

## البارامترات الهندسية والهيدروليكية المؤثرة في سطح التبادل الحراري للمكثفات الصندوقية العمودية المائية العاملة في آلة التبريد الضاغطة البخارية

م. رعداء الدهيم<sup>(1)</sup> و د. م. سهيل مرشدة<sup>(2)</sup>

### الملخص

تعتبر أجهزة التبادل الحراري (ومن ضمنها المكثفات) عناصر أساسية في الآلات الحرارية سواء في المحركات الحرارية أو في محطات التبريد وآلاته، وهي تؤدي دورا مهما في أداء تلك الآلات. وتختلف المكثفات المستخدمة في محطات التبريد وآلاته فيما بينها من حيث الوسط المستخدم لسحب الحرارة من بخار وسيط التبريد المحمص القادم إليها من الضاغط، ويأتي في مقدمتها مكثفات التيار التي تعتمد على المياه التي بدورها تصنف إلى مكثفات أفقية صندوقية وأخرى صندوقية عمودية التي هي هدف دراستنا لما لها من مزايا: صغر حجمها مهما كانت استطاعة المكثف كبيرة. تكاليف التركيب منخفضة، والميزة الأهم إمكان تساقط الترسبات المتشكلة ضمن الانابيب والناشئة عن جريان مياه التبريد ومن ثم سهولة تنظيف الانابيب، لذلك كان هدف البحث هو دراسة تأثير البارامترات المختلفة في مساحة سطح التبادل الحراري للمكثفات المائية الصندوقية العمودية، وذلك باستخدام برنامج حاسوبي لأننا بحاجة إلى إجراء حسابات كثيرة ومعقدة لا يمكننا إجراؤها يدوياً، وذلك بعد التأكد من دقة النتائج التي حصلنا عليها من البرنامج الحاسوبي. وتبين لنا من النتائج التي حصلنا عليها أن مساحة سطح التبادل الحراري للآلة التي تعمل على الامونيا يكون أصغر منها الفريونات. كما لاحظنا أنه لا يوجد تأثير ملحوظ لدرجة حرارة التكاثف في سطح التبادل الحراري. وإن زيادة سرعة جريان ماء التبريد بشكل صغير يمكن أن يكون له فائدة اقتصادية إذ يقلل من سطح التبادل الحراري المطلوب للمكثف. كما رسمنا منحنيات تصميمية تساعد المهندسين على اختيار تصميم مناسب للمكثف دون الحاجة للمعادلات المعقدة.

**الكلمات المفتاحية:** المكثفات الصندوقية العمودية، سطح التبادل الحراري، الحمل الحراري النوعي، أمونيا، فريون.

1 ماجستير في هندسة التبريد، قسم الميكانيك العام، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

2 أستاذ مساعد، قسم الميكانيك العام، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

## The effect of geometric and hydraulic parameters on heat exchange surface of vertical water condenser which works in vapor compressing refrigeration machine

Eng.Raghda Al-Dhim<sup>(1)</sup> and Dr.Suhel Marche<sup>(2)</sup>

### Abstract

The heat exchange device (such as condenser) is essential elements in the thermal machines whether in thermal engines or refrigeration machines, and its play important role in performance of these machines. the condenser which is used in refrigeration machine differ between each other from where the kind of the fluid which is used to remove the heat from vapor of the refrigeration fluid which comes from the compressor. And at the first of these condenser is shell and tube condenser which is used water and it is classified to horizontal condenser and vertical condenser which is the goal of our study because it has many advantage: however is the capacity of the condenser is big, , low cost of establishment, and the important advantage is the fall possibility of the sediment which form within the tubes because of the cooling water circulation and that facilitate tubes cleaning. Therefore the purpose of this research is studding the effect of various parameters on the area of heat exchange surface for vertical water condenser by simulation because we need to make a lot of difficult calculation which we can't make it manually after have been trusted that the simulation gives precise results. The results show that the heat exchange surface of ammonia machine is smaller than Freon machine. However, results indicate that there is a negligible effect of condensing temperature on heat exchange surface. And that small increase in velocity of cooling water will be useful because its decrease the area of heat exchange surface. Also we plot diagrams which help engineers to select appropriate design for condenser without need to complex equation.

**Key words:** Vertical water condenser, Heat exchange surface, Specific capacity, Ammonia, Freon.

---

<sup>(1)</sup>Department of general mechanical-Faculty of mechanical & electrical engineering, Damascus University

<sup>(2)</sup>Assistant prof in Department of general mechanical-Faculty of mechanical & electrical engineering, Damascus University.

**1- المقدمة:**

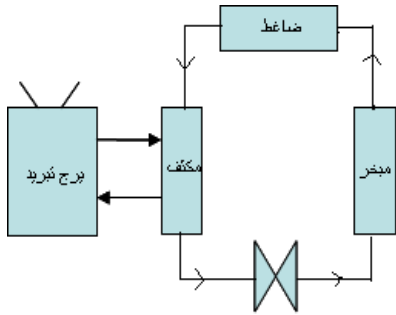
يعدّ المكثف في آلة التبريد الضاغطة البخارية عنصراً أساسياً يدخل في تكوينها مثله في ذلك مثل المبخر. يجري في المكثف عملية تبادل حراري بين أبخرة وسيط التبريد المحمصة القادمة من الضاغط مع الوسيط المستخدم في عملية التبادل الحراري (عملية التبريد) إذ يفقد بخار وسيط التبريد كمية من الحرارة الى الوسيط المستخدم بعملية التبريد وتجري فيه عملية تغير طوري يتحول فيها بخار وسيط التبريد ضمن المكثف إلى سائل يدخل بعدها الى صمام التمدد، ويتابع سيره إلى المبخر ليشارك في الأثر التبريدي. الوسيط المستخدم في عملية التبادل الحراري ضمن المكثف قد يكون الماء فيسمى بالمكثف المائي، أما إذا كان الوسيط المستخدم في عملية التبريد هواء فيدعى بالمكثف الهوائي. وقد يكون الوسيط المستخدم لسحب الحرارة هو الماء والهواء معاً كما هو الحال في المكثف التبخيري. وقد نفيذ من غليان وسيط تبريد آخر في عملية التكاثف كما هو الحال في المكثف- مبخر المستخدم في آلات التبريد التسلسلية [1].

تستخدم المكثفات المائية عندما يتوفر منبع مائي رخيص. تعدّ هذه المكثفات الخيار الأول من وجهة النظر الاقتصادية، وذلك عند إعداد دراسة لأي مشروع تبريد (شالر - مستودعات تبريد - الصناعات التبريدية - ..... [3].

عند استخدام المكثفات المائية فإنه وبحسب نظام التزود بمياه التبريد نميز طريقتين:

1- أنظمة تدوير مباشرة، وفيها يسحب الماء إلى المكثف من شبكة المدينة مثلاً أو من أي موقع فيه ماء، وبعد استخدام الماء ضمن المكثف يطرحونه الى مصارف المدينة، ولكن لهذا النظام سلبياته وأهمها عدم وفرة الماء، وخصوصاً في بلادنا.

2- الأنظمة الدوارة: وهي الأكثر انتشاراً استخداماً والشكل (1) يوضّح نموذجاً لمثل هذا النظام [4]. يجري العمل في هذا النظام على النحو الآتي: يدخل الماء البارد القادم من برج التبريد إلى المكثف، وذلك عن طريق المضخة فيقوم الماء بسحب الحرارة من بخار وسيط التبريد المحمص القادم من الضاغط، ويعطي حرارته إلى مياه التبريد فتسخن الأخيرة التي نعيدها من جديد إلى برج التبريد ليقوم بتبريدها بواسطة الهواء، وترسل إلى المكثف، وهكذا دواليك.



الشكل (1) نظام دوران المياه

تصنف المكثفات المائية بدورها إلى:

**1- مكثفات غمر**

2- مكثفات التيار التي بدورها تصنف إلى مكثفات أفقية صندوقية، ومكثفات عمودية صندوقية، وهي ستكون موضوع دراستنا.

هذه المكثفات قد تكون عاملة على الامونيا او على الفريونات، كما في الشكل (2). حيث تدخل أبخرة الامونيا (الفريون) المحمصة إلى المكثف الشاقولي من الأعلى وتملأ الفراغ الكائن بين الأنابيب التي تمر بداخلها مياه التبريد القادمة من برج التبريد بعد أن تمر على صفيحة علوية مثقبة متصلة مباشرة بالأنابيب، وظيفتها سهولة توزيعها بشكل افضل ضمن أنابيب المكثف التي تكون موزعة على أضلاع سداسي منتظم وعلى رؤوس مثلثات متساوية الأضلاع، كما هو مبين بالشكل (3) [4].

تمتاز المكثفات الصندوقية الانبوبية الشاقولية:

من مساوئ هذا النوع من المكثفات هو عدم إمكانية حصول زيادة تبريد لسائل وسيط التبريد المتكاثف لأن قطرات سائل وسيط التبريد المتكاثفة تسقط نحو الاسفل مجرد تشكيلها تحت تأثير ثقلها. وتستخدم هذه المكثفات عادة عند الاستطاعات المتوسطة والكبيرة.

## 2-الحساب الحراري والتصميمي للمكثف

### الأنبوبي الشاقولي:

يقصد بالحساب الحراري والتصميمي للمكثف الأنبوبي الشاقولي، هو تحديد سطح التبادل الحراري (f) الفاصل بين وسيط التبريد الأمونيا (NH<sub>3</sub>) أو أحد أنواع الفريونات، ومياه التبريد، أي تحديد الأبعاد الهندسية الأساسية لهذا السطح (طول المكثف -قطره -عدد الأنابيب الكلي -قطر الأنابيب)[4].

وللانطلاق في حساب (f) لابد من معرفة بعض المعطيات الضرورية لتحقيق ذلك:

- 1- الحمل الحراري المطبق على المكثف  $Q_c$ .
- 2- درجة حرارة التكاثف  $t_c$ .
- 3- نوع وسيط التبريد المستخدم.
- 4- درجة حرارة مياه التبريد البدائية (الداخلية الى المكثف من برج التبريد أو من شبكة مياه)  $t_{wi}$ .

هناك معطيات أخرى سوف نشير إليها في حينها وتعد معرفتها ضرورية لأجل متابعة التصميم (على سبيل المثال أقطار الأنابيب وخطوتها، وكذلك هل الأنابيب مريشة أم ملساء و...)، وتحديد ما يعتمد على المقترحات المبينة على التجربة التصميمية والاستثمار لهذا النوع من المكثفات، أو أن تحدد بالحساب الاقتصادي.

إن العلاقة العامة المستخدمة من أجل تحديد (f) لأي مبادل حراري (ومنها المكثفات).

1- مهما كانت استطاعة المكثف كبيرة يمكن تركيبه في مكان صغير الحجم.

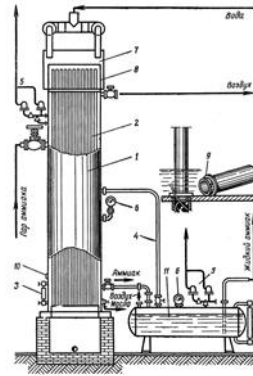
2-تكاليف التركيب منخفضة.

3-توزع الماء بسيط.

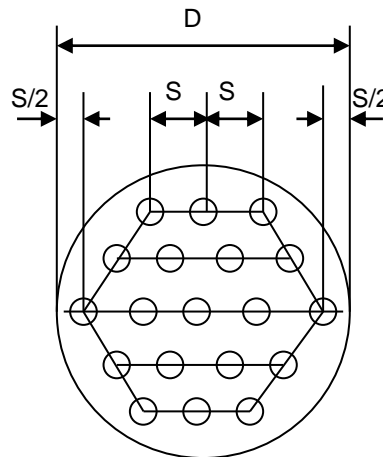
4-مكان واسع موجود في المكثف لتخزين سائل وسيط التبريد.

5-إمكان تساقط الترسبات المتشكلة ضمن الأنابيب والناشئة عن جريان مياه التبريد ضمن انابيب المكثف ومن ثم سهولة تنظيف الأنابيب.

6-يمكن أن يصنع المكثف لحمولات زائدة كبيرة بزيادة تدفق الماء المار عبر الأنابيب دون زيادة كبيرة في سطح التماس.



الشكل (2) المكثف العمودي



الشكل (3) توزع الأنابيب ضمن المكثف [4]

$$G_w = \frac{Q_c}{c_p \cdot \Delta t_w} \quad (5)$$

عند الانسياب الغشائي للماء ضمن الانابيب مع تحقق الشرط  $Re \geq 2000$  فإن العلاقة اللابعدية لعدد نوسلت موضحة في المعادلة (6) [4]

$$Nu = 0.01 \cdot (Ga \cdot p_r \cdot Re)^{1/3} \quad (6)$$

تتحدد الخواص الفيزيوكيميائية ( $\mu_w, \nu_w, \lambda_w, p_r$ ) للماء عند درجة حرارته الوسطية.

$$t_{wmid} = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} \quad (7)$$

$Ga$ : عدد غاليليه يساوي

$$Ga = \frac{g \cdot h^3}{\nu_w^2} \quad (8)$$

بعدها نحسب عدد رينولدز كتابع للحمل الحراري

النوعي  $q_{in}$  الذي يحسب بالعلاقة.

$$Re = \frac{4 \cdot \Gamma_l}{\mu_w} \quad (9)$$

ويحسب تدفق الماء على محيط الانبوب بالعلاقة:

$$\Gamma_l = \frac{G_w}{\pi \cdot d_{in} \cdot n} \quad (10)$$

التعويض في علاقة رينولدز:

$$Re = \frac{4 \cdot G_w}{\pi \cdot d_{in} \cdot n \cdot \mu_w} = \frac{4 \cdot G_w}{\frac{f_{in}}{h} \cdot \mu_w} \quad (11)$$

$$Re = \frac{4 \cdot G_w \cdot h \cdot q_{in}}{Q_c \cdot \mu_w} \quad (12)$$

إذ إن

$$f_{in} = \frac{Q_c}{q_{in}} \quad (13)$$

ومنه قيمة معامل انتقال الحرارة بالحمل  $\alpha_w$  من جهة

الماء:

$$\alpha_w = \frac{Nu \cdot \lambda_w}{h} \quad (14)$$

$$F = \frac{Q_c}{K \cdot \theta_t} \quad (1)$$

$K$ : معامل انتقال الحرارة الكلي من أبخرة وسيط

التبريد الساخنة إلى مياه التبريد المارة داخل الانابيب، وهذا

المعامل ينسب عادة للسطح الملامس للوسط المستخدم

بعملية التبريد [4]، وهو لحالتنا السطح الداخلي ( $f_{in}$ )

حيث تمر مياه التبريد بالنسبة الى المكثفات الانبوية

الصندوقية الشاقولية. سوف نرمز له بـ  $k_{fin}$ . يحسب هذا

المعامل بالعلاقة الآتية :

$$k_{fin} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} \cdot \left(\frac{f_{in}}{f_{out}}\right) + \left(\frac{f_{in}}{f_k}\right) \cdot \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_w}} \quad (2)$$

$\theta_t$ : فرق درجات الحرارة الوسطي اللوغاريتمي ( $^{\circ}C$ )

ويتحدد بالعلاقة

$$\theta_t = \frac{\Delta t_w}{\ln \frac{t_c - t_{w1}}{t_c - t_{w2}}} \quad (3)$$

إن قيمة  $\theta_t$  لهذا النوع من المكثفات تقع في المجال

بين  $[4 - 7^{\circ}C]$

$\Delta t_w$ : مقدار تسخين المياه ضمن المكثف وهو يتعلق

بنوع المكثف ولحالتنا يقع ضمن المجال

[3 - 7] [5]

لحالة الأنابيب الملساء يمكن كتابة العلاقة (2)

بالشكل:

$$k_{fin} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} \cdot \left(\frac{d_{in}}{d_{out}}\right) + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_w}} \quad (4)$$

من أجل تحديد معامل انتقال الحرارة من جهة الماء

( $\alpha_w$ )، يلزم بداية حساب عدد رينولدز من أجل تحديد

طبيعة جريان الماء ضمن أنابيب المكثف لمعرفة علاقة

نوسلت المطلوب استخدامها. لذلك نحسب أولاً تدفق مياه

التبريد من معادلة الموازنة الحرارية للمكثف.

جريان الغشاء المتكاثف لوسيط التبريد هو صفائحي. في حين بين الباحث [3] أن طبيعة جريان الغشاء المتكاثف يمكن أن تكون مضطربة أو موجية، وفي كلتا الحالتين تبين أن قيمة  $\alpha$  لهما أكبر مّا هي عليه في علاقة نوسلت المحسوبة بالعلاقة (18)، والسبب يعود إلى

1- انخفاض سماكة غشاء المتكاثف.

$$2- \text{ازدياد حد بقيمة الحد } \frac{\lambda}{\delta}$$

وقد أظهرت دراسات عدّة أن طبيعة جريان الغشاء المتكاثف لوسيط التبريد الموجية تتحقق عندما  $Re \leq Re_{cr} = 1600$  في حين تكون مضطربة عندما  $Re > Re_{cr}$ . وعندها فإن قيمة  $\alpha$  من جهة وسيط التبريد ولحالة الجريان الغشائي الموجي لغشاء التكاثف يحسب من العلاقة (18) بعد ضربه بمعامل تصحيح:

$$\varepsilon_g = \left(\frac{Re}{4}\right)^{0.04} \text{ أي}$$

$$\alpha = \alpha_N \cdot \varepsilon_g \quad (19)$$

اذ  $\varepsilon_g$  معامل تصحيح يأخذ بالحسبان تطور الجريان الموجي. ومن ثمّ معامل انتقال الحرارة من جهة وسيط التبريد من علاقة نوسلت آخذين بالحسبان معامل تصحيح لنظام الجريان الموجي لغشاء التكاثف:

$$\alpha_a = 0.943 \cdot \sqrt[4]{\frac{r \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3 \cdot g}{\mu \cdot h \cdot \theta_a}} \cdot \left(\frac{d_{out}}{d_{in}}\right) \cdot \varepsilon_g \quad (20)$$

يمكن أن نعبر عن عدد  $Re$  من خلال خواص عملية التكاثف، لذلك نعود الى تعريف  $Re$  لحالة التكاثف

$$Re = \frac{4 \cdot G}{\mu} \quad (21)$$

بكتابة معادلة الموازنة الحرارية من أجل سطح ارتفاعه  $h$ .

$$r \cdot G = \alpha_a \cdot \theta_a \cdot h \quad (22)$$

ومن المعادلتين الأخيرين نجد:

فيكون:

$$\alpha_w = c \cdot q_w^{1/3} \quad (15)$$

لنقم الآن بتحديد كثافة التيار الحراري من جهة الماء:

$$q_w = \theta_w \cdot \left[ \frac{1}{\frac{1}{\alpha_w} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \right] \quad (16)[3]$$

إذ:

$$\theta_w = \theta_t - \theta_a \quad (17)$$

إن العلاقة الأساس عند حساب انتقال الحرارة على حزمة أنابيب أفقية وشاقولية عند التكاثف الغشائي لأبخرة وسيط التبريد، هي علاقة نوسلت التي تم الحصول عليها بالطرائق التحليلية [4].

$$\alpha_N = c \cdot \sqrt[4]{\frac{r \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3 \cdot g}{\mu \cdot h \cdot \theta_a}} \cdot \left(\frac{d_{out}}{d_{in}}\right) \quad (18)$$

إذ:  $c$  معامل يتعلق بوضع حزمة الأنابيب بالفراغ أفقية كانت أو شاقولية

للحزمة الأفقية:  $c = 0.72$

للحزمة العمودية:  $c = 0.943$

$\theta_a = t_c - t_s$ : الفرق بين درجة حرارة التكاثف ودرجة حرارة سطح الأنبوب. إن قيمة  $\theta_a$  في آلات التبريد الضاغطة البخارية ليس لها قيمة كبيرة، لذلك جرت العادة عند اختيار الخواص الفيزيولوجية لوسيط التبريد أن يكون بدلالة  $t_c$  أما البعد المميز  $h$  الموجود في العلاقة (18) فنأخذه مساوياً لارتفاع الأنبوب المستخدم ضمن الحزمة الأنبوبية عندما يتم التكاثف على السطح الخارجي للأنابيب كما هي الحالة في المكثفات العمودية.

لما كانت دراستنا هدفت الى تحديد سطح التبادل الحراري للمكثفات العمودية، لذا فإن قيمة  $\alpha$  من جهة وسيط التبريد المتكاثف على السطح الخارجي لأنابيب الحزمة تتحدد من علاقة نوسلت (18) وعلى اعتبار أن

القطر الكبير للسداسي المنتظم الشكل (3)، فيكون عدد الانابيب الكلي للمكثف:

$$n = 0.75.m^2 + 0.25 \quad (29)$$

ويكون قطر المكثف:

$$D = m.s \quad (30)$$

مثال عددي:

قمنا بحل مثال عددي للتأكد من وثوقية البرنامج الحاسوبي الذي سوف نستخدمه في المحاكاة. في البداية سنقوم بفرض بعض المعطيات:

$$Q_c = 320 \quad [kw]$$

$$t_c = 30 \quad [^{\circ}C]$$

$$t_{w1} = 21 \quad [^{\circ}C]$$

$$\Delta t_w = 6 \quad [^{\circ}C]$$

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0.0006 \quad \left[ \frac{m^2.k}{w} \right]$$

وسيط التبريد المستخدم هو الامونيا، والانابيب فولاذية ملساء قطراها:

$$d_{in} = 50 \quad [mm]$$

$$h = 4 \quad [m]$$

1- نحدد فرق درجات الحرارة اللوغاريتمي بالعلاقة (3):

$$\theta_t = 5.461$$

2- نحسب تدفق مياه التبريد:

$$G_w = 12.75 \quad [kg/s]$$

3- نحدد الخواص الفيزيولوجارية للماء عند درجة

الحرارة الوسطية  $t_{wmid} = 24 \quad [^{\circ}C]$  فنحصل على القيم

الآتية من [7]

$$\nu_w = 0.916.10^{-6} \quad [m^2/s]$$

$$\mu_w = 912.4.10^{-6} \quad [pa.s]$$

$$Re = 4.q_a \cdot \left( \frac{h}{r.\mu} \right) = \frac{4.\alpha_a.\theta_a.h}{r.\mu} \quad (23)$$

إذ  $\theta_a$  و  $\alpha_a$  القيم الوسطية لمعامل انتقال الحرارة والفرق  $(t_c - t_s)$  على كامل الارتفاع.

يجري اختيار الخواص الفيزيولوجارية بدلالة  $t_c$  [7] فنحصل بعد تعويض المعادلتين (22) و (23) في المعادلة (21) على معادلة بدلالة  $q_a$  و  $\theta_a$  إذ ان باقي القيم هي ثوابت.

$$q_a = const.q_a^{0.04}.\theta_a^{0.75} \quad (24)$$

بالحل المشترك للمعادلتين (24 و 16) بعد تعويض قيمة  $q_w$  من المعادلة (15). إذ تحتوي هاتان المعادلتان على ثلاثة مجاهيل  $q_a$  و  $q_w$  و  $\theta_a$  ولكن عند نظام العمل المستقر للمكثف يكون  $q_a = q_w$  ومن ثمّ يصبح لدينا معادلتان بمجهولين، وللحل نستخدم الطريقة البيانية أو التحليلية، فنحصل على قيمة الحمل الحراري النوعي  $q_{in} = q_a = q_w$  ومن ثمّ مساحة سطح التبادل الحراري الداخلي:

$$f_{in} = \frac{Q_c}{q_{in}} \quad (25)$$

نعدّ من أجل تحديد الابعاد الهندسية الأخرى أن خطوة الانابيب

$$s = 1.3.d_{out} \quad (26)$$

بفرض النسبة:

$$k = \frac{L}{D} \quad (27)$$

إذ  $L=H$  ارتفاع المكثف، و  $D$  قطره، عندها يكون عدد الانابيب في القطر السداسي

$$m_0 = 0.75.3 \sqrt{\frac{f_{in}}{d_{in}.k.s}} \quad (28)$$

نقرب  $m_0$  الى أقرب عدد صحيح، وليكن  $m$  تمثل (m) المصححة عدد أنابيب المكثف المتوضعة على

ثمّ يمكن حساب مساحة سطح التبادل الحراري من  
المعادلة (25)

$$f_{in} = 57.93 \quad [m^2]$$

باستخدام العلاقات (26) و (27) و (28) يمكننا تحديد  
الأبعاد الهندسية.

$$m = 11$$

$$n = 91$$

$$h = 4[m]$$

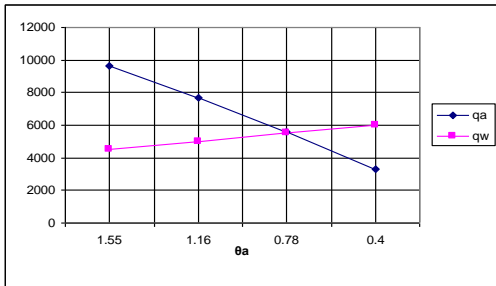
$$s = 0.074[m]$$

$$D = 0.814[m]$$

أعدنا التصميم باستخدام البرنامج فحصلنا على قيمة  
قريبة وبدقة أكبر لأنه يمكننا القيام بعدد أكبر من  
الحسابات، كما انه يحتوي على الخواص الفيزيائية لأغلب  
وسائط التبريد. وبالنتيجة حصلنا على  $q_{in} = 5549$   
و  $f_{in} = 57.67 \quad [m^2]$  وهذا ما يوضّحه الشكل (5).

وبدلالة هذه القيمة حصلنا على الابعاد الهندسية نفسها  
للمكثف.

انطلاقاً من التوافق الحاصل بين الطريقة اليدوية مع  
القيم التي حصلنا عليها من البرنامج درسنا العوامل  
المختلفة التي تؤثر في قيمة سطح التبادل الحراري للمكثف  
الصندوقي العمودي المائي.



الشكل (4) نقطة التقاطع للحل اليدوي

$$\lambda_w = 0.6073 \quad [w/m.c^\circ]$$

$$p_r = 6.3$$

ومن ثمّ عدد غاليليه:

$$G_a = 7.48.10^{14}$$

4- نعوض القيم السابقة في المعادلتين (15 و 16)

لنتشكل لدينا المعادلة الآتية حسابياً.

$$4.43.10^{-3}.q_w^{2/3} + 0.6.10^{-3}.q_w + \theta_a - 5.461$$

5- نختار الخواص الفيزيولوجية للألمونيا عند درجة  
حرارة التكاثف من الجداول [7]:

$$\mu = 137.3.10^{-6} \quad [pa.s]$$

$$r = 1146,34 \quad [kJ/kg]$$

$$\lambda = 0.4745 \quad [w/m.c^\circ]$$

$$\rho = 595.2 \quad [kg/m^3]$$

وبالتعويض في المعادلة (24) نتشكل المعادلة:

$$.q_a = 4797.q_a^{0.04}\theta_a^{0.75}$$

بالحل المشترك للمعادلتين يدوياً بأن نأخذ عدة قيم لـ  
 $\theta_a$  حتى نصل الى قيمة تكون فيها قيمة  $q_a = q_w$ ، وهي  
قيمة  $q_{in}$  المطلوبة. تلك القيم موجودة في الجدول (1).

الجدول (1) قيم كميات الحرارة النوعية بدلالة  $\theta_a$

| $\theta_a$ | $q_a[w/m^2]$ | $q_w[w/m^2]$ |
|------------|--------------|--------------|
| 1.55       | 9624         | 4500         |
| 1.16       | 7691         | 5000         |
| 0.78       | 5624         | 5500         |
| 0.4        | 3324         | 6000         |

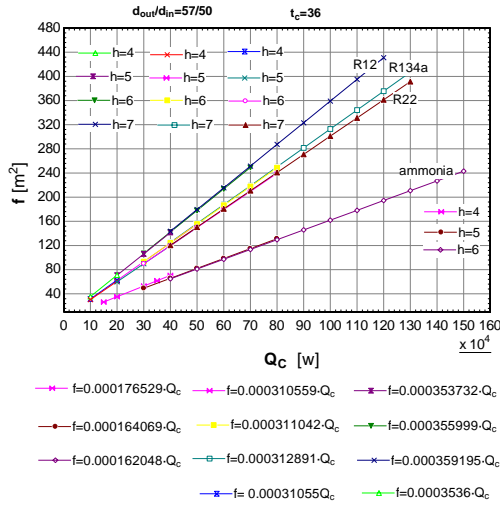
بدلالة هذه المعطيات نرسم في جملة الاحداثيات  
( $q, \theta$ ) المعادلتين  $q_a = f(\theta_a)$  و  $q_w = f(\theta_a)$ . إن  
مسقط نقطة تقاطع المنحنيين على محور الترتيب يعطي  
قيمة  $q_{in} = 5524$  كما هو موضح في الشكل (4) ومن



### 3-2: تأثير نوع وسيط التبريد في سطح التبادل الحراري:

درسنا تأثير تغيير نوع وسيط التبريد المستخدم في دارة التبريد في سطح التبادل الحراري للمكثف وأخذنا للفيونات حرارية مختلفة مطبقة على المكثف، ولأقطار الأنابيب نفسها والشروط المناخية الخارجية نفسها وحصلنا على النتائج المبينة في الشكل (7).

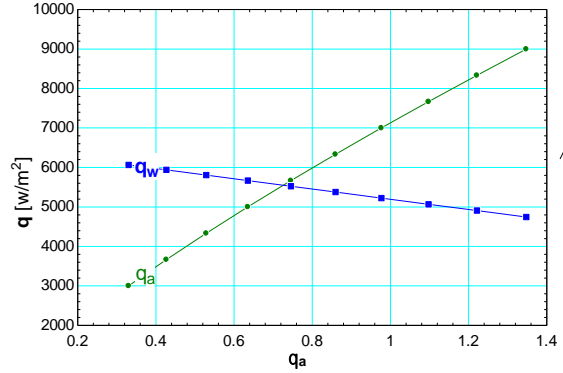
والملاحظ أن سطح التبادل الحراري للأمونيا كان أصغر بشكل ملحوظ منه لحالة الفيونات وهذا ما يعني توفيراً في التكلفة الاقتصادية للمكثف العمودي. وهذا الفرق يكون أكبر كلما ازداد الحمل الحراري كما هو واضح في الشكل (7).



الشكل (7) تأثير زيادة الحمل الحراري في سطح التبادل الحراري لعدد من وسائط التبريد

### 3-3: تأثير درجة حرارة التكاثف

تتبع درجة حرارة التكاثف لآلة التبريد الضاغطة البخارية للظروف المناخية للمدينة التي تركيب فيها هذه الآلة، كدرجة الحرارة الجافة، والرطوبة، والرطوبة النسبية، وايضا نوع المكثف (مائي - هوائي - عمودي - أفقي). أما بالنسبة الى المكثف المدروس في بحثنا فهو من

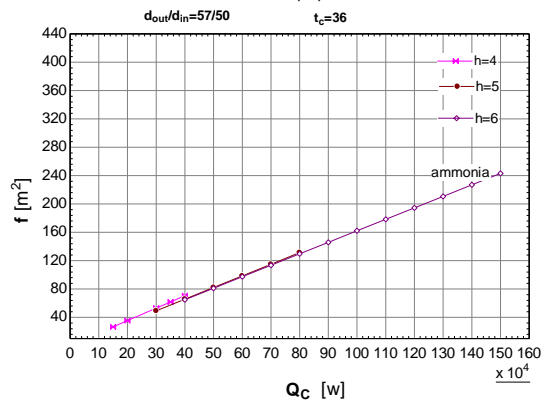


الشكل (5) نقطة التقاطع بالحل الحاسوبي

### 3-3: دراسة تأثير البارامترات المختلفة في سطح التبادل الحراري:

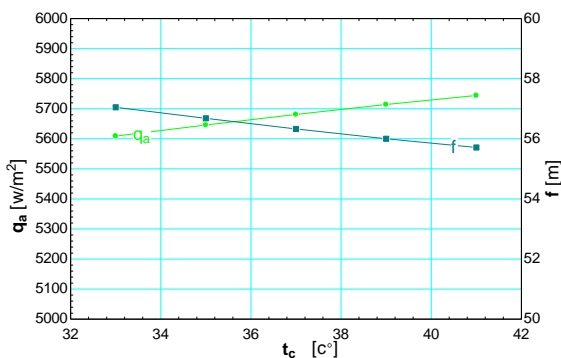
#### 3-1: تأثير الحمل الحراري المطبق في المكثف على سطح التبادل الحراري:

درسنا تأثير الحمل الحراري على سطح التبادل الحراري لوسيط التبريد الأمونيا، وذلك عند شروط خارجية واحدة ولقطري الأنبوب نفسيهما وعند ارتفاعات مختلفة تتوافق مع ازدياد الحمل الحراري واطهر المنحنى الناتج ازدياد سطح التبادل الحراري مع ازدياد الحمل الحراري المطبق على المكثف وفق علاقة خطية، وذلك لوسيط تبريد (R717) كما هو مبين بالشكل (6).



الشكل (6) تأثير الحمل الحراري المطبق على المكثف العامل على الأمونيا في سطح التبادل الحراري.

الفرق لن يؤثر في قيمة السطح التصميمي لاحقاً، وذلك يعني أن درجة حرارة التكاثر لا تؤثر تأثيراً كبيراً في الحمل الحراري النوعي، ومن ثمّ في قيمة سطح التبادل الحراري، وذلك عند حمل حراري محدد للمكثف، وتفسير ذلك يعود الى أن تغير درجة حرارة التكاثر يرافقه تغير في درجة حرارة دخول مياه التبريد، الى المكثف، وهذا ما يحدّ من التأثير الكبير لدرجة حرارة التكاثر.



الشكل (8) تأثير درجة حرارة التكاثر في سطح التبادل الحراري وكمية الحرارة النوعية.

#### 3-4: تأثير الحمل الحراري عند أقطار مختلفة للأنايب:

نظراً لكون أقطار الأنايب المستخدمة في تصنيع المكثفات على اختلاف أنواعها تؤدي دوراً ملحوظاً في قيم سطح التبادل الحراري، كان لابد من إظهار هذا التأثير على شكل خطوط بيانية تسهل علينا مناقشة ماذا يحصل نتيجة تغيرها على قيم سطوح التبادل الحراري، ومن أجل هذا الهدف قمنا بإيجاد سطوح التبادل الحراري للمكثف العامل على الأمونيا بعد اختيار أقطار أنابيب مختلفة (50/57, 20/25, 14/20) كما هو واضح في الأشكال (7 و 9 و 10)

النوع الصندوقي المائي العمودي الذي تتحدد درجة حرارة التكاثر له من المعادلة الآتية:

$$T_c = T_{w1} + \Delta T_w + 2 \div 4$$

إذ  $T_{w1}$  درجة حرارة دخول مياه التبريد الى المكثف والتي تكون أعلى بـ  $4[^\circ C]$  من درجة الحرارة الرطبة التي نحصل عليها بعد معرفة درجة الحرارة الجافة والرطوبة النسبية لمكان وجود المكثف.

تعتمد  $\Delta T_w$  على نوع المكثف.

$$\Delta T_w = 3 \div 5^\circ C \text{ مكثف مائي أفقي.}$$

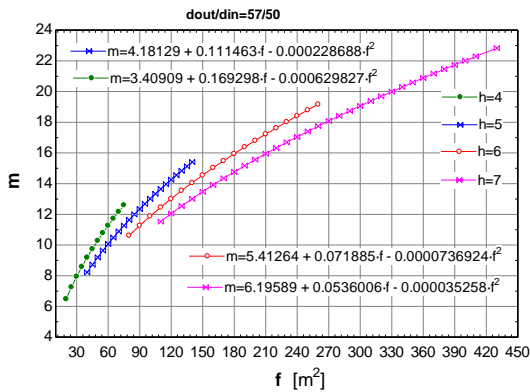
$$\Delta T_w = 5 \div 7^\circ C \text{ مكثف مائي عمودي.}$$

ومنه ونظراً الى أنّ درجة حرارة الجافة التصميمية لمدينة دمشق  $T = 40 [^\circ C]$ ، والرطوبة النسبية  $\varphi = 20\%$ ، الأمر الذي يعني أن درجة الحرارة الرطبة للمدينة تكون  $T_w = 23 [^\circ C]$  ومن ثمّ درجة حرارة دخول الماء الى المكثف  $T_w = 27 [^\circ C]$ ، و درجة حرارة التكاثر  $T_c = 27 + 5 + 4 = 36 [^\circ C]$

الدراسة التي قمنا بإعدادها تعتمد على الظروف المناخية لمدينة دمشق والنتائج التي سنحصل عليها يمكن اعتمادها بالنسبة الى باقي المحافظات السورية ومثال على ذلك درسنا تأثير درجة حرارة التكاثر في عمل مكثف عمودي يعمل على الامونيا ويحمل مقداره  $Q_c = 320 [kw]$ ، وذلك عند استخدام أنابيب فولاذية ملساء بأقطار (50/57) وهذا ما هو موضح في الشكل (8) اذ نلاحظ أنه عند ارتفاع درجة حرارة التكاثر من  $t_c = 33 \rightarrow 41 [^\circ C]$  وهو مجال درجات الحرارة للمحافظات السورية يرتفع الحمل الحراري النوعي من  $q = 5609 [w/m^2]$  الى  $q = 5744 [w/m^2]$  في حين انخفض سطح التبادل الحراري بشكل بسيط من القيمة  $f = 57.05 [m^2]$  الى  $f = 55.71 [m^2]$  وهذا

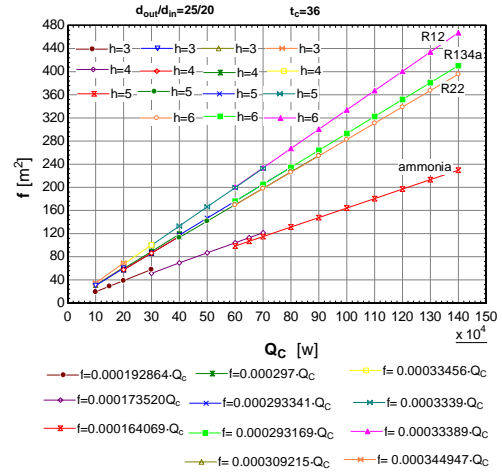
ضمن قطر المكثف يكون أكبر، وهذا يعني أنه يمكننا تحقيق سطح التبادل الحراري المطلوب بارتفاع أصغر. ملاحظة: زودنا أيضاً المنحنيات بمعادلات رياضية يمكن أن تساعد المصممين والباحثين على اختيار تصميم مناسب للمكثف حسب الحمل الحراري المطلوب لمكثف دارة التبريد التي يستخدمها الدارس، إذ أنّ المعادلات تعطينا قيم أكثر دقة من المنحنيات.

المنحنيات الموجودة في الأشكال (7 و 9 و 10) يمكن استخدامها بسهولة لإيجاد قيمة سطح التبادل الحراري اللازم للمكثف بعد معرفة حملة الحراري و ثم من المنحنيات الموجودة في الأشكال (11 و 12 و 13) نوجد عدد الانابيب بعد اختيار الارتفاع المناسب، ومنه يصبح تحديد الابعاد الهندسية كاملة للمكثف ممكناً بسهولة.

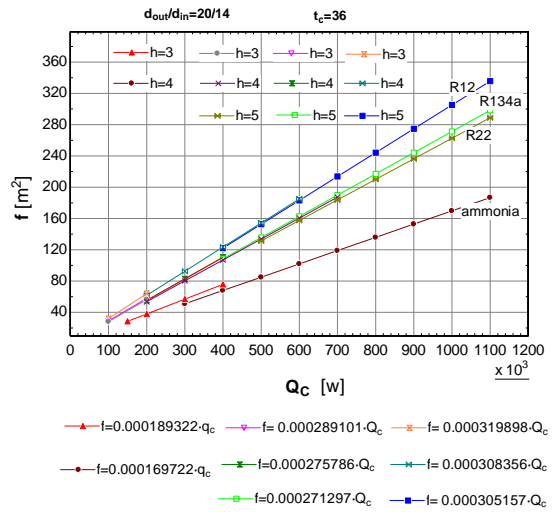


الشكل (11) علاقة عدد الأنابيب بسطح التبادل الحراري للأقطار 50/57.

ملاحظة: المنحنيات السابقة جميعها رسمت ضمن مجال مقبول للنسبة  $k$ ، وهذا ما يفسر مثلاً أنه في الشكل (11) المنحني المقابل  $H = 4 [m]$  ينتهي عند قيمة  $m = 12$  إذ أنه بعد هذه القيمة التصميم غير مقبول ونحتاج لقيمة ارتفاع جديد مناسب. الأشكال (11 و 12



الشكل (9) تأثير الحمل الحراري في سطح التبادل الحراري للأقطار 20/25



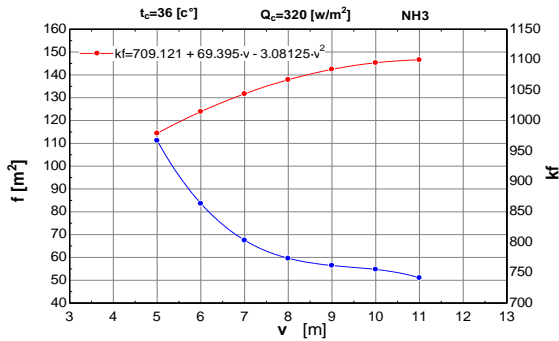
الشكل (10) تأثير الحمل الحراري في سطح التبادل الحراري للأقطار 14/20

وجدنا أنه مع اختلاف أقطار الانابيب لا يتغير سلوك كل من الامونيا والفرينونات اذ في الحالات كلها كان السطح المقابل للامونيا أصغر منه للفرينونات، ولكن الملاحظ أنه مع انخفاض قطر الانبوب كان الارتفاع المطلوب أصغر وهذا منطقي وتفسيره أنه كلما كان قطر الانبوب أصغر فإن عدد الانابيب التي يمكن تمريرها

حرارياً للمكثف  $Q_c = 320 [kw]$  لدارة تبريد تعمل على الامونيا.

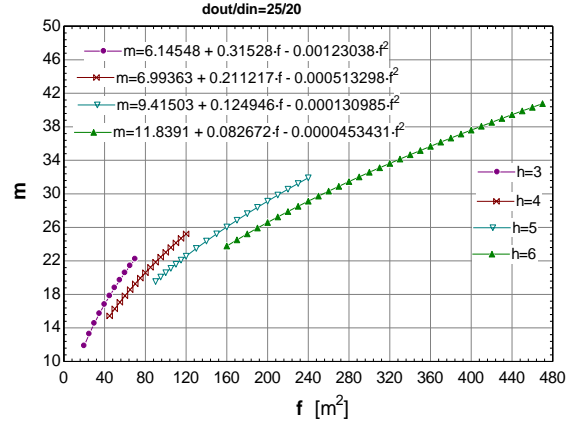
نلاحظ من الشكل (14) ان المنحنى يبدأ بالسرعة  $5 [m/s]$  وينتهي بالسرعة  $11 [m/s]$  وذلك المجال من السرعة يتوافق مع مجال فرق درجات الحرارة  $\Delta t_w = [3-5]$  وذلك لأن تغير قيمة السرعة يرافقه تغير  $\Delta t_w$  وذلك لان الحمل الحراري ثابت. فوجدنا أنه مع ارتفاع السرعة يزداد معامل الانتقال الحراري ومن ثم تنخفض قيمة سطح التبادل الحراري، مما يعني أن هناك فائدة اقتصادية من زيادة السرعة بطريقة ما مثل تركيب مضخة مع أن الشائع أن جريان الماء في المكثفات العمودية يكون تحت تأثير الثقالة.

إن مقدار الزيادة في قيمة معامل انتقال الحرارة يكون أكبر عند قيم السرعة الصغيرة، وذلك يعني أن زيادة السرعة بشكل صغير يمكن أن يكون أكثر جدوى اقتصادية من زيادتها بشكل كبير، هذا ما هو واضح في الشكل (14).

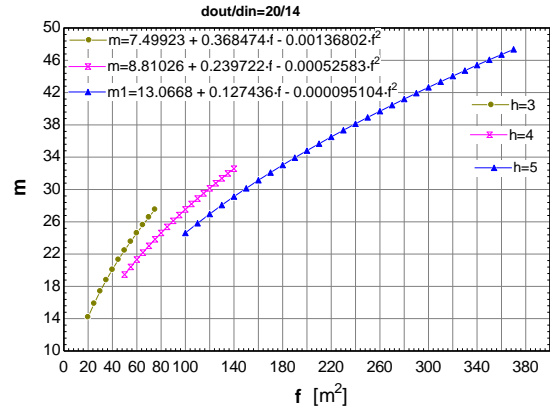


الشكل (14) تأثير زيادة سرعة جريان مياه التبريد في معامل انتقال الحرارة الكلي.

و (13) توضّح علاقة عدد الأنايبب بقيمة سطح التبادل الحراري لقيم  $8 \rightarrow k = 4$  لكي يكون التصميم مقبولاً.



الشكل (12) علاقة عدد الأنايبب بسطح التبادل الحراري للأقطار 20/25.



الشكل (13) علاقة عدد الأنايبب بسطح التبادل الحراري للأقطار 14/20

3-5- تأثير سرعة جريان مياه التبريد في معامل انتقال الحرارة:

درسنا تأثير زيادة سرعة جريان الماء في معامل انتقال الحرارة الكلي للمكثف عند حمل حراري محدد. اخترنا حملاً

## مسرد المصطلحات

|                                                                                                                          |                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| الحمل الحراري للمكثف (w)                                                                                                 | $Q_c$                             |
| معامل انتقال الحرارة الكلي من أبخرة وسيط التبريد الساخنة إلى مياه التبريد المارة داخل الأنابيب<br>[w/m <sup>2</sup> .°C] | $K$                               |
| معامل انتقال الحرارة بالحمل من جهة وسيط التبريد<br>[w/m <sup>2</sup> .°C]                                                | $\alpha_a$                        |
| معامل انتقال الحرارة بالحمل من جهة المياه<br>[w/m <sup>2</sup> .°C]                                                      | $\alpha_w$                        |
| السطح المنسوب له معامل انتقال الحرارة الكلي.                                                                             | $f_k$                             |
| مجموع المقاومات الحرارية بالتوصيل للطبقات المتشكلة على جدران أنابيب المكثف                                               | $\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ |
| مساحة السطح الداخلي                                                                                                      | $f_{in}$                          |
| مساحة السطح الخارجي                                                                                                      | $f_{out}$                         |
| فرق درجات الحرارة الوسطي اللوغاريتمي (°C).                                                                               | $\theta_t$                        |
| درجة حرارة مياه التبريد الخارجة والداخلية إلى المكثف على الترتيب.                                                        | $t_{w1}, t_{w2}$                  |
| درجة حرارة التكاثر.                                                                                                      | $t_c$                             |
| عدد غاليليه                                                                                                              | $Ga$                              |
| تسارع الجاذبية الأرضية [m/s <sup>2</sup> ]                                                                               | $g$                               |
| ارتفاع المكثف [m]                                                                                                        | $h$                               |
| اللزوجة الحركية للماء [m <sup>2</sup> /s]                                                                                | $\nu_w$                           |
| تدفق الماء لكل متر طولي من الأنابيب<br>[kg/m.s]                                                                          | $\Gamma_l$                        |
| اللزوجة التحريكية للماء عند درجة حرارته الوسطية<br>[Pa.s]                                                                | $\mu_w$                           |
| عدد الأنابيب الكلي                                                                                                       | $n$                               |
| القطر الداخلي للأنبوب                                                                                                    | $d_{in}$                          |
| الحمل الحراري النوعي                                                                                                     | $q_{in}$                          |
| التدفق الكتلي للسائل في الغشاء الذي يعبر واحدة الطول للسطح.                                                              | $G$                               |
| هي نسبة ارتفاع المكثف الى قطره                                                                                           | $k = h/D$                         |

## 4-النتائج والتوصيات:

- 1- يكون سطح التبادل الحراري عند الحمل الحراري نفسه للأمونيا أقل منه لحالة الفريونات، ويزداد هذا الفرق مع ازدياد الحمل الحراري ومن ثمّ المكثفات العاملة على الأمونيا أقل كلفة اقتصادية.
- 2- تأثير درجة حرارة التكاثر في سطح التبادل الحراري صغير نسبياً بحيث يمكن إهماله ضمن مجال درجات الحرارة للمدن السورية، وما ينطبق تصميمياً على مدينة دمشق يمكن تطبيقه على باقي المحافظات السورية.
- 3- يمكن استخدام المنحنيات والمعادلات التي استنتجناها للحصول على قيمة سطح التبادل الحراري، ومنه الأبعاد الهندسية للمكثف بسهولة مع أن هذه العملية في السابق كانت تأخذ وقتاً طويلاً بالطريقة اليدوية.
- 4- يؤدي استعمال مضخة مثلاً  $\nabla$  لزيادة سرعة جريان الماء ضمن المكثف العمودي الى ارتفاع معامل انتقال الحرارة ومن ثمّ انخفاض سطح التبادل الحراري، ولاسيما عند السرعات المنخفضة، وتكون عندها الفائدة الاقتصادية أكبر.
- 5- الدراسة السابقة أعدت للمكثفات العمودية ذات الأنابيب الفولاذية فقط ومن ثمّ يمكن اعداد دراسة لاحقة للأنابيب النحاسية.

## REFERENCES المراجع

- 1- د. نديم مخيبر، د. علي عيسى. 2008. هندسة التبريد الجزء الأول. منشورات جامعة دمشق.
- 2 - د. نديم مخيبر، د.سهيل مرشدة. 1997. مسائل في انتقال الحرارة. جامعة دمشق.
- 3-теплообменные аппараты холодильных установок, Г.И,Данилова, С. И.Богданов,О.П Иванов, Н. М.Медникова, Э.И.Крамской. 1986.
- 4- холодильные машины, Н.Н Кошкин, И,А, Саун, 1985
- 5-Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха / Б. К. Явнель,2012
- 6- Тепловые и конструктивные расеты холодильных Машин. Е·М·Бамбушек Н·Н·Бухарин ,.....-мшиностроение-1987
- 7-ASHRE,FUNDAMENTLES,1997

|                    |            |                  |
|--------------------|------------|------------------|
| Received           | 2015/12/06 | إيداع البحث      |
| Accepted for Publ. | 2016/07/14 | قبول البحث للنشر |