

## الدراسة التجريبية لتوضيح تأثير نسبة التدفق ودرجة الحرارة على أداء برج تبريد اختباري ذي جريان قسري معاكس في المناطق الجافة

\*المهندس الميكانيكي: علي عبد الجبار حمش

مهندس في شركة الفرات للنفط

ماجستير في هندسة التبريد / جامعة دمشق

### المخلص

إن الهدف الرئيسي من هذا البحث هو إجراء دراسة تجريبية لتوضيح تأثير كل من نسبة تدفق الماء إلى تدفق الهواء ( $\frac{L}{G}$ ) ودرجة حرارة الماء الداخل إلى البرج ( $t_{w1}$ ) على الفعالية الحرارية لبرج التبريد . تم إجراء التجارب عند قيم مختلفة لنسبة تدفق الماء إلى تدفق الهواء وكانت على التوالي 0.6 ، 0.8 ، 1.2 وعند قيم لدرجات حرارة الماء الداخل إلى البرج تراوحت ضمن المجال  $30-50$  °C .

أظهرت الدراسة التجريبية بأن زيادة نسبة تدفق الماء إلى تدفق الهواء تؤدي إلى انخفاض أداء البرج ، بينما زيادة درجة حرارة الماء الداخل حتى درجة الحرارة  $40$  °C تؤدي إلى تحسين أداء البرج حيث يبدأ أداء البرج بالانخفاض عند درجات الحرارة الأعلى من ذلك . وقد تم توضيح أداء البرج من خلال منحنيات تغير درجة حرارة الماء ، منحنيات تغير درجة حرارة ورطوبة الهواء ضمن الحثوة ومن خلال حساب فعالية و مجال البرج .

الكلمات المفتاحية: أبراج التبريد - فعالية البرج - مجال البرج - نسبة التدفق - درجة الحرارة .

الرموز المستخدمة في البحث :

t : درجة الحرارة ( $^{\circ}\text{C}$ )

G : تدفق الهواء ( $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ )

L : تدفق الماء ( $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ )

$\epsilon$  : فعالية البرج (%)

e : اقتراب البرج ( $^{\circ}\text{C}$ )

R : مدى البرج ( $^{\circ}\text{C}$ )

RH : الرطوبة النسبية (%)

$t_w$  : درجة حرارة الماء ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_{wb}$  : درجة الحرارة الرطبة للهواء

$t_{db}$  : درجة الحرارة الجافة للهواء

الرموز السفلية

1 : الدخول (للماء أو الهواء)

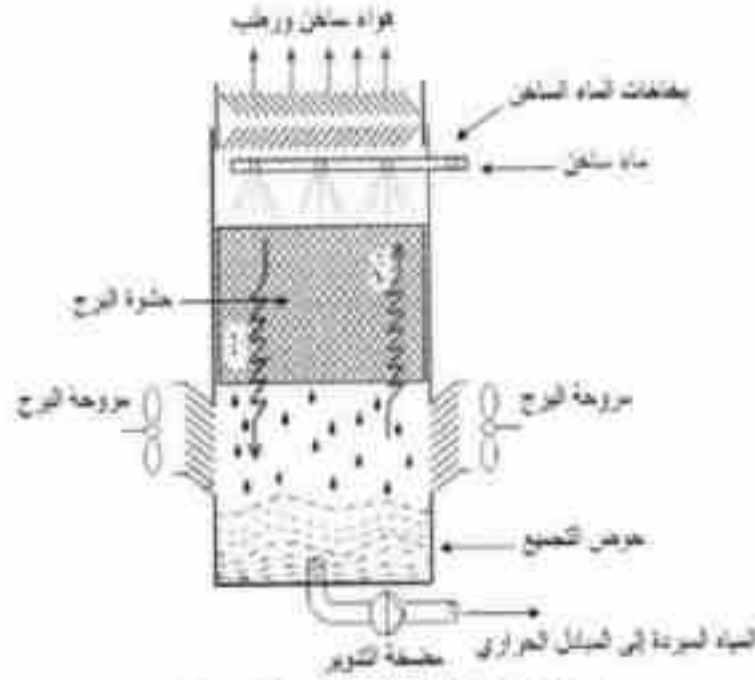
2 : الخروج (للماء أو الهواء)

## 1- المقدمة

إن العديد من العمليات الصناعية المطبقة في الوقت الحالي تنتج كميات من الحرارة، وينبغي التخلص من هذه الحرارة بشكل متواصل من أجل المحافظة على استمرار هذه العمليات. يعتبر الماء أحد أهم الوسائط المستخدمة حالياً من أجل نقل الحرارة لما يتمتع به من ميزات كرخص الثمن والأمان عند الاستخدام ، ويتم تبريد الماء بواسطة مبادلات حرارية ذات تبريد هوائي حيث تعمل على طرح الحرارة مباشرة إلى الوسط المحيط ، ولكن الكلفة المرتفعة واستهلاك الطاقة الكهربائية الكبير لتدوير المراوح يحد من استخدام هذه المبادلات ، بالإضافة إلى أن سطح التبادل الحراري الكبير يبدي نوع من المقاومة الحرارية لانتقال الحرارة من الماء إلى الهواء وربما يتعرض هذا السطح للتآكل وتجمع الترسبات والتي تزيد من قيمة المقاومة الحرارية ، من أجل الحد من المعوقات أفه الذكر تم استخدام أبراج التبريد لأغراض تبريد المياه ، حيث أن برج التبريد هو عبارة عن جهاز انتقال حرارة وكتلة يعتمد على مبدأ التبريد التبخيري وذلك بواسطة التماس المباشر بين الماء والهواء الجوي ، وهذا يساعد على تقليل المقاومة الحرارية بشكل كبير ويحسن عملية انتقال الحرارة. إن الميزات السابقة قد أدت إلى انتشار استخدام أبراج التبريد ، حيث تستخدم في محطات الطاقة الحرارية التقليدية والنووية من أجل تبريد مياه المكثف وفي أنظمة التبريد والتكييف ذات المكثف المائي وكذلك تستخدم في العديد من الصناعات الكيميائية والبترونية من أجل طرح الحرارة. يتكون برج التبريد كما يوضحه الشكل (1-1) من الأجزاء التالية:

1. الحشوة: والتي تعتبر قلب برج التبريد حيث أنها تشكل مساحة سطح كبيرة لانتقال الحرارة والكتلة من الماء الساخن إلى الهواء وتزيد من زمن التماس بينهما .
2. بخاخات الماء : وتعمل على توزيع الماء الساخن بشكل متساوي على سطح الحشوة ، بالإضافة إلى ذلك تعمل على تذرية الماء وتحتطيمه إلى قطرات صغيرة لزيادة التماس بين الماء والهواء .

3. المروحة : تعمل على تحريك الهواء خلال البرج وهي تتواجد فقط في أبراج التبريد ذات التيار القسري.
4. حوض التجميع : يستخدم لتجميع المياه المبردة الخارجة من الحشوة من أجل إعادة استخدامها في المبادل الحراري.
5. مضخة تدوير : تعمل على تدوير مياه التبريد بين البرج والمبادل الحراري.
6. الهيكل الخارجي للبرج ويكون اسنتمى أو معدني أو خنثي حسب نوع البرج.



الشكل (1) المكونات الرئيسية لبرج التبريد

إن مبدأ عمل برج التبريد موضح كما يلي (مخيبر و عيسى ، 2006) يتم ترفيد الماء الساخن على الحشوة بواسطة بخاخات الترفيد ، يلقى الماء أثناء نزوله للأسفل الهواء المتحرك نحو الأعلى حيث يحدث انتقال محسوس للحرارة من الماء إلى الهواء بسبب فرق درجات الحرارة بينهما ، بالإضافة إلى ذلك يحدث انتقال حرارة كامن ناتج عن تبخر جزء من الماء ، حيث أن هذه الحرارة تسحب من كتلة الماء المتبقية وبالتالي تؤدي إلى تخفيض درجة حرارة الماء . برغم من وجود حرارة محسوسة منتقلة من الماء إلى الهواء فإن فعالية البرج تنتج تقريبا وبشكل كامل تبخر جزء من الماء المتساقط ، يحمل البخار المتشكل نتيجة عملية التبخر بعيدا مع الهواء

المنطلق من برج التبريد أما الماء المبرد يتجمع في حوض التجميع السفلي . نظرياً  
 أخفض درجة حرارة يمكن تبريد الماء إليها هي درجة الحرارة الرطبة للهواء الداخل إلى  
 البرج ( $t_{wb1}$ ) ولكن في الواقع يوجد هناك فرق بين درجة حرارة الماء الخارج من  
 البرج ( $t_{w2}$ ) ودرجة الحرارة الرطبة للهواء الداخل ويطلق على هذا الفرق حد اقتراب  
 البرج (e) ، بينما الفرق بين درجة حرارة الماء الداخل ( $t_{w1}$ ) والخارج من البرج  
 $t_{w2}$  يطلق عليه مدى البرج (R) . يوجد هناك العديد من العوامل التي تؤثر على  
 أداء البرج (Mohiuddin, K.N., 1996) ، (Spurlock, B.H., 1993) منها

1. الحشوة المستخدمة من ناحية أبعادها ، طريقة توضعها ، مواصفات سطحها  
 ومادة الصنع
2. نسبة تنفق الماء إلى الهواء
3. درجة حرارة دخول الماء إلى البرج
4. درجة الحرارة الرطبة للهواء الداخل إلى البرج (المنطقة الموجود بها البرج)
5. ضغط الهواء الداخل إلى البرج
6. وجود الأملاح والترسبات على سطح الحشوة
7. زمن التماس بين الماء والهواء
8. بعد قطرة الماء المرزذ

تم في هذا البحث إجراء دراسة تجريبية لتبيان تأثير كل من نسبة تنفق الماء إلى  
 تنفق الهواء ودرجة حرارة الماء الداخل إلى البرج على الفعالية الحرارية لبرج التبريد

## 2- الجهاز المستخدم في التجربة:

تم إجراء التجارب في مدينة دبرالزور وذلك في شهر نيسان حيث كانت درجتاً  
 الحرارة الجافة والرطوبة خلال فترة إجراء التجارب على التوالي ( $t_{db} =$   
 $35^{\circ}\text{C}$ ،  $t_{wb} = 24^{\circ}\text{C}$ )، الجهاز المستخدم لإجراء التجارب هو عبارة عن برج

تبريد اختباري كما يوضحه الشكل (2) ارتفاعه (0.63m) ومقطعه العرضي (0.25m\*0.25m) مكون من الأجزاء التالية:

- 1- المروحة : هي من النوع التوربيني تدفقها  $G = 400 \frac{m^3}{h}$  استطاعتها  $P = 70 w$
- 2- المضخة : هي من النوع الغاطس كما يوضحها الشكل (1-2) تدفقها الأعظمي  $(L = 2 \frac{m^3}{h})$  والضاغط الأعظمي المتوفر  $(H = 2m)$
- 3- الحشوة : مصنوعة من مادة خشبية ارتفاعها (0.3 m) ومساحة مقطعها (0.24m\*0.24m) كما يوضحها الشكل (3) سطوحها تميل بزاوية  $(20^\circ)$  تمثل مساحة سطح تبادل حراري حوالي  $(A=0.69 m^2)$
- 4- بخاخات الماء: متوضعة في أعلى البرج تعمل على تبريد الماء وتحطيمه إلى قطرات صغيرة ذات أقطار تتراوح  $(\phi = 0.5 - 1mm)$
- 5- حوض التجميع: يستخدم لتجميع الماء المبرد في برج التبريد



الشكل (2) البرج المستخدم في التجربة

- 6- صمام التحكم بالتدفق: يستخدم من أجل التحكم بتدفق الماء الوارد إلى البرج وبالتالي التحكم بنسبة تدفق الماء إلى تدفق الهواء
- 7- فتحات القياس: موضحة بالشكل (3) عددها خمسة ومترقمة من الأعلى إلى الأسفل تستخدم من أجل قياس درجة حرارة الماء ، درجة حرارة ورطوبة الهواء على ارتفاع الحشوة



الشكل (3) موضحة الحشوة وفتحات القياس

3- أجهزة القياس المستخدمة

تم استخدام جهازي قياس رئيسيين وهما جهاز قياس درجة حرارة الماء الموضح بالشكل (4) وهو من النوع (Omron E5C4) مجال قياسه  $^{\circ}\text{C}$  (0-300) ودقته  $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$



الشكل (4) جهاز قياس درجة الحرارة

جهاز قياس درجة حرارة ورطوبة الهواء موضح بالمشكل (5) وهو من النوع  
(Thermo-Hydro TR 45) مجال قياسه:

Rh %=(0-99) %



الشكل (5-1) جهاز قياس درجة حرارة ورطوبة الهواء



## 4- النتائج التجريبية

تم إجراء التجارب عند عدة قيم لنسبة تدفق الماء إلى تدفق الهواء وعند عدة قيم لدرجة حرارة الماء الداخل إلى البرج حيث تم قياس درجة حرارة الماء وكل من درجة حرارة ورطوبة الهواء على ارتفاعات مختلفة من الحشوة وكانت النتائج على النحو التالي :

• نسبة التدفق:  $\frac{L}{G} = 1.2$

الجدول (1) قياس  $t_w$  عند نسبة تدفق 1.2

درجة حرارة الماء المقاسة ( $t_w$ )					نقطة القياس
30	35	40	45	50	1
29.2	34.5	39	44	49	2
28.1	33.5	37.5	43.2	47.5	3
27.5	32	37	42.5	45	4
27	31	36.5	41	44	5

الجدول (2) قياس  $t_{db}$  عند نسبة تدفق 1.2

درجة الحرارة الجافة للهواء ( $t_{db}$ )					نقطة القياس
33	30.5	31	33.5	32	1
32.2	31.6	31.5	30.4	30.1	2
31.1	29	30.1	29.3	29	3
28	27.5	28.4	28.2	27.4	4
26	26	26	26	26	5

الجدول (3) قياس  $t_{wb}$  عند نسبة تنفق 1.2

الرطوبة النسبية للهواء (%)					نقطة القياس
88	90	89	92	90	1
77	74.2	77.5	75	75	2
65	62.7	65.5	63.2	64.1	3
60	58	59.2	59	58	4
51	51	51.2	51.3	50	5

• نسبة التنفق:  $\frac{L}{G} = 0.8$

الجدول (4) قياس  $t_w$  عند نسبة تنفق 0.8

درجة حرارة الماء المقاسة ( $t_w$ )					نقطة القياس
30	35	40	45	50	1
29.2	34	38	43.1	48	2
28.1	32.8	36.2	41	45.2	3
27.5	31	34	39.5	43	4
27	30	33	38	40	5

الجدول (5) قياس  $t_{db}$  عند نسبة تنفق 0.8

درجة الحرارة الجافة للهواء ( $t_{db}$ )					نقطة القياس
26	26.8	26.5	26.9	27.5	1
25.5	26	26.1	26.2	26.5	2

24.5	25.5	25.4	25.3	25.4	3
24.9	25	24.3	24.5	25	4
24	24.2	24.1	24	24	5

الجدول (6) قياس  $t_{wb}$  عند نسبة تنفق 0.8

الرطوبة النسبية للهواء (%)					نقطة القياس
92	93	89	89	91	1
75	77	76	77	78	2
63	65	64	65	65	3
57	59	58.2	59	60	4
51.4	51.2	51	51	51	5

• نسبة التنفق :  $\frac{L}{a} = 0.6$

الجدول (7) قياس  $t_w$  عند نسبة تنفق 0.6

درجة حرارة الماء المقاسة ( $t_w$ )					نقطة القياس
30	35	40	45	50	1
29.1	33.8	38	43	47	2
28.5	31	36.2	41.2	44	3
27.5	30.2	33	38	41	4
27	29	31	35	38	5

الجدول (8) قياس  $t_{db}$  عند نسبة تفتق 0.6

درجة الحرارة الجافة للهواء ( $t_{db}$ )					نقطة القياس
27	27.5	28	27.3	28.5	1
26.8	27	27.4	26.5	27.4	2
26	26.4	26.2	25	26.5	3
25.6	25.8	23.4	24.7	25.3	4
24.5	24.8	24.5	24	24	5

الجدول (9) قياس  $t_{wb}$  عند نسبة تفتق 0.6

الرطوبة النسبية للهواء (%)					نقطة القياس
89	91	90	92	93	1
80	79	78	77	78	2
64	66	65	67	67	3
59	60	58	59	58	4
51	51.2	52.1	52	51.8	5

### 5- حساب فعالية ومجال برج التبريد (مردود البرج)

يمكن حساب فعالية البرج (Goshayshi, H.R.2000) من خلال العلاقة :

كما يمكن حساب مجال البرج (Lemouari, M.B., 2010) من خلال العلاقة:

حيث يمكن تلخيص النتائج بالجدول التالية

الجدول (10) تغيرات  $\epsilon$  مع تغير  $t_{w1}$  و  $\frac{L}{G}$

$t$	$\epsilon$	$t$	$\epsilon$	$t$	$\epsilon$
50	0.37	50	0.31	50	0.18
45	0.37	45	0.26	45	0.14
40	0.41	40	0.32	40	0.23
35	0.35	35	0.29	35	0.2
30	0.25	30	0.25	30	0.17

أما بالنسبة لمجال البرج

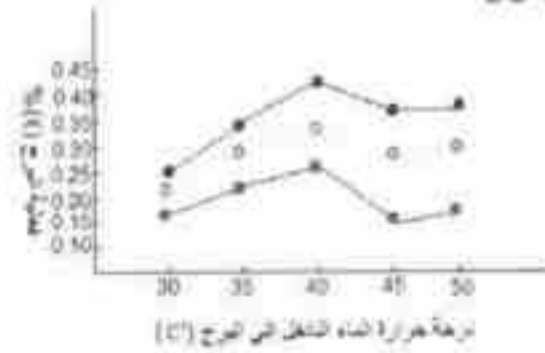
الجدول (11) تغيرات  $\epsilon$  مع تغير  $t_{w1}$  و  $\frac{L}{G}$

$t$	$\epsilon$	$t$	$\epsilon$	$t$	$\epsilon$
50	12	50	10	50	6
45	10	45	7	45	4
40	9	40	7	40	4
35	6	35	5	35	4
30	3	30	3	30	2

والشكل التالي يبين كيف تتغير فعالية البرج مع تغير درجة حرارة الماء الداخل وذلك

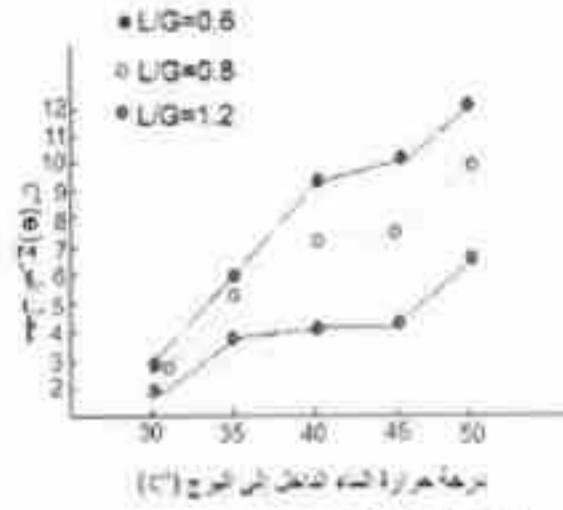
عند عدة قيم لنسبة التدفق

- \* L/G=0.6
- L/G=0.8
- \* L/G=1.2



الشكل (9) تغير  $\epsilon$  مع تغير  $t_{w1}$

أما الشكل التالي فيبين كيفية تغير مجال البرج مع تغير درجة حرارة الماء الداخل



الشكل (10-1) تغير  $e$  مع تغير  $t_{w1}$

## 6- النتائج والتوصيات

### • تأثير درجة حرارة الماء

نستنتج من خلال المنحنيات السابقة بأن زيادة درجة حرارة الماء تؤدي إلى زيادة فعالية البرج حتى تصل إلى القيمة العظمى عند درجة الحرارة  $t_{w1} = 40^{\circ}\text{C}$  ثم تبدأ بالانخفاض وذلك عند كافة قيم نسبة التدفق . وكذلك نلاحظ بأن زيادة درجة حرارة الماء الداخل إلى البرج تؤدي إلى زيادة مجال البرج

### • تأثير نسبة التدفق

نلاحظ من خلال المنحنيات السابقة بأن زيادة نسبة التدفق تؤدي إلى انخفاض فعالية البرج وذلك عند كافة قيم درجة حرارة الماء الداخل إلى البرج وكذلك زيادة نسبة التدفق تؤدي إلى انخفاض مجال البرج . وتفسر ذلك بأن زيادة نسبة التدفق تتم عن طريق زيادة تدفق الماء وهذا يؤدي إلى عدم حدوث انتقال حرارة وكثلة تام بين الماء والهواء وفي هذا السياق ، من أجل ضمان الحصول على قيم عالية لمعامل فعالية البرج من الضروري زيادة

تدفق الهواء الداخل في الحالات التي يتم فيها زيادة تدفق الماء . مما سبق نستنتج بأن كل من نسبة التدفق ودرجة حرارة الماء الداخل تلعب دوراً مهماً في التأثير على أداء البرج وبالتالي يجب أن يتم اختيار هذين البارامترين بدقة عند العمل في أبراج التبريد .

## 7- المراجع

### • المراجع باللغة العربية

مخبير نديم : عيسى علي ، 2006 - هندسة التبريد . الجزء الأول، الباب الأول، منشورات جامعة دمشق، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية.

### • المراجع باللغة الانكليزية

[2] Mohiuddin, K.N., 1996- Knowledge base for the systematic design of wet cooling towers.PartII: Fill and other design parameters.*International Journal of Refrigeration*,(19)3,52-60.

[3] Spurlock, B.H., 1993-Performance of a forced draft cooling tower. *ASHVE Trans*, (59)1, 311-328.

[4] Goshayshi , H.R.2000- The investigation of cooling tower packing in various arrangements. *Applied Thermal Engineering*,(20)2 69-80.

[5]Lemouari, M.B., 2010-Experimental investigation of the heat and mass transfer characteristics of a counter flow wet cooling tower.*Inernational Journal of refrigeration*, (A9)3,2049-2056.





---

**The experimental study to clarify the effect of flow ratio  
and temperature on the performance of a counter flow  
cooling tower in dry regions**

\*Mechanical Eng: Ali Abed Aljabar Homoush

Engineer in Alfurat Petroleum Co

Master in Refrigeration Engineering / Damascus University

---

**Abstract**

The main object of this research is to make an experimental study to clarify the effect of water to air flow ratio ( $\frac{L}{G}$ ) and the inlet water temperature ( $t_{w1}$ )

On the thermal performance of a cooling tower. The experiments were made for different values of water to air flow ratio and they were 0.6, 0.8, and 1.2.

The temperatures of the inlet water were in the range [30–50] °C . The experimental study showed that increasing the water to air flow ratio will reduce the cooling tower performance, whereas increasing the inlet water temperature until 40 °C will increase the cooling tower performance and then its performance is decreasing at higher temperatures. This clarified by water temperature curves, relative humidity and dry bulb temperature of the air and by calculating the cooling tower range and efficiency.

---

Keywords: cooling towers– tower efficiency– tower range– flow rate– temperature