دراسة صفات موائع التثليج واختيار الأمثل لنظام تثليج يعمل بالقاذف

د. عدنان محمد الصفاوي
كلية الهندسة / جامعة الموصل

محمد سالم الدباغ
كلية التربية الأساسية/جامعة الموصل

الخلاصة

ان أنظمة التثليج تحتاج الى مائع كفوء يؤدي عمله المحدد ، إلا أن الحصول على مائع تثليج أمثل مناط بوجود صفات جيدة ومرغوبة فيه تميزه عن غيره من الموائع ، وتسهم في ارتفاع معامل الأداء للدورة التي يقوم بتشغيلها ، وبالنتيجة تقليل القدرة اللازمة للتشغيل وتحقيق سعة التثليج المطلوبة .

وقد ظهرت أنواع مختلفة من موائع التثليج خلال العقدين الماضيين ، وهناك جهود كبيرة تبذل في العديد من الدول لاستبعاد بعض من هذه الموائع أو الحد من استخدامها، لتأثيرها على طبقة الاوزون وعلى البيئة والمناخ .

تناول البحث إجراء دراسة مقارنة بين مجموعة من موائع التثليج بالاستناد الى خصائصها ومعامل ادائها ومعامل انضغاطها في نظام تثليج يعمل بالقاذف للتوصل الى الامثل للاستخدام في هذا النظام . ومن نتائج هذه الدراسة يتبين ان مائع التثليج الامثل هو البيوتان (R – 600) لما يمتلكه من خصائص ومميزات إيجابية ، وان قيم معامل الانضغاط له عالية نسبياً ، وقد بلغ معامل أداءه 0.615 وهي قيمة جيدة نسبة الى الموائع الاخرى لاسيما التي تم التخلي عنها لأضرارها على البيئة والمناخ .

A Study For Refrigerant's Characteristics to Choose the Optimum For Ejector Refrigeration System

Dr. Adnan M. Al – Saffawi
Engineering College
Mosul University

Mohammad S. Al - Dabbagh
College of Basic Education
Mosul University

Abstract

Refrigeration systems needs efficient refrigerant to perform it's determined objective, so, an optimum refrigerant, must have a good and desirable characteristics as compared with other refrigerants as well as a high coefficient of performance for the working cycle, which results for minimizing operating power to attain determined refrigeration capacity.

A variety kinds of improved refrigerants had been appeared within the last twenty years, and many countries did large efforts to phaseout some refrigerants, or at least reduce it's usage, that's for it's ozone layer depletion and it's bad influence on environment and climate.

This research deals with a comparative study between many Refrigerants on the basis of it's characteristics , COP and compressibility factor in ejector refrigeration system to select the optimum to be used in this system.

From this study results , the optimum refrigerant is Butane (R – 600), which have a good characteristics , a relatively high compressibility factor values , and a COP value of (0.615) , which is a good result as compared with other refrigerants included the phaseouted for it's bad influence on environment and climate.

Keywords: Refrigerant's Characteristics , optimum refrigerant, ejector, refrigeration system

أستلم: 7 - 9 – 2010 **قبل: 22 – 2- 2011**

قائمة الرموز

الرمز	التعريف (الوصف)	الوحدة
COP	معامل الأداء	----
h	المحتوى الحراري النوعي	J / kg
m	نسبة الكتلة لتياري بخار مائع التثليج	----
$\overset{o}{m}$	معدل جريان كتلة المائع	kg / s
P	الضغط	Pa (N / m^2)
R	ثابت الغاز	J/kg K
T	درجة الحرارة	K
v	الحجم النوعي	m^3/kg
w	الشغل	J / kg
Z	معامل الانضغاط	----
η	الكفاءة	----

الرموز السفلية الدليلية

الرمز	التعريف (الوصف)	الرمز	التعريف (الوصف)
1 و 2 و3 و4 ...	الحالة عند النقطة	g	مولد البخار
C	المكثف	in	السحب
com	انضغاط	n	المنفث
D	الناشر	P	التيار الابتدائي
e	المبخر	S	التيار الثانوي
exp	تمدد	----	----

1. المقدمة :

لا شك ان أجهزة التبريد والتثليج الاوسع استخداماً هي الأجهزة الانضغاطية والتي تستهلك قدر كبير نسبياً من الطاقة الكهربائية ، لذلك توجه الاهتمام في العقدين الأخيرين على أنظمة أخرى اقتصادية مثل النظام الامتصاصي والنظام الذي يعمل بالقاذف ، واللذان تستخدم لتشغيلهما المصادر الحرارية للطاقة دون الحاجة الى القدرة الكهربائية أو الميكانيكية ، ويتميز النظام الأخير ببساطته وسهولة تصميمه وتصنيعه وانخفاض كلفته وملاءمته للاستخدام في مجالات واسعة .

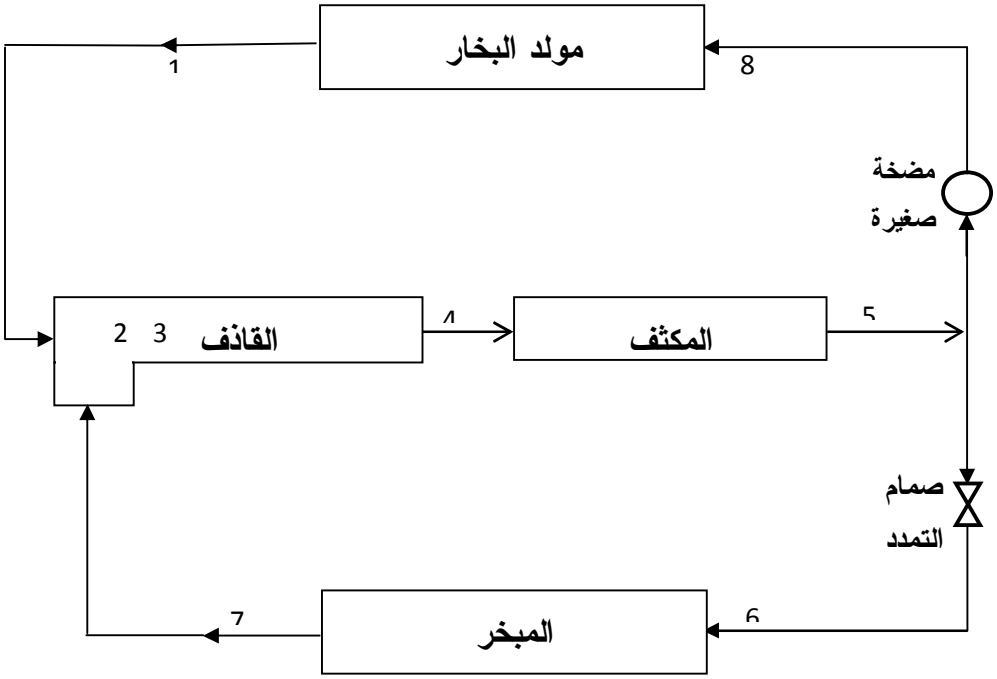
إن مادة التشغيل في دورات التثليج هي الموائع بمختلف أنواعها ، ولهذه الموائع تأثير فعال على كفاءة وأداء النظام . لقد تطورت موائع التثليج خلال السنوات المنصرمة وظهرت مركبات عضوية جديدة فضلاً عن الأنواع الناتجة من مزج مائعين أو أكثر للحصول على مائع جديد متجانس ذي خصائص مستقلة عن مكوناته ، وكان الاهتمام بالدرجة الأولى باتجاه اختيار الموائع التي لا تؤثر على البيئة والمناخ والغلاف الجوي فضلاً عن الرغبة في تحسين معامل الأداء والتركيز على الخصائص الايجابية المرغوب فيها ، وهكذا جاءت فكرة البحث هذا لإجراء دراسة مقارنة من أجل اختيار المائع الأفضل للنظام الذي يعمل بالقاذف .

في الواقع ليس هناك ما يمكن تسميته بالمائع المثالي بالمعنى المتكامل ، اذ لا يستطيع مائع واحد من تغطية كافة مجالات الاستخدام وبشكل مثالي ، ولكن الاختيار يكون للمائع الذي تتوفر فيه صفات وخصائص تتلائم مع الانظمة المستخدمة مقارنة بموائع التثليج الأخرى [1] .

2. نظام التثليج الذي يعمل بالقاذف :

يعتمد نظام التثليج الذي يعمل بالقاذف على مصدر حراري لتشغيله ، وعادةً ما يكون من النوع ذو درجة حرارة منخفضة ويمكن الحصول عليه من مرجل نفطي أو غازي أو من مجمع الطاقة الشمسية او من الحرارة المتبددة من العادم لمصنع معين أو من محرك احتراق داخلي وغيرها .

إن الأجزاء الرئيسية لهذا النظام ، وكما موضح في الشكل رقم (1) هي مولد البخار والقاذف والمكثف والمبخر وصمام التمدد فضلاً عن مضخة صغيرة لتدوير سائل التثليج ، يدخل سائل التثليج الى المولد ليتبخر نتيجة التبادل الحراري عند ضغط ودرجة حرارة عاليين، ثم يدخل البخار المتكون الى القاذف فيتمدد أثناء مروره في المنفث الملتم المنفرج الذي يكسبه سرعة عالية وبذلك يتولد تخلخل بالضغط عند مخرج المنفث مما يؤدي الى سحب بخار مائع التثليج من المبخر ويمتزجان في حجرة المزج ثم يدخل المزيج الى الناشر فتقل سرعته ويزداد ضغطه ليصل الى ضغط المكثف حيث يمر هذا البخار في المكثف ليتحول الى سائل وبعدها يرجع الجزء الأكبر منه الى المولد عبر مضخة صغيرة ليعيد الدورة ويمر الجزء الباقي عبر صمام التمدد ليصل الى المبخر بعد أن ينخفض ضغطه الى ضغط المبخر . يتبخر سائل التثليج هذا أثناء مروره في المبخر بعد امتصاصه الحرارة الكامنة للتبخر من محيط المبخر ثم يسحب الى القاذف ليمتزج مع البخار القادم من المولد عبر المنفث ليعيد الدورة من جديد .



شكل رقم (1) : الأجزاء الرئيسية لنظام التثليج الذي يعمل بالقاذف .

3. المواصفات المرغوبة عند اختيار موائع التثليج :

فيما يلي أهم الخصائص المرغوبة التي يجب ان يتصف بها مائع التثليج الجيد [2][3][4]:

3–1 . عدم التأثير على الغلاف الجوي والبيئة والمناخ :

1. عدم التأثير على طبقة الأوزون : عند اختيار مائع التثليج يجب التأكد من عدكم تأثيره على طبقة الأوزون في الغلاف الجوي ، أي انه لا يتفاعل مع هذه الطبقة محللاً إياها لما لذلك من سلبيات وأضرار كبيرة على الكائنات الحية والبيئة عموماً .
2. يجب ان لا يسهم المائع في رفع درجة حرارة الغلاف الجوي للأرض أو ما يسمى (الاحتباس الحراري) ، أي ان يكون معامل رفع درجة حرارة الغلاف الجوي له يساوي صفراً .

3–2. الخصائص الحرارية :

1. قيمة معامل الأداء : ان تكون قيمة معامل الأداء له مرتفعة نسبياً عند الظروف المحددة لدورة التثليج المطلوبة مقارنة بموائع التثليج الأخرى ، كما ان القدرة المستهلكة لكل طن تثليج يجب ان تكون منخفضة نسبياً أيضاً .
2. ان تكون حرارته الكامنة للتبخر عالية لامتصاص أكبر قدر ممكن من الحرارة من المكان المراد تثليجه بالنسبة لوحدة الكتلة من المائع .
3. ان تكون سعته الحرارية (الحرارة النوعية) كبيرة وهذا يؤدي الى ارتفاع قدرة التثليج لكل كغم من المائع .
4. يجب ان تكون درجة غليانه عند الضغط الجوي منخفضة للحصول على كفاءة جيدة ولتلافي احتمال تسرب الهواء الى داخل المنظومة عند تشغيل الدورة بضغط دون الضغط الجوي .
5. ان تكون درجة انجماده منخفضة تجنباً لانجماده عند درجة حرارة المبخر المطلوبة .
6. ان تكون درجة الحرارة الحرجة لمائع التثليج مرتفعة حتى يتم تكثيف بخاره بسهولة، اذ لا يمكن تكثيف أي بخار اذا كانت درجة حرارته أعلى من النقطة الحرجة مهما زاد الضغط

3-3. الخصائص الفيزيائية :

1. ان يكون مائع التثليج ذو توصيل حراري عالي في طوري السائل والبخار للحصول على معامل انتقال حرارة أعلى .
2. يفضل ان تكون لزوجة المائع منخفضة لتقليل الاحتكاك وانخفاض الضغط عند جريانه خلال الأنابيب .
3. ان يكون مستقراً كيميائياً ولا يتحلل عند درجات الحرارة العالية خلال دورة التثليج .
4. ان يكون المائع غير موصل للكهرباء خاصة بالنسبة للوحدات التي يكون فيها المائع في حالة تلامس مباشر مع المحرك الكهربائي .

3 – 4. خصائص الأمان :

1. ان يكون مائع التثليج غير سام أو ان تكون درجة السمية له منخفضة لكي لا يؤثر على جسم الانسان .
2. ان يكون غير قابل للاشتعال أو ان قابليته للاشتعال قليلة .
3. ان لا يتفاعل المائع مع الجدران الداخلية للأنابيب ويؤدي الى تآكلها .
4. ان الموائع المستخدمة في حفظ المواد الغذائية كالمخازن المثلجة والمبردة وأجهزة التثليج المنزلية يجب ان لا تؤثر على هذه الأغذية عند تلامسها معها في حالة تسرب المائع من منظومة التثليج .

يضاف الى ما تقدم من خصائص ان يكون مائع التثليج متوفراً في الاسواق وبكلفة مناسبة .

4. المواصفات الخاصة لمائع التثليج المستخدم في النظام الذي يعمل بالقاذف:

فضلاً عن الصفات العامة المرغوبة عند اختيار مائع التثليج المناسب والمذكورة آنفاً ، هنالك مواصفات خاصة ينبغي توفرها في المائع المستخدم في النظام الذي يعمل بالقاذف وهي [5] [6] :

1. ان يكون معامل الانضغاط لبخار المائع مقارباً للواحد كما هو الحال للغاز المثالي لكي تصح فرضية ان بخار المائع يسلك سلوك الغاز المثالي وبالتالي يصح تطبيق قوانين ديناميك الغازات والمعادلة العامة للغازات .
2. ان يكون الحجم النوعي لبخار المائع كبير نسبياً لتلافي الصعوبات الفنية في تصنيع عنقي المنفث والناشر في الاجهزة الصغيرة .
3. ان تكون درجة غليانه واطئة نسبياً ليسهل تبخره في المولد .
4. ان يكون خط البخار المشبع في مخطط (الضغط – المحتوى الحراري) ذو ميلان موجب لتجنب تكثف بخار المائع عند تمدده في المنفث ، والجدول رقم (1) يوضح الخصائص المهمة العامة والخاصة لعدد من موائع التثليج [4] [7] [8] .

5- أنواع موائع التثليج .

يمكن تصنيف موائع التثليج الى مجاميع حسب طبيعة تركيبها الكيميائي وكما يلي [2] [9] :

5-1. الموائع العضوية :

وهي الموائع التي تحتوي على ذرة أو أكثر من ذرات الكاربون في جزيئة تركيبها الكيميائي اضافة الى عدد من ذرات الهيدروجين ، وتتألف من أنواع وسلاسل ويمكن تصنيفها الى نوعين رئيسيين وهما :

جدول رقم (1) : الخصائص المهمة لبعض موائع التثليج .

مائع التثليج	الصيغة الكيميائية	الوزن الجزيئي	درجة حرارة الغليان عند الضغط الجوي °C	ثابت الغاز	درجة الحرارة الحرجة °C	الحرارة النوعية للبخار عند الضغط الجوي ودرجة حرارة الغليان (kJ / kg. K)	الحرارة الكامنة للتبخر عند درجة الغليان (KJ / Kg)	الموصلية الحرارية للسائل عند درجة حرارة الغليان (W / m. K)	الحجم النوعي للبخار المشبع عند الضغط الجوي (m^3 / kg)	معامل تحلل الأوزون	معامل رفع درجة حرارة الغلاف الجوي
R-11	CCL_3F	137	23.8	0.0605	198	0.595	180.2	0.087	0.171	1.0	3800
R-12	CCL_2F_2	121	-26.78	0.0687	112	0.72	154.7	0.087	0.136	1.0	4500
R-22	$CHCL_2F_2$	86	-40.75	0.0961	96	0.84	233.8	0.1135	0.205	0.05	510
R-50	CH_4	16	-161.5	0.52	-82.6	2.218	510.8	0.184	0.5505	0.1	21
R-113	CCL_2F	187	47.57	0.0444	214.1	0.51	144	0.082	0.135	0.9	6000
R-114	$C_2CL_2F_4$	171	3.77	0.0486	145.7	0.64	136	0.071	0.1292	0.85	9800
R-123	$CHCL_2CF_3$	153	27	0.0543	183.7	0.72	170.2	0.076	0.155	0.02	29
R-134a	CF_3CH_2F	102	-26.2	0.0815	101	0.852	163	0.104	0.137	0.0	420
R-152a	CHF_2CH_3	66	-24	0.12597	113.3	0.977	329	0.120	0.296	0.0	140
R-170	CH_3CH_3	30	-88.6	0.277	32.2	1.433	489.4	0.167	0.4867	0.0	3
R-245fa	$CHF_2CF_2CF_3$	134	15.14	0.062	154	0.919	196	0.091	0.1677	0.0	820
R-290	C_3H_8	44	-42.1	0.1885	96.74	1.44	425.6	0.129	0.4139	0.0	3
R-407c	خليط HFC	86.2	-36.6	0.096	86	0.787	249	0.128	0.216	0.0	1600
R-410A	خليط HFC	72.6	-51.36	0.1145	71.36	0.807	273	0.151	0.2396	0.0	1725
R-507A	خليط HFC	98.9	-46.74	0.084	70.6	0.777	197	0.097	0.179	0.0	3925
R-600	C_4H_{10}	58	-0.49	0.1431	152	1.641	386	0.116	0.369	0.0	0.0
R-600a	C_4H_{10}	58	-11.75	0.1431	134.66	1.547	365	0.103	0.3538	0.20	0.0
R-717	NH_3	17	-33.3	0.489	132.2	0.97	1371	0.24	0.174	0.0	0.0
R-1150	C_2H_4	28	-103.7	0.297	9.2	1.295	482.4	0.187	0.479	0.0	3
R-1270	C_3H_6	42	-47.7	0.19795	92.42	1.321	439.2	0.145	0.424	0.0	3

5-1-1. الموائع العضوية المشبعة :

وتقسم الى نوعين أو سلسلتين هما :

1. الهيدروكاربونات : وهي مجموعة من المركبات التي تتكون بنسب مختلفة من الهيدروجين والكاربون ، والمستخدم منها كموائع تثليج الميثان والايثان والبروبان والبيوتان والايزوبيوتان والبنتان والايزوبنتان ، والكثير من هذه الموائع لها قابلية على الاشتعال وبعضها سام وبدرجات مختلفة ولذلك يتم اتخاذ اجراءات احترازية بهذا الخصوص، كما ان بعضها لها تأثيرات متفاوتة على طبقة الأوزون في الغلاف الجوي عند تسربها فضلاً عن رفع درجة حرارة الغلاف الجوي وبشكل محدود .

تستخدم بعض الموائع من هذا النوع في الاستعمالات الخاصة بدرجات الحرارة المنخفضة جداً ، والجدول رقم (2) يبين موائع التثليج الهيدروكاربونية وتركيبها الكيميائي .

اسم المائع	رقم المائع	التركيب الكيميائي
ميثان	50	CH_4
ايثان	170	C_2H_6
بروبان	290	C_3H_8
بيوتان	600	C_4H_{10}
ايزوبيوتان	600 a	C_4H_{10}

جدول رقم (2) : موائع التثليج الهيدروكاربونية وتركيبها الكيميائي

2. الهالوكاربونات : ان موائع التثليج الهالوكاربونية عبارة عن هيدروكاربونات مهلجنة ، وتتكون أساساً من أحلال ذرة واحدة او أكثر من ذرات الهايدروجين الموجودة في جزئ الميثان أو الايثان او البروبان بذرات الكلور أو الفلور او البروم (وهي من الهالوجينات) .

ان غالبية الهالوكاربونات تؤثر كثيراً على طبقة الأوزون فضلاً عن رفع درجة حرارة الغلاف الجوي (الاحتباس الحراري) ، مما أدى الى خفض انتاجها بشكل كبير أو عدم استخدامها نهائياً (بالرغم من كفاءتها العالية ومواصفاتها المرغوبة) وذلك حسب الاتفاقيات الدولية خاصة بروتوكول مونتريال عام 1996 للحفاظ على الغلاف الجوي والبيئة والمناخ . تتألف الهالوكاربونات من سلسلتين رئيسيتين هما سلسلتي الميثان والايثان وسلسلة ثانوية هي البروبان ، فاذا تم احلال ذرة او أكثر من ذرات الهيدروجين لجزيء الميثان بذرة أو أكثر من ذرات الهالوجينات المذكورة آنفاً تتكون مجموعة من موائع التثليج أصل تركيبها هو جزيء الميثان ، وكذا الحال بالنسبة للايثان والبروبان .

والجدولين رقم (3) ورقم (4) يبينان التركيب الكيميائي لبعض أهم موائع التثليج الهالوكاربونية لسلسلتي الميثان والايثان على التوالي .

رقم المائع	التركيب الكيميائي	رقم المائع	التركيب الكيميائي
11	$CFCl_3$	110	CCl_3CCl_3
12	CCl_2F_2	113	CCl_2FCClF_2
13	$CClF_3$	114	$CClF_2CClF_2$
21	$CHCl_2F$	123	$CHCl_2CF_3$
22	$CHClF_2$	124	$CHClFCF_3$
30	CH_2Cl_2	125	CHF_2CF_3
31	CH_2ClF	134 a	CH_2FCF_3
41	CH_3F	141 b	CH_3CCl_2F
---	----	142 b	CH_3CClF_2
---	---	152 a	CH_3CHF_2

الجدول رقم (3) : بعض موائع التثليج الهالوكاربونية (سلسلة الميثان) وتركيبها الكيميائي

جدول رقم (4) : التركيب الكيميائي لبعض موائع التثليج الهالوكاربونية (سلسلة الايثان).

5-1-2. الموائع العضوية غير المشبعة :

ان موائع هذه المجموعة هي أساساً هيدروكاربونات تعتمد في تركيبها على الاثيلين R–1150 والبروبيلين R–1270 . وهذا النوع من الموائع قليل الأهمية وذو استخدامات محدودة وذلك لكون مواصفاته متواضعة ، والجدول رقم (5) يوضح أهم الموائع العضوية غير المشبعة وتركيبها الكيميائي .

رقم المائع	التركيب الكيميائي
1113	$CClFCF_2$
1114	CF_2CF_2
1120	$CHClCCl_2$
1130	CHClCHCl
1150	CH_2CH_2
1270	CH_3CHCH_2

جدول رقم (5) : أهم الموائع العضوية غير المشبعة وتركيبها الكيميائي

5-2. الموائع اللاعضوية :

وتعتبر من أقدم الموائع استخداماً ، ولا يزال بعضها يستخدم الى الوقت الحاضر نظراً لخصائصه الفيزيائية والحرارية الجيدة ، ومثال على ذلك الأمونيا ، والجدول رقم (6) يوضح أهم الموائع اللاعضوية وتركيبها الكيميائي .

اسم المائع	رقم المائع	التركيب الكيميائي
أمونيا	717	NH_3
ماء	718	H_2O
هواء	729	-
ثاني أوكسيد الكاربون	744	CO_2
ثاني أوكسيد الكبريت	764	SO_2

جدول رقم (6) : أهم الموائع اللاعضوية وتركيبها الكيميائي .

5-3. الموائع الزيوتروبية :

وهي عبارة عن خليط يتكون من مزج مائعين أو أكثر وبنسب معينة وثابتة بحيث ينتج مائع جديد مختلف عن مركباته ، ولكن هذا المائع يختلف تركيبه الكيميائي في طوري السائل والبخار . والجدول رقم (7) يبين بعض الموائع الزيوتروبية ونسب مكوناتها الأصلية .

رقم المائع	مكونات المائع	النسبة المئوية الكتلية %
402 A	R – 125 / R – 290 / R – 22	(60 / 2 / 38)
403 A	R – 290 / R – 22 / R – 218	(5 / 75 / 20)
403 B	R – 290 / R – 22 / R – 218	(5 / 56 / 39)
404 A	R – 125 / R – 143 a / R – 134 a	(44 / 52 / 4)
407 C	R – 32 / R – 125 / R – 134 a	(23 / 25 / 52)
410 A	R – 32 / R – 125	(50 / 50)

جدول رقم (7) : بعض الموائع الزيوتروبية ونسب مكوناتها الأصلية .

4-5. الموائع الازيوتروبية :

وهي موائع تثليج ناتجة من مزج مائعين من الهالوكاربونات وبنسب معينة وثابتة بحيث ينتج مائع تثليج جديد يختلف في خصائصه عن المائعين المركب منهما (مزيج ثابت الغليان) ، وهذا المائع لا يمكن ان يتجزأ الى مكوناته بتغيير درجة الحرارة او الضغط ولا بالتبخير او التكثيف وإنما يتبخر ويتكثف كمادة واحدة ولا يختلف تركيبها في طوري السائل والبخار ، والجدول رقم (8) يبين أهم الموائع الازيوتروبية ومكوناتها الاصلية .
ولتمييز الموائع الزيوتروبية والازيوتروبية والتي تتركب من نفس أنواع الموائع في تكوينها ولكن بنسب مختلفة يتم استخدام الحروف الكبيرة (A و B و C ....) والتي تضاف بعد رقم المائع المركب مباشرةً .

رقم المائع	مكونات المائع	النسبة المئوية الكتلية %
500	R – 12 / R – 152 a	73.8 / 26.2
501	R – 22 / R – 12	75 / 25
502	R – 22 / R – 115	48.8 / 51.2
503	R – 23 / R – 13	40.1 / 59.9
504	R – 32 / R – 115	48.2 / 51.8
505	R – 12 / R – 31	78 / 22
506	R – 31 / R – 114	55.1 / 44.9
507 A	R – 125 / R – 143 a	50 / 50

جدول رقم (8) : أهم الموائع الازيوتروبية ونسب مكوناتها الأصلية .

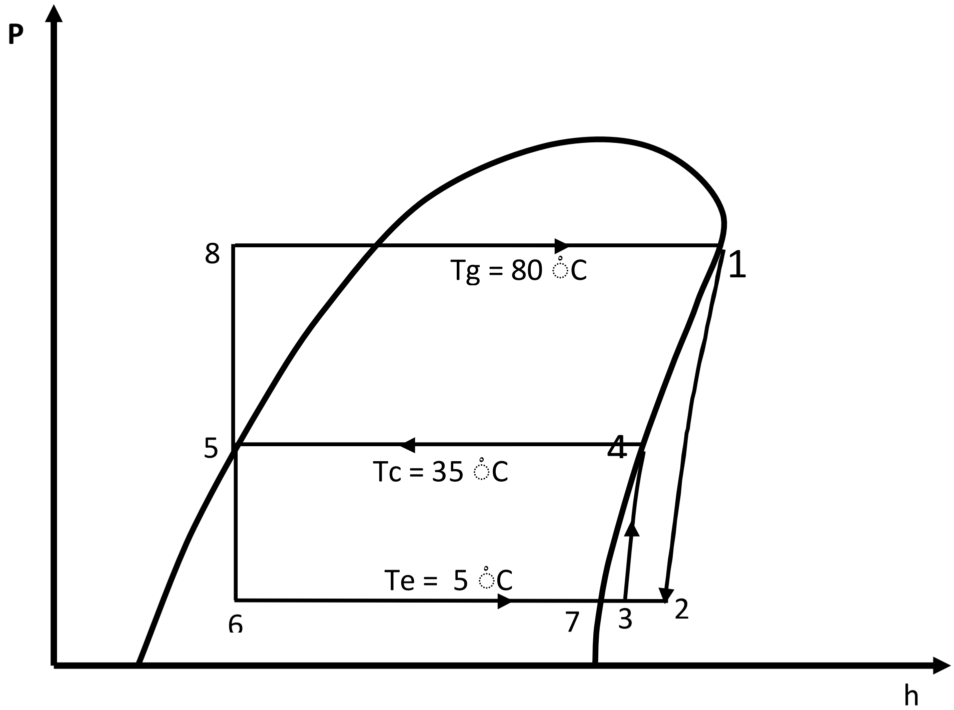
6. التحليل الرياضياتي للدورة وحساب معامل الأداء :

ان الفرضيات المستخدمة في التحليل ألرياضياتي لجريان مائع التثليج خلال القاذف تشمل ما يلي:
1. ان يكون جريان بخار المائع خلال القاذف مستقراً وأحادي البعد .
2. ان يكون جريان بخار المائع اديباتياً أثناء مروره في القاذف وأنه يسلك سلوك الغاز المثالي.
3. تياري بخاري المائع الابتدائي والثانوي يكونان في حالة الركود عند دخولهما الى القاذف .

تستخدم المعادلة الاتية لحساب قيم معامل الانضغاط للموائع عند درجات حرارة مختلفة لكل من المبخر والمكثف و مولد البخار وباستخدام جداول الخصائص الفيزيائية والحرارية للموائع :

$$Z = \frac{Pv}{RT} \qquad \text{.....(1)}$$

استناداً الى الدورة الديناميكية الحرارية الاساسية لنظام التثليج الذي يعمل بالقاذف على مخطط (الضغط – المحتوى الحراري) ، وكما موضح في الشكل رقم (2) ، يتم حساب معامل الأداء لموائع التثليج المستخدمة في هذا النظام وذلك عند درجات حرارة محددة لكل من مولد البخار والمكثف والمبخر حيث عند تحليل ديناميكية جريان مائع التثليج خلال القاذف ، يمكننا افتراض ان سرعة دخول وخروج المائع تساوي صفراً مما يقتضي تحول جميع الطاقة الحركية للمائع المتولدة أثناء تمدده في المنفث الى ضغط أثناء مروره خلال الناشر ، وهذا يعني ان الشغل الناتج من تمدد المائع في المنفث مساوٍ للشغل اللازم لرفع ضغط المائع في الناشر . ان من الضروري الأخذ بنظر الاعتبار فقدان الطاقة نتيجة احتكاك المائع مع السطح الداخلي للقاذف باستخدام قيم الكفاءة الايسنتروبية للمنفث والناشر لعمليتي التمدد والانضغاط على التوالي وكما يلي [10] :



شكل رقم (2) : دورة ديناميك الحرارة الأساسية لنظام التثليج الذي يعمل بالقاذف على مخطط (الضغط – المحتوى الحراري) .

$$w_{exp} = \dot{m}_p \, \eta_n \, (h_1 - h_2) \qquad \text{..........(2)}$$

$$w_{com} = (\dot{m}_p + \dot{m}_s)\, \eta_D \; \eta_{in} \, (h_4 - h_3) \qquad \text{..........(3)}$$

وبمساواة المعادلتين يمكننا الحصول على نسبة الكتلة (m) لتياري بخار المائع الابتدائي والثانوي وكما يلي :

$$m = \dot{m}_p \, / \, \dot{m}_s = (h_4 - h_3) \, / \, \left[(h_1 - h_2)\,\eta - (h_4 - h_3) \right] \qquad \text{..........(4)}$$

حيث ان الكفاءة الكلية للقاذف (η)

$$\eta = \eta_n \cdot \eta_D \cdot \eta_{in} \qquad \text{..........(5)}$$

أما معامل الاداء فهو :

$$COP = (h_7 - h_5) \, / \, m\,(h_1 - h_5) \qquad \text{..........(6)}$$

حيث يمكن حساب قيم المحتوى الحراري (h) عند النقاط المحددة في الدورة للمعادلات آنفة الذكر باستخدام جداول الخصائص الديناميكية الحرارية لموائع التثليج عند القيم المختلفة لدرجات الحرارة والضغوط.

7- النتائج والمناقشة :

يوضح لنا الجدول رقم (9) نتائج قيم معامل الانضغاط التي تم حسابها باستخدام جداول الخصائص الفيزيائية والحرارية لموائع التثليج المستخدمة في النظام الذي يعمل بالقاذف ، وتبين هذه النتائج قيم معامل الانضغاط عند درجات حرارة مختلفة لكل من المبخر والمكثف ومولد البخار ، وان أغلب هذه القيم تقترب من الواحد خاصة عند درجات حرارة المبخر ، وهي إحدى الصفات الخاصة التي يجب ان يتمتع بها المائع المستخدم في هذا النظام.

	درجة الحرارة (K)	R-11	R-12	R-22	R-113	R-114	R-123	R-134a	R-152a	R-245fa	R-290	R-600	R-600a	R-717	R-1270
المبخر	273	0.9795	0.911	0.888	0.992	0.964	0.98	0.916	0.918	0.968	0.891	0.959	0.944	0.933	0.878
	281	0.976	0.901	0.822	0.99	0.959	0.975	0.903	0.902	0.96	0.871	0.949	0.932	0.92	0.856
المكثف	303	0.955	0.84	0.807	0.982	0.935	0.956	0.829	0.846	0.931	0.806	0.916	0.891	0.873	0.786
	311	0.945	0.814	0.775	0.98	0.927	0.946	0.803	0.822	0.917	0.777	0.901	0.873	0.851	0.755
مولد البخار	353	0.884	0.647	0.556	0.926	0.798	0.874	0.59	0.649	0.819	0.558	0.797	0.745	0.706	0.515
	358	0.875	0.618	0.498	0.917	0.782	0.863	0.552	0.625	0.804	0.515	0.781	0.725	0.682	0.465

جدول رقم (9) : قيم معامل الانضغاط لعدد من موائع التثليج عند درجات الحرارة (5 ، 35 ، 80) مئوية لكل من المبخر والمكثف ومولد البخار على التوالي

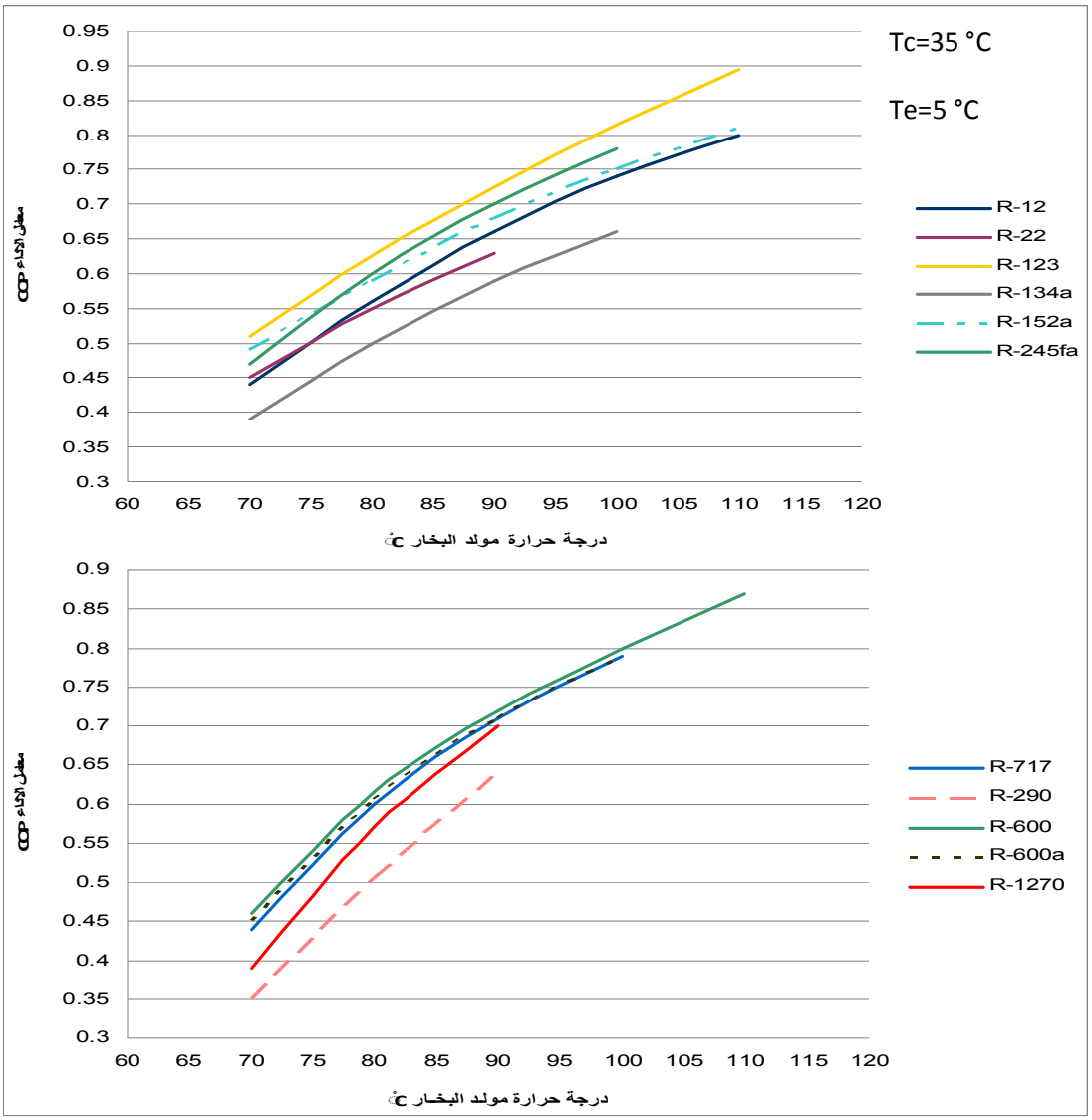
كذلك يوضح لنا الجدول رقم (10) نتائج قيم معامل الأداء لدورة نظام التثليج الذي يعمل بالقاذف ولعدد من موائع التثليج باستخدام الطريقة المذكورة في البند رقم (6) واستناداً الى جداول خصائص ديناميك الحرارة ومخططات (الضغط – المحتوى الحراري) لهذه الموائع والمنشورة من قبل مؤسسة (Ashrae) الامريكية لعام 2009 [11] وعند درجات الحرارة المئوية (5 ، 35 ، 80) لكل من المبخر والمكثف ومولد البخار على التوالي وباستخدام قيم الكفاءة الايسنتروبية للمنفث والناشر قدرها (0.9) و (0.85) على التوالي .

رقم مائع التثليج	معامل الأداء COP	رقم مائع التثليج	معامل الأداء COP
R – 11	0.64	R – 152 a	0.59
R – 12	0.56	R – 245fa	0.605
R – 22	0.555	R – 290	0.51
R – 113	0.61	R – 600	0.615
R – 114	0.56	R – 600 a	0.61
R – 123	0.625	R – 717	0.60
R – 134 a	0.51	R – 1270	0.575

جدول رقم (10) : قيم معامل الأداء لعدد من موائع التثليج

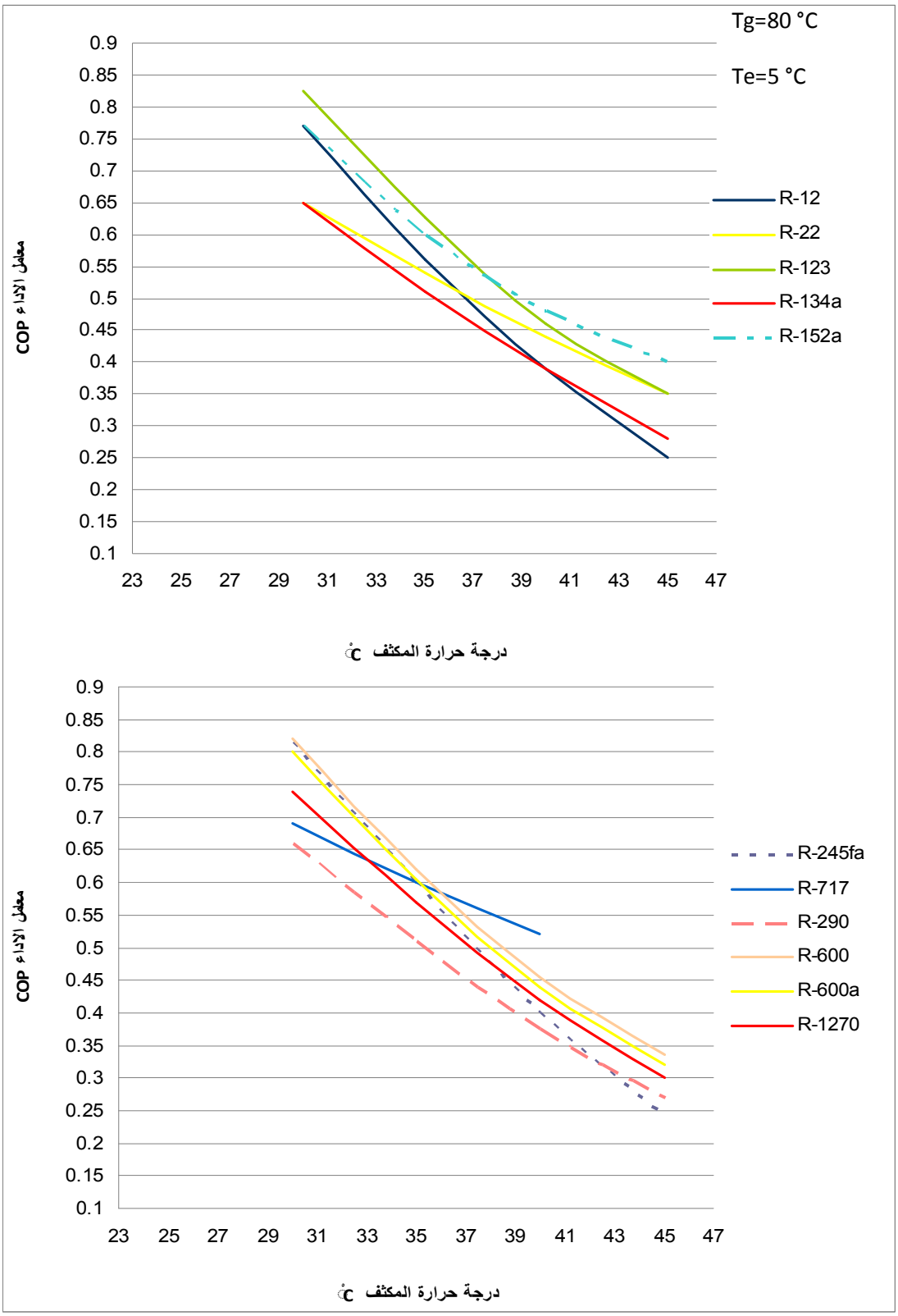
كما تم حساب قيم معامل الأداء COP لمدى واسع من درجات الحرارة لكل من مولد البخار والمكثف والمبخر للموائع المستخدمة في هذا النظام وكما موضحة في منحنيات الأشكال (3) و(4) و(5) وباستخدام برنامج Matlab

الإصدار 9 لعام 2009 ، حيث تبين لنا العلاقة الطردية بين معامل الأداء وكل من درجة حرارة (وبالتالي ضغط) مولد البخار والمبخر ، حيث تزداد قيم COP كثيراً في حالة زيادة درجة حرارة المولد بينما تكون زيادة COP متواضعة بزيادة درجة حرارة المبخر وهو ما نلاحظه في الشكل (5) حيث تظهر قيم COP قليلة لأن زيادة درجة حرارة المبخر لن تزيد كثيراً قيمة h_7 (الشكل 2) وبالتالي قيمة البسط في المعادلة (6) عند ثبوت درجتي حرارتي مولد البخار والمكثف، كذلك نلاحظ انخفاض قيم COP عند زيادة درجة حرارة المكثف وهذا الانخفاض يكون كبيراً عند درجات الحرارة المتدنية للمكثف والتي تتراوح ما بين (25 – 35) درجة مئوية ، وهو ما يوضحه الشكل (4) .

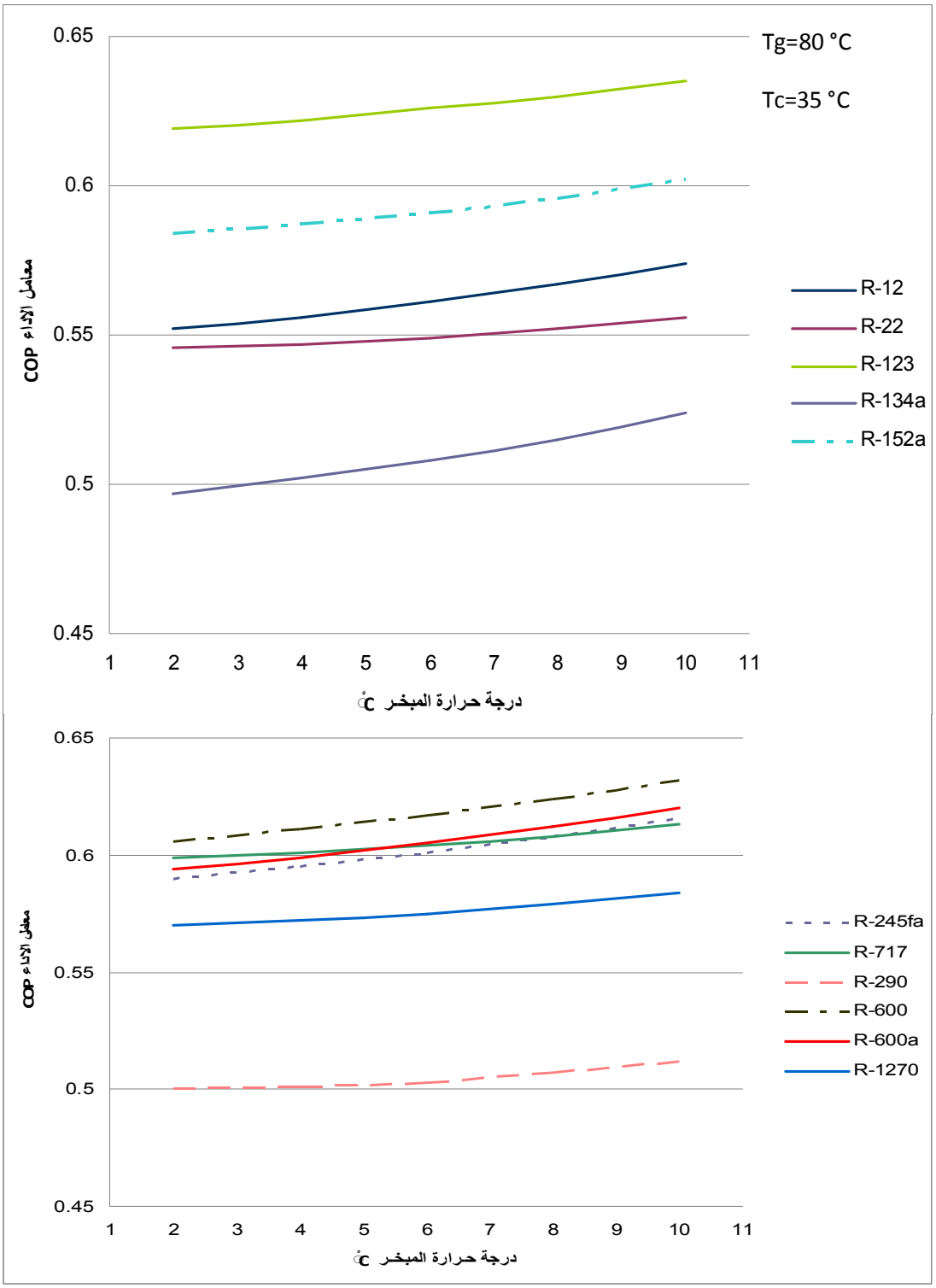


الشكل رقم (3) : قيم معامل الاداء عند تغير درجة حرارة مولد البخار لعدد من الموائع المستخدمة في النظام الذي يعمل بالقاذف عند ثبوت درجتي حرارتي المكثف والمبخر

يتبين لنا من النتائج المستخلصة من الجدولين (9) و(10) والأشكال (3) و(4) و(5) وكذلك من المواصفات الواردة في الجدول رقم (1) ، ان مائع التثليج الهيدروكاربوني بيوتان (R – 600) ذي الصيغة الكيميائية (C4H10) هو المائع الأمثل للاستخدام في نظام التثليج الذي يعمل بالقاذف ، لما تميز به من مواصفات وخصائص مقارنة ببقية الموائع ، خاصة عدم تأثيره على الغلاف الجوي والبيئة والمناخ ، ومعامل للاداء عالي نسبياً وتوفر الصفات الخاصة الأربعة فيه لاستخدامه في هذا النظام فضلاً عن توفر الغالبية العظمى من المواصفات العامة المرغوبة عند اختيار موائع التثليج ، علماً ان المائعين (R – 11) و(R – 123) يتمتعان أيضاً بمواصفات جيدة ولكن تم استبعادهما لتأثيرهما على طبقة الأوزون والإسهام في رفع درجة حرارة الغلاف الجوي .



الشكل رقم (4) : قيم معامل الاداء عند درجات حرارة مختلفة للمكثف لعدد من الموائع بثبوت درجتي حرارتي المولد والمبخر



الشكل رقم (5) : قيم معامل الاداء عند تغير درجة حرارة المبخر لعدد من الموائع بثبوت درجتي حرارتي المولد والمكثف

8 – المصادر :

1. الجودي ، د. خالد أحمد ، مبادئ هندسة تكييف الهواء والتثليج ، الطبعة الثانية ، مطبعة دار الحكمة ، جامعة البصرة ، 1991 .
2. موسى ، عدنان ريكان وآخرون ، مبادئ التبريد والتكييف ، دار الحكمة للطباعة والنشر ، الموصل ، 1990 .
3.ARI (Air-conditioning and refrigeration institute), "Refrigeration and air conditioning", 3rd edition , Prentice-Hall,Inc. ,1998.
4.McQuiston F.C.and Parker J.D. , " Heating, ventilation and air-conditioning analysis and design", 4th edition, John Wiley & Sons, Inc., 1994.
5.Al-Dabbagh A.M., "The use of the ejector in A/C and refrigeration", M.Sc. thesis submitted to the department of mechanical engineering, University of technology, Baghdad ,1983.
6.Pridasawas W., "Natural working fluids for a solar-driven ejector refrigeration system", Proceeding of the Eurotherm seminar No.72, thermodynamics, heat and mass transfer of refrigeration machines, Coberan and Royo, pp.:431-436,valencia, Spain, 2003.
7.Dupont Suva Refrigerants company, technical information about refrigerants, WWW.SUVA.dupont.com ,2003.
8.Borgnakke C. and Sonntag, "Thermodynamic and transport properties", 1st edition, John Wiley & Sons, Inc. , 1997.
9.(International standards organization, ISO-CD-817, 2006).
www.isotc.iso.org
10. Al-Saffawi A.M., "Comparison between refrigerants used in ejector refrigeration system", J. of Al-rafidain engineering , vol.10, No.2, 2002.
11. Ashrae 2009, Ashrae handbook fundamentals, chapter 30.

تم اجراء البحث في كلية ألهندسة = جامعة ألموصل