

دراسة عملية لمنظومة تثلّيج تعمل بالتبخير بالتماس المباشر

حسين صادق سلطان, عمار علي عجمي* , أماني جليل مجيد*

جامعة البصرة/كلية الهندسة/قسم الهندسة الميكانيكية, قسم هندسة النفط*

الخلاصة:

تضمن العمل الحالي إجراء دراسة عملية لظاهرة التثلّيج بالتماس المباشر, تم ذلك باستخدام مبخّر الاتصال المباشر (المبادل الحراري) الذي هو عبارة عن خزان يحتوي عمود ماء ويتم تبريد الماء بواسطة حقن مائع التثلّيج مباشرة إلى الماء. تؤدي عملية التماس المباشر إلى تبخّر مائع التثلّيج بعد امتصاصه الحرارة اللازمة للتبخّر من الماء مما يؤدي إلى تبريد الماء أو تجميده بالاعتماد على كمية الحرارة المتبادلة بين المائعين. سجلت النتائج العملية انخفاض في درجة حرارة الماء إلى درجات منخفضة (قد تصل إلى درجة الانجماد وتشكيل الثلج). مائع التثلّيج الذي استخدم في الدراسة الحالية (R12). وقد تم اعتماد مقدار الانخفاض في درجة حرارة الماء المجهز على طول ارتفاع المبخّر و معامل الأداء كمعيار لتقييم أداء المنظومة المحلية التصنيع.

Experimental study of direct contact evaporation refrigeration system

Hussin S. Sultan, Ammar A.Ojimi*, Amani J. Majeed*
Mechanical Engineering Dept., Petroleum Engineering Dept.*
College of Engineering, Basra University
ammarali978@yahoo.com*

Abstract:

The present study includes experimental study of refrigeration by using direct contact evaporation process. The process was performed by using direct contact evaporator, which is a reservoir contains a water column. The water was cooled by injection of refrigerant directly into the water. The direct contact between water and refrigerant caused the evaporation of refrigerant by absorbing the heat required for evaporation from water causing water cooling or icing depending on the amount of heat exchanged between the two fluids. The experimental results showed a decrease in water temperature which may reaches to the icing point and forming ice. The refrigerant used in the present study is R12. The decrease of water temperature along the evaporator and the performance coefficient are used as a criterion to evaluate the present refrigeration system.

33.8% من الطاقة الكهربائية مقارنة بالمنظومة التقليدية.

درس كيتسيرورات, و نوتفن [4] خصائص انتقال الحرارة بالتماس المباشر بين ثاني أكسيد الكربون والماء. حيث كانت درجة حرارة ثاني أكسيد الكربون تقريباً (-15 الى -60 درجة مئوية) يحقن إلى الماء بدرجة حرارة 28 درجة مئوية ويتم تبادل مباشر للحرارة. إن نسبة تدفق ثاني أكسيد الكربون تتراوح بين 0.003 - 0.017 كيلو غرام /ثانية بينما حجم الماء بين 1-3 لتر. استنتج الباحثان من هذه التجربة أن فعالية عملية انتقال الحرارة بالتماس المباشر بين ثاني أكسيد الكربون والماء تقترب من 100%.

كاتيسروت وآخرون [5] بحثوا أدائية دورة التثليج باستخدام مبخر التماس المباشر استخدموا فريون (R12) وقد وجدوا إن معامل الأداء (COP) لهذه المنظومة بلغ حوالي 3.4 – 3.6.

اسبلاير وآخرون [6] بينوا نتيجة محاكاة لوحدة تبريد ذات التماس المباشر مع المبخر. حيث استهلكت وحدة التبريد (50-60%) من الطاقة الكهربائية لكل طن من مائع التثليج نسبة للتثليج المتكون باستخدام ملف التبريد.

درس كاتيسروت وآخرون [7] خصائص انتقال الحرارة لمبخر التماس المباشر. حيث قاموا بحقن مائع التبريد (R12 or R22) في الماء الذي كان محفوظ في خزان ليتم تبادل الحرارة مع الماء بصورة مباشرة. درجة حرارة الماء بدأت بالانخفاض حتى نقطة الانجماد إلى أن تكون الثلج. وقاموا بتطوير علاقة رياضية باستخدام المتغيرات الغير بعدية مثل رقم ستانتن، رقم إستيفان، رقم براندتل و نسبة الانضغاط.

الدراسة الحالية تهدف لبناء منظومة تبريد مبسطة لدراسة ظاهرة التثليج بالتماس المباشر بصورة عملية ومعرفة مدى تغيير درجات حرارة الماء

في البلدان ذات الجو الحار ومن بينها العراق تستخدم الطاقة الكهربائية و بصورة رئيسية في منظومات تكييف الهواء نتيجة درجة حرارة الجو ونسب الرطوبة المرتفعة. مخازن الطاقة الحرارية الثلجية ممكن أن تشكل حل لتجنب الاحتياج الكبير للطاقة الكهربائية المصروفة على أجهزة التبريد. مبدأ هذه التقنية هو إن البرودة تنتج ليلاً بشكل ثلج (أو ماء بارد) وتخزن في خزانات معزولة حرارياً بصورة جيدة، هذه البرودة ممكن أن تستخدم في متطلبات التبريد في النهار حيث ممكن أن يتم تدوير الهواء الراجع (في منظومات التبريد) على خزانات الماء البارد الناتج من العملية وبذلك يحصل توفير في استهلاك الطاقة الكهربائية المستخدمة في المثلجات (chillers). في الوقت الحاضر أكثر منظومات خزن الطاقة الحرارية الثلجية تستخدم منظومات ملف التثليج حيث يتشكل الثلج على سطح الملف، ومن محددات هذه التقنية الحيز الكبير الذي يحتاجه المبخر والمقاومة الحرارية العالية التي تحصل نتيجة الموصلية الحرارية القليلة للثلج المتشكل على الملف. لتجنب هذه المحددات أصبح تطبيق تقنيات انتقال الحرارة بالتماس المباشر من المواضيع ذات الأهمية البالغة. بمقارنة نتائج تقنية التثليج بالتماس المباشر مع الطريقة التقليدية للتثليج (باستخدام ملف التثليج) لوحظ إن معامل انتقال الحرارة أكبر 3.25 مرة لطريقة التماس المباشر مقارنة بالطريقة التقليدية [1]. أيضاً اثبتت الدراسات إن فعالية انتقال الحرارة بين فريون (R12) والماء تقترب من ال 100% [2].

درس الباحثون كيتسيرورات وآخرون [3] نظرياً إمكانية استخدام مخازن الطاقة الحرارية الثلجية مع مبخرات التماس المباشر في تبريد بناية دائرية واثبتوا إن استخدام هذه التقنية يوفر ما يقارب

المستخدم في مبخر التماس المباشر نتيجة حقن مائع التثليج المستخدم فيه بصورة مباشرة. وأيضا حساب معامل الأداء لهذه المنظومة.

2- طريقة عمل المنظومة

إن طريقة عمل منظومة التبريد تكون كالتالي, بعد خروج مائع التثليج (وسيط التبريد) (R12) من المكثف يكون ضغطه ودرجة حرارته مرتفعة ثم يدخل إلى وسيلة التمدد (الأنبوب الشعري أو صمام التمدد) فينخفض ضغطه إلى ضغط مبخر الاتصال المباشر وتقل درجة حرارته ويتحول إلى بخار رطب (خليط مركب من سائل التبريد وبخاره الجاف) وهذا البخار الرطب يمتص الحرارة من الماء الموجود في مبخر الاتصال المباشر ويتحول إلى بخار جاف مشبع وتسمى هذه العملية غليان وسيط التبريد أو تبخير سائل وسيط التبريد, ويكون ذلك بامتصاص الحرارة الكامنة من الماء والتحول من حالته السائلة إلى الحالة الغازية في مبخر الاتصال المباشر ثم يسحب هذا البخار الجاف الخالي من قطرات سائل وسيط التبريد بعد مروره بوحدة التجفيف بواسطة الضاغط ويضغط إلى الضغط المرتفع على هيئة غاز محمص ويدخل إلى المكثف حيث يفقد حرارة التخميص ويتحول إلى سائل مشبع. وبعدها تعاد العملية من جديد (دورة مغلقة بالنسبة لمائع التبريد). وكنتيجة لهذه العملية يفقد الماء الموجود في الخزان جزء من طاقته الحرارية وتقل درجة حرارته تدريجيا مع الزمن. الدراسة الحالية تشتمل على بناء منظومة تبريد (أو تثليج أحيانا) يعمل مبخرها بطريقة التماس المباشر بين مائع التثليج والماء ومعرفة مراحل تبريد الماء بواسطة حقن مائع التثليج إلى المبخر (المبادل الحراري) مباشرة حتى تصل درجة حرارة الماء إلى درجات منخفضة (قد تصل إلى درجة الانجماد ويتشكل الثلج).

3- أجزاء المنظومة:

تتكون المنظومة من الأجزاء الرئيسية التالية

(الموضح في شكل رقم 1) :

1. مبخر الاتصال المباشر
2. وحدة تجفيف.
3. ضاغط.
4. مكثف.
5. جهاز تمدد.
6. وسيط التبريد.
7. وعاء استقبال الغازات .

تتم عملية تبريد الماء بواسطة حقن مائع التثليج في مبخر الاتصال المباشر خلال صمام التمدد لتقليل الضغط ودرجة الحرارة. حيث إن الصمام لا يسيطر على معدل التبريد فقط ولكن يسيطر أيضا على الضغط ودرجة الحرارة لمائع التثليج المحقون خلال وعاء الخزن. التبريد يكون على مرحلتين الأولى حقن مائع التثليج و الثانية فقدان حرارة الماء (إلى درجات حرارة منخفضة) وبنفس الوقت تزداد حرارة مائع التثليج ويتحول المائع إلى بخار ويخرج من وعاء الخزن (الجزء العلوي من مبخر الاتصال المباشر) إلى المجفف ومن ثم إلى الضاغط ثم إلى المكثف. قبل أن يذهب مائع التثليج إلى الضاغط يجب أن يمر على المجفف, إن الوظيفة الأساسية لوحدة التجفيف هي لإزالة الرطوبة التي تصاحب البخار وحماية الضاغط من التلف بسبب الرطوبة. والمنظومة موضحة بالمخطط التفصيلي (شكل 1).

3-1- مبخر الاتصال المباشر

(Direct Contact Evaporator)

(خزان الماء الذي تضخ فيه قطرات مائع التثليج مباشرة) ولهذا الغرض استخدم خزان اسطواني مصنوع من الحديد المقاوم للصدأ بقطر (30cm)

3-6- وسائط التبريد (Refrigerants)

في العمل الحالي استخدم وسيط التبريد المعروف محلياً (R12) حيث يمتاز بالموصفات الموجودة بالجدول الملحق (1). وتم استخدام كتلة مقدارها ما يقارب 225 غرام من هذا المائع خلال هذه التجربة.

4- الأجزاء المستخدمة في تصنيع الجهاز:

تم استخدام مواد أولية لتصنيع الجهاز من السوق المحلية منها:

خزان ضاغط الهواء، ضاغط ثلاجة، أنابيب ثلاجة، مقاييس لدرجات الحرارة والضغط، مكثف ثلاجة، مجفف، مائع تثليج (R12)، جهاز تمدد، بعض الملحقات الضرورية لإتمام الدورة. والصور المرفقة في الملحق (2) توضح جزء من مراحل عملية تصنيع الجهاز وأيضاً شكل الجهاز النهائي المستخدم في التجربة.

نشير الى ان درجة الحرارة قد تم قياسها باستخدام مقياس درجة حرارة (مزودج حراري) رقمي (digital thermometer) في خمس نقاط (مواقع) من المبخر وتم قياس الضغط باستخدام مقياس بوردن (Bourdan Gauge) ثلاث مواقع وكما موضحه بالصور (الملحق 2).

5- النتائج العملية

بعد تشغيل الضاغط والوصول إلى حالة الاستقرار بالنسبة لقراءة مقاييس ضغط خط السحب والدفق تم قياس درجة حرارة عمود الماء في الخزان في خمس نقاط مختلفة في أوقات مختلفة وبكتلة مائع تثليج مقدارها 225 غرام وهي تعادل تقريباً كتلة المائع الموجود في الثلاجة، والنتائج المستحصلة كما موضحة في الجدول رقم (1).

وارتفاع (110cm). الخزان المستخدم مصنوع من مادة (stainless steel 304) ويقصد به صنف من أصناف الفولاذ المقاوم للصدأ ويفضل أن تستخدم المعادن الأمانة صحياً. وقد اخذ الخزان شكلاً اسطوانياً ومزود بفتحات دخول وخروج الماء إضافة إلى احتوائه على فتحات مزودة بأنابيب تدخل جانبياً للخزان وذلك لأدخال متحسسات الحرارة (Thermo caples) فيها والمخطط شكل (2) يوضح الخزان.

3-2- وحدة التجفيف (Dryer Unit)

تم استخدام مجفف (مرشح) قياسي (يشبه مجفف الثلجة). ونحتاج نوعين منه الأول يثبت قبل الضاغط مباشرة لكي يضمن عدم دخول الرطوبة (قطرات الماء العالق بمائع التبريد) إلى الضاغط. والأخر يثبت بعد المكثف مباشرة ليضمن عدم وجود ذرات الغاز في مائع التثليج الذي تحول إلى سائل بعد خروجه من المكثف.

3-3- الضاغط (Compressor)

الضاغط المستخدم عبارة عن ضاغط ترددي قياسي محكم القفل والذي يعمل بتيار متردد ذو طور واحد وجهد كهربائي 220 فولت وقدرة (ثلاث) قدرة حصانية يعمل بمائع تثليج R12.

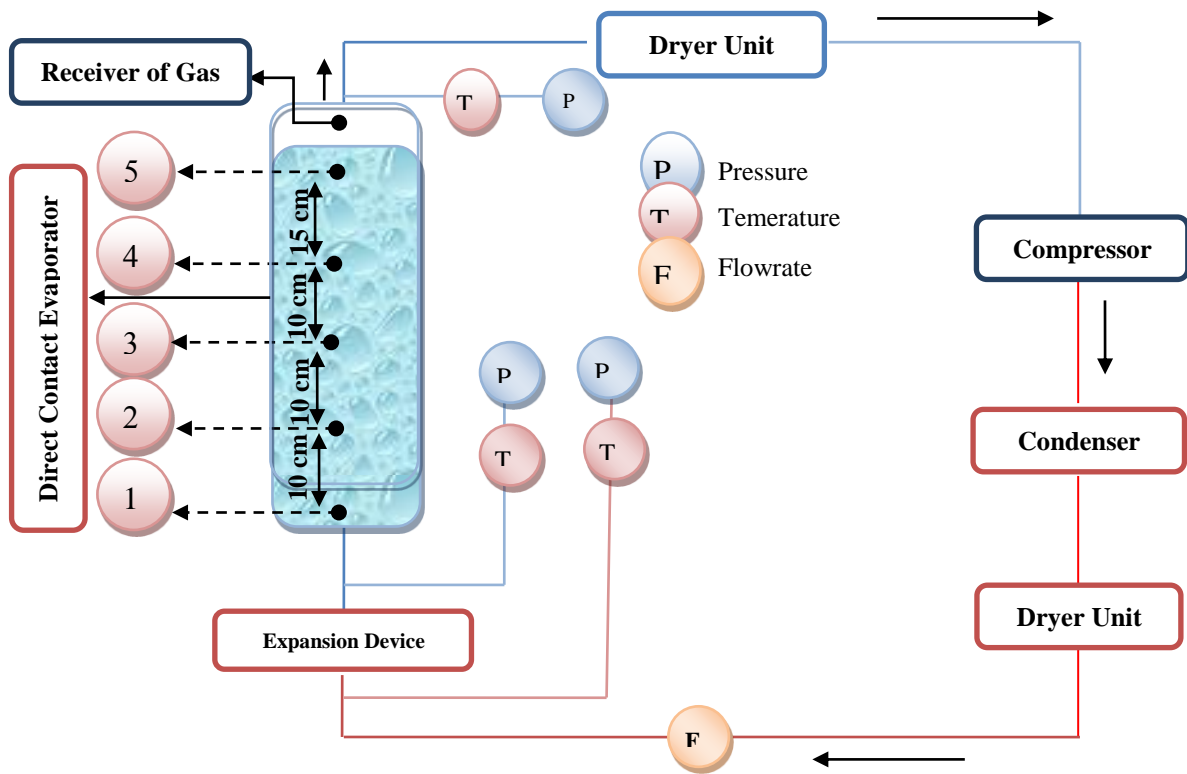
3-4- المكثف (Condenser)

تم اعتماد مكثف مبرد بالهواء (مكثف ثلاجة) مكون من عدة أعمدة مؤلفة من أنبوب نحاس بقطر (6.35) ملم، ويبرد بواسطة الهواء.

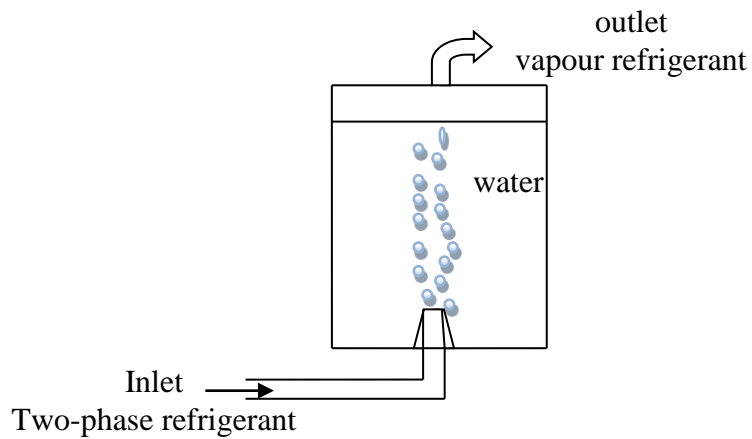
3-5- جهاز التمدد (الأنبوبة الشعرية)

(Capillary Tube)

تم اعتماد أنبوب شعري قياسي مصنع من مادة النحاس بقطر داخلي مقداره (1.22 mm) وطول (2.44 m).



شكل (1) : الرسم التخطيطي للجهاز التجريبي

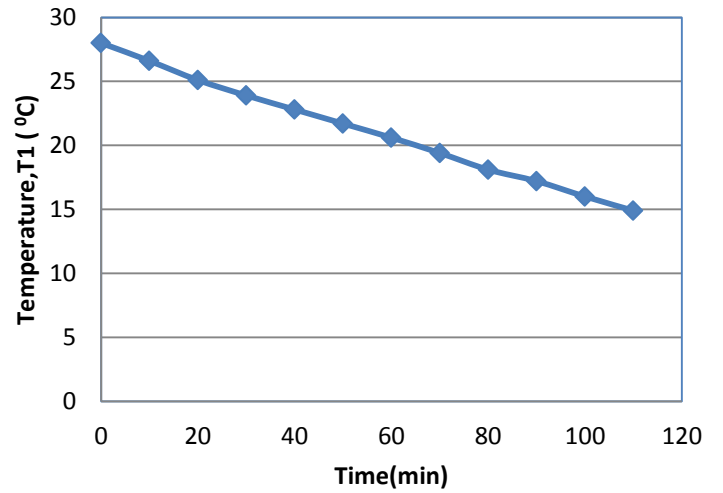
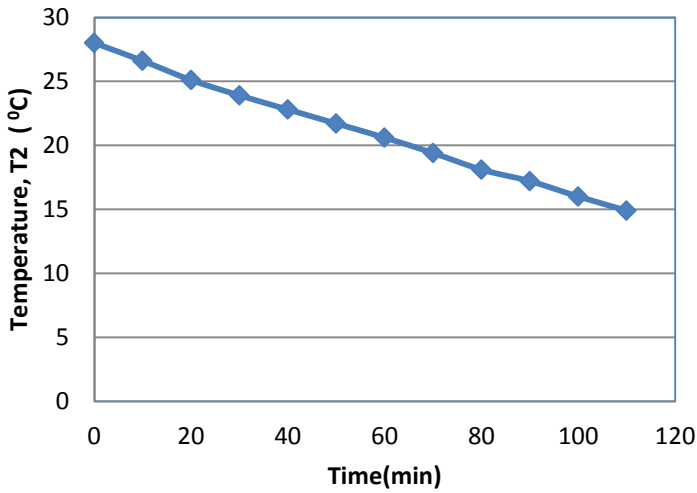


شكل (2) : الرسم التخطيطي لمبخر الاتصال المباشر

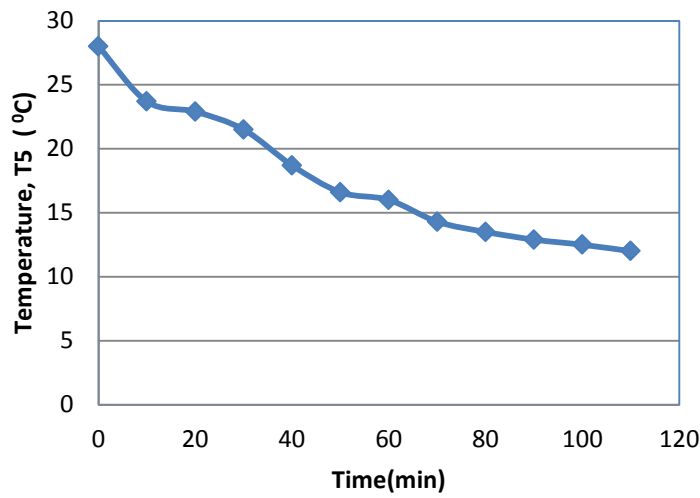
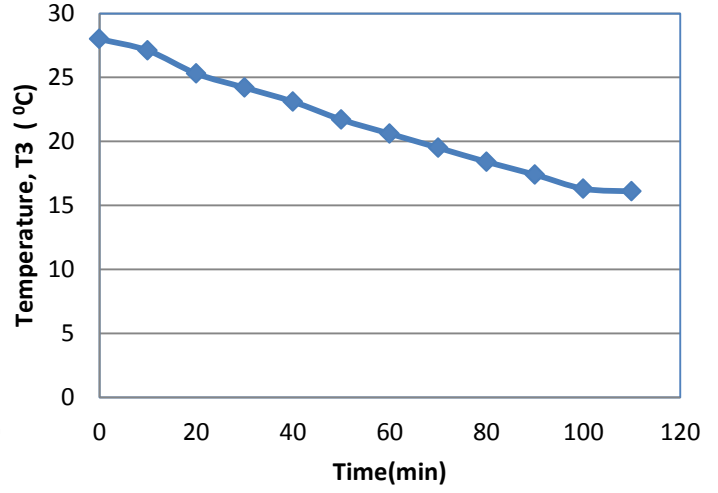
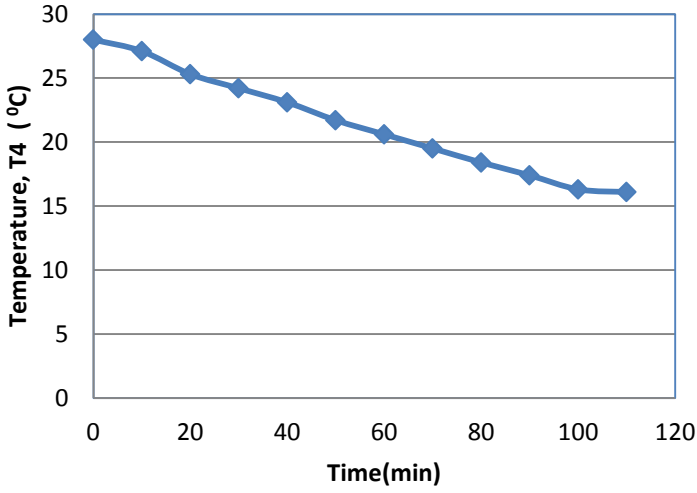
جدول (1) : النتائج العملية لتغيير درجات الحرارة مع الموقع وبازمنه مختلفة لمبخر الاتصال المباشر

NO.	Time (min)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T ₅ (°C)	P(Mpa)
1	0	28	28	28	28	28	1.1
2	10	26.8	26.6	26.8	27.1	23.7	0.85
3	20	25.3	25.1	25.4	25.3	22.9	0.80
4	30	24	23.9	24.2	24.2	21.5	0.75
5	40	22.9	22.8	22.8	23.1	18.7	0.65
6	50	21.8	21.7	21.9	21.7	16.6	0.63
7	60	20.7	20.6	20.7	20.6	16	0.55
8	70	19.3	19.4	19.4	19.5	14.3	0.52
9	80	18.2	18.1	18.3	18.4	13.5	0.50
10	90	17.3	17.2	17.5	17.4	12.9	0.43
11	100	16.1	16	16.3	16.3	12.5	0.40
12	110	15	14.9	15.1	16.1	12	0.40

وتم توضيح التغير في درجة الحرارة مع الزمن في كل نقطة النقاط الموضحة على المخطط التفصيلي للجهاز وكانت النتائج كالتالي:



شكل (3) : النتائج العملية لتغيير درجات الحرارة (T₁, T₂) داخل الخزان مع الزمن في مبخر الاتصال المباشر.



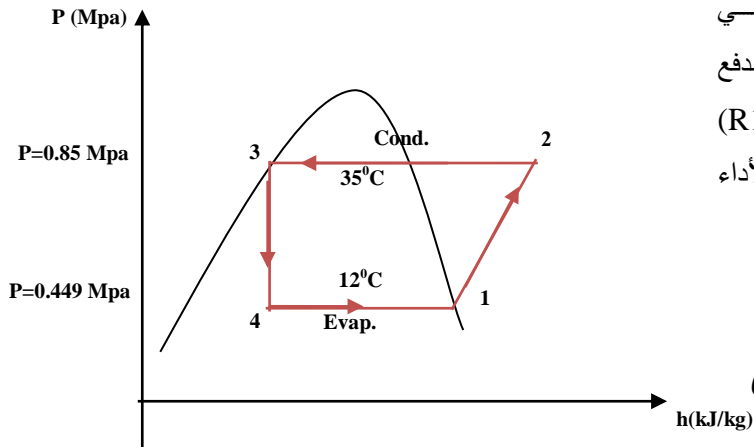
شكل (4) : النتائج العملية لتغيير درجات الحرارة (T₃, T₄, T₅) داخل الخزان مع الزمن في مبخر الاتصال المباشر.

$$Q_{Evap} = m_r(h_1 - h_4) \quad (2)$$

2-5 حساب معامل الأداء لدورة التثليج:

$$W_{Comp.} = m_r(h_2 - h_1) \quad (3)$$

الدورة النظرية التي يعمل عليها الجهاز موضحة على مخطط (ضغط - انثالبي (P-h)) كما في الشكل أدناه, حيث إن قيم ضغط السحب والشفط ودرجات حرارة التشبع لمائع التثليج (R12) موضحة على الشكل (5) يمكن حساب معامل الأداء للمنظومة من العلاقات التالية [8]:



$$C.O.P = Q_{Evap} / W_{Comp} \quad (1)$$

شكل (5) : مخطط مبسط لتغير الانثالبي مع الضغط للمنظومة .

6- المناقشة والاستنتاجات:

من ملاحظة النتائج العملية نجد انه خلال فترة تشغيل لمدة ساعة تقريبا كان هنالك انخفاض واضح في درجة حرارة الماء, نتيجة امتصاص الحرارة من قبل مائع التثليج و كما موضح في الإشكال (3-7). حيث كان معدل انخفاض درجات الحرارة داخل وعاء الخزن (مبخر التماس المباشر) المعزول اديباتيكيا بصورة تقريبية, في أغلب النقاط ما يعادل 13 درجة مئوية وهذا يبين فاعلية التبريد بالاتصال المباشر نشير إلا إن هذا النقصان في درجة حرارة الماء المستخدم في مبخر التماس المباشر ممكن أن يزيد في حالة استخدام كتلة مائع تثليج اكبر وهذا بدوره يزيد من الوقت اللازم لإكمال العملية. كذلك لاحظ من حسابات معامل الأداء, إن معامل الأداء للدورة مرتفع نسبيا نسبتا للدورات التقليدية الذي يصل فيها الى 4 تقريبا [10]. مما يثبت الجدوى العملية لمثل هذه الدورات.

7- شكر وتقدير:

الباحثين يودون أن يتقدموا بالشكر الجزيل إلى كلية الهندسة/قسم الهندسة الميكانيكية, وأيضا الشكر موصول إلى مجموعة من طلبة القسم الذين ساهموا في إنجاز هذا العمل.

8- المصادر:

[1] Thitipatanapong, R., Limeechokchai, B., Chungpaibulpatana, S., “An Experimental Study of Direct-Contact Heat Transfer of Ice Formation”, The Review of Japan Macro-Engineer Society, Vol. 16, No.1, pp. 195-199,2003.

[2]A. Nuntaphan, “Performance analysis of a refrigeration cycle using a direct contact evaporator”, M. Eng. Thesis, Department of

$$C.O.P = \frac{Q_{evap.}}{W} = \frac{(h_1-h_4)}{(h_2-h_1)} \quad (4)$$

where

$$h_1 = h_g = 355 \text{ kJ/kg} \quad \text{at}$$

$$\{ 12^0\text{C}; P=0.44903\text{Mpa} \}$$

بأفترض حدوث عملية إيسونثروبية في جهاز التوسع (الانبوب الشعري) واستخدام الظروف التجريبية، يمكن إيجاد المحتوى الحراري في مدخل المبخر:

$$h_3 = h_4 = h_f = 239.5 \text{ KJ/kg} \quad \text{at}$$

$$\{35^0\text{C} ; P=0.85 \text{ Mpa} \}$$

$$h_2 = 370 \text{ KJ/kg}$$

(from R12 properties tables[8])

وهذا يؤدي الى

$$C.O.P = \frac{(355 - 239.5)}{(370 - 355)} = 7.7$$

حيث :-

C. O. P :- معامل الاداء للمنظومة.

Q_{evap.} :- حرارة المبخر.

W :- شغل الضاغط.

m_r :- كتلة مائع التثليج.

h₁, h₂, h₃, h₄ :- الانثالي في الحالات (1)بخار مشبع (2) بخار محمص (3) سائل مشبع (4) بخار رطب.

h_f, h_g :- الانثالي في الحالات (f) سائل مشبع (g) بخار مشبع.

[6] S. Subbaiyer , TM. Andhole ,and WA. Helmer , “Computer Simulation of a Vapor-Compression Ice generator with direct Contact Evaporator”. ASHRAE Trans 1991; Part 1(3448):118-126.

[7] T. Kiatsiriroat, S. Vithayasai, N. Vorayos, A. Nuntaphan, and N. Vorayos, “Heat Transfer Prediction for a Direct Contact Ice Thermal Energy Storage”. Energy Conversion and Management 44 (2003) 497-508.

[8] مبادئ هندسة تكييف الهواء و التثليج / تأليف خالد احمد الجودي. الناشر: جامعة البصرة، 1986.

[9] Dupontsuva, “retrofit guideline for dupontsuva.HFC refrigerants, suva R134a for R12 retrofit”, Technical information paper, Dupont company, 2003.

[10] دوائر التبريد (دائرة التبريد الانضغاطية وتطبيقاتها) / تأليف موسى محمد موسى. الناشر: كلية الهندسة - جامعة المنوفية ، 1997.

Mechanical Engineering, Chiang Mai University, Thailand, (1998).

[3] T. Kiatsiriroat, N. Vorayos, and A. Nuntaphan “Feasibility of using ice thermal energy storage with direct contact evaporator in an office building”. Asian J. Energy Environ., Vol.2, Issue 3-4, (2001), pp.199-231.

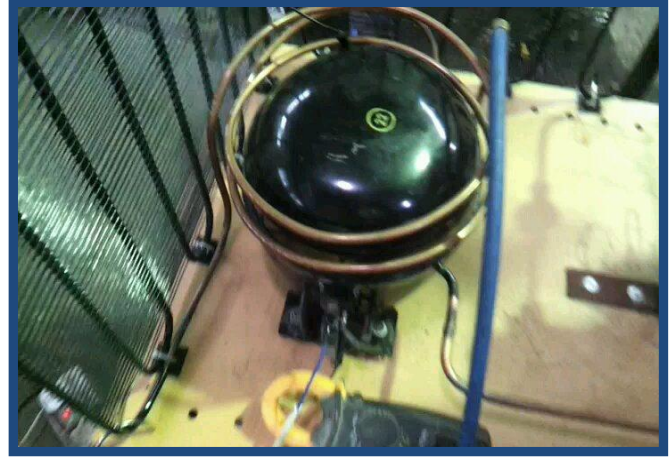
[4] S. Thongwik, T. Kiatsiriroat, and A. Nuntaphan “Performance of Ice Production System Using Direct Contact Heat Transfer of Carbon Dioxide and Water”, The 21st Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, 17-19 October 2007, Chonburi, Thailand.

[5] T. Kiatsiriroat, P. Siriplubpla, A. Nuntaphan, Performance analysis of a refrigeration cycle using a direct contact evaporator, Int. J. Energy Research 22 (1998) 1179–1190.

ملحق رقم (1)

المواصفات الفنية لمائع التبريد (R12) [9]	
Boiling Point °C	-29.79
Freezing Point °C	-158
Critical Temperature °C	112
Critical Pressure (KPa)	4113
Vaporization Latent Heat at 25 °C (kJ/kg K)	165.1
Liquid Specific Heat at 25 °C (kJ/kg K)	0.971
Vapor Specific Heat at 1 atmosphere and 25 °C (KJ/Kg k)	0.607
Ratio Cp/Cv at 1 atmosphere	1.14
Thermal Conductivity of Liquid at 25 °C (W/m K)	0.071
Thermal Conductivity of Vapor at 1 atmosphere	0.0096

ملحق رقم (2)



والصور التالية توضح الجهاز بعد اكمال تصنيعه (من جهات مختلفة):



Temp. Gauges

Direct Contact Evaporator

Pressure Gauges

Expansion Device

Compressor

To Electric Resource

Condenser