

## استخدام ضغط التفريغ في معالجة المياه المالحة

ليث عبد العليم الغزاز-

جامعة الموصل-كلية الهندسة-قسم الهندسة المدنية

### الملخص

يركز البحث على معالجة المياه المالحة بتطبيق عملية التقطير بأسلوب يعتمد على توليد ضغط تفريغ عليها إذ يتم رفع وحدة التقطير إلى مستوى أعلى من مستوى سطح الأرض وسحب الماء منها فتؤدي هذه العملية إلى جعل الماء يغلي في درجات حرارية أقل من (100) درجة مئوية وذلك نتيجة لوصول الضغط المطلق إلى ضغط بخار الماء عند تلك الدرجات. تم رفع وحدة التقطير إلى ثلاث مستويات تبعد (6.27-7.15-8.25)م عن سطح الأرض فكانت الضغوط المطلقة المسلطة على الماء المالح (37.54-27.76-18.21) كيلوباسكال على التوالي ودرجات الغليان (78-72-62) درجة مئوية على التوالي. جرى إخضاع نماذج من المياه المالحة بنفس التركيز والحجم إلى درجات حرارية مختلفة عند كل مستوى. أظهرت النتائج ارتفاع معدل التبخير مع زيادة الارتفاع عن مستوى سطح الأرض ومع زيادة الدرجة الحرارية المسلطة من المصدر. وقد ارتبط ذلك بارتفاع طاقة التبخير نتيجة لزيادة (تدفق حرارة الغليان) مع الانخفاض الحاصل في الضغط المطلق ومع الزيادة في درجة الحرارة المسلطة. كان متوسط الزيادة في معدل التبخير (6.78) سم<sup>3</sup>/ساعة لكل كيلوباسكال انخفاض في الضغط المطلق و(7.41) سم<sup>3</sup>/ساعة لكل درجة مئوية زيادة في درجة الحرارة. كما تم تصميم أنبوب التكثيف اللازم لكل عملية غلي وتبخير تم إجراؤها اعتماداً على مبدأ امرار المكثف في الهواء الجوي. كما تم بحث مدى تأثير درجة الحرارة والضغط المطلق المسطين على طول أنبوب التكثيف.

الكلمات الدالة: إزالة الأملاح-التقطير-ضغط التفريغ.

## The Use Of Vacuum Pressure For Water Desalination

Layth Abdul-Aleem Alannaz

University of Mosul-College of Engineering

### Abstract

The research focuses on water desalination by distillation process under condition of vacuum pressure. The distillation unit was elevated over the ground surface then water was sucked from it. The water was boiled at temperatures below (100)°C as a result of reaching the absolute pressure to the vapor pressure values of water at these temperatures. The distillation unit was elevated at (6.27-7.15-8.25)m over ground surface, so that the absolute pressures exerted were (37.54-27.76-18.21)kPa respectively and the boiling points were (78-72-62) °C respectively. At each elevation of the distillation unit, different values of temperature were applied on the saline water samples (with same concentration and volume). The results indicated increasing in evaporation rate with increased elevation from ground level and with increasing of the applied temperature. This is linked with increasing in evaporation energy as a result of (boiling heat flux) increasing with the depression in absolute pressure and with increasing in temperature. The average increasing in evaporation rate was (6.78)cm<sup>3</sup>/hr for each (kPa) depressing in absolute pressure and (7.41) cm<sup>3</sup>/hr for each (°C) rising in temperature. The condensation tube was designed for each boiling and evaporation process depending on mounting the condenser at atmosphere. The design was affected by the variation in temperature and pressure applied.

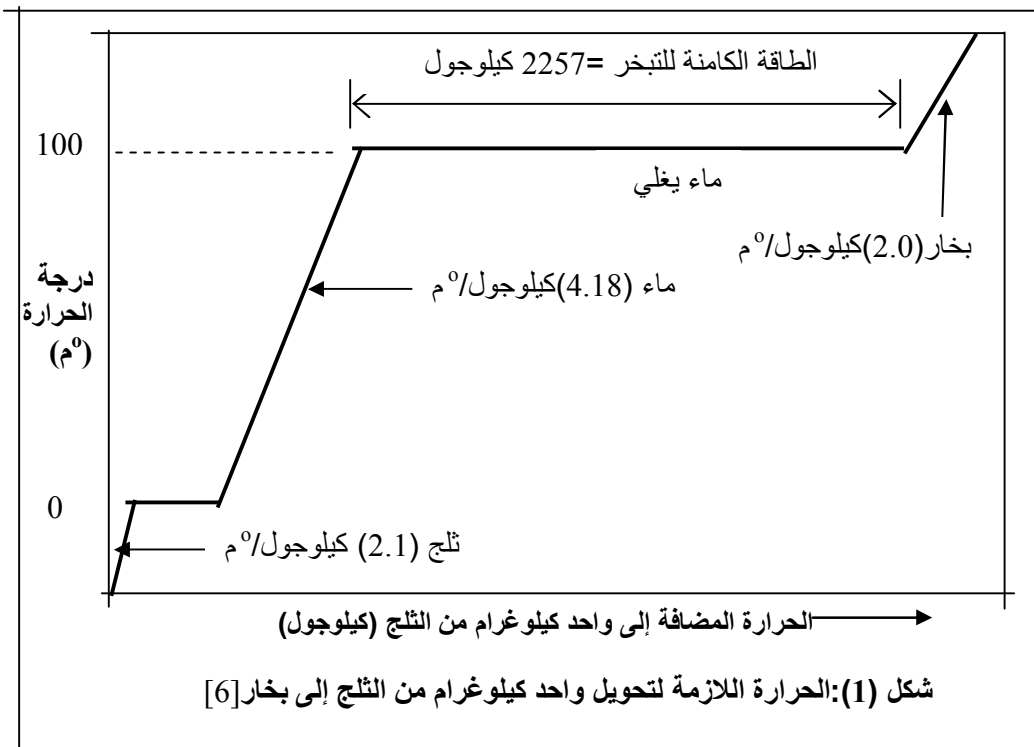
Key words: Desalination, Distillation, Vacuum pressure

### المقدمة ومراجعة المصادر:

يزداد الطلب العالمي على المياه العذبة مع تزايد أعداد السكان ومع تصاعد النمو الاقتصادي لبلدان العالم المختلفة, لذا لم تعد مصادر هذه المياه (وخاصة الأنهار) تسد الحاجة الفعلية للتجمعات الحضرية, ومما زاد من الأمر سوءاً اشتراك عدة دول في المصدر المائي أو تردي نوعيته بسبب زيادة النشاطات البشرية عليه أو لكونه بعيداً عن التجمع السكاني نفسه, لذا فقد اتجه الإنسان إلى استغلال المياه الجوفية أو حتى مياه البحار لسد حاجته من المياه, إلا أن مياه البحار تعاني من ارتفاع حاد في تركيز الملوحة فيها كما تتسم بعض المياه الجوفية بارتفاع الملوحة فيها إلى مستوى تحتاج معه إلى المعالجة لجعل هذه المياه صالحة للشرب أو الاستهلاك المنزلي أو الصناعي أو حتى الزراعي.

إن إزالة الملوحة (Desalination) يتم تطبيقها بطرق عديدة في محطات معالجة المياه المنتشرة حول العالم إذ يوجد حالياً أكثر من (12500) محطة إزالة ملوحة صناعية تعمل بمعدل إنتاج (22.8) مليون متر مكعب باليوم وذلك للتخفيف من مشكلة نقص المياه [1], ومع هذا فإن طرق إزالة الملوحة ما زالت مكلفة نظراً لحاجتها إلى كميات كبيرة من الطاقة [2][3] مما جعل العديد من دول العالم غير قادرة على تحمل التكاليف التقنية لهذه الطرق من أجل توفير مصدر للمياه العذبة النقية [4]. وعلى هذا الأساس فإن الحاجة إلى تطوير هذه الطرق بحيث تصبح أكثر كفاءة وأقل كلفة تعد من الأولويات البيئية على مستوى العالم.

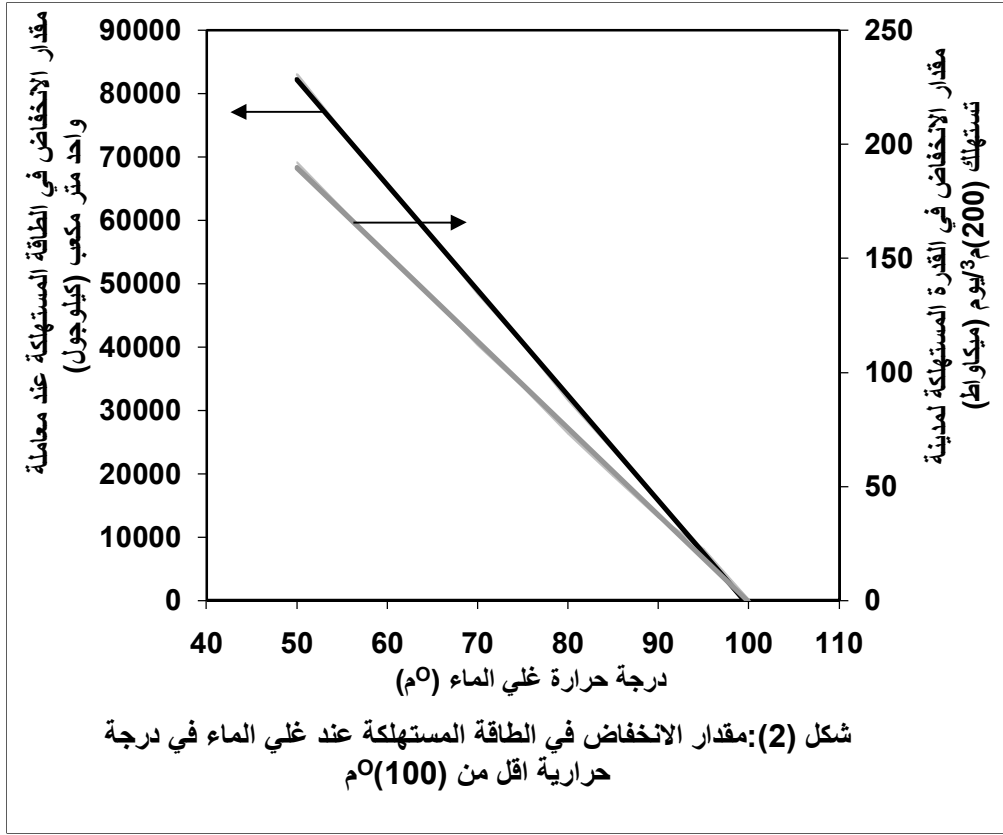
إن الطرق المستخدمة في إزالة الملوحة (Desalination) في محطات معالجة مياه الإسالة هي التقطير والتنافذ العكسي والديليزة الكهربائية [5], وتعد عملية التقطير (Distillation) من الطرق الشائعة في إزالة الملوحة من المياه وهي تعتمد على مبدأ أن الأملاح لا تتبخر مع الماء لذا فعند غلي الماء وتكثيف البخار فإن الماء الناتج هو ماء نقي [6], وعلى الرغم من تطوير طرق تقطير عالية الكفاءة إلا أنها تستهلك كميات كبيرة من الطاقة [7] فكل واحد كيلو غرام من الماء [وكما هو موضح بالشكل (1)] يحتاج إلى (4.18) كيلوجول لرفع درجة حرارته درجة مئوية واحدة ويحتاج بعد إيصاله إلى (100)°م إلى (2257) كيلوجول إضافية وهي الطاقة الكامنة للتبخير لجعله يغلي في (100)°م.



على ضوء ذلك فإن جعل الماء يغلي في درجة حرارية أقل من (100)°م سوف يقلل من الطاقة المستهلكة في عملية التقطير مما يقلل بالتالي من كلفة هذه العملية بأكملها, فعلى سبيل المثال عند غلي الماء في (90)°م [الحرارة الكامنة للتبخير عند هذه الدرجة (2283) كيلوجول/كيلوغرام] فإن صافي الطاقة التي يتم توفيرها هو (15.8) كيلوجول لكل كيلوغرام

## الغناز: استخدام ضغط التفريغ في معالجة المياه المالحة

من الماء أي (15800) كيلوجول لكل متر مكعب فالانخفاض في الطاقة المستهلكة يزداد مع الهبوط في درجة غليان الماء ومع زيادة حجم الماء المراد معاملته وكما يظهر من الشكل (2).



إن نقطة غليان السائل تعتمد على الضغط المسلط وعلى درجة الحرارة [8]. فالماء كما هو معروف يغلي عند (100) م° وذلك لان الضغط المطلق المسلط عليه وهو الضغط الجوي مساوي لضغط بخاره عند هذه الدرجة وهو (100) كيلوباسكال، [ في حين يغلي الماء عند (93) م° إذا انخفض الضغط الجوي إلى (80) كيلوباسكال كما هو الحال عند (2) كيلومتر فوق مستوى سطح البحر ] [9]. إن البحث يركز على خفض الضغط الجوي المسلط على الماء المالح وذلك برفع الماء إلى مستويات أعلى من مستوى سطح الأرض (ليس لآلاف الأمتار بل لأمتار معدودة) وذلك من أجل الوصول بالضغط المطلق المسلط على الماء إلى ضغط بخار الماء عند درجات حرارية اقل من (100) م° أي جعله يغلي عند درجات حرارية اقل من (100) م°. وقد جرى بحث رفع الماء إلى مستوى واحد ثابت وإجراء عملية التقطير عند ذلك المستوى [10][11] في حين يتناول البحث إجراء عملية التقطير عند مستويات مختلفة ومعرفة التأثيرات الناتجة من ذلك والعوامل المؤثرة عليها .

### أهداف البحث:

- 1- معالجة الماء المالح بعملية تتضمن غليه في درجات حرارية اقل من (100) م° عن طريق رفعه إلى مستويات أعلى من سطح الأرض وتوليد ضغط تفريغ عليه للوصول بالضغط المطلق إلى ضغط بخاره عند تلك الدرجات.
- 2- بيان مدى تأثير معدل التبخير بتغاير درجة الحرارة عند نفس الضغط المطلق المسلط، وبتغاير الضغط المطلق عند نفس درجة الحرارة.
- 3- دراسة تأثير درجة الحرارة المسلطة على طاقة التبخير عند الضغوط المطلقة المختلفة.
- 4- تصميم أنبوب التكثيف اللازم لكل عملية تبخير وتوضيح علاقة ذلك باختلاف درجة الحرارة والضغط المسلطين.

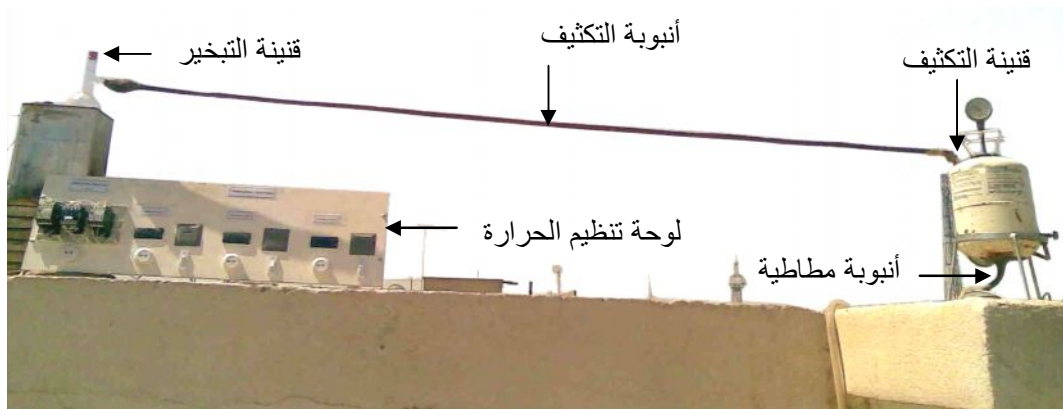
**المواد والعمل :**

تتألف وحدة التقطير وكما هو مبين في الشكل (3) من :

- 1-قنينة للتبخير يتعرض فيها الماء المالح (تركيز الملح فيه 1500ملغرام/لتر) إلى التسخين بفعل مصدر حراري مزود بمنظم حراري للسيطرة على درجة الحرارة المطلوب تسليطها.
- 2-مكثف عبارة عن أنبوبة نحاسية بطول (2.5)م وقطر داخلي (17.5)ملم وجدار بسماك (0.75)ملم يتصل احد طرفيها بقنينة التبخير ويتصل طرفه الآخر بقنينة لتجميع الماء المكثف.
- 3-قنينة للتكثيف يتجمع فيها الماء بعد تكثيفه في الأنبوب النحاسي.
- 4-أنبوب مطاطي متصل إحدى نهايتيها بأسفل قنينة التكثيف والنهية الأخرى بصمام.
- 5-مقياس خاص لقياس ضغط التفريغ داخل الوحدة.

إن توليد ضغط التفريغ داخل الوحدة وأسلوب تنفيذ العمل جرى بإتباع الخطوات التالية:

- 1-رفع وحدة التقطير إلى ارتفاع معين عن سطح الأرض ومد الأنبوب المطاطي المتصل بقنينة التكثيف إلى الأسفل بحيث يكون الصمام عند سطح الأرض.
- 2-ملئ جميع أجزاء الوحدة تقريبا بالماء المراد معالجته.
- 3-فتح الصمام والسماح للماء بالنزول من وحدة التقطير إلى الخارج فيتمدد بذلك الهواء الموجود في الوحدة مما يؤدي إلى انخفاض الضغط فيها عن الضغط الجوي فيتولد ضغط تفريغ داخلها, ويستمر الماء بالخروج من الوحدة إلى أن يتعادل الضغط الجوي مع ضغط تفريغ مضافا إليه ضغط عمود الماء.
- 4-تسخين الماء المالح في قنينة التبخير إلى الدرجة الحرارية المطلوبة ثم يترك الماء يغلي لمدة ساعتين يجري بعدها فتح قنينة التبخير وحساب معدل التبخير.
- 5-إعادة الخطوات من الخطوة (2) إلى (4) عند نفس الارتفاع على نموذج آخر جديد من الماء بنفس الحجم والتركيز ولكن مع زيادة درجة حرارة التسخين, إذ تعاد هذه الخطوات في كل مرة يتم فيها زيادة درجة الحرارة.
- 6-رفع وحدة التقطير إلى ارتفاع آخر أعلى من السابق وإعادة الخطوات من (2) إلى (5).



شكل(3): وحدة التقطير المستخدمة في البحث (الارتفاع 8.25م)

**النتائج والمناقشة:**

إن رفع وحدة التقطير إلى الأعلى وسحب الماء منها يعود بالفائدة في جانبيين أولهما: عدم الحاجة إلى مضخة تفريغ (Vacuum pump) لسحب الهواء من الوحدة وتوليد ضغط التفريغ وما يتبع ذلك من الحاجة إلى طاقة كهربائية لتشغيل المضخة فضلا عن الحاجة إلى صيانتها وإدامتها, وثانيهما: انتفاء الحاجة إلى مضخة لدفع الماء المراد معالجته إلى الأعلى (من سطح الأرض إلى داخل الوحدة) فيمجرد توليد ضغط التفريغ في الوحدة فان الماء سوف يرتفع إلى الأعلى تحت تأثير الضغط الجوي.

## الغزاز: استخدام ضغط التفريغ في معالجة المياه المالحة

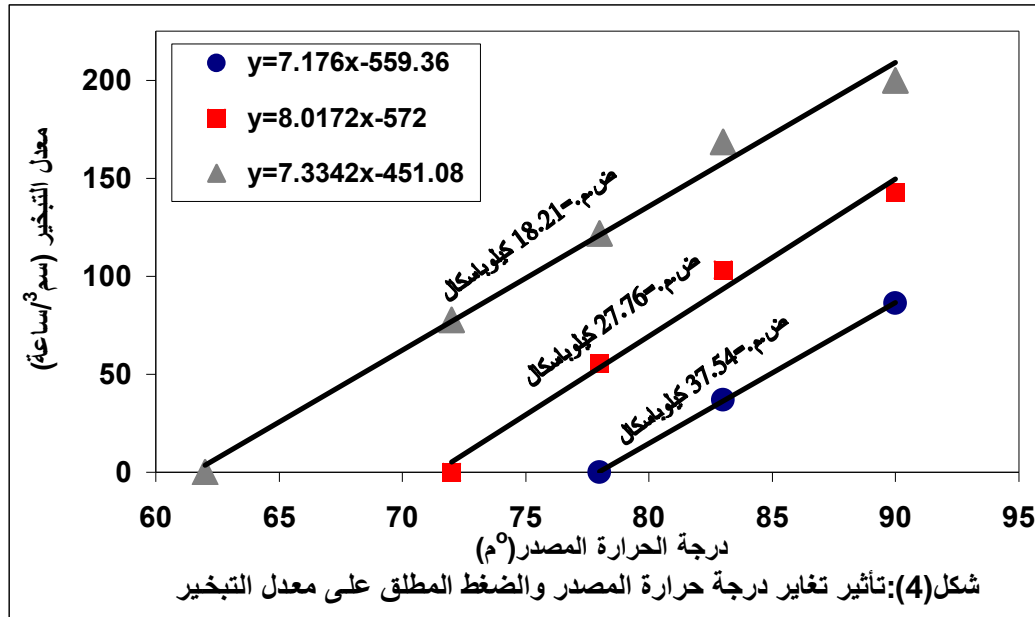
إن الارتفاعات عن سطح الأرض التي جرى رفع وحدة التقطير إليها هي (6.27-7.15-8.25)م وكانت ضغوط التفريغ وما نتج عنها من ضغوط مطلقة إزاء كل منها مبينة في الجدول (1). وقد تم حساب الضغط المطلق بالاعتماد على قيمة الضغط الجوي المستحصل من دائرة الأنواء الجوية في مدينة الموصل في كل وقت تم فيه إجراء عملية الغليان ويمثل الضغط المطلق (Absolute pressure) الضغط الجوي الموقعي مطروحا منه ضغط التفريغ (Vacuum pressure) إذ يمثل ضغط التفريغ مقدار الانخفاض عن الضغط الجوي الموقعي.

جدول(1): مقدار ارتفاع وحدة التقطير عن سطح الأرض ومقدار كل من ضغط التفريغ والضغط المطلق

مقدار الارتفاع عن سطح الأرض (م)	ضغط التفريغ المتولد (كيلوباسكال)	الضغط المطلق (كيلوباسكال)	درجة حرارة الماء عند بدء الغليان (م°)*
6.27	61.35	37.54	78
7.15	71.06	27.76	72
8.25	80.22	18.21	62

\* تبقى درجة الحرارة التي يبدأ عندها الماء بالغليان ثابتة مهما ازدادت درجة حرارة المصدر.

وقد تم قياس معدلات التبخير لنماذج الماء المالح بعد تعريضها لدرجات حرارية مختلفة وذلك عند كل مستوى جرى رفع وحدة التقطير إليه. وقد لوحظ من النتائج إن معدلات التبخير قد اختلفت باختلاف درجة حرارة المصدر وباختلاف الضغط المطلق المسلط ويظهر ذلك من الشكل (4) إذ يلاحظ زيادة معدلات التبخير مع زيادة درجات الحرارة عند نفس الضغط المطلق وكذلك زيادة معدلات التبخير مع انخفاض الضغط المطلق عند نفس الدرجة الحرارية للمصدر في حين لم يكن هنالك تبخير إلا بشكل بسيط لا يكاد يذكر عند أوطأ درجة حرارة بدأ عنده التبخير .



إن التباينات التي حدثت في معدلات التبخير ترتبط بطاقة التبخير [ شكل (5) ] وهي الطاقة المستهلكة من قبل السائل المتبخر خلال وحدة الزمن إذ تقوم جزيئات السائل قبل تبخرها بسحب طاقة من جسم السائل الذي تنفصل عنه تمثل الطاقة الكامنة للتبخير. إذ يمكن حساب طاقة التبخير [10] من المعادلة:

$$Q_e = \rho * h_L * q \quad (1)$$

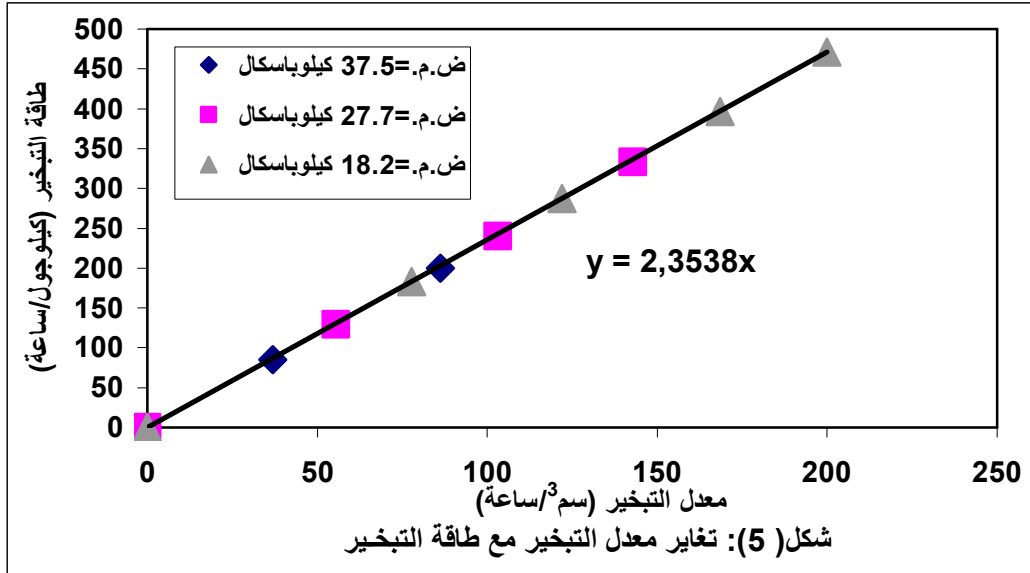
إذ أن :

$Q_e$ : طاقة التبخير (كيلوجول/ساعة).

$\rho$ : الكثافة الكتلية للسائل (كيلو غرام/م<sup>3</sup>).

$h_L$ : الطاقة الكامنة للتبخير عند درجة حرارة الغليان (كيلوجول/كيلو غرام).

$q$ : معدل التبخير (م<sup>3</sup>/ساعة).

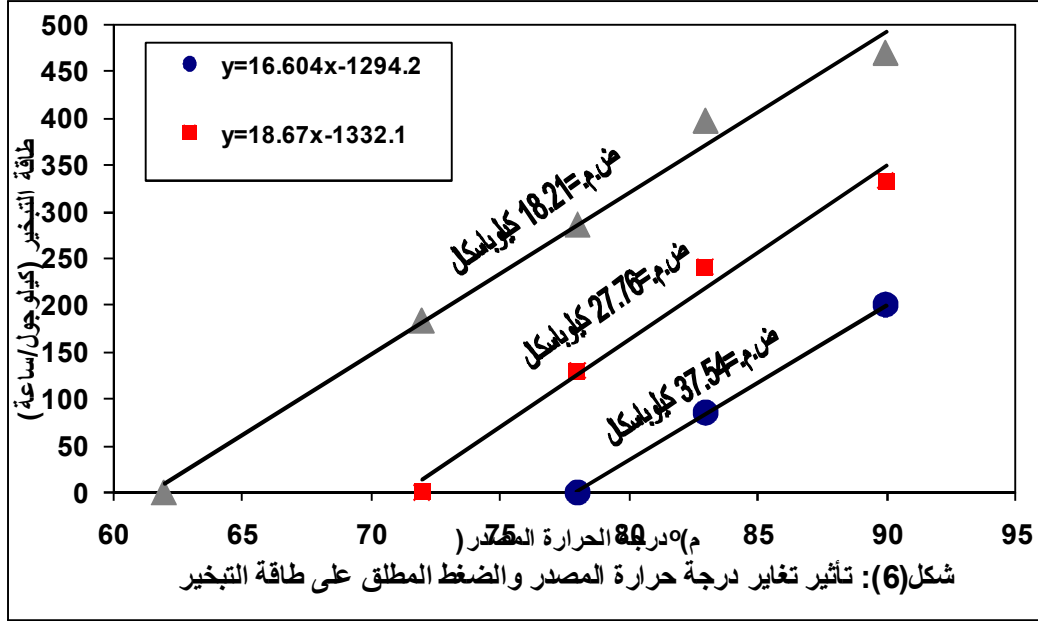


ويلاحظ من الشكل (6) زيادة طاقة التبخير مع زيادة درجة حرارة المصدر ومع انخفاض الضغط المطلق عند نفس الدرجة الحرارية ويعود سبب ذلك إلى ما يعرف بتدفق حرارة الغليان (Boiling heat flux) وهو معدل انتقال الحرارة من المصدر الحراري إلى الماء عبر مساحة الاتصال بينهما إذ يرتبط هذا التدفق بمقدار درجة الحرارة الزائدة (Excess temperature) عن الدرجة الحرارية التي يغلي عندها الماء عند الضغط المطلق المسلط [12] فكلما ازداد هذا المقدار ازداد التدفق الحراري وبالتالي توفرت لجزيئات الماء الطاقة التي تجعلها تنفصل عن السائل وهذا يفسر:

- 1- زيادة معدل التبخير مع زيادة درجة الحرارة عند ثبوت الضغط المطلق .
- 2- زيادة معدل التبخير مع انخفاض الضغط المطلق وثبوت درجة الحرارة وذلك لانخفاض درجة الغليان مع انخفاض الضغط المطلق فيرتفع بذلك مقدار درجة الحرارة الزائدة.
- 3- عدم حدوث تبخير يذكر عندما كانت درجة حرارة المصدر مساوية للدرجة الحرارية التي بدأ عندها الماء بالغليان نتيجة لعدم حدوث التدفق الحراري.

إن الزيادة في معدل التبخير عند انخفاض الضغط المطلق بمقدار واحد كيلوباسكال كان متقاربا عند كل درجة حرارية تم تثبيتها إذ كان معدل الزيادة (6.78) سم<sup>3</sup>/ساعة لكل كيلوباسكال انخفاض في الضغط المطلق، كما كانت الزيادة في معدل التبخير عند رفع درجة الحرارة درجة مئوية واحدة متقاربة عند القيم الثلاث للضغط المطلق التي جرى تثبيتها فقد كان معدل الزيادة (7.41) سم<sup>3</sup>/ساعة لكل درجة مئوية زيادة في درجة الحرارة. وما ينطبق على معدل التبخير ينطبق على طاقة التبخير فمعدل الزيادة في طاقة التبخير الحاصل عند تباير كل من درجة الحرارة والضغط المطلق بمقدار وحدة واحدة كان متقاربا في الحالتين، إذ كان معدل الزيادة في طاقة التبخير (16.06) كيلوجول/ساعة لكل كيلوباسكال انخفاض في الضغط المطلق و(17.3) كيلوجول/ساعة لكل درجة مئوية زيادة في درجة الحرارة، لذلك إذا انخفض الضغط المطلق بمقدار واحد كيلوباسكال (برفع وحدة النقطير 10 سم تقريبا) وزادت درجة الحرارة درجة مئوية واحدة فإن الزيادة في معدل التبخير ستكون (14.19) سم<sup>3</sup>/ساعة والزيادة في طاقة التبخير ستكون (33.36) كيلوجول/ساعة.

## الغاز: استخدام ضغط التفريغ في معالجة المياه المالحة



ومما تجدر الإشارة إليه انه عند تطبيق عملية التقطير فانه من الضروري تحديد مقدار التبخير الذي سوف يحصل خلال وحدة الزمن وذلك لحساب حجم الوحدة والوقود اللازم للتسخين، وبما إن معدل التبخير يعتمد على درجة الحرارة والضغط المطلق المسلطين ويتغير بتغيرهما لذا فان هنالك عدة قيم من الحرارة والضغط المطلق تسبب نفس المعدل من التبخير إذ يمكن تحديد هذه القيم من اختيار قيمة معينة لمعدل التبخير وتعويضها بالمعادلة الخاصة لكل حالة من الضغط المطلق [شكل (4)] فيمكن بذلك تحديد قيم الحرارة اللازم تسليطها. مثلا يمكن تحقيق معدل تبخير (100) سم<sup>3</sup>/ساعة عند تسليط (18.2) كيلوباسكال و(75)°م أو عند تسليط (27.7) كيلوباسكال و(84)°م أو عند تسليط (37.5) كيلوباسكال و(91)°م. بعد ذلك يمكن إيجاد طاقة التبخير بإدخال درجة الحرارة التي يتم اختيارها في معادلة حساب طاقة التبخير الخاصة بالضغط المطلق [شكل (6)] أو تعويض معدل التبخير في المعادلة التي تربطه مع طاقة التبخير [شكل (5)].

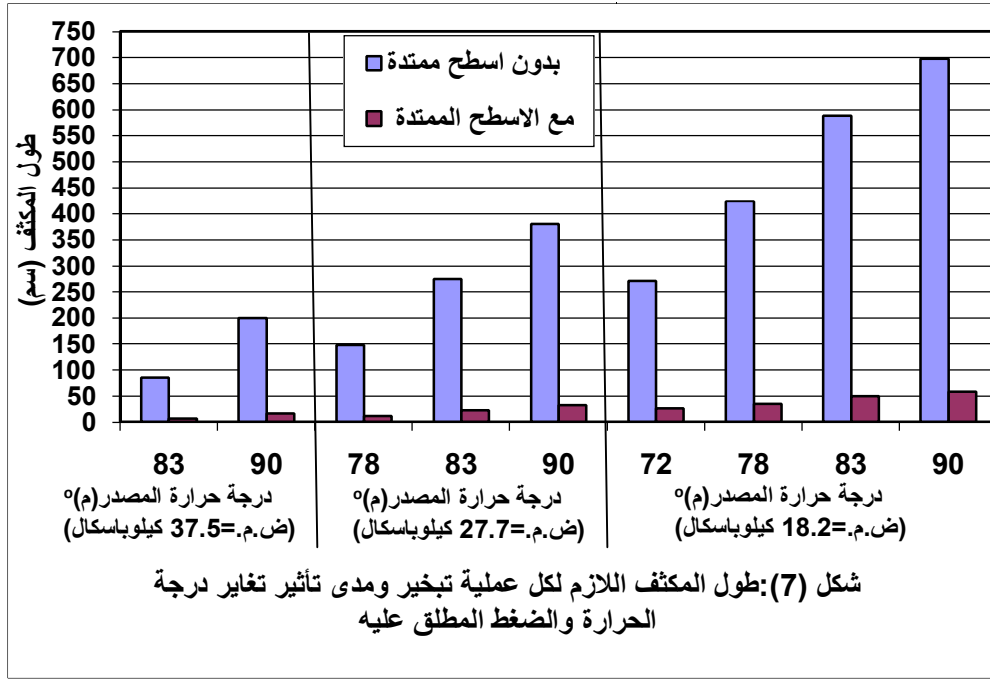
وبالنسبة لأنبوبة التكثيف فقد جرى تصميمها اعتمادا على مبدأ تسريب الحرارة من المكثف إلى الهواء الجوي دون الحاجة إلى إمرار مياه تبريد حول المكثف (وما يتبع ذلك من ضرورة ضخ المياه للأعلى وتوفير مصدر لها)، إلا إن هذا الأمر استوجب معه استخدام مكثف مصنوع من مادة لها قابلية عالية على توصيل الحرارة وقد وقع الاختيار على النحاس نظرا لما يتمتع به النحاس من خصائص حرارية عالية فهو من المعادن العالية التوصيل للحرارة ( إذ يمتلك أعلى توصيل حراري

(Thermal conductivity) بعد الفضة يليه الذهب فالألومنيوم) [13] [14] كما انه متوفر تجاريا وبأسعار معقولة. تتضمن عملية التكثيف انتقال الحرارة الكامنة التي يحملها البخار إلى جدار المكثف ثم تمر هذه الحرارة عبر جزيئات الجدار لتنتقل بعد ذلك من الجدار إلى المائع المحيط بالمكثف، لذلك فان عملية التكثيف وتسريب الحرارة الناتجة عنها يعتمد على عدة عوامل منها ما هو مرتبط بالمكثف (شكله الهندسي-وضعه-مساحته السطحية-سمك جداره-توصيله الحراري المعتمد على مادته) ومنها ما هو مرتبط بخصائص المائع المحيط بالمكثف (درجة حرارته-توصيله الحراري-لزوجه الكينماتية) ومنها ما هو متصل بالسائل وبخاره (كثافة السائل-كثافة البخار-اللزوجة الكينماتية للسائل-الحرارة الكامنة للتبخير-درجة حرارة البخار-الحرارة النوعية للسائل- التوصيل الحراري للسائل-سرعة حركة السائل داخل المكثف).

إن هنالك مجموعة من القوانين [12] تضم الخصائص المذكورة وتستخدم لحساب معدل الحرارة المنقلة بفعل التكثيف عبر المكثف إلى الهواء الجوي إذ جرى تطبيق هذه القوانين لكل عملية غلي وتبخير تم إجراءها، ثم تم إيجاد معدل التكثيف لمتر واحد من طول الأنبوب المستخدم ثم حساب طول الأنبوب اللازم لكل عملية. ويظهر الشكل (7) طول المكثف اللازم لكل عملية تبخير ويبين الشكل أيضا مدى تأثير طول المكثف بدرجة الحرارة والضغط المطلق المسلطين على النموذج إذ يلاحظ زيادة طول المكثف مع ارتفاع درجة الحرارة وكذلك مع انخفاض الضغط المطلق إذ يرتبط ذلك وكما تمت الإشارة



إليه بزيادة معدل التبخير نتيجة لزيادة معدل الحرارة المنتقلة إلى النموذج مع ارتفاع الدرجة الحرارية للمصدر ومع انخفاض الضغط المطلق المسلط، فالمكثف سوف يحتاج إلى طول أكثر (مساحة سطحية أكبر) مع زيادة ما يحمله البخار من حرارة كامنة من اللازم تبديدها.



إن الحيز الذي يشغله المكثف طولياً يمكن تقليله بعمل التواء واحد أو أكثر على شكل الحرف (U) في أنبوبة التكثيف ويتحقق في نفس الوقت زيادة فرص تكثيف البخار كما يمكن تقليل طول المكثف نفسه بزيادة مساحته السطحية عن طريق زيادة قطره أو إتباع طريقة أكثر كفاءة وهي ربط أسطح ممتدة عليه تسمى بالزعانف (Fins). إذ تعمل هذه الأسطح على زيادة الحرارة المتسربة، وتوجد الزعانف بعدة أشكال منها الحلقي (Annular) فإذا تم ربط أسطح ممتدة حلقيّة بقطر (94.25) ملم حول المكثف تفصل بين الواحدة والأخرى مسافة (20) ملم فإن طول المكثف سوف يكون بطول أقل بكثير وهو ما يظهر من الشكل (7).

### الاستنتاجات:

- 1- يمكن معالجة المياه المالحة بالتقطير في درجات حرارية أقل من (100)° م وذلك بتوليد ضغط تفريغ عليها عن طريق رفع وحدة التقطير إلى مستوى أعلى من مستوى سطح الأرض وسحب الماء منها فيتشكل فيها ضغط مطلق يساوي ضغط بخار الماء عند تلك الدرجات الحرارية.
- 2- إن نقطة غليان الماء التي تحدث عندها عملية التقطير تنخفض كلما تم رفع وحدة التقطير إلى الأعلى وذلك لزيادة ضغط التفريغ المتولد وبالتالي انخفاض الضغط المطلق المسلط على الماء.
- 3- تمتاز عملية التقطير تحت تأثير ضغط التفريغ بأنها تستهلك طاقة أقل كما أنها تتم بسرعة أكبر مما هي عليه في حالة إجرائها تحت تأثير الضغط الجوي الاعتيادي فمعدل التبخير ازداد مع انخفاض الضغط المطلق المسلط (أي مع زيادة الارتفاع عن مستوى سطح الأرض) وذلك عند ثبوت درجة الحرارة كما ازداد معدل التبخير مع زيادة درجة الحرارة المسلطة عند ثبوت الضغط المطلق المسلط على الماء.
- 4- تزداد طاقة التبخير مع زيادة التدفق الحراري من المصدر الحراري إلى الماء وذلك مع زيادة درجة الحرارة المسلطة عن درجة حرارة الغليان ومع انخفاض الضغط المطلق من المصدر عند نفس الدرجة الحرارية.
- 5- كان متوسط الزيادة في معدل التبخير عند انخفاض الضغط المطلق كيلوباسكال واحد مقارب لمتوسط الزيادة في معدل التبخير عند زيادة الحرارة درجة مئوية واحدة، وينطبق ذلك أيضاً على طاقة التبخير.



## الغزاز: استخدام ضغط التفريغ في معالجة المياه المالحة

6-يعتمد الطول اللازم للمكثف على درجة حرارة عملية التقطير فكلما ازدادت هذه الدرجة كلما ازداد طول المكثف كما يعتمد أيضا على الضغط المطلق فكلما قل الضغط المطلق ازداد الطول اللازم للمكثف.

### التوصيات:

- 1-يجب مراعاة أن تكون وحدة التقطير بجميع أجزائها مقاومة للضغط الجوي الخارجي نتيجة لضغط التفريغ داخلها [تراوح الضغط الجوي المؤثر على كل سنتيمتر مربع من السطح الخارجي للوحدة من (6) إلى (8) نيوتن].
- 2- يجب ربط أجزاء وحدة التقطير بعضها مع بعض بشكل محكم لتفادي دخول الهواء من الخارج مما يعيق توليد ضغط التفريغ داخل الوحدة.

### المصادر:

- 1-Francesca Macedonio, Efreem Curcio and Enrico Drioli, "Integrated membrane systems for seawater desalination: energetic and exergetic analysis economic evaluation experimental study", Desalination, vol. 203, Issues 1-3, February 2007.
- 2-Ioannis C. Karagiannis and Petros G. Soldatos, "Water desalination cost literature: review and assessment", Desalination, vol. 223, Issues 1-3, March 2008.
- 3-Nicos X. Tsiourtis, "Desalination and the environment", Desalination, vol. 141, Issue 3, December 2001.
- 4-Akili D. Khawaji, Ibrahim K. Kutubkhanah and Jong-Mihn Wie, "Advances in seawater desalination Technologies", Desalination, vol. 221, Issues 1-3, March 2008.
- 5-Mark J. Hammer and Mark J. Hammer Jr., "Water and Wastewater Technology", 5<sup>th</sup> ed., Prentice-Hall Inc., New Jersey, 2004.
- 6-Gilbert M. Masters, "Introduction To Environmental Engineering and Science", 2<sup>nd</sup> ed., Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1998.
- 7-Stanley E. Manahan, "Environmental Science and Technology", CRC Press LLC, Florida, 1997.
- 8-John K. Vennard and Robert L. Street, "Elementary Fluid Mechanics", 6<sup>th</sup> ed., John Wiley & Sons, New York, 1982.
- 9-Yunus A. Cengel and John M. Clmbada, "Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications", Mc-Graw Hill, New York, 2006.
- 10-S. Al-Kharabsheh and D. Yogi Goswami, "Theoretical Analysis of a Water Desalination System Using Low Grade Solar Heat", Journal of Solar Energy Engineering, vol. 126, May, 2004.
- 11-A. K. Lalzad, I. W. Eames, G. G. Maidment and Karayiannis, "Investigation of a novel small-scale solar desalination plant", International Journal of Low Carbon Technology, April, 2006.
- 12-Yunus A. Cengel, "Heat Transfer: A practical Approach", 2<sup>nd</sup> ed., ., Mc-Graw Hill, New York, 2003.
- 13-James R. Welty, Charles E. Wicks, Robert E. Wilson and Gregory Rorrer, "Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer", 4<sup>th</sup> ed., John Wiley & Sons, 2001.
- 14-Lindon C. Tomas, "Fundamentals of Heat transfer", Prentice-Hall, New Jersey, 1980.

تم اجراء البحث في كلية الهندسة = جامعة الموصل