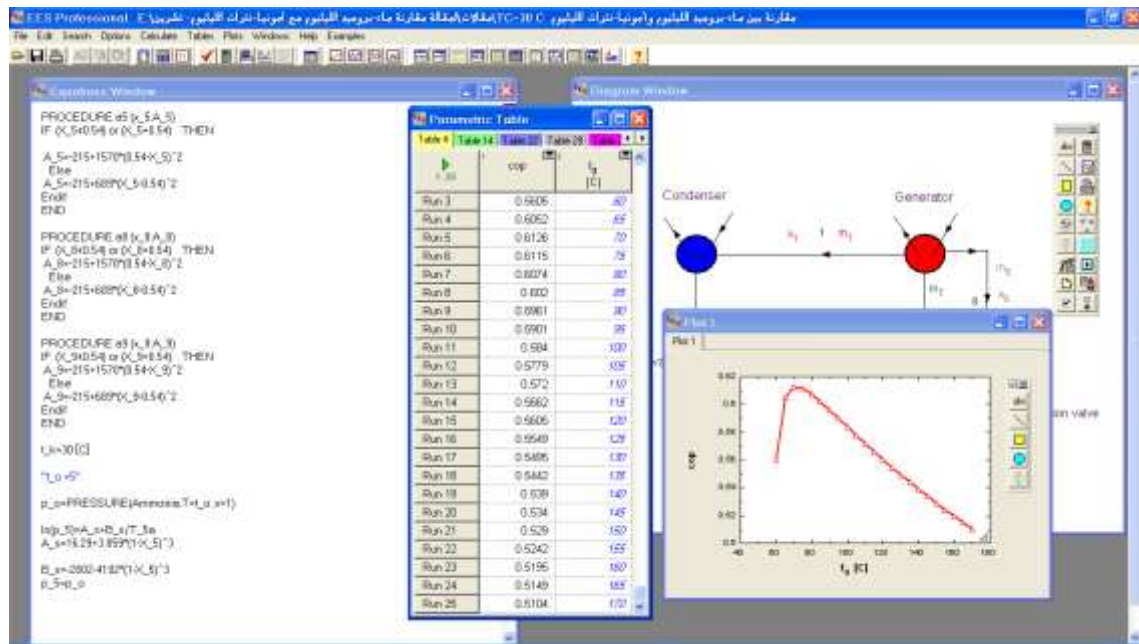
$$\log P = A + B/T + C/T^2 \quad (45)$$

حيث أن A, B, C معاملات تتعلق بتركيز المحلول X.

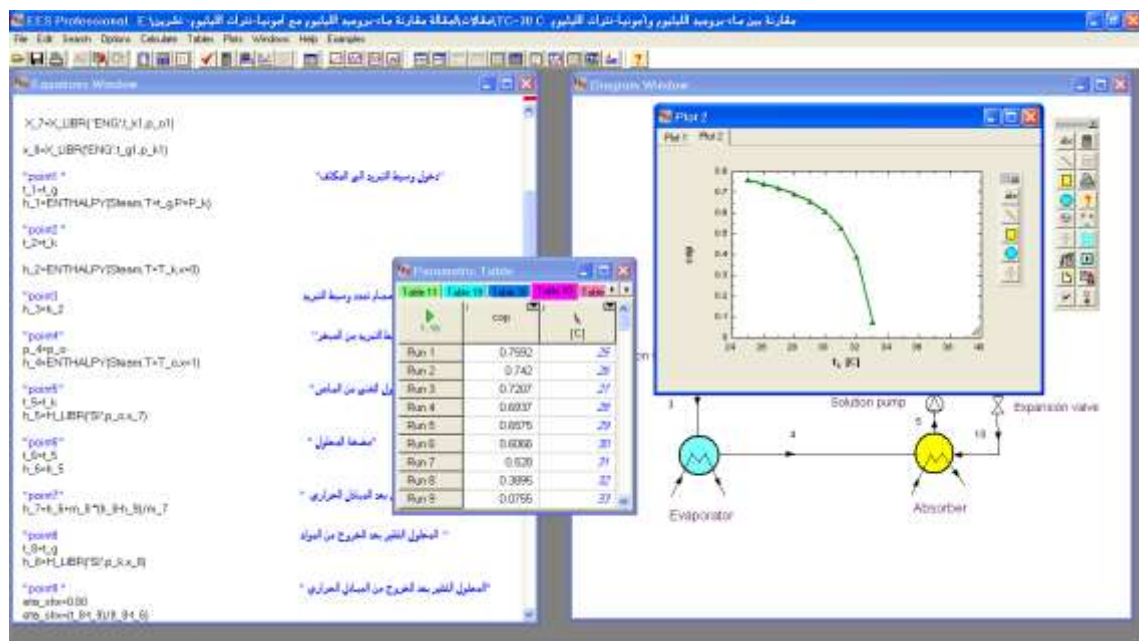
النتائج والمناقشة :

من أجل التنبؤ بقيم معامل الأداء لدارة التبريد الامتصاصية باستخدام محاليل التبريد NH₃/LiBr / LiBr، واختيار الشروط المثلى. فقد تم إنشاء نموذجين للدارة الامتصاصية للمحلولين المذكورين عند شروط عمل مختلفة باستخدام برنامج EES، ويستخدم برنامج EES (Engineering Equation Solver) للنمذجة الرياضية في المسائل الحرارية حيث يقوم البرنامج بحل المعادلات الرياضية الخطية وغير الخطية ورسم المخططات البيانية، كما يحتوي البرنامج على قاعدة بيانات تتضمن الخواص الحرارية والفيزيائية لعدد ضخم من المواد والموائع المستخدمة في الآلات الحرارية [8].

وباستثمار برنامج النمذجة الذي تم إنشاؤه من قبلنا ندرس تأثير البارامترات الأساسية في الدارة على معامل أداء الدارة وعلى معامل التدوير، ونبين في الشكل (2) واجهة البرنامج لدارة (أمونيا / نترات الليثيوم):



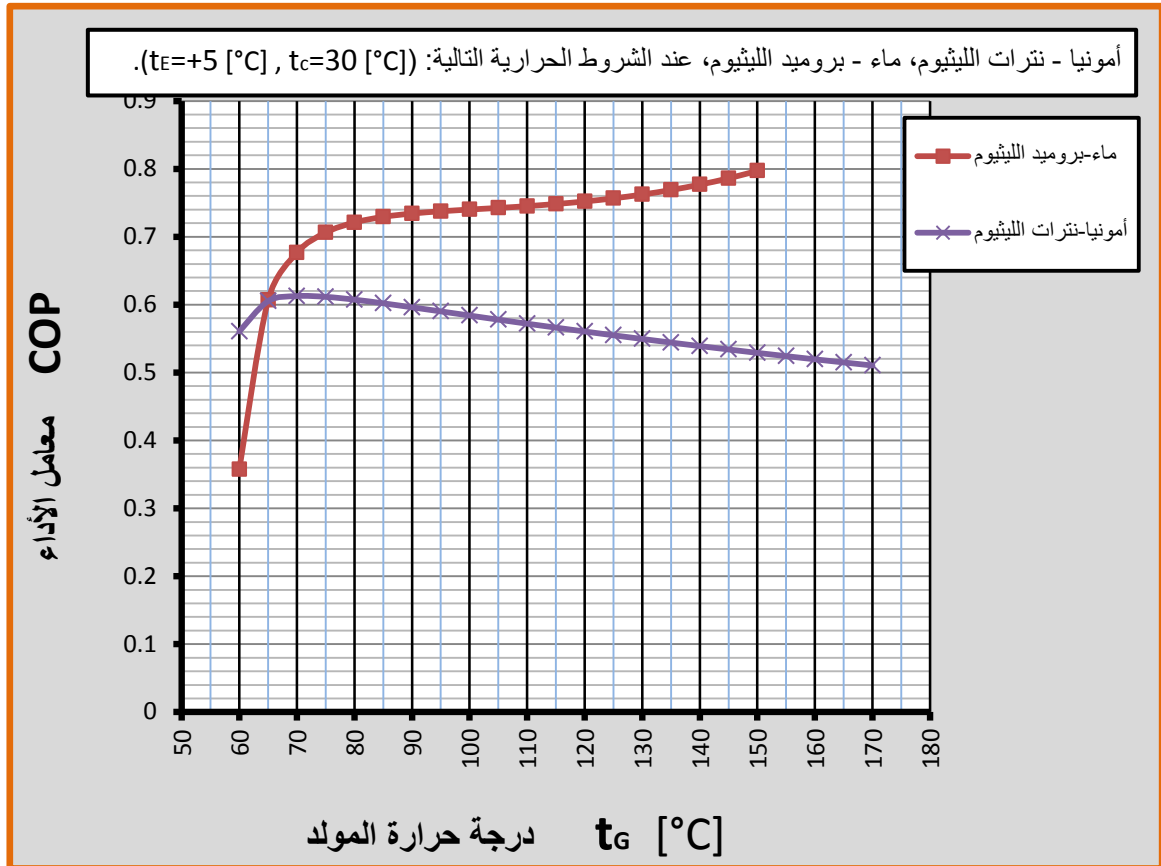
الشكل (2) الواجهة الكاملة لبرنامج الدارة لمحول (أمونيا / نترات الليثيوم) بأغلب نوافذه
كما نبين في الشكل (3) واجهة البرنامج لدارة (ماء / بروميد الليثيوم):



الشكل (3) الواجهة الكاملة لبرنامج الدارة لمحول (ماء / بروميد الليثيوم) بأغلب نوافذه
وفيما يلي نتائج استخدام النماذج المنجزة لكلا المحلولين:
العلاقة بين درجة حرارة المولد ومعامل الأداء:

يبين الشكل (4) تغير قيم معامل أداء لدارة التبريد الامتصاصية تبعاً لدرجة حرارة المولد باستخدام كل من المحاليل: $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$, $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$ عند درجة حرارة تبخير $t_E = +5$ [°C] ودرجة حرارة تكثيف $t_C = 30$ [°C]. ينضح من المخطط أنه باستخدام المحلول $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$ يتزايد معامل الأداء حتى يصل إلى القيمة العظمى له عند درجة حرارة للمولد مساوية لـ 70 [°C] ثم يبدأ بعدها بالتناقص، بينما تبقى قيم معامل الأداء عند استخدام المحلول $\text{LiBr}/$

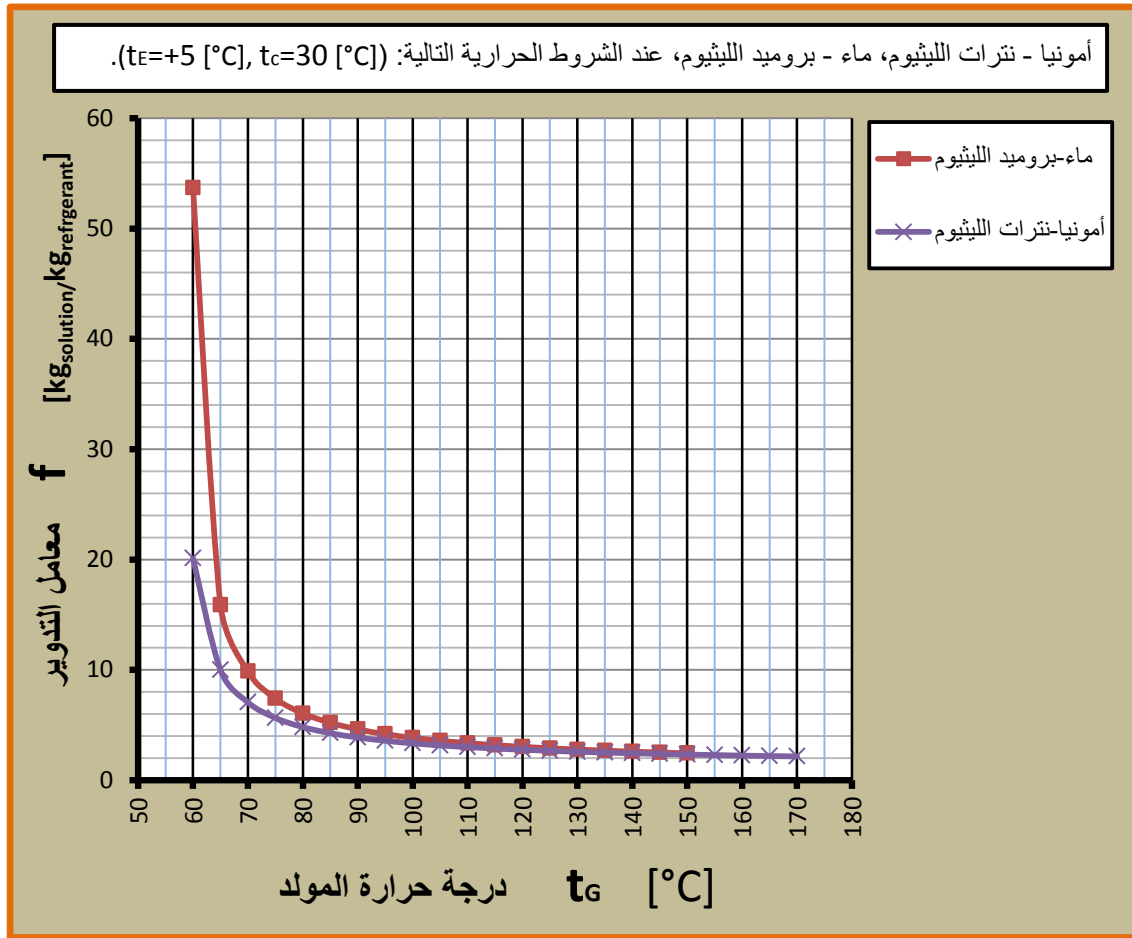
H_2O متزايدة مع ازدياد درجة حرارة المولد، كما يلاحظ أن قيم معامل الأداء لدارة $NH_3/LiNO_3$ أعلى منها لدارة $LiBr/H_2O$ عندما تكون درجة حرارة المولد أقل من $65 [^{\circ}C]$ وبعد هذه الدرجة تصبح قيم معامل الأداء لدارة $LiBr/H_2O$ أكبر ويزداد الفارق بين قيم معامل الأداء لكلا المحلولين بارتفاع درجة حرارة المولد.



الشكل (4) تغير معامل الأداء مع درجة حرارة المولد

العلاقة بين درجة حرارة المولد ومعامل التدوير:

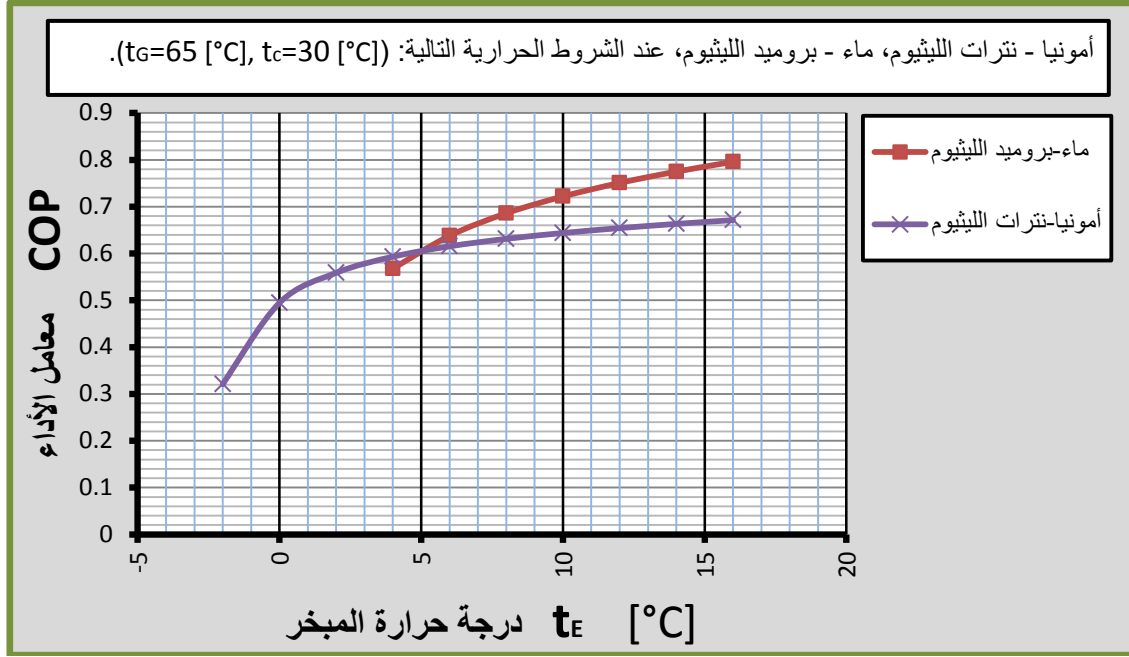
يبين الشكل (5) مقارنة قيم معامل التدوير تبعاً لدرجة حرارة المولد للمحاليل المذكورة عند نفس الشروط الحدية السابقة t_E , t_C . وكما هو واضح في الشكل إن معامل التدوير لدارة $H_2O/LiBr$ أعلى منها لدارة $NH_3/LiNO_3$ ويتقلص الفارق في قيم معامل التدوير بارتفاع درجة حرارة المولد هذا يعني أن المحلول $H_2O/LiBr$ يحتاج إلى تشغيل أسرع أو مضخة أكبر لتقوم بما هو مطلوب عند درجات حرارة المولد المنخفضة.



الشكل (5) تغير معامل التدوير مع درجة حرارة المولد

العلاقة بين درجة حرارة المبخر و معامل الأداء:

يبين الشكل (6) مقارنة بين قيم معامل الأداء تبعاً لدرجة حرارة المبخر للمحلولين $NH_3/LiNO_3$ ، $LiBr$ / H_2O عند درجة حرارة ثابتة للمولد $t_G=65 [^{\circ}C]$ ودرجة حرارة تكثيف $t_c=30 [^{\circ}C]$. نلاحظ أن المحلول $NH_3/LiNO_3$ يمكن أن يعمل بالمجال السالب لدرجة حرارة المبخر فعند الشروط الحرارية المذكورة يمكن ان تبدأ الدارة بالعمل وتعطي درجة حرارة تبخير مساوية لـ $-2 [^{\circ}C]$ لكن بمعامل أداء منخفض نسبياً ويساوي 0.3207 ، ويزداد معامل الأداء لكلا المحلولين بازدياد درجة حرارة التبخير ومعامل الأداء الأعلى هو لمحلول $NH_3/LiNO_3$ عند درجات حرارة المبخر المنخفضة حتى درجة الحرارة $+5 [^{\circ}C]$ بعد هذه الدرجة تصبح قيمة معامل الأداء الأعلى هي لمحلول $LiBr/H_2O$ وأقل درجة حرارة تبخير يمكن أن يعطيها هذا المحلول مساوية لـ $+4 [^{\circ}C]$ وبمعامل أداء 0.5677 عند الشروط الحرارية السابقة.

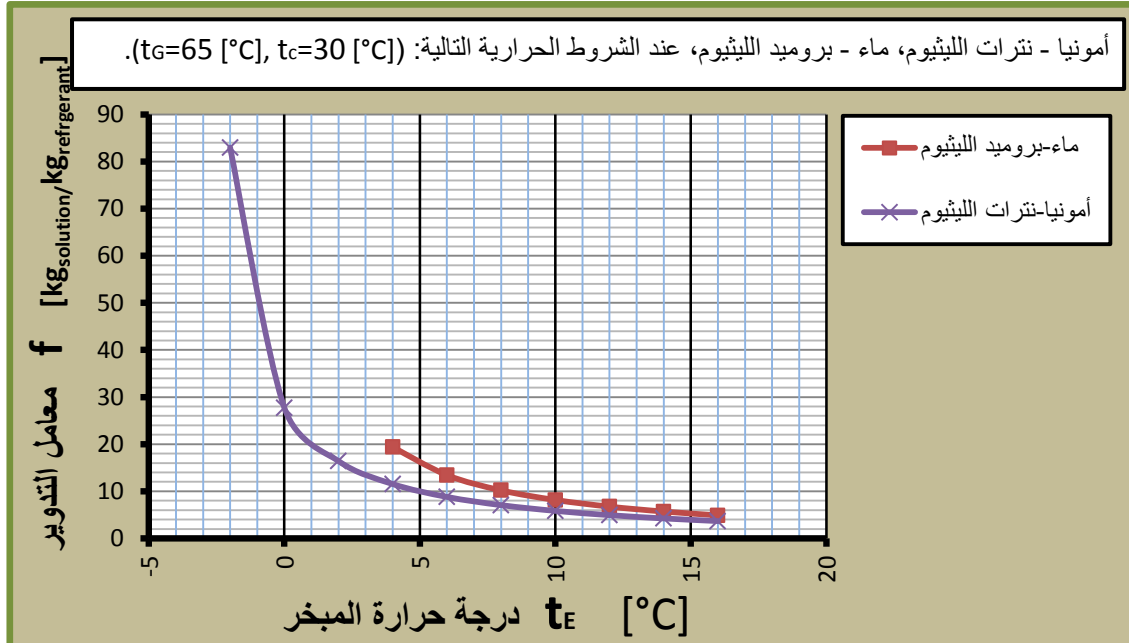


الشكل (6) تغير معامل الأداء مع درجة حرارة المبخر

4-4- العلاقة بين درجة حرارة المبخر ومعامل التدوير:

يبين الشكل (7) مقارنة قيم معامل التدوير تبعاً لدرجة حرارة المبخر عند نفس الشروط الحرارية السابقة

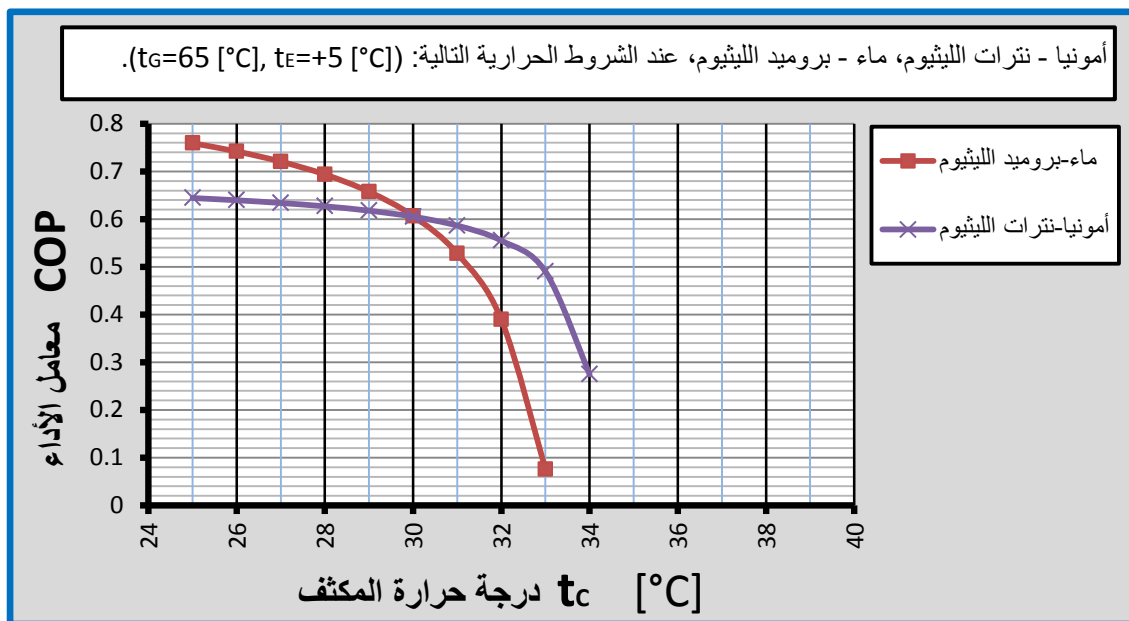
t_c , t_g وكما هو واضح إن معامل التدوير لدارة $H_2O/LiBr$ أعلى منه لدارة $NH_3/LiNO_3$ وبالتالي فإن المحلول L_iBr/H_2O يحتاج إلى مضخة أكبر أو إلى تشغيل أسرع للمضخة لتقوم بما هو مطلوب.



الشكل (7) تغير معامل التدوير مع درجة حرارة المبخر

العلاقة بين درجة حرارة المكثف و معامل الأداء:

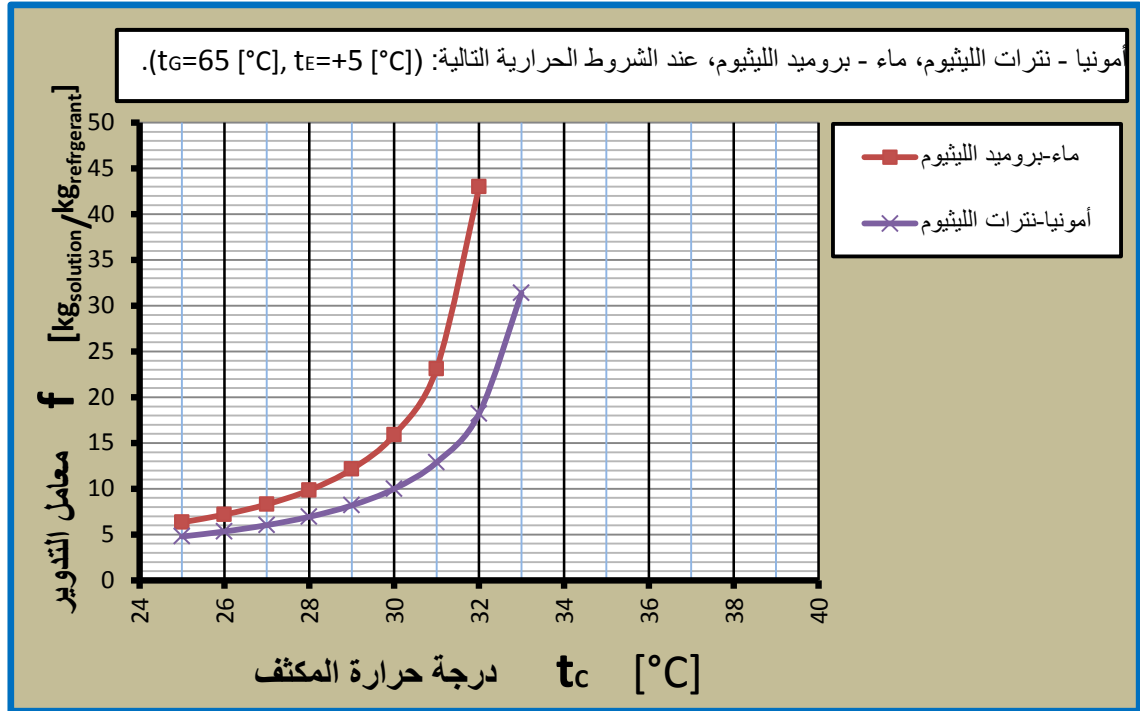
يوضح الشكل (8) مقارنة بين قيم معامل الأداء تبعاً لدرجة حرارة المكثف للمحاليل المذكورة عند الشروط الحدية $t_G=65 [^{\circ}C]$, $t_E=+5 [^{\circ}C]$ ، وكما هو ملاحظ فإن تزايد درجة حرارة المكثف يسبب تناقص في معامل الأداء لكل دارة، و معامل الأداء لدارة $H_2O/LiBr$ أعلى منه لدارة $NH_3/LiNO_3$ عند درجات حرارة المكثف المنخفضة ويتناقص الفارق بين قيم معامل الاداء للدارتين مع ازدياد درجة حرارة المكثف حتى ينعدم عند درجة حرارة التكتيف المساوية تقريباً لـ $30 [^{\circ}C]$ وبعد هذه الدرجة يبدأ الفارق بالازدياد ولكن معامل الاداء الاعلى هو لمحلول $NH_3/LiNO_3$ والحد الأقصى لدرجة حرارة المكثف الذي يمكن أن تعمل عندها هذه الدارة هو $34 [^{\circ}C]$ بينما تبلغ $33 [^{\circ}C]$ لمحلول $H_2O/LiBr$.



الشكل (8) تغير معامل الأداء مع درجة حرارة المكثف

العلاقة بين درجة حرارة المكثف و معامل التدوير:

يوضح الشكل (9) مقارنة بين قيم معامل التدوير تبعاً لدرجة حرارة المكثف عند الشروط نفسها السابقة t_E , t_G ، نلاحظ إن تزايد درجة حرارة المكثف يؤدي إلى تزايد قيم معامل التدوير لكل دارة وكما هو واضح إن معامل التدوير لدارة $H_2O/LiBr$ أعلى منه لدارة $NH_3/LiNO_3$ وبالتالي يحتاج محلول $H_2O/LiBr$ إلى مضخة محلول أكبر أو إلى تشغيل أسرع للمضخة لتقوم بما هو مطلوب.



الشكل (9) تغير معامل التدوير مع درجة حرارة المكثف

الاستنتاجات والتوصيات:

- تم في هذا البحث تمثيل المخططات الحرارية لدارات التبريد الامتصاصية عند شروط حرارية مختلفة ومقارنة أدائها باستخدام المحاليل $H_2O/LiBr$ ، $NH_3/LiNO_3$. وتحديد معامل الأداء الأفضل لكل دارة باستخدام برنامج EES على أساس الخصائص الحرارية لكل محلول وقد تم التوصل إلى النتائج التالية:
- يزداد معامل الأداء لكل دارة مع ازدياد كل من درجة حرارة المولد والمبخر ويسبب ازدياد درجة حرارة المكثف انخفاضاً في أداء النظام لجميع الدارات.
 - ينخفض معامل التدوير لكل دارة مع ازدياد كل من درجة حرارة المولد والمبخر ويسبب ازدياد درجة حرارة المكثف ارتفاعاً في معامل التدوير لجميع الدارات.
 - تعمل دارة الامتصاص $H_2O/LiBr$ في درجات حرارة أعلى من $4 [^{\circ}C]$ بينما تعمل دارة $NH_3/LiNO_3$ في المجال الموجب والسالب لدرجة حرارة المبخر وبالتالي إمكانية استخدام هذه الدارة في دارات التبريد الامتصاصية المستخدمة لأغراض التكييف إضافة إلى استخدامها المعهود للتبريد.
 - بداية العمل لكلا الدارتين تتم بمعامل أداء جيد عند درجة حرارة $60 [^{\circ}C]$ للمولد ولكن معامل الأداء الأفضل هو لدارة $NH_3/LiNO_3$ حتى درجة حرارة المولد المساوية لـ $65 [^{\circ}C]$ وهذا يمكننا من الحصول على الحرارة اللازمة لتشغيلها عن طريق الطاقة الشمسية الحرارية باستخدام المجمعات الشمسية المسطحة رخيصة الثمن.
 - قيم معامل التدوير الأقل هي لدارة $NH_3/LiNO_3$ وبالتالي تكون المضخة اللازمة أصغر أو أقل سرعة.
 - يوصى باستخدام نتائج الدراسة لاختيار ظروف التشغيل الملائمة لهذه الدارات، كما يمكن أن تكون مصدراً مرجعياً للمقارنة في تطوير دارات جديدة واستخدام محاليل عمل جديدة.

المصطلحات والرموز العلمية المستخدمة

الرموز المستخدمة:	المصطلحات والرموز العلمية المستخدمة
C_p : السعة الحرارية النوعية عند ضغط ثابت [J/kg K]	معدل الحرارة المسحوبة بالمبخر (أي حمل التبريد) \dot{Q}_E : [kW]
f : معامل التدوير [kg _{Solution} /kg _{refrigerant}]	معدل الحرارة المضافة إلى المولد \dot{Q}_G : [kW]
h : الانتالبي النوعي [J/kg]	العمل المقدم إلى المضخة W_P : [kW]
\dot{m} : التدفق الكتلي [kg/s]	معدل الحرارة المطروحة في الماص \dot{Q}_A : [kW]
P : الضغط [N/m ²]	معدل الحرارة المطروحة في المكثف \dot{Q}_C : [kW]
T : درجة الحرارة المطلقة [K]	الدلائل:
t : درجة الحرارة المثوية [°C]	A الماص
[%]: تركيز المحلول X	G المولد
V : الحجم النوعي [m ³ / kg]	C المكثف
ρ [kg/ m ³]: الكثافة	E المبخر
: مردود المبادل الحراري η_{SHE}	S الإشباع

المراجع :

1. د. تاج الدين ضياء؛ آلات التبريد. الطبعة الثانية، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة حلب، الجمهورية العربية السورية، 1990، 399 ص.
2. أ.د. مصطفى محمد السيد؛ أ.د. قري أحمد فتحي؛ د. إبراهيم السعدي. النماذج الحسابية للنظم الحرارية الشمسية. الطبعة الأولى، جامعة الملك عبد العزيز، المملكة العربية السعودية، 1994 م، 676 ص.
3. [3] د. رامي جورج؛ د. وجيه ناعمة؛ د. قاسم طلال؛ د. مارديروس أراصايغ؛ د. رضوان المصري؛ د. سلمان عجيب. المرجع في مبادئ الطاقة الشمسية الحرارية وتطبيقاتها. مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة البعث، 2008، 670 ص.
4. KARN0, Ali; AJIB, S. Thermodynamic analysis of an absorption refrigeration machine with new working fluid for solar applications. Heat Mass Transfer, Vol.45, No.1, 2008, 71–81.
5. LINGHUI, Z; JUNJIE, G. Second law-based thermodynamic analysis of ammonia/sodium thiocyanate absorption system. Renewable Energy, 35, 2010, 1940-1946.
6. INFANTE, F. Thermodynamic and physical property data equations for ammonia-lithium nitrate and ammonia-sodium thiocyanate solutions, Solar Energy, 32(2), 1984, 231-236.
7. LIU, Y, L; WANGR, Z. Performance prediction of a solar/gas driving double effect LiBr–H₂O absorption system. Renewable Energy, Volume 29, Issue 10, August 2004, 1677-1695.
8. CHARBONNEAU, P; KNAPP, B. Engineering Equation Solver for Microsoft Windows Operating Systems Commercial and Professional. V. 7.358, S. A. Klein, 2005, 303.