

مقارنة دورة كارنو ودورة لورانس من حيث معامل الأداء واستهلاك الطاقة

الدكتور وجيه ناعمة*

أحمد عمايري**

(تاريخ الإيداع 12 / 5 / 2013. قُبِلَ للنشر في 11 / 2 / 2014)

□ ملخص □

يهدف البحث إلى مقارنة دورة كارنو ودورة لورانس ، حيث تم حساب معامل الأداء لدارة تبريد أحادية المرحلة عند درجات حرارة تبخر مختلفة مع ثبات درجة حرارة التكاثف لكلا الدورتين باستخدام وسائط التبريد الأحادية (R134A ، R22) والمزيج اللاتسيوتروبي (R11/R22) ، وقد بينت نتيجة الدراسة أن دارة لورانس تمتلك معامل أداء أكبر بنسبة حوالي (200% - 100%) وضيعات طاقة أقل بالمقارنة مع دورة كارنو، وبالتالي ينصح باستخدام دورة لورانس في مجالات التبريد المختلفة لما تمتلكه من إيجابيات كثيرة بالمقارنة مع دورة كارنو .

الكلمات مفتاحية: مقارنة دورات حرارية، دورة لورانس، ثنائي وسيط تبريد لاتسيوتروبي

* أستاذ - قسم الميكانيك العام - كلية الهندسة الميكانيكية الكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.
** هيئة تعليمية - قسم الميكانيك العام - كلية الهندسة الميكانيكية الكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

A Comparison between Carnot and Lorenz Cycles in terms of Performance Coefficient and Power Consumption

Dr. Wajih Naimeh*
Ahmad Amayri**

(Received 12 / 5 / 2013. Accepted 11 / 2 / 2014)

□ ABSTRACT □

This research aims to compare the Carnot cycle with that of Lorenz. Using the single refrigerants (R22, R134A) and the non- azotropic mixture (R11/R22), the performance coefficient was calculated for a single stage cooling cycle according to different evaporative temperatures and constant condensing temperatures. It was found out that the Lorenz cycle had a better performance coefficient and less power losses. Finally, it is advisable to use the Lorenz cycle in cooling applications for its many advantages when compared with the Carnot cycle.

Keywords: Comparison of thermal cycle, Lorenz cycle, Non-Azotropic binary refrigerants.

* Professor, General Mechanics Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

** Teaching Assistant, General Mechanics Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

مقدمة:

تعتبر دورة كارنو العكسية أحد أشهر الدورات الحرارية المثالية المطبقة في مجالات التبريد والتي تحقق أفضل معامل أداء حيث أنها تستخدم أحاديات وسيط التبريد ، ومن الدورات غير شائعة الاستخدام دورة لورانس والتي تستخدم ثنائيات وسيط التبريد اللاتسيوتروبية . يقدم استخدام ثنائيات وسيط التبريد اللاتسيوتروبية في المضخات الحرارية ودورات التبريد إيجابيات عديدة منها ازدياد معامل الأداء وانخفاض ضياعات الطاقة ومعامل تدمير طبقة الأوزون. [4-7-8] نظرا لما يقدمه استخدام ثنائيات وسائط التبريد اللاتسيوتروبية من إيجابيات بالمقارنة مع أحاديات وسيط التبريد تم في هذا البحث مقارنة حرارية لدورة كارنو مع دورة لورانس باستخدام وسائط التبريد الأحادية (R22,R134A) والمزيج اللاتسيوتروبي (R11/R22) .

أهمية البحث وأهدافه:

إن استخدام ثنائي وسيط تبريد لا اتسيوتروبي لتجهيزات التبريد والمضخات الحرارية يقدم عدة محاسن منها زيادة معامل أداء الدارة وتقليل ضياعات الطاقة الحرارية بالمقارنة مع أحادي وسيط التبريد وعلاوة على ذلك انخفاض في معامل تدمير طبقة الأوزون (RODP: Relative Ozone Depletion Potential) ومعامل تأثير البيت الزجاجي (RGE: relative Green House Effect)

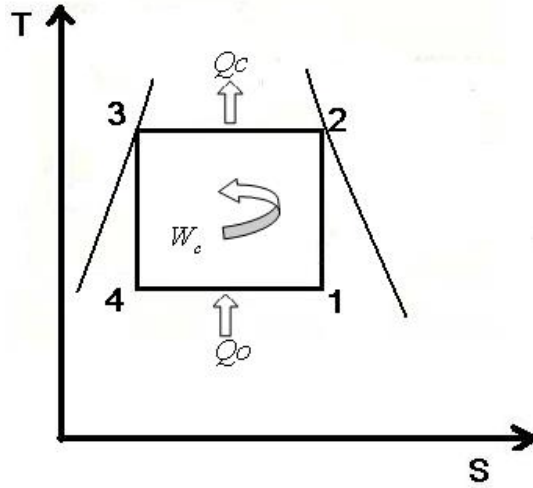
ومن أجل السعي وراء تحقيق هذه الميزات تجرى عدة دراسات منها :

- توفير الطاقة للمضخات الحرارية من خلال استخدام ثنائي وسيط تبريد لا ايتسيوتروبي
 - استخدام ثنائي وسيط تبريد لا اتسيوتروبي في البراد المنزلي .
 - اختبار واستخدام ضواغط لثنائي وسيط تبريد لا اتسيوتروبي .
 - تنظيم الاستطاعة والتحكم عند استخدام ثنائي وسيط تبريد لا اتسيوتروبي .
- حيث تقام الأبحاث المذكورة أعلاه في جامعة دريزدن (Dresden) الألمانية .

ولذلك فإن الهدف من هذا البحث هو تقييم أداء دورة لورانس ثنائية وسيط التبريد اللاتسيوتروبية ومقارنتها مع دورة كارنو أحادية وسيط التبريد المثالية.

منهجية البحث:**1. وسائط التبريد المستخدمة في دارات التبريد والمضخات الحرارية****1-1. وسائط التبريد الأحادية Single Refrigerants [5-7]**

تعتبر وسائط التبريد الأحادية أكثر وسائط التبريد استخداماً في دارات التبريد والمضخات الحرارية حيث تتم فيها عمليات التحول الطوري (التبخير، التكاثف) بإجراء ايزوباري وعند درجة حرارة ثابتة أي بدون وجود أي تدرج حراري في الدورة المثالية . وفي هذه الحالة يتم إتباع دورة كارنو الترموديناميكية العكسية من أجل تحديد البارمترات الحرارية والترموديناميكية للدارة (تبريد ، مضخة حرارية) كما هو مبين بالشكل 1



شكل (1) دورة كارنو العكسية ممثلة على مخطط (T-S)

2-1. وسائط التبريد الثنائية [1-3-7] Binary Refrigerants

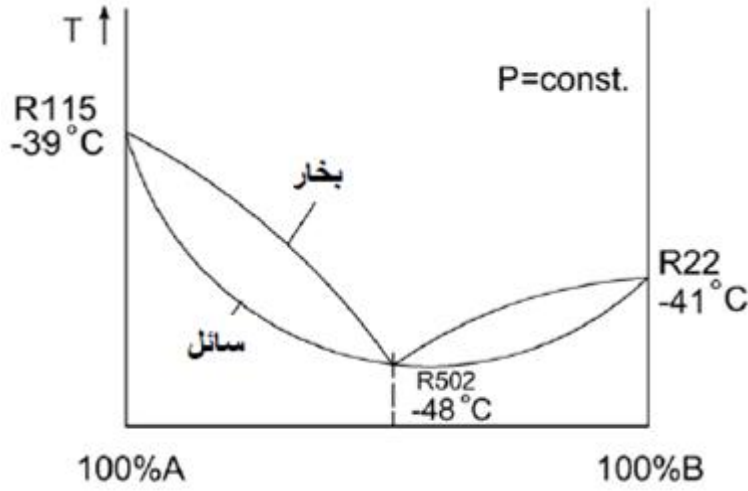
إن مزج أحادي وسيط تبريد هيدروكربوني مع وسيط آخر ينتج لدينا ثنائيات لوسيط التبريد. تقدم هذه الثنائيات خواص متميزة لا يتمتع بها أي من عناصرها على حدة، فعلى سبيل المثال عند مزج وسيطي تبريد مع بعضهما تتخفض درجة حرارة نهاية الانضغاط وبالتالي تحسين ظروف التزييت. وحسب الخواص الترموديناميكية لعملية المزج ينتج لدينا ما يسمى بالمزج الاتسيوتروبي واللاتسيوتروبي

1-2-1. ثنائي وسيط تبريد اتسيوتروبي Azotropic Binary Refrigerants

إن مصدر كلمة ايتسيوتروب يوناني وتعني أنه عند مزج وسيطين تبريد أو أكثر يمكن أن توجد نقطة واحدة يتم التبخر والتكاثف (تغير الحالة) عندها بدرجة حرارة ثابتة تحت ضغط ثابت. والمزيج الاتسيوتروبي يعامل معاملة أحادي وسيط تبريد.

مثال : الفريون R 502 هو عبارة عن مزيج لـ R 22 و R 115 ، يعامل هذا المزيج معاملة وسيط التبريد الأحادي لأن هذا المزيج اتسيوتروبي. وتكون نسب المزج : R 115 = 51.8 , R 22 = 48.2 kg/kg

ويبين الشكل 2 مخطط (T-Z) للحصول R 502 .



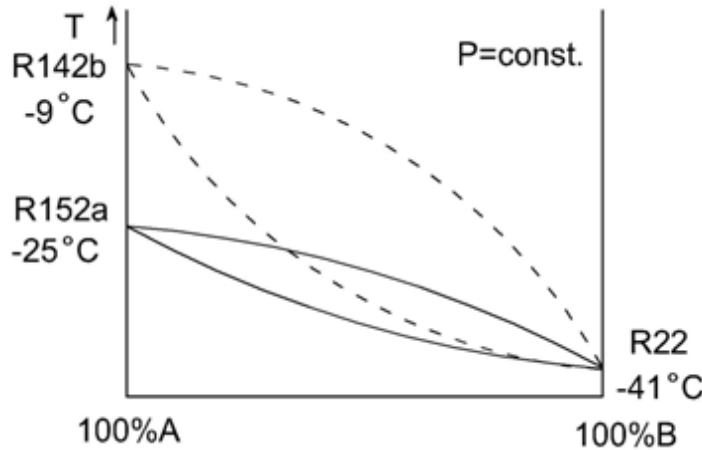
الشكل (2) مخطط (T-Z) للمزيج R 502

كما أن المزائج R 32/R 125 عند نسبة مزج $Z = 0.6$ ، R32/R143a عند نسبة مزج $z = 0.6$ ، R32/R134a بنسبة مزج أكبر من 90% هي مزائج اتسيوتروبية .

1-2-2. ثنائي وسيط تبريد لاتسيوتروبي

Non-Azotropic Binary Refrigerants

لا تحقق هذه الثنائيات نقطة اتسيوتروبية وتمتلك مجالاً عريضاً لدرجات حرارة الغليان تحت ضغط ثابت عند تغير الطور. يتميز استخدام هذا المزيج بالخصائص التالية :
 عند تغير الحالة نلاحظ أن تركيز السائل يختلف عن تركيز البخار . وعملية التبخر والتكاثف تتم بإجراء لا إيزوتمي تحت ضغط ثابت أي لا تتم عند درجة حرارة ثابتة كما هو معروف بالنسبة لأحادي وسيط التبريد أو مزيج اتسيوتروبي وإنما تتم عند تدرج في درجات الحرارة . يبين الشكل 3 مخطط (T-Z) للمزيجين : (R 22 / R 152a ، R 22 / R 114) ونلاحظ عدم وجود نقطة ثابتة يتم عندها تغير الحالة .



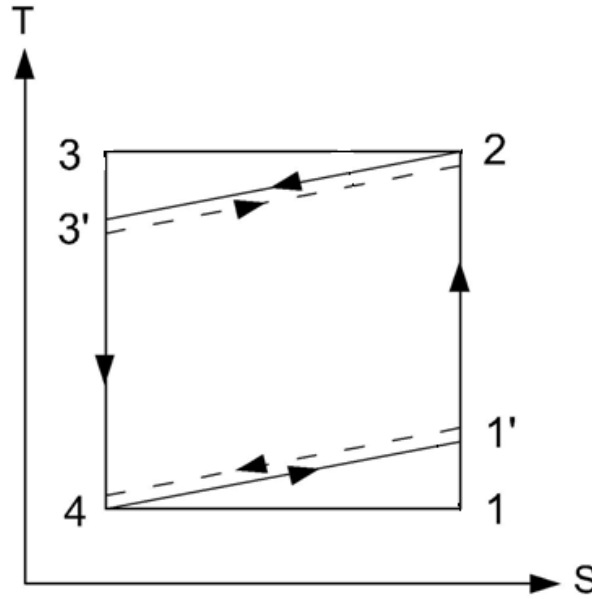
الشكل (3) مخطط (T-Z) للمزيجين (R 22 / R 152a ، R 22 / R 114)

تحدد السلوكية الفيزيائية والترموديناميكية لهذه الثنائيات من خلال نسبة التركيز والمجال الحراري ويبين الشكل 3 تباين سلوكية التدرج الحراري للمزيجين وهذا يتعلق بدرجة حرارة الغليان لكل منهما . عند استخدام ثنائيات وسيط التبريد يجب تطبيق دورة لورانس الترموديناميكية بدلاً من دورة كارنو العكسية لتحديد بارمترات الدارة (تبريد- مضخة حرارية) الحرارية والترموديناميكية .

يبين الشكل 4 تمثيل الدورتين النظريتين لكل من دورة كارنو العكسية ودورة لورانس ضمن مجال درجات الحرارة نفسه على مخطط (T-S) حيث :

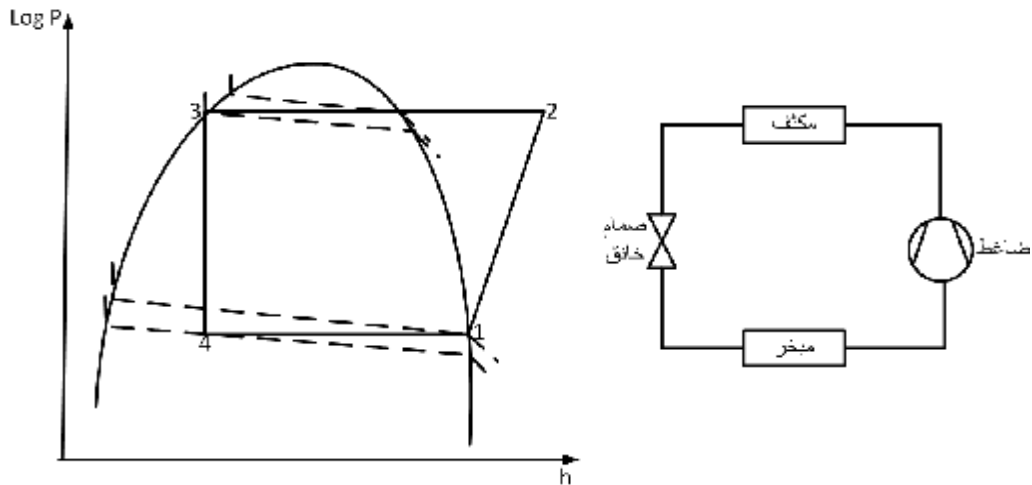
1-2-3-4: دورة كارنو العكسية وتتألف من اجرائين ايزوترميين واجرائين أديباتيين

1'-2'-3'-4': دورة لورانس وتتألف من اجرائين بولوتروبيين واجرائين اديباتيين



الشكل (4) تمثيل دورتي كارنو العكسية النظرية ولورانس النظرية على مخطط (T-S)

يبين الشكل 5 تمثيل دورة لورانس على مخطط $h - \log p$:



الشكل (5) تمثيل دورة لورانس على مخطط $h - \log p$

إذ يبين الخط المتقطع ثبات درجة الحرارة وعدم انطباقه على خط ثبات الضغط ضمن منطقة البخار المشبع ويظهر هذا التدرج في دورة لورانس المثالية وهو غير موجود في دارة كارنو المثالية .
في السنوات الأخيرة دار الحديث حول استخدام مزيج وسائط التبريد اللاتسيوتروبية. لتحسين معامل الأداء لدارات التبريد والمضخات الحرارية حيث تم إجراء التجارب والحسابات من قبل الباحثين للوصول إلى إمكانيات مفيدة لحفظ الطاقة بمواضيع مختلفة تخص المضخة الحرارية ودارات التبريد .

2. معامل الأداء لدارة التبريد والمضخة الحرارية [5] Performance Coefficient for Cooling Cycle and Heat pump

$$e_{ref} = \frac{Q_0}{W_c} \quad \text{معامل الأداء لآلة التبريد :}$$

Q_0 : كمية الحرارة التي يمتصها المبخر من المصدر الحراري (المنبع الحراري) .

W_c : الطاقة المصروفة في عملية رفع الضغط

تطلق المضخة الحرارية مقداراً من الحرارة المفيدة وتستهلك مقدار من الحرارة أو الطاقة، وبذلك يعبر عن

معامل الأداء للمضخة الحرارية (COP) أو (e_{hp}) كالتالي:
معامل الأداء للمضخة الحرارية :

$$e_{hp} = \frac{Q_c}{W_c} = \frac{Q_0 + W_c}{W_c} = 1 + \frac{Q_0}{W_c} = 1 + e_{ref}$$

Q_c : كمية الحرارة التي يقدمها المكثف للوسط المراد تسخينه.

3. النموذج الرياضي الحسابي لنمذجة الدارات الأحادية والثنائية وحسابها [1-3-6] Mathematical Sample for Calculating Single and Binary Cycles

من أجل عملية المقارنة التي تتم في هذا البحث تم اختيار نموذج عامل وفق آلة التبريد الانضغاطية البخارية حيث أنها ذات مرحلة انضغاط واحدة وتحتوي على مبادل حراري استرجاعي حيث ستتم مقارنتها مع نموذج عامل وفق دارة لورانس حيث أنها ذات مرحلة انضغاط واحدة وتحتوي على مبادل حراري استرجاعي حيث نلاحظ وجود تشابه في التصميم للنموذجين المختارين . وبما أن عملية المقارنة تتطلب اختبار الدارات عند ضغوط تكاثف وضغوط تبخر مختلفة من أجل الحصول على عملية مقارنة شاملة فإن عملية حساب الدارات يدويا تكون غير مجدية وطويلة جدا ولذلك تم إعداد برنامج حاسوبي بلغة (C Sharp) للمساعدة في حساب الدارتين السابقتين بسهولة وبالسرية الممكنة. حيث تم إدخال جداول خصائص وسائط التبريد لوسيطين أحاديين وهما R-22, R-134A ووسيط تبريد لا اتسيتروبي وحيد هو R11 \ R22 عند نسبة مزج $Z = 0.7 \frac{kgR_{22}}{kgmix}$ وتحدد نسبة المزج بكمية R22 إلى كمية المزيج (R22\R11) الكلية .

حيث التدرج الحراري للمزيج ($\Delta t = 24^\circ C$) وبحيث يعتبر التدرج الحراري كاف عند استخدام دارات ذات مرحلة انضغاط وحيدة أما بالنسبة لباقي نسب المزج يكون التدرج الحراري :

$$Z = 0.6 \frac{kgR \ 22}{kgmix} \quad \text{التدرج الحراري } (\Delta t = 29^\circ C)$$

$$Z = 0.5 \frac{kgR \ 22}{kgmix} \quad \text{التدرج الحراري } (\Delta t = 34^\circ C)$$

$$Z = 0.4 \frac{kgR \ 22}{kgmix} \quad \text{التدرج الحراري } (\Delta t = 37^\circ C)$$

التدرج الحراري Δt : هو الفرق بين درجة الحرارة على حدي منحنى الإشباع ضمن منطقة البخار المشبع الرطب وذلك عند ثبات الضغط ، وتحدد قيمته من مخطط وسيط التبريد المستخدم .

حيث يتم إدخال (للدارة أحادية وسيط التبريد):

درجة حرارة التبخر t_o (ضغط التبخر P_o) .

درجة حرارة التكاثف t_c (ضغط التكاثف P_c) .

قيمة زيادة التسخين المبادل الحراري الاسترجاعي (Δt_w) .

ومن ثم يقوم البرنامج بحساب كل من :

معامل الأداء لدارة التبريد (e_{ref}) .

معامل الأداء للمضخة الحرارية (e_{hp}) .

عمل الضاغط (w_c) .

كمية الحرارة النوعية في المبخر (q_o) .

كمية الحرارة النوعية في المكثف (q_c) .

نسبة الانضغاط π

درجة الحرارة في نهاية عملية الانضغاط t_2

وذلك بعد أن يتم اختيار أحد وسيطي التبريد الأحاديين المتاحين وفقا لآلة التبريد الانضغاطية البخارية .ومن

ثم يقوم البرنامج باستخدام البيانات السابقة بحساب :

معامل الأداء لدارة التبريد (e_{ref}) .

معامل الأداء للمضخة الحرارية (e_{hp}) .

عمل الانضغاط (w_c) .

كمية الحرارة في المبخر (q_o) .

كمية الحرارة في المكثف (q_c) .

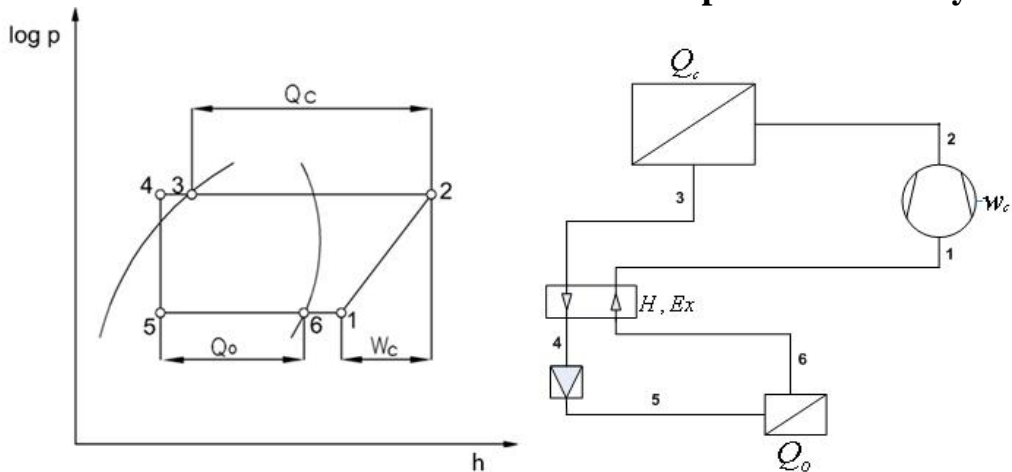
نسبة الانضغاط π

درجة الحرارة في نهاية عملية الانضغاط t_2

وفق دورة لورنس ثنائية وسيط التبريد اللاتسيوتروبية للمزيج R22 \ R11 عند نسبة مزج

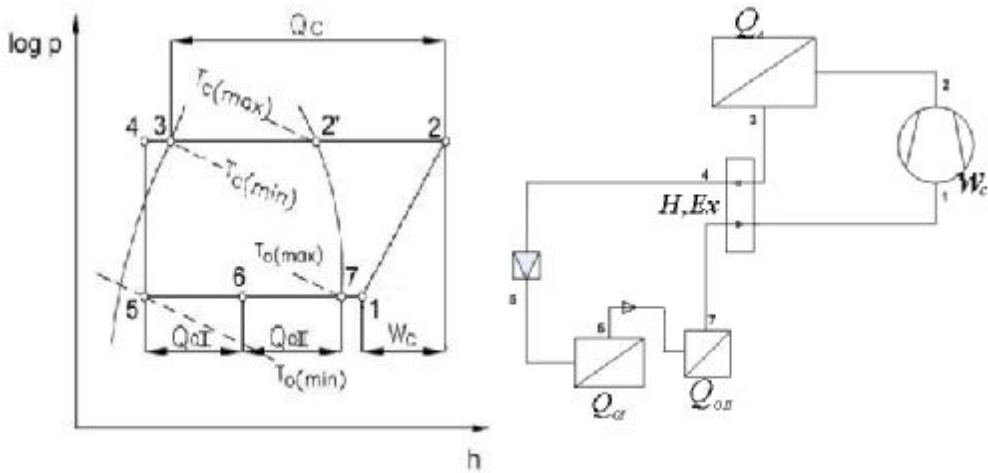
$$z = 0.7 \frac{kgR_{22}}{kg_{mix}}$$

1-3. النموذج العامل وفق دورة كارنو [1-5] Worked Sample as Carnot Cycle



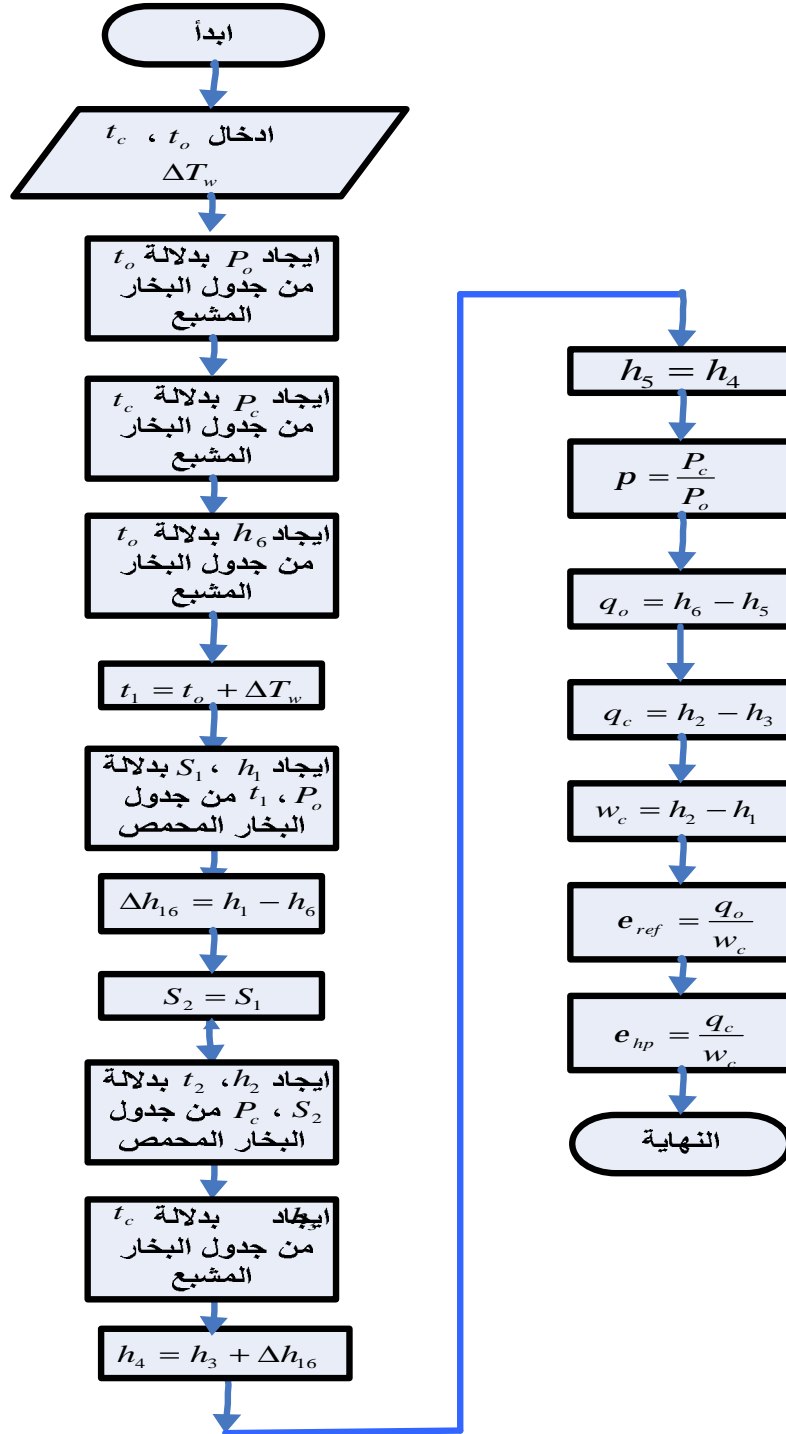
الشكل (6) النموذج العامل وفق دورة كارنو وتمثيله على مخطط $h - \log p$

2-3. النموذج العامل وفق دورة لورنس [1] Worked Sample as Lorenz Cycle

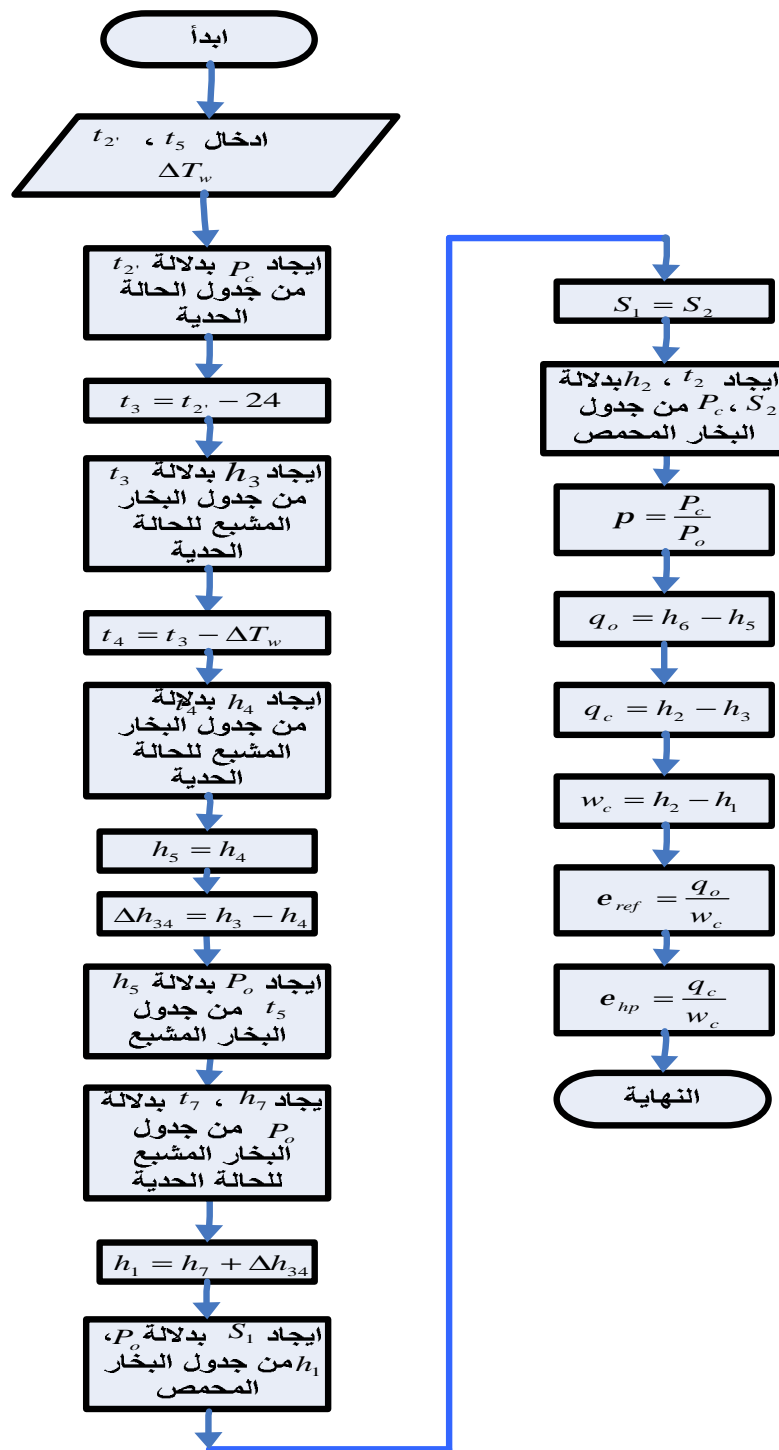


الشكل (7) النموذج العامل وفق دورة لورنس وتمثيله على مخطط $h - \log p$

3-3. خوارزمية الحساب



الشكل (8) الخوارزمية المتبعة لحساب دورة كارنو أحادية وسيط التبريد



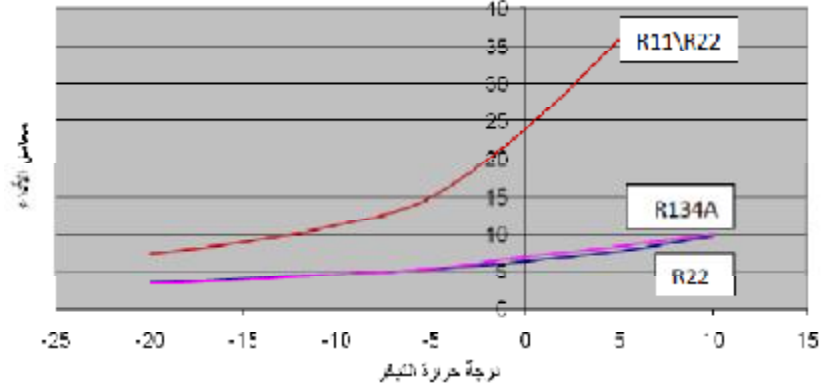
الشكل (9) الخوارزمية المتبعة لحساب دورة لورنس ثنائية وسيط التبريد

النتائج والمناقشة:

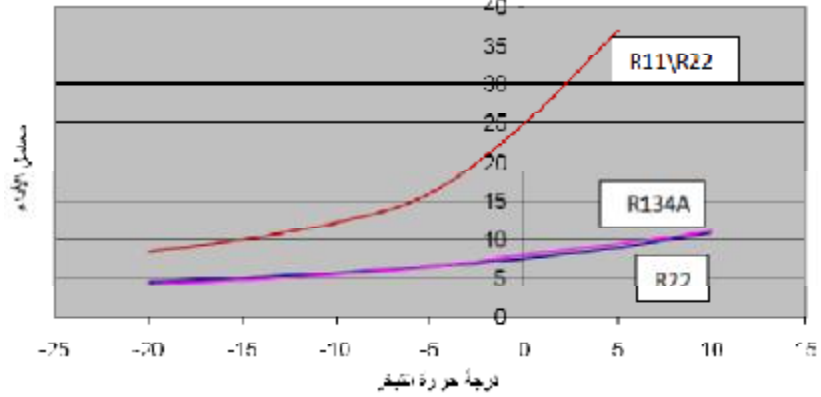
يبين الشكلين 8، 9 علاقة معامل الأداء لدارة التبريد e_{ref} والمضخة الحرارية e_{hp} مع درجة حرارة التبخر وذلك عند استخدام مكثف مائي حيث يبين الشكل ازدياد معامل الأداء بشكل ملحوظ مع ارتفاع درجة حرارة

التبخّر بالنسبة لأحادي وسيط التبريد وأيضا بالنسبة لثنائي وسيط التبريد اللااتسيوتروبي حيث تكون نسبة الزيادة أكبر بالنسبة لثنائي وسيط التبريد اللااتسيوتروبي و يكون معامل الأداء أكبر بمرتين عند درجات حرارة تبخّر تتراوح

بين $(-20^{\circ}C \div -5^{\circ}C)$ وتتجاوز الزيادة الثلاثة أضعاف عند درجات حرارة التبخر الموجبة



الشكل (10) علاقة معامل الأداء لدارة التبريد مع درجة حرارة التبخر عند استخدام مكثف مائي



الشكل (11) علاقة معامل الأداء للمضخة الحرارية مع درجة حرارة التبخر عند استخدام مكثف مائي

كما لخصت نتائج الدراسة الحسابية في الجدول رقم (1)

الجدول (1) مقدار التغير في المعاملات الطاقية عند استخدام ثنائي وسيط تبريد لااتسيوتروبي بالمقارنة مع احادي وسيط التبريد

مكثف هوائي	مكثف مائي	المعامل الطاقى
↑ 35%	↑ 25%	$q_o [KJ / Kg]$
↑ 25%	↑ 15%	$q_c [KJ / Kg]$
↓ 22-38%	↓ 40-70%	$w_c [KJ / Kg]$
↑ 200%	↑ 200-300%	e_{ref}
↑ 200%	↑ 200-300%	e_{hp}
↓ 45%	↓ 50%	p

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

مما سبق يمكن التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

- 1- ازدياد معامل الأداء بشكل ملحوظ مع ارتفاع درجة حرارة التبخر بالنسبة لأحادي وسيط التبريد وأيضا بالنسبة لثنائي وسيط التبريد اللاتسيوتروبي حيث تكون نسبة الزيادة أكبر بالنسبة لثنائي وسيط التبريد اللاتسيوتروبي ويكون معامل الأداء أكبر بمرتين عند درجات حرارة تبخر تتراوح بين $(-5^{\circ}C \div -20^{\circ}C)$ وتتجاوز الزيادة الثلاثة أضعاف عند درجات حرارة التبخر الموجبة
- 2- ازدياد q_o مع ارتفاع درجة حرارة التبخر بالنسبة لأحادي وسيط تبريد وأيضا ثنائي وسيط تبريد لاتسيوتروبي وتكون q_o عند استخدام ثنائي وسيط تبريد لاتسيوتروبي أكبر بحوالي 25% منه في حالة أحادي وسيط التبريد
- 3- انخفاض قيمة q_c مع ارتفاع درجة حرارة التبخر بالنسبة لأحادي وسيط تبريد وأيضا ثنائي وسيط تبريد لاتسيوتروبي وتكون q_c عند استخدام ثنائي وسيط تبريد لاتسيوتروبي أكبر بحوالي 15% منه في حالة أحادي وسيط التبريد
- 4- انخفاض W_c مع ارتفاع درجة حرارة التبخر بالنسبة لأحادي وسيط تبريد وأيضا ثنائي وسيط تبريد لاتسيوتروبي ويكون W_c عند استخدام ثنائي وسيط تبريد لاتسيوتروبي أقل بحوالي (40%-70%) منه في حالة أحادي وسيط التبريد
- 5- انخفاض نسبة الانضغاط مع ازدياد درجة حرارة التبخر ويلاحظ انخفاض p إلى النصف عند استخدام ثنائي وسيط تبريد لاتسيوتروبي بالمقارنة مع أحادي وسيط التبريد.

التوصيات:

- 1-ينصح بالتطبيق العملي والتجاري لدارة لورانس في مجال التبريد والتدفئة باستخدام تقنية المضخة الحرارية لما تقدمه من توفير في استهلاك الطاقة ، كما تساهم في انخفاض التلوث البيئي والتأثير على طبقة الأوزون .
- 2- على ضوء النتائج التي تم الوصول إليها في هذا البحث، يوصى بالمزيد من الدراسة والبحث في مجال دارة لورانس ثنائية وسيط التبريد اللاتسيوتروبي.

المراجع:

- [1] KALOUST, M, Mehrtemperatur-Kälteanlagen mit nicht- azeotropen Kältemittelgemischen, TU Dresden, Germany, 1989:147-191.
- [2] NAIMEH, W, Spiral und lamellen-warmeübertrager für zwiststoffkältemit telanlagen zur annäherung an den Iorenzproze, TU Dresden , Germany , 1989 . 65-79.
- [3] WOLF, E. K, Thermodynamische stoffdaten des kaltegemischs R22/R11 , TU Dresden , Germany , 1985 : 32-118.
- [4] م.عارف سمان ، فريونات أجهزة تكييف الهواء ومشكلة عام 2010 ، مجلة المهندس المملكة العربية السعودية.
- [5] د.نديم مخبير، د.علي عيسى ، هندسة التبريد ، منشورات جامعة دمشق، 2004-2005: 570-583.
- [6] د.نديم مخبير ، ملحق آلات ومحطات التبريد (الخواص الترموديناميكية لوسائط التبريد والوسائل المساعدة) ، منشورات جامعة دمشق ، 2004-2005 : 53-68.
- [7] د.وجيه ناعمة ، مزايا استخدام ثنائي وسيط تبريد لانتسيوتروبي ، أسبوع العلم الثاني والثلاثون حلب ، 1992 : 1-18.
- [8] د.وجيه ناعمة، استخدام المبخرات ذات الصفائح الهوائية، مجلة الجمعية الهندسية السودانية ، 2001: 37-52

الرموز والمصطلحات Nomenclature

-	معامل الأداء للمضخة الحرارية	COP, e_{hp}
-	معامل الأداء لآلة التبريد	e_{ref}
KJ / Kg	كمية الحرارة النوعية التي يمتصها المبخر من المصدر الحراري	q_0
Kj	كمية الحرارة التي يمتصها المبخر من المصدر الحراري ، حمل المبخر	Q_0
KJ / Kg	كمية الحرارة النوعية التي يقدمها المكثف للوسط المراد تسخينه	qc
Kj	كمية الحرارة التي يقدمها المكثف للوسط المراد تسخينه	Qc
Kj	عمل الضاغط	w_c
Kg / Kg	نسبة المزج	z

<i>bar</i>	الضغط	<i>P</i>
<i>bar</i>	ضغط التكاثف	<i>P_c</i>
<i>bar</i>	ضغط التبخر	<i>P_o</i>
-	نسبة الانضغاط	<i>p</i>
<i>°C</i>	درجة الحرارة	<i>t</i>
<i>°C</i>	درجة حرارة التكاثف	<i>t_c</i>
<i>°C</i>	درجة حرارة التبخر	<i>t_o</i>
<i>°C</i>	التدرج الحراري	Δt
<i>KJ / Kg</i>	الانتالبي	<i>h</i>
<i>KJ / Kg.K</i>	الانتروبي	<i>S</i>

الاختصارات

Abbreviations

معامل تدمير طبقة الأوزون

RODP

معامل تأثير البيت الزجاجي

RGE

مبادل حراري

H.Ex