

دراسة تأثير حمل التبريد على مجال التبريد ومدى الاقتراب في برج التبريد

الملخص

تعتبر أبراج التبريد أحد أشكال المبادلات الحرارية بالتماس المباشر وتستخدم بشكل واسع، في تطبيقات متنوعة لنقل الحرارة، على سبيل المثال في محطات توليد الطاقة، الصناعات الكيماوية والنفطية، العمليات الصناعية، وعمليات التبريد وتكييف الهواء.

يهدف البحث الحالي إلى إجراء الدراسة النظرية والتجريبية معاً لظاهرة انتقال الحرارة والكتلة بين الماء والهواء في برج التبريد؛ وعلاقة حمل التبريد بكل من مجال التبريد ومدى الاقتراب؛ وتأثير الرطوبة النسبية على أداء البرج. كما يعرض البحث بيانات جديدة لانتقال الحرارة والكتلة في برج التبريد الذي يحتوي على عشر طبقات من الحشو؛ قمنا بالتأكد من صحة معادلات انتقال الحرارة والكتلة تجريبياً.

تبين من خلال النتائج وجود ارتفاع في مجال التبريد ومدى الاقتراب مع زيادة حمل التبريد وتأثير الرطوبة النسبية على أداء برج التبريد. وهذا ناتج عن زيادة شدة التبخر مع زيادة ضغط بخار الماء على السطح وفي تيار الهواء. إذا ازدادت درجة الحرارة الجافة فإن ضغط إثباع الماء يزداد ونسبة الرطوبة يجب أن تهبط. إذا ازدادت درجة الحرارة الرطبة سوف يزداد انتقال الحرارة بالتماس والحمل بزيادة درجة الحرارة الجافة، ومعدل التبخر سوف يزداد.

كلمات مفتاحية: أبراج التبريد، انتقال الحرارة والمادة، آلات التبريد.

1. المقدمة

تعتبر أبراج التبريد واحدة من المبادلات الحرارية بالتزامن المباشر مع الحرارة وتستخدم بشكل واسع، في تطبيقات متنوعة لنقل الحرارة، على سبيل المثال في محطات توليد الطاقة، الصناعات الكيماوية والنفطية، العمليات الصناعية، وعمليات التبريد وتكييف الهواء.

برج التبريد هو جهاز وظيفته تبريد الماء وذلك بغية إعادة استعمالها. إن الماء الساخن الخارج من المكثف يَصخ إلى أعلى البرج حيث ينساقط أو يرش إلى الأسفل ويتجمع في حوض البرج وتنخفض درجة حرارة الماء بتبادل الحرارة المحسومة بين الماء والهواء وبانتقال الحرارة الكاملة الناتجة عن تبخر جزء من الماء المطلوب تبريدها إلى الهواء.

إن الهواء الذي يجتاز البرج يحمل معه البخار الناتج عن التبخر ولذلك فإن تمرير الهواء بالبرج يؤدي إلى رفع درجة حرارته وإلى زيادة كمية الرطوبة فيه ومن الواضح أن فعالية البرج تتوقف على درجة حرارة الهواء الرطبة، كلما انخفضت درجة الحرارة هذه ازدادت فعالية البرج.

هناك بعض الدراسات النظرية والتجريبية لنقل الحرارة وخصائص التدفق.

الدراسة النظرية والتجريبية لبرج تبريد تبخيري عامودي [5]. اختبار برج تبريد رطب مغلق جديد وعلاقة معامل انتقال الحرارة والكتلة المقترحة [3]. عرض نموذج تفصيلي عن التدفق المعاكس لبرج تبريد رطب [6]. تطوير نموذج رياضي للتنبؤ بأداء برج التبريد [4]. عرض نموذج للتنبؤ بالسلوك الغير مباشر لبرج التبريد [9]. تطبيق التقنيات العددية المتطورة والتجريبية لتحديد معامل أداء برج تبريد تبخيري متعدد الخلايا (الحشوات) [8].

ونظراً للحاجة الماسة للطاقة في المجالات كافة وفي عمليات التبريد والتكييف خاصة، وذلك بعد تغير المناخ في السنوات الأخير وارتفاع درجات الحرارة، هذا مما أدى زياد الطلب على الطاقة والتبريد والتكييف بشكل كبير وتعلم بأن برج التبريد يعتبر جهاز رئيسي في محطات توليد الطاقة ووحدات التبريد

والتكييف ومما له دور كبير في حفظ مصادر الطاقة والمياه. ومن هنا تكمن أهمية البحث. H - جافة.

مصطلحات

\dot{m}_{air} - كتلة الهواء الجاف (تدفق كتلي)، $[kg/s]$.	A - نقطة دخول الهواء.
v_{air} - الحجم النوعي للهواء الجاف، $[m^3/kg]$.	B - نقطة خروج الهواء.
v - الحجم النوعي للبخر، $[m^3/kg]$.	C - نقطة دخول الماء.
x - فرق الضغط، $[mmH_2O]$.	D - نقطة خروج الماء.
ΔKE - تغير الطاقة الحركية، $[kJ]$.	E - نقطة ماء التعويض.
t - درجة الحرارة، $[^{\circ}C]$.	H - الأنتالبي، $[kJ]$.
\dot{Q} - حمل التبريد، $[kW]$.	τ - الزمن، $[s]$.
p - الاستطاعة، $[kW]$.	w - رطوبة.
ω - الرطوبة النوعية.	d - جافة.

2. الإجراء التجريبي

يوضح الشكل (1) الشكل التخطيطي للجهاز التجريبي وهو عبارة عن وحدة الاختبار تتألف من البرج الذي يتألف من:-
1.2 وحدة القاعدة والتي تتألف من:

حجرة توزيع الهواء؛ خزان فيه سخانات لإعطاء أحمال تبريد مختلفة $[0.5, 1, 1.5] kW$ ؛ خزان لتعويض الماء؛ مروحة طاردة مركزية مع حاجز على المدخل للتحكم بتدفق الهواء، تعطى تدفق أعظمي $[0.06 kg/s]$ ؛ مضخة لضخ الماء من الخزان إلى مجموعة الرشاشات في أعلى البرج تدفق الماء $[50 gr/s]$ ؛ سخان لتسخين الهواء استطاعته $[0.5 - 1] kW$ ؛ حوض لتجميع الماء ولوحة تحكم.

2.2. عمود الصفائح (الحشوات) يحتوي على:

مأخذ لقياس الضغط، وثمانى أسطح من الصفائح المائلة قابلة للترطيب مصنوعة من البلاستيك على شكل طبقات، كل سطح يحوي عشرة صفائح المساحة الكلية للسطوح $1.19[m^2]$ والأبعاد $(150 \times 150 \times 600)[mm]$.

3.2. غطاء البرج يحتوي على:

فتحة على شكل دائرة قطرها $80[mm]$ مأخذ لقياس الضغط، حاجز لمنع قطرات الماء الخارجة (مانع رذاذ) ومجموعة للرش في أعلى البرج.

3. المعطيات

تدفق الهواء الجاف [7]

$$\dot{m}_{air} = 0.0137 \sqrt{\frac{x}{v_B}} = 0.0137 \sqrt{\frac{x}{(1+w_B)va_B}}$$

الطاقة المنقولة إلى الماء من المضخة $0.1[kW]$ ومعطيات الحشوات تعطى

بالتالي:

8	عدد الأسطح للحشوة
10	عدد الطبقات في الحشوة
1.19	مساحة السطح الإجمالي للحشوات $[m^2]$
0.48	ارتفاع الحشوات $[m]$
110	كثافة الحشوات $[1/m]$

4. مبادئ أساسية

تحدد الخصائص الحرارية والكتلة لبرج التبريد بالاعتماد على معادلات

حفظ الطاقة والكتلة. وهذه المعادلات مرتكزة على الفرضيات التالية: [2]

1- سطح قطرة الماء الساخن يلامس الهواء ونفترض أن الماء أسخن من

الهواء، وبالتالي الماء سوف يبرد:

2- بالإشعاع: هذا التأثير يكون قليل جداً في الحالة الطبيعية ويمكن إهماله.

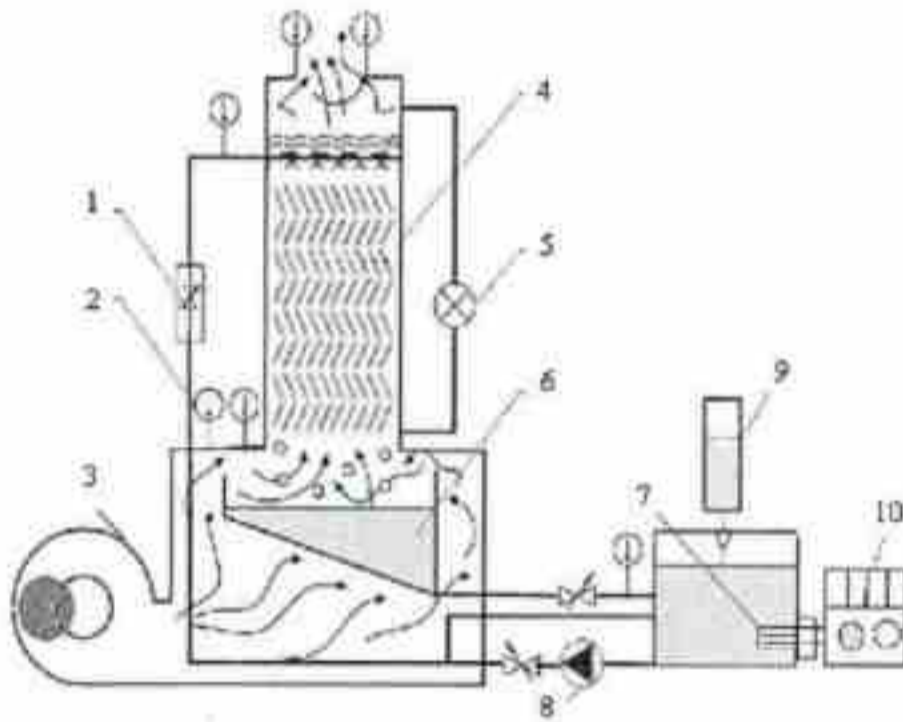
لأن التوصيل والحمل: هذا يعتمد على اختلاف درجة الحرارة، المساحة، سرعة الهواء، الخ.

لأن التبخير: يعتبر أهم عامل. جزيئات الماء تلامس الهواء نتيجة التلامس بعض الجزيئات سوف تتبخر وتمسح الحرارة من السائل ويبرد.

2- لا يوجد تبادل حراري وكتلي بين برج التبريد والوسط المحيط.

3- الحرارة النوعية للماء والهواء الجاف ثابتة في البرج.

4- معامل انتقال الحرارة والكتلة ثابتة في البرج.



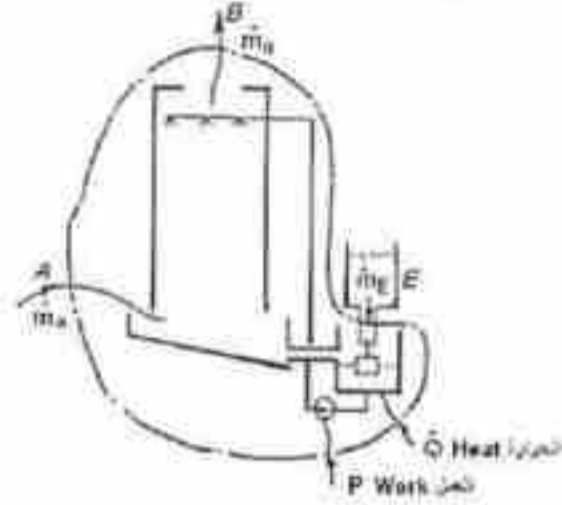
الشكل (1): الشكل التخطيطي لوحد الاختبار.

- 1- مقياس التدفق؛
- 2- مقياس درجة الحرارة؛
- 3- مروحة؛
- 4- صود الحشوات؛
- 5- مقياس الضغط؛
- 6- حوض العمل؛
- 7- سخانات؛
- 8- مضخة تدوير الماء؛
- 9- خزان ماء التعويض؛
- 10- مؤشر رقمي.

1.4. معادلة التوازن الحراري المستقر

قبل أن نحدد معادلة التدفق الحراري لا بد من تحديد النظام كما في الشكل

(2) المحدد بالخط المنقط. [1]



الشكل (2): يبين التوازن الحراري ما بين النظام والوسط المحيط.

الحرارة تنتقل إلى خزان التجميع، العمل من المضخة. الهواء ذو الرطوبة المنخفضة يدخل عند النقطة A والهواء ذو الرطوبة العالية يغادر من النقطة B من خزان التعويض عند النقطة E (تساوي إلى الزيادة في رطوبة الهواء).

من معادلة الجريان المستقر نكتب،

$$\dot{Q} - P = \dot{H}_{out} - \dot{H}_{in} = \left(\dot{m}_a h_{aB} + \dot{m}_s h_s \right)_B - \left(\dot{m}_a h_{aA} + \dot{m}_s h_s \right)_A - \dot{m}_E h_E$$

$$\dot{Q} - P = \dot{m}_a (h_B - h_A) - \dot{m}_E h_E$$

التدفق الكتلي للهواء الجاف \dot{m}_a خلال برج التبريد يبقى ثابتاً، حيث

التدفق الكتلي للهواء الرطب يزداد نتيجة تبخر بعض الماء.

الحد $\dot{m}_E h_E$ عادة يكون صغير مقارنة مع الحدود الأخرى ولذلك يمكن

إهماله.

2.4. معادلة التوازن الكتلي

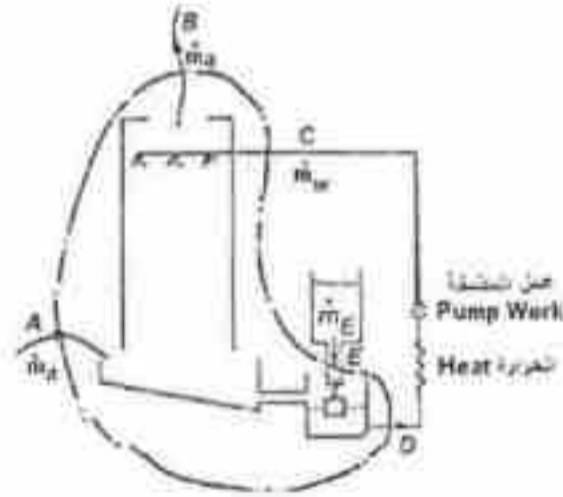
الحديث عن التوازن الكتلتي، تحت الشروط المستقرة، معدل التدفق الكتلتي للهواء الجاف والماء (سائل أو بخار) يمكن أن يكون نفسه الداخلى إلى النظام والخارج منه. [1]

$$\begin{aligned} \dot{m}_a &= \dot{m}_a \\ \dot{m}_s + \dot{m}_E &= \dot{m}_s \Rightarrow \dot{m}_E = \dot{m}_s - \dot{m}_s \end{aligned}$$

تحدد الرطوبة النوعية ω إلى نسبة البخار على الهواء من الحالة الابتدائية والحالة النهائية من المخطط البسايكرومترى.

$$\begin{aligned} \dot{m}_s &= \dot{m}_a \omega_A \\ \dot{m}_s &= \dot{m}_a \omega_B \\ \dot{m}_E &= \dot{m}_a (\omega_B - \omega_A) \end{aligned}$$

نلاحظ أن السخان والمضخة خارج النظام ولكن الماء الساخن يدخل النظام عند النقطة C والماء البارد يخرج من النظام النقطة عند D كما في الشكل (3).



الشكل (3): بين التوازن الكتلتي في النظام

بتطبيق معادلة التوازن الحراري المستقر،

$$\dot{Q} - P = \dot{H}_{Ex} - \dot{H}_{In}$$

$$P = 0$$

يمكن أن تكون \dot{Q} قيمة صغيرة عند انتقال الحرارة ما بين النظام والوسط

المحيط.

$$\dot{Q} = \dot{m}_a h_B + \dot{m}_w h_D - (\dot{m}_a h_A + \dot{m}_w h_C + \dot{m}_E h_E)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_a (h_B - h_A) + \dot{m}_w (h_D - h_C) - \dot{m}_E h_E$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_a (h_B - h_A) + \dot{m}_w c_p (t_D - t_C) - \dot{m}_E h_E$$

كما تبين سابقاً مقدار صغير مقارنة مع القيم الأخرى.

3.4. دائرة الماء

يدخل الماء الساخن من أعلى البرج وينساب على الحشوات من خلال الرذاذ (الرشاشات). والحشوات مصممة بحيث ينساب ويتناثر الماء بسهولة ويتلامس الهواء بأكبر سطح. الماء البارد يسقط إلى الأسفل إلى خزان التجميع ومن ثم إلى الجهاز المراد تبريده (المكثف). نظراً لتبخّر جزء من الماء يجب تعويض الماء من خزان التعويض باستمرار. قطرات الماء المتناثرة التي تخرج مع الهواء إلى خارج البرج تسبب ضياع في الماء يجب تعويض الماء ومنع قطرات الماء من الخروج مع الهواء وذلك بوضع حاجز (مانع الرذاذ) عند مخرج الهواء.

4.4. دائرة الهواء

يندفع الهواء من الأسفل إلى الأعلى بواسطة المروحة ويتلامس مع الماء المتساقط من الأعلى إلى الأسفل على سطح الحشوات ويمكن مناقشة تأثير درجة حرارة الهواء الرطبة الداخلة على مردود البرج.

5. نتائج البحث

تم إجراء العديد من التجارب على برج التبريد المبين بالشكل (1) في مختبر جامعة حلب بهدف دراسة للحالة النهائية للهواء والماء (نقاط الخروج من برج التبريد) ومعادلة التوازن الحراري والكتلي وذلك للحصول على الخطوط

البيانية المميزة لأداء برج التبريد (العلاقة ما بين حمل التبريد ومجال التبريد ومدى الاقتراب وتأثير الرطوبة النسبية).

6. الحسابات

يجب أن تؤخذ انقراءات عند الشروط التالية:

فرق الضغط $x = 16 [mmH_2O]$ ، التدفق الكلي للماء $40 [gr/s]$ ، حمل التبريد $1.0 [kW]$ ، كمية ماء التعويض $0.26 [kg]$ ، الزمن $600 [s]$ والهواء المعاد تسخينه صفر.

تأخذ القراءات وتكون بالجدول التالي (1).

الجدول (1): تحديد نقطة الدخول والخروج

20.8	[°C]	$t_{d,A}$ الجافة	درجة حرارة الهواء عند الدخول
17		$t_{w,A}$ الرطبة	
22.9	[°C]	$t_{d,B}$ الجافة	درجة حرارة الهواء عند الخروج
22.7		$t_{w,B}$ الرطبة	
23.1	[°C]		درجة حرارة الماء عند الدخول
19.5	[°C]		درجة حرارة الماء عند الخروج

نحدد النقاط A و B وذلك بمعرفة درجة الحرارة الجافة والرطوبة على

المخطط البسايرومتري ومن ثم نجد القيم التالية:

الهواء		عند الدخول (A)	عند الخروج (B)
الأنتالبي النوعي	$h [kJ/kg]$	47.8	67.4
الرطوبة النوعية	$\omega [kg/kg]$	0.0105	0.0175
الحجم النوعي	$va_B [m^3/kg_{av}]$	0.862	

$$\dot{m}_a = 0,0137 \sqrt{\frac{x}{va_B(1+\omega_B)}}$$

$$\dot{m}_a = 0,0137 \sqrt{\frac{16}{0,862(1+0,0175)}} = 0,0585 [\text{kg/s}]$$

معدل التعويض

$$\dot{m}_E = \frac{m_E}{\tau} = \frac{0,26}{600} = 0,433 \times 10^{-3} [\text{kg/s}]$$

الأنثالي النوعي عند $t_E = 19,5 [^{\circ}\text{C}]$ يساوي $h_E = 81,8 [\text{kJ/kg}]$

1.6 معادلة التوازن الحراري

بتطبيق معادلة التوازن الحراري المستقر على النظام كما في الشكل (4)

نجد:

$$\dot{Q} - P = \Delta H + \Delta K_E$$

$$\dot{Q} - P = 1,0 - (-0,1) = 1,1 [\text{kW}]$$

حيث استطاعة المضخة $P = -100 [\text{W}] = -0,1 [\text{kW}]$

$$\Delta H = \dot{H}_{E_2} - \dot{H}_{E_1}$$

$$\Delta H = \dot{m}_a h_B - \dot{m}_a h_A - \dot{m}_E h_E = \dot{m}_a (h_B - h_A) - \dot{m}_E h_E$$

$$\Delta H = 0,0585(67,4 - 47,8) - 0,433 \times 10^{-3} \times 81,8 =$$

$$\Delta H = 1,146 - 0,035 = 1,111 [\text{kW}]$$

الاختلاف بسيط والخطأ ناتج عن تمرب الحرارة من الوسط الخارجي

وذلك لعدم عزل النظام.

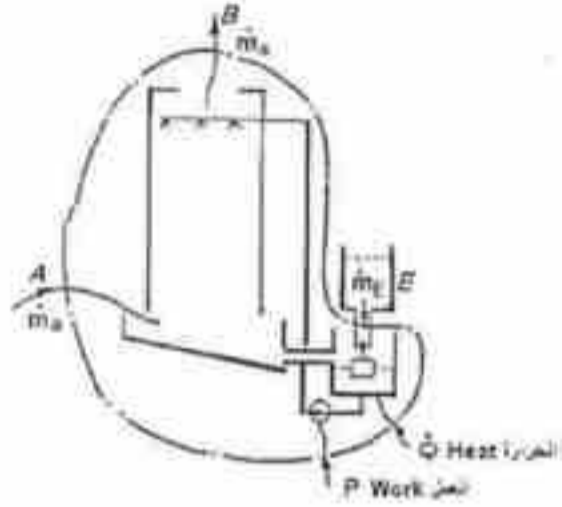
2.6 معادلة التوازن الكتلي

$$\dot{m}_E = \dot{m}_{SA} - \dot{m}_{SB} = \dot{m}_a (\omega_B - \omega_A)$$

$$\dot{m}_E = 0,0585(0,0175 - 0,0105) =$$

$$\dot{m}_E = 0.409 \times 10^{-3} [\text{kg/s}]$$

تعلم بأن ماء التعويض $\dot{m}_E = 0.433 \times 10^{-3} [\text{kg/s}]$ نلاحظ الاختلاف صغير ناتج عن خطأ القياس أو النقل خارجاً.



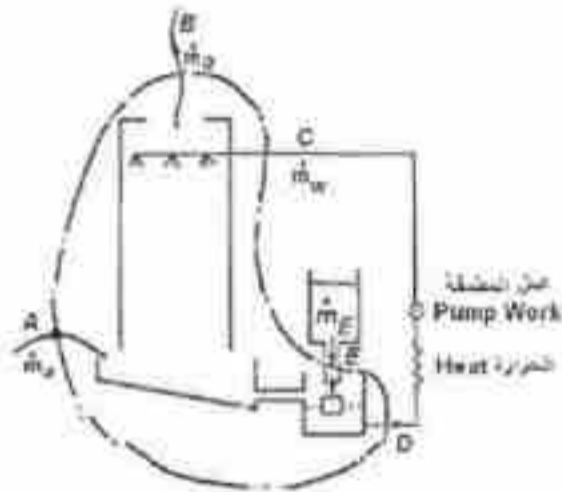
الشكل (4): التوازن الحراري للنظام

3.6 معادلة التوازن الحراري

$$\dot{Q} - P = \Delta H + \Delta K_k$$

$$\dot{Q} - P = 0$$

$$\Delta H = H_{Ex} - H_{In}$$



الشكل (5): التوازن الكتلي للنظام

$$\begin{aligned}\dot{\Delta H} &= (\dot{m}_a h_B + \dot{m}_w h_D) - (\dot{m}_a h_A + \dot{m}_w h_A + \dot{m}_w h_C - \dot{m}_E h_E) \\ \dot{\Delta H} &= \dot{m}_a (h_B - h_A) + \dot{m}_w (h_D - h_C) - \dot{m}_E h_E \\ \dot{\Delta H} &= \dot{m}_a (h_B - h_A) + \dot{m}_w c_{pw} (T_D - T_C) - \dot{m}_E h_E \\ \dot{\Delta H} &= 0.0585(67.4 - 47.8) + 0.042 \times 4.18(23.1 - 29.5) - 0.433 \times 10^{-3} = \\ \dot{\Delta H} &= -0.011 [kW]\end{aligned}$$

إن سبب الاختلاف ينسب إلى الخطأ في القياس والتسرب الحراري.

4.6. علاقة حمل التبريد مع مجال الاقتراب

تأخذ القراءات عند الشروط التالية:

معدل تدفق الماء $40 [gr/s]$ ، فرق الضغط $x = 16 [mmH_2O]$ ، حمل

التبريد $\dot{Q} = 0 [kW]$.

وتتكون القراءات بالجدول (2)، للانتقال إلى التجربة الثانية نغير من حمل

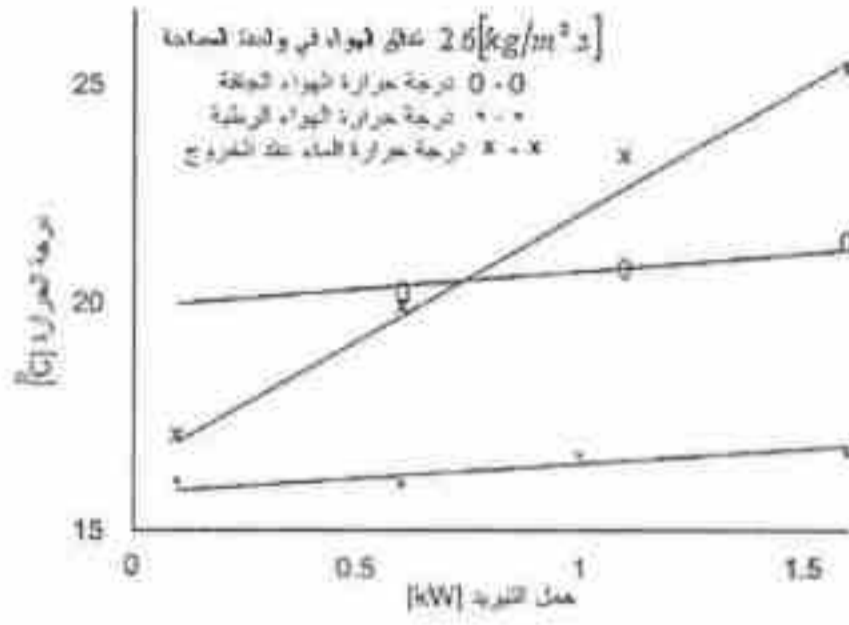
التبريد $\dot{Q} = 0.5 [kW]$ ، على أن يبقى تدفق الماء وتدفق الهواء ثابتين، تكرر

التجربة بالنسبة للأحمال الأخرى وبنفس الشروط.

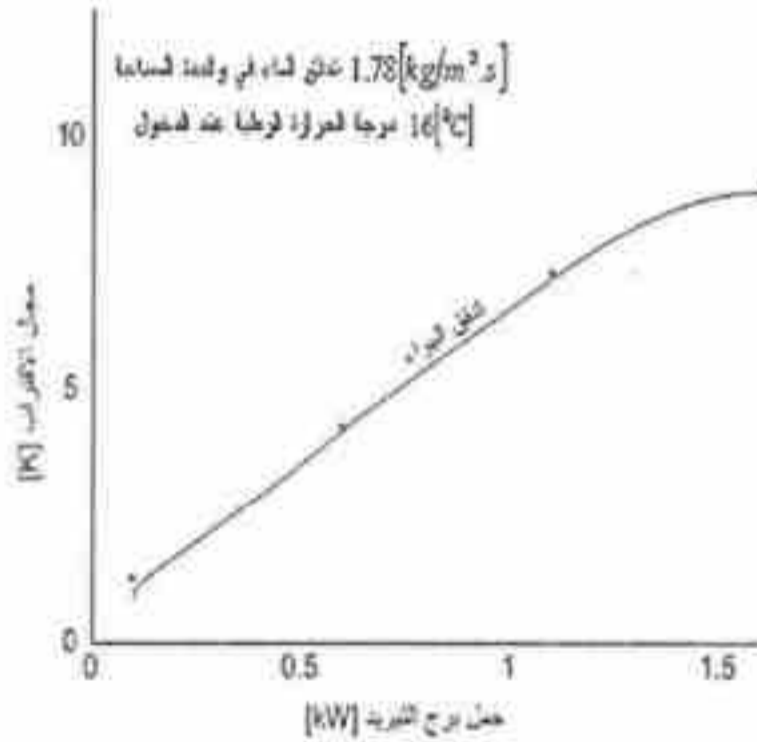
الجدول (2): نتائج التجارب علاقة حمل التبريد مع مجال الاقتراب

				رقم التجربة	
4	3	2	1	$[1/m]$	كثافة الحشوات
110	110	110	110	$[^{\circ}C]$	درجة حرارة الهواء عند الدخول
21.4	21.2	20.2	20		
16.4	16.4	15.7	15.7	الرطبة ta_w	
25.2	23.2	19.9	16.7	$[^{\circ}C]$	درجة حرارة الماء عند الخروج
2.6	2.6	2.6	2.6	$[kg/s.m^2]$	تدفق الهواء في واحدة المساحة
1.6	1.1	0.6	0.1	$[kW]$	حمل التبريد الإجمالي
8.8	6.8	4.2	1	$[K]$	مدى الاقتراب

ويمكن تمثيل هذه النتائج على المسطحات البيانية وذلك بتغير شروط التجربة
كما في الشكل (6) والشكل (7).



الشكل (6): علاقة حمل التبريد مع درجة حرارة الهواء عند الدخول ودرجة حرارة الماء عند الخروج.



الشكل (7): علاقة حمل التبريد بمدى الاقتراب.

قدرة المضخة $P = 100[W] = 0.1[kW]$ تضاف إلى خزان التجميع. من الجدول (2) التجربة رقم (3):

حمل التبريد الإجمالي

$$\begin{aligned} \text{عمل المضخة} + \text{الحمل المقدم} &= \text{حمل التبريد الإجمالي} \\ &= 1.0 + 0.1 = 1.1[kW] \end{aligned}$$

مجال الاقتراب

$$\text{مجال الاقتراب} = T_D - T_{AW} = 23.2 - 16.4 = 6.8[K]$$

$$\dot{m}_a = 0.0137 \sqrt{\frac{x}{v_B}} = 0.0137 \sqrt{\frac{16}{0.87}} = 0.0587[kg/s]$$

من المخطط البيسايكرومترى $v_B = 0.87[m^3/kg]$ الحجم النوعي للهواء

عند الخروج. المساحة التي يغادر منها الهواء هي مساحة العمود (عمود البرج).

$$Colum(A) = 0.15 \times 0.15 = 0.0225[m^2]$$

التدفق الكتلي للهواء من خلال واحدة المساحة

$$\dot{m}_a / A = \frac{0.0587}{0.0225} = 2.6[kg/s.m^2]$$

التدفق الكتلي للماء من خلال واحدة المساحة

$$\dot{m}_w / A = \frac{0.04}{0.0225} = 1.777[kg/s.m^2]$$

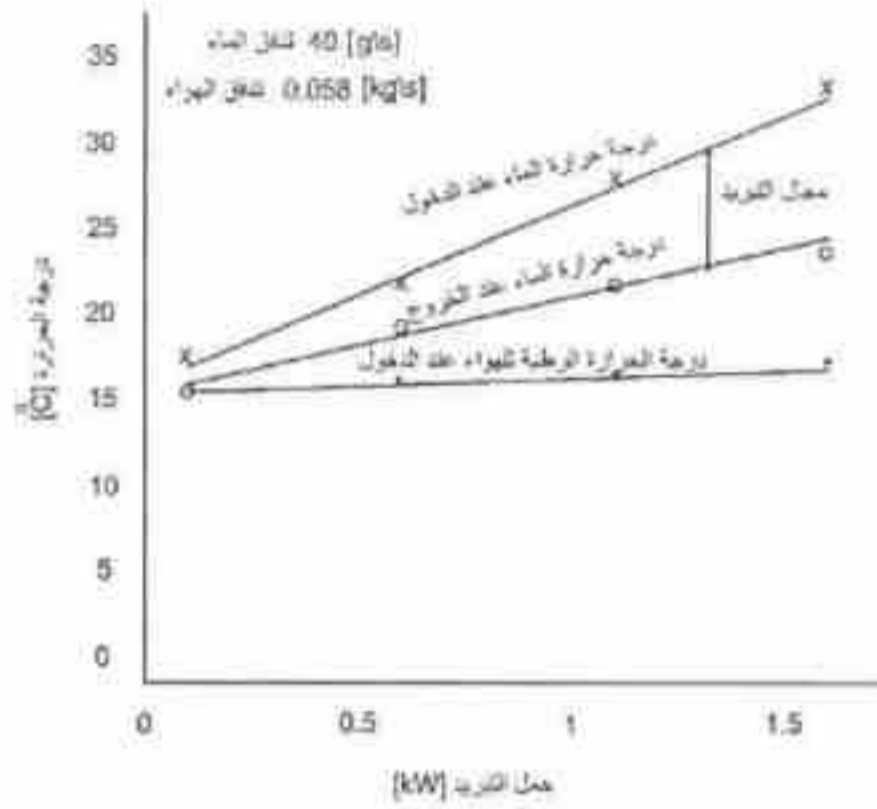
5.6. علاقة حمل التبريد بمجال التبريد

تؤخذ القراءات بنفس الشروط وتدون النتائج في الجدول (3) وتمثل على

المخطط كما في الشكل (8).

الجدول (3): نتائج التجارب، علاقة حمل التبريد مع مجال التبريد

4	3	2	1	رقم التجربة	
110	110	110	110	[1/m]	كثافة الحشوات
19.7	19.4	19	19	[°C]	درجة حرارة الهواء عند النخول
16.5	15.8	15.4	15.6		
23	20.5	18.4	16.8	[°C]	درجة حرارة الهواء عند الخروج
23	20.4	18	16		
32.7	27.2	21.6	17	[°C]	درجة حرارة الماء عند النخول
23.9	21.3	18.6	15.4	[°C]	درجة حرارة الماء عند الخروج
1.6	1.1	0.6	0.1	[kW]	حمل التبريد الإجمالي
8.8	5.9	3	1.6	[K]	مجال التبريد



الشكل (8): علاقة حمل التبريد مع مجال التبريد.

6.6. علاقة الرطوبة النسبية على أداء البرج

تؤخذ القراءات عند الشروط التالية:

معدل تنفق الماء $30 [gr/s]$ ، فرق الضغط $x = 16 [mmH_2O]$ ، حمل

التبريد $\dot{Q} = 1.0 [kW]$ وتسخين الهواء يساوي الصفر.

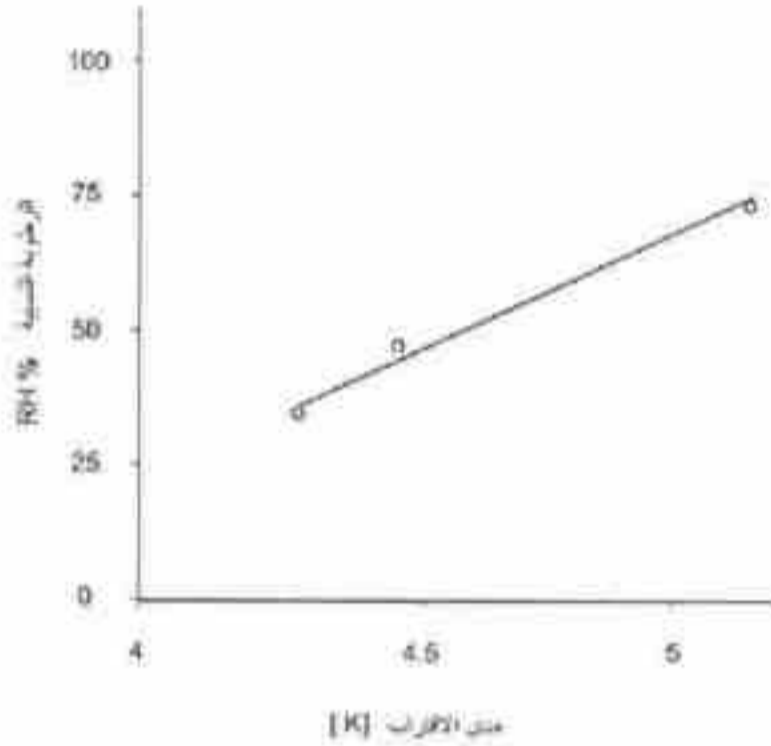
تعاد التجربة وذلك بتسخين الهواء $0.5 [kW]$ ومن ثم $1.0 [kW]$ وتدون

القراءات في الجدول (4) وفي الشكل (9).

الجدول (4): نتائج التجارب، علاقة الرطوبة النسبية بالأداء

رقم التجربة				
3	2	1	[1/m]	
110	110	110	كثافة الحشوات	
32.1	26.25	20	[°C]	درجة حرارة الهواء عند الدخول
20.7	18.8	16.6		
				الرطبة $t_{w,A}$
25.9	23.8	21.2	[°C]	درجة حرارة الهواء عند الخروج
				الجافة $t_{d,B}$

24	22.6	21.1		الرطوبة $t_{w,H}$
32.1	30.6	29.5	[°C]	درجة حرارة الماء عند الدخول
25	23.25	21.75		درجة حرارة الماء عند الخروج
35	48	72	RH%	الرطوبة النسبية عند الدخول
1	0.5	0	[kW]	تسخين الهواء
4.3	4.45	5.15	[K]	مدى الاقتراب



الشكل (9): علاقة مدى الاقتراب مع الرطوبة النسبية.

7. الاستنتاجات

نلاحظ من خلال النتائج يوجد لاختلاف في مجال الاقتراب مع زيادة حمل التبريد. ويعزى سبب الاختلاف إلى ما يلي:

تؤثر اختلاف شدة التبخر مع اختلاف ضغط بخار الماء على السطح وضغط بخار الماء في مجرى الهواء.

للج عند ازدياد درجة الحرارة الجافة، يزداد ضغط إشباع الماء أيضاً ويتوافق ذلك بانخفاض الرطوبة النسبية.
للج بازدياد إذا درجة الحرارة الرطبة، يزداد انتقال الحرارة بالتعاس والحمل بزيادة درجة الحرارة الجافة، و يزداد معدل التبخر،
كما يعرض البحث بيانات جديدة لانتقال الحرارة في برج التبريد الذي يحتوي على عشر طبقات لتبادل الحرارة (الحثوات). وتم التأكد من صحة معادلات انتقال الحرارة والكتلة تجريبياً. وتعتبر أبراج التبريد وسيلة اقتصادية لحفظ الطاقة والمياه.

المراجع

- [1]-ASHRAE, HVAC, 1992- **systems and equipment handbook**. Atlanta: ASHRAE.
- [2]-Dossat, RJ. 1991-**Principles of refrigeration**. New Jersey: Prentice Hall.
- [3]-FACAO, A., 2000-**Thrm.Eng.** 1225.
- [4]-FISENKO, S.P., et al., 2002-*Int. J. Heat Mass Transfer*, (45), 4683.
- [5]-KACHHWAHA, P.L., 1997-**Heat and mass transfer conference**. *Heat and Mass Transfer Conference*, (3), 29.
- [6]-KHAN, J.R., and ZUBIR, S.M., 2001-*Trans. ASME.*, (123), 770.
- [7]-Perry RH, et al., 1987- **Chemical engineers hand book**. 6th ed. McGraw-Hill.
- [8]-PRASAD, M., 2004-**Therm. Eng.**, (24), 579.
- [9]-STABAT, P. and MARCHIO, D., 2004- **Appl. Energy.**, (78), 433.

influence study cooling load to cooling range and approach in cooling tower

Abstract

The cooling towers are a type of direct contact heat exchangers that widely used in a variety heat transfer applications, for example: power stations, petroleum and chemical industries, industrial processes, cooling and air conditioning.

The research aims to study both theoretical and experimental of heat and mass transfer phenomenon between water and air in the cooling tower; and the relationship between the cooling load and both of the cooling range and the cooling approach; and the influence of relative humidity on the cooling tower performance.

The research presents also a new data for the heat and mass transfer in the cooling tower, which contains ten layers of the charge. We have been verified experimentally the equations of heat and mass transfer.

We note from the results that there is a difference in the cooling range and the cooling approach by increasing the cooling load and the influence of the relative humidity on the performance of the cooling tower. This is due to the increasing of the evaporation rate by the change in steam pressure on the surface and in the air stream. If the dry temperature increases, the saturation pressure of water increases and humidity must be decreases. If the wet temperature increases, the heat transfer must increases by conduction and convection when dry temperature increases, and the evaporation rate will increase.

Keywords: Cooling towers, Heat and mass transfer, Refrigeration machines.