

التحليل الطاقى لدارة تبريد ثنائية المرحلة في معمل ألبان دمشق

الدكتور عاطف عامر*

(تاريخ الإيداع 27 / 4 / 2014. قُبل للنشر في 16 / 6 / 2014)

□ ملخص □

إن الهدف من هذا البحث هو إجراء دراسة لواقع عمل محطة تبريد ثنائية المرحلة في معمل ألبان دمشق، و ذلك من أجل تحديد الضياعات لكل عنصر من عناصر هذه المحطة بحيث يمكن تلافي هذه الضياعات ورفع معامل أداء دارة التبريد، والتقليل من المصاريف الطاقية، و الوصول إلى نظام العمل التصميمي الأمثل .
تم وضع طريقة لحساب معامل أداء الدارة وضياع الاكسرجي وكذلك وضع برنامج حاسوبي. وتمت مقارنة نتائج الحساب اليدوي بالبرمجيات الموضوعية. فكانت نتائج الحساب اليدوي متطابقة مع نتائج البرنامج و توصلنا إلى أنه أكبر نسبة ضياع في الاكسرجي هي في الضاغط ثم في المبخر و اخيراً في المكثف التبخيري. تم اقتراح حلول عملية من أجل تخفيض نسبة هذه الضياعات.

الكلمات المفتاحية: دارة تبريد ثنائية المرحلة - التحليل الحراري - ضياع الاكسرجي - معامل الأداء

* مدرس - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

Energy Analysis of Two-Stage Refrigeration System at Dairy Factory in Damascus

Dr. Atef Amer*

(Received 27 / 4 / 2014. Accepted 16 / 6 / 2014)

□ ABSTRACT □

The main objective of this paper is to analyze the energy performance of a two-stage refrigeration system at Dairy Factory at Damascus and define the losses in each element of the station in order to pinpoint the most energy inefficient part. We have worked on eliminating the losses and increased the Coefficient of Performance (COP) of the two-stage cycle and reduced the energy consumption in the system.

We have put together a method to compute the COP and Exergy and compare the results with a home-made program based on the previous method. We have concluded that the compressor was the most energy consuming device, evaporator second and condenser third. We have recommended practical solutions for the losses in the system.

Keyword: Two-stage cycle– Energy analysis– Exergy losses– Coefficient of performance (COP)

*Assistant Professor, Mechanical and Electrical Engineering College, Damascus University, Damascus , Syria

مقدمة:

يستخدم في الوقت الحاضر مفهوم معامل الأداء η_{COP} لتقييم فعالية محطات التبريد، وهو يعطينا فكرة عامة عن أداء المحطة، دون تقييم أداء كل عنصر من عناصرها. يزودنا التحليل من خلال مفهوم الاكسرجي (قانون الترموديناميك الثاني) بأداة نافعة في المحاكاة والتحليل الترموديناميكي لأنظمة التبريد، ويمثل هذا التحليل الترموديناميكي لنظام عمل محطات التبريد أحد التوجهات في توفير الطاقة [1-2-3].

عبر [4]Kotas (1985) عن الاكسرجي بأنه معيار نوعية الطاقة، وهو مساوٍ إلى العمل الأعظمي النافع الذي يمكن الحصول عليه من الطاقة المقدمة باستخدام درجة حرارة وضغط الوسط الخارجي للمقارنة. إن وظائف التحليل الترموديناميكي من خلال الاكسرجيتودي إلى تبيان ضياعات الطاقة في كل عنصر من عناصر الدارة، ويعد معالجة المعلومات التي نحصل عليها من خلال هذا التحليل، يمكن العمل على تلافي هذه الضياعات من خلال توازن الاكسرجي للدارة ككل. إن الاجراءات التي تتم في محطات التبريد هي اجراءات حقيقية يرافقها ضياعات ناتجة عن اللاعكوسية وهذا يعني بأن جزء من الطاقة المقدمة إلى الدارة التي يمكن أن ينتج عنه أثر نافع لا يتم استخدامه. إن تقييم الفعالية الطاقية للأجهزة المستثمرة في دارات التبريد ممكن من خلال مفهوم مردود الاكسرجي والذي يبين درجة اقتراب نظام عمل محطة التبريد من المثالي [5].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في وضع طريقة للتحليل الترموديناميكي والاكسرجي لدارة تبريد ثنائية المرحلة في معمل ألبان دمشق، من خلال أخذ قياسات من واقع عمل الدارة، ودراسة الضياعات الحاصلة في عناصر دارة التبريد بمساعدة برنامج حاسوبي، واقتراح الحلول المناسبة للتقليل من هذه الضياعات، بهدف تحسين أداء دارة التبريد والوصول إلى نظام التشغيل الأمثل للدارة.

طرائق البحث ومواده:

في بداية مرحلة البحث كان لابد من متابعة ومراقبة عمل دارة التبريد وأخذ القراءات على الواقع وكذلك تأسيس طريقة إجراء البحث. ومن أجل الوصول لهدف البحث قمنا بإتباع الخطوات التالية:

- وضع طريقة عامة للحساب الحراري والاكسرجي لكافة عناصر محطة التبريد.
- برمجة طريقة الحساب من أجل إيجاد مؤشرات الفعالية الطاقية لنظام عمل الدارة، وذلك باستخدام برنامج Engineering Equation Solver \EES\ نسخة 9.654 لعام 2011 في التحليل الطاقوي والاكسرجي لدارة التبريد ثنائية المرحلة.

• إجراء الحساب اليدوي ومن ثم مقارنته مع نتائج الحساب من خلال البرنامج ومن ثم إجراء تجربة عددية وإثبات صحة البرنامج الذي تم وضعه.

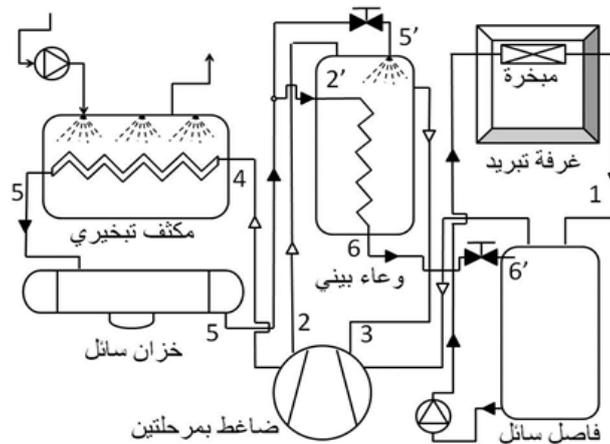
مواصفات الدورة التبريدية ثنائية المرحلة:

يتم في دارة التبريد ثنائية المرحلة دورة عكوسة مع تبريد بيني كامل لبخار وسيط التبريد بعد انضغاطه في اسطوانات مرحلة الضغط المنخفض حتى الضغط البيني ومن ثم يدخل إلى اسطوانات مرحلة الضغط العالي ويتم انضغاطه حتى ضغط التكاثف وقسم من سائل وسيط التبريد الخارج من المكثف يدخل صمام التمديد المساعد ويتم خنقه حتى ضغط ودرجة الحرارة وذلك في الوعاء البيني ونتيجة ذلك يتم زيادة تبريد سائل وسيط التبريد المار في وشيعة الوعاء البيني حتى 4-5 درجات أعلى من درجة حرارة الوعاء البيني و من ثم يتم خنق وسيط التبريد في صمام التمديد الرئيسي حتى ضغط ودرجة حرارة التبخر .

تتألف دارة التبريد في معمل ألبان دمشق كما في الشكل (1) حيث أخذنا مخطط لدارة رمزية ثنائية المرحلة من العناصر الرئيسية التالية:

- ضاغط من شركة SABROE - YORK نموذج TSMC1085 ذو استطاعة تبريدية 86.4 kW عند درجة حرارة تبخر -27°C ودرجة حرارة تكاثف 35°C عدد الاسطوانات 8 حيث 6 اسطوانات تعمل عند ضغط منخفض و 2 اسطوانة عند ضغط عالي. وسيط التبريد المستخدم هو أمونيا NH_3 .
- استطاعة المحرك الكهربائي 45 kW وعدد دوراته 1295 r.p.m .
- المكثف- تبخيري تصميم شركة Baltimore البلجيكية نموذج Vxc72 مصمم على درجة حرارة تكاثف 35°C ودرجة حرارة رطبة $+ 24^{\circ}\text{C}$.

- مضخة المكثف تدفق $100 - 800 \text{ l}/\text{min}$ وارتفاع $H = 3 + 10m$ استطاعة كهربائية 0,75 kW وعدد دورات 2900 r.p.m الوعاء البيني نموذج CM-800 على شكل اسطوانة قطر 8×800 وحجم $V=4.5 \text{ m}^3$ صناعة شركة ZORA البلغارية، فاصل السائل ذو حجم 3 m^3 صناعة شركة ZORA البلغارية. والمبخرات نموذج BE200.1 صناعة شركة ZORA البلغارية. سطح التبادل الحراري 203 m^2 عدد المراوح 2، الاستطاعة الكهربائية لكل مروحة 1,5 kW وتدفق الهواء $6500 \text{ m}^3/\text{h}$ ، ومعامل الانتقال الحراري الكلي $12 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$.
- مضخة أمونيا لتأمين توزيع الأمونيا إلى المبخرات حيث تؤمن زيادة في الضغط دون التأثير على درجة حرارة وسيط التبريد ونموذج المضخة CAM 1/5 ألمانية الصنع ذو غزارة $1.8 \text{ m}^3/\text{h}$ وارتفاع 40m.



الشكل (1) مخطط رمزي لدارة تبريد ثنائية المرحلة لمعمل ألبان دمشق

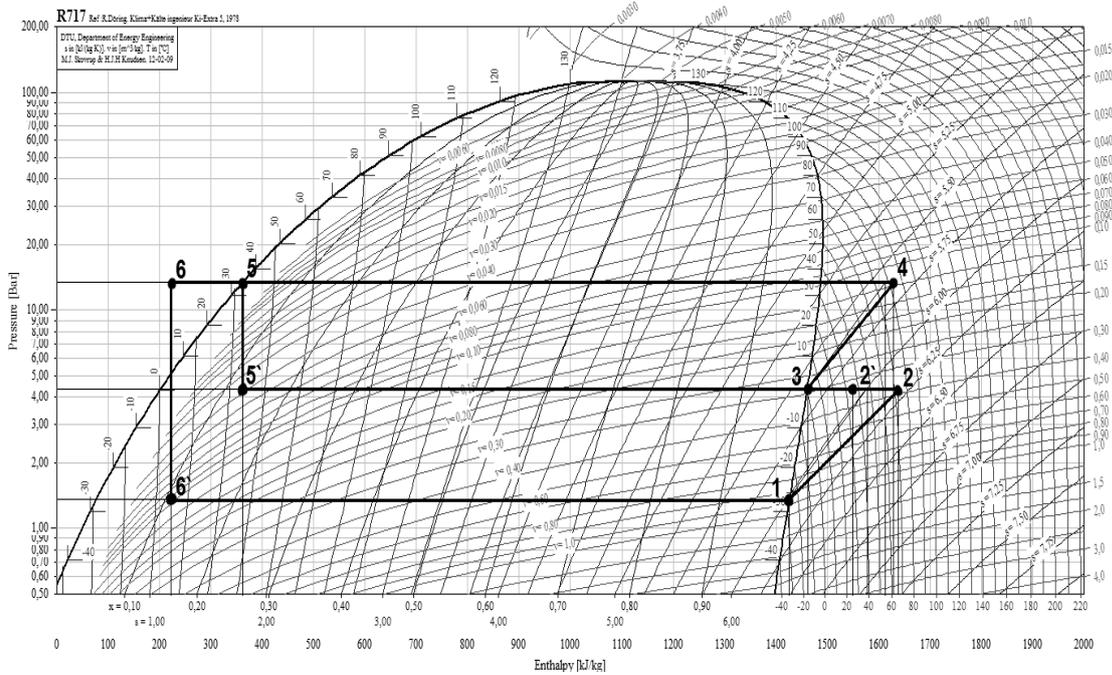
يتم الحساب الحراري لدارة التبريد عند الشروط التصميمية للدارة وهي:

درجة حرارة تكاثف وسيط التبريد 35°C

درجة حرارة غليان وسيط التبريد -27°C

درجة حرارة هواء غرف الحفظ المجمد -22°C

المرود الايزوانتروبي للضاغط 0.65



الشكل (2) تمثيل دارة التبريد ثنائية المرحلة على مخطط Lg P-h

من جداول وسيط التبريد ومخططاته نوجد النقاط الأساسية لدارة التبريد ثنائية المرحلة:

الجدول (1) بارامترات وسيط التبريد في الدارة

النقاط	P[kpa]	T[°C]	H[kJ/kg]	S[kJ/kg.K]
1	137,9	-27	1428	6,015
2	431,6	75.57	1661	6.21
2'	431,6	35	1550	5,92
3	431,6	0,127	1462	5,619
4	1351	88.29	1642	5.669
5	1351	35	366	1,567
5'	431,6	0,127	366	1,608
6	1351	5,127	224	1,088
6'	137,9	-27	224	1,126

التحليل الطاقى لدارة التبريد ثنائية المرحلة:

تتم الحسابات لكل عنصر على حدة بحسب الخطوات الآتية [3-6]:

1. الانتاجية التبريدية النوعية لوسيط التبريد:

$$q_{0c} = h_1 - h_{6'} = 1203 \text{ [kJ/kg]}$$

2. كمية وسيط التبريد التي يتم انضغاطها في الدارة:

$$1 + \alpha = 1.1$$

3. كمية الحرارة التي يطرحها المكثف:

$$q_{cond} = (1 + \alpha) \cdot (h_4 - h_5) = 1393 \text{ [kJ/kg]}$$

4. كمية الحرارة التي يطرحها المبرد البينى:

$$q_{int.e} = h_2 - h_{2'} = 106 \text{ [kJ/kg]}$$

5. كمية الحرارة التي يتم طرحها من وشيعة الوعاء البينى:

$$q_{cool} = h_5 - h_6 = 142 \text{ [kJ/kg]}$$

6. العمل المنجز في اسطوانات الضغط المنخفض:

$$w_{e.l.p} = h_2 - h_1 = 229 \text{ [kJ/kg]}$$

7. العمل المنجز في اسطوانات الضغط العالى:

$$w_{e.h.p} = (h_4 - h_3) \cdot (1 + \alpha) = 184 \text{ [kJ/kg]}$$

8. عمل الدارة:

$$w_{cycle} = w_{e.l.p} + w_{e.h.p} = 413 \text{ [kJ/kg]}$$

9. معامل تبريد الدارة:

$$COP = \frac{q_0}{w_{cycle}} = 2.913$$

10. التأكد من الحل:

$$q_{cond} = q_0 + w_{cycle} - q_{cool} - q_{int.e}$$

$$1393 \sim 1368$$

$$\Delta_c = 1.8\%$$

تحليل الاكسرجي لدارة التبريد ثنائية المرحلة:

تتم الحسابات لكل عنصر على حدة بحسب الخطوات الآتية [3-6-7]:

1. الاكسرجي الداخلى إلى اسطوانات مرحلة الضغط المنخفض:

$$E_{x.e.l.p} = \frac{w_{e.l.p}}{\eta_{electric} \cdot \eta_{el}} = 391 \text{ [kJ/kg]}$$

2. تغيير الاكسرجي في اسطوانات مرحلة الضغط المنخفض:

$$\Delta E_{x.ev(2,2')} = (h_2 - h_1) \cdot T_{amp}(s_2 - s_1) = 153 \text{ [kJ/kg]}$$

3. ضياع الاكسرجي في اسطوانات مرحلة الضغط المنخفض:

$$d_{e.l.p} = E_{x.e.l.p} - \Delta E_{x.ev(2,2')} = 238 \text{ [kJ/kg]}$$

4. الاكسرجي الداخل إلى اسطوانات مرحلة الضغط العالي:

$$E_{xch,p} = \frac{W_{ch,p}}{\eta_{electric} \cdot \eta_{es}} = 227 \text{ [kJ/kg]}$$

5. تغير الاكسرجي في اسطوانات مرحلة الضغط العالي:

$$\Delta E_{xch,p} = (1 + \alpha) \cdot (h_4 - h_2) - T_{amp} (S_4 - S_2) = 169 \text{ [kJ/kg]}$$

6. ضياع الاكسرجي في اسطوانات مرحلة الضغط العالي:

$$d_{ch,p} = E_{xch,p} - \Delta E_{xch,p} = 58 \text{ [kJ/kg]}$$

7. ضياع الاكسرجي في المكثف:

$$d_{cond} = (1 + \alpha) \cdot (h_4 - h_p) - T_{amp} (S_4 - S_p) = 141 \text{ [kJ/kg]}$$

8. ضياع الاكسرجي في صمام التمدد الأول:

$$d_{exp,v1} = (1 + \alpha) \cdot [-T_{amp} (S_p - S_{p'})] = 10 \text{ [kJ/kg]}$$

9. ضياع الاكسرجي في صمام التمدد الثاني:

$$9.1 \text{ [kJ/kg]} d_{exp,v2} = -T_{amp} (S_p - S_{p'}) =$$

10. تغير الاكسرجي في المبخر:

$$\Delta e_{ev} = d_{ev} = (-h_2 + h_{p'}) - T_{amp} (-S_2 + S_{p'}) = 271 \text{ [kJ/kg]}$$

11. ضياع الاكسرجي في المبرد البيني:

$$d_{intc} = (h_2 - h_{p'}) - T_{amp} * (S_2 - S_{p'}) = 23.1 \text{ [kJ/kg]}$$

12. ضياع الاكسرجي في الوعاء البيني:

$$d_{fc} = (h_2 - h_p) - T_{amp} * (-S_2 + S_p) = 179.2 \text{ [kJ/kg]}$$

13. التأكد من النتائج:

$$\Delta_2 = \frac{(E_{xch,p} + E_{xch,h}) - (d_{ch,p} + d_{ch,h} + d_{cond} + d_{ev} + d_{exp,v1} + d_{exp,v2} + d_{intc} - d_{fc})}{E_{xch,p} + E_{xch,h}}$$

$$\Delta_2 = 7.38\%$$

14. ضياع الاكسرجي الكلي في عناصر النظام:

$$D_{ch,p} = \frac{d_{ch,p}}{E_{ch,p} + E_{ch,h}} \cdot 100 = 30.5\%$$

$$D_{ch,h} = \frac{d_{ch,h}}{E_{ch,p} + E_{ch,h}} \cdot 100 = 9.4\%$$

$$D_{cond} = \frac{d_{cond}}{E_{ch,p} + E_{ch,h}} \cdot 100 = 22.8\%$$

$$D_{exp,v1} = \frac{d_{exp,v1}}{E_{xch,p} + E_{xch,h}} \cdot 100 = 1.62\%$$

$$D_{exp,v2} = \frac{d_{exp,v2}}{E_{col,p} + E_{col,h,p}} \cdot 100 = 1.47\%$$

$$D_{ev} = \frac{d_{ev}}{E_{col,p} + E_{col,h,p}} \cdot 100 = 43.85\%$$

$$D_{int,c} = \frac{d_{int,c}}{E_{col,p} + E_{col,h,p}} = 3.75\%$$

$$D_{fa} = \frac{d_{fa}}{E_{col,p} + E_{col,h,p}} = 29.1\%$$

15. مردود اكسرجي عناصر النظام:

$$\eta_{col,p} = 100 - D_{col,p} = 61.5\%$$

$$\eta_{col,h,p} = 100 - D_{col,h,p} = 90.6\%$$

$$\eta_{cond} = 100 - D_{cond} = 77.2\%$$

$$\eta_{ev} = 100 - D_{ev} = 56.15\%$$

$$\eta_{int,c} = 100 - D_{int,c} = 96.25\%$$

$$\eta_{exp,v1} = \frac{100 - D_{col,p} - D_{col,h,p} - D_{cond} - D_{int,c} - D_{exp,v1}}{100 - D_{col,p} - D_{col,h,p} - D_{cond}} \cdot 100 = 93.7\%$$

$$\eta_{exp,v2} = \frac{100 - D_{col,p} - D_{col,h,p} - D_{cond} - D_{int,c} - D_{exp,v2}}{100 - D_{col,p} - D_{col,h,p} - D_{cond}} \cdot 100 = 94.2\%$$

16. مردود الاكسرجي الكلي للنظام:

$$\eta_{tot} = 20.5\%$$

17. اكسرجي درجة حرارة غليان وسيط التبريد:

$$\tau_a = \frac{T_{ev} - T_{amp}}{T_{ev} + 273} = -0.232$$

18. اكسرجي درجة حرارة هواء الغرفة:

$$\tau_{room} = \frac{T_{room} - T_{amp}}{T_{room} + 273} = -0.207$$

19. مردود غرفة التبريد:

$$\eta_{room} = \frac{\tau_{room}}{\tau_a} = 0.89$$

20. ضياع الاكسرجي في غرفة التبريد:

$$D_{room} = 1 - \eta_{room} = 0.11$$

21. اكسرجي الإنتاجية التبريدية للنظام ككل:

$$E_g = D_{ev} - D_{room} = 35\%$$

النتائج والمناقشة:

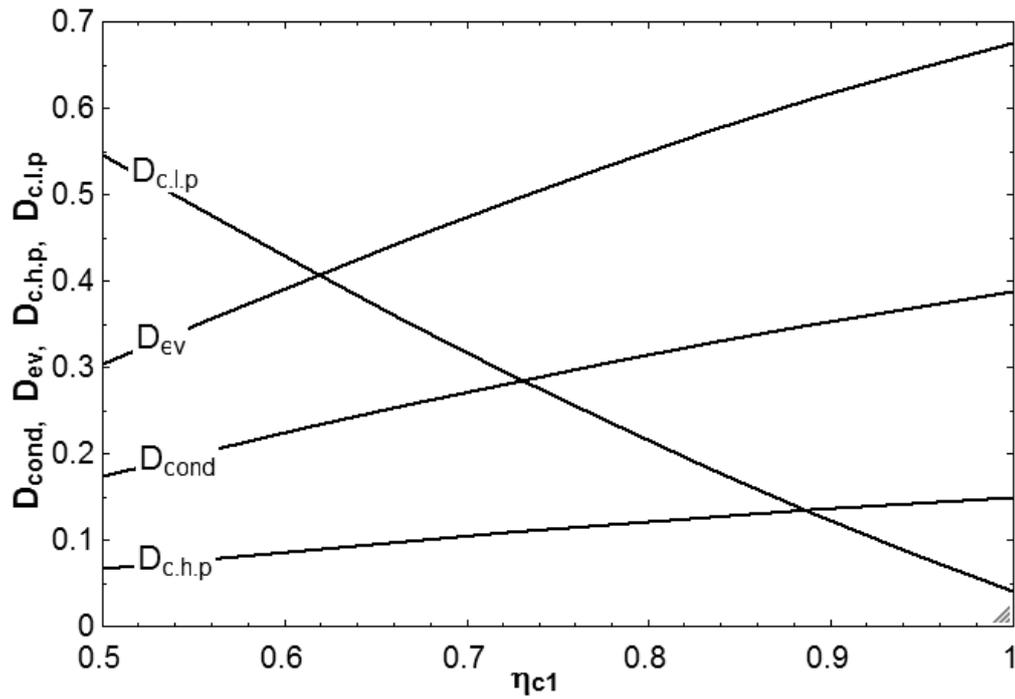
بعد إجراء الحساب اليدوي وفق الطريقة المبينة سابقاً، ثم إجراء الحساب باستخدام البرنامج حصلنا على مجموعة من النتائج، ويظهر الجدول (2) مدى تطابق نتائج الحساب اليدوي مع نتائج البرنامج.

الجدول (2) مقارنة نتائج الحساب اليدوي ونتائج البرنامج المستخدم.

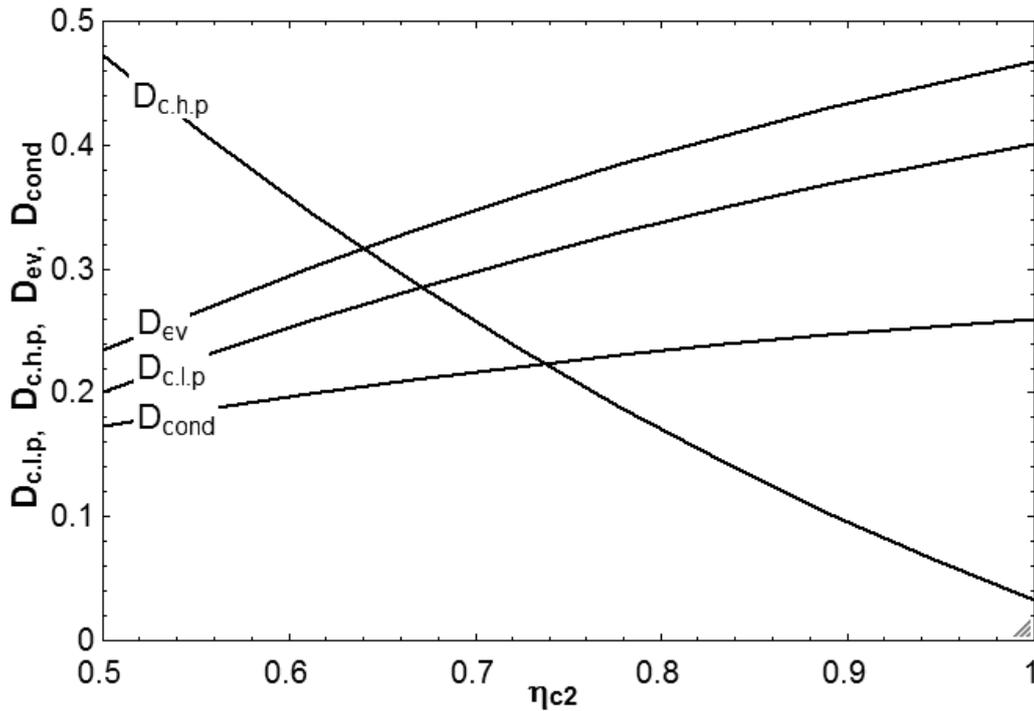
البارامترات المقاسة	الحساب اليدوي	الحساب بالبرنامج	نسبة الخطأ %
COP	2.913	2.793	4.3
$w_{cycle}[kJ/kg]$	413	431	4.2
$\Delta_1 \%$	1.8	2.3	21.7
$E_{x\ c.i.p}[kJ/kg]$	391	399	2
$E_{x\ c.h.p}[kJ/kg]$	227	244	6.9
$d_{c.i.p}[kJ/kg]$	238	239	0.4
$d_{c.h.p}[kJ/kg]$	58	62	6.4
$d_{cond}[kJ/kg]$	141	160	11.8
$d_{ev}[kJ/kg]$	271	279	2.8
$\Delta_2 \%$	7.38	7.4	0.3
$\eta_{c.i.p} \%$	61.5	63	2.4
$\eta_{c.h.p} \%$	90.6	90.4	0.2
$\eta_{cond} \%$	77.2	75.2	2.6
$\eta_{ev} \%$	56.15	56.65	0.9
$\eta_{room} \%$	89	89.4	0.4

قمنا بأخذ عدة قراءات من واقع عمل دائرة التبريد ثنائية المرحلة واعتمدنا بشكل أساسي على القراءات المسجلة في غرفة قيادة محطة التبريد وأخذنا هذه القراءات صيفاً وشتاءً، حيث تراوحت درجة حرارة التكاثف ما بين $25^\circ C$ حتى $40^\circ C$ ومن البرنامج حصلنا على المنحنيات الآتية.

يبين الشكل (3) أنه بزيادة المردود الإيزونتروبي لمرحلة الضغط المنخفض تقل الضياعات في هذه المرحلة، وذلك لأن الاكسرجي الداخل إلى مرحلة الضغط المنخفض يزداد، وعندها تزداد الضياعات في مرحلة الضغط العالي وفي كل من المبخر والمكثف.



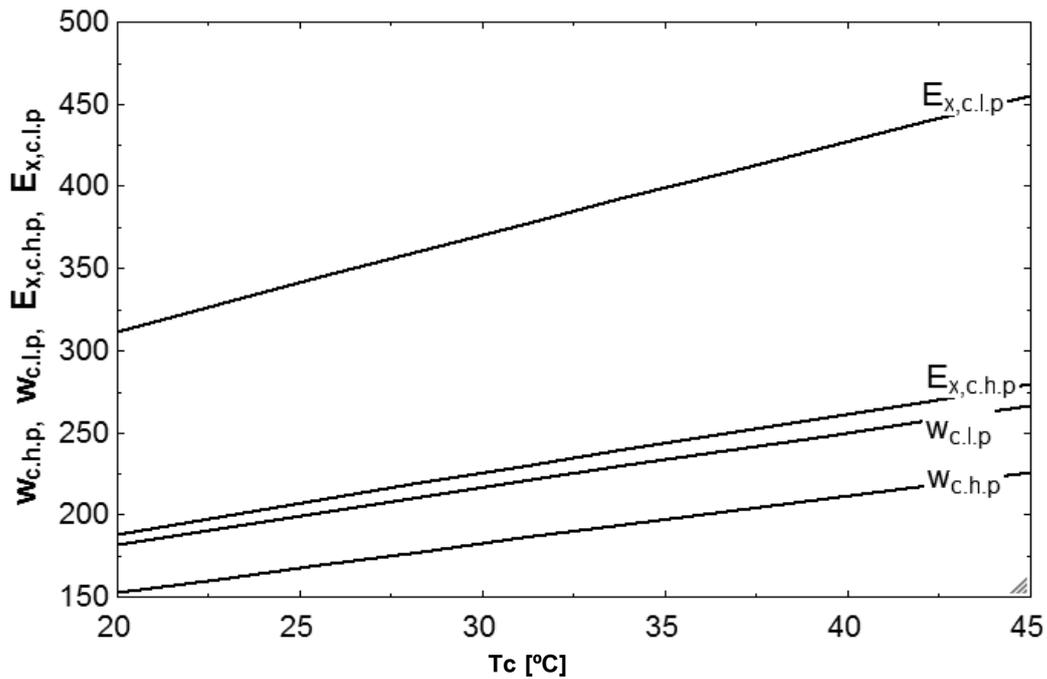
الشكل (3) العلاقة ما بين المردود الإيزونترىبي لأسطوانات مرحلة الضغط المنخفض وضياعات الاكسرجي الكلية في مرحلتي الانضغاط في الضاغط والمكثف والمبخر.



الشكل (4) العلاقة ما بين المردود الإيزونترىبي لأسطوانات مرحلة الضغط المرتفع وضياعات الاكسرجي الكلية في مرحلتي الانضغاط في الضاغط والمكثف والمبخر

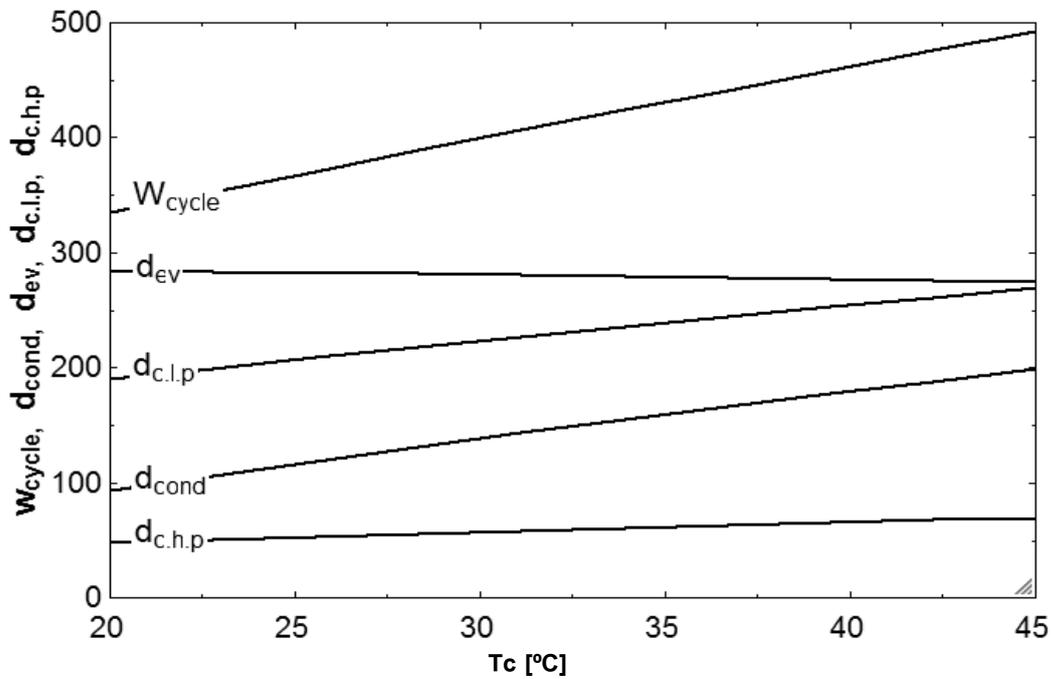
وفي الشكل (4) نجد الأمر نفسه، حيث تتخفض الضياعات في مرحلة الضغط العالي، وتزداد في مرحلة الضغط المنخفض وفي المبخر والمكثف.

يبين الشكل (5) أنه كلما ازدادت درجة حرارة التكاثف ازداد العمل المنجز في الضاغط وازداد اكسرجي الدخول.



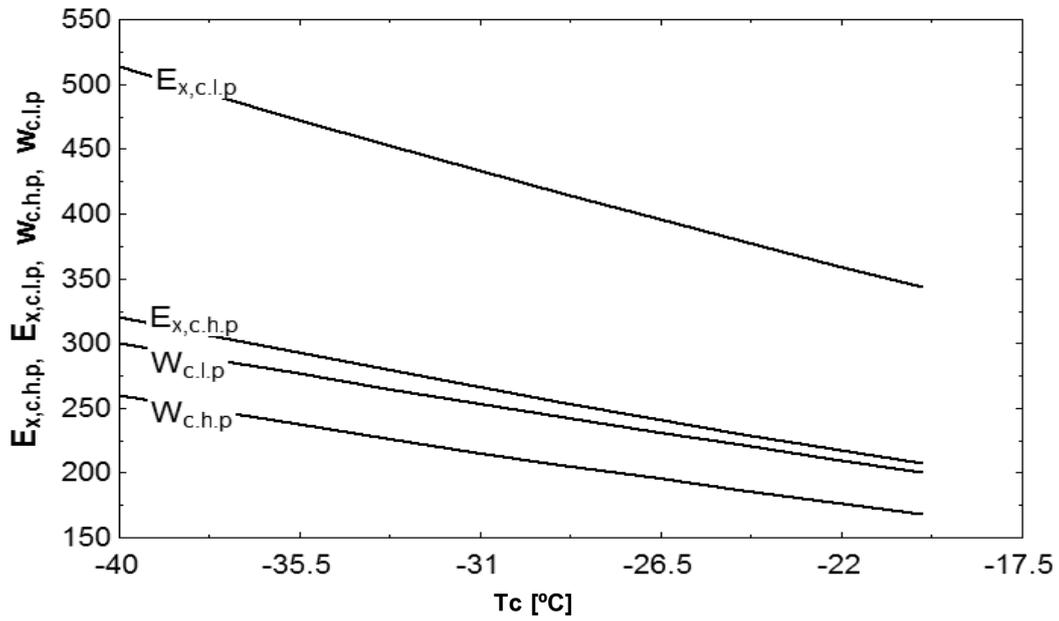
الشكل (5) العلاقة ما بين درجة حرارة التكاثف واكسرجي الدخول في مرحلتي الانضغاط والعمل المنجز في مرحلتي الانضغاط

يبين الشكل (6) أنه كلما ازدادت درجة حرارة التكاثف ازداد العمل المنجز في الضاغط، وازداد ضياع الاكسرجي في مرحلة الضغط المنخفض وفي المكثف، مع زيادة طفيفة للضياع في مرحلة الضغط العالي.



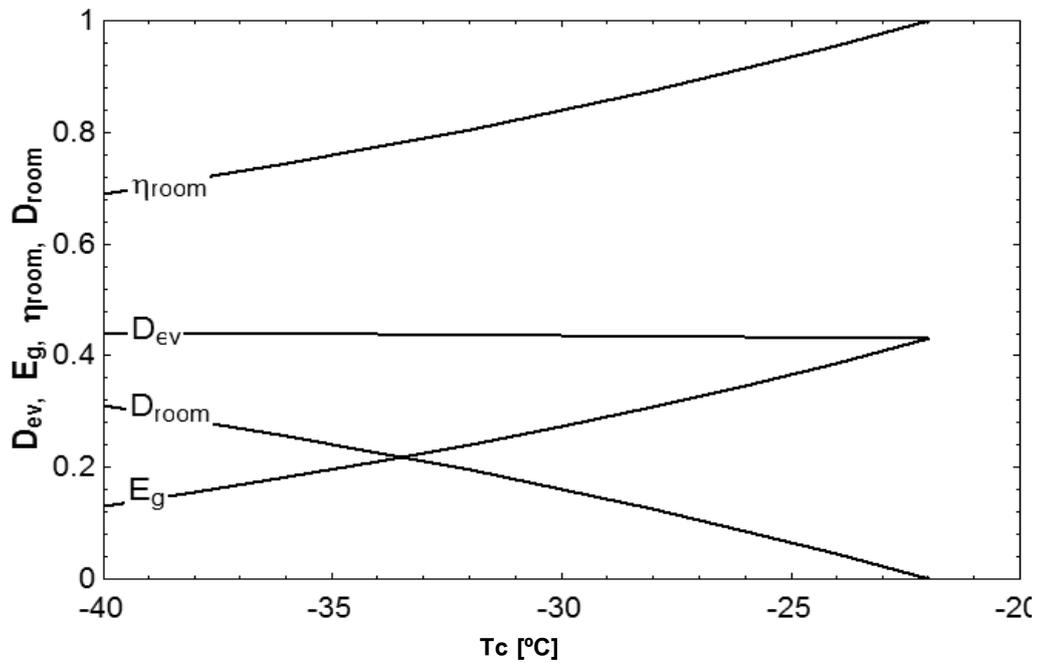
الشكل (6) العلاقة ما بين درجة حرارة التكاثف وعمل الضاغط وضياعات الاكسرجي في مرحلتي الانضغاط في الضاغط والمكثف والمبخر

يبين الشكل (7) أنه كلما انخفضت درجة حرارة غليان وسيط التبريد ازداد اِكسرَجِي مرحلتي الانضغاط، وازداد العمل المنجز في مرحلتي الانضغاط.



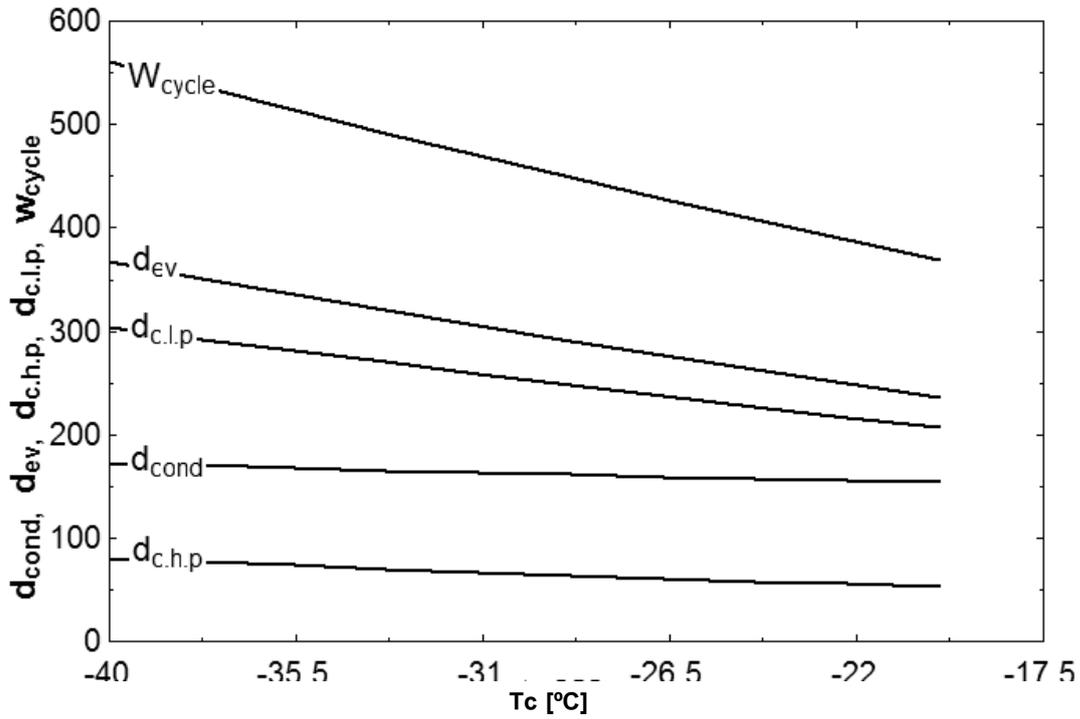
الشكل (7) العلاقة ما بين درجة حرارة غليان وسيط التبريد وَاكسرَجِي الدخول في مرحلتي الانضغاط والعمل المنجز في مرحلتي الانضغاط

يبين الشكل (8) أنه كلما انخفضت درجة حرارة غليان وسيط التبريد انخفض مردود اِكسرَجِي غرفة التبريد، وازداد الضياع الكلي لغرفة التبريد، وانخفض اِكسرَجِي غرفة التبريد.



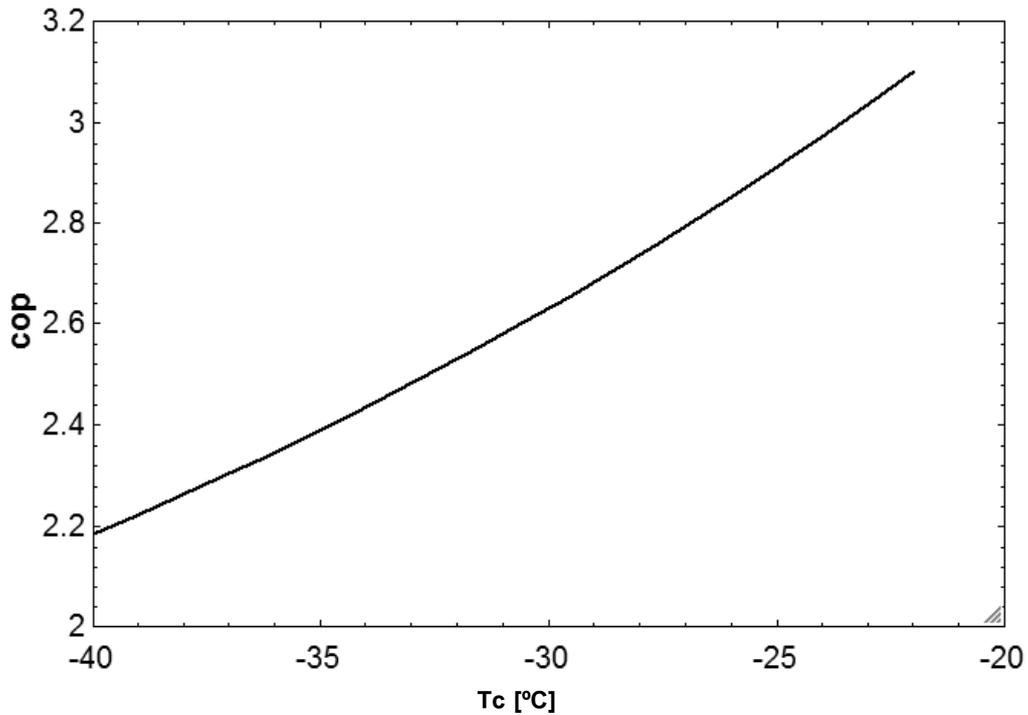
الشكل (8) العلاقة ما بين درجة حرارة غليان وسيط التبريد ومردود غرفة التبريد وَاكسرَجِي الإنتاجية التبريدية وضياع الاكسرَجِي الكلي للمبخر

يبين الشكل (9) أنه كلما انخفضت درجة حرارة غليان وسيط التبريد ازداد العمل المنجز في الضاغط، وازدادت ضياعات الاكسرجي في مرحلتي الانضغاط وفي المبخر والمكثف.

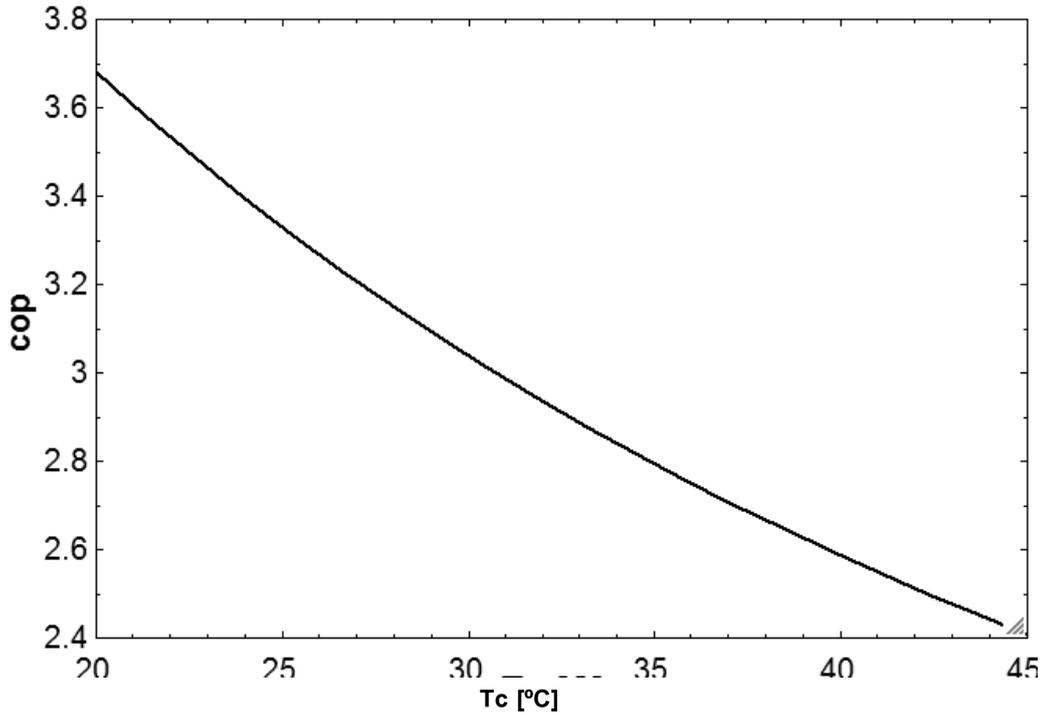


الشكل (9) العلاقة ما بين درجة حرارة غليان وسيط التبريد والعمل المنجز في الضاغط وضياعات الاكسرجي لعنصر الدارة

وضع شرح عن الشكلين (10) و (11)



الشكل (10) العلاقة بين درجة حرارة تبخر وسيط التبريد ومعامل الأداء للدارة



الشكل (11) العلاقة بين درجة حرارة التكاثف ومعامل الأداء للدارة.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. أكبر تبديد للطاقة في محطة التبريد ثنائية المرحلة ينتج عن الضياعات الميكانيكية والطاقية في الضاغط، وتشكل نسبة (48 %) من مجموع الاكسرجي الداخل، وتكون الضياعات في مرحلة الضغط المنخفض أعلى من الضياعات في أسطوانات الضغط العالي لأن الحجم الذي يشغله المكبس في مرحلة الضغط المنخفض أكبر.
2. إن الضياعات الحاصلة في مبخرات غرفة التبريد ناتجة عن أثر درجة حرارة الوسط الخارجي، ولذلك من الواجب إعادة ترميم العزل؛ وذلك لأن فارق درجات الحرارة أدى إلى زيادة الضياعات في الاكسرجي.
3. إن الضياعات الناتجة عن المكثف التبخيري تم حسابها على أساس درجة حرارة تكاثف وسيط التبريد التصميمية 35°C ، أما في الواقع وإننا نلاحظ ارتفاعاً في درجة حرارة التكاثف وخاصةً في فصل الصيف مما يؤدي إلى زيادة الضياعات كما في الشكل (6) لذلك يوصى بإجراء دراسة معمقة للمكثف التبخيري.
4. بالرغم من أن درجة حرارة الوعاء البيئي التصميمية هي 0.123°C ، إلا أنه تم قياس درجة الحرارة كما هي في الواقع وكانت مساوية إلى -4°C ، وهذا ما أدى إلى تراكم الجليد على سطح الوعاء البيئي، ويحدث هذا الانخفاض في درجة الحرارة نتيجة عدم المعايرة الدقيقة لصمام التمدد الأول.
5. إن مردود الاكسرجي الكلي لدارة التبريد ثنائية المرحلة والبالغ % 20.5 هو أقل من مردود أي عنصر في محطة التبريد عند المواصفات نفسها، وهذا نتيجة لتأثر التفاعل المتبادل بين عناصر النظام.
6. إن الزيادة في الفرق بين درجة حرارة هواء الغرفة ودرجة حرارة غليان وسيط التبريد تؤدي إلى انخفاض اكسرجي غرفة التبريد ومردود الغرفة، في حين يزداد الضياع الكلي لكل من المبخر والغرفة.

7. تبين من الدراسة صحة الطريقة المتبعة في الحساب الحراري والطاقي والاكسرجي ودقة نتائج البرنامج الحاسوبي، لذلك نوصي بأتمتة عمل محطة التبريد ما يسهل التحكم عمل المحطة ومراقبتها، ومعرفة الضياع الحاصل في عناصرها؛ للتدخل لتلافي هذه الضياعات.

المراجع:

1. Jekel. T. B., and Reindl, D. T., *Single or Two Stage Compression* ASHRAE Journal 2008.
2. Ahamed, J.U., Saidur, R., Masjuki, H.H., *A review on Exergy Analysis of Vapor Compression Refrigeration System. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15,1593,1600, 2011.
3. Dincer, I., *Refrigeration Systems and Applications* Wiley, UK, 2003, PP.26
4. Kotas, T.J., *The Exergy Methods of Thermal Plant Analysis* Department of Mechanical Engineering, Queen Mary and Westfield College, University of London 1995.
5. Zubairb, S.M., Yagub, M., and Khan, S.H., *Second Law based Thermodynamics Analysis of Two Stage and Mechanical Subcooling Refrigeration Cycles* King Fahd University, Dahrn, Saudi Arabia 2009.
6. Бродянский, в. м. *Эксергетический метод термодинамическеского анализа* М., Энергия. 1998.
7. Nikolaidis, C., and Probert, D., *Exergy Method Analysis of a Two Stage Vapor Compression Refrigeration Plants Performance* Applied Energy, Vol 60, 1998.