مجلة جامعة بابل / العلوم الهندسية / العدد (١) / المجلد (٢٣) : ٢٠١٥

دراسة تأثير تغير درجة التكاثف على ظاهرة التبلور واداء منظومات التبريد الامتصاصية العاملة بالطاقة الشمسية

رحيق اسماعيل ابر اهيم — *جامعة التكنولوجية /قسم الهندسة الكيمياوية*
doctorraheek@yahoo.com

قصي عبد الجبار جواد — *جامعة التكنولوجية/مركز بحوث الطاقة*
qqaajj92@gmail.com

كريمة عاصي محمد — *جامعة التكنولوجية /قسم الكهروميكانيك*
karematiea@yahoo.com

الخلاصة

يختص هدا البحث بدراسة تأثير تغير درجة التكاثف على أداء منظومات التبريد الامتصاصية العاملة بالطاقة الشمسية بهدف معرفة إلى أي حد يُسمح بتغير درجة التكاثف في المنظومة سواءً بالزيادة أو بالنقصان دون الوصول إلى حادثة التبلور للمحلول المستخدم عند مدخل وعاء الامتصاص، وكيف يمكن التغلب على مشكلة تبلور المحلول في المنظومة . تم دراسة تغير معامل الأداء لمنظومات التبريد الامتصاصية المستخدمة لمحلول بروميد الليثيوم والماء لأربعة أنواع من هده المنظومات لتحديد معامل الأداء لكل منظومة والمقارنة بينهما لاختيار الأفضل. تم تحديد مجال درجة حرارة المولد لدوائر التبريد الأربعة اعتمادا على مخطط الضغط ودرجة الحرارة والتركيز. اعتمدت هده الدراسة على طريقة حل باستخدام الجداول والمخططات وطريقة الحل باستخدام برنامج **EES** .بينت نتائج هده الدراسة أن ارتفاع درجة التكاثف يقلل من احتمال تبلور المحلول عند مدخل وعاء الامتصاص أما عند انخفاض درجة التكاثف إلى $T_k^{\setminus} = 30\ ^{\circ}C$ نلاحظ اقتراب موقع مدخل المحلول إلى وعاء الامتصاص من خط التبلور بشكل كبير أما بالنسبة لمعامل الأداء COP فإن انخفاض درجة التكاثف يؤدي الى انخفاض الضغط في المكثف والمولد وتؤدي التغذية بماء أكثر برودة لتبريد وعاء الامتصاص إلى ارتفاع تركيز المحلول الغني ، وبالتالي ازدياد فرق التركيز بين المحلولين الغني والضعيف ، ونقصان نسبة التدوير ورفع فعالية المنظومة المشتركة وزيادة معامل الأداء COP . إن أهم نتائج هدا البحث هي التوصل الى اختيار منظومة التبريد الامتصاصية ذات التأثير الأحادي العاملة على بروميد الليثيوم والماء التي تحتاج تشغيل بالطاقة الشمسية بتكاليف منخفضة نسبياً حيث أعطت معامل أداء مقبول ودرجة حرارة في المولد ليست مرتفعة كثيراً مما يمكننا من تشغيل هده المنظومة باستخدام لواقط شمسية اقتصادية ومتوفرة وبالتالي تم اختيارها هي المنظومة الأمثل للعمل بالطاقة الشمسية .

الكلمات المفتاحية:- عمليات ثرموديناميكية، طاقة شمسية، منظومات تبريد .

Abstract

This paper is devoted to study the effect of condensation temperature changing on the performance of absorption cooling system working with on solar energy .It aims at reducing the cost of the absorption cooling system and reducing the temperature of the generator to enable the cooler to work with solar collector more economical and to reduce the energy consumption compared with classical cooling system. The COP has been studied for four absorption systems which using water and lithium - Bromide. The temperature of the generator for each cycle was determined according to the (pressure – temperature – concentration) diagram. The COP has been determined by drawing it's the change with the change of temperature of the generator after determination of condensation and evaporation temperature. The results of this work indicated that, the COP for double effect cycle is high respectively, but it requires expensive solar receivers. The triple effects cycle needs higher working temperature than other systems. The importance of work is the result was the determining of single effect system to work by solar energy with low cost comparing with other systems. Finally we are found that the single effect system is suitable than others system to work by solar energy economically

Keywords: Thermodynamic operations, cooling systems, solar energy

الرموز والمصطلحات

f: نسبة التدوير، وتدل على كمية المحلول الغني القادم إلى المولد المقابل لكل 1Kg من البخار المتكاثف القادم إلى المبخر .

h_1 : انتالبي المحلول الغني الخارج من الوعاء الماص إلى المضخة $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

$h3$: انتالبي المحلول الغني الداخل إلى المولد و القادم من المبادل الحراري $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

$h4$: انتالبي المحلول الضعيف الخارج من المولد إلى المبادل الحراري $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

h_6 : انتابي المحلول الضعيف القادم من الصمام الثاني $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

$h7$: انتالبي البخار الخارج من المولد إلى المكثف $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

h_8 : انتالبي السائل الخارج من المكثف $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

h_{10} : انتابي بخار الماء القادم من المبخر $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

$\dot{M}$: تدفق المحلول الغني خلال المضخة والداخل الى المولد $\left[\frac{kg}{S}\right]$

$\dot{m}$: تدفق وسيط التبريد الخارج من المولد $\left[\frac{kg}{S}\right]$

$\dot{M}-\dot{m}$: تدفق المحلول الفقير العائد إلى وعاء الامتصاص $\left[\frac{kg}{S}\right]$

P_1 : الضغط المنخفض في الدورة (المبخر– وعاء الامتصاص) $\left[\frac{N}{m^2}\right]$

P_2 : الضغط العالي في الدورة (المولد–المكثف) $\left[\frac{N}{m^2}\right]$

Q_A : كمية الحرارة الواجب طرحها من الوعاء الماص $[KW]$

Q_K : كمية الحرارة المطروحة عبر المكثف $[kW]$

Q_G : كمية الحرارة المقدمة في المولد $[kW]$

X : تركيز بروميد الليثيوم في المحلول (وزناً)

ρ : كثافة المحلول عند خط السحب للمضخة $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

COP : معامل الأداء

HE : دائرة نصف التأثير

SE : دائرة التأثير الأحادي

DE (SF): دائرة التأثير المضاعف (تدفق تسلسلي)

DE(PF): دائرة التأثير المضاعف(تدفق تفرعي)

TRE: دائرة التأثير الثلاثي.

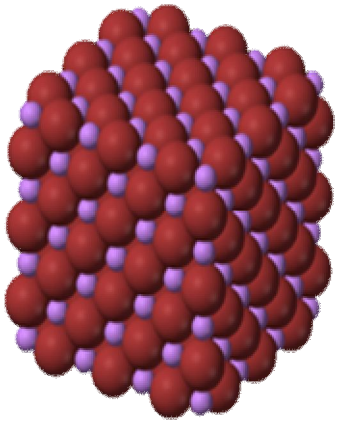
المقدمة

ان كلتا منظومتا التبريد الامتصاصية والانضغاطية البخارية (التقليدية) تنتج الأثر التبريدي من خلال نـــزع الحرارة من الجسم المراد تبريده عن طريق تبخر سائل وسيط التبريد تحت ضغط منخفض، ونبذ الحـــرارة مـــن خلال تكثيف بخار وسيط التبريد في المكثف تحت ضغط مرتفع،الاختلاف الأساسي بين المنظـــومتين يكمـــن فـــي طريقة إيجاد اختلاف الضغط اللازم لتدوير وسيط التبريد في الدورتين، في منظومة التبريد الانضغاطية البخاريـــة (التقليدية) فان الضاغط يقوم بتوفير الضغط اللازم لتدوير وسيط التبريد (الفريون)، بينما فـــي منظومـــة التبريـــد الامتصاصية فان المادة الماصة تستخدم لتدوير وسيط التبريد في المنظومة اضافة الى وجود المضخة التـــي تقـــوم بتدوير المحلول ايضا إن منظومات التبريد الامتصاصية متوفرة تجاريا بترتيبين:

1- بالنسبة للتطبيقات التي تحتاج درجات حرارة أعلى من (0 c°) وبشكل أساسي في تطبيقات تكييف الهواء فان منظومة التبريد (الماء\ بروميد الليثيوم) هي المستخدمة.

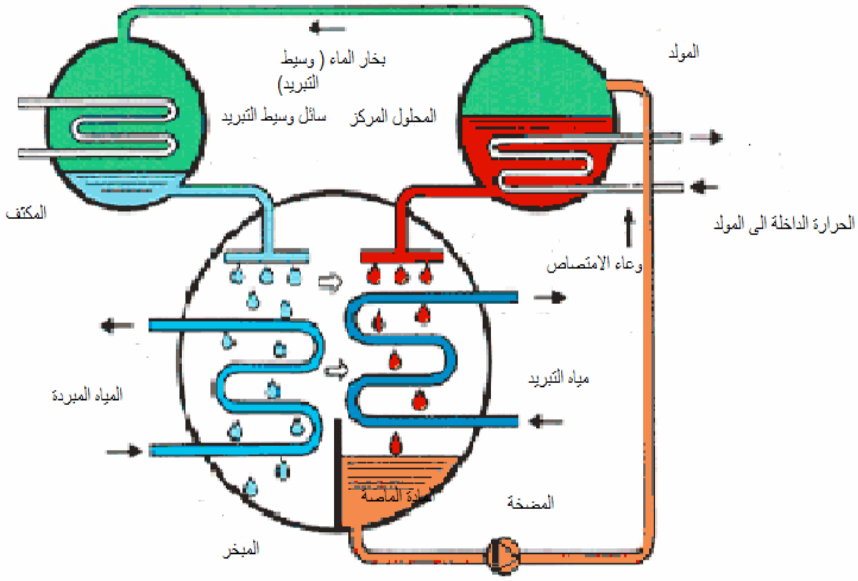
2- بالنسبة للتطبيقات التي تحتاج درجات حرارة أدنى من (0 c°) بشكل أساسي في تطبيقات تخزين الأغذية والخضروات والفواكه واللحوم فان منظومة التبريد (آمونيا\\الماء) هي المستخدا مة [Frank, 2008] .

تتمثل بعض الخصائص الفيزيائية والكيمائية لبروميد الليثيوم:



الشكل(1) بلورة بروميد الليثيوم

يتم تحضير بروميد اللبثيوم بمعالجة كربونات الليثيوم مع حمض الهيدروبروميك، وينتج عن ذلك بلورات بروميد الليثيوم والمشابهة لبلورات الملح العادي، كما هو موضح في الشكل(1). يستخدم بروميد الليثيوم كمادة ماصة في منظومات التبريد الامتصاصية وذلك لإغراض تكييف الهواء، كما يستعمل في مجال الكيمياء ككاشف لبعض المواد العضوية. يتألف المخطط من: المولد- المكثف-المبخر- صمام التمدد- وعاء الامتصاص- مضخة المحلول[Sanford, 2002].



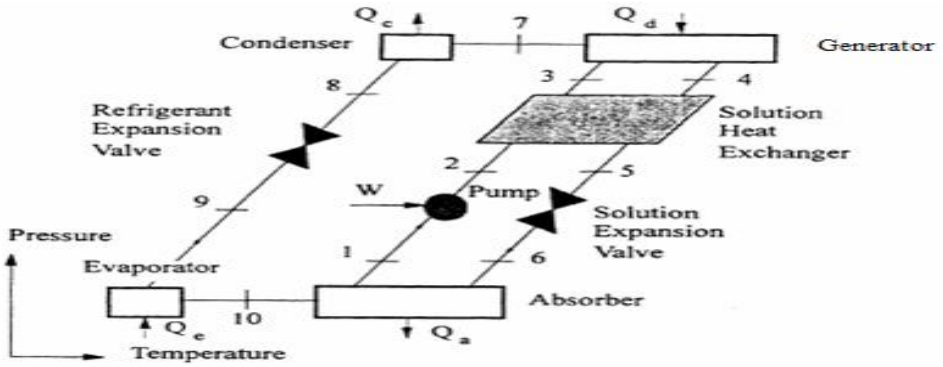
الشكل (2) منظومة التبريد الامتصاصية (ماء/ بروميد الليثيوم).

يستخدم المولد مصدر حراري خارجي (مرجل- لواقط شمسية....الخ) لغليان محلول الماء وبروميد الليثيوم المخفف الموجود بداخله حيث يغلي وسيط التبريد (الماء) أولا لان درجة حرارة غليانه اقل من درجة حرارة غليان بروميد الليثيوم عند نفس الشروط، وينتقل بخار الماء إلى المكثف حيث يتكاثف هنالك ويتحول إلى سائل تحت ضغط مرتفع، ويذهب سائل وسيط التبريد إلى المبخر عبر صمام التمدد الذي يقوم بتخفيض ضغطه ودرجة حرارته إلى ضغط ودرجة حرارة المبخر، حيث يتوزع سائل وسيط التبريد حول أنابيب المبخر، ويتبخر مجددا عند ضغط منخفض مزيلا الحرارة من المياه المراد تبريدها والتي تمر عبر مبادل حراري داخل المبخر.

محلول بروميد الليثيوم الغني والمتبقي في المولد يذهب الى الوعاء الماص، حيث يقوم بمص بخار وسيط التبريد (الماء) من المبخر مخففا من تركيز المحلول تدريجيا، ويضخ محلول بروميد الليثيوم المخفف بواسطة مضخة المحلول إلى المولد مجددا [www.solar energy alternative.com]

تحليل الأداء الترموديناميكي للمنظومة:

يجب أن نحسب أولا معامل الأداء للتأكد من عمل المنظومة بما يتناسب وطبيعة الغاية المطلوبة منها ولكي نرسم مخطط تغير معامل الأداءCOP تبعاً لتغير درجة الحرارة في المولد. يوضح الشكل(١)المخطط المبسط لمنظومة التبريد ذات التأثير الأحادي [Duffie and Beckman, 1980]:-



الشكل (3) المخطط المبسط لمنظومة التبريد الامتصاصية [Duffie and Beckman, 1980]

وبالإمكان أن نقيس قيم المتغيرات للنقاط الأساسية لمنظومة التبريد ذات التأثير الأحادي وهي:- نسبة تدوير المحلول f، كمية الحرارة المطروحة في المبادل الحراري q ، حالة المحلول الغني بعد المبادل الحراري h_3، كمية الحرارة المقدمة في المولدq_{gen}، كمية الحرارة المطروحة في المكثف q_C ، الإنتاجية التبريدية q_e، كمية الحرارة المطروحة في وعاء الامتصاص q_a، وكذلك يمكن إجراء الموازنة الحرارية للمنظومة وكما في المعادلات الرياضية التالية:-

$$f = x_4 / (x_4 - x_1) \quad \cdots(1)$$

$$q = (f-1).(h_4-h_5) \quad \cdots(2)$$

$$h_3 = h_2+q/f \quad \cdots(3)$$

$$q_{gen} = h_7+(f-1).h_4-f.h_3 \quad \cdots(4)$$

$$q_C = h_7-h_8 \quad \cdots(5)$$

$$q_e = h_{10}-h_9 \quad \cdots(6)$$

$$q_a = h_{10}-h_5+f.(h_5-h_1) \quad \cdots(7)$$

$$q = q_{gen}+q_e \quad \cdots(8)\Sigma$$

$$q = q_C+q_a \quad \cdots(9)\Sigma$$

$$COP = \frac{q_e}{q_{gen}} \quad \cdots(10)$$

إن المياه الداخلة إلى المولد ذات درجات الحرارة اقل من (107 C°) ينتج عنه انخفاض كبير في السعة التبريدية وقيمة COP وذلك يعود الى كمية الحرارة الداخلة إلى المولد والتي تسبب غليان المحلول في المولد، حيث أن قيمة الضغط في المولد تقريبا شبه ثابتة وهذا ما يؤدي إلى ثبات درجة حرارة غليان وسيط التبريد(الماء)، وكنتيجة لذلك فان انخفاض درجة حرارة الماء الساخن الداخل إلى المولد يسبب انخفاض في الاختلاف بين درجة حرارة غليان المادة الماصة (بروميد الليثيوم) ووسيط التبريد (الماء)، لان انتقال الحرارة في المولد يتغير مباشرة مع فرق درجات الحرارة للمحلول داخل المولد [Kim *et al*., 2004]

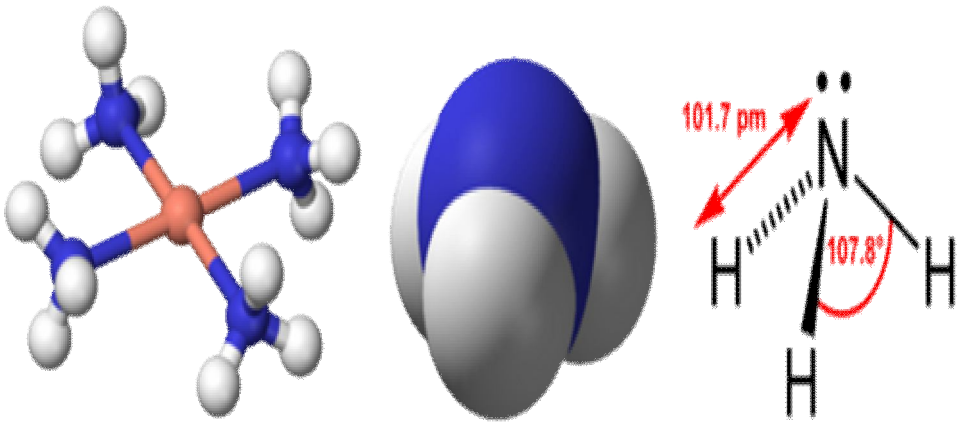
منظومة التبريد الامتصاصية (ماء–آمونيا) (H2O–NH3):

ان المواصفات الفيزيائية والكيمائية للامونيا:النشادر كما يدعى أيضاً بـــ الأمونياك أو الأمونيا هو غاز له الرمز الكيمائي لها NH3 وتحضر بتقطير الفحم أو بعض المواد النيتروجينيه وتستعمل عادة مادة التبريد الامونياك في منظومات التبريد الامتصاصية[Trott and Welch,2004] .

الصيغة الجزيئية	NH_3	الكثافة	0.6942 kg/m³
كتلة مولية	17.0306 g/mol	نقطة الانصهار	−77.73 °C (195.42 K)
المظهر	غاز عديم اللون ذو رائحة لاذعة قوية	نقطة الغليان	−33.34 °C (239.81 K)

لها رائحة نفاذه تسبب تهيج شديد لأعضاء التنفس والعيون ولها قابليه شديدة للذوبان في الماء تحدث صدأ لفلز النحاس إذا اختلطت بالأكسجين لهذا لا يستعمل هذا المعدن في دوائر التبريد التي تستعمل فيها مادة الأمونيا أنها أخف من الهواء في الوزن ،النشادر شديد الذوبان في الماء ويشكل محلولاً يعرف باسم هيدروكسيد الأمونيا (NH_4OH) أو ماء النشادر. والنشادر ليس فعالاً بدرجة كبيرة عندما يكون جافًا ولكن عندما يذوب في الماء يتفاعل مع الكثير من المواد الكيميائية. يعادل هيدروكسيد الأمونيا الكثير من الأحماض ويشكل أملاح الأمونيوم المقابلة. فمثلاً إذا أُضيف حمض الهيدروكلوريد (HCl) إلى هيدروكسيد الأمونيا (NH_4OH) ينتج محلول كلوريد الأمونيوم (NH4Cl). وعندما يتحد هيدروكسيد الأمونيا مع بعض الفلزات يشكل مركبات معقدة تدعى مركّبات أمينية. فمثلاً عند إضافة هيدروكسيد الأمونيا إلى المحلول الأزرق الشاحب من كبريتات النحاسيك (CuSO4) ينتج عن ذلك محلول أزرق غامـــق مـــن كبريتات النحاس النشادرية ($Cu(NH3)_4SO4$).

يتحول غاز النشادر إلى سائل عند (−33.35 C°) ويغلي سائل النشادر في نفس درجة الحرارة، ويتجمد ويتحول إلى مادة صلبة صافية عند (−77.7 C°) وفي تحوله من سائل إلى غاز مرة أخرى يمتص النشادر قدرًا كبيرًا من الحرارة من المحيط الخارجي، بحيث يمتص الجرَام الواحد من النشادر 327 سُعْرًا حراريًا. ولهذا السبب فإن النشادر يُستخدم بشكل واسع في أجهزة التبريد[ASHRAE, 2005].

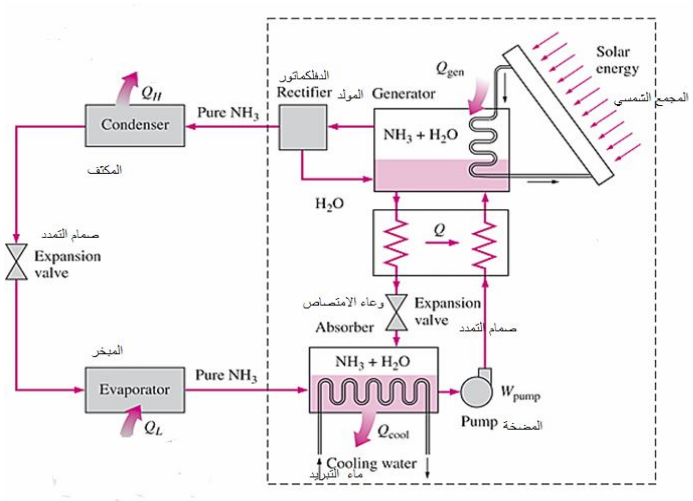


الشكل(5) البنية الذرية للامونيا (ذرة حرة) والامونيا كذرات مرتبطة.

منظومة التبريد الامتصاصية (ماء–آمونيا) في تطبيقات التبريد الشمسي:

قام مختبر لورانس باركلي((Lawrence Berkeley(LBL) في عام 1984 بتطوير أداء منظومة التبريد الامتصاصية (ماء–امونيا) احادية المرحلة وذلك بزيادة قيمة معامل COP للمنظومة، حيث لاحظ زيادة كبيرة بقيمة معامل الأداء COP للمنظومة المطورة مقارنة بمنظومة التبريد الامتصاصية (ماء– بروميد الليثيوم) احادية المرحلة عند نفس الشروط المطبقة على المنظومتين، وذلك بسبب حصول تبخر وسيط التبريد في المبخر تحت ضغط ثابت، وهذا ماله تاثير كبير على تخفيض التأثيرات الترموديناميكية اللاعكوسة على المنظومة في حالة منظومة التبريد (ماء–امونيا) يكون لدينا الامونيا وسيط تبريد والماء مادة ماصة، مخطط المنظومة موضح في الشكل(6) [John *et al.*, 2003].

تتألف المنظومة من المولد ووعاء الامتصاص والمبخر والمكثف وصمام التمدد ومضخة المحلول ومبادل حراري في بعض الآلات.



الشكل(6) مخطط منظومة التبريد الامتصاصية (ماء–آمونيا) أحادية المرحلة تستخدم الطاقة الشمسية

التوازن الحراري لمنظومة التبريد الامتصاصية

في الإجراءات النظرية لمنظومة التبريد الامتصاصية تكون معادلات ميزان الطاقة والكتلة في منظومة التبريد الامتصاصية ذات الإجراءات النظرية كما يلي[Randall, 2010]:

$$Q_E = \dot{m}(h_{10} - h_9) \quad (4)$$

$$Q_K = \dot{m} \cdot (h_7 - h_8) \quad (5)$$

$$Q_G = \dot{m} \cdot (h_7 - h_3) + (\dot{M} - \dot{m})(h_4 - h_3) \quad (6)$$

$$\dot{M} X_3 = \dot{m} X_7 + (M - \dot{m}) X_4 \quad (7)$$

$$\frac{\dot{M}}{\dot{m}} = \frac{X_4 - X_7}{X_4 - X_3} = f \quad (8)$$

$$Q_A = \dot{m}(h_{10} - h_1) + (\dot{M} - \dot{m})(h_6 - h_1) \quad (9)$$

$$W_P = \frac{1}{\rho}(P_2 - P_1) \quad (10)$$

يحدد النظام الحراري لعمل دائرة التبريد الامتصاصية بثلاثة متغيرات مستقلة للمصادر الخارجية : درجة الحرارة العليا لمصدر التسخين T_h ، درجة الحرارة الدنيا لمياه التبريد T_w ودرجة الحرارة الدنيا للوسط المبرَّد T_s . تُحدد درجة الحرارة العليا للمحلول في إجراء الغليان في المولد وفق درجة الحرارة T_h حسب المعادلة :[Sivamoorthy , 2008]

$$T_G = T_h - \Delta T \quad (11)$$

$$T_K = T_W + \Delta T \quad (12)$$

البرنامج الحسابي EES (ENGINEERING EQUATION SOLVER) :

EES هو برنامج لحل مجموعة من المعادلات الجبرية والتفاضلية والمعادلات ذات المتغيرات المعقدة، ويعطي حلولاً مثلى، ويزود مخططات خطية ولا خطية ويبسط تحليل ودراسة النماذج والمعادلات الرياضية ويقوم **EES** بتجميع وتمييز المعادلات الواجب حلها في نفس الوقت، وهذا ما يبسط العملية على المستخدم ويضمن أن يكون الحل بكفاءة مثلى. كما يزود **EES** بعض توابع الخواص الرياضية والثرموديناميكية للحسابات الهندسية. مثلاً إن مخططات البخار مُتضمنة، وهذا مايمكننا من الحصول على أية خاصية ثرموديناميكية. وبشكل مشابه بالنسبة لوسائط التبريد العضوية (الأمونيا، الميثان، ثاني أوكسيد الكربون وسوائل أخرى). كما يتضمن البرنامج المخطط السايكومتري للهواء وخواص النقل لمعظم هذه المواد.

إن **EES** برنامج مفيد للمسائل التصميمية، والتي يتم من خلالها دراسة تأثير مختلف المتغيرات مع بعضها، حيث يزود البرنامج هذه الإمكانية من خلال جدول المتغيرات ، حيث يعرف المستخدم المتغيرات المستقلة بإدخال قيمها في خلايا الجدول، ويقوم البرنامج بحساب قيم المتغيرات التابعة في الجدول. ويمكن عرض العلاقات ما بين المتغيرات في الجدول من خلال مخططات بيانية. كما يعطي **EES** إمكانية لنشر تغيرات البيانات التجريبية لتقييم القيم المحسوبة www.Apricus[solar hot water.com]

يمكن الاستفادة من هذا البرنامج لحساب منظومة التبريد الامتصاصية، حيث أنه وبعد كتابة معادلات ميزان الطاقة والكتلة للمنظومة بمساعدة هذا البرنامج، يمكن إعطاء أمر **Solve** ليتم حل هذه المعادلات وذلك بعد

إدخال مجموعة من المتغيرات كعناصر إدخال. عندها يعطي البرنامج قيم درجات الحرارة والضغوط و الانثالبي والانتروبي والاستطاعات الحرارية ومعامل الأداء للمنظومة كعناصر إخراج .

وبعد كتابة النموذج الرياضي وتحديد متغيرات الإدخال، يعطى أمر **solve** لكي يتم حل الدائرة (الحصول على قيم معامل الأداء والاستطاعة الحرارية و متغيرات كافة نقاط الدائرة).

طريقة حساب معامل الأداء COP باستخدام المخططات

لحل منظومة تبريد امتصاصية عاملة على بروميد الليثيوم والماء ذات تأثير أحادي باستخدام الجداول والمخططات لمقارنة الحسابات مع القيم الناتجة في برنامج **EES** بفرض لدينا منظومة تبريد امتصاصية عاملة على بروميد الليثيوم والماء:- درجة حرارة الماء الساخن القادم من المصدر الحراري : $T_h = 77$ ℃, درجة الحرارة الدنيا لمياه التبريد: $T_w = 20$ ℃ ودرجة حرارة المياه المبردة في المبخر : $T_S = 7$ ℃

درجة الحرارة العظمى للمحلول في المولد ستكون: $T_4 = T_h - \Delta T = 77 - 8 = 69$ ℃، باعتبار درجة حرارة التكاثف أعلى من درجة حرارة خروج مياه التبريد من المكثف بـ $\Delta T =$: 5 ℃ $T_8 = T_{wo} + \Delta T = 25 + 5 = 30$ ℃ ،وذلك بفرض ارتفاع درجة حرارة مياه التبريد في المكثف 5℃ ، وبالتالي يكون ضغط التكاثف (الضغط العالي في الدائرة) :$P_k = 4.241$ [kPa] = 32 [mmHg] أخفض درجة حرارة في وعاء الامتصاص : $T_1 = T_{wo} + \Delta T = 25 + 5 = 30$ ℃

درجة حرارة غليان الماء في المبخر: $T_{10} = T_s - \Delta T = 7 - 3 = 4$ ℃ وبالتالي يكون ضغط التبخر (الضغط المنخفض في الدائرة) : $P_o = 0.872$ [kPa] = 6.5 [mmHg] ، درجة حرارة المحلول الغني عند الخروج من المبادل الحراري :$T_5 = T_1 + \Delta T = 30 + 5 = 35$ ℃ . ثم نقوم بتمثيل عمل الدائرة على مخطط ξ-i .

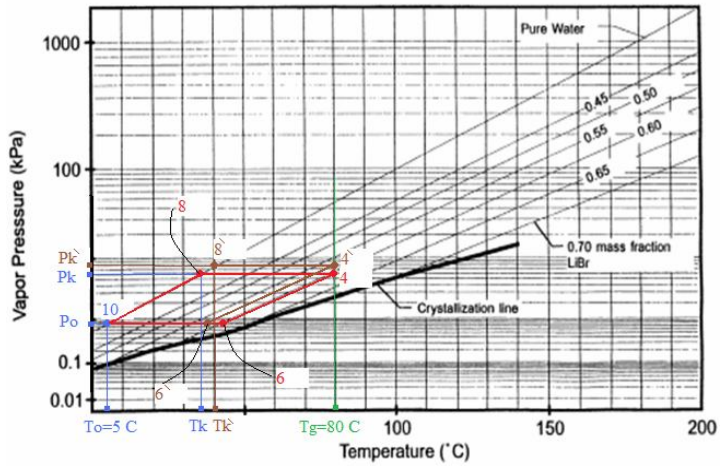
النتائج والمناقشة :-

١- تاثير تغير درجة التكاثف على ظاهرة التبلور

يوضح الشكل (7) وضع النقطة 6 (النقطة التي يمكن أن يتبلور عندها المحلول) عند ضغط تبخر P_o (تحدده درجة التبخر T_o=5 ^oC)، وضغط تكاثف P_k (تحدده درجة التكاثف T_k=36 $^\circ$C)، ودرجة حرارة في المولد T_g=80 ^oC.

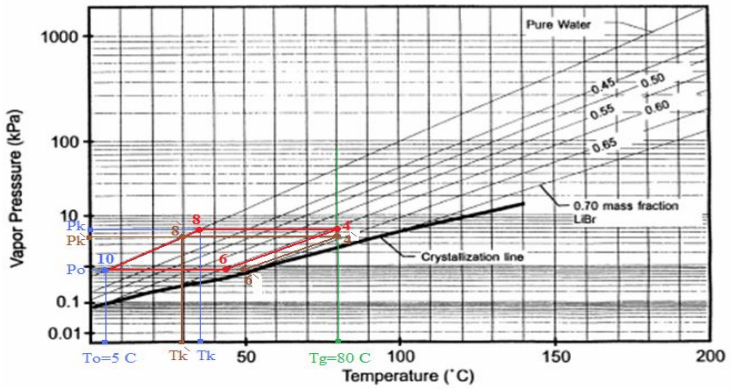
عند ارتفاع درجة التكاثف إلى $T_k^{\prime}$ (ضغط التبخر $P_k^{\prime}$) تنزاح النقطة 6 إلى الموقع $6^{\prime}$ ، وبالتالي تبتعد عن خط التبلور.

ومنه نستنتج أن ارتفاع درجة التكاثف يقلل من احتمال تبلور المحلول عند مدخل وعاء الامتصاص .



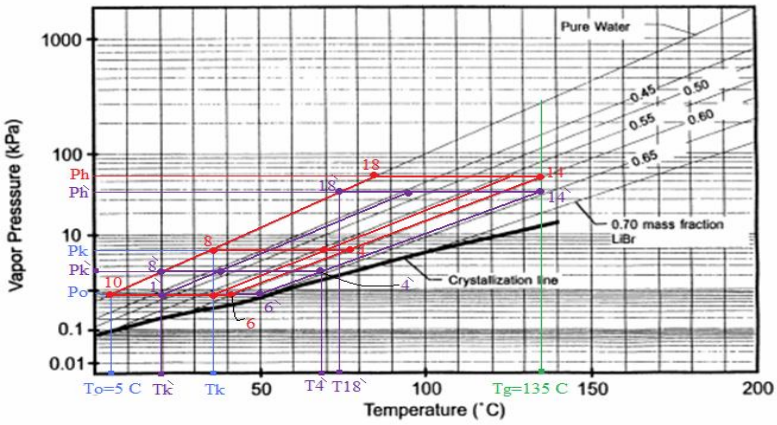
الشكل (7) تأثير ارتفاع درجة التكاثف على حادثة تبلور المحلول عند مدخل وعاء الامتصاص للمنظومة ذات التأثير الأحادي

أما عند انخفاض درجة التكاثف إلى $T_k`=30\ ^\circ C$ نلاحظ اقتراب موقع مدخل المحلول إلى وعاء الامتصاص من خط التبلور بشكل كبير (النقطة $6`$) كما هو موضح في الشكل (8) ، وبالتالي لا يسمح بانخفاض درجة التكاثف إلى مادون $T_k`$.



الشكل (8) تأثير انخفاض درجة التكاثف على حادثة تبلور المحلول عند مدخل وعاء الامتصاص للمنظومة ذات التأثير الأحادي

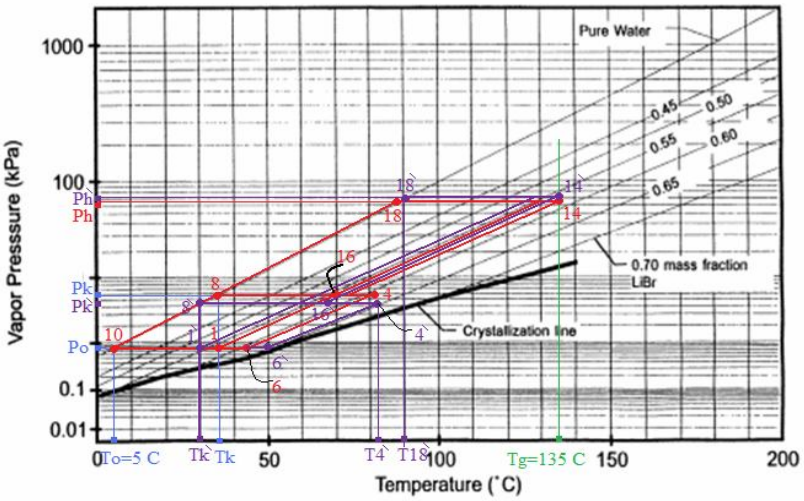
يوضح الشكل (9) توضع حالة المحلول عند مدخل وعاء الامتصاص في النقطة $6`$ بالقرب من خط التبلور وذلك عند انخفاض درجة التكاثف من $T_k$ إلى $T_k`$. وبالتالي فإن $T_k`=20^\circ C$ هي أخفض درجة تكاثف مسموح بها للحيلولة دون تبلور المحلول عند مدخل وعاء الامتصاص، وذلك عند درجة حرارة في المولد $T_g=135^\circ C$، ودرجة تبخر $T_o=5^\circ C$ للدارة ذات التأثير المضاعف (تدفق تفرعي) .



الشكل (9) تأثير انخفاض درجة التكاثف على حادثة تبلور المحلول عند مدخل وعاء الامتصاص للدارة ذات التأثير المضاعف (تدفق تفرعي)

إن ارتفاع درجة التكاثف لا يزيد احتمال تبلور المحلول عند مدخل وعاء الامتصاص، بل على العكس تزيد إمكانية التبلور عند انخفاض درجة التكاثف كما وجدنا للدارة ذات التأثير الأحادي.لذلك ستتم دراسة تأثير انخفاض درجة التكاثف فقط على تبلور المحلول للدارة ذات التأثير المضاعف (تدفق تسلسلي) كما هو موضح في الشكل (10) .

حيث نلاحظ توضع حالة المحلول عند مدخل وعاء الامتصاص في النقطة $6'$ بالقرب من خط التبلور وذلك عند انخفاض درجة التكاثف من T_k إلى T_k'. وبالتالي فإن T_k' =30 ° C هي أخفض درجة تكاثف مسموح بها للحيلولة دون تبلور المحلول عند مدخل وعاء الامتصاص، وذلك عند درجة حرارة في المولد T_g=135 ° C، ودرجة تبخر T_o=5 ° C للدارة ذات التأثير المضاعف (تدفق تسلسلي) .



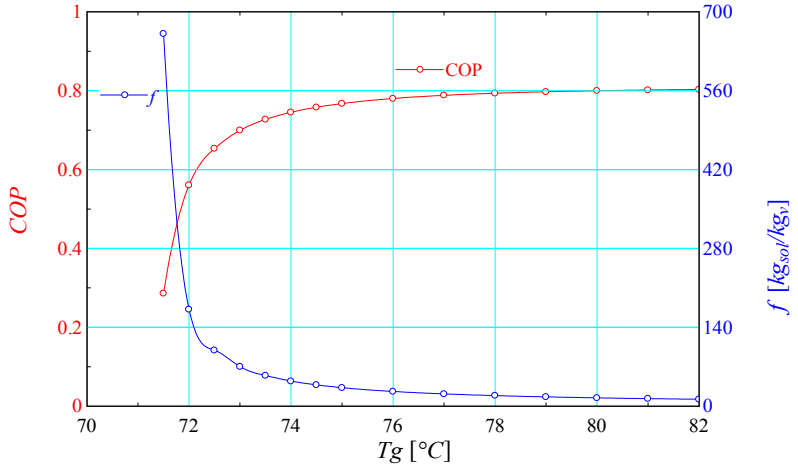
الشكل (10) تأثير انخفاض درجة التكاثف على حادثة تبلور المحلول عند مدخل وعاء الامتصاص لمنظومة ذات التأثير المضاعف (تدفق تسلسلي)

٢- دراسة تاثير معامل الاداء ومعامل التدوير مع درجة حرارة المولد

نتائج هذه الدراسة ركزت على تغير معامل الأداء COP ومعامل التدوير f مع درجة حرارة المولد T_g للمنظومات الأربعة والمقارنة بينهما لاختيار المنظومة الأكثر ملائمة للعمل بالطاقة الشمسية وكما يلي :-

تغير معامل أداء منظومة التبريد الامتصاصية ذات التأثير الأحادي (Single Effect Cycle)

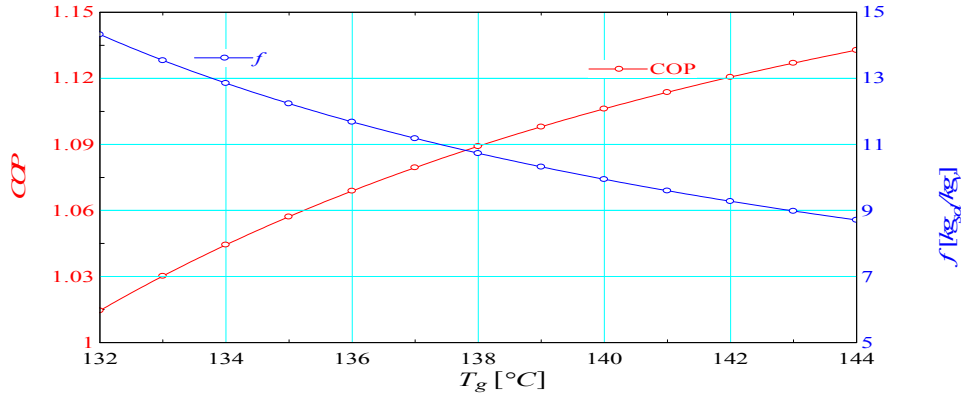
بعد أن تم رسم مخطط تغير معامل الأداء تبعاً لدرجة الحرارة في المولد في المنظومة ذات التأثير الأحادي عند درجة تكاثف 36 °C ودرجة تبخر 5 °C وبعد أن تم تحديد مجال درجة الحرارة في المولد T_g وبرسم مخطط تغير معامل الأداء *COP* ومعامل التدوير *f* مع درجة الحرارة في المولد T_g، وجدنا من المخطط في الشكل (١٦) تزايداً سريعاً لمعامل الأداء في البداية مع تزايد T_g ويفسر ذلك بالتناقص الكبير في قيمة معامل التدوير f ، وبعد ذلك يصبح تزايد COP بطيئاً جداً. وبهذا لا تتحقق فائدة كبيرة من التشغيل بدرجات حرارة في المولد تفوق 76 °C لأن ذلك يؤدي لزيادة في التكلفة مقابل تزايد بسيط جداً في قيمة معامل الأداء.



الشكل (11) تغير معامل الأداء ***COP*** ومعامل التدوير ***f*** مع درجة الحرارة في المولد ***T_g*** لمنظومة التبريد الامتصاصية ذات التأثير الأحادي

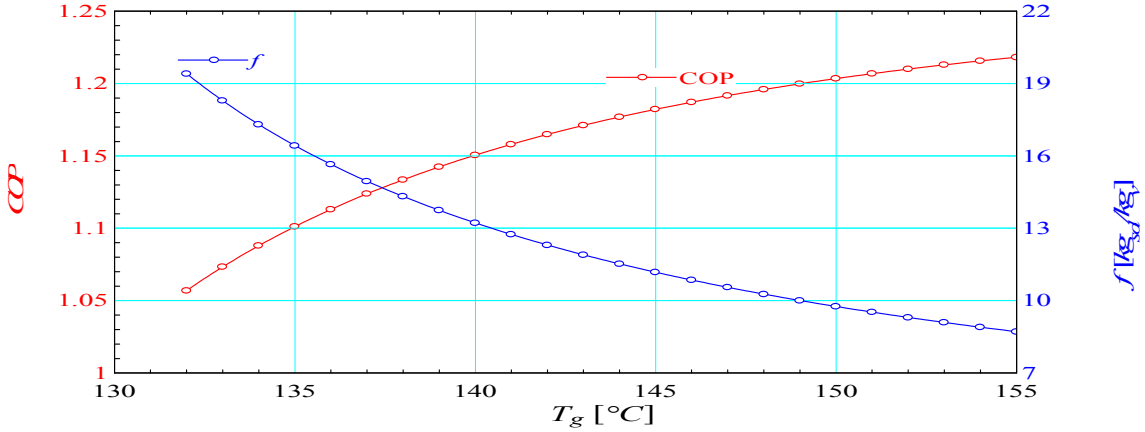
تغير معامل أداء منظومة التبريد الامتصاصية ذات التأثير المضاعف (Double Effect Cycle):

نلاحظ من المخطط في الشكل (12) أن معامل الأداء يتزايد تدريجياً مع ارتفاع درجة الحرارة في المولد وذلك بسبب التناقص المستمر في قيمة معامل التدوير *f*، ويمكن أن يصل *COP* لهذه المنظومة لقيمة تقارب 1.13 عند درجة حرارة في المولد T_g=144 °C، حيث يتطلب تشغيل هذه المنظومات درجات حرارة في المولد تفوق 132 ° C، ولتأمين ذلك يمكن استخدام اللواقط الشمسية المركزة أو الاستفادة من الوفرة الحرارية الفائضة التي نلحظها في بعض التطبيقات الصناعية.



الشكل (12) **تغير معامل الأداء** *COP* **ومعامل التدوير** *f* **مع** T_g **للمنظومة ذات التأثير المضاعف (تدفق تسلسلي–المحلول إلى المولد عالي الضغط) عند درجة تكاثف** 36 °C **ودرجة تبخر** 5 °C

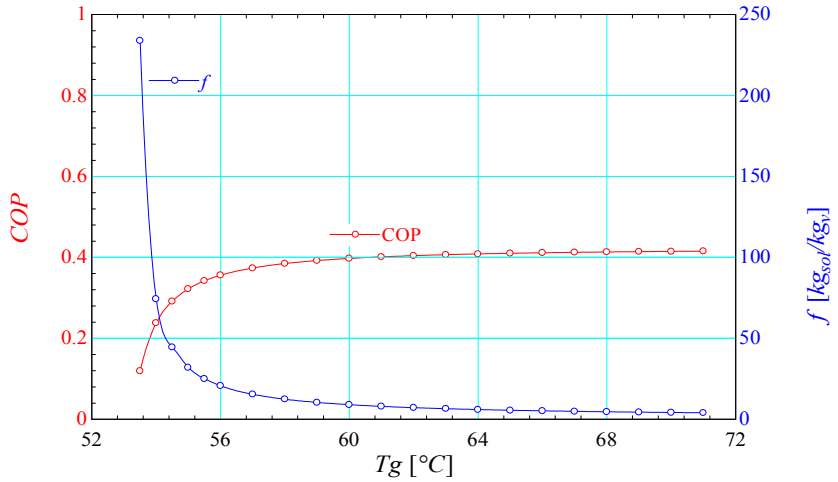
وبرسم مخطط تغير معامل الأداء *COP* ونسبة التدوير *f* مع درجة الحرارة في المولد T_g للمنظومة ذات التأثير المضاعف (تدفق تفرعي) كما في الشكل (13). نلاحظ هنا كما في المنظومة التسلسلية السابقة أن معامل الأداء يفوق قيمة الواحد ويصل إلى 1.2 تقريباً عند درجة حرارة في المولد تقارب 150 °C . تعتبر منظومة التأثير المضاعف ذات التدفق التسلسلي الخيار المفضل أحياناً بما أن مسار المحلول أبسط. ويعتبر موضوع المحافظة على التوزيع الصحيح للتدفق في المنظومة التفرعية مشكلة حقيقية بدون وسائل تحكم فعالة . وبهذا وبشكل خاص للأنظمة الصغيرة تكون دارة التدفق التسلسلي مرغوبة أكثر .



الشكل (14) **تغير معامل الأداء** *COP* **ونسبة التدوير** *f* **مع درجة الحرارة في المولد** T_g **للمنظومة ذات التأثير المضاعف (تدفق تفرعي) عند درجة تكاثف** 36 °C **ودرجة تبخر** 5 °C

تغير معامل الأداء لمنظومة التبريد الامتصاصية ذات نصف التأثير (Half Effect Cycle) :

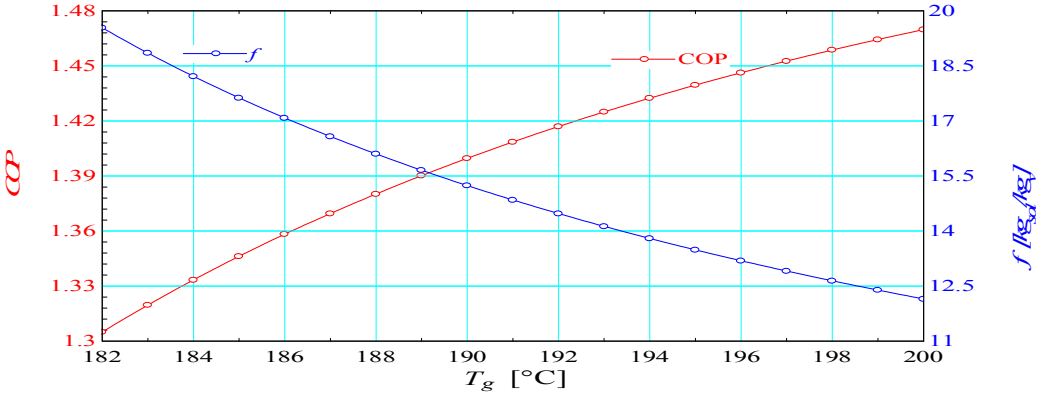
وبرسم تغيرات معامل الأداء COP على هذا المجال نحصل على المخطط كما في الشكل (١٩) نلاحظ هنا القيم المنخفضة لمعامل الأداء (بحدود 0.4 عند T_g = 60 ° C) والتزايد الضئيل جداً مع ارتفاع درجة الحرارة في المولد، وبالتالي لتشغيل منظومة من هذا النوع يمكن الاستفادة من درجات حرارة منخفضة نسبياً ولكن على حساب معامل الأداء .



الشكل (15) تغير معامل الأداء *COP* ونسبة التدوير *f* مع درجة الحرارة في المولد T_g للمنظومة ذات نصف التأثير

تغير معامل الأداء لمنظومة التبريد الامتصاصية ذات التأثير الثلاثي (Triple Effect Cycle):

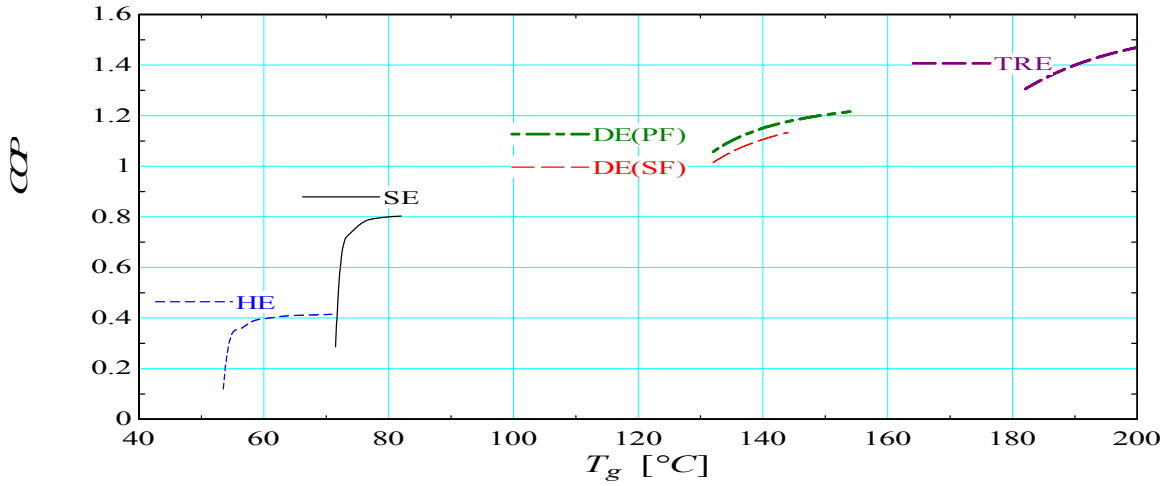
نلاحظ من الشكل (16) أن: $T_g = 200\ ^\circ C$ ، $182\ ^\circ C$ ونلاحظ من الشكل السابق تزايد معامل الأداء وبشكل تدريجي مع ارتفاع درجة الحرارة في المولد والتي يتطلب أن تكون عالية نسبياً (أكثر من $182\ ^\circ C$) للحصول على معامل أداء أعلى من قيمته في المنظومات السابقة، حيث يمكن أن يصل معامل الأداء في هكذا منظومات إلى ما يقارب 1.47 عند درجة حرارة $T_g = 200\ ^\circ C$. وبالتالي يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار الهدر الكبير في الطاقة الحرارية في بعض التطبيقات الصناعية وتوجيه هذا الهدر باتجاه تنفيذ منظومات تبريد امتصاصية ذات معامل أداء كبير نسبياً (منظومات التأثير المضاعف وثلاثية التأثير) .



الشكل (16) تغير معامل الأداء *COP* ونسبة التدوير *f* مع درجة الحرارة في المولد T_g للمنظومة ذات التأثير

مقارنة معامل الأداء (COP) واختيار المنظومة الأمثل للعمل بالطاقة الشمسية

في هذه الدراسة وجدنا أنه من أجل التشغيل بالطاقة الشمسية بتكاليف منخفضة نسبياً (استخدام اللواقط الشمسية المسطحة) فان منظومة التبريد الامتصاصية العاملة على بروميد الليثيوم والماء ذات التأثير الأحادي هي المناسبة لأنها تعطي معامل أداء مقبول وتتطلب درجة حرارة في المولد ليست مرتفعة كثيراً وكما هو موضح بالشكل رقم (17) .



الشكل (17) مقارنة قيم معامل الأداء بين منظومات التبريد الامتصاصية الأربعة تبعاً لدرجة الحرارة في المولد

الاستنتاجات

تم في هذه الدراسة الوصول إلى أسلوب بسيط ودقيق لتحليل ودراسة أداء منظومات التبريد الامتصاصية الأربعة استند على البرمجة بواسطة الحاسب من خلال برنامج ***EES*** حيث تم إدخال النموذج الرياضي للأنواع الأربعة لمنظومات التبريد الامتصاصية العاملة على بروميد الليثيوم والماء في برنامج ***EES*** ومن ثم حلها ورسم منحنيات تصف أداءها تبعاً لدرجة الحرارة في المولد .

أعطت هذه الدراسة فكرة واضحة عن قيم معامل الأداء لبعض تصاميم منظومات التبريد الامتصاصية نسبة لدرجة الحرارة في المولد عند درجة تكاثف 36 ℃ (برج تبريد مائي في ظروف مناخية لمدينة اربيل) ودرجة تبخر 5C للاستفادة من هذه المنظومات لأغراض التكييف.

ارتفاع معامل الأداء COP مرتبط بشكل أساسي نسبياً بارتفاع درجة الحرارة في المولد وتحتاج منظومة HE إلى درجة حرارة تشغيل أقل من باقي المنظومات بسبب معامل الأداء لها صغير نسبياً. وتأتي بعدها منظومة SE حيث أنها تتطلب درجة حرارة تشغيل يمكن تأمينها باستخدام بعض أنواع اللواقط الشمسية المسطحة وتعطي معامل أداء مقبول وهدا ما يوضحه الشكل (17) مقارنة قيم معامل الأداء للمنظومات تبعاً لدرجة الحرارة في المولد .

وبالنظر لمنظومة التأثير المضاعف وجدنا أن معامل الأداء لها مرتفع نسبياً إلا أن درجات الحرارة اللازمة لتشغيلها يصعب تأمينها باستخدام اللواقط الشمسية المسطحة وإنما تتطلب لواقط مركزة . وكذلك الأمر بالنسبة لمنظومة TRE التي يتطلب تشغيلها درجات حرارة أعلى من باقي المنظومات .

References

Trott, A. R. and Welch, T.2004. Refrigeration and Air-Conditioning Third edition.

ASHRAE, 2005. Handbook , Fundamentals (SI).

Frank Kreith,2008. "Air-Conditioning and Refrigeration Mechanical Engineering " Handbook Ed.

Georgia,1986. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Refrigeration Handbook, Atlanta..

Jasbir Singh,1985. Heat Transfer Fluids and Systems for Process and Energy Applications,

John H. Lienhard IV / John H venhard, 2003. Heat Transfer Text Book Third Dition

Kim and C.A. Infante Ferreira, 2004. Solar absorption cooling, 1ST and 2nd Progress report T, D.S.DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Faculty of Design, Construction and Production, Mechanical Engineering and Marine Technology,

Randall W.Jameson, 2010, SPX Cooling Technlogies,.

Sanford A.Klein, 2002. Absorption Chillers and Heat Pumps, Keith E.Herold ; Reinhard Radermacher ;

Sivamoorthy S.M. 2008, Center for Robotics Research University of Cincinnati, H45221-0072 " Design of a linear Fresnel lens system for solar photovoltaic electrical ".,

conductivity for some material.comwww.Thermal

solar hot water.comwww.Apricus

http://www.enviromission.com.au.

http://www.cubicekballoons.cz

http://www.science direct.com

www.solar energy alternative.com