

## دور دارات المضخات الحرارية الانضغاطية العاملة على الماء كوسيط تبريد في حماية البيئة وتوفير الطاقة

الدكتور وجيه ناعمة\*

(تاريخ الإيداع 30 / 6 / 2009. قُبِلَ للنشر في 14/9/2009)

### □ ملخص □

استخدم الماء منذ عشرات السنين كوسيط تبريد في الدارات الامتصاصية العاملة على مزيج بروميد اليثيوم والماء، ولكنه في دارات التبريد الانضغاطية البخارية غير معروف، لذلك تمت الدراسة في هذا البحث لدارات التبريد والمضخات الحرارية العاملة على الماء كوسيط تبريد. وخلصت الدراسة بأن هذه الدارات تتميز بأن معامل الأداء الحراري  $\epsilon_{HP}$  يزيد بحوالي 50% بالمقارنة مع معامل الأداء للمضخات الحرارية التقليدية العاملة على الفريونات، ومعامل الأداء التبريدي  $\epsilon_c$  بحوالي 65%، بالإضافة إلى ذلك حماية البيئة من تخريب طبقة الأوزون وغازات CO<sub>2</sub>، حيث أن معامل تخريب طبقة الأوزون يساوي الصفر بالإضافة إلى معامل البيت الزجاجي أيضا يساوي الصفر. ولكن مساوى هذه الدارات العاملة على الماء، الحد من درجات الغليان، والتي أصغرها بشكل نظري يساوي الصفر ولكن حالياً توجد وحدات تبريد تعمل عند  $t_0=6C$  درجة حرارة غليان الماء و باستطاعات كبيرة تبلغ حتى 1MW.

الكلمات المفتاحية: وسيط تبريد الماء، مضخة حرارية، معامل الأداء الحراري، معامل الأداء التبريدي

\* أستاذ مساعد - قسم الميكانيك العام - كلية الهندسة الميكانيكية الكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

## Performance of Heat Pump with Water as Refrigerant for Environment-Protection and Saving Energy

Dr. Wajih Naimeh \*

(Received 30 / 6 / 2009. Accepted 14 / 9 / 2009)

### □ ABSTRACT □

Decades ago water was applied in the absorption refrigerating processes with Bromid Lithium but water not Known as refrigerant in the compressing processes up till now.

For that reason, a study has made in this research for heat pump and refrigerating processes with water as refrigerant The results of this research is :

Thermodynamically left processes with water as refrigerant are in possession of 50percent higher heat coefficient of performance and 65 percent higher refrigerating coefficient of performance in comparison to application of conventional refrigerant (R12,R22).

Anther advantages is the RODP(Relative Ozone Debatably Potential ) is zero and the Green House Effect (GHE=0) is zero also.

But the disadvantages is the evaporating temperature ( $t_0$ ) is not lower than zero Theoretically ( $t_0 = 0C^0$ ).

Nowadays , there are processes with( $t_0 = 6C^0$ ) and refrigerating a achievement is 1000 KW

**Key words:** water as refrigerant, heat pump, heat coefficient of performance, refrigerating coefficient of performance

---

\* Associate Professor. Department of Mechanical Power Engineering-Faculty of Mechanical and Electrical Engineering-Damascus University-Syria

**مقدمة:**

إن استخدام الماء كوسيط تبريد في دارات المضخات الحرارية الانضغاطية المغلقة قديم جداً منذ تاريخ تقنية التبريد، ولكن الجدل كان حول إمكانية تصنيع ضاغط لبخار الماء، إلا أنه في الآونة الأخيرة، ومع تقدم التكنولوجيا في الصناعة، وخاصة صناعة الضواغط، تم تصنيع ضواغط توربينية لهذا الغرض، وبذلك تم تصنيف بخار الماء R718 إلى جانب وسائط التبريد المعروفة الكيمائية والطبيعية كوسيط تبريد مفيد وغير ضار بالبيئة.

**أهمية البحث وأهدافه:**

إن استخدام المضخات الحرارية وأجهزة التكييف العاملة على وسائط تبريد مثل R12 و R22، تؤثر على طبقة الأوزون، وعلاوة على ذلك استهلاك طاقي عالٍ يتزايد يوماً بعد يوم وبشكل متسارع، لذلك تم التوجه في هذا البحث إلى إمكانية استخدام الماء كوسيط تبريد بديل في هذه الدارات، حيث أن استخدام R718 كوسيط تبريد في دارات المضخات الحرارية الانضغاطية التجارية غير مألوف حتى الآن. لهذا تم إجراء دراسة حرارية لدارة مضخة حرارية تعمل على R718 (الماء) ومقارنتها مع الدارات الانضغاطية التقليدية، لما تقدمه من توفير في الطاقة وحماية البيئة، حيث معامل تدمير طبقة الأوزون، وتأثير البيت الزجاجي معدوم. فقد طرح [1] Paul عام 1991 الماء كوسيط تبريد لوحدات التبريد والتكييف، وكذلك المضخات الحرارية كبديل R114 وكما هو معروف استخدام الماء كوسيط تبريد في الدارات الامتصاصية العاملة على مزيج بروميد الليثيوم والماء.

**طرائق البحث ومواده:****الخواص المميزة للماء كوسيط تبريد:**

يتميز الماء بخواص حرارية بالمقارنة مع وسائط التبريد التقليدية R12، R22، R134a، R114، مناسبة لاستخدامه كوسيط تبريد في الدارات الانضغاطية للمضخات الحرارية، حيث تبلغ درجة حرارة غليان الماء حتى  $t_0 = +4^\circ$  ودرجة حرارة التكاثف عند  $t_c = 32^\circ$  عند ضغط تبخر وتكاثف أقل من الضغط الجوي، حيث أن دارة كارنو العكسية باستخدام الماء كوسيط تبريد هي دارة انضغاطية تتمتع بالخصائص التالية:

■ تأمين درجة الغليان المطلوبة يتم وفقاً لضغط الغليان المنخفض جداً عن الضغط الجوي، من جراء عدم الإحكام المثالي للدارة. هناك غازات غير قابلة للتكاثف، لذلك يجب طرد هذه الغازات من المكثف وباستمرار من أجل سير عملية التكاثف ومتابعة الدارة عملها بشكل أمثل.

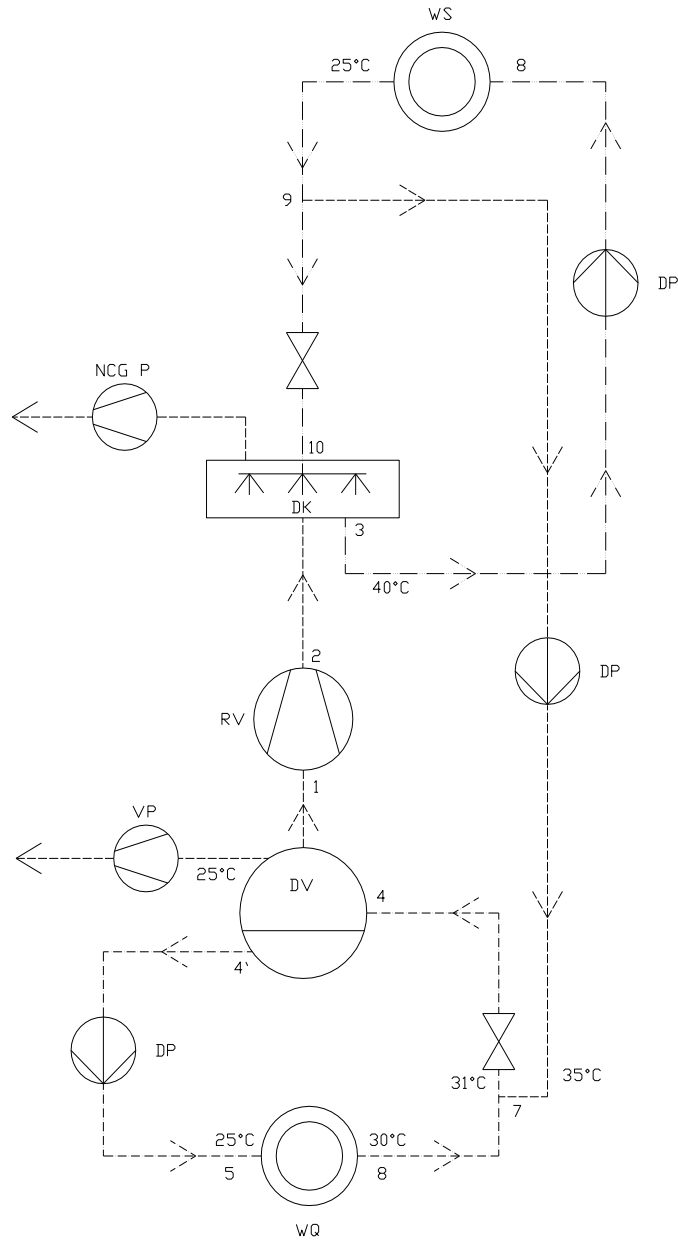
■ إن بخار الماء ذو حجم نوعي كبير مقارنة مع بخار R12 و R22. وبالتالي استطاعة تبريدية حجمية منخفضة.

■ كثافة بخار الماء وكتلته النوعية عند درجات الحرارة هذه صغير جداً، وهذا يؤدي إلى تدفق حجمي كبير، والذي يتطلب ضواغط ذات تدفق حجمي كبير من أجل استطاعة عالية.

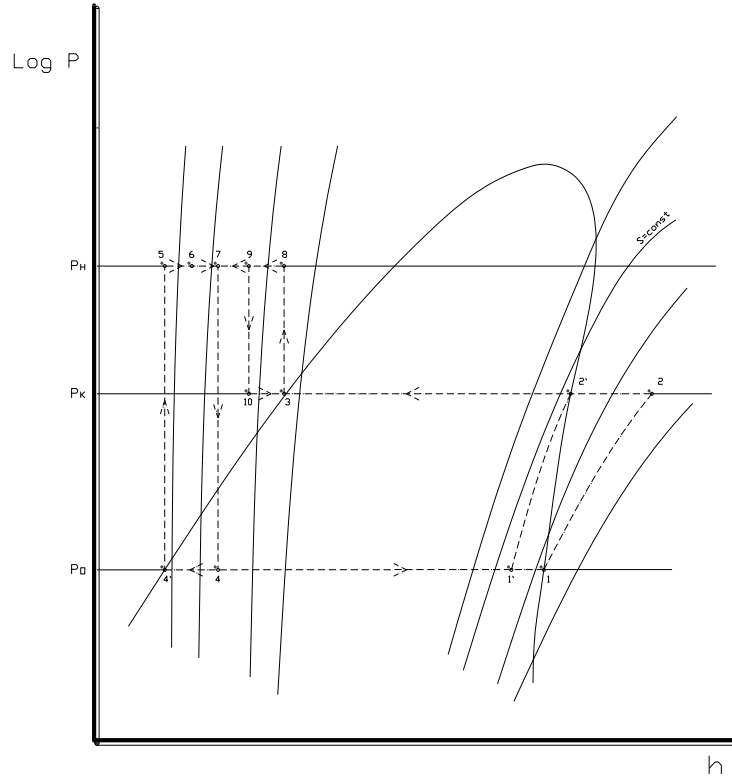
■ إمكانية الربط، أي المزج، ما بين الجريانات الخارجية للماء للمستهلك الحراري والمنبع الحراري (دارات التبريد العاملة على الماء) وتيار وسيط التبريد الداخلي، حيث أن الماء ناقل للبرودة (المبخر) والحرارة (المكثف) في دارات التبريد.

تمثيل الدارة وسير العملية الترموديناميكية:

يوضح الشكل (1) دارة مضخة حرارية عاملة على بخار الماء لغرض التدفئة مع كافة التجهيزات وتمثيلها على مخطط  $\log p-h$  وفقاً للشكل (2)



الشكل (1) تمثيل دارة المضخة الحرارية الانضغاطية العاملة على الماء



الشكل (2) تمثيل دائرة المضخة الحرارية على مخطط  $\log p-h$

- 2-1- ضغط بخار الماء من  $P_0 \Leftarrow P_c$  إجراء إيزونتروبي في الضاغط RV
- 3-2- إجراء عملية التكاثف في المكثف DV عند  $P_c$
- 3-8- دفع مياه التكاثف إلى المستهلك الحراري عبر المضخة DP
- 8-9- المستهلك الحراري  $W_s$
- 9-10- تمدد مياه المستهلك الحراري إلى ضغط التكاثف
- 7-9- عودة مياه المستهلك إلى صمام التمدد عبر المضخة DP
- 4-7- تمدد الماء المتكاثف في صمام التمدد
- 4-1- تبخر الماء كوسيط تبريد في المبخر DV
- 4-4- تبريد الجزء المتبقي من الماء متجهاً نحو المنبع الحراري
- 4-5- دفع الماء ذي الطور السائل إلى المنبع الحراري WQ عبر DP
- 5-6- تسخين الماء في المنبع الحراري WQ
- 6-7- تسخين الماء ليمتزج مع الماء القادم من المكثف NCG-P مضخة تفريغ الغازات من المكثف DK

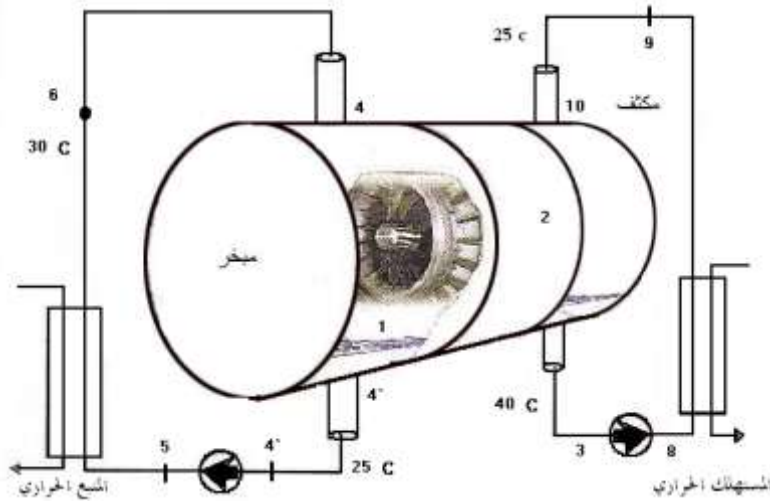
يتمدد الماء المتدفق الذي هو وسيط التبريد العامل في الدارة من ضغط النقطة 7 إلى 4 متجهاً نحو المبخر المباشر DV عنده يتبخر جزء من هذا التيار أخذاً كمية حرارة من النقطة 4 إلى 1 ويبرد السائل المتبقي من النقطة 4 وحتى 4.

إن تغير حالة بخار الماء من 4 إلى 1 يتم عند ضغط ثابت، حيث أن الضغط  $P_0$  ضغط التبخر قيمته تحت الضغط الجوي والذي يحدد درجة حرارة الغليان لوسيط التبريد (تبخر الماء).  
عند عملية الغليان (التبخر) تتفصل الجزيئات السريعة متجهة إلى فوهة امتصاص الضاغط حيث يمتصها الضاغط RV النقطة 1.

يغادر تيار الماء السائل غير المتبخر المبخر بدرجة حرارة الغليان  $t_0$  (النقطة 4).  
يتجه هذا السائل إلى المنبع الحراري (WQ) النقطة 5 وذلك بمضخة دفع ميكانيكية (تحت ضغط المنبع الحراري).

في المبخر المباشر DV يتم فصل سائل التغذية ناقل البرودة، وسيط التبريد (بخار الماء) حيث يمكننا القول بأنه بوجود مبخر مباشر جزئي.

يتم ضغط تيار بخار الماء من النقطة 1 إلى ضغط المكثف النقطة 2 بواسطة ضاغط مكبسي أو توربيني بإجراء إيزونتروبي، هذا الضغط يطابق ضغط الإشباع لدرجة مياه التدفئة في حال تشغيل المضخة الحرارية.  
إن الكتلة النوعية المنخفضة جداً لبخار الماء والناتج عنها تدفق حجمي كبير، يتطلب استخدام ضواغط ذات تدفق حجمي كبير، وخاصة الضواغط الدائرية (القطرية) التروبينية كما هو في الشكل (3) (تابع النقاط على الشكلين (1) و(2)).



الشكل (3) يوضح الضاغط التوربيني مع المكثف والمبخر والمنبع الحراري والمستهلك الحراري

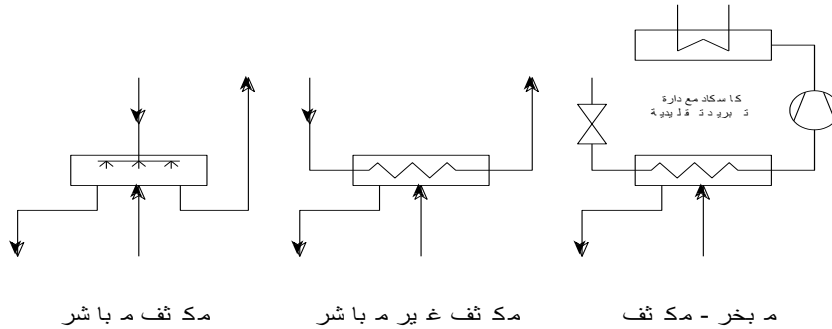
تتم عملية التكاثف بالمكثف DK بإجراء إيزوباري  $P_c = ct$  والتي يتم عندها طرد كمية حرارة التكاثف، بالإضافة إلى الحرارة المنتزعة بالإجراء 2-3 وذلك بعد التخلص من فقاعات الهواء والغازات غير المتكاثفة الناتجة عن عدم إحكام الدارة، يتم هذا بواسطة مضخة تفريغ الغازات (NCG-P).

نلاحظ في الشكل (1) أن المكثف المباشر DK يعمل كمكثف مزجي، مزج بخار الماء مع مياه شبكة المستهلك (التدفئة) WS حيث يتم مزج البخار المضغوط ذي النقطة 2 بضغط التكاثف مع تيار التدفئة WS النقطة 10 أو التيار الراجع لدارة مياه التبريد، حيث ترتفع درجة حرارة تيار الماء المتكاثف ذي النقطة 3.

يجب أن تتمدد مياه شبكة التسخين (التدفئة) من ضغط الشبكة  $P_N$  إلى ضغط الإشباع لدرجة حرارة التكاثف

من النقطة 9 إلى 10 أي من الضغط  $P_N$  إلى  $P_C$ .

بعد الاستفادة من حرارة التكاثف تعاد المياه إلى ضغط الشبكة، النقطة 8 بمساعدة مضخة ميكانيكية DP. في الدارة المغلقة لجريان المياه الخارجية (مياه شبكة المستهلك)، يجب عودة البخار المتكاثف إلى الدارة، أو تصريفه إلى الخارج، بالإضافة إلى المكثف المباشر. وهناك شكلان لأنواع المكثفات المستخدمة في هذه الدارات، كما هو مبين في الشكل (3).



الشكل (3) أشكال تصميم المكثف المستخدم في دارات التبريد العاملة على الماء

يمكن أن يزود المكثف غير المباشر بسطح تبادل حراري، وذلك لفصل التيار الخارجي للمياه عن الداخلي (في الدارة) هذا يؤدي لرفع نسبة الانضغاط، وبالتالي رفع ضغط الإشباع ودرجة حرارة الإشباع والتي ينتج عنها رفع دقة عمل المكثف غير المباشر.

يمكن تحقيق فرق درجات حرارة كبير  $\Delta T$  عند نسبة انضغاط صغيرة ومنخفضة، وذلك من خلال حالة التشغيل المزدوج والمعروف باسم (Cascade) كاسكاد لبخار الماء مع آلة تبريد تقليدية.

نسبة الانضغاط هذه لدارة التبريد التقليدية ودارة بخار الماء، في هذه الحالة يعمل المكثف عملياً (كمبخر ومكثف).

تمكنا حالة التشغيل المزدوج هذه في مجال تقنية التبريد الاستخدامات التالية:

■ استخدام الماء كوسيط تبريد في دارات التكييف، وذلك باستخدام دارة تبريد تقليدية مع دارة تبريد عاملة على الماء كوسيط تبريد.

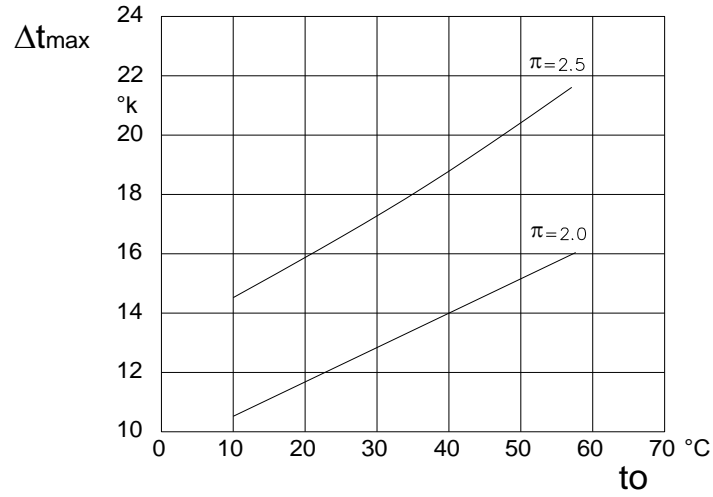
وذلك بنسبة انضغاط منخفضة ودرجات حرارة عالية ومرتفعة، حسب الطلب، لإعطاء كمية الحرارة المطلوبة خلال المكثف لآلة الكاسكاد مع آلة التبريد التقليدية.

صنع مثل هذه الآلات في ألمانيا في المعهد العالي للتبريد والتهوية وهي قيد الاختبار والتجارب.

#### وحدات متعددة المراحل:

يمكن تحقيق نسبة انضغاط أعظمية لكل ضاغط  $2,5 \dots 2$  من أجل تحقيق فرق درجات حرارة

أعظمي  $\Delta T_{max} = 10 \dots 21 K$  وذلك كما هو مبين في الشكل (4)



الشكل (4) فرق درجات الحرارة الأعظمي  $\Delta TH \max$  للماء كوسيط تبريد كتابع لدرجات حرارة التبخر  $t_0$

من أجل تحقيق فرق درجات حرارة كبير ما بين درجة حرارة التبخر والتكاثف، يجب استخدام ضواغط متعددة المراحل.

في حالة الوحدات متعددة المراحل، كما هو معروف، ينخفض عمل الانضغاط وبالتالي درجة حرارة نهاية الانضغاط لكل المراحل.

هذه الوحدات تستعمل المبردات البيئية، ما بين مراحل الانضغاط.

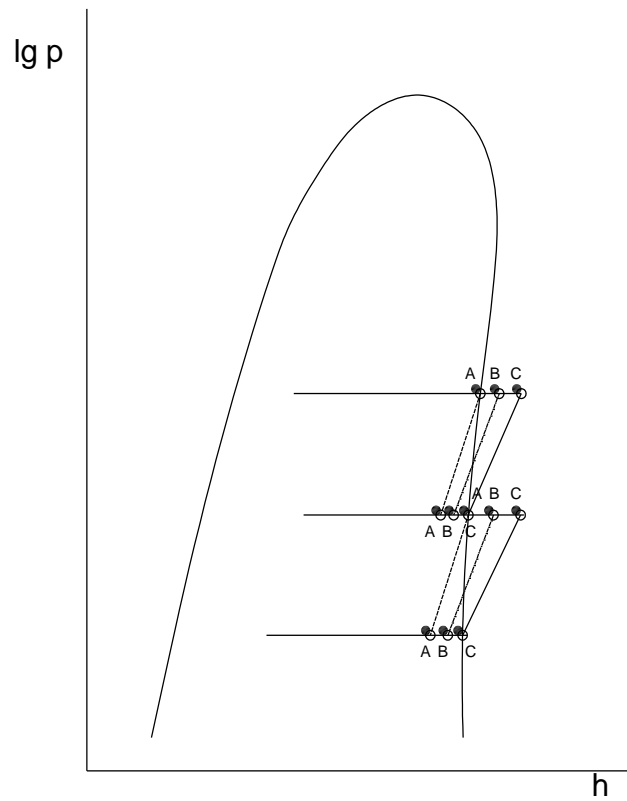
يمكن تحقيق التبريد البيئي كما يلي:

■ مبادل حراري.

■ باستعمال رش ماء

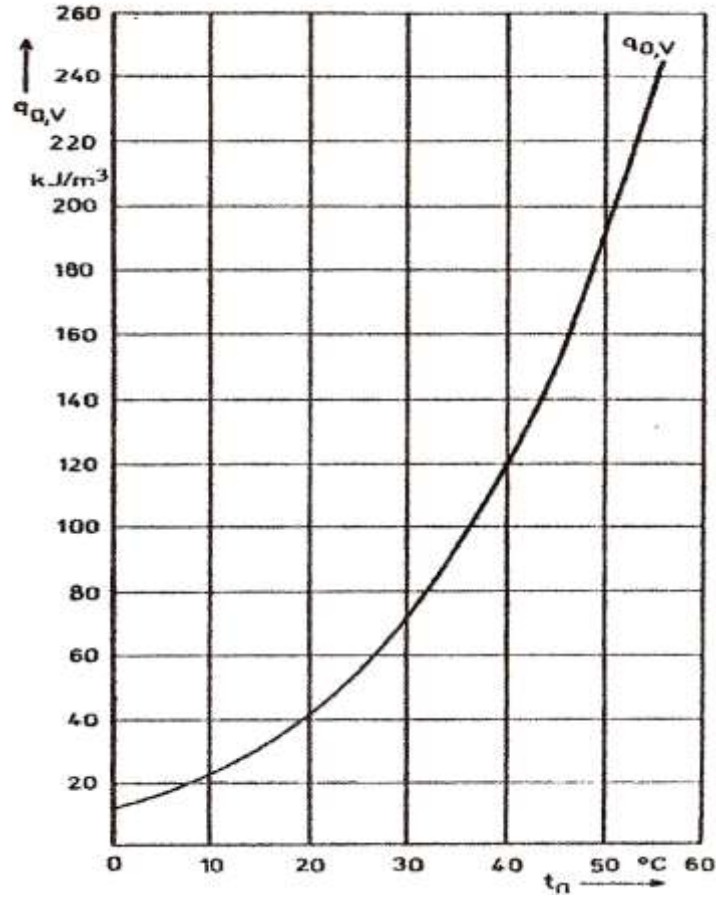
يوضح الشكل (5) إمكانية تشغيل الدارة مع مبرد بيئي





الشكل (5) نماذج دورة التبريد مع مبرد بيئي

عمل المبرد البيئي معروف، حيث البخار الجاف والمحمص الخارج من الضاغط يبرد إلى منحني الإشباع كما هو مبين في الشكل (5) حيث أن /2/ يشرح عملية تزيذ الماء في المبرد البيئي. إن المشكلة الواضحة في دارات التبريد والمضخات الحرارية العاملة على الماء كوسيط تبريد، هي ارتفاع قيمة الحجم النوعي لبخار الماء، والذي يؤدي إلى انخفاض الاستطاعة التبريدية الحجمية إلى نسبة حوالي 10% بالمقارنة مع دارات التبريد التقليدية، كما هو مبين في الشكل (6).



الشكل (6) استطاعة التبريد الحجمية لبخار الماء كتابع لدرجة حرارة الغليان  $t_0$

يتم تحقيق وحدات المضخات الحرارية ذات الاستطاعة الكبيرة والتي تحتاج إلى تدفق حجمي كبير بتجزئة هذا التدفق إلى تدفقات جزئية على التوازي؛ أي وصل ضواغط على التوازي لتحقيق التدفق الحجمي المطلوب، وذلك للحصول على درجات الحرارة المرتفعة المنشودة (في المضخة الحرارية).

بعد كل مرحلة انضغاط هناك حالتان لعملية ربط الضواغط على التوازي:

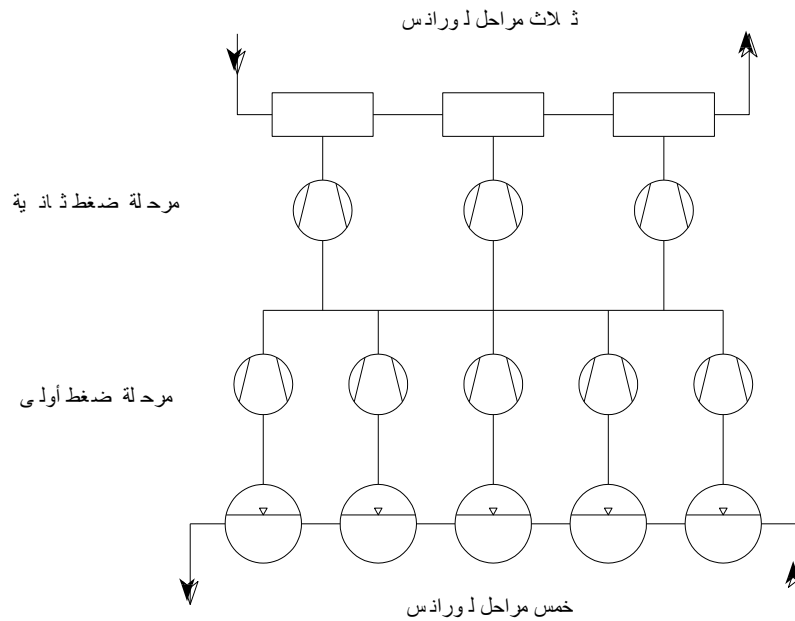
■ عند استخدام ضواغط متساوية في الاستطاعة ، ينخفض عدد الضواغط المربوطة على التوازي.

■ عند استخدام ضواغط غير متساوية الاستطاعة يصغر حجم الضاغط لكل مرحلة.

هناك ميزة أخرى لعملية الربط على التوازي للضواغط، عندما يكون المجال الحراري  $\Delta t > 5k$  للجريانات

الخارجية لدارة التبريد.

توصل هذه الضواغط مربوطة على التسلسل مع المبخرات والمكثف ، وهذا يعطي مجالاً حرارياً كبير الناتج عن مجالات حرارية جزئية (نتيجة وصل المبخرات والمكثفات على التسلسل) والذي يؤدي إلى التقارب من دارة لورنس (التي تعطي مجالاً حرارياً عريضاً، بحيث أن التكاثر والتبخير لوسيط التبريد يتمان عند التدرج في الحرارة، وليس بإجراء إيزوباري)، كما هو واضح بالشكل (7) وبهذا يمكن التمييز ما بين مراحل الضغط المتعددة ودارة لورنس.



الشكل (7) عملية التشغيل بمراحل ضغط وضواغط متعددة والتقارب من دائرة لورنس (مراحل لورنس)

### النتائج والمناقشة:

• الدراسة الحرارية الترموديناميكية التحليلية للمضخة الحرارية العاملة على الماء كوسيط تبريد ومقارنتها تم في هذا البحث وضم نموذج رياضي حسابي لدراسة نظام تدفئة باستخدام دائرة مضخة حرارية تعمل على الماء كوسيط تبريد، وعدة وسائط مثل الامونيا R123,R290,R134a , R717

وفقا للشروط التالية :

- الشروط الحرارية والهندسية التصميمية للدراسة :
- أ- خواص الضواغط التوربينية لبخار الماء كما يلي:
  - سرعة تدفق بخار الماء ( m/sec) 500 – 600
  - تدفق بخار الماء كوسيط تبريد (m<sup>3</sup>/sec) 2300
  - عند استطاعة تبريدية 10(KW)
  - قطر توربينة الضاغط الدوارة (m) 1-1,2
  - عدد دورات التوربينة ما بين 5500 – 10000 (Rpm) دورة في الدقيقة.
- ب - الخواص الحرارية لدائرة المضخة الحرارية :
  - درجة حرارة غليان وسيط التبريد الماء ( C ) 3 ° - - - 25 = t<sub>o</sub>
  - عند ضغط غليان وسيط التبريد ( kpa) 8 - - - 2.316 = P<sub>o</sub>
  - درجة حرارة تكاثف وسيط التبريد ( ° C ) 90 - - - 40 = t<sub>c</sub>
  - عند ضغط تكاثف وسيط التبريد ( kpa) 48 - - - 7.374 = p<sub>c</sub>
  - زيادة تسخين بعد المبخر لدارات الفريونات بمقدار (15C<sup>0</sup>)

المواصفات الحرارية الأخرى:

$$q_H = 10 \text{ MW} \text{ استطاعة التدفئة اللازمة.}$$

$$\text{معامل البلوتروب} = 1.139$$

$$\eta_m = 0.83 \text{ المردود الميكانيكي}$$

$$\eta_{el} = 0.98 \text{ المردود الكهربائي}$$

$$\eta_i = 0.74 \text{ المردود الداخلي}$$

المضخة الحرارية ماء/ ماء تعمل على R22 وبمرحلة انضغاط واحدة

$$q_c = q_H * 1.1 = 10 * 1.1 = 11 \text{ MW} \text{ استطاعة المكثف اللازمة}$$

ركزت الدراسة في هذا البحث على المضخات الحرارية من أجل الاستفادة من درجة التكاليف العالية.

تمت دراسة وحساب عدة وحدات للمضخة الحرارية، بمرحلة وعدة مراحل، وأجريت الدراسة الحرارية

والترموديناميكية وفقاً لمراجع علم انتقال الحرارة والترموديناميك المعروفة /3/، /4/، /5/، /6/ .

الطريقة الحسابية :

• حساب معامل الأداء الحراري للمضخة الحرارية:

$$\varepsilon_{HP} = q_c / W$$

$$\varepsilon_C = q_{eva} / W$$

حيث أن :

$$q_{eva} = m_o * (h_1 - h_4) \text{ استطاعة المبخر}$$

$$q_c = m_o * (h_2 - h_3) \text{ استطاعة المكثف}$$

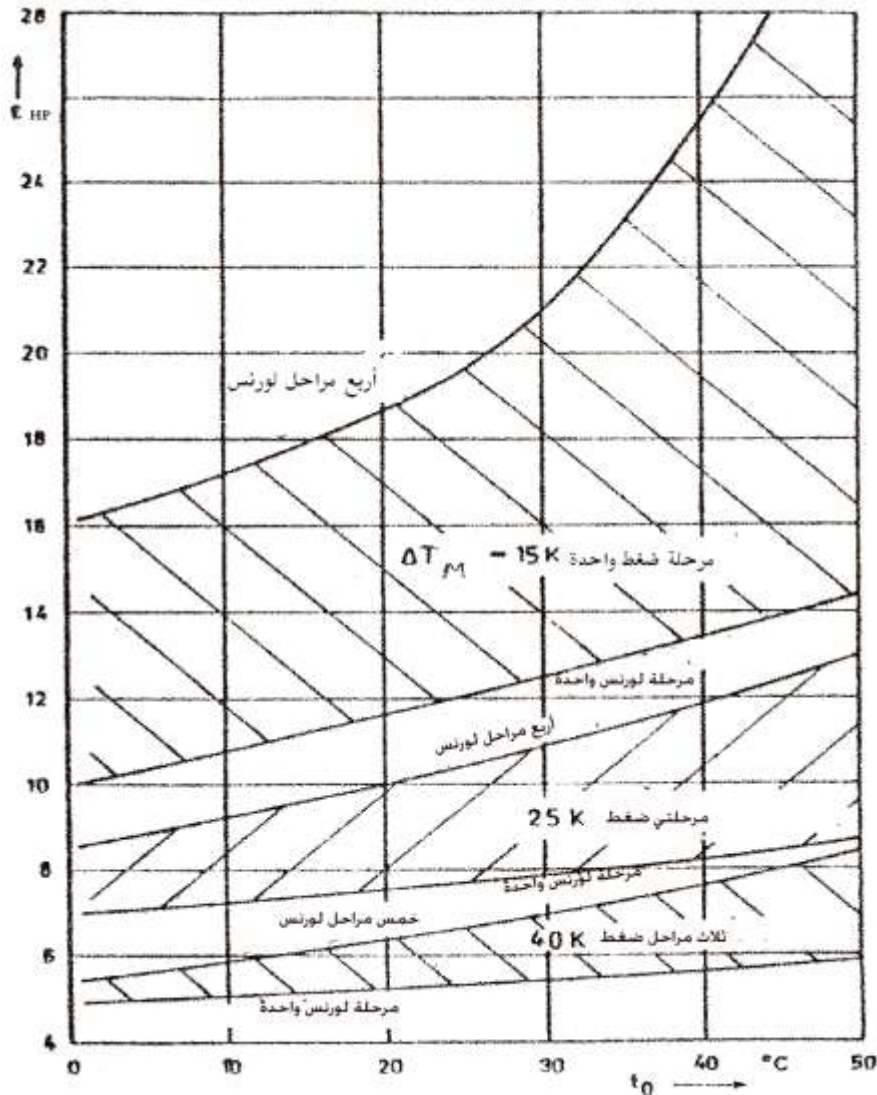
$$W = m_o (h_2 - h_1) \text{ عمل الضاغط}$$

$$h \text{ (kJ/kg)} \text{ انتالبي النقطة}$$

$$m_o \text{ (kg/s)} \text{ تدفق بخار الماء كوسيط تبريد}$$

تم حساب عدة أمثلة لحالات استخدام مختلفة عند شروط وبارامترات متغيره مثلت نتائج الحسابات والدراسة في

الشكل (8)

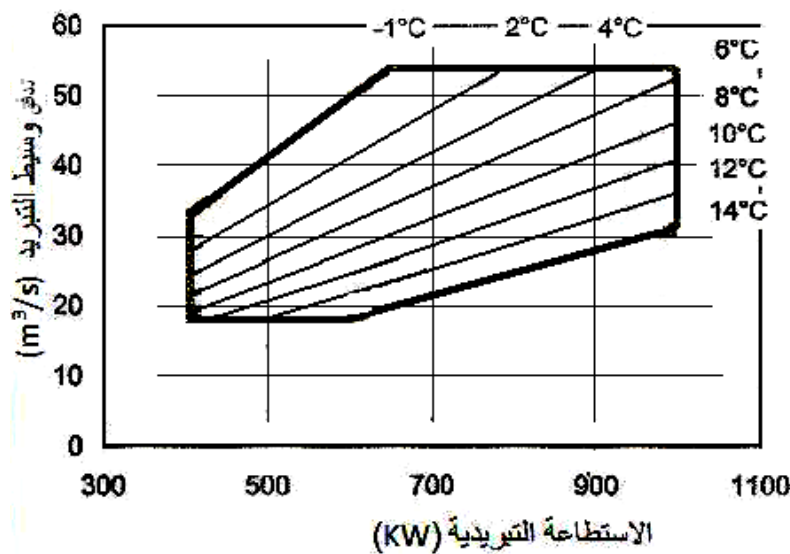


الشكل (8) معامل الأداء لدارة مضخة حرارية، تعمل على الماء كوسيط تبريد، كتابع لدرجة الغليان  $t_0$  من أجل مراحل ضغط مختلفة، مراحل لورنس، و فرق درجات حرارة متغيرة ما بين المنبع الحراري والمستهلك (المأخذ)

حيث معامل الأداء  $\epsilon_{HP}$  كتابع لدرجة الغليان (غليان الماء) من أجل فروقات درجات حرارة متغيرة  $\Delta t_m$  وهذا يؤدي إلى مراحل ضغط مختلفة.

من أجل كل حالة لـ  $\Delta t_m$  تمت دراسة ربط المبخرات والمكثفات حتى قيمة الربط الأعظمي، وهو خمس مراحل (خمس مبادلات حرارية) مربوطة على التسلسل من أجل التوصل لمجال حراري كبير (مجال تسخين - أو تبريد) ومقارنتها مع مراحل لورنس، سواء للمبخر أم للمكثف، إذا قورنت نتائج هذه الدراسة مع الأداء للمضخات الحرارية التقليدية العاملة على وسائط تبريد الفريونات FCKW المعروفة، نلاحظ بأن معامل الأداء لهذه الدراسة أعلى بـ 50%، حيث أن المقارنة تمت عند نفس الشروط وعدد مراحل لورنس المعتبرة.

أنجزت الدراسة خلال برنامج حاسوبي، والشكل (9) يعطي إسقاط النتائج الحاسوبية على المخطط الذي يمثل مجال درجات حرارة التبخر وفقاً لكمية تدفق بخار الماء والاستطاعة التبريدية الناتجة.



الشكل (9) يبين مجال استخدام دارات التبريد العاملة على الماء وتدفق بخار الماء كتابع للاستطاعة التبريدية عند درجات غليان مختلفة

كما قورنت مع وسائط تبريد أخرى مثل الأمونيا و R1344 و R123 و R290 والجدول (1) يبين نتائج هذه

المقارنة:

الجدول (1) النتائج الحسابية لدارة مضخة حرارية (مرحلة واحدة) تعمل على الماء R718

كوسيط تبريد ومقارنتها مع فريونات متعددة

| معامل الأداء | عمل الضاغط النوعي KJ/Kg | الاستطاعة التبريدية النوعية KW | نسبة الانضغاط - | التدفق الحجمي النوعي $m^3/s$ | الحجم النوعي $m^3/kg$ | ضغط التكاثف kpa | ضغط التبخر kpa | وسيط التبريد |
|--------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------|-----------------|----------------|--------------|
| 11,7         | 213                     | 2,492                          | 5,85            | 277,3                        | 157,3                 | 48              | 8              | R 718        |
| 12,7         | 98                      | 1,246                          | 2,49            | 0,7                          | 0,251                 | 12,388          | 4,983          | R 717        |
| 11,0         | 18                      | 196                            | 2,41            | 1,1                          | 0,060                 | 8,154           | 3,378          | R 134a       |
| 11,4         | 16                      | 180                            | 3,01            | 7,6                          | 0,377                 | 1,176           | 391            | R 123        |
| 10,9         | 34                      | 367                            | 2,12            | 0,8                          | 0,085                 | 11,328          | 5,350          | R 290        |

الأسباب التي أدت إلى زيادة الفعالية الحرارية والطاقيّة للمضخات الحرارية العاملة على بخار الماء هي:

- إن بخار الماء الممتص في الدارة، ومراحل الانضغاط المتعددة، بالإضافة إلى ترزيز المياه في المبرد البيئي ما بين المراحل، يؤدي إلى خفض الضياعات الحرارية، وبالتالي الاقتراب من الإجراء العكوسي المثالي.
- من جراء الجريان المباشر لوسيط التبريد الداخلي والجريان الخارجي في المبخر والمكثف المباشر، ينتج فرق بدرجات الحرارة بينهما، يساوي الصفر، إذا ما قورن هذا الفرق في الجريانات المنفصلة (للمبخر والمكثف) للدارات التقليدية والتي يساوي عادة  $\Delta t=5$ .

من جراء وصل عدة مبادلات حرارية مبخرات، مكثفات على التسلسل، أدى هذا إلى التقارب من دارة لورنس،

والتوصل لمجال حراري كبير

**الاستنتاجات والتوصيات:**

- إن دارات التبريد العاملة على الماء، كوسيط تبريد، تتميز بأن معامل الأداء الحراري  $\epsilon_{HP}$  يزيد بحوالي 50% بالمقارنة مع معامل الأداء للمضخات الحرارية التقليدية العاملة على الفريونات ومعامل الأداء التبريدي  $\epsilon_c$  بحوالي 65% بالإضافة إلى ذلك، حماية البيئة من تخريب طبقة الأوزون وغازات CO2، حيث أن معامل تخريب طبقة الأوزون يساوي الصفر، بالإضافة إلى معامل البيت الزجاجي أيضا يساوي الصفر.
- ولكن مساوئ هذه الدارات العاملة على الماء، الحد من درجات الغليان، والتي أصغرها بشكل نظري يساوي الصفر. ولكن حالياً توجد وحدات تبريد تعمل عند  $t_0=6C$  درجات حرارة غليان الماء وباستطاعات تبريدية كبيرة تبلغ حتى 1MW. في ألمانيا بمدينة درسدن، ولكن من مساوئها الكلفة المرتفعة.
- يوصى بالمزيد من متابعة البحث، وإجراء الاختبارات العملية والتجريبية في جامعة دمشق لما تقدمه هذه الدارات من توفير في الطاقة وحماية البيئة.

**الرموز والمصطلحات:****الرموز:**

|                               |        |                 |
|-------------------------------|--------|-----------------|
| الأنتالي                      | KJ/g   | h               |
| ضغط المبخر                    | KPa    | $P_{eva}$       |
| ضغط المكثف                    | KPa    | $P_c$           |
| ضغط الشبكة                    | KPa    | PN              |
| درجة حرارة غليان وسيط التبريد | C      | $t_{eva}$       |
| درجة حرارة تكاثف وسيط التبريد | C      | $t_c$           |
| تدفق وسيط التبريد             | Kg/Sec | $m_o$           |
| معامل الأداء الحراري          | -      | $\epsilon_{HP}$ |
| معامل الأداء التبريدي         | -      | $\epsilon_c$    |

**المصطلحات:**

|                |       |
|----------------|-------|
| مبخر           | Dv    |
| مكثف           | Dk    |
| ضاغط           | Rv    |
| منبع حراري     | Wq    |
| مستهلك حراري   | Ws    |
| مضخة ميكانيكية | Vp    |
| مضخة تفريغ     | NCG-p |

## المراجع:

1. PAUL, J. *Wasser als kaltemittel fur kuhlanlagen, Warrnepurnpen und Abwarrnekraft. Luft und kallettechnik*,27,1991, 1.S.15-25
2. TOLLE, A.; ERKELENS. *Wasser als kaltemittel in kompressions warrnepumpen. Brennstill - Warrne-kraft* 33 ,1981, 714 s.324-328.
3. VDI-Warrneatlas. *Dusseldorf: VDI – Verlag*, 2006
4. ASHRAE 2005
5. COUBE. *Handbuch der kalettechnik, Heidelberg C.F. verlag* 1999
6. HEINRICH, G.; NAJORK. H; NESTLER, W; *Warrnepumpensanwendlung in der Industrie, Landwirtsdafts Gesellschafts- und Wohnungsbau Heidelberg CF. verlag* 1999