

تطوير عمل منظومة التبريد الامتصاصية باستخدام الطاقة الشمسية

أ.م. د. هاشم عبد حسين

قسم هندسة الكهروميكانيك / الجامعة التكنولوجية

المستخلص:

يهدف البحث إلى اختيار منظومة التبريد الامتصاصية الأكثر ملائمة للعمل في استخدام الطاقة الشمسية للحصول على الحرارة اللازمة لتشغيلها لتطوير نظام تبريد الهواء بتكاليف استثمارية اقل بايجاد معامل اداء مقبول ودرجة حرارة مولد منخفضة نسبياً تمكن المبرد من العمل باستخدام لواقط شمسية مسطحة أكثر اقتصادية والهدف الثاني هو تخفيض استهلاك الطاقة مقارنة مع أنظمة التبريد التقليدية . تم دراسة تغير معامل الأداء لمنظومات التبريد الامتصاصية المستخدمة لمحلول بروميد الليثيوم والماء لأربعة أنواع من هذه المنظومات لتحديد معامل الأداء لكل منظومة والمقارنة بينهما لاختيار الأفضل . تم تحديد مجال درجة حرارة المولد لدوائر التبريد الأربعة اعتماداً على مخطط الضغط ودرجة الحرارة والتركيز. اعتمدت هذه الدراسة على طريقة حل باستخدام الجداول والمخططات وطريقة الحل باستخدام برنامج EES. وتم دراسة أداء منظومات التبريد الامتصاصية الأربعة من خلال رسم مخطط تغير معامل الأداء تبعاً لتغير درجة الحرارة في المولد بعد أن تم تحديد درجة التكاليف والتبر.

بينت النتائج إن معامل الأداء لمنظومة التبريد الامتصاصية ذات التأثير المضاعف مرتفع نسبياً إلا أن درجات الحرارة اللازمة لتشغيلها يصعب تأمينها باستخدام اللواقط الشمسية المسطحة الاقتصادية وإنما تتطلب لواقط مركزة مكلفة اقتصادياً. وكذلك الأمر بالنسبة لمنظومة التبريد الامتصاصية ذات التأثير الثلاثي يتطلب تشغيلها درجات حرارة أعلى من باقي المنظومات . إن أهم نتائج هذا البحث هي التوصل الى اختيار منظومة

التبريد الامتصاصية ذات التأثير الأحادي العاملة على بروميد الليثيوم والماء التي تحتاج تشغيل بالطاقة الشمسية بتكاليف منخفضة نسبياً أي استخدام اللواقط الشمسية المسطحة حيث أعطت معامل أداء مقبول ودرجة حرارة في المولد ليست مرتفعة كثيراً مما يمكننا من تشغيل هذه المنظومة باستخدام لواقط شمسية مسطحة اقتصادية ومتوفرة وبالتالي تم اختيارها هي المنظومة الأمثل للعمل بالطاقة الشمسية.

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

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 $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

h_3 : انتالبي المحلول الغني الداخل إلى المولد و القادم من المبادل الحراري

$\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

h_4 : انتالبي المحلول الضعيف الخارج من المولد إلى المبادل الحراري $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

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

h_7 : 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} : انتالبي بخار الماء القادم من المبخر $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

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

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

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

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

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

$$Q_A : [kW] \text{ كمية الحرارة الواجب طرحها من الوعاء الماص}$$

$$Q_K : [kW] \text{ كمية الحرارة المطروحة عبر المكثف}$$

$$Q_G : [kW] \text{ كمية الحرارة المقدمة في المولد}$$

$$X : \text{ تركيز بروميد الليثيوم في المحلول (وزناً)}$$

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

$$COP : \text{ معامل الأداء}$$

$$HE : \text{ دائرة نصف التأثير}$$

$$SE : \text{ دائرة التأثير الأحادي}$$

$$DE(SF) : \text{ دائرة التأثير المضاعف (تدفق تسلسلي)}$$

$$DE(PF) : \text{ دائرة التأثير المضاعف (تدفق تفرعي)}$$

$$TRE : \text{ دائرة التأثير الثلاثي.}$$

المقدمة (Introduction)

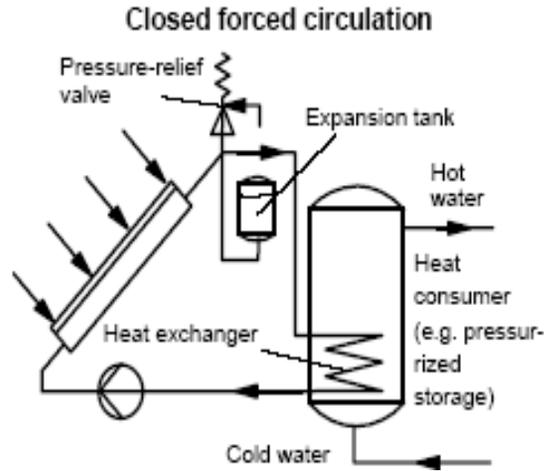
يمكن الاستفادة من الطاقة الشمسية في أعمال التكييف للحصول على تبريد مناسب، وبذلك يمكن التغلب على شدة الإشعاع والحرارة الزائدة باستثمار أشعة الشمس وحرارتها، وللحصول على التبريد للإنسان والمستودعات يمكن استخدام دائرة التبريد الامتصاصية التي تتطلب طاقة حرارية لتشغيلها. و يجب ملاحظة أن الآلات اللازمة

لتبريد غرف التبريد تكون أكبر بالاستطاعة بحيث تغطي التبريد الضروري في الفترات غير المشمسة والتي يكون فيها التبريد ضرورياً بينما لا تلزم هذه الزيادة بالاستطاعة إذا كانت الآلات المستعملة تعمل على الطاقة التقليدية مما يجعل التجهيزات الشمسية مرتفعة الثمن [1].

إن الاستخدام المباشر للحرارة المكتسبة في المجمعات في تغذية المولد يكون النظام غير مناسب للاستخدام المستمر لفترات طويلة نظراً لاعتماده على وجود مصدر كافي من الإشعاع الشمسي، وهذا غير ملائم ليلاً وفي الأيام التي تتزايد فيها السحب. للتغلب على هذه المشكلة يتم استخدام مستودع لتخزين الماء الساخن القادم من المجمعات الشمسية عند درجة حرارة مرتفعة نسبياً وذلك لاستخدامه فيما بعد لتسخين المولد لفترات أطول من تلك التي يتوفر فيها الإشعاع الشمسي [2].

يمكن تزويد النظام بمصدر حراري مساعد (وشيعية) للمحافظة على درجة حرارة الماء المطلوبة لتغذية المولد، ويستخدم هذا المصدر إذا ضعفت شدة الإشعاع الشمسي أو خلال الليل. كما أن استخدام المصدر الحراري المساعد يمكننا من تصغير حجم خزان الماء الساخن مما يؤدي إلى وفر في الكلفة الأساسية ولكن زيادة في كلفة الاستثمار، ويتم التحكم بعمل هذه الوشيعية بوصل ترموستات يتحسس درجة حرارة المياه الذاهبة إلى المولد فتبدأ الوشيعية بالعمل عند انخفاض درجة الحرارة عن القيمة المطلوبة [3].

ويتم التحكم بعمل مضخة التسريع الخاصة بالمجمعات عبر وصل حساس ضوئي يتحسس شروق الشمس وغيابها حيث تتوقف المضخة عن العمل عند غياب الشمس وتعمل عند شروقها.



الشكل (1) دائرة اللواقط الشمسية المطلوبة لتشغيل منظومة تبريد امتصاصية [3]

ويبين الشكل (1) دائرة اللواقط الشمسية المطلوبة لتشغيل دائرة التبريد الامتصاصية، حيث يقاد الماء الساخن الخارج من الخزان الحراري إلى المولد ليقيم بتبخير وسيط التبريد [4,3] .

واستناداً إلى استطاعة المولد ودرجة الحرارة المطلوبة فيه يتم اختيار نوعية اللاقط وسعة الخزان الحراري . إن الفرق بين آلات التبريد الامتصاصية وآلات التبريد الضاغطة البخارية هو انه في آلات التبريد الامتصاصية يتم نقل الحرارة من الوسط المبرد ذو درجة الحرارة المنخفضة إلى الوسط الخارجي ذو درجة الحرارة المرتفعة بصرف قدرة حرارية ، بينما يتم ذلك في آلات التبريد الضاغطة البخارية بصرف قدرة ميكانيكية . وبسبب اعتماد آلات التبريد الامتصاصية على الطاقة الحرارية فقد انتشر استعمال هذا النوع من آلات التبريد في المنشآت الصناعية التي يوجد فيها فائض في الطاقة الحرارية [4] .

إن أكثر منظومات التبريد الامتصاصية انتشاراً هي التي تعمل على محلول ثنائي يتألف من مادة ماصة و وسيط تبريد ، وأكثر المحاليل انتشاراً في الوقت الحاضر هي محلول الأمونيا مع الماء و كذلك محلول الماء مع بروميد الليثيوم [5] . إذا كان الفرق بين درجتي الغليان لكل من الوسيط والمادة الماصة كبيراً $(200-300) ^\circ\text{C}$ فإن البخار المتشكل يتألف فقط من وسيط التبريد، و بالتالي يتم تكاثفه عند درجة حرارة ثابتة ثم يتجه السائل بعد التكاثف في المكثف إلى صمام الخنق الأول حيث ينخفض الضغط من ضغط المكثف إلى ضغط المبخر ثم يدخل إلى المبخر . يتعلق الضغط في المبخر بدرجة غليان وسيط التبريد والتي بدورها تتحدد بدرجة حرارة الوسط المبرد ، ويتم في المبخر إعطاء كمية حرارة من الوسط المبرد إلى السائل فيغلي السائل ويتشكل بخار يدخل إلى وعاء الامتصاص . يمر المحلول الضعيف المتبقي في المولد عبر صمام الخنق الثاني إلى وعاء الامتصاص حيث يكون الضغط فيه هو نفس الضغط في المبخر لأنه متصل معه [6] .

المعادلات الرياضية الحرارية الحاكمة لمنظومة التبريد الامتصاصية

يمكن كتابة معادلة التوازن الحراري لدائرة التبريد الامتصاصية البسيطة كما يلي

[7] :

$$QG + W + Q_o = Q_c + Q_a \quad (1)$$

$$COP = \frac{Q_o}{Q_G + W} \quad (2)$$

وتحدد الفعالية الطاقية لمنظومات التبريد الامتصاصية بواسطة معامل حراري، وهو نسبة الإنتاجية التبريدية إلى مجموع الحرارة المقدمة إلى المولد و عمل المضخة [7,8] :

وبسبب كون W صغيرة بالمقارنة مع QG فإن المعامل الحراري يصبح كالتالي :

$$COP = \frac{Q_o}{Q_G} \quad (3)$$

في الإجراءات النظرية لمنظومة التبريد الامتصاصية تكون معادلات ميزان الطاقة والكتلة في منظومة التبريد الامتصاصية ذات الإجراءات النظرية كما يلي [9,10]:

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

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

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

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

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

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

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

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 المبرّد T_s . تُحدد درجة الحرارة العليا للمحلل في إجراء الغليان في المولد وفق درجة الحرارة T_h حسب المعادلة [11,10]:

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

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

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 مُضمنة، وهذا ما يمكننا من الحصول على أية خاصية ثرموديناميكية. وبشكل مشابه بالنسبة لوسائط التبريد العضوية (الأمونيا، الميثان، ثاني أكسيد 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 الإمكانيات 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 [14,12,13]. 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 والضغط و الانتالبي و الانتروبي 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) [15,16]: .

طريقة حساب معامل الأداء COP باستخدام المخططات وبمساعدة برنامج

EES

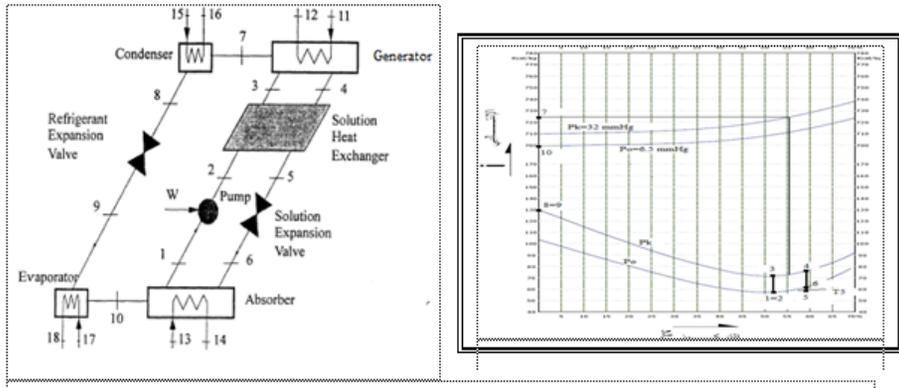
لحل منظومة تبريد امتصاصية عاملة على بروميد الليثيوم والماء ذات تأثير أحادي موضحة في الشكل (2) وذلك باستخدام الجداول والمخططات لمقارنة الحسابات مع القيم الناتجة في برنامج EES [16,17]. بفرض لدينا منظومة تبريد امتصاصية عاملة على بروميد الليثيوم والماء :- درجة حرارة الماء الساخن القادم من المصدر الحراري :

$T_h = 77\text{ }^\circ\text{C}$, درجة الحرارة الدنيا لمياه التبريد : $T_w = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ودرجة حرارة المياه المبردة في المبخر : $T_s = 7\text{ }^\circ\text{C}$
 درجة الحرارة العظمى للمحلول في المولد هي :

$$T_4 = T_h - \Delta T = 77 - 8 = 69\text{ }^\circ\text{C}$$

باعتبار درجة حرارة التكاثف أعلى من درجة حرارة خروج مياه التبريد من المكثف بـ $5\text{ }^\circ\text{C}$: $T_8 = T_{wo} + \Delta T = 25 + 5 = 30\text{ }^\circ\text{C}$ ، وذلك بفرض ارتفاع درجة حرارة مياه التبريد في المكثف $5\text{ }^\circ\text{C}$ ، وبالتالي يكون ضغط التكاثف (الضغط العالي في الدائرة) : $P_k = 4.241\text{ [kPa]} = 32\text{ [mmHg]}$ أخفض درجة حرارة في وعاء الامتصاص : $T_1 = T_{wo} + \Delta T = 25 + 5 = 30\text{ }^\circ\text{C}$

درجة حرارة غليان الماء في المبخر : $T_{10} = T_s - \Delta T = 7 - 3 = 4\text{ }^\circ\text{C}$ وبالتالي يكون ضغط التبخر (الضغط المنخفض في الدائرة) : $P_o = 0.872\text{ [kPa]} = 6.5\text{ [mmHg]}$ ، درجة حرارة المحلول الغني عند الخروج من المبادل الحراري : $T_5 = T_1 + \Delta T = 30 + 5 = 35\text{ }^\circ\text{C}$. نقوم بتمثيل عمل الدائرة على مخطط $i-\xi$ كما هو موضح في الشكل (2) :



الشكل (2) منظومة التبريد الامتصاصية ذات التأثير الأحادي وتمثيلها على مخطط

$i-\xi$

وبعد ذلك يمكن ترتيب قيم النقاط الأساسية في المنظومة كما في جدول رقم (1) :

جدول رقم (1) قيم النقاط الأساسية لمنظومة التبريد الامتصاصية

النقطة	التسمية	T [°C]	P[kPa]	X [kg/kg]	h [kcal/kg]	h [kJ/kg]
8	وسيط التبريد المتكاثف (سائل)	30	4.241	0	130	543
4	المحلول الغني (سائل) بعد المولد	69	4.241	59	76.5	319
1	المحلول الفقير (سائل) بعد وعاء الامتصاص	30	0.872	52	58	243
7	بخار وسيط التبريد بعد المولد	60	4.241	0	725	3035
10	بخار وسيط التبريد بعد المبخر	5	0.872	0	700	2930
5	المحلول الغني بعد المبادل الحراري	35	4.241	59	61	254

نسبة تدوير المحلول : $F = x_4 / (x_4 - x_1) = (59) / (59 - 52) = 8.5$

كمية الحرارة المطروحة في المبادل الحراري :

$$q = (F-1) \cdot (h_4 - h_5) = (8.5-1) \cdot (319-254) = 487.5$$

حالة المحلول الغني بعد المبادل الحراري :

$$h_3 = h_2 + q/F = 243 + 487.5/8.5 = 300.4$$

كمية الحرارة المقدمة في المولد:

$$q_{gen} = h_7 + (F-1) \cdot h_4 - F \cdot h_3 = 3035 + (8.5-1) \cdot 319 - (8.5) \cdot (300.4) = 2874.1$$

كمية الحرارة المطروحة في المكثف :

$$q_C = h_7 - h_8 = 3035 - 543 = 2492 \text{ kJ/kg}$$

الإنتاجية التبريدية :

$$q_e = h_{10} - h_9 = 2930 - 543 = 2387$$

كمية الحرارة المطروحة في وعاء الامتصاص :

$$q_a = h_{10} - h_5 + F \cdot (h_5 - h_1) = 2930 - 254 + 8.5(254 - 243) = 2769.5$$

الموازنة الحرارية :

$$\Sigma q = q_{gen} + q_e = 5261.1 \text{ kJ/kg}$$

المقدمة في المولد والمبخر

$$\Sigma q = q_C + q_a = 5261.5 \text{ kJ/kg}$$

المطروحة في المكثف ووعاء الامتصاص

$$\text{COP} = \frac{q_e}{q_{gen}} = 0.831$$

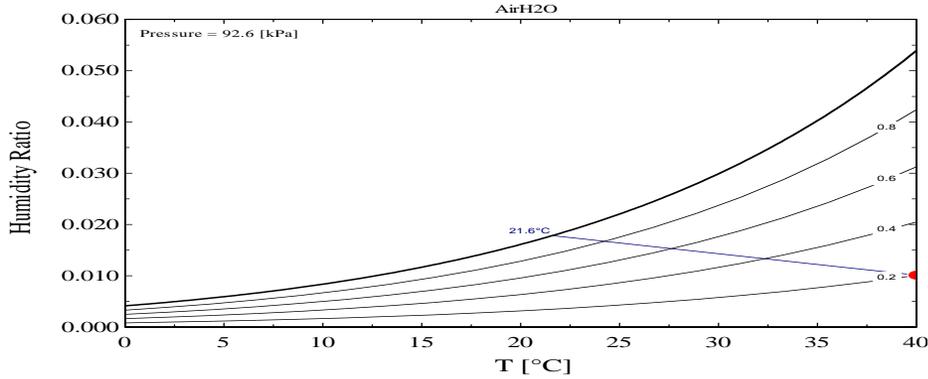
معامل الأداء :

الحل باستخدام برنامج EES :

Sort	1	2	3	4	5	6
	h_i	m_i	P_i	Q_i	T_i	X_i
	[J/g]	[kg/sec]	[kPa]	[Fraction]	[°C]	[% LiBr]
[1]	66.4	1.0000	0.872	0.000	30.0	52.9
[2]	66.4	1.0000	4.241		30.0	52.9
[3]	127.0	1.0000	4.241		58.6	52.9
[4]	165.0	0.9059	4.241	0.000	69.0	58.4
[5]	98.0	0.9059	4.241		35.1	58.4
[6]	98.0	0.9059	0.872	-0.003	39.9	58.4
[7]	2608.4	0.0941	4.241		58.1	0.0
[8]	125.6	0.0941	4.241	0.000	30.0	0.0
[9]	125.6	0.0941	0.872	0.042	5.0	0.0
[10]	2509.7	0.0941	0.872	1.000	5.0	0.0

$$\text{COP} = 0.837, F = 10.6 \text{ kg/kg}, q_a = 2748.2 \text{ kJ/kg},$$

$$q_C = 2482.9 \text{ kJ/kg}, q_{gen} = 2847 \text{ kJ/kg}, q_e = 2384 \text{ kJ/kg}$$



الشكل (3) المخطط السايكومترى للهواء في ظروف مناخية لمدينة اربيل

الفرضيات

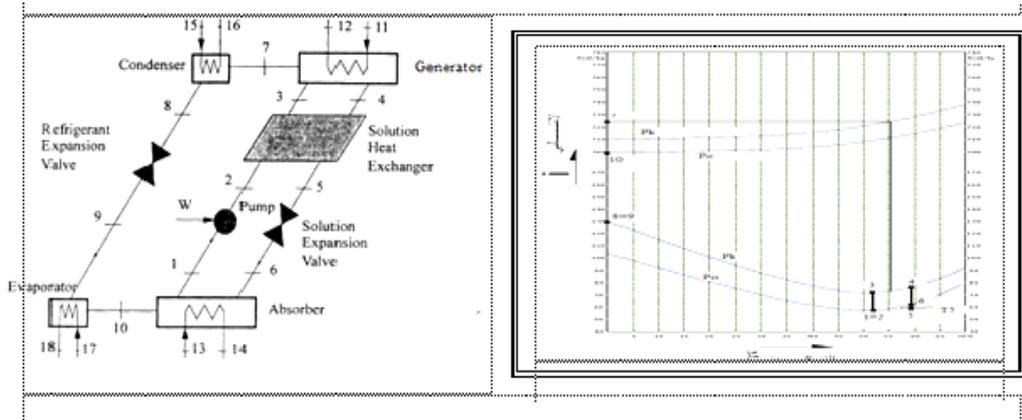
بفرض أن درجة حرارة مياه التبريد الخارجة من برج التبريد والداخلية إلى المكثف أعلى من درجة الحرارة الرطبة بـ 4.5 درجة أي مساوية $26^\circ\text{C} \approx 21.6 + 4.5$ ، وبفرض ارتفاع درجة حرارة مياه التبريد في المكثف 5 درجات تكون درجة حرارة الخروج من المكثف 31°C ، و بالتالي تكون درجة حرارة تكاثف وسيط التبريد : $T_k = 31 + \Delta T = 31 + 5 = 36^\circ\text{C}$. درجة حرارة تبخر وسيط التبريد في المبخر 5°C .

تحديد مجال درجة الحرارة (T_g) في المولد على مخطط P-T-X

فيما يلي دراسة النماذج الأربعة لمنظومات التبريد الامتصاصية العاملة على بروميد الليثيوم والماء لتحديد مجال درجة الحرارة في المولد على مخطط P-T-X لكل منظومة لكي يتسنى لنا بعد ذلك دراسة تغير معامل الأداء (COP) مع درجة الحرارة (T_g) ونسبة التدوير (f) وذلك على اعتبار درجة التكاثف $T_k = 36^\circ\text{C}$ ودرجة التبخر $T_o = 5^\circ\text{C}$.

1-منظومة التبريد الامتصاصية ذات التأثير الأحادي (Single Effect Cycle)

تعتبر المنظومة ذات التأثير الأحادي (SE) المنظومة الأبسط والأكثر شيوعاً، وهي موضحة في الشكل (4) مع المكونات والنقاط الرئيسية. وتعمل هذه المنظومة عند ضغط مطلق عالي أقل من 10 kpa وبهذا تعمل الآلة الداخلية عند ضغط أقل من الضغط الجوي وهذا ما يتطلب تصميم أكثر دقة لتجنب تسرب الهواء وكذلك فإن الضغط المنخفض يقيد تصميم المكونات لأنه يجب تقليل قطرات الضغط اللزجة.

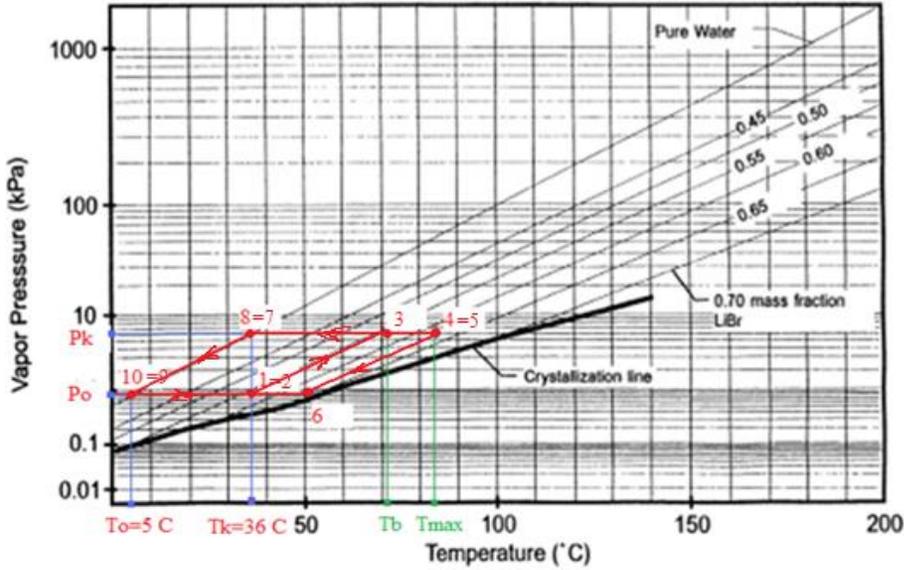


الشكل (4) مخطط منظومة التبريد الامتصاصية ذات التأثير الأحادي مع تمثيلها على

مخطط ٤-١

يلزم أولاً تحديد مجال درجة الحرارة في المولد T_g كما هو في الشكل (5). إن أصغر قيمة لـ T_g هي درجة حرارة الغليان في المولد T_b ، وأكبر قيمة T_{max} هي الدرجة التي تؤدي إلى تبلور محلول بروميد الليثيوم والماء عند مدخل وعاء الامتصاص. لتحديد درجة الحرارة العظمى المسموح بها في المولد، ننطلق من أخطر موقع للنقطة 6 على خط الضغط P_0 يمكن أن يؤدي لحدوث تبلور المحلول على اعتبار أن حادثة التبلور (crystallization) تحدث عند مدخل وعاء الامتصاص، ومن ثم نرسم خط تركيز ثابت من النقطة 6 باتجاه الضغط P_k فتتحدد النقطة 4 التي تحدد درجة الحرارة العظمى المسموح بها في المولد $T_{max} = 82^\circ C$.

وبالتالي $71^{\circ}\text{C} < T_g < 82^{\circ}\text{C}$

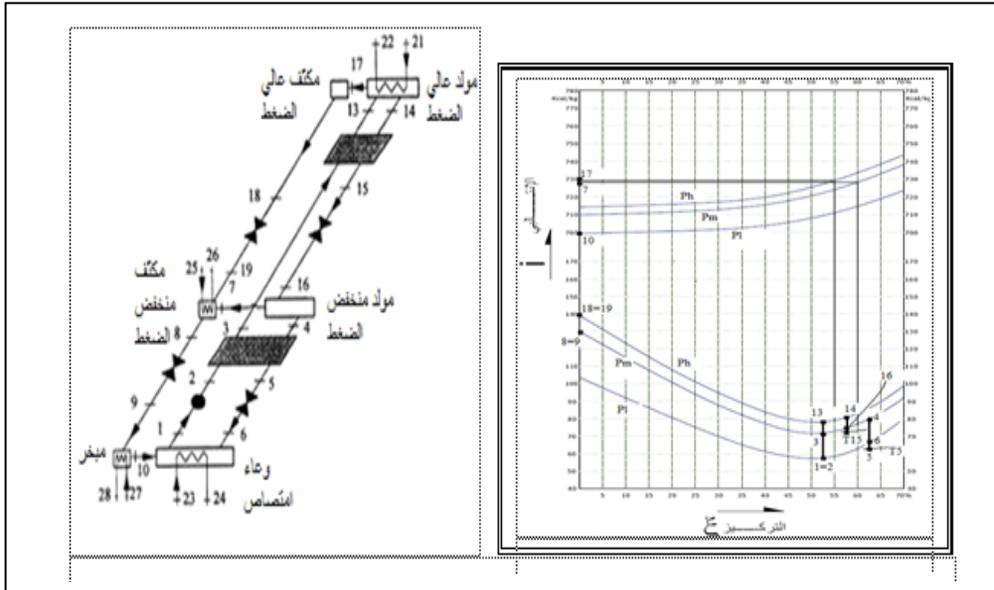


الشكل (5) تحديد مجال درجة الحرارة في المولد للمنظومة ذات التأثير الأحادي على

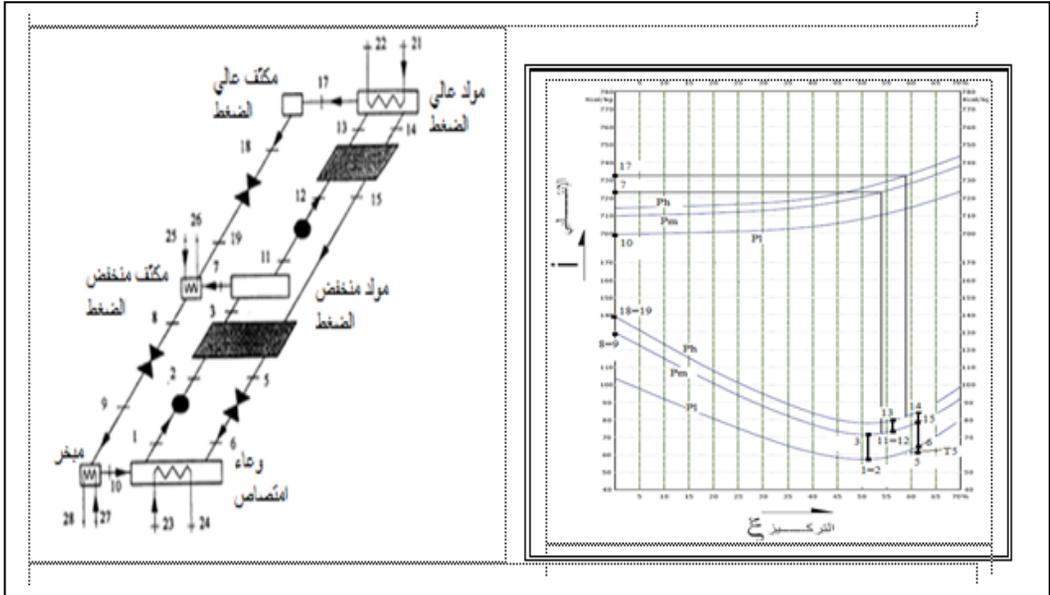
مخطط P-T-X

2- منظومة التبريد الامتصاصية ذات التأثير المضاعف (Double Effect Cycle)

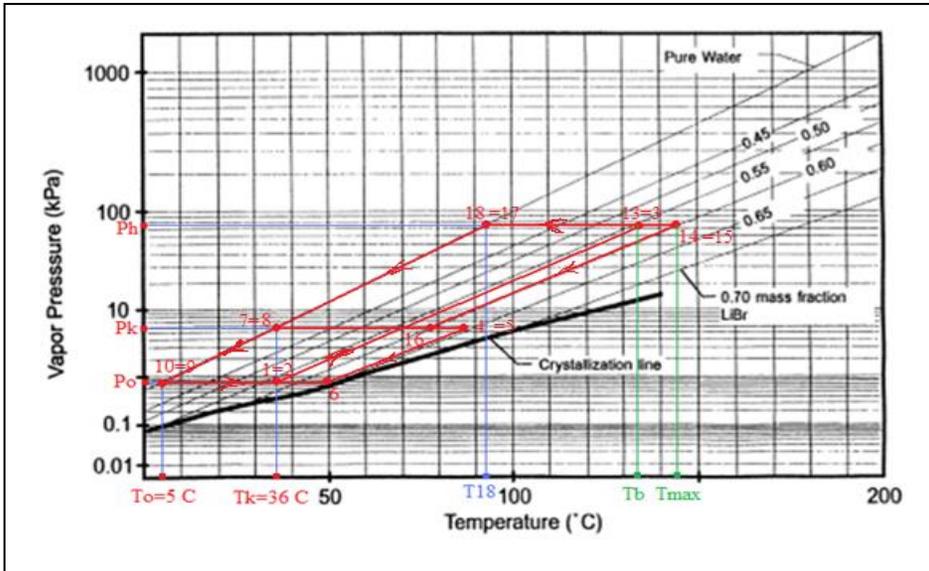
إن أحد القيود المفروضة على الدائرة الأحادية هي أنها غير قادرة على الاستفادة من الوفرة العالية لدرجة حرارة المصادر الحرارية لتحقيق معامل أداء أعلى، حيث تبلغ قيمته للمنظومة الأحادية حوالي 0.7 وهي قيمة منخفضة نسبياً وبالتالي من الصعب أن تنافس المنظومة الأحادية المرحلة اقتصادياً أنظمة انضغاط البخار التقليدية . وبالتالي لتحقيق أداء أعلى من الضروري تصميم دائرة تستطيع الاستفادة من درجات الحرارة العالية للمصادر الحرارية في حال توفرها، وتمثل تقنية التأثير المضاعف والتي يتراوح معامل الأداء لها بين (1.0 - 1.2) . إن الدائرة ذات التأثير المضاعف التي تستخدم



الشكل (7) منظومة بروميد الليثيوم والماء ذات التأثير المضاعف (تدفق تسلسلي)
(المحول إلى المولد عالي الضغط أولاً) مع تمثيلها على مخطط $P-h$

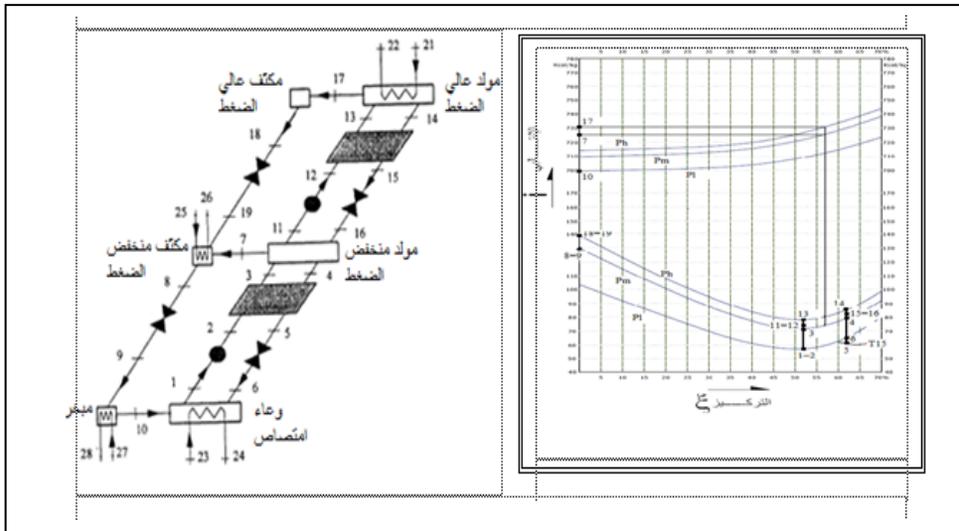


الشكل (8) منظومة بروميد الليثيوم والماء ذات التأثير المضاعف (تدفق تسلسلي)
(المحول إلى المولد منخفض الضغط أولاً) مع تمثيلها على مخطط $P-h$



الشكل (9) تحديد مجال درجة الحرارة في المولد للمنظومة ذات التأثير المضاعف

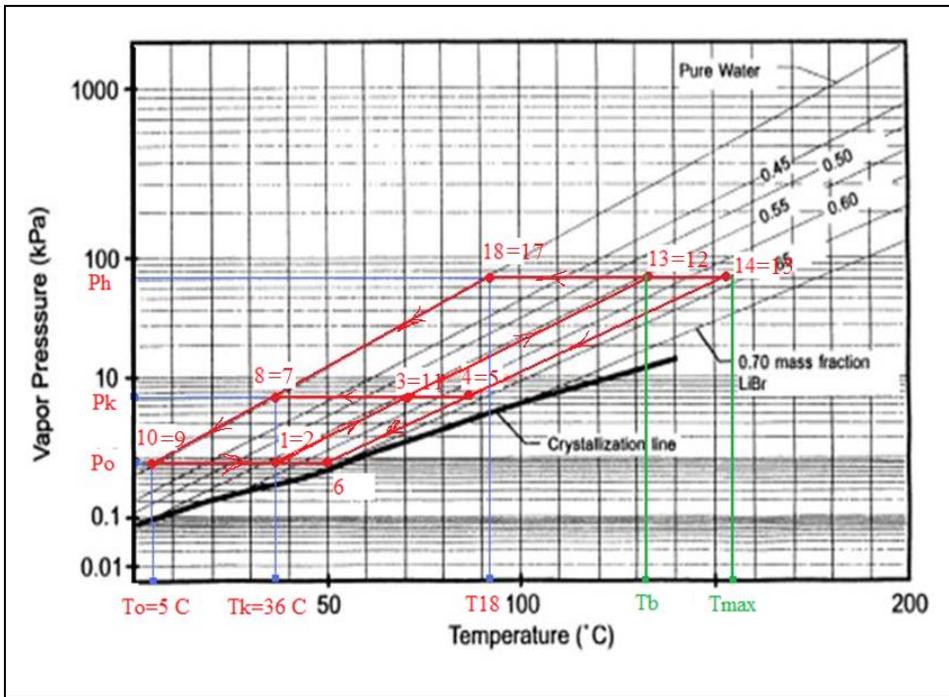
(تدفق تسلسلي) على مخطط P-T-X



الشكل (10) منظومة التأثير المضاعف ذات التدفق التفرعي مع تمثيلها

على مخطط P-T-X

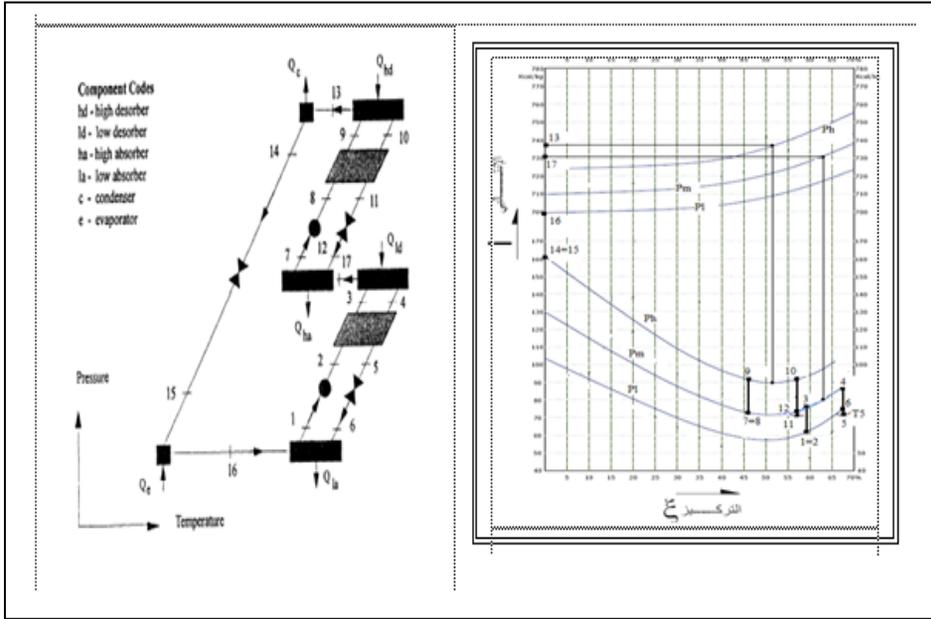
ويوضح الشكل (10) مخطط آخر لمنظومة التأثير المضاعف ذات التدفق التفرعي مع إظهار نقاط الحالة ما بين المكونات و التبادلات الحرارية الخارجية. ويوضح الشكل (11) تمثيل النقاط الرئيسية للمنظومة ذات التأثير المضاعف (تدفق تفرعي) على مخطط P-T-X من أجل تحديد مجال درجة الحرارة في المولد . حيث يتم تحديد ضغط التبخر P_0 (الضغط المنخفض) من خلال درجة التبخر T_0 وضغط التكاثف P_k (الضغط المتوسط) من خلال درجة التكاثف T_k .



الشكل (11) تحديد مجال درجة الحرارة في المولد للمنظومة ذات التأثير المضاعف (تدفق تفرعي) على مخطط P-T-X

3- منظومة التبريد الامتصاصية ذات نصف التأثير (Half Effect Cycle) :

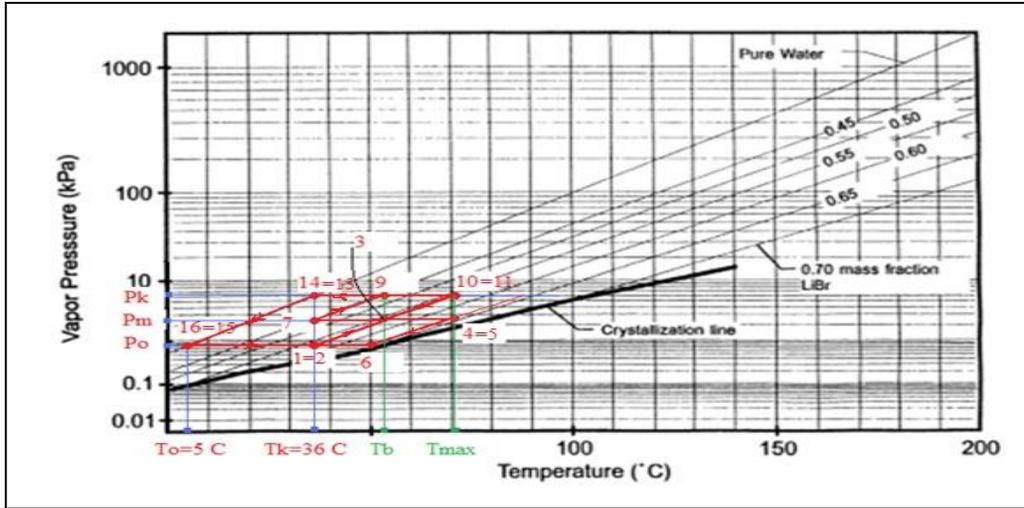
تستخدم هذه المنظومة عندما تكون درجة الحرارة المتوفرة من المصدر الحراري أقل من الدرجة المطلوبة لتشغيل منظومة التأثير الأحادي ويوضح الشكل (12) هذه المنظومة مع تمثيلها على مخطط $i-x$.



الشكل (12) منظومة بروميد الليثيوم والماء ذات نصف التأثير مع تمثيلها

على مخطط $i-x$

يوضح الشكل (13) تمثيل النقاط الرئيسية للمنظومة ذات نصف التأثير على مخطط P-T-X من أجل تحديد مجال درجة الحرارة في المولد . حيث يتم تحديد ضغط التبخر (الضغط المنخفض) من خلال درجة التبخر $To = 5^\circ C$ وضغط التكاثف Pk (الضغط العالي) من خلال درجة التكاثف $Tk = 36^\circ C$.

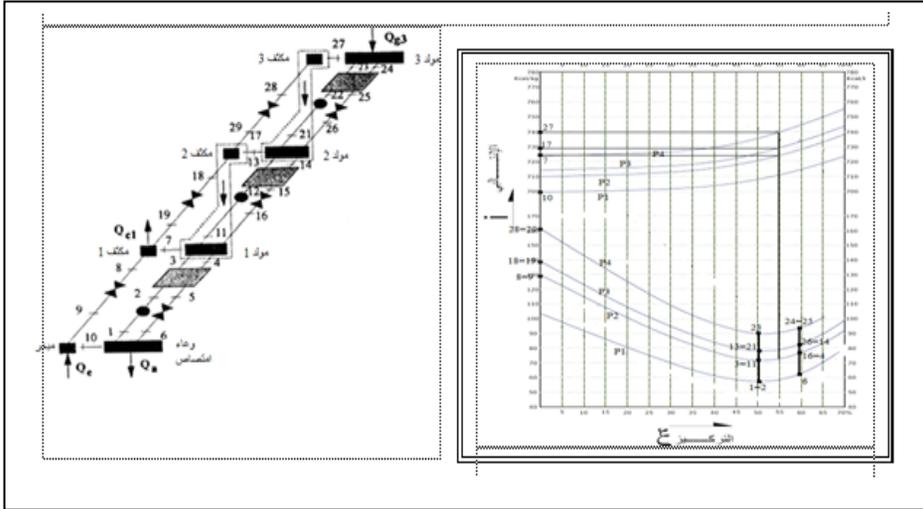


الشكل (13) تحديد مجال درجة الحرارة في المولد للمنظومة ذات نصف التأثير
على مخطط P-T-X

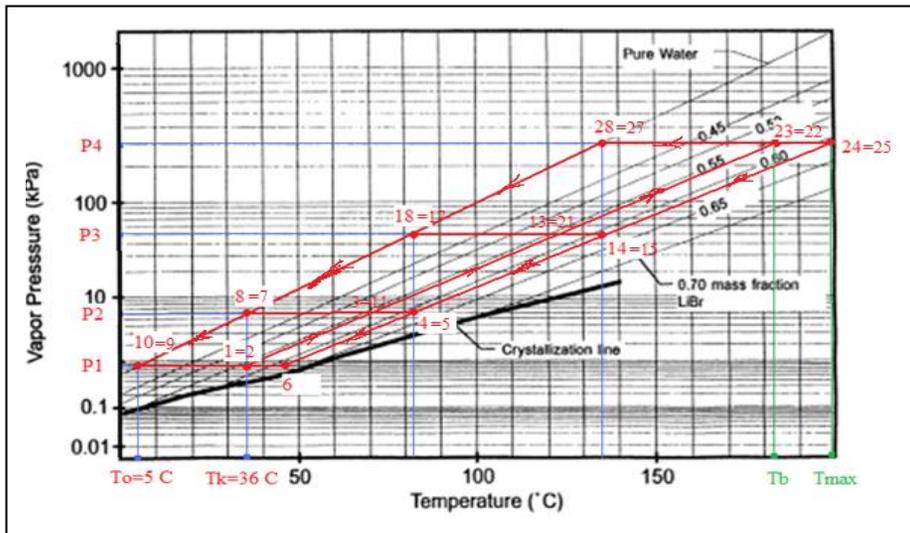
4- منظومة التبريد الامتصاصية ذات التأثير الثلاثي (Triple Effect Cycle):

ما تزال هذه المنظومة حالياً غير منتشرة من قبل العديد من صناعات التجهيزات الامتصاصية والوعد لهذه المنظومة هو رفع معامل الأداء إلى المجال من 1.4 حتى 1.5 فقط بزيادة بسيطة في التكلفة الابتدائية. وبما أن هذه الأنظمة لم تصل إلى السوق بعد فإن المضمون الحقيقي للتقنية الامتصاصية ثلاثية التأثير لم تعرف بشكل جيد. يمكن إجراء امتداد بسيط لمفهوم التأثير المضاعف للوصول لمنظومة ثلاثية التأثير ذات أربعة مستويات ضغط وهي موضحة في الشكل(14)، وتتضمن هذه المنظومة عمليتي تبادل حراري داخلي ما بين المكثف والمولد كما هو موضح في الخطوط المتقطعة في الشكل (14).

يتم تزويد الحرارة في هذه المنظومة في ثلاثة مولدات مختلفة الضغط لتوليد البخار، ومن هنا تأتي تسمية ثلاثية التأثير، إن هذه المنظومة الخاصة هي بثلاثة مراحل. يوضح الشكل (15) تمثيل النقاط الرئيسية للمنظومة ذات التأثير الثلاثي على مخطط P-T-X



الشكل (14) منظومة التأثير الثلاثي (تدفق تفرعي) مع تمثيلها على مخطط P-T-X



الشكل (15) تحديد مجال درجة الحرارة في المولد للمنظومة ذات التأثير الثلاثي

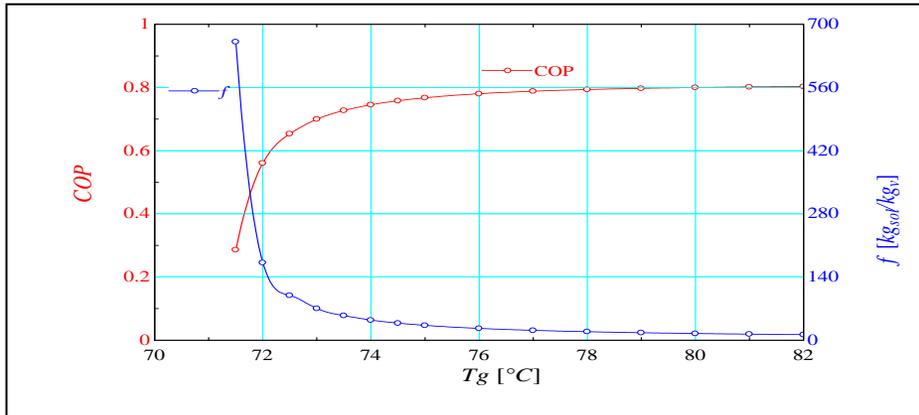
على مخطط P-T-X

النتائج والمناقشة :

نتائج هذه الدراسة تمثلت بدراسة 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 (16) 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.

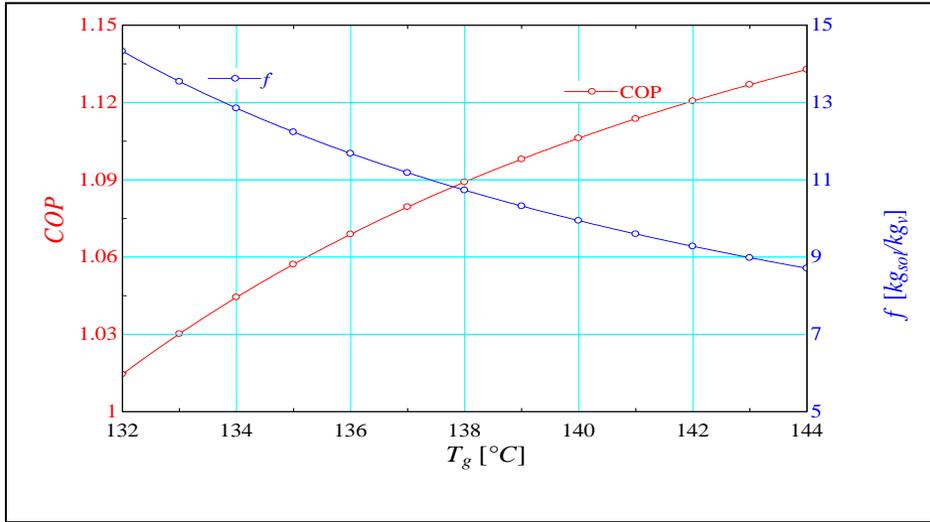


الشكل (16) تغير معامل الأداء COP ومعامل التدوير f مع درجة الحرارة في المولد

T_g لمنظومة التبريد الامتصاصية ذات التأثير الأحادي

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

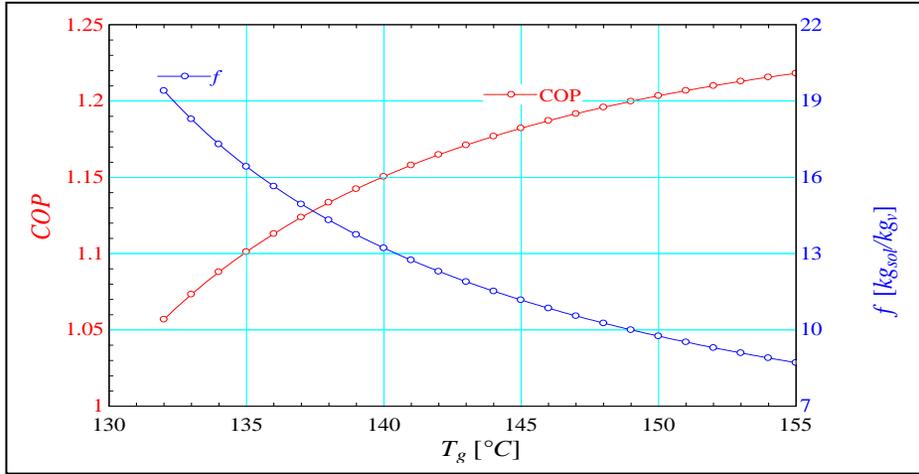
نلاحظ من المخطط في الشكل (17) أن معامل الأداء يتزايد تدريجياً مع ارتفاع درجة الحرارة في المولد وذلك بسبب التناقص المستمر في قيمة معامل التدوير f ، ويمكن أن يصل COP لهذه المنظومة لقيمة تقارب 1.13 عند درجة حرارة في المولد $T_g = 144 \text{ }^\circ\text{C}$ ، حيث يتطلب تشغيل هذه المنظومات درجات حرارة في المولد تفوق $132 \text{ }^\circ\text{C}$ ، ولتأمين ذلك يمكن استخدام اللواقط الشمسية المركزة أو الاستفادة من الوفرة الحرارية الفائضة التي نلاحظها في بعض التطبيقات الصناعية.



الشكل (17) تغير معامل الأداء COP ومعامل التدوير f مع T_g للمنظومة ذات التأثير المضاعف (تدفق تسلسلي-المحلول إلى المولد عالي الضغط) عند درجة تكاثف $36 \text{ }^\circ\text{C}$ ودرجة تبخر $5 \text{ }^\circ\text{C}$

ويرسم مخطط تغير معامل الأداء COP ونسبة التدوير f مع درجة الحرارة في المولد T_g للمنظومة ذات التأثير المضاعف (تدفق تفرعي) كما في الشكل (18) . نلاحظ هنا كما في المنظومة التسلسلية السابقة أن معامل الأداء يفوق قيمة الواحد ويصل إلى 1.2 تقريباً عند درجة حرارة في المولد تقارب $150 \text{ }^\circ\text{C}$. تعتبر منظومة التأثير

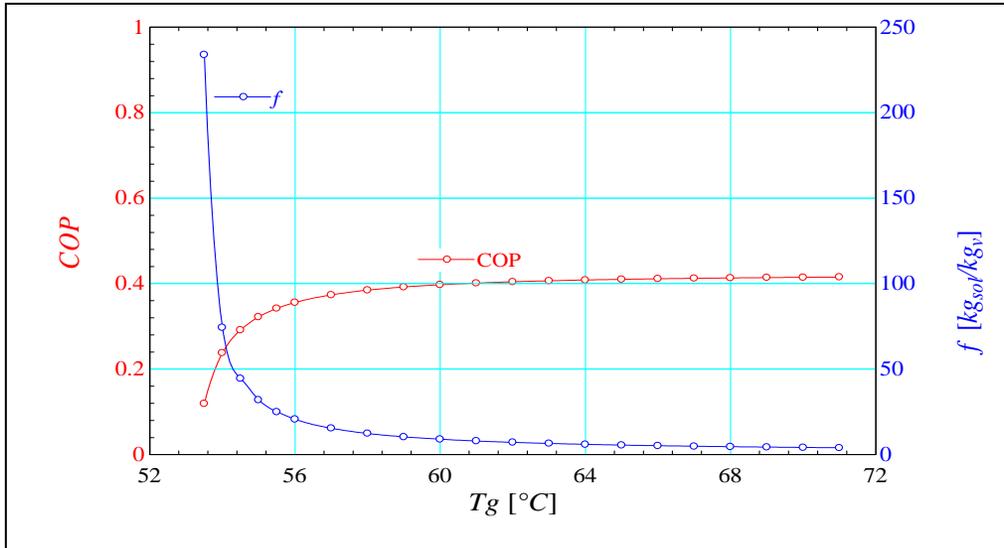
المضاعف ذات التدفق التسلسلي الخيار المفضل أحياناً بما أن مسار المحلول أبسط. ويعتبر موضوع المحافظة على التوزيع الصحيح للتدفق في المنظومة التفرعية مشكلة حقيقية بدون وسائل تحكم فعالة . وبهذا وبشكل خاص للأنظمة الصغيرة تكون دارة التدفق التسلسلي مرغوبة أكثر.



الشكل (18) 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)

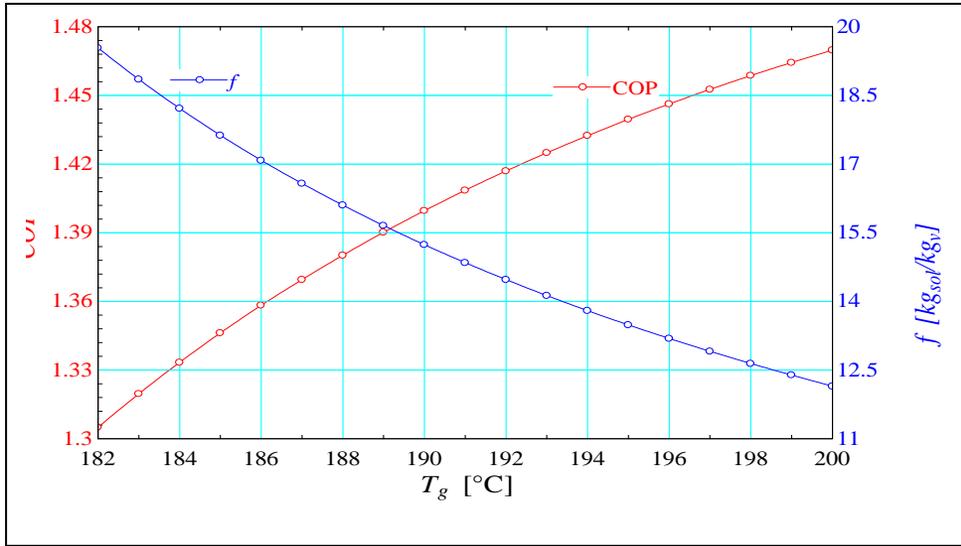
وبرسم تغيرات معامل الأداء COP على هذا المجال نحصل على المخطط كما في الشكل (19) نلاحظ هنا القيم المنخفضة لمعامل الأداء (بحدود 0.4 عند $T_g = 60^\circ\text{C}$) والتزايد الضئيل جداً مع ارتفاع درجة الحرارة في المولد، وبالتالي لتشغيل منظومة من هذا النوع يمكن الاستفادة من درجات حرارة منخفضة نسبياً ولكن على حساب معامل الأداء.



الشكل (19) تغير معامل الأداء COP ونسبة التدوير f مع درجة الحرارة في المولد Tg للمنظومة ذات نصف التأثير عند درجة تكاثف 36 °C ودرجة تبخر 5 °C

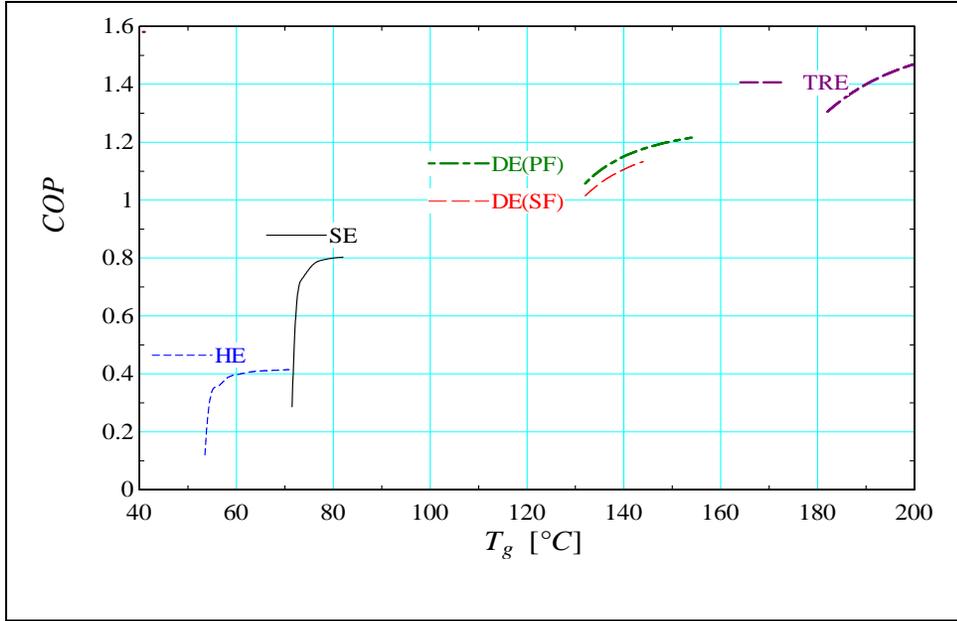
تغير معامل الأداء لمنظومة التبريد الامتصاصية ذات التأثير الثلاثي (Triple Effect Cycle)

نلاحظ من الشكل (20) أن : $182^{\circ}\text{C} < Tg < 200^{\circ}\text{C}$ ونلاحظ من الشكل السابق تزايد معامل الأداء وبشكل تدريجي مع ارتفاع درجة الحرارة في المولد والتي يتطلب أن تكون عالية نسبياً (أكثر من 182°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 $Tg = 200^{\circ}\text{C}$. 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 (20) تغير معامل الأداء COP ونسبة التدوير f مع درجة الحرارة في المولد T_g للدارة ذات التأثير الثلاثي عند درجة تكاثف 36°C ودرجة تبخر 5°C

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 (21).



الشكل (21) 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°C (برج تبريد مائي في ظروف مناخية لمدينة اربيل) ودرجة تبخر 5°C 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 وهذا ما يوضحه الشكل (21) 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 .

المصادر

- [1] Solar absorption cooling , 1ST and 2nd Progress report T, D.S. Kim and C.A. Infante Ferreira, DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Faculty of Design, Construction and Production, Mechanical Engineering and Marine Technology,2004.
- [2] J.A. Duffie and W.A. Beckman, " Solar engineering of thermal processes " Wiley Interscience, New York (1980)
- [3] www.solar energy alternative.com
- [4] Air-Conditioning and Refrigeration Mechanical Engineering Handbook Ed. Frank Kreith,2008.
- [5] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Refrigeration Handbook, Atlanta, Georgia,1986.

- [6] ASHRAE Handbook, Fundamentals (SI), 2005.
- [7] Heat Transfer Fluids and Systems for Process and Energy Applications, Jasbir Singh, 1985.
- [8] Heat Transfer Text Book Third Edition John H. Lienhard IV / John Hvenhard, 2003.
- [9] Refrigeration and Air-Conditioning Third edition A. R. Trott and T. Welch, 2004.
- [10] Randall W. Jameson, SPX Cooling Technologies, 2010.
- [11] Absorption Chillers and Heat Pumps, Keith E. Herold ; Reinhard Radermacher ; Sanford A. Klein, 2002.
- [12] Sivamoorthy Shanmugam1 Center for Robotics Research University of Cincinnati, H45221-0072 " Design of a linear Fresnel lens system for solar photovoltaic electrical " ., 2008.
- [13] www.Thermal.com conductivity for some material.
- [14] www.Apricus.com solar hot water.
- [15] <http://www.enviromission.com.au>.
- [16] <http://www.cubicekballoons.cz>
- [17] <http://www.science direct.com>

Development Of Absorption Cooling System Work By Using Solar Energy

Ass. Prof. Dr. Hashim A.Hussain

University of Technology, Electro-Mech. Engineering Dep.

[Email:doctorhashim2004@yahoo.com](mailto:doctorhashim2004@yahoo.com)

Abstract: *This paper is devoted to optimize 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 conclusion that the single effect system can working 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: Solar energy, Cooling systems, Thermodynamic Operations