

العنوان:	دراسة نظرية و عملية لأداء برج التبريد ذو الجريان المتعاكس
المؤلف الرئيسي:	النعمة، احمد فؤاد محمود
مؤلفين آخرين:	الموسوي، محمد حسن عبود(مشرف)
التاريخ الميلادي:	2003
موقع:	تكريت
الصفحات:	1 - 123
رقم MD:	552244
نوع المحتوى:	رسائل جامعية
اللغة:	Arabic
الدرجة العلمية:	رسالة ماجستير
الجامعة:	جامعة تكريت
الكلية:	كلية الهندسة
الدولة:	العراق
قواعد المعلومات:	Dissertations
مواضيع:	التبريد، الهندسة الميكانيكية
رابط:	<a href="https://search.mandumah.com/Record/552244">https://search.mandumah.com/Record/552244</a>

## الخلاصة

يهدف البحث إلى دراسة الأداء الحراري لبرج تبريد ذو الجريان المتعكس ؛ ولهذا الغرض استُخدم منشأ تجريبي ذو جريان متعكس لبرج تبريد ذي مقطع ( 600 \* 450 ) ملم<sup>2</sup> وارتفاع قدره ( 2400 ) ملم . إذ استخدمت في هذه الدراسة ألواح بلاستيكية واسبستية كحشوة ذات أشكال هندسية مختلفة وبطول ( 600 ) ملم ، وتم تحليل الأداء نظرياً وعملياً عن طريق دراسة تأثير درجة حرارة الماء الحار الداخل إلى برج التبريد لنوعي الحشوات المستخدمة . وقد اختيرت ثلاث قيم لدرجات حرارة الماء الداخل إلى البرج ( 36 و 40 و 44 ) درجة مئوية ، وخمسة معدلات تدفق كتلي لجريان الماء ( 1.76 و 2.12 و 2.47 و 2.82 و 3.17 ) كغم/ثا.م<sup>2</sup> بالاقتران مع ثلاثة معدلات لجريان الهواء ( 0.608 و 1.140 و 1.810 ) كغم/ثا.م<sup>2</sup> . ومن ثم قورن بين أداء نوعي الحشوتين المستخدمتين واللتان تعملان تحت نظام توزيع المياه بالرش .

ولدراسة تأثير النهايات ( End Effects ) تم تغيير طول الحشوة البلاستيكية عند ثلاث قيم ( 150 و 300 و 600 ) ملم وجرى تصحيح معامل أداء البرج من هذه التأثيرات إذ تم الحصول على عدد من المعادلات الارتباطية ( Correlation Equation ) لتمثيل معامل أداء البرج بدلالة كل من معدل تدفق الماء والهواء .

كما دُرست المعاملات الحجمية لانتقال الكتلة والحرارة ؛ وتأثير كل من نسبة معدل تدفق الماء إلى الهواء ( L/G ) ودرجة حرارة الماء الداخل إلى البرج عليها .

كذلك دُرست المتغيرات اللابعديّة ( Non - Dimensional Parameters ) لانتقال الكتلة والحرارة أي ( عدد رينولدز وعدد شيرود ) بالإضافة إلى حساب قيم كل من رقم برنندتل ( Pr ) ورقم شميدت ( Sc ) ، اللذين بلغت قيمتهما في العمل الحالي ( 0.571 و 0.758 ) بالتعاقب ، ورقم رينولدز ( Re ) للهواء لحشوة بلاستيكية كان [ 881 < Re<sub>G</sub> < 2651 ] .

ظهر من خلال هذه الدراسة أن درجة حرارة الماء الداخل إلى البرج تؤثر بشكل كبير على معامل أداء البرج فقد لوحظ انه كلما زادت درجة حرارة الماء قل معامل أداء برج التبريد ، وقد وضحت النتائج العملية هذا النقصان الحاصل في قيمة معامل أداء البرج هي ( 16.6 % ) تقريباً لكل أربع درجات زيادة في درجة حرارة الماء الداخل إلى البرج .

نتائج العمل الحالي أثبتت أنه لو استخدمت الحشوة البلاستيكية بدلاً من الحشوة الاسبستية فأن ذلك سيؤدي إلى زيادة معامل الأداء بمقدار ( 17.65 % ) ، وهذا بدوره ينطبق على أبراج تبريد معمل سكر الموصل وعند نفس الظروف التشغيلية الحالية للمعمل والتي بدورها ستحصل على زيادة في الفرق بين درجات حرارة الماء الداخل والخارج من البرج ( 10.42 °C ) على شرط أن لا يقل ارتفاع الحشوة عن ( 2057.7 ) ملم .

أما إذا زيدت سرعة الهواء المار خلال البرج من ( 0.941 إلى 1.164 ) م/ثا مع تثبيت الظروف التشغيلية وباستخدام الحشوة البلاستيكية فان ذلك سيؤدي إلى زيادة الفرق في درجات حرارة الماء ( 14.22 ) درجة مئوية .

العنوان:	دراسة نظرية و عملية لأداء برج التبريد ذو الجريان المتعاكس
المؤلف الرئيسي:	النعمة، احمد فؤاد محمود
مؤلفين آخرين:	الموسوي، محمد حسن عبود(مشرف)
التاريخ الميلادي:	2003
موقع:	تكريت
الصفحات:	1 - 123
رقم MD:	552244
نوع المحتوى:	رسائل جامعية
اللغة:	Arabic
الدرجة العلمية:	رسالة ماجستير
الجامعة:	جامعة تكريت
الكلية:	كلية الهندسة
الدولة:	العراق
قواعد المعلومات:	Dissertations
مواضيع:	التبريد، الهندسة الميكانيكية
رابط:	<a href="https://search.mandumah.com/Record/552244">https://search.mandumah.com/Record/552244</a>

## المحتويات

الصفحة	الموضوع	الرقم
أ	الخلاصة	
ب	المحتويات	
ج	قائمة الرموز	
<b>الفصل الأول : المقدمة</b>		
1	تمهيد	1 - 1
1	أبراج تبريد الماء	2 - 1
3	أنواع أبراج التبريد	3 - 1
6	العمل الحالي	4 - 1
7	الهدف من البحث الحالي	5 - 1
<b>الفصل الثاني : استعراض البحوث السابقة</b>		
13	تمهيد	1 - 2
13	استعراض البحوث السابقة	2 - 2
<b>الفصل الثالث : التحليل النظري والعددي</b>		
24	تمهيد	1 - 3
24	التحليل السايكومترى	2 - 3
25	معادلات موازنة الكتلة والحرارة	3 - 3
30	التحليل العددي	4 - 3
31	فرضيات هذا التحليل	5 - 3
32	التحليل العددي للمعادلات الرياضية	6 - 3
34	حساب الشروط البينية ( الوسطية )	7 - 3
37	البرنامج الحاسبي	8 - 3
<b>الفصل الرابع : المنشأ التجريبي والقياسات</b>		
41	تمهيد	1 . 4
41	وصف أجزاء منظومة برج التبريد	2 . 4
41	منظومة تبريد الماء	1 . 2 . 4
41	برج التبريد	1 . 1 . 2 . 4
42	الحشوة	1 . 1 . 1 . 2 . 4

الصفحة	الموضوع	الرقم
42	منظومة توزيع الماء	2.1.1.2.4
42	أنبوب الماء الفائض	3.1.1.2.4
43	مانع رذاذ	4.1.1.2.4
43	مروحة الطرد المركزي	2.1.2.4
43	خزان ماء التعويض	3.1.2.4
43	خزان الماء الفائض	4.1.2.4
44	منظومة مجرى الهواء	5.1.2.4
44	منظومة تسخين الماء	2.2.4
44	حوض التسخين	1.2.2.4
44	المسخنات	1.1.2.2.4
45	مضخة الماء	2.2.2.4
45	طرق القياس	3.4
45	قياس تدفق الهواء	1.3.4
46	قياس تدفق الماء	2.3.4
47	قياس درجة حرارة الماء والهواء	3.3.4
47	طريقة إجراء الاختبارات	4.4
48	القياسات	5.4
49	طريقة إجراء الحسابات	6.4
50	الحالة المدروسة	7.4
<b>الفصل الخامس : النتائج والمناقشة</b>		
60	تمهيد	1.5
61	المناقشة	2.5
<b>الفصل السادس : الاستنتاجات والتوصيات</b>		
84	الاستنتاجات	1.6
85	التوصيات	2.6
86	المقترحات للدراسة القادمة	3.6

الصفحة	العنوان	الملاحق
90	المخطط الانسيابي	ملحق ( A )
97	البرامج الحاسوبية المعدة بلغة ( Quick Basic ) لحسابات النتائج المختبرية	ملحق ( B )
101	جداول نتائج الاختبارات والبيانات التي تم الحصول عليها من البرنامج الحاسبي	ملحق ( C )
113	طريقة حساب معامل انتقال الكتلة والحرارة الحجمي	ملحق ( D )
114	طريقة حساب المجاميع اللابعدية	ملحق ( E )
118	المعادلات الارتباطية المصححة وغير المصححة لمعامل أداء برج التبريد للنتائج التجريبية	ملحق ( F )
121	حساب علاقة لويس	ملحق ( G )

## قائمة الرموز

الوحدات	المعنى	الرمز
$[ m^2 / m^3 ]$	مساحة السطح الوسطية لكل وحدة حجم من حشوة البرج	a
$[ m^2 ]$	مساحة المقطع	A
$[ kJ / kg .K ]$	الحرارة النوعية للماء	$C_L$
$[ kJ / kg .K ]$	الحرارة النوعية للهواء عند ضغط ثابت	$C_{p_a}$
$[ kJ / kg .K ]$	الحرارة النوعية لبخار الماء عند ضغط ثابت	$C_{p_v}$
$[ kJ / kg .K ]$	الحرارة النوعية للهواء الرطب	$C_s$
$[ m ]$	القطر الهيدروليكي	$D_h$
$[ m^2 / s ]$	الانتشارية الكتلية	D
$[ m / s^2 ]$	التعجيل الأرضي ( 9.81 )	g
$[ kg / s.m^2 ]$	معدل تدفق الهواء لكل وحدة مساحة	G
$[ kW / m^2 . K ]$	معامل انتقال الحرارة من جهة الهواء	$h_G$
$[ kW / m^2 . K ]$	معامل انتقال الحرارة من جهة الماء	$h_L$
$[ kJ / kg \text{ dry air } ]$	المحتوى الحراري لخليط من بخار الماء والهواء	i
$[ kJ / kg \text{ dry air } ]$	المحتوى الحراري المشبع لخليط من بخار الماء والهواء عند درجة الحرارة الماء	$i'$
$[ kJ / kg \text{ dry air } ]$	المحتوى الحراري المشبع لخليط من بخار الماء والهواء عند درجة حرارة السطح البيئي	$i_i$
$[ kJ / kg ]$	المحتوى الحراري للماء	$i_w$
$[ kg \text{ of moisture } / kg \text{ of dry air } ]$	الرطوبة النسبية	H
$[ kg \text{ of moisture } / kg \text{ of dry air } ]$	الرطوبة النسبية لخليط مشبع من بخار الماء والهواء عند درجة حرارة السطح البيئي	$H_i$
$[ kg / s.m^2 ]$	معامل انتقال الكتلة	k
$[ kg / s.m^2 ]$	معامل انتقال الكتلة الكلي لكل وحدة فرق في الرطوبة النسبية	K
$[ kg / s.m^2 ]$	معامل انتقال الكتلة من جهة الهواء لكل فرق بين الرطوبة النسبية ( $H_i - H_G$ )	$k_G$
$[ kJ / s.m.K ]$	معامل التوصيل الحراري	$k_t$
$[ m / s ]$	معامل انتقال الكتلة معتمدة على الضغط الجزئي	$k_X$

الوحدات	المعنى	الرمز
[ kg / s.m <sup>3</sup> ]	معامل انتقال الكتلة الحجمي	k <sub>G</sub> . a
[ m ]	الطول المميز	ℓ
[ kg / s.m <sup>2</sup> ]	معدل تدفق الماء لكل وحدة مساحة	L
[ kg / s ]	معدل تدفق الكتلة	m'
-	عدد الخلايا الكلية للحشوة	N
[ kW ]	الحمل الحراري	Q
[ kW ]	الحرارة الكامنة	Q <sub>L</sub>
[ kW ]	الحرارة المحسوسة	Q <sub>S</sub>
[ m ]	المسافة بين حشوتين	S
[ K ]	درجة الحرارة	t
[ K ]	درجة الحرارة الرطبة	t <sub>w</sub>
[ m / s ]	سرعة المائع	u
[ m / s ]	سرعة جريان المائع الحقيقي	U
[ m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> ]	حجم برج التبريد / مساحة المقطع	V
[ m ]	طول خلية الحشوة البلاستيكية	y
[ m ]	ارتفاع الحشوة	Z

### الرموز اليونانية

الوحدات	المعنى	الرمز
[ m <sup>2</sup> / s ]	الانتشارية الحرارية	α
[ m ]	سمك مادة الحشوة	δ
Degree	زاوية	θ
[ kg / m <sup>3</sup> ]	الكثافة	ρ
[ kg / m . s ]	معدل تدفق الماء لكل محيط مبتل	Γ
-	الفرق بين قيمتين	Δ
[ kg / m . s ]	اللزوجة الديناميكية	μ
[ kJ / kg ]	الحرارة الكامنة للتبخير	λ <sub>o</sub>

## المجاميع الالبعديّة

المعادلة	المعنى	الرمز
-	معامل الأداء معتمدة على معدل تدفق الهواء	$k_G \cdot a \cdot z / G$
-	معامل الأداء (NTU) معتمدة على معدل تدفق الماء	$k_G \cdot a \cdot z / L$
-	عدد الوحدات المنتقلة	NTU
$\frac{\alpha}{D}$	عدد لويس	Le
$\frac{C_S \cdot \mu}{k_t}$	عدد براندتل	Pr
$\frac{\rho_G \cdot U_G \cdot D_h}{\mu_G}$	عدد رينولدز لجريان الهواء	Re <sub>G</sub>
$\frac{4\Gamma}{\mu_L}$	عدد رينولدز لجريان الماء	Re <sub>L</sub>
$\frac{\mu}{\rho \cdot D}$	عدد شميدت	Sc
$\frac{k_X \cdot D_h}{D}$	عدد شيرود	Sh

## الرموز التحتية

الدلالة	الرموز
المقطع السفلي للبرج	1
المقطع العلوي للبرج	2
هواء	G
الحرارة المنتقلة	H
السطح البيني للماء والهواء	i
ماء	L
الكتلة المنتقلة	M
الهواء الرطب [ خليط من الهواء وبخار الماء ]	m

العنوان:	دراسة نظرية و عملية لأداء برج التبريد ذو الجريان المتعاكس
المؤلف الرئيسي:	النعمة، احمد فؤاد محمود
مؤلفين آخرين:	الموسوي، محمد حسن عبود(مشرف)
التاريخ الميلادي:	2003
موقع:	تكريت
الصفحات:	1 - 123
رقم MD:	552244
نوع المحتوى:	رسائل جامعية
اللغة:	Arabic
الدرجة العلمية:	رسالة ماجستير
الجامعة:	جامعة تكريت
الكلية:	كلية الهندسة
الدولة:	العراق
قواعد المعلومات:	Dissertations
مواضيع:	التبريد، الهندسة الميكانيكية
رابط:	<a href="https://search.mandumah.com/Record/552244">https://search.mandumah.com/Record/552244</a>

# دراسة نظرية وعملية لأداء برج التبريد ذو الجريان المتعاكس

رسالة مقدمة إلى

كلية الهندسة - جامعة تكريت

وهي جزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير  
في

علوم الهندسة الميكانيكية

من قبل

## أحمد فؤاد محمود النعمة

بكالوريوس هندسة ميكانيكية - جامعة الموصل ٢٠٠٠

بإشراف

د . محمد حسن عبود الموسوي

كانون الثاني ٢٠٠٣

ذي القعدة ١٤٢٣ هـ

م

## قرار لجنة المناقشة

نشهد أننا أعضاء لجنة المناقشة قد اطلعنا على الرسالة الموسومة  
(دراسة نظرية وعملية لأداء برج البريد ذو الجريان المتعكس) وناقشنا الطالب  
أحمد فؤاد محمود في محتوياتها وفيما له علاقة بها ونقر بأنها جديرة بالقبول لنيل  
درجة ماجستير علوم في الهندسة الميكانيكية .



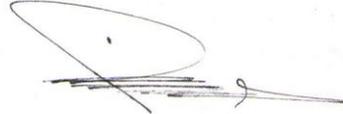
أ.م.د. سعد محسن صالح المشاط  
(عضواً)  
2003 / 3 / ١١



أ.م.د. مهدي عبد الفتاح الظاهر  
(رئيس اللجنة)  
2003 / 3 / ١١



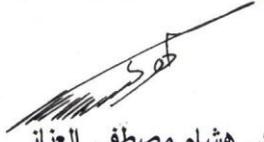
د. محمد حسن عبود الموسوي  
(عضواً ومشرفاً)  
2003 / 3 / ١١



د. عدنان محمد عبدالله الصفاوي  
(عضواً)  
2003 / 3 / ١١

## مصادقة عميد الكلية

نصادق على ما جاء بقرار لجنة المناقشة المشكلة لمناقشة رسالة الطالب  
أحمد فؤاد محمود الموسومة (دراسة نظرية وعملية لأداء برج البريد ذو الجريان المتعكس).



د. هشام مصطفى العناز  
عميد كلية الهندسة  
2003 / 3 /

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ رَبِّ قَدْ آتَيْتَنِي مِنَ الْمُلْكِ وَعَلَّمْتَنِي  
مِنْ تَأْوِيلِ الْأَحَادِيثِ فَاطِرَ السَّمَاوَاتِ  
وَالْأَرْضِ أَنْتَ وَلِيِّي فِي الدُّنْيَا وَالْآخِرَةِ  
تَوَفَّنِي مُسْلِمًا وَأَلْحِقْنِي بِالصَّالِحِينَ ﴾

سورة يوسف الآية (١٠١)

## الخلاصة

يهدف البحث إلى دراسة الأداء الحراري لبرج تبريد ذو الجريان المتعكس ؛ ولهذا الغرض استُخدم منشأ تجريبي ذو جريان متعكس لبرج تبريد ذي مقطع (600 \* 450) ملم<sup>2</sup> وارتفاع قدره (2400) ملم . إذ استخدمت في هذه الدراسة ألواح بلاستيكية واسبستية كحشوة ذات أشكال هندسية مختلفة وبطول (600) ملم ، وتم تحليل الأداء نظرياً وعملياً عن طريق دراسة تأثير درجة حرارة الماء الحار الداخل إلى برج التبريد لنوعي الحشوات المستخدمة . وقد اختيرت ثلاث قيم لدرجات حرارة الماء الداخل إلى البرج (36 و40 و44) درجة مئوية ، وخمسة معدلات تدفق كتلي لجريان الماء (1.76 و2.12 و2.47 و2.82 و3.17) كغم/ثا.م<sup>2</sup> بالاقتران مع ثلاثة معدلات لجريان الهواء (0.608 و1.140 و1.810) كغم/ثا.م<sup>2</sup> . ومن ثم قورن بين أداء نوعي الحشوتين المستخدمتين واللتان تعملان تحت نظام توزيع المياه بالرش .

ولدراسة تأثير النهايات ( End Effects ) تم تغيير طول الحشوة البلاستيكية عند ثلاث قيم (150 و300 و600) ملم وجرى تصحيح معامل أداء البرج من هذه التأثيرات إذ تم الحصول على عدد من المعادلات الارتباطية ( Correlation Equation ) لتمثيل معامل أداء البرج بدلالة كل من معدل تدفق الماء والهواء .

كما دُرِسَت المعاملات الحجمية لانتقال الكتلة والحرارة ؛ وتأثير كل من نسبة معدل تدفق الماء إلى الهواء ( L/G ) ودرجة حرارة الماء الداخل إلى البرج عليها .

كذلك دُرِسَت المتغيرات اللابعديّة ( Non – Dimensional Parameters ) لانتقال الكتلة والحرارة أي ( عدد رينولدز وعدد شيرود ) بالإضافة إلى حساب قيم كل من رقم برنديل ( Pr ) ورقم شميدت ( Sc ) ، اللذين بلغت قيمتهما في العمل الحالي (0.571 و 0.758) بالتعاقب ، ورقم رينولدز ( Re ) للهواء لحشوة بلاستيكية كان [881 < Re<sub>G</sub> < 2651] .

ظهر من خلال هذه الدراسة أن درجة حرارة الماء الداخل إلى البرج تؤثر بشكل كبير على معامل أداء البرج فقد لوحظ انه كلما زادت درجة حرارة الماء قل معامل أداء برج التبريد ، وقد وضحت النتائج العملية هذا النقصان الحاصل في قيمة معامل أداء البرج هي (16.6 % ) تقريباً لكل أربع درجات زيادة في درجة حرارة الماء الداخل إلى البرج .

نتائج العمل الحالي أثبتت أنه لو استخدمت الحشوة البلاستيكية بدلاً من الحشوة الاسبستية فأن ذلك سيؤدي إلى زيادة معامل الأداء بمقدار ( 17.65 % ) ، وهذا بدوره ينطبق على أبراج تبريد معمل سكر الموصل وعند نفس الظروف التشغيلية الحالية للمعمل والتي بدورها ستحصل على زيادة في الفرق بين درجات حرارة الماء الداخل والخارج من البرج ( 10.42 °C ) على شرط أن لا يقل ارتفاع الحشوة عن (2057.7) ملم .

أما إذا زيدت سرعة الهواء المار خلال البرج من ( 0.941 إلى 1.164 ) م/ثا مع تثبيت الظروف التشغيلية وباستخدام الحشوة البلاستيكية فان ذلك سيؤدي إلى زيادة الفرق في درجات حرارة الماء ( 14.22 ) درجة مئوية .

## المحتويات

الصفحة	الموضوع	الرقم
أ	الخلاصة	
ب	المحتويات	
ج	قائمة الرموز	
<b>الفصل الأول : المقدمة</b>		
1	تمهيد	1 - 1
1	أبراج تبريد الماء	2 - 1
3	أنواع أبراج التبريد	3 - 1
6	العمل الحالي	4 - 1
7	الهدف من البحث الحالي	5 - 1
<b>الفصل الثاني : استعراض البحوث السابقة</b>		
13	تمهيد	1 - 2
13	استعراض البحوث السابقة	2 - 2
<b>الفصل الثالث : التحليل النظري والعددي</b>		
24	تمهيد	1 - 3
24	التحليل السايكومترى	2 - 3
25	معادلات موازنة الكتلة والحرارة	3 - 3
30	التحليل العددي	4 - 3
31	فرضيات هذا التحليل	5 - 3
32	التحليل العددي للمعادلات الرياضية	6 - 3
34	حساب الشروط البينية ( الوسطية )	7 - 3
37	البرنامج الحاسبي	8 - 3
<b>الفصل الرابع : المنشأ التجريبي والقياسات</b>		
41	تمهيد	1 . 4
41	وصف أجزاء منظومة برج التبريد	2 . 4
41	منظومة تبريد الماء	1 . 2 . 4
41	برج التبريد	1 . 1 . 2 . 4
42	الحشوة	1 . 1 . 1 . 2 . 4

الصفحة	الموضوع	الرقم
42	منظومة توزيع الماء	2.1.1.2.4
42	أنبوب الماء الفائض	3.1.1.2.4
43	مانع رذاذ	4.1.1.2.4
43	مروحة الطرد المركزي	2.1.2.4
43	خزان ماء التعويض	3.1.2.4
43	خزان الماء الفائض	4.1.2.4
44	منظومة مجرى الهواء	5.1.2.4
44	منظومة تسخين الماء	2.2.4
44	حوض التسخين	1.2.2.4
44	المسخنات	1.1.2.2.4
45	مضخة الماء	2.2.2.4
45	طرق القياس	3.4
45	قياس تدفق الهواء	1.3.4
46	قياس تدفق الماء	2.3.4
47	قياس درجة حرارة الماء والهواء	3.3.4
47	طريقة إجراء الاختبارات	4.4
48	القياسات	5.4
49	طريقة إجراء الحسابات	6.4
50	الحالة المدروسة	7.4
<b>الفصل الخامس : النتائج والمناقشة</b>		
60	تمهيد	1.5
61	المناقشة	2.5
<b>الفصل السادس : الاستنتاجات والتوصيات</b>		
84	الاستنتاجات	1.6
85	التوصيات	2.6
86	المقترحات للدراسة القادمة	3.6

الصفحة	العنوان	الملاحق
90	المخطط الانسيابي	ملحق ( A )
97	البرامج الحاسوبية المعدة بلغة ( Quick Basic ) لحسابات النتائج المختبرية	ملحق ( B )
101	جداول نتائج الاختبارات والبيانات التي تم الحصول عليها من البرنامج الحاسبي	ملحق ( C )
113	طريقة حساب معامل انتقال الكتلة والحرارة الحجمي	ملحق ( D )
114	طريقة حساب المجاميع اللابعدية	ملحق ( E )
118	المعادلات الارتباطية المصححة وغير المصححة لمعامل أداء برج التبريد للنتائج التجريبية	ملحق ( F )
121	حساب علاقة لويس	ملحق ( G )

## قائمة الرموز

الوحدات	المعنى	الرمز
$[ m^2 / m^3 ]$	مساحة السطح الوسطية لكل وحدة حجم من حشوة البرج	a
$[ m^2 ]$	مساحة المقطع	A
$[ kJ / kg .K ]$	الحرارة النوعية للماء	$C_L$
$[ kJ / kg .K ]$	الحرارة النوعية للهواء عند ضغط ثابت	$C_{p_a}$
$[ kJ / kg .K ]$	الحرارة النوعية لبخار الماء عند ضغط ثابت	$C_{p_v}$
$[ kJ / kg .K ]$	الحرارة النوعية للهواء الرطب	$C_s$
$[ m ]$	القطر الهيدروليكي	$D_h$
$[ m^2 / s ]$	الانتشارية الكتلية	D
$[ m / s^2 ]$	التعجيل الأرضي ( 9.81 )	g
$[ kg / s.m^2 ]$	معدل تدفق الهواء لكل وحدة مساحة	G
$[ kW / m^2 . K ]$	معامل انتقال الحرارة من جهة الهواء	$h_G$
$[ kW / m^2 . K ]$	معامل انتقال الحرارة من جهة الماء	$h_L$
$[ kJ / kg \text{ dry air } ]$	المحتوى الحراري لخليط من بخار الماء والهواء	i
$[ kJ / kg \text{ dry air } ]$	المحتوى الحراري المشبع لخليط من بخار الماء والهواء عند درجة الحرارة الماء	$i'$
$[ kJ / kg \text{ dry air } ]$	المحتوى الحراري المشبع لخليط من بخار الماء والهواء عند درجة حرارة السطح البيئي	$i_i$
$[ kJ / kg ]$	المحتوى الحراري للماء	$i_w$
$[ kg \text{ of moisture } / kg \text{ of dry air } ]$	الرطوبة النسبية	H
$[ kg \text{ of moisture } / kg \text{ of dry air } ]$	الرطوبة النسبية لخليط مشبع من بخار الماء والهواء عند درجة حرارة السطح البيئي	$H_i$
$[ kg / s.m^2 ]$	معامل انتقال الكتلة	k
$[ kg / s.m^2 ]$	معامل انتقال الكتلة الكلي لكل وحدة فرق في الرطوبة النسبية	K
$[ kg / s.m^2 ]$	معامل انتقال الكتلة من جهة الهواء لكل فرق بين الرطوبة النسبية ( $H_i - H_G$ )	$k_G$
$[ kJ / s.m.K ]$	معامل التوصيل الحراري	$k_t$
$[ m / s ]$	معامل انتقال الكتلة معتمدة على الضغط الجزئي	$k_X$

الوحدات	المعنى	الرمز
[ kg / s.m <sup>3</sup> ]	معامل انتقال الكتلة الحجمي	k <sub>G</sub> . a
[ m ]	الطول المميز	ℓ
[ kg / s.m <sup>2</sup> ]	معدل تدفق الماء لكل وحدة مساحة	L
[ kg / s ]	معدل تدفق الكتلة	m'
-	عدد الخلايا الكلية للحشوة	N
[ kW ]	الحمل الحراري	Q
[ kW ]	الحرارة الكامنة	Q <sub>L</sub>
[ kW ]	الحرارة المحسوسة	Q <sub>S</sub>
[ m ]	المسافة بين حشوتين	S
[ K ]	درجة الحرارة	t
[ K ]	درجة الحرارة الرطبة	t <sub>w</sub>
[ m / s ]	سرعة المائع	u
[ m / s ]	سرعة جريان المائع الحقيقي	U
[ m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> ]	حجم برج التبريد / مساحة المقطع	V
[ m ]	طول خلية الحشوة البلاستيكية	y
[ m ]	ارتفاع الحشوة	Z

### الرموز اليونانية

الوحدات	المعنى	الرمز
[ m <sup>2</sup> / s ]	الانتشارية الحرارية	α
[ m ]	سمك مادة الحشوة	δ
Degree	زاوية	θ
[ kg / m <sup>3</sup> ]	الكثافة	ρ
[ kg / m . s ]	معدل تدفق الماء لكل محيط مبتل	Γ
-	الفرق بين قيمتين	Δ
[ kg / m . s ]	اللزوجة الديناميكية	μ
[ kJ / kg ]	الحرارة الكامنة للتبخر	λ <sub>o</sub>

## المجاميع الالاعدية

المعادلة	المعنى	الرمز
-	معامل الأداء معتمدة على معدل تدفق الهواء	$k_G \cdot a \cdot z / G$
-	معامل الأداء (NTU) معتمدة على معدل تدفق الماء	$k_G \cdot a \cdot z / L$
-	عدد الوحدات المنتقلة	NTU
$\frac{\alpha}{D}$	عدد لويس	Le
$\frac{C_S \cdot \mu}{k_t}$	عدد براندتل	Pr
$\frac{\rho_G \cdot U_G \cdot D_h}{\mu_G}$	عدد رينولدز لجريان الهواء	Re <sub>G</sub>
$\frac{4\Gamma}{\mu_L}$	عدد رينولدز لجريان الماء	Re <sub>L</sub>
$\frac{\mu}{\rho \cdot D}$	عدد شميدت	Sc
$\frac{k_X \cdot D_h}{D}$	عدد شيرود	Sh

## الرموز التحتية

الرموز	الدلالة
1	المقطع السفلي للبرج
2	المقطع العلوي للبرج
G	هواء
H	الحرارة المنتقلة
i	السطح البيني للماء والهواء
L	ماء
M	الكتلة المنتقلة
m	الهواء الرطب [ خليط من الهواء وبخار الماء ]

### 1.1 تهديد :-

يُعدّ معمل إنتاج السكر في الموصل من المعامل الإنتاجية المهمة في القطر ، وقد أنشأتها الشركة الألمانية (Salzgitter ) عام ( 1957 ) م ، إذ تبلغ طاقته الإستهلاكية التصميمية من البنجر ( 3000 ) طن يومياً أما الفعلية فتبلغ ( 1500 ) طن يومياً ، بينما تبلغ نسبة كمية السكر المنتج ( 7 % ) من الطاقة الكلية المستهلكة من البنجر يومياً ، وعلى الرغم من هذه الأهمية فإنه يعاني من بعض المشاكل ولاسيما فيما يتعلق بالمنظومات الحرارية وأجزائها مثل :- المكثفات وأبراج التبريد وأجهزة الطبخ والمبخرات وأنابيب البخار . ويعود سبب هذه المشاكل إلى تقادم الزمن ، وعدم توفر المواد الاحتياطية في الأسواق المحلية بسبب الحصار المفروض على قطرنا ؛ لذا سنقتصر في دراستنا الحالية على جزء من المنظومة الحرارية الموجودة في المعمل ألا وهي " أبراج التبريد " ، إذ تُعدّ أبراج التبريد من الأجزاء الأساسية في هذه الدورة . فالمعروف أن أبراج التبريد هي وسائل معدة لتبريد الماء الحار القادم من المكثفات أو أي مبادل حراري إلى درجة حرارة أقل من الدخول بمعدل فرق يتراوح من ( 3 إلى 14 ) درجة مئوية ، بحيث تسمح بإعادة استخدام الماء في المكثفات كوسيط تبريد .

### 2.1 أبراج تبريد الماء ( Cooling Towers Of Water ) :-

في العديد من المنشآت الصناعية الضخمة من الضروري أن تبدد الحرارة من بعض الأجزاء الحرارية للمحطة ؛ وأن بعضاً من هذه الحرارة يمكن نقلها مباشرة إلى الجو إما عن طريق الحمل الطبيعي أو عن طريق الحمل القسري ( المراوح ) ، إلا أن بعض الأجزاء الميكانيكية والمنظومات الحرارية يكون تبريدها بواسطة الهواء غير كفوء ، لذا يجب إيجاد وسيط بديل لتبريد هذه الحرارة ؛ فقد فكر الباحثون سابقاً في إيجاد طريقة أكفأ لسحب الحرارة من أية منظومة حرارية فوجدوا أن استعمال الماء لنقل هذه الحرارة أكفأ ولكن تبرز هناك مشكلة وهي كيفية تبريد الماء الساخن الخارج من المبادل الحراري (Heat Exchanger) ؛ و لحل هذه المعضلة استخدموا " أبراج التبريد " التي تتكون من أجزاء بسيطة جداً مقارنة مع الأبراج الحالية ، والتي كانت تتكون من مضخة ماء تستخدم لدفع الماء إلى الأعلى ليرش على الحشوة وليلامس سطحها عن طريق مُنْفَآت ( Nozzles ) موجودة في أعلى البرج وبهذا النموذج البسيط استطاعوا تبريد الماء الساخن وإعادة استعماله مرة أخرى . فبعد أن لاحظوا كفاءة هذه الأبراج على تبريد معظم الحرارة المكتسبة في أي منظومة حرارية ؛ أتجه العلماء والباحثون إلى تطوير هذه الأبراج ، فقاموا بالعديد من الدراسات العملية منها والنظرية من أجل تحسين كفاءة أداء هذه الأبراج .

وقبل أن نتطرق إلى آلية عمل هذه الأبراج لابد من معرفة الأجزاء الأساسية لأبراج التبريد ، إذ يتكون برج التبريد بصورة عامة من ثلاثة أجزاء أساسية :- الأولى ، المُنْفَآت ، حيث يكون موقع هذه المُنْفَآت عادةً في أعلى البرج والتي تقوم برش الماء الحار القادم من المكثفات بشكل رذاذ لتلامس سطح الحشوة الواقعة أسفل هذه المُنْفَآت بمسافة تتراوح من ( 150 إلى 450 ) ملم ؛ إذ أن مساحة سطح الماء المعرضة للتبخر تتوقف مبدئياً على تصميم فوهة المُنْفَآت . أما الجزء الثاني فهو الحشوات ( Packings ) ، التي هي واسطة انتقال الحرارة الأساسية في برج التبريد ، إذ يتم عن طريقها زيادة المساحة السطحية التي يتعرض لها الماء الساقط من المُنْفَآت ، فكلما زادت المساحة السطحية التي يتعرض لها الماء أثناء ملامسته للهواء المسحوب أو المدفوع من وإلى البرج كلما زادت عملية تبخر الماء الذي يؤدي بدوره إلى انخفاض درجة حرارة الماء . أما الجزء الثالث والذي يعد الأهم هو المراوح ( Fans ) فهناك نوعان أساسيان من المراوح ، الأولى يطلق عليها المروحة ذات الطرد المركزي ( Centrifugal Fan ) ، أما النوع الثاني فيطلق عليه المروحة المحورية ( Axial Fan ) ، وتكون الفائدة الأساسية لكل منهما واحدة ، وهي دفع كمية أكبر من الهواء لتزيد من عملية تبخر الماء وبالتالي تبديد أكبر كمية من الحرارة ، وهناك نوعان أساسيان من الأبراج كلٌّ حسب موقع المروحة المستخدمة ، فإذا كانت هذه المراوح موضوعة في أسفل جوانب البرج ، أطلق على هذا النوع من الأبراج (برج التبريد ذو التيار المدفوع) . أما إذا كان موقع المروحة في أعلى البرج فيدعى (برج التبريد ذو التيار المسحوب)<sup>[2]</sup> .

بعد توضيح الأجزاء الأساسية لبرج التبريد لابد من أن نتطرق ولو بشكل مختصر إلى الأجزاء الديناميكي ( الحراري ) لأبراج التبريد ، فبعد أن يُرَش الماء الساخن الخارج من المكثفات من أعلى البرج على الحشوة لينتشر عليها ويلقي تياراً من الهواء ، تجري بعد ذلك عملية التبادل الحراري بين الماء والهواء بعملية شبيهة بالإشباع الأديباتي ( درجة الحرارة التي يتبخر عندها الماء في تيار من الهواء الرطب بحيث يصل الهواء إلى حالة الإشباع الأديباتي بدرجة الحرارة نفسها ) . وبهذا تقل درجة حرارة الماء لما تعطيه من حرارة للهواء المار خلال البرج وعلى الرغم من أن جزءاً من الحرارة المحسوسة تنتقل من الماء إلى الهواء إلا أن التبريد الفعال في برج التبريد ينتج عادة من تبخر بعض الماء أثناء تساقطه خلال البرج . وتؤخذ الحرارة اللازمة للتبخر من كتلة الماء الباقية وهكذا تقل درجة حرارة الماء ؛ لأن الهواء المدفوع خلال البرج سوف يُحْمَلُ بالبخر الناتج من عملية التبخر . تتأثر كفاءة برج التبريد بجميع العوامل التي تتحكم في معدل تبخر الماء في الهواء . و فيما يأتي أهم هذه العوامل :-

- 1 - مقدار مساحة سطح الماء المعرضة للهواء وطول فترة تعرضه.
  - 2 - متوسط الفرق بين ضغط البخار في الهواء والماء في البرج.
  - 3 - معدل تدفق الماء في البرج.
  - 4 - معدل تدفق الهواء خلال البرج.
  - 5 - درجة حرارة الماء والهواء الداخلين إلى البرج.
  - 6 - اتجاه انسياب الهواء بالنسبة لسطح المعرض من الماء ( مواز ، متعامد ، عكسي ) .
- على العموم ، كلما انخفضت درجة حرارة الهواء الرطب عند دخول البرج كلما زاد فرق الضغط في البخار ، وبالتالي زيادة كفاءة البرج .
- إن أقل درجة حرارة يمكن تبريد الماء إليها نظرياً هي عند درجة حرارة الهواء الرطب الداخل إلى البرج ، وفي هذه الحالة يصبح الهواء الخارج من البرج مشبعاً ببخار الماء .
- أما من الناحية العملية ؛ فليس من المستطاع تبريد الماء إلى درجة حرارة الهواء الرطب ، ففي أغلب الحالات تكون درجة حرارة الماء الخارج أعلى من درجة حرارة الهواء الرطب الداخل للبرج بمعدل فرق يتراوح بين ( 4 إلى 7 ) درجة مئوية ، كما أن الهواء الخارج من البرج يكون أقل من التشبع في جميع الحالات [3] .
- يدعى الفرق بين درجة حرارة الماء الخارج من البرج ودرجة حرارة الهواء الرطب بالاقتراب ( Approach ) ، وكقاعدة عامة كلما زادت كمية الماء الداخلة للبرج كلما كان الفرق في درجة حرارة الماء الداخل والخارج قليلاً . مع ذلك فإن كمية الماء الداخلة للبرج تكون محددة من الناحية الاقتصادية بالقدرة اللازمة التي يحتاجها المكثف .
- أما الفرق بين درجة حرارة الماء الداخل والخارج إلى برج التبريد فيعرف ( بمدى التبريد ) ( Cooling Range ) [2] ، وكما موضح في الشكل ( 1 - 1 ) .

### 3.1 أنواع أبراج التبريد ( Types Of Cooling Towers ) :-

#### 1.3.1 تصنيف أبراج التبريد اعتماداً على نوع الاتصال بين الماء والهواء :

##### 1.1.3.1 الأبراج الرطبة أو المبتلة ( Wet Towers ) :

من المعروف أن برج التبريد هو جهاز ثابت الجريان ، إذ يمكن تبريد الماء عن طريق انتقال الكتلة والحرارة من الماء إلى الهواء وذلك بتعريض الماء إلى الهواء عن طريق السطوح المبتلة ( الحشوات ) ، فعن طريق هذه الحشوات يمكن الحصول على أكبر مساحة سطحية للماء المعرضة للهواء ، أما طريقة ملامسة الماء للحشوة فيكون إما عن طريق استخدام المُنْفِث ( Nozzle ) الذي يقوم برش الماء على الحشوة بشكل رذاذ ، أو عن طريق سقوط الماء سقوطاً حراً على الحشوة مكوناً طبقة سطحية رقيقة على جدار الحشوة .

أما جريان الهواء فيمكن أن يحدث بواسطة وسيلة ميكانيكية أو عن طريق جريان الهواء الطبيعي ؛ لأن انسياب الهواء يمكن أن يكون انسياباً متقاطعاً أو انسياباً متعاكساً مع الماء . فالجريان المتقاطع هو جريان الهواء أفقياً في داخل أجزاء حشوة البرج وعمودياً على تدفق الماء ، أما الجريان المتعاكس فهو جريان الهواء عمودياً على كل من أجزاء حشوة البرج ومعاكس لجريان الماء الساقط من أعلى البرج [4] ، وكما موضح في الشكل ( 1 - 2 ) والشكل ( 1 - 3 ) .

إن الأبراج المبتلة تتطلب تجهيزاً إضافياً في كمية الماء تصل إلى 3 % من كمية التدفق الكلي للماء ، ( 1 % ) ناتجة من عملية تبخر الماء و ( 2 % ) ناتجة من عملية النزف ( Blow Down ) وهو عبارة عن فقد نسبة معينة من الماء المار بالبرج إما بصفة متقطعة وإما بصفة مستمرة ؛ لمنع زيادة نسبة تركيز المواد المعدنية الصلبة المذابة في ماء المكثف وللشوائب الأخرى العالقة بالماء [3] .

### 2.1.3.1 الأبراج الجافة ( Dry Towers ) :

إن المقصود بالبرج الجاف هو البرج الذي لا يحدث فيه اتصال مباشر بين الماء والهواء كما موضح في الشكل ( 1 - 4 ) . فهذا النوع من الأبراج يتكون بصورة عامة من دورتين مفصولتين للمائع وهما :-  
(1) دورة خارجية ويكون فيها الماء معرضاً إلى الجو. إذ يتساقط الماء في هذه الدورة كالشلال فوق حزمة من الأنابيب .

(2) دورة داخلية وتتكون من حزمة من الأنابيب يسير في داخلها المائع أو الماء الساخن المراد تبريده. عند التشغيل تنتقل الحرارة من الماء الساخن أو أي مائع آخر موجود في داخل حزمة الأنابيب من خلال سطح حزمة الأنابيب تلك عن طريق التوصيل ( Conduction ) إلى دورة المائع الخارجية وبدا يبرد بواسطة عملية التبخير [4] .

### 3.1.3.1 الأبراج الهجينة ( الرطبة - الجافة ) :

الأبراج الرطبة الجافة وجاءت تسميتها لأنها مكونة من مقطعين مركبين من الأبراج ( الرطبة و الجافة ) وكما موضح في الشكل ( 1 - 5 ) ، فالجزء الجاف من البرج مكون من مبادل حراري ويكون موقعه في اغلب الأحيان في أعلى البرج ؛ لأن انتقال الحرارة يحدث بواسطة الاتصال غير مباشر بين الماء ومجرى الهواء . والجزء الثاني من البرج هو الجزء الرطب ويتكون من حشوة رطبة نتيجة تساقط الماء عليها وهي مع اتصال مباشر بين مجرى الهواء والماء . إن الهدف الأساس من هذا النوع من الأبراج هو الاستفادة من الجزء الجاف من البرج الذي يقوم بتقليل كمية الماء المطلوبة ( Make-Up Water ) بسبب انعدام تبخر الماء في هذا المقطع بالذات .

**2.3.1 تصنيف أبراج التبريد حسب طريقة سحب الهواء :-****1.2.3.1 أبراج التبريد ذات السحب الطبيعي ( Natural Draft Cooling Towers )**

ويبدو من تسميتها أن هذه الأبراج لا تستعمل أجهزة ميكانيكية للسحب ( مراوح ) .  
وهناك عدة أنواع منها :

**1.1.2.3.1 أبراج القذف ( Ejector Towers ) :-**

في هذا النوع من الأبراج تستعمل منفتحات (Nozzles) مائية أو قاذفات ( Ejectors ) فقط . التي تقوم بقذف الماء الساخن إلى داخل الحجرة على شكل رذاذ ، أما الهواء فإنه يدخل من أحد الجوانب المجاورة للمفتحات المائية ، كما موضح في الشكل ( 1 - 6 ) . فعند قذف الماء الساخن إلى داخل البرج سوف يؤدي إلى تداخل الماء الساخن مع الهواء الداخل إلى البرج ومن ثم حدوث عملية انتقال الحرارة بواسطة التبخير . إذ يحدث هذا التبخير دون الحاجة إلى حشوات أو إلى سطوح مبتلة كما تحتاجه أبراج التبريد الأخرى ، وبالتالي يسقط الماء البارد في حوض تجميع الماء الموجود أسفل البرج وبعدها يُضخ ليستعمل في تبريد المكثفات .

ولا يستعمل هذا النوع من الأبراج عندما تكون درجة حرارة الماء عالية جداً ؛ لقلة كفاءته ولعدم وجود الحشوات التي تؤدي بدورها إلى زيادة عملية انتقال الحرارة بين الماء والهواء .

**2.1.2.3.1 أبراج الرش ( Spray Towers ) :-**

نادراً ما يستعمل هذا الجهاز في يومنا هذا ولاسيما في المنشآت الصناعية الجديدة ولكن لا يزال قابلاً للتطبيق . يتميز هذا الجهاز عن باقي أنواع أبراج التبريد الأخرى كونه لا يحتوي على حشوات ( سطوح مبتلة ) إضف إلى ذلك عدم وجود أي قوة سحب أو دفع ميكانيكي للهواء ، وبمعنى آخر انه يعمل بواسطة الحمل الطبيعي عن طريق سحب الهواء إلى داخل البرج بواسطة عملية الامتصاص ( Aspirated ) ، إذ أن الهواء الخارجي يُحَث للدخول إلى البرج عن طريق المنفتحات الموجودة في داخل البرج ؛ بسبب الفرق في الضغط والكثافة . ويعتمد الأداء الحراري قبل كل شيء على تأثير الرش أو تأثير الهواء المدفوع كما موضح في الشكل ( 1 - 7 ) . إن طريقة انتقال الحرارة هي في الأساس موازية للجريان مع الهواء الداخل من الأعلى . وتعتمد كفاءة هذا النوع من الأبراج بالدرجة الأساس على ارتفاع البرج ، ونوعية الرش ، وسرعة الهواء المحيط بالبرج وإلى اتجاه جريان الهواء [4] .

### 3.1.2.3.1 أبراج شكل المدخنة ( Chimney Towers or Hyperbolic ) :-

يستخدم هذا النوع من الأبراج في المنشآت ذات القدرات العالية ؛ لأن طريقة انتقال الحرارة تكون إما بجريان متعاكس ، أو جريان متقاطع أو جريان مواز . وفيها يدخل الهواء إلى البرج بواسطة الفرق في الكثافة الموجودة بين الهواء المسخن والمحمل بالرطوبة القليلة الكثافة الموجود في المدخنة وهواء المحيط الخارجي . كما موضح في الشكل ( 1 - 8 ) . إن الحشوات في هذا النوع من الأبراج تُبلل إما بطريقة الرش أو عن طريق ملامسة الماء لسطح الحشوة كلياً<sup>[5]</sup> .

### 2.2.3.1 أبراج التبريد ذات السحب الميكانيكي ( Mechanical Draft Towers ) :

إن المراوح في أبراج التبريد ذات السحب الميكانيكي ( الأبراج التقليدية ) يمكن أن تكون عند جهة دخول الهواء وتدعى ( Forced Draft ) ، أو عند جهة خروج الهواء تدعى ( Induced - Draft ) كما موضح في الشكل ( 1 - 9 ) . إن اختيار المراوح سواء كانت من النوع المحوري أم الطرد المركزي يعتمد بالدرجة الأساس على سرعة الهواء المطلوبة أي بمعنى آخر على ( معدل تدفق الهواء ) .

فعندما يكون جريان الماء نحو الأسفل وانسياب الهواء نحو الأعلى يُدعى هذا النوع من الأبراج بـ ( أبراج متعاكسة الجريان ) ، في حين يدعى إذا كان انسياب الهواء بشكل أفقي بـ ( أبراج متقاطعة الجريان ) . فهنا يمكن للهواء أن يدخل باتجاه واحد أو باتجاهين . ويمكن السيطرة على درجة حرارة الماء وبدقة معقولة من خلال ضبط كمية الهواء المار خلال البرج بواسطة السيطرة على سرعة المروحة المستخدمة<sup>[2]</sup> .

بعد هذا الاستعراض السريع لأهم أنواع أبراج التبريد المستخدمة في تبريد الماء ، يمكن تخمين كفاءة أنواع أبراج التبريد من حيث كمية الحرارة المطروحة من الماء ، وهي الأبراج المبردة بالتبريد الميكانيكي ، وذلك بسبب سرعة الهواء وكمية تدفقه خلال البرج .

### 4.1 العمل الحالي :-

قبل الدخول إلى مضمون الدراسة الحالية ، لا بد من إعطاء فكرة عامة عن بعض مواصفات أبراج التبريد الموجودة في معمل سكر الموصل ، إذ أن أبراج التبريد في معمل سكر الموصل هي من نوع " أبراج التبريد ذات السحب الميكانيكي " ذات الجريان المتعاكس ( Counter Current Flow ) ، ويبلغ عدد الأبراج الموجودة في معمل السكر أربعة أبراج ؛ واحدة منها مخصصة لتبريد الماء القادم من المكائن التوربينية ، أما الثلاثة الباقية فهي مجهزة لتبريد الماء القادم من المكثفات وأجهزة الطبخ ، يبلغ ارتفاع كل برج من هذه الأبراج الأربعة ( 6 ) م ، أما مساحة مقطعها العرضي فتبلغ ( 14 \* 14 ) م<sup>2</sup> ، أما الحشوات المستخدمة فيها فهي مصنوعة من ألواح من مادة الاسبست ( Asbestos ) المتموجة الشكل بطول (1750) ملم

، التي يبلغ سمك اللوح الواحد (5) ملم وتبلغ المسافة بين لوح وآخر (550) ملم ، وهذه الألواح مرتبة بشكل مواز وبصورة عمودية .

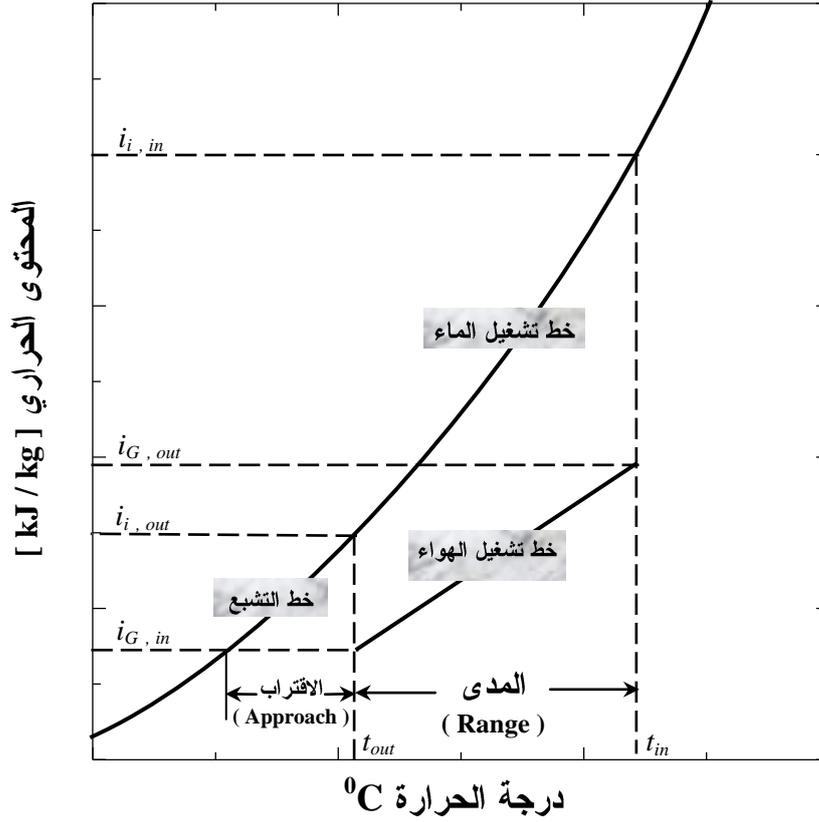
أما المراوح المستخدمة في هذه الأبراج فهي من نوع المراوح المحورية ( Axial Fan ) وموقعها في أعلى البرج ؛ لغرض سحب الهواء المحيط بالبرج ، ويبلغ عدد الريش في كل مروحة أربع ريش طول كل واحدة منها ( 2 ) م وتدار هذه المراوح بواسطة محرك كهربائي وبمساعدة صندوق التروس ( Gear Box ) حيث تبلغ قدرة المحرك الكهربائي ( 52.5 kW ) ، أما السعة التصميمية لكمية تدفق الهواء داخل البرج ( 72000 ) م<sup>3</sup>/ساعة ، أما السعة التصميمية لمضخات الماء التابعة لأبراج التبريد الثلاثة الخاصة لتبريد الماء الساخن القادم من المكثفات وأجهزة الطبخ الموجودة في داخل المعمل ( 2000 ) م<sup>3</sup>/ساعة ، بينما الفرق في درجة حرارة الماء الداخل والخارج ( 7.55 ) درجة مئوية .

وبعد معرفتنا نوع أبراج معمل سكر الموصل بعد تصنيفنا أبراج التبريد سابقاً ، ستصعب دراستنا الحالية على هذا النوع من الأبراج ، ولتحقيق هذه الدراسة تم تصميم وتصنيع برج تبريد مختبري مصغر مهياً ليعمل بنفس الظروف التشغيلية التي تعمل بها أبراج معمل السكر، حيث بلغ ارتفاع البرج المختبري (2400) ملم وبمساحة مقطع (600 × 450) ملم<sup>2</sup> ، يعمل بقوة دفع ميكانيكي ، وتم تزويد البرج بنوعين من الحشوات ( بلاستيكية وأسبستية ) للحصول على مقارنة أفضل في أيهما يعطي كفاءة أكبر لغرض استخدامه في رفع كفاءة البرج المستخدم . وكذلك تم استخدام منظومة توزيع ماء نوع الرش (Spray) للحصول على قطرات ماء لزيادة تداخل وتلامس الماء مع الهواء الداخل .

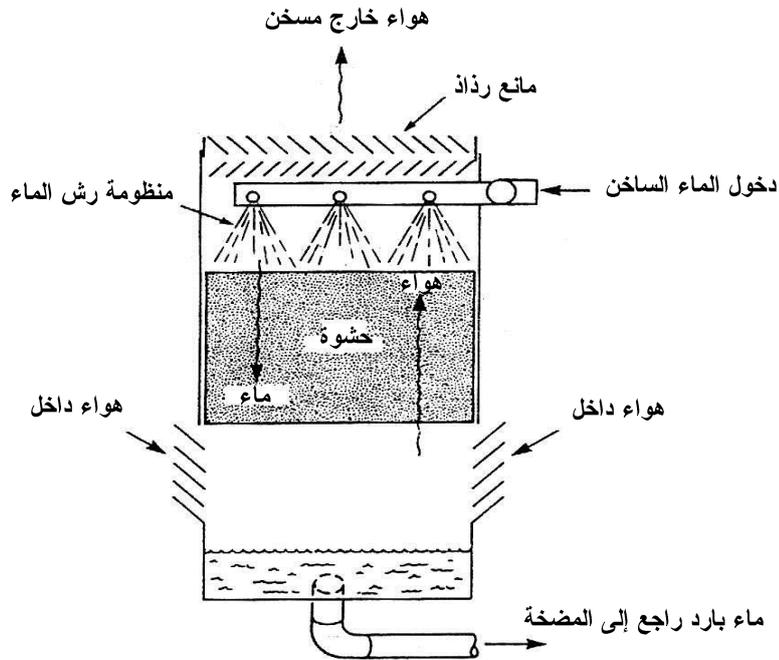
### 5.1 الهدف من البحث الحالي :-

بناءً على ما سبق فقد خطط في هذا البحث لإجراء دراسة نظرية وعملية لتحسين كفاءة أبراج التبريد ؛ وذلك ضمن أهداف محددة وكمايلي:-

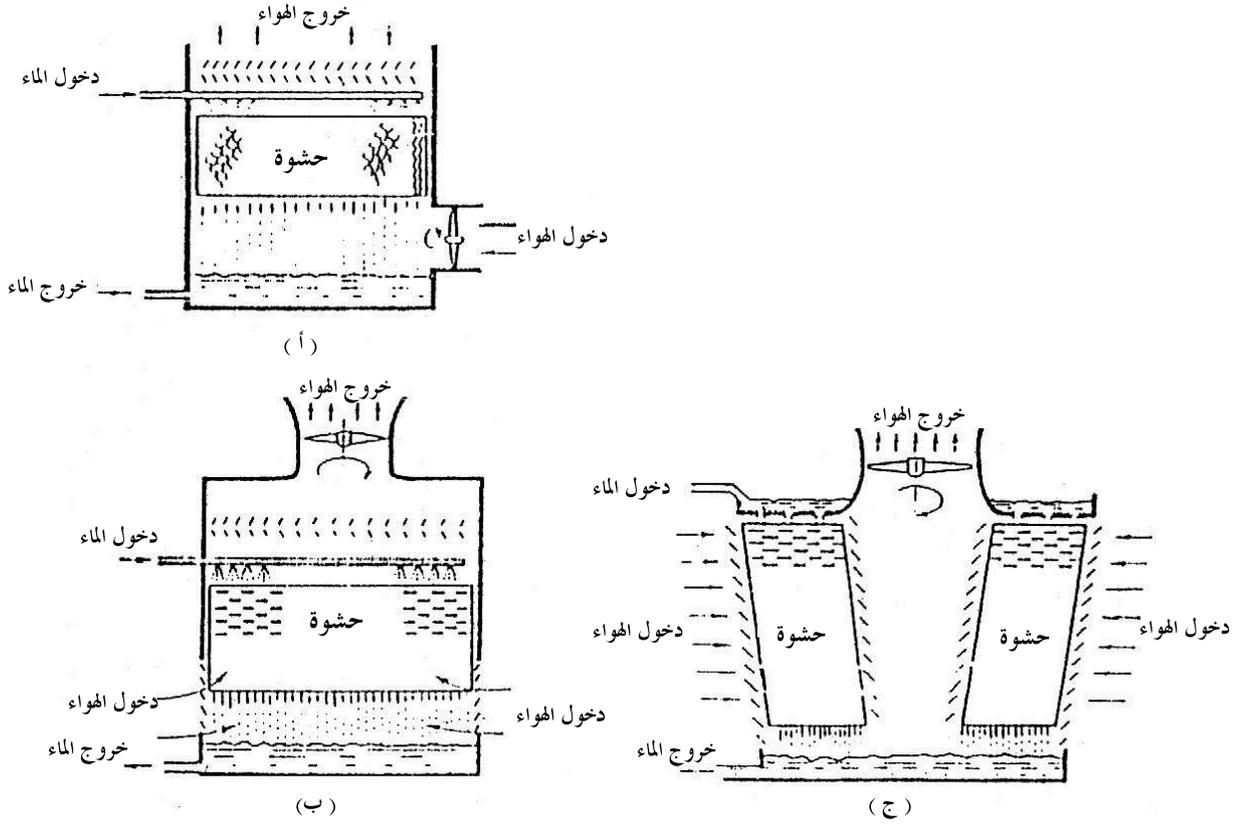
- 1 - دراسة واقع أبراج التبريد الفعلية لمعمل سكر الموصل ومقارنتها مع السعة التصميمية.
- 2 - دراسة تأثير نوعية وشكل الحشوات المستخدمة على كفاءة أبراج التبريد.
- 3 - دراسة تأثير درجة حرارة الهواء والماء الداخل إلى البرج.
- 4 - دراسة تأثير معدل تدفق الهواء على أداء برج التبريد.
- 5 - دراسة تأثير معدل تدفق الماء على أداء برج التبريد.
- 6 - دراسة تأثير معدل تبخر الماء على أداء برج التبريد .
- 7 - دراسة تأثير القيمة المطلقة ( اللانهائية ) لمعامل انتقال الحرارة من جهة السائل (الماء) .



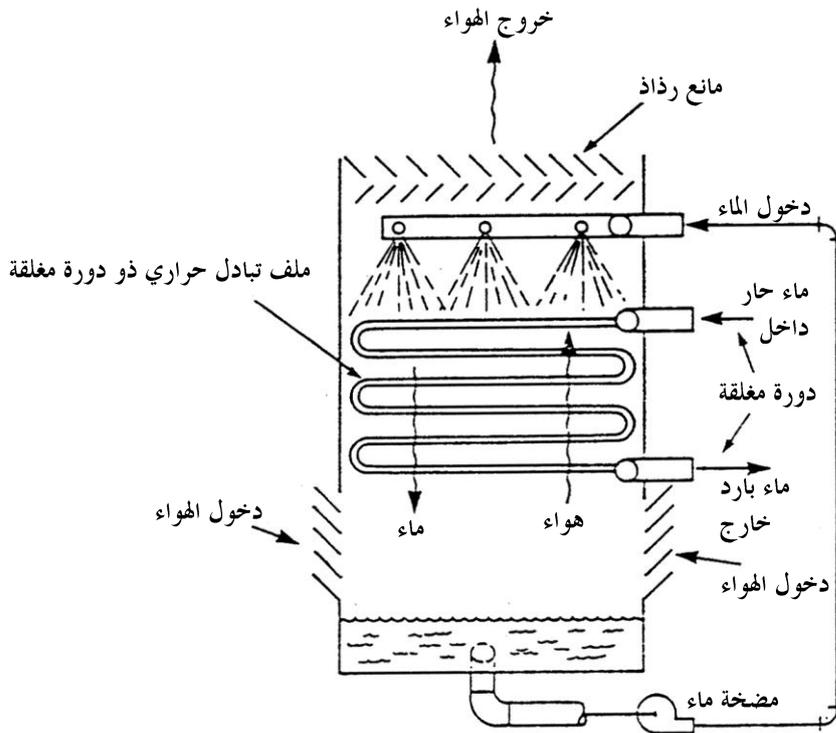
الشكل ( 1 - 1 ) علاقة درجة الحرارة مع المحتوى الحراري لكل من الماء والهواء في برج التبريد ذو الجريان المتعكس [2]



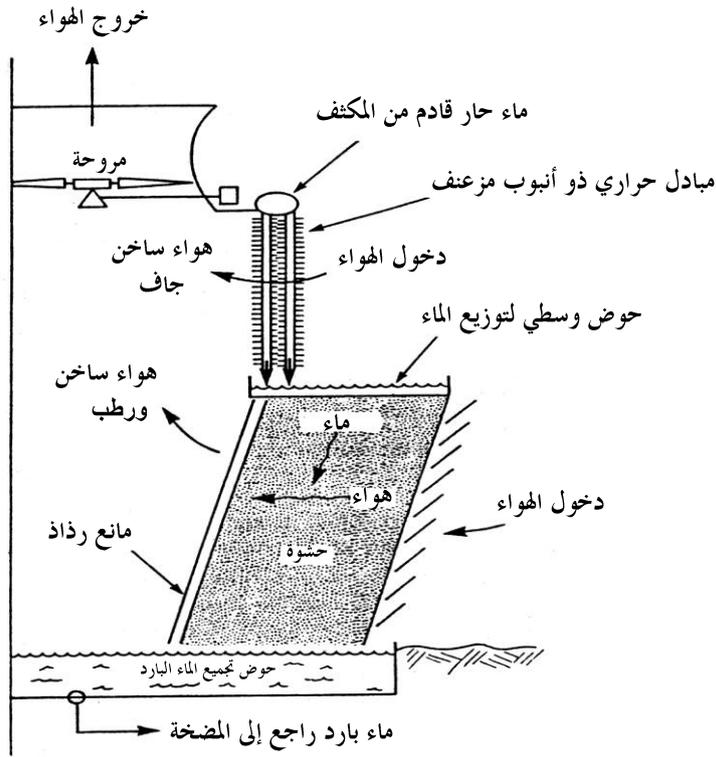
الشكل ( 1 - 2 ) برج تبريد تبخيري ذي الاتصال المباشر .



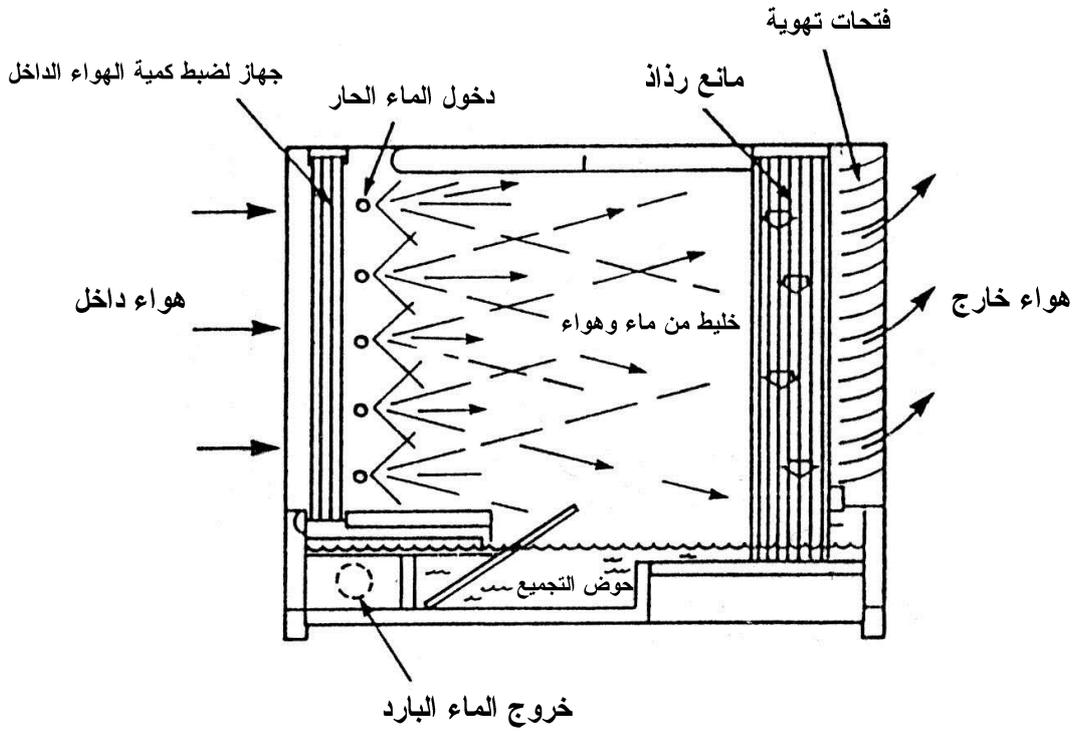
الشكل (1-3) بعض أنواع أبراج التبريد التي تعمل بالقوة الميكانيكية  
 (أ) جريان متعكس بالدفع القسري. (ب) جريان مختلط بالسحب المحتث.  
 (ج) جريان متقطع بالسحب المحتث.



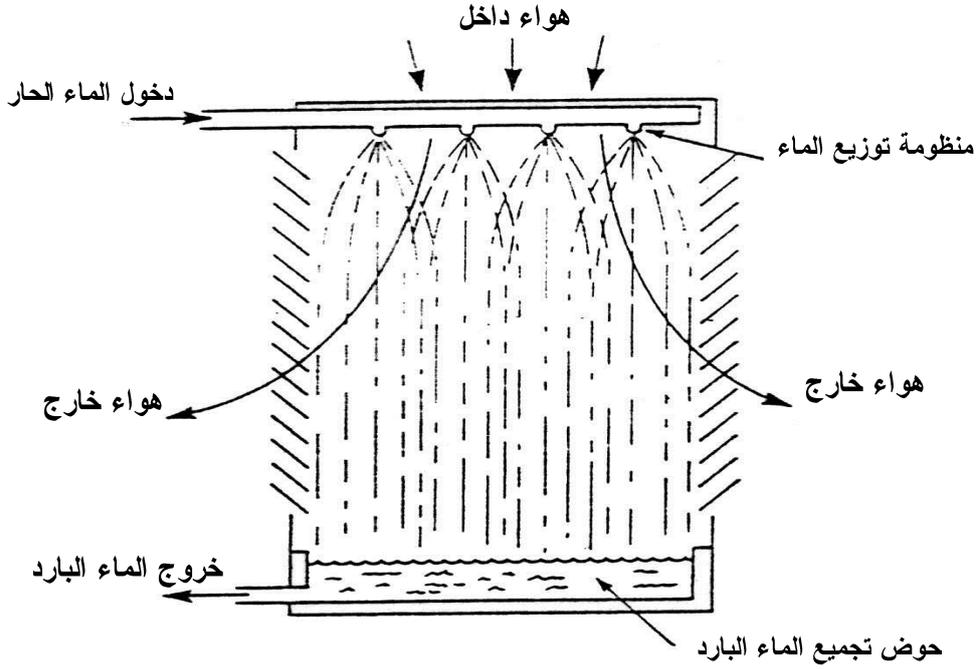
الشكل (1-4) برج تبريد تبخيري ذو اتصال غير مباشر يوضح اتجاه الجريان بين الماء والهواء



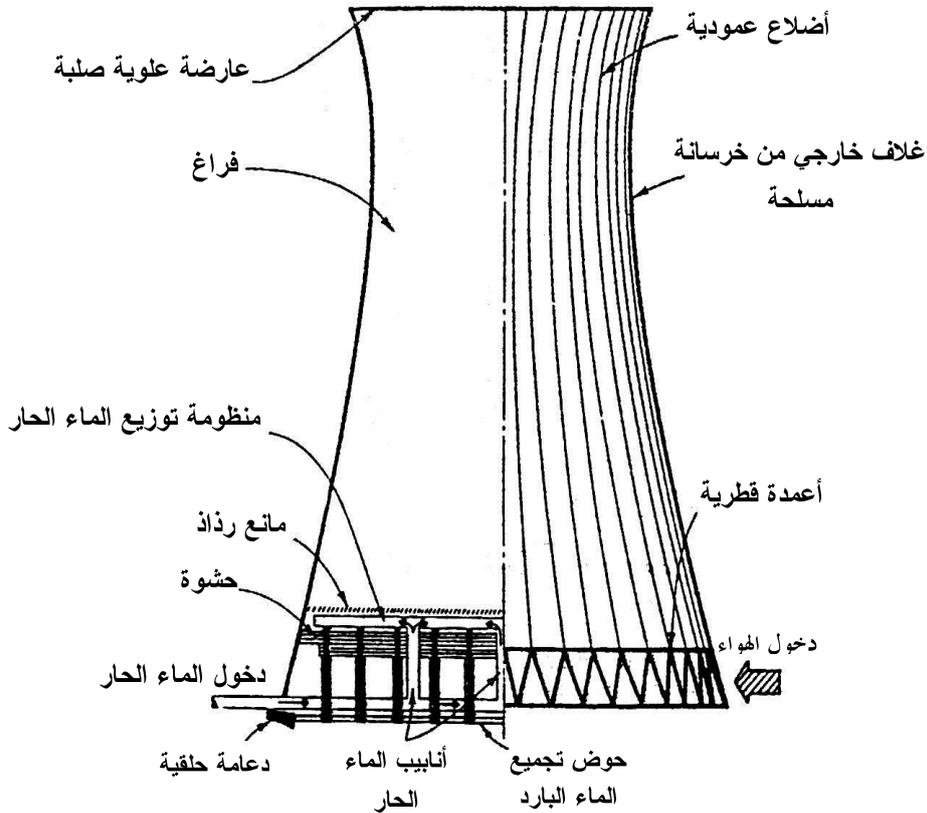
الشكل ( 1 - 5 ) أجزاء برج التبريد الهجيني ( رطب - جاف ) .



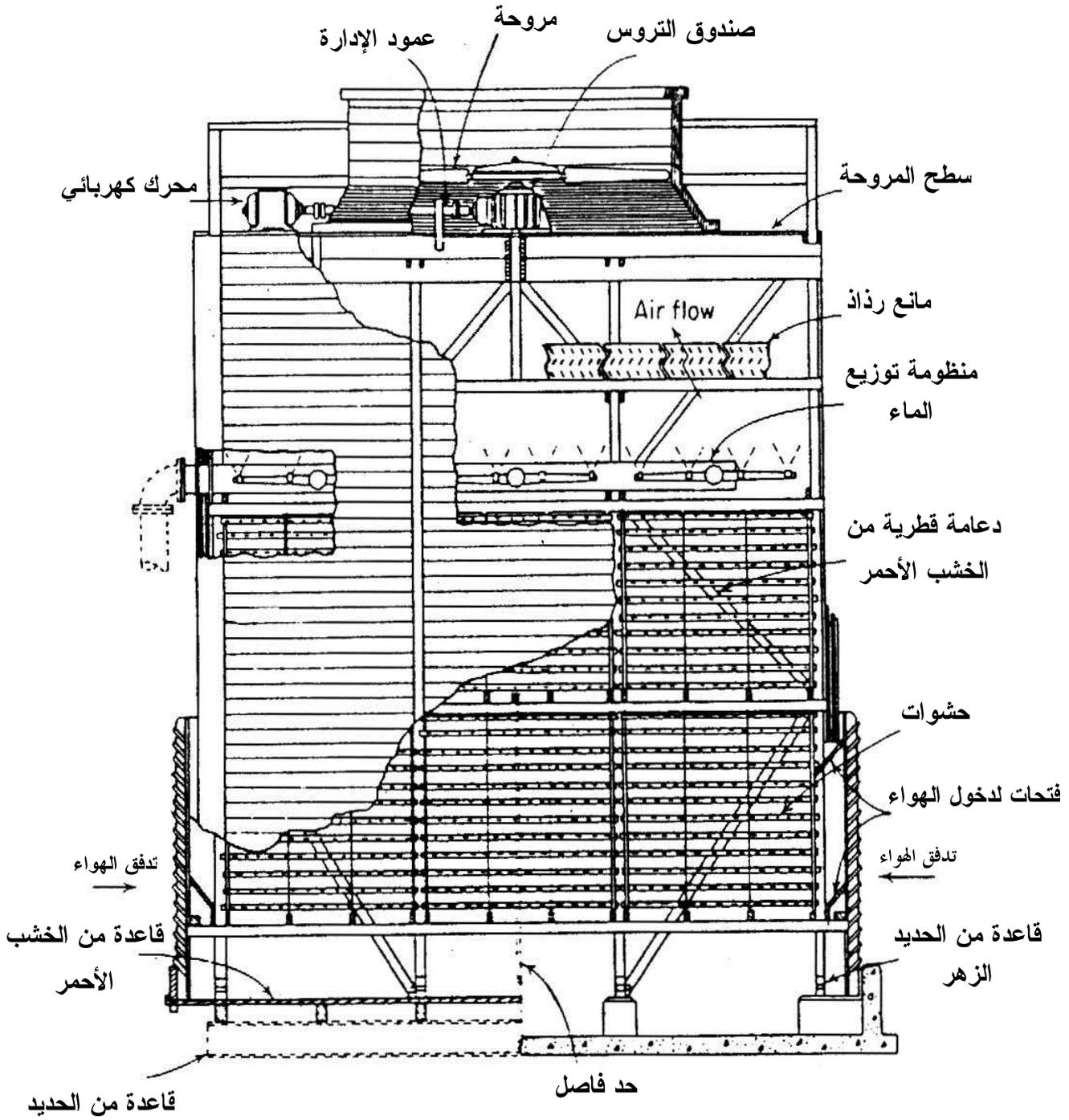
الشكل ( 1 - 6 ) أجزاء برج التبريد نوع القذف الذي يعمل بقوة الحث



الشكل ( 1 - 7 ) أجزاء برج التبريد نوع الرش الذي يعمل بالحمل الطبيعي



الشكل ( 1 - 8 ) أجزاء برج التبريد نوع المدخنة ذو الحمل الطبيعي والجريان المتعكس



الشكل ( 1 - 9 ) أجزاء برج التبريد ذو السحب الميكانيكي نوع الجريان المتعكس

## الفصل الثاني استعراض البحوث السابقة

### 1.2 تمهيد :-

إن انتشار استعمال الماء في التبريد الميكانيكي الواسع وتعدد استخداماته في الصناعة والحياة العامة دفعت الباحثين للبحث عن وسائل جديدة لدراسة وتطوير منظومات تبريد الماء من خلال تصميم أبراج التبريد وتحليل المعادلات التفاضلية الخاصة بها . فقد بدأ الاعتماد بشكل كبير في السنوات الأخيرة على هذه المعادلات ولاسيما تلك التي تُعنى بتصميم أبراج التبريد نوع الجريان المتعاكس كونها تعطي تبادل حراري امثل من سابقتها ؛ لذا ومن خلال مراجعة وافية للبحوث المنشورة التي أمكن الحصول عليها في مجال دراسة أبراج التبريد والتي تتعلق بموضوع البحث الحالي يمكن استعراضها كما يلي :

### 2.2 استعراض البحوث السابقة :-

يتم تبريد الماء في برج التبريد بواسطة عملية مركبة من عمليتي انتقال الكتلة والحرارة لأن الطريقة الآنية لانتقال الكتلة والحرارة تعد من الظواهر المعقدة جداً ، فقد وجد أن هناك العديد من النظريات التي طورت منذ أوائل القرن التاسع عشر والتي تصف ظاهرة انتقال الكتلة والحرارة اللتين تحدثان في أي جهاز تبريد ماء معرض للجو . فمن أبرز هذه النظريات النظرية المقترحة من قبل الباحث ( Merkel )<sup>[6]</sup> ، الذي قام بوضع عدة فرضيات لغرض تسهيل طريقة الحل . ولإيجاد معامل الأداء لبرج التبريد ؛ قام الباحث بتطوير العديد من النظريات والمعادلات التفاضلية التي تشكل في يومنا هذا العمود الفقري لتحليل أداء برج التبريد . إن تحليل ( Merkel ) ومعادلاته تتضمن نقل الحرارة الكامنة والمحسوسة إلى عملية نقل كتلة وحرارة إجمالية مبنية على الفرق في المحتوى الحراري الكامن ( Enthalpy Potential ) كقوة دافعة أساسية . هذه العملية يمكن توضيحها في الشكل التخطيطي ( 1 - 2 ) ، إذ أن كل جزيئه ماء في برج التبريد فرضت بأنها محاطة بسطح بيني ( Interface ) والتي من خلالها سوف تنتقل الحرارة من الماء إلى الهواء بواسطة :

أ ) انتقال الحرارة المحسوسة .

ب) الحرارة الكامنة المكافئة لمحصلة انتقال الكتلة عن طريق تبخر قسم من الماء الموجود في برج التبريد .

وقد استخدم الباحث ( Merkel ) في البداية علاقة التقريب (  $\frac{h_G}{k_G \cdot Cs} = 1$  ) والتي هي

في الأصل مقترحة من قبل الباحث ( Lewis )<sup>[7]</sup>، ومن ثم ربط عمليتي انتقال الكتلة والحرارة بالمعادلة التفاضلية التالية :

$$L \cdot C_L \cdot dt_L = k_G \cdot a \cdot (i_i - i_G) dz = G \cdot di_G \quad \text{-----} \quad (2-1)$$

وبتكامل المعادلة (2-1) حصل على العلاقة التالية :

$$\frac{k_G \cdot a \cdot z}{L} = C_L \int_{t_{L1}}^{t_{L2}} \frac{dt_L}{i_i - i_G} \quad \text{-----} \quad (2-2)$$

أو

$$\frac{k_G \cdot a \cdot z}{G} = \int_{i_{G1}}^{i_{G2}} \frac{di_G}{i_i - i_G} \quad \text{-----} \quad (2-3)$$

المعادلات (2-2) و (2-3) والتي تمثل معامل أداء برج التبريد تتوافق مع مفهوم وحدة النقل ( Transfer Units ) التي تمثل سعة أو مدى الجهاز الذي يسمح بعملية انتقال الحرارة إلى أن تحصل عملية الموازنة . إن تكامل القيمة المحسوبة التي تعطي مجموعة شروط تدعى عدد الوحدات المنقلة ( The Number of Transfer Units ) التي يرمز إليها عادةً ( NTU ) والتي تعتبر وسيلة لقياس كفاءة برج التبريد .  
إن المعادلات أعلاه كانت مبنية على الفرضيات التالية :

1 ( إهمال أي تأثير لانتقال الكتلة من جانب طبقة السائل ( الماء ) ، أي بين الماء والسطح البيني .

2) إهمال التفاضل الحراري بين الماء والسطح البيني .

3) إهمال كمية الماء المتبخرة .

4) علاقة لويس ( Lewis ) ، (  $\frac{h_G}{k_G} = Cs$  ) تكون سارية المفعول .

على أساس هذه الفرضيات فان مخطط التبريد ذو الانسياب المتعكس والموضح في

الشكل (2-2)، وخط التشغيل ( Operating Line ) " AB " له ميل يساوي (  $\frac{L \cdot C_L}{G}$  ) . أما

المسافة العمودية بين منحنى الإشباع PQ وخط التشغيل AB يعطي القوة الدافعة الكلية للانتالبي "  $i_i - i_G$  " .

أما الباحث ( Lichtenstein )<sup>[8]</sup> ، فقد تناول المعادلات الأساسية التي اقترحها الباحث

( Merkel ) بأسلوب مغاير وبصورة طفيفة إذ قدم طريقة رسم كل من الحسابات الأساسية

وخصائص البرج بأسلوب مصمم لتسهيل اختيار برج التبريد . حيث تم رسم (  $k_G a z / L$  )

العنوان:	دراسة نظرية و عملية لأداء برج التبريد ذو الجريان المتعكس
المؤلف الرئيسي:	النعمة، احمد فؤاد محمود
مؤلفين آخرين:	الموسوي، محمد حسن عبود(مشرف)
التاريخ الميلادي:	2003
موقع:	تكريت
الصفحات:	1 - 123
رقم MD:	552244
نوع المحتوى:	رسائل جامعية
اللغة:	Arabic
الدرجة العلمية:	رسالة ماجستير
الجامعة:	جامعة تكريت
الكلية:	كلية الهندسة
الدولة:	العراق
قواعد المعلومات:	Dissertations
مواضيع:	التبريد، الهندسة الميكانيكية
رابط:	<a href="https://search.mandumah.com/Record/552244">https://search.mandumah.com/Record/552244</a>

# دراسة نظرية وعملية لأداء برج التبريد ذو الجريان المتعاكس

رسالة مقدمة إلى

كلية الهندسة - جامعة تكريت

وهي جزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير  
في

علوم الهندسة الميكانيكية

من قبل

## أحمد فؤاد محمود النعمة

بكالوريوس هندسة ميكانيكية - جامعة الموصل ٢٠٠٠

بإشراف

د . محمد حسن عبود الموسوي

كانون الثاني ٢٠٠٣

ذي القعدة ١٤٢٣ هـ

م