

## تأثير تركيز الأمونيا في المزيج البخاري الخارج من المقطر في أداء المبخر لآلة التبريد الامتصاصية أمونيا - ماء

د. م. عيسى محمود<sup>(1)</sup>

### الملخص

تحظى آلات التبريد الامتصاصية باهتمام كبير من الباحثين والمصنّعين على مستوى العالم نظراً الى أنّها تستلزم طاقة حرارية يمكن تأمينها من الشمس فضلاً عن أنّ وسائط التشغيل فيها لا تضر بالبيئة. إحدى وسائط التشغيل الأكثر انتشاراً هو المحلول أمونيا - ماء الذي يسمح لنا بالحصول على درجات حرارة منخفضة تصل إلى  $[-60^{\circ}\text{C}]$ . إنّ السلبية الأساسية لهذا المحلول هو أنّ درجتي حرارة غليان الأمونيا والماء النقيتين عند ضغط ثابت متقاربتان بحيث يتحرر بخار الماء فضلاً عن الأمونيا في وعاء الفصل (المولد). لذلك يركّب مقطر في الدارة للحصول على مزيج بتركيز كتلي تصميمي للأمونيا. بما أنّ وسيط التشغيل المتدفق إلى المبخر ليس عنصر تبريد (أمونيا) نقياً، بل مزيج أمونيا - ماء لذلك فإنّ درجة الحرارة ترتفع خلال عملية التبخر التي تجري تحت ضغط ثابت. إنّ الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير تركيز الأمونيا في المزيج أمونيا - ماء المتدفق إلى المبخر في أدائه. تبين أنّه لأجل تركيز أمونيا قدره 99%، وبالسماح لدرجة الحرارة بالارتفاع بمقدار  $3^{\circ}\text{C}$  فقط في نهاية المبخر عن درجة حرارة مدخله البالغة  $0^{\circ}\text{C}$  يرتفع كسر الجفاف إلى 0.921، في حين لأجل تركيز أمونيا قدره 99.9% يرتفع إلى 0.992. ترتفع هذه القيم في حالة درجة حرارة مدخل المبخر  $[-30^{\circ}\text{C}]$  لتصبح 0.935 للتركيز 99% و 0.993 للتركيز 99.9%. لذلك فإنّ معظم عملية التبخر تُنجز ضمن ارتفاع بسيط في درجة الحرارة. وقد تبين أيضاً أنّه كلما انخفضت درجة حرارة التبخر ارتفعت قيمة كسر الجفاف عند مخرج المبخر لأجل تركيز أمونيا تصميمي محدد و ارتفاع محدد، في درجة الحرارة خلال عملية التبخر.

الكلمات المفتاحية: آلة التبريد الامتصاصية، المحلول أمونيا-ماء، المقطر ذو التكاثر الجزئي، التركيز الكتلي، درجة حرارة بدء الغليان، درجة حرارة بدء التكاثر، كسر الجفاف.

<sup>(1)</sup> قسم الميكانيك العام، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

## **Effect of ammonia concentration in the vapor mixture flowing out of the rectifier on the evaporator performance of the ammonia-water absorption refrigeration machine**

**Dr. Eng. Issa Mahmoud<sup>(1)</sup>**

### **Abstract**

Absorption refrigeration machines are receiving a great attention from researchers and manufacturers worldwide since they utilize thermal energy that can be obtained from the sun, in addition to that, their working fluids do not harm the environment. One of the most common working fluids is the ammonia-water solution which allows us to obtain temperature as low as -60 [°C]. The main disadvantage of this solution is that the boiling temperatures of pure water and ammonia at certain pressure are close so that water vapor is released in addition to ammonia vapor in the desorber (generator). Therefore, a rectifier is installed in the cycle to obtain a mixture with a determined value of ammonia mass concentration. Because the working fluid flowing into the evaporator is not pure refrigerant (ammonia) but a mixture of ammonia and water, temperature during evaporation increases at constant pressure. The target of this research is to study the effect of ammonia concentration in the ammonia-water mixture flowing into the evaporator on its performance. It has been found that for ammonia mass concentration of 99% and allowing the temperature at the outlet of the evaporator to increase only 3 [°C] above the temperature at its inlet which is 0 [°C], vapor quality increases to 0.921, while for ammonia mass concentration of 99.9% vapor quality is 0.992. These values increase for the case of evaporator inlet temperature of -30 [°C] so that they become 0.935 for ammonia mass concentration of 99%, and 0.993 for ammonia mass concentration of 99.9%. Therefore, most of the evaporation process is accomplished within a small increase in temperature. It has also been found that the lower the evaporator temperature, the higher the vapor quality at the outlet of the evaporator for certain determined value of ammonia mass concentration and determined increase in the temperature during the evaporation.

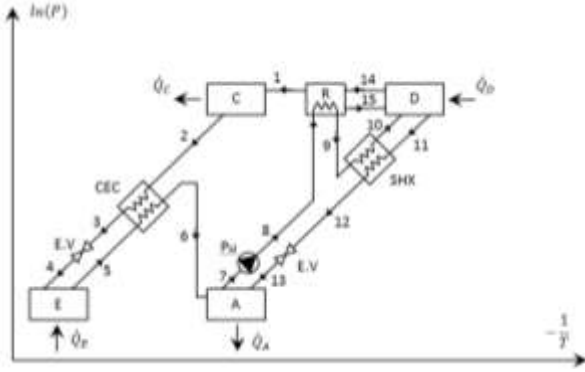
**Keywords:** Absorption refrigeration machine, Ammonia-water solution, Partial condensation rectifier, Mass concentration, Start boiling temperature, Start condensation temperature, Vapor quality.

---

<sup>(1)</sup>General Mechanics Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University.

## 1. المقدمة:

وعاء الفصل (أحياناً يدعى المولد)، وعاء الامتصاص، والمقطر، والمبادل الحراري للمحلول (SHX)، وصمام التمدد، والمضخة، ودورة التبريد التي ينجزها عنصر التبريد وتتضمن المكثف، وصمام التمدد، والمبخر، والمبادل البيئي بين المكثف والمبخر (CEC).



الشكل (1) مخطط تمثيلي لآلة تبريد امتصاصية أمونيا-ماء أحادية المرحلة على المخطط  $\ln(P)$ - $(-1/T)$

إن وظيفة وعاء الفصل D هي تحرير (فصل) عنصر التبريد (الأمونيا) عن المحلول السائل عن طريق إعطاء حرارة من مصدر خارجي إلى المحلول أمونيا-ماء الموجود ضمن الوعاء. تعتمد عملية الفصل على الفرق بين درجتي حرارة غليان العنصرين تحت ضغط ثابت، فالفرق الكبير يعني تحرير بخار عنصر التبريد فقط. إن درجتي حرارة غليان الماء والأمونيا النقيتين متقاربتان مما يؤدي إلى تحرير بخار الماء فضلاً عن بخار الأمونيا في وعاء الفصل، لذلك تتضمن الدارة المقطر الذي يجري من خلاله الحصول على أمونيا بتركيز تصميمي محدد. يعتمد عمل المقطر إما على التكاثر الكلي أو الجزئي، وفي كلا الحالتين لا يمكن الحصول على بخار أمونيا نقي بنسبة 100%. إن وجود الماء في البخار الخارج من عملية التقطير ولو بنسب ضئيلة تترتب عليه تأثيرات في أداء الدارة وخصوصاً المبخر. وقد تقصّى عدد كبير من الباحثين هذه التأثيرات. درس الباحثون [1] تأثير تركيز الأمونيا في مبخّر آلة التبريد الامتصاصية أمونيا-ماء

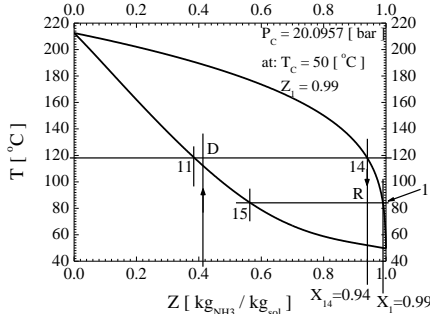
كما نعلم فإن التبريد حاجة ماسة للإنسان سواء لتأمين راحته الحرارية في مكان سكنه وعمله أو لحفظ الأغذية على مختلف أنواعها، خصوصاً مع الارتفاع الملحوظ لدرجات حرارة الهواء المحيط الذي أصبحنا نشهده في السنوات الأخيرة. لتأمين التبريد يعتمد بنسبة كبيرة جداً على آلات التبريد الانضغاطية التي تُوصف تيرموديناميكياً بأنها دارات تُنجز بالعمل في إشارة إلى الضاغط الذي يستجر طاقة كهربائية لإنجاز عمل الانضغاط. إن توليد الطاقة الكهربائية من المحطات الحرارية التقليدية يكون مصحوباً بإطلاق كميات هائلة من الملوثات الغازية إلى الهواء المحيط بشكل بات يقلق حكومات العالم كلها. وقد بيّنت الدراسات أنه في المناطق الحارة، وبلدنا سورية واحدة منها، يستجر ما نسبته 40% إلى 60% من الطاقة الكهربائية لصالح أجهزة التكييف. لأجل ذلك أصبح الاهتمام كبيراً جداً بآلات التبريد الامتصاصية التي تُوصف تيرموديناميكياً بأنها دارات تُنجز بالحرارة إذ لا تحتوي على ضاغط وهذه نقطة إيجابية من مفهوم الطاقة بسبب إمكانية الاستفادة من الطاقة الشمسية أو الحرارة الضائعة من النشاطات الصناعية المختلفة، أضف إلى ذلك النقطة الإيجابية الأخرى، وهي أنّ وسائط التشغيل فيها لا تسهم في نضوب الأوزون، ولا في الاحتباس الحراري. في هذه البحث درست دارة التبريد الامتصاصية العاملة على المحلول أمونيا - ماء التي تتميز بإمكانية الحصول على درجات حرارة تبخر منخفضة تصل إلى  $[-60 \text{ } ^\circ\text{C}]$  مقارنةً بالمحلول بروميد الليثيوم-ماء (هذان المحلولان هما الأكثر انتشاراً في آلات التبريد الامتصاصية). (الشكل 1) يبيّن مخططاً تمثيلاً لدارة التبريد الامتصاصية أمونيا-ماء أحادية المرحلة على المخطط  $\ln(P)$ - $(-1/T)$ ، إذ تتألف الدارة تيرموديناميكياً من دورتين: دورة القدرة التي ينجزها المحلول، وتتضمن

الموضحة في الشكل (1) مع اعتبار أنها تعمل باستقرار زمني وفق شروط مدينة دمشق حيث المكثف هوائي، ولأجل حالتين مختلفتين لدرجة حرارة التبخر، الأولى  $0 [^{\circ}\text{C}]$  والثانية  $30 [^{\circ}\text{C}]$ -. من الخطوات المهمة، الأولى في تحليل أداء الدارة إيجاد ضغطي التكاثف والتبخر. نظراً الى أن الوسيط البخاري المتدفق من المقطر إلى المكثف هو مزيج و ليس عنصر تبريد نقياً فيجب معرفة بارامترين لتحديد ضغط التكاثف هما درجة حرارة التكاثف والتركيز التصميمي للأمونيا في المزيج البخاري المتدفق ضمن دورة التبريد، كذلك الأمر بالنسبة إلى درجة حرارة التبخر. بالاستعانة ببرنامج PROPAT الذي يتضمن المعادلات التجريبية للمحلول أمونيا-ماء التي تعطي بارامترات كلياً لحالاته الطورية المختلفة وفق الباحثين Ibrahim and Klein تكون قيمتا الضغطين كما يأتي باعتبار أن التركيز الكتلي التصميمي للأمونيا في المزيج البخاري الناتج عن عملية التقطير هو 0.99:

$$T_C = 50 [^{\circ}\text{C}], Z_1 = 0.99 \rightarrow P_C = 20.0957 [\text{bar}]$$

$$T_E = 0 [^{\circ}\text{C}], Z_1 = 0.99 \rightarrow P_E = 4.2492 [\text{bar}]$$

ومن ثمّ وبمساعدة البرنامج PROPAT نحصل على المخطط درجة الحرارة-التركيز (T-x) تحت ضغط التكاثف كما يبينه الشكل (2) اذ المنحنى العلوي هو البخار المشبع، والمنحنى السفلي هو السائل المشبع، ويقسم هذان المنحنيان المخطط إلى ثلاث مناطق طورية هي: منطقة سائل التبريد المعقم التي تقع أسفل منحنى السائل المشبع، منطقة البخار المحمص التي تقع أعلى منحنى البخار المشبع، ومنطقة المزيج الطوري، أو منطقة البخار الرطب، المحصورة بين المنحنيين.



الشكل (2) تمثيل وعاء الفصل والمقطر بطوريهما السائل والبخار للحالة  $Z_1 = 0.99$

حيث طوروا نموذجاً رياضياً لدارة أحادية المرحلة ومقطرها يعمل بمبدأ التكاثف الكلي وقيمت عملية تقطير الأمونيا اعتماداً على فعالية مورفري (Murphree efficiency)، وقد بينوا أن تراكم الماء في المبخر يؤثر تأثيراً كبيراً في أداء الدارة. بينوا أيضاً أنه إذا كان المبخر من نوع الجاف فإن عملية التبخر لن تكتمل ومن ثمّ يسحب السائل الذي لم يتبخر من قبل البخار المتدفق إلى وعاء الامتصاص عبر المبادل البيني. يتم تبخر السائل المسحوب كله في المبادل البيني الأمر الذي يسمح بالتبريد المعقم للسائل الخارج من المكثف.

درس الباحثون [2] تأثير محتوى الماء في المزيج البخاري المتدفق إلى المبخر في أداء المبخر، وبينوا أنه كلما ازداد محتوى المزيج البخاري من الماء ازداد الفرق بين درجتي حرارة بدء الغليان وبدء التكاثف (temperature glide)، لإتمام عملية التبخر في المبخر. ومن ثمّ إذا لم يكن مسموحاً بتصميمياً بهذا الارتفاع الكبير في درجة الحرارة خلال عملية التبخر فسوف يتراكم الماء ضمن المبخر مسبباً انهياراً في أداء الدارة، ولذلك تبرز أهمية عملية التقطير للحصول على أعلى تركيز ممكن للأمونيا ضمن المزيج المتدفق إلى المبخر.

نظراً الى أهمية تقطير المزيج البخاري أمونيا-ماء المنحدر من وعاء الفصل للحصول على أعلى تركيز ممكن للأمونيا درس عدد كبير من الباحثون [3~7] دراسة تحليلية و تجريبية عملية التقطير للحصول على تركيز تصميمي محدد للأمونيا في المزيج البخاري الخارج من المقطر.

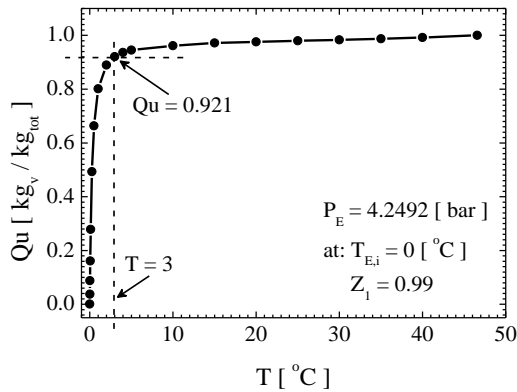
## 2. الدراسة التحليلية

الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير تركيز الأمونيا في المزيج أمونيا-ماء المتدفق إلى المبخر في دارة التبريد الامتصاصية في أدائه. لأجل ذلك اعتمدت الدارة

القيمة  $Q_u = 1$ ، تحت ضغط التبخر الثابت يجب أن ترتفع درجة حرارة التبخر من القيمة  $0 [^{\circ}\text{C}]$  عند مدخل المبخر (درجة حرارة بدء الغليان الموافقة للسائل المشبع) إلى القيمة  $46.58 [^{\circ}\text{C}]$  عند مخرجه (درجة حرارة بدء التكاثف الموافقة للبخار المشبع)، وذلك بسبب وجود الماء مع الأمونيا بنسبة كتلية تصل إلى 1%. لدراسة تفصيل عملية التبخر للمزيج أمونيا-ماء يحسب كسر الجفاف عند أية درجة حرارة خلال عملية التبخر من المعادلة الآتية:

$$Q_u = \frac{Z-X}{Y-X} \quad (1)$$

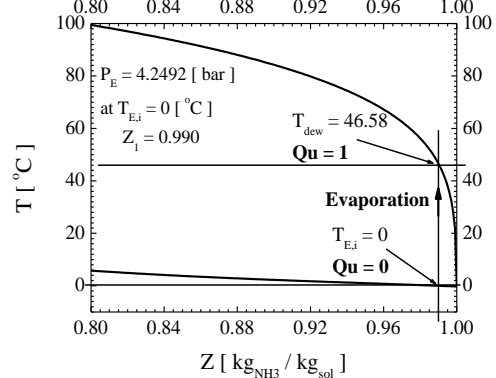
بحساب قيمة كسر الجفاف عند قيم مختلفة لدرجة الحرارة تبدأ من درجة حرارة بدء الغليان (عند مدخل المبخر)، وتنتهي عند درجة حرارة بدء التكاثف (عند مخرج المبخر)، ورسم العلاقة نحصل على الشكل (4) الذي يبيّن ازدياد قيمة كسر الجفاف مع ارتفاع درجة الحرارة في أثناء عملية التبخر. نلاحظ من الشكل أنّ ارتفاعاً قدره  $3 [^{\circ}\text{C}]$  فقط يزيد من كسر الجفاف إلى القيمة  $0.921$ ، وهذه قيمة كبيرة تُعزى إلى التركيز الكبير للأمونيا ( $0.99$ ) في المحلول السائل الذي يخضع للتبخر.



الشكل (4) ارتفاع قيمة كسر الجفاف الموافقة لارتفاع درجة الحرارة في أثناء التبخر للحالة  $Z_1 = 0.99$

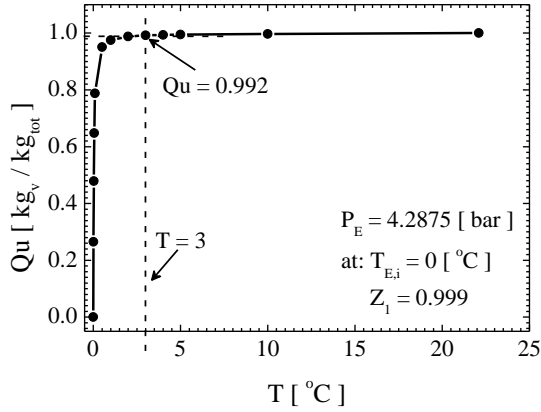
لدراسة تأثير تركيز الأمونيا في أداء المبخر أجريت الحسابات لحالة مختلفة من تركيز الأمونيا التصميمي بعد المقطر، وهي  $0.999$  إذ يبيّن الشكل (5) إجراء التبخر

من الشكل (2) نجد أنّ تركيز الأمونيا في البخار المتحرر من وعاء الفصل  $Y_{14} = 0.94$ ، أي أنّ 6% من هذا المزيج البخاري هو الماء. لأجل رفع قيمة تركيز بخار الأمونيا إلى القيمة التصميمية  $0.99$  نستخدم المقطر حيث يتكاثف البخار المتحرر من وعاء الفصل داخله بشكل جزئي تحت ضغط التكاثف وصولاً إلى درجة الحرارة التصميمية التي تتوافق مع التركيز التصميمي المطلوب. تحدّد درجة حرارة المقطر التصميمية برفع شاقول من قيمة التركيز التصميمي للأمونيا،  $0.99$ ، ليتقاطع مع منحنى البخار المشبع في النقطة 1 فيكون الإيزوترم المار من هذه النقطة هو درجة حرارة المقطر، التي تبلغ للحالة المدروسة  $T_R = 84.21 [^{\circ}\text{C}]$ . تُطرح حرارة التكاثف إلى المحلول السائل الخارج من المضخة، ويتدفق المحلول المتكاثف المُمثّل بالنقطة 15 عائداً إلى وعاء الفصل كما يبينه الشكل (1) في حين يتدفق المزيج البخاري الناتج عن عملية التقطير ذي التركيز التصميمي المرغوب فيه إلى المكثف، ومنه إلى المبخر عبر صمام التمدد لإنجاز الأثر التبريدي المطلوب في المبخر. إنّ الأثر السلبي لوجود الماء مع الأمونيا بعد التقطير يظهر بوضوح في أداء المبخر، ولأجل إيضاح هذه النقطة المهمة رسمت عملية التبخر على المنحنى T-x تحت ضغط التبخر  $P_E = 4.2492 [bar]$  كما يبيّنه الشكل (3).



الشكل (3) عملية تبخر المحلول أمونيا- ماء تحت ضغط التبخر الثابت، وارتفاع درجة حرارة التبخر للحالة  $z_1 = 0.99$

نلاحظ من الشكل (3) أنّه لإنجاز عملية التبخر بالكامل، أي الانتقال بكسر الجفاف من القيمة  $Q_u = 0$  إلى



الشكل (6) ارتفاع قيمة كسر الجفاف الموافقة لارتفاع درجة الحرارة في أثناء التبخر للحالة  $Z_1 = 0.999$

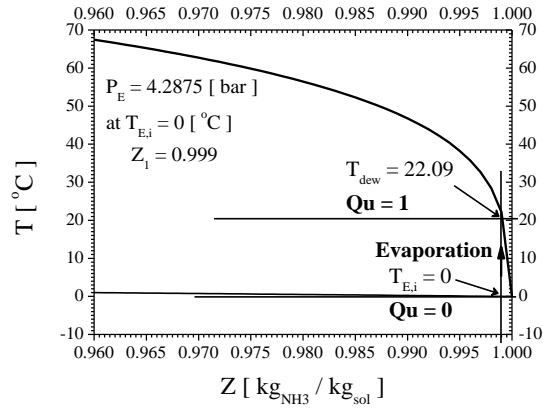
أنجزت الحسابات أعلاه لأجل حالات أخرى مختلفة من تركيز الأمونيا التصميمي المبينة في الجدول (1).

الجدول (1) الحالات المدروسة لدرجات النقاء المختلفة

$Z_1$	0.990	0.991	0.992	0.993	0.994
$Z_1$	0.995	0.996	0.997	0.998	0.999

كما نلاحظ من الشكلين (3) و(5) أنّ درجة حرارة بدء التكاثف الموافقة للبخار المشبع عند مخرج المبخر ترتبط بتركيز الأمونيا التصميمي، لذلك فالشكل (7) يبيّن تغيير درجة حرارة بدء التكاثف للحالات المعتمدة وفق الجدول (1) مع الانتباه إلى أنّ درجة حرارة مدخل المبخر ثابتة. نلاحظ من الشكل (7) الانخفاض الشديد لدرجة حرارة بدء التكاثف ولاسيما عند القيم المرتفعة لتركيز الأمونيا التصميمي، وهذا ما يبرر أهمية عملية التقطير للحصول على أكبر نقاء للأمونيا. ومن ثمّ نجد أنّ الفرق بين درجة حرارة بدء التكاثف ودرجة حرارة بدء الغليان يتناقص مع ازدياد تركيز الأمونيا (يصبح مساوياً للصفر في حال التركيز 100%، أي أمونيا نقية، لأنّ التحول الطوري للمادة النقية يجري تحت ضغط و درجة حرارة ثابتين).

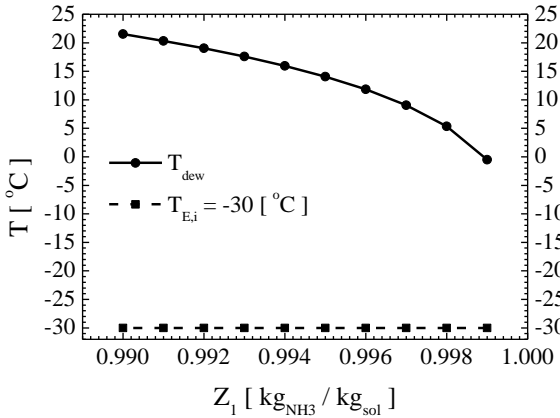
على المخطط T-x لهذه الحالة، مع الانتباه إلى أنّ ضغط التبخر قد تغير فأصبح [bar] 4.2875. نلاحظ أنّه لإنجاز عملية التبخر كلّها، أي الانتقال بكسر الجفاف من القيمة  $Q_u = 0$  إلى القيمة  $Q_u = 1$ ، تحت ضغط التبخر الثابت يجب أن ترتفع درجة حرارة التبخر من القيمة [°C] 0 عند مدخل المبخر (درجة حرارة بدء الغليان الموافقة للسائل المشبع) إلى القيمة [°C] 22.09 عند مخرجه (درجة حرارة بدء التكاثف الموافقة للبخار المشبع)، وذلك بسبب وجود الماء مع الأمونيا بنسبة كتلية تصل إلى 0.1%.



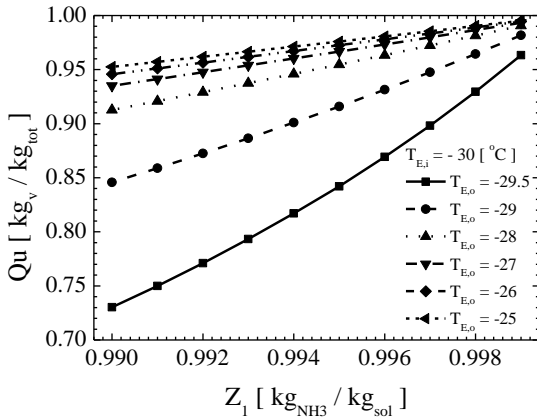
الشكل (5) عملية تبخر المحلول أمونيا-ماء تحت ضغط التبخر الثابت وارتفاع درجة حرارة التبخر للحالة  $Z_1 = 0.999$

يبين الشكل (6) ازدياد كسر الجفاف مع ارتفاع درجة الحرارة ضمن المبخر للحالة  $Z_1 = 0.999$  إذ نلاحظ أنّ ارتفاعاً قدره [°C] 3 يؤدي إلى ارتفاع كسر الجفاف إلى النسبة 0.992.

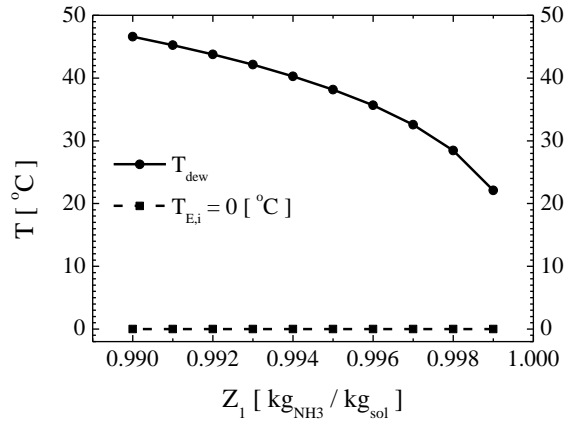
حرارة مدخل المبخر  $T_{E,i} = -30 [^{\circ}\text{C}]$  إذ يبين الشكل (9) تغيير درجة حرارة بدء التكاثف للبخار للحالات المعتمدة وفق الجدول (1). نلاحظ من الشكل الانخفاض الشديد لدرجة حرارة بدء التكاثف ولاسيما عند القيم المرتفعة لتركيز الأمونيا التصميمي، الملاحظة نفسها للشكل (7).



الشكل (9) انخفاض درجة حرارة بدء التكاثف للبخار مع ازدياد التركيز التصميمي للأمونيا في المزيج الداخل إلى المبخر يبين الشكل (10) تأثير تركيز الأمونيا في المحلول أمونيا-ماء الداخل إلى المبخر في الأداء الحراري له إذ كلما ازداد التركيز تحقق ارتفاع أكبر لكسر الجفاف عند القيمة نفسها لارتفاع درجة الحرارة خلال عملية التبخر.

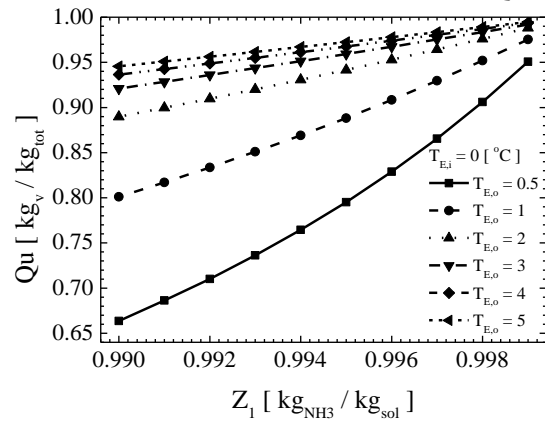


الشكل (10) ارتفاع قيمة كسر الجفاف الموافقة لقيم متعددة من ارتفاع درجة الحرارة في أثناء التبخر وحالات مختلفة من تركيز الأمونيا لأجل  $TE,i = -30 [^{\circ}\text{C}]$



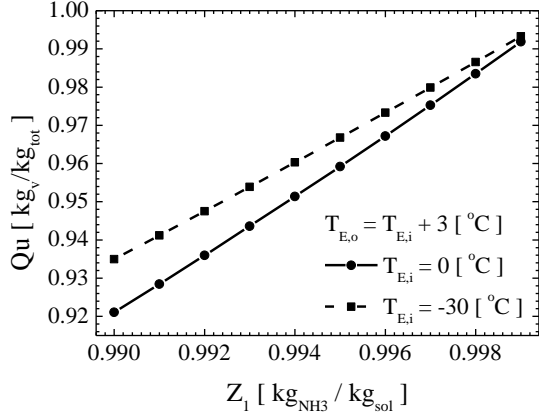
الشكل (7) انخفاض درجة حرارة بدء التكاثف للبخار مع ازدياد التركيز التصميمي للأمونيا في المزيج الداخل إلى المبخر

يبين الشكل (8) ارتفاع قيمة كسر الجفاف الموافقة لقيم متعددة من ارتفاع درجة الحرارة في أثناء التبخر وللحالات المختلفة من تركيز الأمونيا المبيّنة في الجدول (1)، ولأجل درجة حرارة مدخل المبخر  $T_{E,i}=0[^{\circ}\text{C}]$ . يظهر في الشكل (8) جلياً تأثير تركيز الأمونيا في المحلول أمونيا-ماء الداخل إلى المبخر في الأداء الحراري له، إذ كلما ازداد التركيز تحقق ارتفاع أكبر لكسر الجفاف عند القيمة نفسها لارتفاع درجة الحرارة خلال عملية التبخر.



الشكل (8) ارتفاع قيمة كسر الجفاف الموافقة لقيم متعددة من ارتفاع درجة الحرارة في أثناء التبخر وحالات مختلفة من تركيز الأمونيا لأجل  $TE,i=0 [^{\circ}\text{C}]$  لدراسة تأثير درجة حرارة التبخر في تغير كسر الجفاف خلال عملية التبخر أنجزت الحسابات السابقة لأجل درجة

التقارب بين المنحنيين يكون أكبر لحالة ارتفاع درجة الحرارة بمقدار  $3 [^{\circ}\text{C}]$  عن مدخل المبخر .

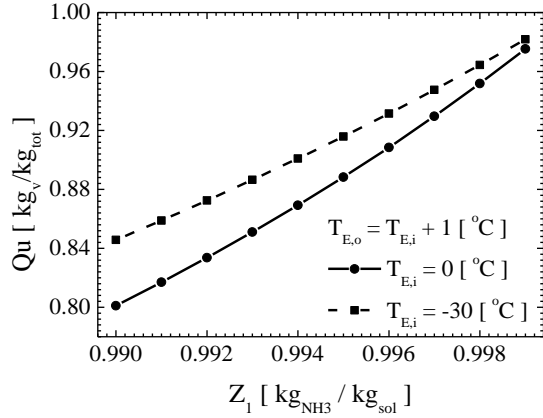


الشكل (12) مقارنة ارتفاع قيمة كسر الجفاف الموافقة لارتفاع درجة الحرارة قدره  $3 [^{\circ}\text{C}]$  في أثناء التبخر ولحالات مختلفة من تركيز الأمونيا لأجل درجتي حرارة التبخر  $0 [^{\circ}\text{C}]$  و  $-30 [^{\circ}\text{C}]$

### 3. النتائج:

درس في هذا البحث تأثير تركيز الأمونيا في المزيج أمونيا-ماء الخارج من المقطر والمتدفق إلى المبخر في دورة التبريد الامتصاصية في أداء المبخر. إنَّ عملية التبخر الكاملة لوسيط التبريد ضمن المبخر تعني ارتفاع كسر الجفاف من القيمة 0 (الموافقة لسائل مشبع عند درجة حرارة بدء الغليان) إلى القيمة 1 (الموافقة لبخار مشبع عند درجة حرارة بدء التكاثف). لأجل وسيط تبريد نقي تتطابق درجة حرارة بدء الغليان مع درجة حرارة بدء التكاثف، ولذلك تتم عملية التبخر بثبات الضغط ودرجة الحرارة. أمَّا لأجل المزيج أمونيا- ماء فهناك فرق بين درجة حرارة بدء الغليان ودرجة حرارة بدء التكاثف، ولذلك تتم عملية التبخر تحت ضغط ثابت، ولكن مع ارتفاع درجة الحرارة من بدء الغليان إلى بدء التكاثف. بنهاية البحث تم التوصل إلى النتائج الآتية:

يبين الشكل (11) مقارنة في ارتفاع قيمة كسر الجفاف الموافقة لارتفاع درجة الحرارة قدره  $1 [^{\circ}\text{C}]$  في أثناء التبخر ولحالات مختلفة من تركيز الأمونيا لأجل درجتي حرارة بداية التبخر  $0 [^{\circ}\text{C}]$  و  $-30 [^{\circ}\text{C}]$ . نلاحظ من الشكل أنَّ درجة حرارة التبخر الأخفض تعطي قيمة أعلى لكسر الجفاف خصوصاً عند تركيز تصميمي منخفض للأمونيا، وذلك بسبب انخفاض ضغط التبخر. نلاحظ أنَّه مع ارتفاع التركيز التصميمي للأمونيا يتقارب المنحنيان حتى يصل إلى درجة التطابق تقريباً عند القيم المرتفعة للتركيز التصميمي للأمونيا.



الشكل (11) مقارنة ارتفاع قيمة كسر الجفاف الموافقة لارتفاع درجة الحرارة قدره  $1 [^{\circ}\text{C}]$  في أثناء التبخر ولحالات مختلفة من تركيز الأمونيا لأجل درجتي حرارة التبخر  $0 [^{\circ}\text{C}]$  و  $-30 [^{\circ}\text{C}]$

أيضاً الشكل (12) يبين مقارنة في ارتفاع قيمة كسر الجفاف الموافقة ولكن لارتفاع درجة الحرارة قدره  $3 [^{\circ}\text{C}]$  في أثناء التبخر، ولحالات مختلفة من تركيز الأمونيا لأجل درجتي حرارة تبخر هما  $0 [^{\circ}\text{C}]$  و  $-30 [^{\circ}\text{C}]$ . الملاحظة نفسها للشكل (11) تظهر بوضوح في الشكل (12) إذ أنَّ درجة حرارة التبخر الأخفض تعطي قيمة أعلى لكسر الجفاف خصوصاً عند تركيز تصميمي منخفض للأمونيا. نلاحظ أيضاً أنَّه مع ارتفاع التركيز التصميمي للأمونيا يتقارب المنحنيان إلى درجة التطابق، مع ملاحظة أنَّ



- (1) في حالة درجة حرارة مدخل المبخر [°C] 0 ولأجل تركيز أمونيا 99% يكون الفرق بين درجتي حرارة بدء الغليان وبدء التكاثف  $\Delta T = T_{dew} - T_b = 46.58 - 0 = 46.58$  [°C] أما إذا كان تركيز الأمونيا 99.9% فيصبح الفرق بين درجتي الحرارة  $\Delta T = T_{dew} - T_b = 22.09 - 0 = 22.09$  [°C]
- (2) في حالة درجة حرارة مدخل المبخر [°C] -30، ولأجل تركيز أمونيا 99% يكون الفرق بين درجتي حرارة بدء الغليان وبدء التكاثف  $\Delta T = T_{dew} - T_b = 21.52 - (-30) = 51.52$  [°C] أما إذا كان تركيز الأمونيا 99.9% فيصبح الفرق بين درجتي الحرارة  $\Delta T = T_{dew} - T_b = -0.52 - (-30) = 29.48$  [°C]
- (3) ارتفاع تركيز الأمونيا يؤدي إلى انخفاض الفرق بين درجتي حرارة بدء الغليان وبدء التكاثف للمزيج أمونيا-ماء.
- (4) انخفاض درجة حرارة التبخر يؤدي إلى ازدياد الفرق بين درجتي حرارة بدء الغليان، وبدء التكاثف للمزيج أمونيا-ماء عند تركيز محدد للأمونيا.
- (5) في حالة درجة حرارة مدخل المبخر [°C] 0 ولأجل تركيز أمونيا 99%، وارتفاع تصميمي لدرجة الحرارة خلال كامل عملية التبخر مقداره [°C] 1 يكون كسر الجفاف 80.1% عند مخرج المبخر. في حين لأجل تركيز أمونيا 99.9% يصبح كسر الجفاف 97.5% عند مخرج المبخر.
- (6) في حالة درجة حرارة مدخل المبخر [°C] 0، ولأجل تركيز أمونيا 99% وارتفاع تصميمي لدرجة الحرارة خلال كامل عملية التبخر مقداره [°C] 3 يكون كسر الجفاف 92.1% عند مخرج المبخر. في حين لأجل تركيز أمونيا 99.9% يصبح كسر الجفاف 99.2% عند مخرج المبخر، وهذا ما يقارب التبخر الكامل للمزيج أمونيا-ماء المتدفق ضمن المبخر.
- (7) في حالة درجة حرارة مدخل المبخر [°C] -30 ولأجل تركيز أمونيا 99%، وارتفاع تصميمي لدرجة الحرارة خلال كامل عملية التبخر مقداره [°C] 1 يكون كسر الجفاف 84.6% عند مخرج المبخر. في حين لأجل تركيز أمونيا 99.9% يصبح كسر الجفاف 98.2% عند مخرج المبخر.
- (8) في حالة درجة حرارة مدخل المبخر [°C] -30، ولأجل تركيز أمونيا 99% وارتفاع تصميمي لدرجة الحرارة خلال كامل عملية التبخر مقداره [°C] 3 يكون كسر الجفاف 93.5% عند مخرج المبخر. في حين لأجل تركيز أمونيا 99.9% يصبح كسر الجفاف 99.3% عند مخرج المبخر وهذا ما يقارب التبخر الكامل للمزيج أمونيا-ماء المتدفق ضمن المبخر.
- (9) بناءً عليه فإن ارتفاع تركيز الأمونيا يؤدي إلى زيادة كسر الجفاف عند مخرج المبخر عند الارتفاع التصميمي نفسه المسموح به لدرجة الحرارة خلال كامل عملية التبخر.
- (10) لأجل تركيز أمونيا محدد وارتفاع محدد في درجة الحرارة خلال عملية التبخر يرتفع كسر الجفاف بانخفاض درجة حرارة مدخل المبخر.
- (11) بسبب القيم الكبيرة للفرق بين درجتي حرارة بدء الغليان وبدء التكاثف الواردة أعلاه لا يمكن السماح بارتفاع درجة الحرارة خلال التبخر من بدء الغليان إلى بدء التكاثف. بناءً عليه يمكن السماح تصميمياً بارتفاع درجة الحرارة خلال عملية التبخر بمقدار بسيط عن مدخل المبخر بحيث نحصل على قيم مرتفعة لكسر الجفاف تكون أعلى من 90%. أما المحلول المتبقي على شكل سائل لم يتبخر فيخرج من المبخر إما بطريقة الجرف (entrainment) أو الاستنزاف (bleeding) إلى وعاء الامتصاص [2,1].

## REFERENCES

1. Jose Fernandez-Seara, et al., "Ammonia–water absorption refrigeration systems with flooded evaporators". Applied Thermal Engineering 26 (2006) 2236–2246.
2. Jose Fernandez-Seara, et al., "The importance of the ammonia purification process in ammonia–water absorption systems". Energy Conversion and Management 47 (2006) 1975–1987.
3. Jaime Sieres, et al., "Experimental analysis of ammonia–water rectification in absorption systems with the 10mm metal Pall ring packing". International journal of refrigeration 31 (2008) 270-278.
4. Jaime Sieres, et al., "Mass transfer characteristics of a structured packing for ammonia rectification in ammonia-water absorption refrigeration systems". International Journal of Refrigeration 30 (2007) 58-67.
5. Jaime Sieres, et al., "Experimental investigation of mass transfer performance with some random packing for ammonia rectification in ammonia–water absorption refrigeration systems". International Journal of Thermal Sciences 46 (2007) 699–706.
6. Jose Fernandez-Seara, et al., "Simultaneous heat and mass transfer of a packed distillation column for ammonia–water absorption refrigeration systems". International Journal of Thermal Sciences 41 (2002) 927–935.
7. E.W. Zavaleta-Aguilar, et al., "Thermal design of a tray-type distillation column of an ammonia/water absorption refrigeration cycle". Applied Thermal Engineering (2012) 1-9.

Received	2017/01/04	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2017/06/21	قبول البحث للنشر

## الرموز والمصطلحات:

$CEC$	المبرد البيني مكثف - مبخر
$E.V$	صمام التمدد
$P[bar]$	الضغط
$Pu$	المضخة
$\dot{Q}$ [kW]	الاستطاعة الحرارية
$Qu$ [ $kg_v/kg_{tot}$ ]	كسر الجفاف
$R$	المقطر
$SHX$	المبادل الحراري للمحلول
$T[^\circ C]$	درجة الحرارة
$X[kg_{NH_3}/kg_{sol}]$	التركيز الكتلي للأمونيا في الطور السائل للحالة المعتبرة
$Y[kg_{NH_3}/kg_{sol}]$	التركيز الكتلي للأمونيا في الطور البخاري للحالة المعتبرة
$Z[kg_{NH_3}/kg_{sol}]$	التركيز الكتلي الكلي للأمونيا للحالة المعتبرة

## الدلائل السفلية:

$A$	وعاء الامتصاص
$b$	بدء الغليان
$C$	المكثف
$D$	وعاء الفصل
$dew$	بدء التكاثف
$E$	المبخر
$E, i$	مدخل المبخر
$E, o$	مخرج المبخر
$sol$	محلول
$tot$	كلي
$v$	بخار
1~15	نقاط الدارة المختلفة