

## دراسة عملية للأداء الحراري لبرج تبريد تبخيري باستخدام حشوتين مختلفتين

أحمد فؤاد محمود النعمة

مدرس مساعد

جامعة الموصل – كلية الهندسة – قسم الهندسة الميكانيكية

### الخلاصة

يهدف البحث الحالي إلى دراسة عملية للأداء الحراري لأبراج التبريد الرطبة ذات الجريان المتعكس والتي تعمل بالحمل القسري وذلك باستخدام حشوتين مختلفتين الأولى مصنوعة من الحديد المغلون تم تصنيعها محلياً ذات مساحة مقطع عرضي (0.3م × 0.3م) وبارتفاع 0.5م مؤلفة من ستة مقاطع متعرجة (Zigzag) يتخللها مقاطع عمودية موازية لمساحة مقطع الاختبار ، والثانية من البلاستيك المتعرج ولها نفس المساحة والمقطع . في العمل الحالي تم القيام بدراسة تأثير كل من معدل تدفق الماء إلى الهواء على مقطع برج التبريد بالإضافة إلى خصائص برج التبريد ( Tower Characteristic ) ، كمية الحرارة المطرودة ومدى التبريد (R) وذلك عن طريق تغيير درجة حرارة الماء الداخل إلى البرج . من خلال القراءات العملية التي تم الحصول عليها وجد أن درجة حرارة الماء الحار الداخل إلى برج التبريد تؤثر بشكل كبير على أداء البرج من حيث كمية الحرارة المطرودة ومدى التبريد ، كذلك بينت النتائج العملية أن معامل أداء برج التبريد يزداد باستخدام الحشوة المصنوعة من الحديد المغلون وبنسبة 15% مقارنة باستخدام الحشوة البلاستيكية عند نفس الظروف التشغيلية .

## Experimental study of thermal performance for evaporative cooling tower by using two different packing

Ahmed Fouad Mahmood AL-Neama

Ass. Lecturer

University of Mosul – College of engineering – Mech. Eng. Dept

### Abstract

This paper presents an experimental investigation of the thermal performances of a forced draft counter flow wet cooling tower by using two filled , the first one is made locally from the galvanized packing have a cross-sectional area of (0.3m \* 0.3m) with a height of 0.5m and consists of six galvanized sheets having a zigzag form disposed by metallic vertical grids in parallel with a sectional test. The second is made from corrugated plastic with the same cross-sectional area . In present work the effect of each of the air and water flow rates on the cooling water section as well as the tower characteristic, heat rejected and the Cooling range for different inlet water temperatures were studied . From the experimental readings obtained we found that the temperature of inlet hot water to the cooling tower effected in the tower performance concerning amount of heat rejected and the Cooling range . In addition , the experimental result showed that the tower Characteristic increases by using packing made from galvanized about 15% comparing with plastic packing at the same operation conditions .

**Keywords:** Cooling Tower , Counter Flow , Tower Characteristic

## قائمة الرموز

الرمز	المعنى	الوحدات	الرمز	المعنى	الوحدات
a	مساحة الحشوة	m <sup>2</sup>	R	مدى التبريد	°C
C <sub>pw</sub>	الحرارة النوعية للماء عند ثبوت الضغط	kJ/kg.°C	T <sub>1</sub>	درجة حرارة الماء الداخل إلى البرج	°C
G	معدل تدفق الهواء	kg/hr	T <sub>2</sub>	درجة حرارة الماء الخارج من البرج	°C
H <sub>w</sub>	انثالبي الهواء المشبع	kJ/kg	t <sub>1</sub>	درجة حرارة الهواء الداخل إلى البرج	°C
L	معدل تدفق الماء	kg/hr	t <sub>2</sub>	درجة حرارة الهواء الخارج من البرج	°C
m <sub>ev</sub>	معدل تبخر الماء	kg/hr	z	حجم برج التبريد	m <sup>3</sup>
Q <sub>w</sub>	كمية الحرارة المطرودة	kW	k.a.z/L	خواص برج التبريد	-

## المقدمة :

معظم أجهزة التبريد في المنشآت الصناعية الضخمة تطرح كميات كبيرة من الحرارة والتي لا بد من إزالتها أو تبديدها إلى الجو . عادةً يستخدم الماء بشكل واسع كوسيط لانتقال الحرارة وذلك لإزالة الحرارة من وحدات التكثيف أو المبادلات الحرارية للمنشآت الصناعية . ولهذا الغرض تم استخدام أبراج التبريد والتي تكون عادةً مجهزة بحشوات ذات أشكال وأنواع مختلفة لتبديد الحرارة من هذه المنشآت الصناعية كمحطات توليد الطاقة الكهربائية ومنظومات التبريد والتكثيف إلى الجو .

المبدأ الأساس لعمل هذه الأبراج معتمداً على عمليتي انتقال الكتلة والحرارة وذلك باستخدام الاتصال المباشر بين الماء الساخن والهواء الجوي خلال مرورهما لسطح الحشوة المستخدمة . حيث يعتبر نوع الحشوة المستخدمة في أجهزة برج التبريد خطوة مهمة لزيادة عملية انتقال الكتلة والحرارة بين الماء والهواء . لهذا الغرض قام عدة باحثون بأجراء دراسة عملية ونظرية لتحليل عملية انتقال الكتلة والحرارة في هذه الأجهزة .

الباحث Hasan [1] ، استخدم برج تبريد نوع الجريان المتعاكس ذو مساحة مقطع مربعة (0.4\*0.4) م<sup>2</sup> في عمله . وبارتفاع بلغ (1.5) م مصنوع من ألواح الحديد المغلون ، ومن ثم عزله للتقليل من عملية انتقال الحرارة من وإلى الجو المحيط بالبرج . إذ استخدم ألواحاً مستقيمة من الأسبست بارتفاع منفرد بلغ (0.75) م وبعرض (0.3) م وبسمك (6) ملم ، أما المسافة ( الفراغ ) بين كل لوح وآخر فقد بلغت (0.15) م ، بالإضافة إلى ذلك فقد قام الباحث بعمل برنامج حاسوبي بلغة البيسك والذي بدوره يقوم بحساب معامل أداء برج التبريد ، ولكن في هذا العمل لم يتم الأخذ بنظر الاعتبار كل من كمية الماء المتبخرة ولا معامل انتقال الحرارة الحجمي من جانب الماء . تم الحصول على عدة منحنيات لمعامل أداء برج التبريد ومعامل الكتلة الحجمي مقابل النسبة بين معدل تدفق الماء إلى الهواء وذلك عند ستة معدلات تدفق ماء وعند درجة حرارة ثابتة للماء الداخل (36) درجة مئوية ، وفي النهاية استنتج معادلة ارتباطية تمكن من خلالها تخمين قيمة معامل أداء البرج وكما يلي:

$$K.a.z / L = 0.6953 * (L/G)^{-0.68} \pm 4\%$$

أما الباحث El-Dessouky [2] ، فقد قام بدراسة الأداء الحراري والهيدروليكي لبرج تبريد ذو طبقة مبيعة حيث أستخدم كرات مطاطية أسفنجية بقطر (0.127م) وبكثافة تبلغ (375كغم/م<sup>3</sup>) كحشوة ، وقام بإيجاد علاقة تربط أداء برج التبريد مع كل من درجة حرارة الماء الساخن الداخل ومعدل تدفق الماء إلى الهواء .

$$K.a.z / L = 0.314 * (L/G)^{-0.768}$$

أما الباحث Bedekar وزملائه [3] ، فقد قاموا بإجراء دراسة عملية على أداء حشوة لبرج تبريد ذو جريان متعاكس وذلك باستخدام حشوات على شكل ألواح والنتائج التي تم الحصول عليها كانت على شكل علاقة تربط بين أداء برج التبريد مع كل من درجة حرارة الماء الخارج ومعدل تدفق الماء إلى الهواء (L/G) . حيث استنتجوا بان أداء برج التبريد سوف يقل بزيادة النسبة بين معدل تدفق الماء إلى الهواء .

$$K.a.z / L = 0.438 * (L/G)^{-0.5856} \pm 0.178\%$$

أما الباحثان Goshayshi and Missenden [4] ، فقد قاما بإجراء دراسة عملية على الكتلة المنقلة وميزات الهبوط بالضغط لعدة أنواع من الحشوات والمتضمنة سطح خشن وناعم . حيث كانت مساحة المقطع العرضي لمقطع الاختبار لبرج التبريد المستخدم في الجانب العملي (0.15م × 0.15م) أما الحشوة المستخدمة فكانت بارتفاع (1.6م) . من خلال النتائج العملية التي تم الحصول عليها تمكنوا من إيجاد علاقة تربط بين معامل انتقال الكتلة والهبوط بالضغط .

أما الباحثان Kloppers and Kröger [5] ، فقاموا بدراسة معامل خسائر الحشوات في برج التبريد كذلك اختبروا نوع الرش للماء الحار الداخل إلى برج التبريد على الحشوة المستخدمة حيث أن الأولى كانت على شكل رذاذ (Splash) والثانية كانت على شكل طبقة (Film) تلامس سطح الحشوة على مساحة مقطع اختبار برج التبريد التي تبلغ (1.5م × 1.5م) . حيث اقترحوا معادلة عملية جديدة تربط معامل خسائر الحشوة كدالة مع معدل تدفق كل من الماء والهواء . كذلك وجدوا عدة معادلات رياضية تربط كل من عمليتي انتقال الكتلة والحرارة الحاصلة في برج التبريد .

$$k.a = 0.7281 * L^{0.41} * G^{0.6}$$

$$h.a = 28.064 * L^{0.76} * G^{0.923}$$

حيث أن  $k.a$  تمثل معامل انتقال الكتلة الحجمي أما  $h.a$  فتتمثل معامل انتقال الحرارة الحجمي . أما الباحث AL-Ni'ema [6] ، فقد استخدم منشأ تجريبي لبرج تبريد نوع الجريان المتعاكس ذو مساحة مقطع عرضي  $0.6 * (0.45) \text{ م}^2$  في عمله . وبارتفاع بلغ (2.4)م مصنوع من ألواح الحديد المغلون ، ومن ثم عزله للتقليل من عملية انتقال الحرارة من وإلى الجو المحيط بالبرج . إذ استخدمت في هذه الدراسة ألواح بلاستيكية واسبستية كحشوة ذات أشكال هندسية مختلفة وبطول (0.6)م ، وتم تحليل الأداء نظرياً وعملياً عن طريق دراسة تأثير درجة حرارة الماء الحار الداخل إلى برج التبريد لنوعي الحشوات المستخدمة . وقد اختبرت ثلاث قيم لدرجات حرارة الماء الداخل إلى البرج ( 36 °C, 40, 44 ) ، وخمسة معدلات تدفق كتلي لجريان الماء بالاقتران مع ثلاثة معدلات لجريان الهواء ومن ثم قورن بين أداء نوعي الحشوتين المستخدمتين واللثان تعملان تحت نظام توزيع المياه بالرش . ولدراسة تأثير النهايات (End Effects) تم تغيير طول الحشوة البلاستيكية عند ثلاث قيم (0.15 و 0.3 و 0.6)م وجرى تصحيح معامل أداء البرج من هذه التأثيرات إذ تم الحصول على عدد من المعادلات الارتباطية (Correlation Equations) 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 .

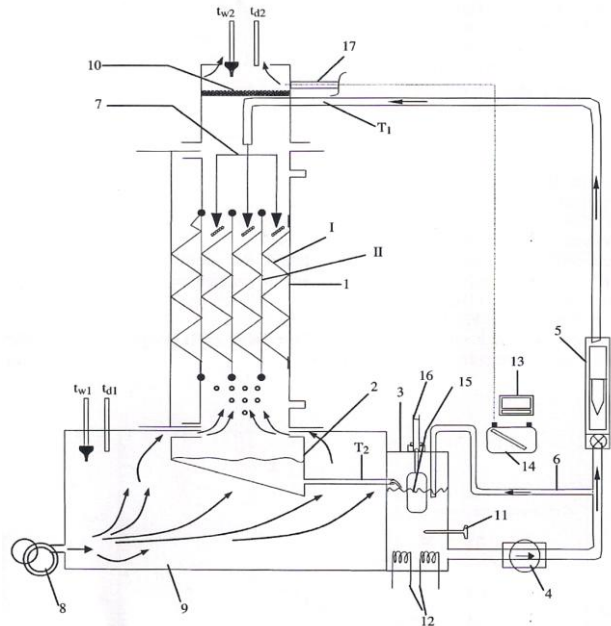
أما الباحث Gharagheizi وزملائه [7] ، قاموا بإجراء دراسة عملية على أداء برج تبريد ميكانيكي باستخدام نوعين من الحشوات . الأولى كانت على شكل حشوة مجمعة عمودية (Vertical Corrugated Packing) والثانية حشوة مجمعة أفقية (Horizontal Corrugated Packing) بارتفاع (0.64)م ومساحة مقطع عرضي (0.25)م<sup>2</sup> . حيث بينت النتائج العملية بان أداء برج التبريد يتأثر بشكل كبير مع نسبة معدل تدفق الماء إلى الهواء (L/G) وشكل وترتيب الحشوات . الغرض الأساسي من هذا البحث هو دراسة الأداء الحراري لبرج تبريد ذو جريان متعاكس باستخدام حشوتين ؛ الأولى مصنوعة من الحديد المغلون تم تصنيعها محلياً مؤلفة من ستة مقاطع متموجة (Zigzag) يتخللها سبعة مقاطع عمودية موازية لمساحة مقطع الاختبار . والحشوة الثانية كانت مصنوعة من البلاستيك تم شرائها من الأسواق المحلية وكانت على شكل ألواح متعرجة ذات قنوات مربعة . حيث أن الهواء يدخل من أسفل برج التبريد ليلاصق سطح الحشوة الذي يكون مشبع بالماء الساخن الساقط من أعلى البرج ليخرج الهواء في النهاية مشبع ببخار الماء من أعلى البرج ثم يذهب إلى الجو . حيث أن النتائج التي تم الحصول عليها عملياً كانت عند درجة حرارة ماء ساخنة (40,50°C) وعند ستة معدلات تدفق ماء (180,220,260,300,340,380) لتر/ساعة وأربع معدلات تدفق هواء (240,280,320,360) م<sup>3</sup>/ساعة .

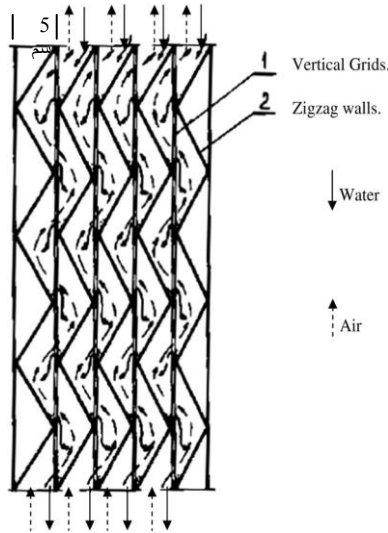
### الجهاز المختبري :

الجهاز المختبري المستخدم في هذه الدراسة موجود في قسم الهندسة الميكانيكية - جامعة الموصل نوع ( The Hilton water cooling tower ) بريطاني المنشأ وكما موضح في الشكل (1) . حيث يتكون الجهاز بصورة أساسية من عمود برج التبريد والذي يعتبر الجزء الأساس المستخدم في الاختبار لهذه الدراسة إذ تبلغ مساحة مقطعه العرضي (0.3 × 0.3)م وبارتفاع (1.7)م مصنوع من البلكسيكلاس (Plexiglas) وفي داخله حشوة مصنوعة من الحديد المغلون بمساحة مقطع عرضي (0.3 × 0.3)م وبارتفاع (0.5)م ومؤلفة من ستة قطع متموجة تتخللها قطع عمودية ، المسافة بين كل قطعتين (5سم) (عرض كل شريحة) وكما موضح في الشكل (2) .

الشكل (1) رسم تخطيطي لبرج التبريد المختبري

- 1- حشوة برج التبريد المستخدمة نوع (VGA)
- 2- خزان التجميع ،
- 2- خزان تسخين الماء ، 4- مضخة دفع الماء ،
- 3- 5- مقياس معدل تدفق الماء ،
- 6- أنبوب التحويل ، 7- أنبوب توزيع الماء ،
- 8- مروحة الطرد المركزي ،
- 9- غرفة توزيع الهواء ، 10- مانع رذاذ ،
- 11- متحسس حراري ،
- 12- مسخنات كهربائية ،
- 13- شاشة رقمية لدرجة الحرارة ،
- 14- مانوميتر مائل ، 15- طواف ،
- 16- خزان ماء التعويض ،
- (I) ألواح متعرجة ، (II) حواجز عمودية .





الشكل (2) يوضح نوع الحشوة المصنوعة من الحديد المغلون والمصنعة محلياً

إن نظام توزيع الماء هو من نوع الرش مصنوع من أنابيب نحاسية بقطر (0.025م) موضوعة في أعلى برج التبريد . بالإضافة إلى وجود خزان لتجميع الماء الساقط من أعلى البرج وأربع مسخنات كهربائية سعة الواحدة منها (2500W) ومروحة طرد مركزي لدفع الهواء بالإضافة إلى ملحقات أخرى موضحة في الشكل (1) . أما الخطوات التي تم إتباعها عند إجراء الاختبارات العملية كالآتي :

- (1) العمل على تشغيل المسخنات الكهربائية ومن ثم تدوير الماء في نفس الوقت .
- (2) بعد أن نلاحظ ارتفاع درجة حرارة الماء بشكل تدريجي نقوم بتشغيل مروحة الطرد المركزي لدفع الهواء .
- (3) بعد (15 دقيقة) ، نقوم بأخذ عدة قراءات منها درجة حرارة الماء الداخل والخارج من والى برج التبريد ودرجة حرارة الهواء الرطبة والجافة ومعدل تدفق الماء والهواء عند كل قراءة .
- (4) قبل تسجيل أي قراءة ، يجب أن تكون المنظومة في حالة مستقرة (Steady State) .

حيث أن المبدأ الأساس لعمل برج التبريد انه عندما يسخن الماء تدريجياً عن طريق مسخنات كهربائية يتم ضخه بواسطة مضخة ليمر من خلال صمام السيطرة وجهاز قياس معدل تدفق الماء لغرض ضبط كمية الماء الداخلة إلى برج التبريد من الأعلى . وبعد أن يتم قياس درجة حرارة الماء الداخلة من أعلى البرج ( $T_1$ ) فإن الماء سوف يتوزع بانتظام على الحشوات والذي بدوره سوف يعارض الهواء المار من أسفل البرج ليبرد الماء عن طريق تبخر قسم قليل منه . إن الماء البارد سوف يسقط من الحشوة إلى حوض تجميع الماء الموجود أسفل برج التبريد ، حيث هنالك يتم قياس درجة الماء الخارج من البرج ( $T_2$ ) .

ونتيجةً لتبخّر قسم من الماء فان مستوى الماء في حوض التجميع سوف يقل لذا يجب تعويض كمية الماء المفقودة عن طريق خزان التعويض . أما الهواء الجوي فإنه يدخل عن طريق مروحة الطرد المركزي وبالإمكان التحكم بكمية الهواء الداخلة إلى البرج بواسطة قرص دائري موجود بجانب المروحة . ويمكن قياس درجة حرارة الهواء الرطب والجاف ( $T_{w1}, T_{d1}$ ) في أسفل برج التبريد عن طريق مزدوجات حرارية نوع K في أسفل البرج قبل أن يلامس سطح الحشوة . وعندما يلامس الهواء الحشوة المشبعة بالماء الحار سوف يؤدي ذلك إلى زيادة المحتوى الرطوبي وبالتالي تبريد الماء لذا يجب قياس درجة حرارة الهواء الرطب والجاف عند الخروج مرة أخرى من برج الاختبار .

يمكن قياس معدل تدفق الهواء (G) باستخدام مقياس الصفيحة المثقوبة (Orifice Plate Flow Meter) والذي وضعت في وسط مجرى دائري وجهاز بثقبان لغرض قياس الفرق بالضغط المتولد عبر الصفيحة المثقوبة تم ربطهما مسبقاً بواسطة أنبوب مطاطي (PVC) والموصل بدورهما إلى مانوميتر مائل مدرج .

في الدراسة الحالية تم اخذ أربع قراءات لمعدل تدفق الهواء بالاقتران مع ستة معدلات تدفق الماء عند درجتني حرارة للماء الداخل إلى برج التبريد . بالإضافة إلى ذلك تم إيجاد عدة متغيرات من خلال القراءات التي تم الحصول عليها عملياً ، وبالإمكان إيجاد خواص برج التبريد (Tower Characteristic) والذي يعتبر دالة لمعرفة كفاءة برج التبريد ويمكن تعريفها بالمعادلة التالية [8] :-

$$\frac{k.a.z}{L} = \int_{T_2}^{T_1} \frac{C_{PW}.dT}{H_W - H} \quad \text{----- (1)}$$

إذ يمكن حل المعادلة أعلاه عددياً من اجل حساب خواص برج التبريد عند ظروف تشغيلية مختلفة . حيث  $H_W$  يمكن تعريفها عن طريق المعادلة التالية [8] :

$$H_W = \alpha e^{\lambda T} \quad \text{----- (2)}$$

إن  $\alpha$  و  $\lambda$  يمكن الحصول عليها كالآتي [8] :

$$\begin{aligned} \alpha = 18.573, \quad \lambda = 0.05610 & \quad \text{For } 14^\circ\text{C} \leq T \leq 36^\circ\text{C} \\ \alpha = 20.231, \quad \lambda = 0.05314 & \quad \text{For } 17^\circ\text{C} \leq T \leq 44^\circ\text{C} \\ \alpha = 20.900, \quad \lambda = 0.05200 & \quad \text{For } 17^\circ\text{C} \leq T \leq 51^\circ\text{C} \end{aligned}$$

أما انثالي الهواء الرطب H ممكن حسابه من خلال المعادلة الآتية [8] :

$$H = H_1 + C_{PW} \left( \frac{L}{G} \right) (T_1 - T) \quad \text{----- (3)}$$

حيث  $H_1$  تمثل انثالي الهواء الرطب الداخل إلى البرج ، ويمكن الحصول عليها من خلال المعادلة التالية [8] :

$$H_1 = (1.005 + 1.884w)t_{1d} + 2502.3w \quad \text{----- (4)}$$

حيث w يمثل الرطوبة النسبية للهواء الرطب .  
بينما الفرق بين درجة حرارة الماء الداخل والخارج من برج التبريد والذي يطلق عليه مدى التبريد ( Cooling Range) والذي يرمز له عادةً (R) يمكن إيجاده من المعادلة الآتية [9] :

$$R = T_1 - T_2 \quad \text{----- (5)}$$

أما الحرارة المطرودة (heat rejected) وباستخدام طريقة التقريب المقترحة من قبل الباحث Merkel [9] ، ممكن إيجادها عن طريق المعادلة الآتية :

$$Q_W = L.C_{PW} . (T_1 - T_2) \quad \text{----- (6)}$$

وبفرض أن الهواء الخارج من برج التبريد يكون في حالة تشبع ، إذن معدل تدفق بخار الماء  $m_{ev}$  ممكن إيجاده باستخدام المعادلة التالية :

$$m_{ev} = G(w_2 - w_1) \quad \text{----- (7)}$$

حيث  $w_1$  و  $w_2$  تمثل الرطوبة النسبية للهواء الداخل والخارج من برج التبريد .  
وعليه فان معادلة كمية الحرارة المطرودة سوف تكون بالصيغة التالية طبقاً لطريقة Merkel .

$$Q_W = L.C_{PW} .T_1 - (L-m_{ev}) C_{PW} .T_2 \quad \text{----- (8)}$$

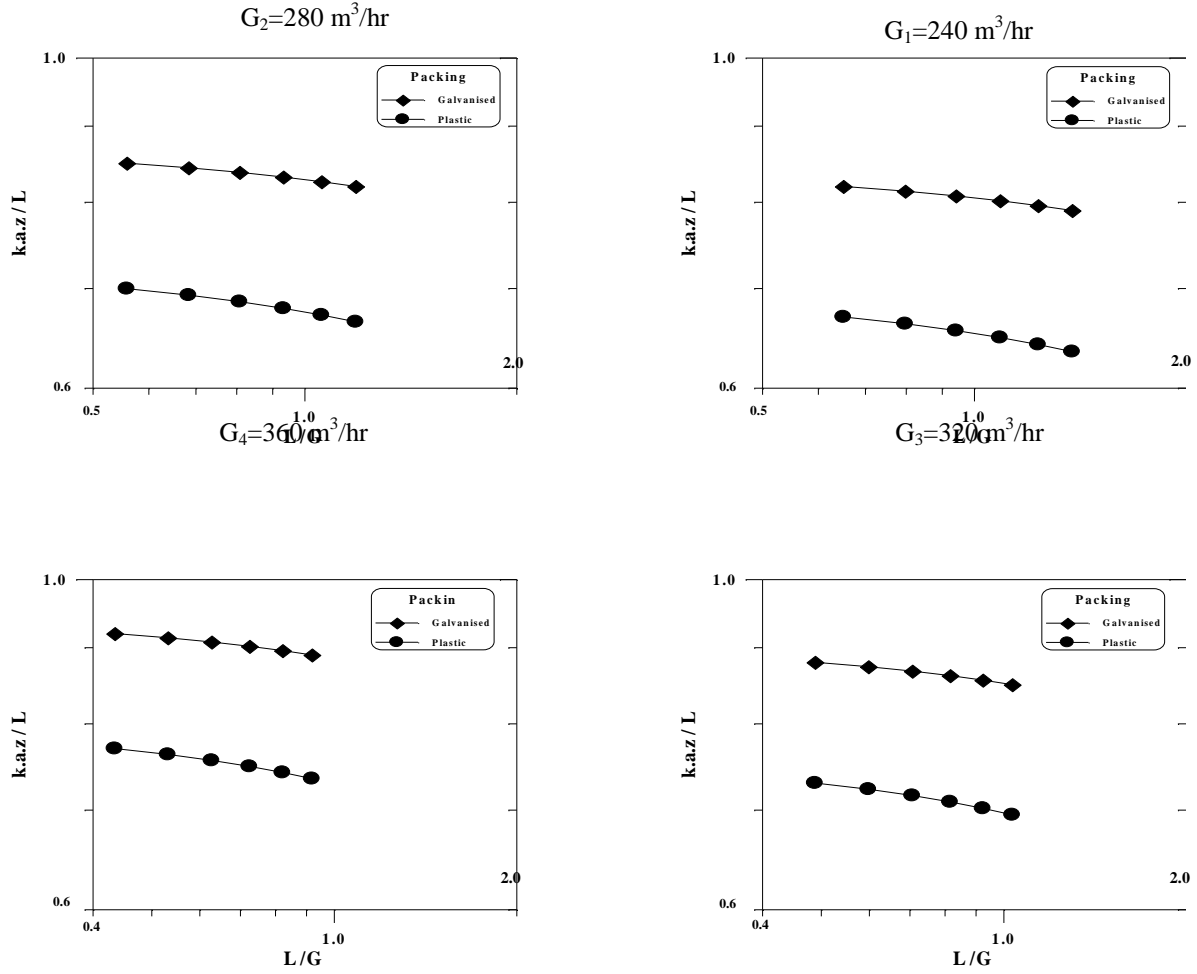
النتائج والمناقشة :

لغرض توضيح القراءات العملية التي تم الحصول عليها من خلال العمل التجريبي لابد من عرضها بشكل بياني لتسهيل عملية المقارنة بين النتائج المستحصلة . حيث أن خواص البرج (Tower Characteristic) والتي عادةً يرمز لها (k.a.z/L) ممكن توضيحها من خلال الشكل (3) ، حيث يوضح الشكل العلاقة بين خواص البرج ومعدل تدفق الماء إلى الهواء عند تثبيت درجة حرارة الماء الداخل إلى البرج عند  $40^\circ\text{C}$  ولكل من الحشوتين المستخدمتين (الحديد المغلون والبلاستيك) عند طول ثابت مقداره (50)سم عند أربع معدلات تدفق هواء (G) .

إذ نلاحظ من الشكل بأن هناك علاقة خطية قد تكونت عند كل معدل تدفق هواء ، كما نلاحظ انه كلما زاد معدل تدفق الهواء أدى ذلك إلى زيادة خواص البرج بينما زيادة معدل تدفق الماء يؤدي إلى نقصان قيمة خواص برج التبريد ويعود ذلك إلى النقصان الحاصل في مدى التبريد (Cooling Rang) . كذلك نلاحظ إن الحشوة المصنوعة من الحديد المغلون أعطت أكبر قيمة لخواص البرج من الحشوة البلاستيكية وبنسبة تقدر بـ (15)% .

ومن خلال الأشكال أدناه تم إيجاد معادلة ارتباطيه تربط كل من معامل أداء برج التبريد والنسبة بين معدل تدفق الماء إلى الهواء (L/G) ولكل من الحشوتين المستخدمتين

$$\begin{aligned} (K.a.z / L)_{Galvanized} &= 0.8158 * (L/G)^{-0.0399} \pm 0.178\% \\ (K.a.z / L)_{Plastic} &= 0.6762 * (L/G)^{-0.0466} \pm 0.152\% \end{aligned}$$

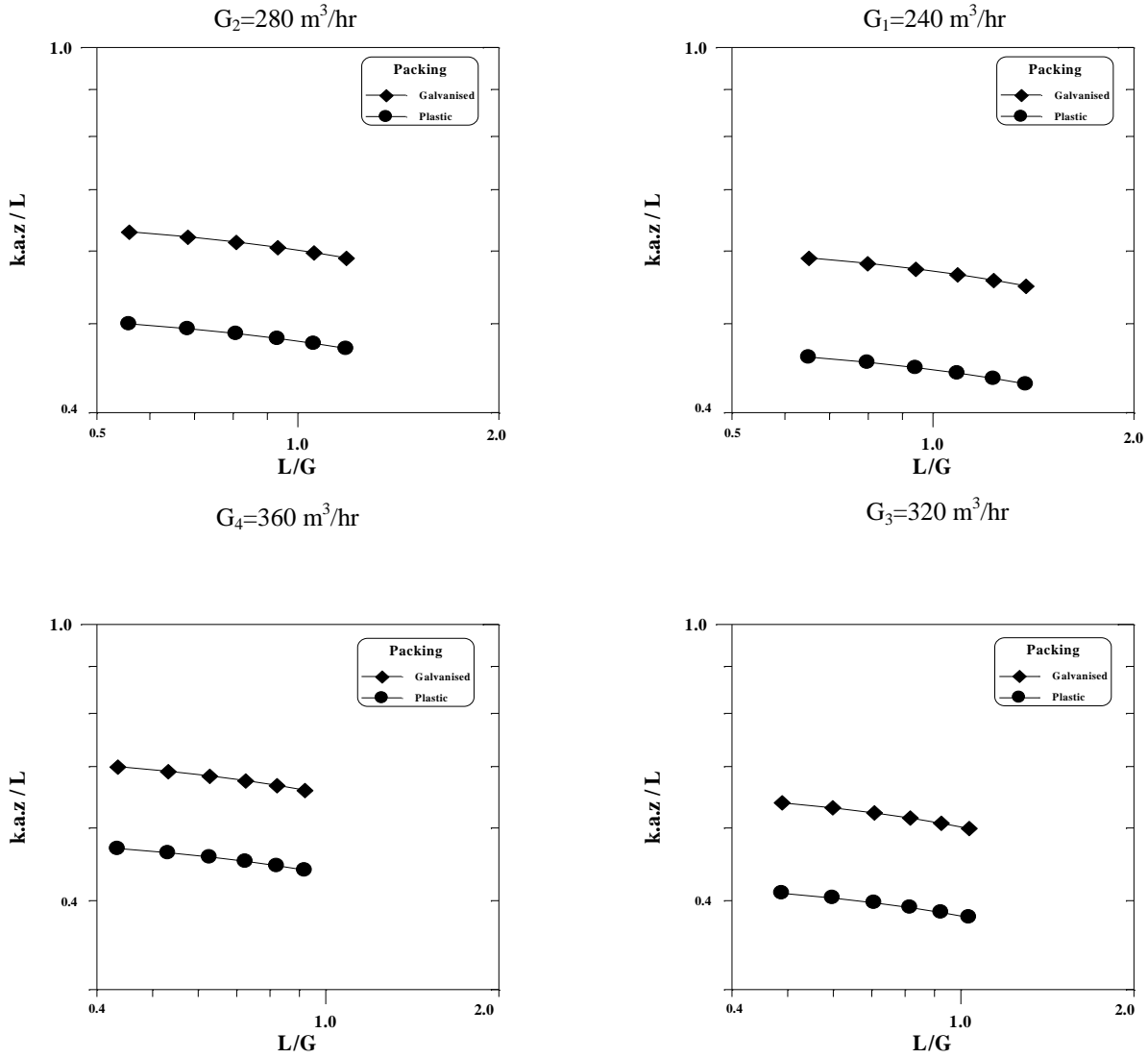


شكل ( 3 ) يوضح العلاقة بين معامل أداء برج تبريد والنسبة بين معدل تدفق الماء إلى الهواء (  $L/G$  ) عند حشوتين مختلفتين وبالاقتران مع أربع قيم متغيرة لمعدل تدفق الهواء (  $G$  ) مع ثبوت درجة حرارة الماء الداخل إلى برج التبريد عند  $40^\circ\text{C}$  ، وبارتفاع حشوة 50 سم .

ولتوضيح تأثير درجة حرارة الماء الداخل إلى برج التبريد على خواص البرج عند درجة حرارة ماء داخل إلى البرج  $50^\circ\text{C}$  ولكل من الحشوتين المستخدمتين عند طول ثابت مقدارها (50) سم وأربع معدلات تدفق هواء . الشكل (4) يعبر باختصار انه إذا تم تثبيت النسبة بين معدل تدفق الماء إلى الهواء أثناء ارتفاع درجة حرارة الماء الداخل إلى البرج سوف يؤدي ذلك إلى نقصان خواص البرج ويعود ذلك إلى الزيادة الحاصلة في الحمل الحراري . ومن خلال الأشكال أدناه تم إيجاد معادلة ارتباطيه تربط كل من معامل أداء برج التبريد والنسبة بين معدل تدفق الماء إلى الهواء (  $L/G$  ) ولكل من الحشوتين المستخدمتين

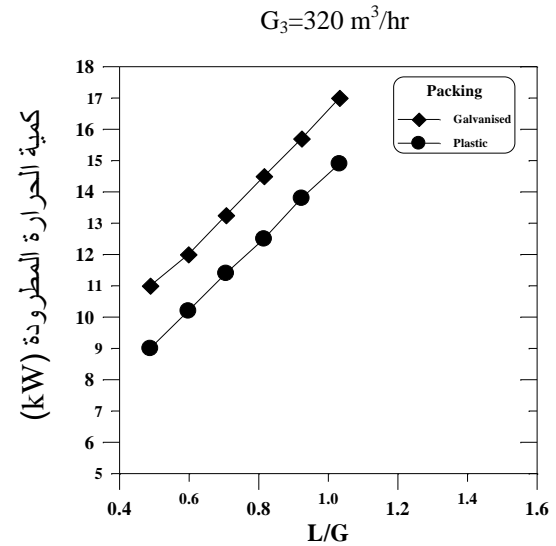
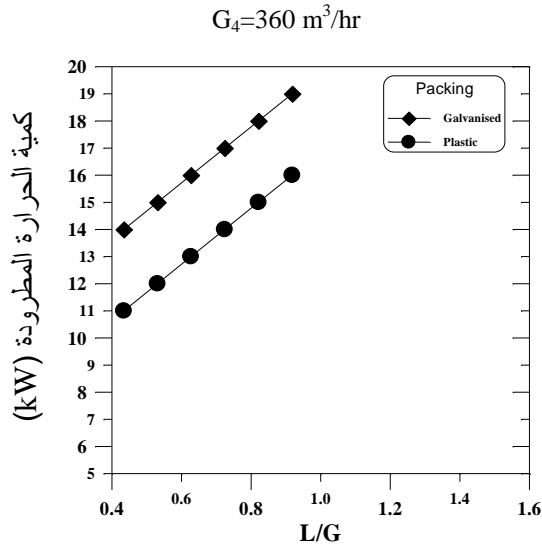
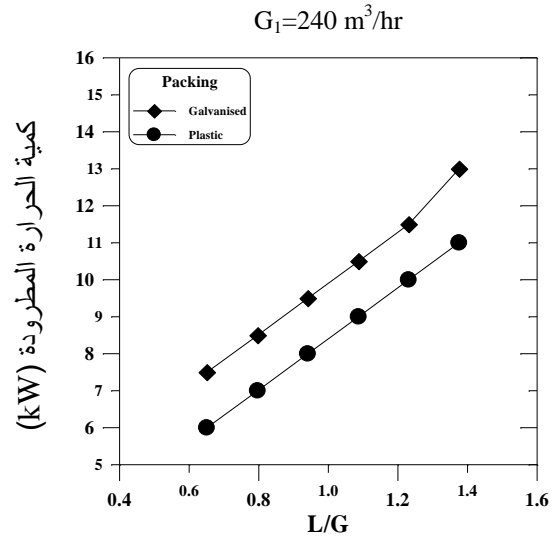
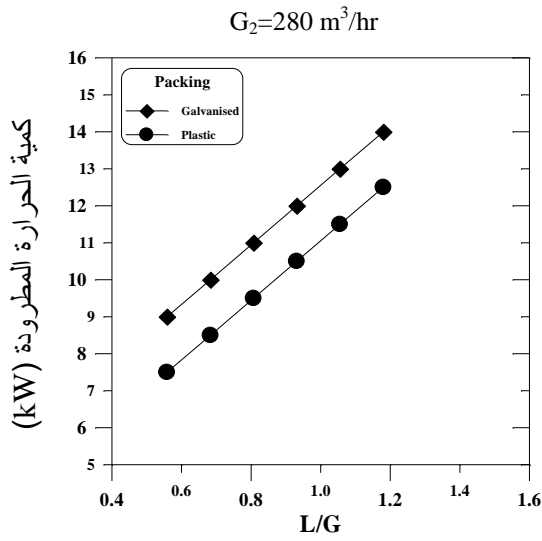
$$(K.a.z/L)_{Galvanized} = 0.582 * (L/G)^{-0.05329} \pm 0.167\%$$

$$(K.a.z/L)_{Plastic} = 0.456 * (L/G)^{-0.03996} \pm 0.129\%$$



شكل ( 4 ) يوضح العلاقة بين معامل أداء برج تبريد والنسبة بين معدل تدفق الماء إلى الهواء ( L/G ) عند حشوتين مختلفتين وبالاقتران مع أربع قيم متغيرة لمعدل تدفق الهواء ( G ) مع ثبوت درجة حرارة الماء الداخل إلى برج التبريد عند 50 °C ، وبارتفاع حشوة 50 سم .

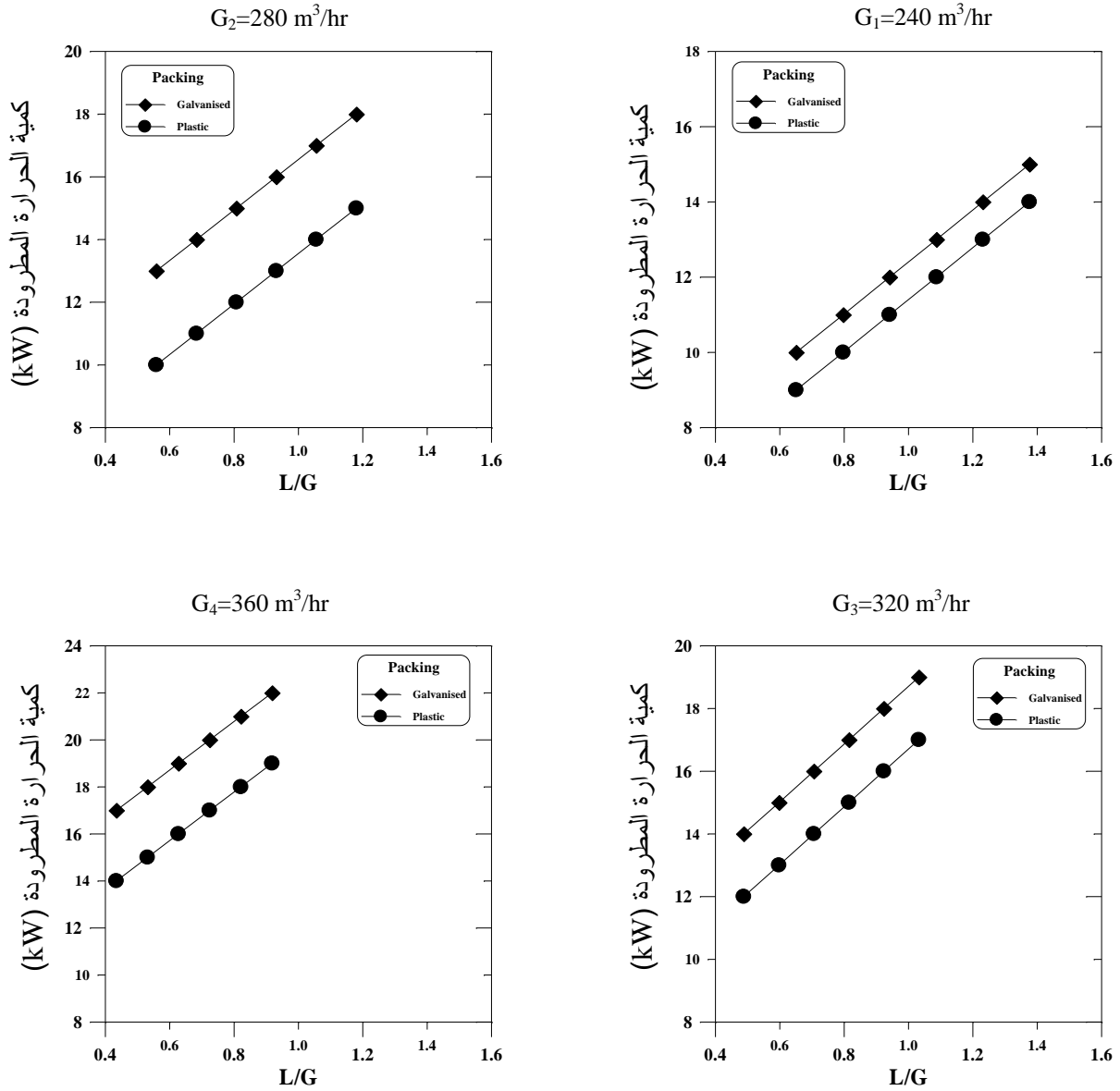
أما الشكل (5) يوضح العلاقة بين كمية الحرارة المطرودة (Heat Rejected) والنسبة بين معدل تدفق الماء إلى الهواء لكل من الحشوتين المستخدمتين بارتفاع (50)سم عند درجة حرارة ماء داخل إلى البرج 40°C وأربع معدلات تدفق هواء . حيث تبين من الشكل انه كلما زاد معدل تدفق الهواء أدى ذلك إلى زيادة كمية الحرارة المطرودة .



شكل ( 5 ) يوضح العلاقة بين كمية الحرارة المطرودة ( $Q_w$ ) والنسبة بين معدل تدفق الماء إلى الهواء ( $L/G$ ) عند حشوتين مختلفتين وبالاقتران مع أربع قيم متغيرة لمعدل تدفق الهواء ( $G$ ) مع ثبوت درجة حرارة الماء الداخل إلى برج التبريد عند  $40^\circ\text{C}$  ، وبارتفاع حشوة 50سم .

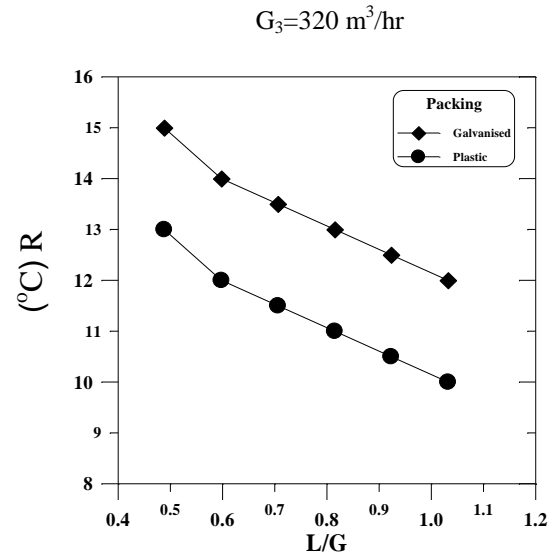
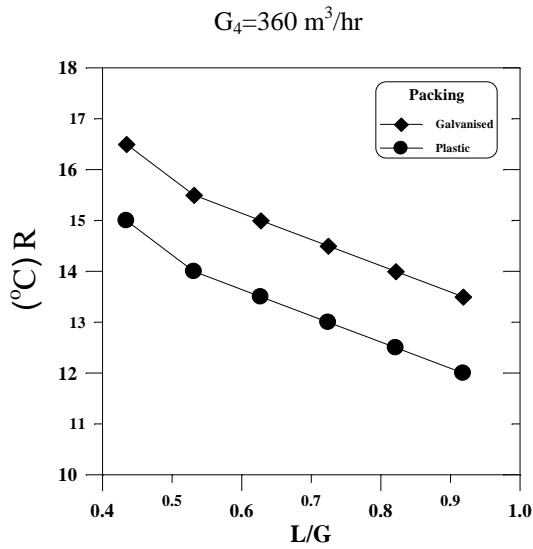
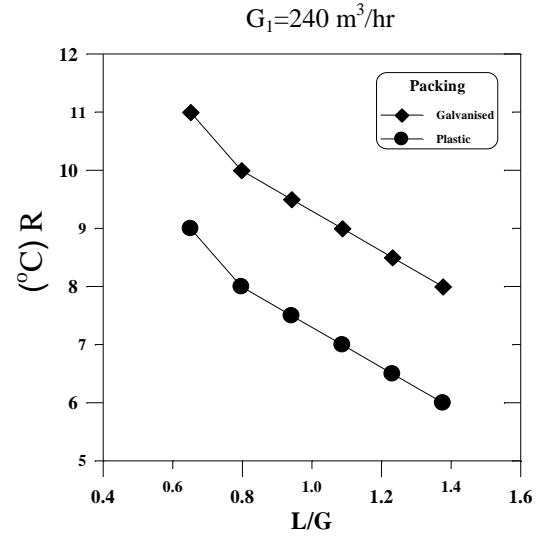
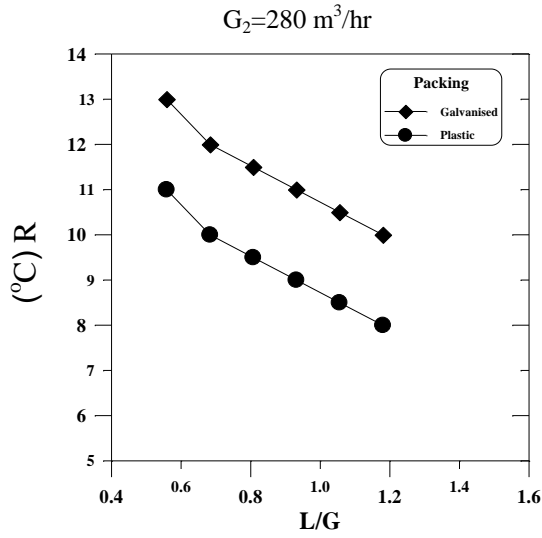
أما عند زيادة درجة حرارة الماء الداخل إلى برج التبريد إلى  $50^\circ\text{C}$  نلاحظ زيادة كمية الحرارة المطرودة وكما موضح في الشكل (6) وذلك عند استخدام حشوتين بارتفاع (50)سم عند أربع معدلات تدفق هواء ويمكن تحقيق هذه العملية عند تطبيق المعادلة رقم (6) .





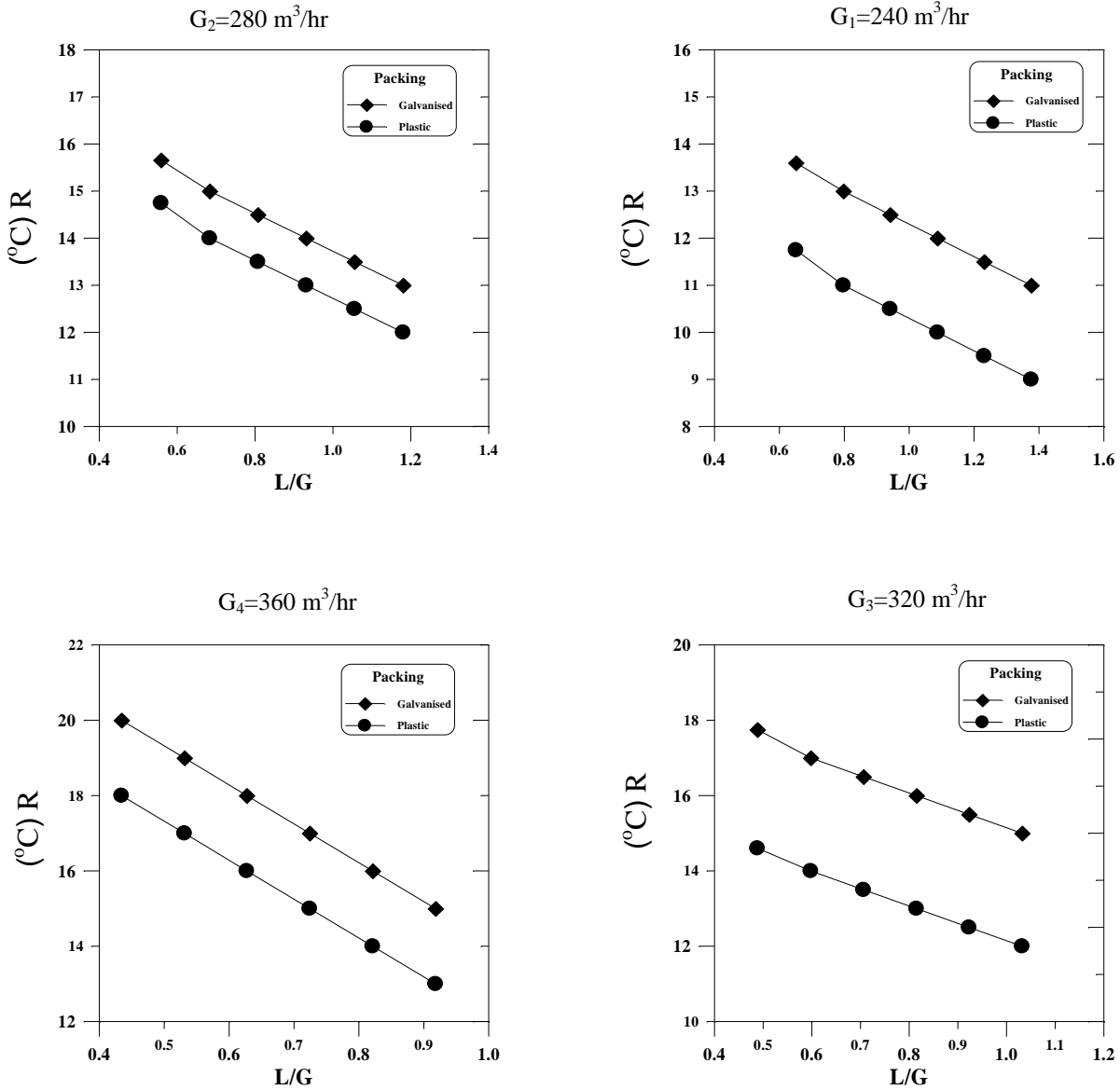
شكل ( 6 ) يوضح العلاقة بين كمية الحرارة المطرودة ( $Q_w$ ) والنسبة بين معدل تدفق الماء إلى الهواء ( $L/G$ ) عند حشوتين مختلفتين وبالافتراض مع أربع قيم متغيرة لمعدل تدفق الهواء ( $G$ ) مع ثبوت درجة حرارة الماء الداخل إلى برج التبريد عند  $50^\circ C$  ، وبارتفاع حشوة 50سم .

أما الشكل (7) يوضح العلاقة بين مدى التبريد (Cooling Range) والنسبة بين معدل تدفق الماء إلى الهواء عند درجة حرارة ماء داخل إلى البرج  $40^\circ C$  وأربع معدلات تدفق هواء . إذ نلاحظ من الشكل انه كلما زاد معدل تدفق الهواء أدى ذلك إلى زيادة مدى التبريد .



شكل ( 7 ) يوضح العلاقة بين مدى التبريد (R) والنسبة بين معدل تدفق الماء إلى الهواء ( L/G ) عند حشوتين مختلفتين وبالاقتران مع أربع قيم متغيرة لمعدل تدفق الهواء (G) مع ثبوت درجة حرارة الماء الداخل إلى برج التبريد عند  $40^\circ\text{C}$  ، وبارتفاع حشوة 50سم .

أما الشكل (8) يوضح تأثير زيادة درجة حرارة الماء الداخل إلى برج التبريد على مدى التبريد (R) إذ نلاحظ انه كلما زادت درجة حرارة الماء أدى ذلك إلى زيادة المدى ويعزى سبب ذلك إلى كمية الحرارة المنتقلة من الماء إلى الهواء .



شكل ( 8 ) يوضح العلاقة بين مدى التبريد (R) والنسبة بين معدل تدفق الماء إلى الهواء ( L/G ) عند حشوتين مختلفتين وبالاقتران مع أربع قيم متغيرة لمعدل تدفق الهواء ( G ) مع ثبوت درجة حرارة الماء الداخل إلى برج التبريد عند 50 °C ، وبارتفاع حشوة 50سم .

#### الاستنتاجات :

في هذه الدراسة ، ومن خلال النتائج العملية التي تم الحصول عليها عند استخدام حشوتين الأولى مصنوعة من الحديد المغلون تم تصنيعها محلياً وأخرى من البلاستيك وبارتفاع (0.5)م تحت ظروف تشغيلية مختلفة منها ستة معدلات تدفق ماء (180,220,260,300,340,380) لتر/ساعة وأربع معدلات تدفق هواء (240,280,320,360) م<sup>3</sup>/ساعة وعند درجة حرارة ماء ساخنة داخلية إلى البرج (40,50°C) ممكن أن نستنتج مايلي :-

1- انه كلما زادت درجة حرارة الماء الداخل إلى برج التبريد أدى ذلك إلى نقصان في خواص البرج وبمقدار (23)% عند كل (10 °C) زيادة في درجة حرارة الماء الداخل إلى البرج . والسبب في ذلك يعود إلى زيادة الحمل الحراري .

- 2- نوع الحشوة المستخدمة في العمل الحالي له تأثير كبير على أداء برج التبريد إذ لوحظ أن الحشوة المصنوعة من الحديد المغلون أعطت كفاءة أكبر من الحشوة البلاستيكية تحت نفس الظروف التشغيلية وبمقدار زيادة قدرها 15% .
- 3- كلما زاد معدل تدفق الهواء (G) أدى ذلك إلى زيادة أداء برج التبريد .
- 4- كلما زاد معدل تدفق الماء (L) أدى ذلك إلى نقصان أداء برج التبريد .
- 5- كمية الحرارة المطرودة تزداد بزيادة معدل تدفق كل من الماء والهواء .
- 6- مدى التبريد (R) يزداد بزيادة معدل تدفق الهواء وينقص بزيادة معدل تدفق الماء .

المصادر :

- [1] Hasan, A. A., “ Parametric Investigation of a Counter Flow Water Cooling Tower “, M. Sc. Thesis, University of Baghdad, March 1992.
- [2] H. EL-Dessouky, Thermal and hydraulic performance of a three-phase fluidized bed cooling tower, Experimental Thermal and Fluid Science 6 (1993) 417–426.
- [3] S.V. Bedekar, P. Nithiarasu, K.N. Seetharamu, Experimental investigation of the performance of a counter flow packed bed mechanical cooling tower, Energy 23(1998) 943–947.
- [4] H.R. Goshayshi, J.F. Missenden, The investigation of cooling tower packing in various arrangements, Applied Thermal Engineering 20(2000) 69–80.
- [5] J.C. Kloppers, D.G. Kroger, Loss coefficient correlation for wet cooling tower fills, Applied Thermal Engineering 23 (2003) 2201–2211.
- [6] AL-Ni'ema, A. F., “ A Theoretical and Practical Study of The Cooling Tower Performance with Counter flow “, M. Sc. Thesis, University of Tikrit , January , 2003 .
- [7] F. Gharagheizi, R. Hayati, S. Fatemi, Experimental study on the performance of mechanical cooling tower with two types of film packing. Energ. Convers. Manag. 48 (2007) 277–280.
- [8] R.E. Treybal, Mass Transfer operations, Third ed., McGraw-Hill, 1980 .
- [9] American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE Hand Book and Product Dictionary HVAC Systems and Equipment, 2000.

تم اجراء البحث في كلية الهندسة = جامعة الموصل