

## دراسة تأثير ارتفاع درجة الحرارة على معامل الأداء لدورة تبريد انضغاطية تبخيرية

م. منير محمد الراقوبي

كلية التقنية الهندسية، جنزور - قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية

### ملخص:

تعرض هذه الورقة لدراسة معامل أداء منظومة تبريد انضغاطية تبخيرية بسيطة، حيث تم دراسة تأثير ارتفاع درجة الحرارة المحيط الخارجي على سعة المبخر والمكثف والضغوط ومن ثم تأثيرها على معامل الأداء الدورة بالكامل. وقد استخدم لهذا الغرض منظومة تبريد تدرجية ذات صمام عاكس ومكثف هوائي جبري ذو سرعات مختلفة.

فقد تم حساب كل من سعة المكثف والمبخر وقدرة الضغوط النوعية، وتم حساب كفاءة المنظومة بالكامل عند هذه الظروف المختلفة، وتوضيح ذلك بمخطط بياني يبين درجة الحرارة الخارجية وتأثيرها على معامل الأداء.

يتبين بوضوح من خلال الدراسة انخفاض معامل الأداء للمنظومة عند ارتفاع درجة الحرارة الخارجية، بسبب ارتفاع درجة حرارة مائع التبريد بعد خروجه من المكثف مما يؤدي إلى ارتفاع انتالبي مائع التبريد قبل دخوله إلى المبخر الذي بدوره يؤدي إلى انخفاض حمل التبريد للمنظومة مما يؤثر سلباً على معامل الأداء للمنظومة بالكامل.

**الكلمات الاستدلالية:** كفاءة دورة التبريد، منظومات التبريد الانضغاطية، أحمال المكثف، سعة التبريد.

### مقدمة

معامل الأداء (Coefficient of performance) هو المقياس الذي يتم به تقييم وحدات التبريد والتكييف، ومقارنة وحدات التبريد وانظمتها المختلفة، وهو النسبة بين الاستفادة من وحدة التبريد إلى الشغل المبذول الخارجي من طاقة كهربائية.

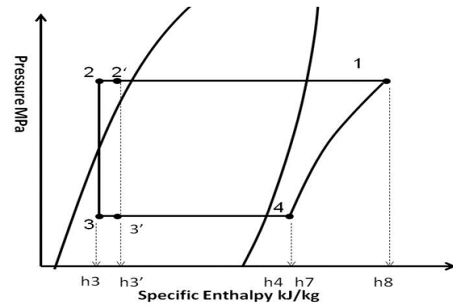
ويتم حساب معامل الأداء النظري بناء على التأثير التبريدي وقدرة الضغوط المحسوبة من مخطط (الضغط والانتالبي). بينما يتم حساب معامل الأداء الحقيقي بناء على التأثير التبريدي الحقيقي والطاقة الحقيقية المستهلكة في الضاغط [1].

إن ارتفاع درجة الحرارة الخارجية يؤثر مباشرة في عملية التبريد الدوني لمائع التبريد، فتتغير حالة مائع التبريد من النقطة 2 إلى 2' انظر الشكل (1)، مما يؤدي إلى ارتفاع انتالبي مائع التبريد من  $h_3$  إلى  $h_3'$ ، الذي بدوره يؤدي مباشرة إلى خفض في السعة التبريدية للمبخر وانخفاض معامل الأداء للوحدة [2].

### 1- حساب سعة التبريد النوعية للمبخر

يعتبر المبخر أحد أجهزة التدفق المستمر تقوم بتبادل الحرارة بين مائعين ولا يوجد تفاعل للشغل في المبادلات الحرارية كما أن التغيير في الطاقة الحركية والوضعية ضئيل جداً ويمكن إهمالهما [3]، لذا فإنه يمكن حساب سعة التبريد بطرح انتالبي مائع التبريد قبل وبعد المبخر كما يلي:

$$qE = h_4 - h_3 \text{ kJ/kg} \dots \dots \dots (1)$$



شكل (1) تأثير زيادة درجة الحرارة على سعة التبريد

### 1- حساب الحمل النوعي المكثف

يعتبر المكثف مبادل حراري ويتم حساب سعته بطرح انتالبي مائع التبريد قبل وبعد المكثف كما يلي:

$$q_c = h_1 - h_2 \text{ kJ/kg} \dots \dots \dots (2)$$

### 2- حساب الشغل النظري النوعي للضاغط

يعتبر الضاغط أحد أجهزة التدفق المستمر، يتم تزويده بالشغل من مصدر خارجي عن طريق عمود إدارة، ويقوم ببذل شغل على مائع التبريد وينتج عن ذلك رفع ضغط المائع، ويكون معدل انتقال الحرارة من الضاغط قليلاً ويمكن إهماله [4]، ويتم حساب الشغل للضاغط بطرح انتالبي مائع التبريد قبل وبعد الدخول للضاغط كما يلي:

$$W = h_1 - h_4 \text{ kJ/kg} \dots \dots \dots (3)$$

### 3- حساب معامل الأداء

يعرف معامل الأداء لمنظومة التبريد بأنه النسبة بين الحرارة المزالة من حيز التبريد إلى الشغل المنجز على مائع التبريد [5].

$$COP_R = \frac{Q_L}{W_C} = \frac{h_4 - h_3}{h_1 - h_4} \dots \dots \dots (4)$$

### 4- حساب معامل الأداء لدورة كارنوت

تستخدم دورة كارنوت المعكوسة كمرجع للقياس والمقارنة وهي تعطي أكبر معامل أداء ممكن، ولكن لا يمكن في الواقع تشغيل جهاز تبريد بدورة كارنوت المعكوسة [3]. ويعرف معامل الأداء لكارنوت بأنه النسبة بين أقل درجة حرارة في الدورة إلى الفرق بين درجة الحرارة العليا والدنيا.

$$COP_{carnot} = \frac{T_L}{T_H - T_L} \dots \dots \dots (5)$$

## الأجهزة والأدوات

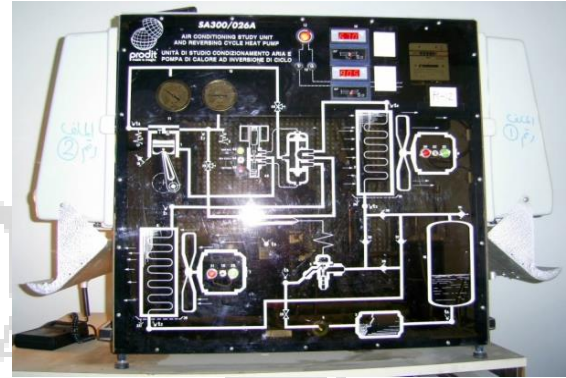
- 1- منظومة تبريد انضغاطية تدريرية ذات مكثف هوائي جبلي انظر الشكل 2، بها خزان سائل وصمام ترموستاتيكي، وضغط ترددي مغلق، ومبخر هوائي جبلي ذو مروحة لها سرعات متغيرة، وبها قاطعي ضغط عالي ومنخفض لحماية المنظومة عند الضغوط العالية والمنخفضة. كما أن المنظومة مجهزة بالمحقات التالية:
- 2- شاشة بيان توضح درجة حرارة مائع التبريد عند ثمان مواضع مختلفة من الدورة انظر الشكل 2
- 3- مقاييس ضغط لقراءة الضغط العالي عند مخرج الضاغط والضغط المنخفض قبل صمام السحب.
- 4- عداد لقياس القدرة المستهلكة.

## التعريفات والرموز المستخدمة

يبين الجدول (1) تعريفات الرموز و وحدات القياس المستخدمة في الحسابات.

### جدول (1) الرموز والوحدات المستعملة

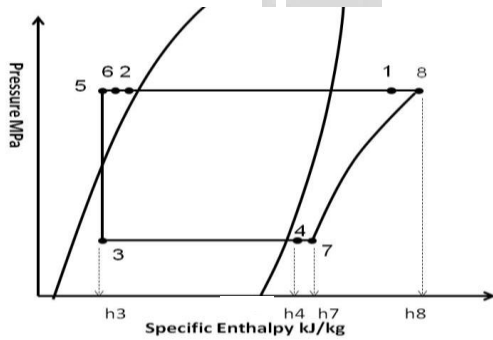
ت	الرمز	الوصف	وحدة القياس
1	$P_C$	الضغط العالي في الدورة	MPa
2	$P_E$	الضغط المنخفض في الدورة	MPa
3	$T_1$	درجة حرارة مائع التبريد عند دخول المكثف	K
4	$T_2$	درجة حرارة مائع التبريد عند الخروج من المكثف	K
5	$T_3$	درجة حرارة مائع التبريد عند دخول المبخر	K
6	$T_4$	درجة حرارة مائع التبريد عند الخروج من المبخر	K
7	$T_5$	درجة حرارة مائع التبريد قبل صمام التمدد	K
8	$T_6$	درجة حرارة مائع التبريد بعد خزان السائل	K
9	$T_7$	درجة حرارة مائع التبريد عند دخول الضاغط	K
10	$T_8$	درجة حرارة مائع التبريد عند الخروج من الضاغط	K



شكل (2) منظومة تبريد انضغاطية اختبارية

## مخطط الضغط - الانتالبي النظري للمنظومة

يبين الشكل (4) مخطط (P-h) لمائع التبريد المار في المنظومة، مع اهمال الانخفاض في الضغط نتيجة مرور مائع التبريد داخل المكثف والمبخر والوصلات الأخرى، كما يبين موضع النقاط الثماني الموضحة في الشكل (3).



شكل (4) مخطط (p-h) ومواقع النقاط المحددة في المنظومة

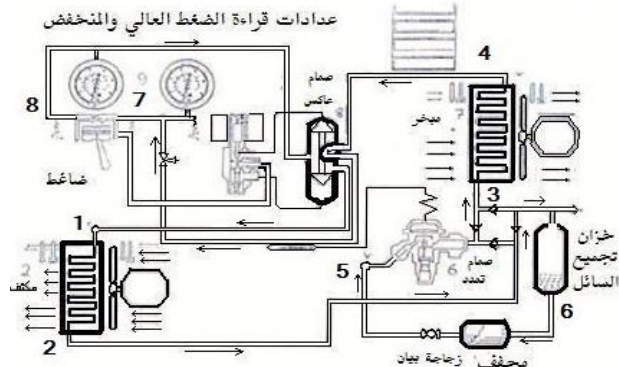
## الخطوات العملية

1. تشغيل المنظومة لفترة مناسبة حتى تستقر درجة الحرارة تقريبا عند مدخل ومخرج كل من المبخر والمكثف.
2. تسجيل قراءات الضغوط عند جانبي الضغط العالي والمنخفض
3. تسجيل قراءات درجات الحرارة عند المواضع الثماني الموضحة بالشكل 3.
4. تسجيل قراءات درجات حرارة الهواء قبل وبعد دخول المكثف.
5. تسجيل قراءات درجات حرارة الهواء قبل وبعد دخول المبخر.
6. تشغيل المصدر الحراري جزئيا لرفع درجة حرارة الهواء الخارجي تدريجيا، كما أن المكثف يعمل على رفع درجة حرارة الحيز الخارجي.
7. تكرار الخطوات من 2 إلى 7 عشر مرات عند ارتفاع درجة الحرارة الخارجية.
8. توضيح قراءات الضغط ودرجة الحرارة كما في الجدول (2)

- 5- عدد 2 ترمومترات رقمية لقياس درجة حرارة الهواء الداخل والخارج من المكثف والمبخر.
- 6- أنانومتر لقياس سرعة الهواء
- 7- مصدر حراري ذو قدرة متغيرة للحصول على درجات حرارة مختلفة للهواء الخارجي هواء تبريد المكثف.

## المخطط العام للمنظومة

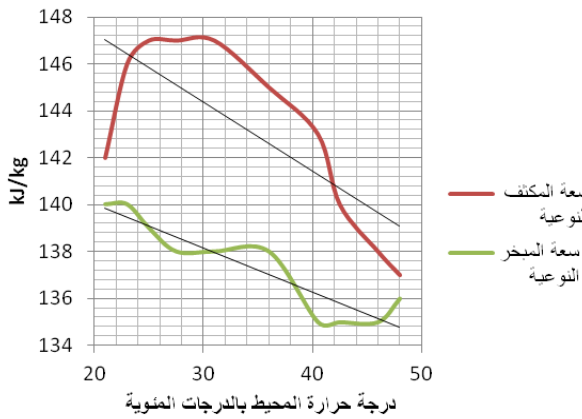
تحتوي المنظومة على صمام عاكس، يمكن عن طريقه تغيير اتجاه مائع التبريد داخل المنظومة، بحيث يمكن استخدام المنظومة كمضخة حرارية فيعمل المبخر كمكثف والمكثف كمبخر [6]، يبين الشكل (3) مخطط سريان مائع التبريد داخل للمنظومة في الوضع الاعتيادي وهو المستخدم أثناء تنفيذ التجربة.



شكل (3) مخطط سريان مائع التبريد في الدورة

جدول (4) نتائج حسابات معامل الأداء النظري للحالات العشر

Case	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
درجة حرارة المحيط المنوية	21	23	25	27.5	31	36	40.5	42.5	46	48
سعة المكثف النوعية kJ/kg	142	146	147	147	147	145	142	140	139	137
سعة المبخر النوعية kJ/kg	140	140	139	138	138	138	135	135	135	136
شغل الضاغط النوعي kJ/kg	37	45	45	45	45	47	44	42	44	47
COP	3.78	3.11	3.09	3.07	3.07	2.94	3.07	3.21	3.07	2.89



شكل (5) سعة المبخر والمكثف عند درجات حرارة مختلفة



شكل (6) الشغل النوعي للضاغط عند درجات حرارة مختلفة

جدول (2) قراءات درجة الحرارة (الكلفن) والضغط عند 10 حالات

	case1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6	case 7	case 8	case 9	case10
PC	1.05	1.1	1.1	1.15	1.2	1.3	1.3	1.33	1.4	1.4
PE	0.3	0.31	0.32	0.33	0.335	0.34	0.34	0.34	0.35	0.35
T1	329.2	338.2	342.3	343.7	344.2	347.2	348.5	349.9	352.2	353.15
T2	310.7	313.7	314.9	317	318.7	321.6	322.5	323.6	326.2	326.15
T3	278	278.4	278.7	279.2	279.3	279.5	279.8	280	280.2	280.35
T4	279.2	279.4	279.3	279.4	279.5	279.7	280	280.1	280.3	280.45
T5	290.9	291	291.4	291.4	291.5	291.6	291.9	292.1	292.1	292.25
T6	309.2	311.3	312.1	314.2	315.4	317.3	318.3	318.8	320.4	321.05
T7	284.4	285	285.4	285.6	285.5	285.9	286.1	286.2	286.3	286.75
T8	350.4	360.3	364.2	364.8	365.8	369.1	370.9	371.5	373.2	>373.15

9. إيجاد انتالبي مائع التبريد (kJ/kg) في النقاط المحددة وذلك بعد التأكد من نوع مائع التبريد المستخدم في الدورة من لوحة البيانات، وهو فريون-12، وبمعلومية درجات الحرارة والضغط عند كل حالة، انظر الجدول (3):

جدول (3) انتالبي مائع التبريد (kJ/kg) عند 8 نقاط

	case1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6	case 7	case 8	case 9	case10
h <sub>1</sub>	242	248	252	255	255	255	255	255	255	255
h <sub>2</sub>	100	102	105	108	108	110	113	115	116	118
h <sub>3</sub>	80	80	81	82	82	82	85	85	85	84
h <sub>4</sub>	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
h <sub>5</sub>	80	80	81	82	82	82	83	85	85	84
h <sub>6</sub>	98	101	101	105	101	108	108	108	110	112
h <sub>7</sub>	223	223	225	225	225	225	226	228	228	228
h <sub>8</sub>	260	268	270	270	270	272	270	270	272	275

10. حساب سعة التبريد وحمل المكثف وشغل الضاغط ومعامل الأداء للدورة باستخدام المعادلات (1، 2، 3، 4).

### النتائج

يبين الجدول (4) سعة المبخر والمكثف والشغل النوعي للضاغط ومعامل الأداء النظري للمنظومة عند درجات حرارة خارجية مختلفة، ويتضح من ذلك ما يلي:

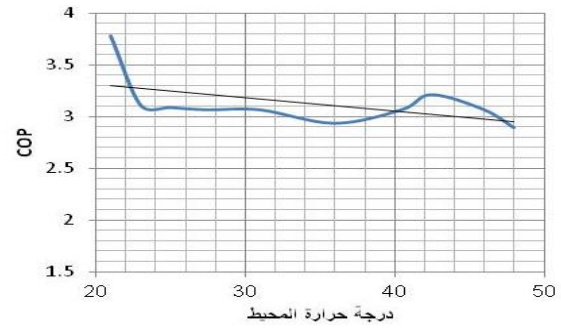
- 1- انخفاض سعة التبريد النظرية للمبخر عند ارتفاع درجة الحرارة الخارجية انظر الشكل (5).
- 2- انخفاض حمل المكثف النظري عند ارتفاع درجة الحرارة الخارجية انظر الشكل (5).
- 3- زيادة الشغل النظري للضاغط عند ارتفاع درجة الحرارة الخارجية انظر الشكل (6).
- 4- انخفاض معامل الأداء النظري للمنظومة عند ارتفاع درجة الحرارة الخارجية انظر الشكل (7).
- 5- انخفاض معامل الأداء التبريدي لدورة كارنوت للمنظومة عند ارتفاع درجة الحرارة الخارجية انظر الجدول (4) والشكل (8).

### التوصيات

- إن انخفاض معامل الأداء لوحدة التبريد، يعني زيادة فترة التشغيل المستمر للوحدة مما يعني زيادة الاستهلاك الكهربائي للمنظومة و قصر العمر الافتراضي للمحرك ، كما قد يؤدي إلى عدم الحصول على درجة الحرارة المطلوبة للحيز المكيف، لذا نوصي بما يلي:
- 1- استخدام أجهزة التكييف عندما تكون درجة الحرارة أقل خاصة في المباني المعزولة عزلا جيدا.
  - 2- وضع المكثف (القطعة الخارجية للمكيف) في مكان جيد التهوية حتى لا ترتفع درجة حرارة مائع التبريد.
  - 3- اجتناب وضع المكثف في اتجاه الإشعاع الشمسي المباشر.
  - 4- عدم تعريض المكثف للحرارة المنبعثة من الأفران وغيرها من مصادر الحرارة.
  - 5- معايرة أجهزة القياس المستخدمة في قياس درجة الحرارة والضغط للحصول على نتائج أدق.

### المراجع

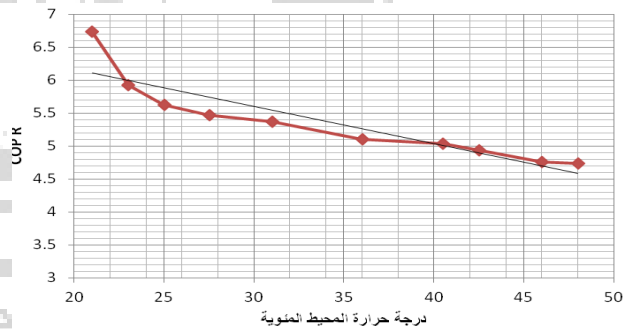
- 1- موسى محمد محمد موسى، "دوائر التبريد الانضغاطية وتطبيقاتها"، 1997
- 2- صالح محمد أبوغريس "الديناميكا الجزء الأول" 224-219، 2001.
- 3- أوبكر عويدات، مقدم طارق جيجان، "هندسة التبريد" 95-100، 2001.
- 4- R.K. Rajput, "Refregiration and Air-Conditioning", S.K KATARIA&SON, 144-162, 2008.
- 5- J.K.Dabas , A.K.Dodeja, Sudhir Kumar, K.S.Kasana, "Performance Characteristics of Vapour Compression Refrigeration System Under Real Transient Conditions", International Journal of Advancements in Technology, 584-593, 2011.
- 6- Darin W. Nutter, " Novel 4-Way Refrigerant Reversing Valve for Heat Pumps", 2000



شكل (7) معامل الأداء التبريدي عند درجات حرارة مختلفة

Case	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TH (K)	319.9	325.9	328.55	330.3	331.4	334.35	335.45	336.7	339.15	339.65
TL (K)	278.55	278.85	278.95	279.25	279.35	279.55	279.85	280	280.2	280.4
COPc	6.74	5.93	5.62	5.47	5.37	5.10	5.03	4.94	4.75	4.73

جدول (4) معامل الأداء التبريدي لكارنوت عند درجات حرارة مختلفة



شكل (8) معامل الأداء التبريدي لكارنوت عند درجات حرارة مختلفة