

Study the Effect of Water Flow on Cooling Effectiveness of a Proposed Four-Door Air Cooler

Munadhil A. H. Aldamaad

Department of Mechanical Techniques, Technical Institute of Karbala, Al-Furat Al-Awsat Technical University, IRAQ

Email: monadel_damad@yahoo.com

Submission date:- 23/5/2018	Acceptance date:- 10/6/2018	Publication date:- 4/9/2018
-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

Abstract

Previous research on the development of normal air cooler has been conducted into a proposed four-door air cooler. The results indicated that the effectiveness of the proposed air cooler (75.4% - 30.3%) was higher than the effectiveness of the normal air cooler (70.4% - 15.2%) at temperatures of (42°C - 33°C) but the effectiveness of both air coolers corresponded to the high temperature (42°C - 43°C). As well as the relative humidity of the air coming out of the proposed air cooler was higher than the normal air cooler at times of high temperature degrees (42°C - 33°C). However, the case is reversed at times of temperature degrees higher than (42°C). This means that the relative humidity of the air coming out of the proposed air cooler was lower. Therefore, it was necessary to study the effect of water flow on the cooling effectiveness in the proposed air cooler.

A four-door air cooler with variable flow rate was designed and manufactured. A practical study and test was carried out and the optimal flow of water in the air cooler was determined to be 1800 L/hr. Another practical study and test was carried out to compare the performance of the normal air cooler against the proposed one with optimum water flow. The results showed that the proposed air cooler with the optimal water flow was the most effective and the most reduction of the temperature of the air inside the air cooler at various times of the day. It was noticeable that the difference between them increased in hot weather hours. The air coming out of the proposed air cooler with optimal water flow was more humid than the normal air cooler at different times of the day. The results indicate that the performance of the proposed air cooler with optimal flow is better than normal air cooler performance in most weather conditions in Iraq.

Keywords: Cooling effectiveness, Evaporative cooling, Water flow, Temperature decrease, Air cooler.

دراسة تأثير تدفق الماء على الفاعلية التبريدية في المبردة المقترحة ذات الأبواب الأربعة

مناضل عباس حسن

المعهد التقني كربلاء، جامعة الفرات الأوسط

Email: monadel_damad@yahoo.com

الخلاصة

لقد تم إجراء بحث سابق حول تطوير المبردة الاعتيادية إلى مبردة مقترحة ذات اربعة أبواب وكانت النتائج إن فاعلية المبردة المقترحة (30.3% - 75.4%) أعلى من فاعلية المبردة الاعتيادية (15.2% - 70.4%) عند درجات حرارة (42°C - 33°C)، إلا إن فاعلية المبردتين تتطابق عند درجات الحرارة العالية (42°C - 43°C) وكذلك الرطوبة النسبية للهواء الخارج من المبردة المقترحة كانت أعلى من المبردة الاعتيادية في الاوقات التي تكون فيها درجات الحرارة عالية (33°C - 42°C). أما في الاوقات التي تكون فيها درجات الحرارة أعلى من (42°C) فتكون الحالة معكوسة، أي الرطوبة النسبية للهواء الخارج من المبردة المقترحة أقل. فكان لابد من دراسة تأثير تدفق الماء في الفاعلية التبريدية في المبردة المقترحة.

تم تصميم وتصنيع مبردة هواء ذات أربعة أبواب وذات معدل تدفق ماء متغير، وتم اجراء دراسة واختبار عمليين وتم تحديد التدفق الأمثل للماء في المبردة وهو (1800 L/hr). تم إجراء دراسة واختبار عمليين آخرين لمقارنة أداء كل من المبردة المقترحة ذات التدفق الأمثل مع المبردة الاعتيادية وكانت النتائج أن المبردة المقترحة ذات التدفق الأمثل هي الأعلى فاعلية والأكثر خفضاً لدرجة حرارة الهواء داخل المبردة في مختلف أوقات اليوم ومن الملاحظ أن الفرق بينهما يزداد في ساعات الجو الحار. إن الهواء الخارج من المبردة المقترحة ذات التدفق الأمثل كان أكثر رطوبة من المبردة الاعتيادية في مختلف أوقات اليوم، كما تشير النتائج إلى أن أداء المبردة المقترحة ذات التدفق الأمثل أفضل من أداء المبردة الاعتيادية في أغلب الظروف الجوية بالعراق.

الكلمات الداله: الفاعلية التبريدية، التبريد التخبري، تدفق الماء، خفض درجة الحرارة، مبردة الهواء.

1- المقدمة

أدى الاستخدام الهائل والمتزايد للطاقة إلى إثارة قلق العلماء والمهتمين بشأن نفاذ موارد الطاقة وتدهور المناخ العالمي، فضلاً عن إختفاء طبقة الأوزون. من المعروف جيداً أن هنالك ثلاثة أجزاء تمثل استخدام الطاقة وهي الصناعة والنقل والهندسة المعمارية، حيث يستهلك القسم المعماري حوالي 20-40% من إجمالي الطاقة، وهي أعلى من الجزئين الآخرين. في القسم المعماري، تأخذ أنظمة التكييف تقريباً نصف الطاقة المستهلكة، والذي يمثل بدوره ربع إجمالي الطاقة [1]. وهذا الرقم بالتأكيد سيصبح أكبر مع ارتفاع درجة الحرارة العالمية وانتشار منطقة البناء والمطالبات بظروف راحة أعلى، لذلك من الضروري تحسين كفاءة الطاقة لأنظمة التبريد وتعزيز تكنولوجيا جديدة لتحل محل الأنظمة التقليدية من أجل تقليل الاستهلاك الكهربائي وإطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون خلال التشغيل لأن أغلب محطات توليد الطاقة الكهربائية تحرق الوقود الكربوني لإنتاج الطاقة الكهربائية.

بشكل تقليدي، يكون ضاغط التبريد الميكانيكي هو المصدر الرئيس لتكييف الهواء حيث تتكوّن المنظومة من المبخر والضاغط والمكثف وصمام التمدد. ان نظرية تشغيلها هي عبارة عن دورة كارنوت العكسية (revers carnot cycle) تعتمد على تدفق مائع التبريد مثل R-22، R-134a ضمن المنظومة. في المبخر يمتص المبرّد الحرارة من المبادل عن طريق تغير حالته من سائل إلى بخار وبعد ذلك وبناء على الضغط العالي الناجم من الضاغط فإن بخار المبرّد يصبح أكثر من مشبّع ومن ثم يتم نقله إلى المكثف حيث يتم طرد الحرارة إلى المناطق المحيطة به ويتحوّل مرة أخرى إلى الحالة السائلة. بعد مغادرة المكثف، يتدفق سائل التبريد عبر صمام التمدد وينخفض الضغط العالي ويعود مرة أخرى إلى المبخر لإنهاء الدورة. وقد تم الحفاظ على هذه العملية وتحسينها لمدة طويلة بسبب دورها التبريدي الرائع. إن التكلفة المقبولة والتكنولوجيا المناسبة يمكن لها أن تفسر لنا سبب عدم زوال هيمنة النظام على سوق أجهزة تكييف الهواء حتى الآن.

ولكن في أثناء مرحلة العمل يستهلك الضاغط الكثير من الطاقة، ومن أجل نقل حراري أفضل بين المناطق المحيطة والمبخرات والمكثفات لا بدّ من تركيب معدات مساعدة. وبهذه الطريقة، فإن الاعتماد الكبير على الكهرباء جنباً إلى جنب مع انبعاث مركبات الكلوروفلوروكربون (CFC) يجعل تبريد الضاغط الميكانيكي استراتيجياً غير مستدامة وغير صديقة للبيئة، مما يسمح للتبريد التبخيري بالظهور كخيار بديل.

في الواقع، كانت ولادة التبريد التبخيري قبل حوالي ألف عام حيث اخترع في مصر القديمة. كما تم دمج بعض المنحدرات المائية في الجدران للحفاظ على الفضاء الداخلي بارد [2]، وذلك بسبب تبخر الماء عندما يتدفق الهواء من خلاله وسرعان ما انتشرت هذه التقنية الرائعة في أماكن ساخنة وجافة أخرى. في الوقت الحاضر، يمكن أن ينظر إلى تطبيق التبريد التبخيري في العديد من الأماكن، على سبيل المثال، يظهر الشكل رقم (1) حزمة من منصات رطبة جنباً إلى جنب مع مبنى حيث يتم رش المياه من فوق عبر فوهات الخرطوم، فهو يبرد الهواء الخارجي الحار الذي يتدفق، ليصل بعد ذلك هواء نقي بارد ورطب إلى المكان المكثف. ولذلك، فإن البنية البسيطة بالإضافة إلى الاستخدام العالي للطاقة الطبيعية يسمح للتبريد التبخيري بأن يكون واعداً.

تم دراسة نظام التبريد التبخيري المباشر من قبل عدة خبراء عملياً ونظرياً لأنه سهل التصنيع وذو فعالية عالية في المناطق الحارة والجافة [4] [7]. بالإضافة إلى ذلك تم تطبيق هذا النظام بشكل عالمي واثبت أنه يوفر الطاقة وسهل التشغيل. استعرض [8] تجربة لأداء مبردة تبخيرية مباشرة مزدوجة مع دائرة الأرض في طهران. أظهر البحث أن النظام المزدوج وفّر بشكل كافٍ شروط راحة مع فعالية تبريد عالية وخفضاً عالياً في تكلفة الكهرباء. ابتداءً [9] بحثاً لأداء نظام التبريد التبخيري المباشر مدعوماً بالطاقة الشمسية إلى جانب الألواح الضوئية في الجزائر. حدّد مراقب البيانات أن أعلى انخفاض في درجة حرارة الهواء الداخل يمكن أن يصل 18.86°C، وأن تقريباً ثلثي الدولة مجهزة بمبردة تبخيرية مباشرة بسبب المناخ الحار والجاف، وهذا يثبت أن المبردة التبخيرية المباشرة صديقة للبيئة وقابلة للتنفيذ عملياً. استعرض [10] نموذجاً مبتكراً يتم فيه استخدام مجفف شمسي ونظام تبريد تبخيري مباشر لخفض استهلاك الطاقة عند بناء نظام تكييف الهواء. استعرضت النتائج التجريبية قدرة هذا النظام الجديد المبتكر على تبريد حرارة الهواء الداخل إلى 21-22°C، وهذا يستبعد نجاح تركيب ملفات التبريد. ومن ثم توفر الطاقة الكهربائية المرافقة لجهاز التبريد المساعد لينتج بذلك زيادة في الفعالية الكهربائية للأداء.

أما في العراق فقد تم استخدام مبردات الهواء التبخيرية بشكل كبير منذ ستينيات القرن المنصرم وخاصة في المناطق التي تتعدى فيها درجة الحرارة البصلة الجافة للهواء عن (32°C) ولاتتجاوز درجة حرارة البصلة الرطبة (23.9°C) [11]. ويعود ذلك بشكل رئيس إلى توفير هذه الأجهزة لظروف الراحة بحدود جيدة في هذه المناطق وكذلك من الناحية الاقتصادية حيث سهولة

تصنيعها وصيانتها بالإضافة الى الكلفة الابتدائية والتشغيلية الواطنة وقلّة استهلاكها للطاقة الكهربائية والاهم انها تعمل لمدة طويلة في ظل ظروف قاسية.

قام الباحث [12] بتصنيع جهاز يمكن عن طريقه دراسة الاداء الحراري لمبردة الهواء التبخيرية حيث تمت الدراسة بتغيير سمك الحشوة الخشبية ووزنها وتبين ان زيادة سمك الحشوة من (5.5 cm) الى (13 cm) وذلك بزيادة وزنها من (1 kg) الى (1.75 kg) ادى الى زيادة كفاءة الترتيب بنسبة لا تقل عن (51%) وبنفس الوقت الى خفض الطاقة النسبية بما لا يقل عن (15%) من قيمتها الاصلية قبل التغيير في الحشوة. أما [13] فقد استخدم الحشوة الكاربتونية والاسفنجية وحشوة ليف النخيل وخص النخيل وحشوة الليف النباتي والحشوة المعدنية بدائل عن الحشوة الخشبية وتم تحسين توزيع الماء خلال الحشوة في الدراسة التي اجراها لمعرفة أثرها في الاداء الحراري للمبردات التبخيرية.

أجري [14] دراسة حول تأثير بعض العوامل في الاداء الحراري لمبردة الهواء التبخيرية كمعدل تدفق الماء المستعمل وسيطاً في التبريد بالإضافة الى الظروف المناخية، فضلاً عن دراسة تأثير معاملة سطوح المبادل الحراري بمادة النشارة الخشبية من جهة القنوات المرطبة. اظهرت النتائج ان أفضل كمية ماء لازمة للتدوير في منظومة التبريد هي (450 L/hr) وذلك عند استخدام هواء بدرجة حرارة (42oC) للبلصلة الجافة و (21.9oC) للبلصلة الرطبة. وكانت النتائج المستحصلة عند هذه الظروف بالنسبة لكفاءة التبريد هي (61.48%)، ومعامل الاداء (33.50)، ومن حيث الاستهلاك النوعي للطاقة فيبلغ (470 w.min/kgdry air). في دراسة قام بها [15] وجد انه من الافضل عند تقييم كفاءة المكيف الصحراوي لابد من استخدام معادلة الكفاءة التبريدية وكذلك استخدام معادلة انتقال الطاقة الحرارية معاً.

وقد أجري [16] تطويراً للمبردة التبخيرية بإضافة وحدة الماء الممغنط ومبادل حراري لها. وقد أظهرت النتائج ان درجة حرارة ماء الحوض والهواء الخارج من المبردة انخفض عند استعمال الماء الممغنط وكذلك ادى اضافة المبادل الحراري الى المبردة الى خفض درجة حرارة هواء حيز التبريد. قام [17] بتصميم وحدة تكييف هواء منزلية واطنة الكلفة وهي عبارة عن منظومة تكييف مزدوجة من جزئين انضغاطي وتبخيري. وقد تم دراسة معامل الطاقة (EER) للمنظومة المزدوجة حيث كانت قيمة (EER) (2.5) وهي اعلى من الجزء الانضغاطي (1.8) واقل من الجزء التبخيري (12) وكانت الفعالية للمنظومة المقترحة (60%-70%) وهي اعلى من كل من الجزء التبخيري (15%-20%) والجزء الانضغاطي (40%-42%).

أجري [18] دراسة عملية لمبردة الهواء متعددة المراحل. تم في هذه الدراسة تطوير مبردة الهواء التبخيرية وجعلها متعددة المراحل حيث استخدمت المبادلات الحرارية المتنوعة (هواء-هواء)، (ماء-هواء) لتبريد الهواء بشكل غير مباشر ومن ثم بشكل مباشر. بينت النتائج ان اضافة مرحلة تبريد الى المبردة يؤدي الى انخفاض درجة حرارة الهواء الجافة بنسبة (50%) وانخفاض المحتوى الرطوبي بنسبة (70%). اما في كربلاء فقد قام [19] بدراسة تطوير المبردة الحالية الى مبردة ذات ابواب اربعة وذلك بسبب عدم كفاية المبردة الاعتيادية في خفض درجة حرارة الهواء. حيث تم تحويل المبردة الاعتيادية لتحتوي على اربعة ابواب ويتم دفع الهواء البارد من الاسفل. بينت النتائج العملية بأن فاعلية المبردة ذات ابواب اربعة (30.3%-75.4%) اعلى من فاعلية المبردة الاعتيادية (15.2%-70.4%) عند درجات حرارة من 33oC-42oC. الا ان فاعلية المبردين تتطابق عند درجات الحرارة العالية (42oC و 43oC) لذلك اوصى بدراسة تأثير معدل تدفق الماء في كل من الفاعلية التبريدية ومقدار الانخفاض في درجات حرارة الهواء الداخل للمبردة ذات ابواب اربعة والرطوبة النسبية للهواء الخارج منها.

يهدف البحث الحالي الى:

- 1- تصميم وانشاء مبردة هواء ذات اربعة ابواب تستخدم هواء خارجي بالكامل (هواء نقي) وذات معدل تدفق ماء متغير.
- 2- تقييم فاعلية المبردة ذات اربعة ابواب عند معدلات تدفق ماء متغيرة لمعرفة التدفق الامثل لماء المبردة.
- 3- مقارنة فاعلية المبردة ذات اربعة ابواب وذات التدفق الامثل مع فاعلية مبردة الهواء الاعتيادية.

2- قائمة الرموز

المصطلحات

A	المساحة الرطبة
D ₁	مقدار الخفض في درجة حرارة الهواء في المبردة الاعتيادية (°C).
D ₂	مقدار الخفض في درجة حرارة الهواء في المبردة المقترحة (°C).
K	ثابت
(P ₁ – P ₂)	الفرق في ضغط بخار الهواء والماء
Q _w	معدل تدفق الماء (L/hr)
Rh _{in}	الرطوبة النسبية للهواء الداخل للمبردتان (%).
Rh _{out}	الرطوبة النسبية للهواء الخارج من المبردة (%).
Rh _{1out}	الرطوبة النسبية للهواء الخارج من المبردة الاعتيادية (%).
Rh _{2out}	الرطوبة النسبية للهواء الخارج من المبردة المقترحة (%).
T _{in}	درجة حرارة الهواء قبل دخوله المبردة (°C).
T _{out}	درجة حرارة الهواء الخارج من المبردة (°C).
T _{1out}	درجة حرارة الهواء الخارج من المبردة الاعتيادية (°C).
T _{2out}	درجة حرارة الهواء الخارج من المبردة المقترحة (°C).
T _w	درجة الحرارة الرطبة قبل دخوله المبردة (°C) ويمكن إيجادها من الخريطة السكروميترية باستخدام قراءات درجة الحرارة والرطوبة النسبية.
V	سرعة الهواء ضمن الوسائد
η	فعالية المبردة (%).
η ₁	فاعلية المبردة الاعتيادية (%).
η ₂	فاعلية المبردة المقترحة (%).

3- مبردة الهواء التبخيرية

نظام التبريد التبخيري يبرد الهواء الحار عن طريق تبخير الماء الذي يسمح بالكثير من الحرارة لتنتقل بعيداً عن الهواء الحار. وفقاً لعملية تشغيل المبردة التبخيرية فإنه عادة يمكن تقسيمها الى نوعين: نظام تبريد تبخيري مباشر ونظام تبريد تبخيري غير مباشر. في بحثنا الحالي فاننا ندرس المبردة التي تعمل بنظام التبريد التبخيري المباشر فقط. يبين الشكل رقم (2-a) نظام التبريد التبخيري المباشر والذي يحافظ على الهواء المتدفق عبر الوسائد الرطبة، مما يؤدي الى اتصال مباشر بين الهواء وطبقة الماء. في هذه العملية يتبخر الماء بعد امتصاص الحرارة من الهواء الحار ومن ثم يتم حمل البخار جنباً الى جنب مع الهواء الحار وبذلك يتم تبريد الهواء الحار وترطيبه. يوضح الشكل رقم (2-b) اجراء العمل على الرسم البياني لخارطة الهواء. كما يمكن ان يرى ان تبريد الهواء الحار اديباتيكالي من الحالة (1) الى الحالة (2) واخيراً الى حالة التشبع 1°، مشيراً الى انه يفقد الهواء حرارة محسوسة مع زيادة محتوى الرطوبة على طول الطريق.

إن النظام التبخيري يعمل على خفض درجات الحرارة ورفع الرطوبة النسبية في الهواء، لذلك فإن شروط عمل النظام التبخيري هو أن يعمل في الاجواء الحارة والجافة مثل مدينة كربلاء.

ان مبردة الهواء التبخيرية تحتوي على مروحة هواء ومضخة ماء ولكل من سرعة الهواء ومقدار تدفق الماء الاثر الكبير في تبريد الهواء، ولذلك سوف نتطرق الى كل من سرعة الهواء في الوسائد ومقدار تدفق الماء في الوسائد.

3-1 سرعة الهواء في الوسائد

تكون سرعة الهواء في الوسائد عاملاً مهماً جداً وبشكل واضح، فإذا كانت السرعة منخفضة فإن هذا يؤدي إلى الحد من تبخر الماء. أما إذا كانت السرعة عالية جداً فإن ذلك يؤدي إلى عدم وجود وقت كافٍ لتماس الهواء مع الماء وتواجهنا أيضاً مسألة جفاف وسائد التبريد وتبين المعادلة الأتية علاقة معدل التبخر بالعوامل المؤثرة. [21]

$$\text{Evaporation Rate} = K (A) (P_1 - P_2) (V)$$

تعكس المعادلة زيادة معدل التبخر مع السرعة ولكن هذا في نطاق السرعة المنخفضة والتي هي أقل بكثير من تلك السرعة العالية التي تقلل وقت التماس بين الهواء والماء أو تمنع رقائق الخشب من الحفاظ على جميع الفروع مبللة بالكامل. أي أن السرعة يجب أن تكون في حدود أو أقل من (1.5 متراً ثانية). يزداد التبريد مع زيادة سرعة الهواء ومضاعفة السرعة قد يخفض كفاءة التشبع 80% إلى ربما 65%.

كما تسبب السرعات العالية مقاومة أعلى لتدفق الهواء وتتطلب المزيد من تدفق المياه من أجل ترطيب منتظم، لأن معدلات التبخر قد تتجاوز بعض فروع الرقائق الخشبية لإعادة ترطيبها. وتسبب السرعة العالية في الوسائد في كثير من الأحيان البقع الجافة التي تسمح بدخول هواء حار. إن ظهور انسدادات داخل الرقائق الخشبية وتراكم رواسب الكلس المتماسك والغبار له علاقة بالسرعة المستخدمة حيث كلما كانت السرعة أخفض كلما تمت عملية الانسداد والترسبات بشكل موحد وبيطء أكبر.

إن سرع معظم مبردات اليوم تتراوح بين (1.0, 1.5 مترات ثانية). ومعظم الشركات المصنعة تعد السرعة الأخيرة بمثابة الحد العملي، لأن ارتفاع سرعات الهواء قد يرد الماء من خلال الوسائد، وتتضرر المراوح، والبكرات والمحركات، وما إلى ذلك، وربما تدخل ذرات الماء إلى حيز التبريد. أظهرت اختبارات مؤلف المصدر [21] أن سرعات الهواء المنخفضة تنتج أقصى قدر من التبريد من الحد الأدنى من تدفق المياه وكذلك أن السرعة المنخفضة تؤجل الانسدادات وتدهور الوسائد وتقلل تكاليف الصيانة.

يتبين مما ذكر أن السرعات العالية تفرض أربع عقبات:

- 1- يحدث الانسداد بشكل مبكر لأن كل وسادة تمرر المزيد من الهواء، تحجز المزيد من الغبار وتبخر الكثير من الماء.
- 2- هناك حاجة إلى عمل أكثر من مضخة لضمان تبليد موحد للوسادة.
- 3- فقدان الكثير من الضغط الثابت وزيادة شغل المروحة.
- 4- تدفق قطرات الماء مع تيار الهواء قد يكون مدمراً.

3-2 تدفق الماء في الوسائد

بالرغم من أن أحجام مضخات المياه في الغالب صغيرة مقارنةً بنماذج المبردة فإن التدفق المطلوب للمياه في الوسائد متغير للغاية. إن زيادة تدفق الماء يرفع تكاليف الضخ قليلاً لكنه يؤدي إلى تبريد أفضل ويساعد على غسل الغبار في داخل الحوض مؤدياً بذلك إلى تأجيل الانسداد، ويؤدي الترطيب غير الكافي إلى إنقاص كفاءة التشبع ويسرع الانسداد.

إن معدل التبخر يتغير عكسياً مع رطوبة الهواء الداخل، لذلك يحتاج تدفق الماء إلى أن يتغير على نحو واسع مع الطقس رغم بقاء إنتاجية المضخة ثابتاً تقريباً. إن معدلات المياه المثلى هي الحد الأدنى من التدفقات التي تضمن ترطيب جميع الفروع في الطقس الأكثر جفافاً في أكبر تدفق للهواء، ويمكن تحديدها من الاختبارات.

ونظراً لأن كفاءة التشبع تحدد بناءً على تصميم المبردة والموازانات والحالة، وليس عن طريق الطقس، لذلك فإن المبردات التي تهبط كفاءة تشبعها في الطقس الجاف والحر بالضرورة يوجد فيها بعض الرقائق الخشبية التي تجف، موضحةً بذلك بأن تدفق المياه فيها إما غير كافٍ أو غير موزع بانتظام.

إن عوامل الدراسة في البحث تبنى على الاختبار وذلك بتغيير تدفق الماء حتى الوصول إلى التدفق الأمثل. لذا من الواضح حالياً فشل جميع مبردات الهواء التبخيرية المتوفرة في توفير ظروف الراحة في شهر تموز وأب في مدينة كربلاء لذلك نعمل في البحث الحالي لتصنيع مبردة هواء تعمل في ظروف مدينة كربلاء ونحصل منها على هواء بدرجة حرارة ورطوبة نسبية ضمن خارطة الراحة في كل أو أغلب أيام الصيف.

4- المواد والطرق المستخدمة

تمت الدراسة في هذا البحث في المعهد التقني كربلاء وذلك باستخدام مبردتين من نوع برفاب وهما نفس المبردتين المستخدمتين في البحث [19]. حيث تم في البحث [19] استخدام مبردتين من نوع برفاب، وتم تصنيع المبردة المقترحة ذات اربعة ابواب من احدى هاتين المبردتين في ورشتي السمكرة واللحام في وحدة المعامل في المعهد التقني كربلاء. المبردة المقترحة هي عبارة عن مكعب ذي ستة اوجه، الوجه العلوي للمكعب يمثل سقف المبردة والوجه السفلي يمثل قاع المبردة وقد عملت فيه فتحة لخروج الهواء بواسطة مروحة متصلة بمحرك كهربائي (blower). ويشمل الوجه السفلي كذلك على حوض فيه عوامة للتحكم في كمية الماء داخل المبردة. الواجهة الاربعة المتبقية عبارة عن اربعة ابواب مثبت عليها من الداخل رقائق الخشب ومقسمة من الخارج الى فتحات صغيرة مستطيلة الشكل. يتم دخول الهواء الخارجي الحار والجاف من الفتحات الموجودة في الابواب الاربعة حيث يتم تبريده وترطيبه داخل المبردة. يتم رفع الماء من حوض المبردة الى اعلى رقائق الخشب بواسطة مضخة ماء حيث يوزع بواسطة انابيب ماء مناسبة على ابواب المبردة الاربعة ليتساقط على رقائق الخشب بشكل مناسب لتبثل تماماً ثم يعود الماء الى حوض المبردة وتستمر هذه العملية بشكل متكرر. المروحة ومضخة الماء تعملان بشكل متزامن بمجرد وصول التيار الكهربائي حيث يتم دخول الهواء الخارجي الى داخل المبردة عبر الابواب الاربعة وخروجه من فتحة خروج الهواء من القاع السفلي بعد تبريده وترطيبه.

في هذا البحث تم اعادة تصنيع المبردة المقترحة لتكون ذات اربعة ابواب وذات تدفق ماء متغير حيث استخدمت مضخة ماء ذات تدفق ماء بحد اقصى (5000Liter/hour) ويمكن تغيير مقدار تدفق الماء من صمام ذي فتحة خروج قابلة للتغيير وذلك لتغيير كمية الماء المتساقطة على الرقائق الخشبية ومن ثم دراسة تأثير معدل تدفق الماء في الفاعلية التبريدية في المبردة. وتم استخدام مقياس لتدفق الماء (flow meter) ذي مدى (0-3000Liter/hour) وربطه داخل دورة توزيع المياه في المبردة وذلك لقياس كمية الماء المتدفقة عند تغيير فتحة صمام الماء كما في الشكل رقم (3).

اما بالنسبة لقياس درجة حرارة الهواء الداخل والخارج من المبردة وكذلك الرطوبة النسبية فقد تم استخدام جهاز قياس ياباني الصنع من نوع (Terminator) يحوي بداخله على حساس (Sensor) يتحسس بالحرارة والرطوبة النسبية وكذلك يحوي على سلك بطول ثلاثة أمتار ينتهي بحساس لقياس درجة الحرارة في المنطقة المطلوبة (3 meter water-proof sensor-wire).

يتم حساب فاعلية التبريد من المعادلة التالية [21]:

$$\eta = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} - T_w} \times 100$$

5- تأثير تدفق الماء على اداء المبرده المقترحة والنتائج

عند دراسة الظروف الجوية لمدينة كربلاء في البحث [19] تبين أن أجهزة التبريد والتكييف تعمل على مدى واسع جدا لدرجات الحرارة في فصل الصيف، وعند مقارنة درجات الحرارة والرطوبة النسبية المعدة من هيئة الأنواء الجوية العراقية لمدينة كربلاء بخارطة الراحة للانسان يظهر أن الحاجة لتشغيل أجهزة التبريد والتكييف في الأشهر (أيار إلى أيلول) مع وجوب عدم تشغيل الأجهزة في بعض الأيام، وخاصة في ساعات الليل والصباح الباكر في أثناء بعض هذه الأشهر، وذلك لكون درجات الحرارة والرطوبة النسبية للهواء الخارجي هي أساسا ضمن خارطة الراحة للإنسان. لذا يفضل عند إجراء التجربة في شهر أيار أن نحقق درجات الحرارة والرطوبة النسبية الخارجة من المبردة قريبة من درجات الحرارة والرطوبة النسبية في بداية خارطة الراحة (تقريبا درجة الحرارة هي 21oC والرطوبة النسبية هي 80%) شكل رقم (5) لنضمن استمرار عمل المبردة في معظم أيام الصيف.

5-1 تحديد المقدار الأمثل لتدفق الماء

تم تهيئة المبردة المقترحة ذات اربعة ابواب وذات تدفق ماء متغير في وحدة المعامل في المعهد التقني كربلاء في يوم 2018/5/14 وتم تشغيل المبردة في الساعة (10:00am) بتدفق ماء يساوي (800 L/hr)، وتم أخذ القراءات لدرجات الحرارة والرطوبة النسبية للهواء الخارجي، والهواء الخارج من المبردة المقترحة للفترة ما بين (10:15am إلى 1:30pm) حسب التوقيت

المحلي لمدينة كربلاء وبمعدل كل 15 دقيقة، حيث يتم في كل مرة زيادة معدل تدفق الماء حتى الوصول تقريبا إلى أعلى رطوبة نسبية ضمن خارطة الراحة للإنسان.

يوضح الجدول رقم (1) الوقت الذي سجلت فيه القراءات، معدل تدفق الماء في المبردة المقترحة (Qw)، درجة الحرارة (Tin) والرطوبة النسبية (Rhin) للهواء الخارجي، درجة حرارة الهواء الرطبة قبل دخول المبردة (Tw)، درجة الحرارة (Tout) والرطوبة النسبية (Rhout) للهواء الخارج من المبردة المقترحة، مقدار الانخفاض في درجة حرارة الهواء في المبردة المقترحة (D)، فاعلية المبردة المقترحة (□).

يتضح من الجدول أنه تم تغيير معدل تدفق الماء (Qw) بين (800 L/hr - 1850 L/hr)، وأن درجة حرارة الهواء الخارجي (Tin) تراوحت بين (31oC - 34oC) عند إجراء الاختبار والرطوبة النسبية (Rhin) بين (20% - 17%). أما درجة حرارة الهواء الرطبة قبل دخول المبردة (Tw) فقد تراوحت بين (16.2oC - 17oC). أما درجة حرارة الهواء الخارج من المبردة المقترحة (Tout) فقد تراوحت بين (23oC - 29.4oC) والرطوبة النسبية (Rhout) بين (80% - 41%)، وكان مقدار الانخفاض في درجة حرارة الهواء (D) بين (1.6oC - 11oC)، وكانت فاعلية المبردة (□) تراوحت بين (10.8% - 63.2%).

يوضح الشكل رقم (6) العلاقة بين درجة حرارة الهواء الخارج المبردة المقترحة ومعدل تدفق الماء، حيث تنخفض درجة حرارة الهواء الخارج المبردة المقترحة بازدياد معدل تدفق الماء للمدى (800 L/hr - 1800 L/hr).

يوضح الشكل (7) العلاقة بين رطوبة الهواء الخارج من المبردة المقترحة ومعدل تدفق الماء. حيث تزداد رطوبة الهواء الخارج من المبردة المقترحة بازدياد معدل تدفق الماء وتصل رطوبة الهواء إلى (80%) عند معدل تدفق ماء يساوي (1800 L/hr)، وهذه هي تقريبا أعلى رطوبة نسبية ضمن خارطة الراحة ولا يمكن تجاوزها في أغلب الأحيان. وإن زيادة الرطوبة إلى أكثر من (80%) نكون قد خرجنا من منطقة الراحة في أغلب الأحيان، لذا يجب التوقف عند هذا التدفق في شهر أيار لكي نضمن أن يكون الهواء الخارج من المبردة ضمن خارطة الراحة في أغلب أشهر الصيف، حيث سترتفع الحرارة أكثر وتنخفض الرطوبة في الأيام التي تأتي بعد شهر أيار.

يوضح الشكل رقم (8) العلاقة بين مقدار الانخفاض في درجات حرارة الهواء داخل المبردة المقترحة ومعدل تدفق الماء، حيث يزداد مقدار الخفض في درجات حرارة الهواء داخل المبردة المقترحة بازدياد معدل تدفق الماء للمدى (800 L/hr - 1800 L/hr).

يوضح الشكل رقم (9) العلاقة بين الفاعلية التبريدية للمبردة المقترحة ومعدل تدفق الماء، حيث تزداد الفاعلية التبريدية بازدياد معدل تدفق الماء للمدى (800 L/hr - 1800 L/hr).

يتضح من الجدول رقم (1) والأشكال رقم (6, 7, 8, 9) أن أفضل معدل تدفق ماء هو (1800 L/hr) لنضمن استمرار عمل المبردة في معظم أيام الصيف.

5-2 مقارنة أداء المبردة المقترحة والمبردة الاعتيادية

تم تهيئة المبردة المقترحة ذات أربعة أبواب وذات التدفق الأمثل للماء والمبردة الاعتيادية ذات ثلاثة أبواب في وحدة المعامل في المعهد التقني كربلاء في يوم 2018/5/16 بتجهيزات موحدة من حيث الرقائق الخشبية على الأبواب ووحدة دفع الهواء، وكانت المبردتان من النوع والحجم نفسيهما (برفاب). وتم تشغيل المبردتين من الساعة (9:30am) وتم تسجيل القراءات لدرجات الحرارة، والرطوبة النسبية للهواء الخارجي، والهواء الخارج من المبردة الاعتيادية وكذلك من المبردة المقترحة ذات تدفق الماء الأمثل للفترة ما بين (9:45am - 1:45pm) حسب التوقيت المحلي لمدينة كربلاء وبمعدل كل 15 دقيقة.

يتضح من الجدول رقم (2) أن درجة حرارة الهواء الخارجي (Tin) تراوحت بين (30.5oC - 35.4oC) عند إجراء الاختبار والرطوبة النسبية تراوحت بين (Rhin) بين (21% - 15%)، أما درجة حرارة الهواء الرطبة قبل دخول المبردتين (Tw) فقد تراوحت بين (16.2oC - 18.5oC).

بالنسبة للمبردة الاعتيادية (ذات ثلاثة أبواب) فقد تراوحت درجة الحرارة للهواء الخارج من المبردة (T_{1out}) بين (25.0C-30.3C) والرطوبة النسبية (Rh_{1out}) بين (67% - 51%)، أما مقدار الخفض في درجة حرارة الهواء ($D1$) فقد تراوحت بين (0.2oC - 10.4oC)، وكانت فاعلية المبردة (η_1) تراوحت بين (59.4% - 1.4%).

بالنسبة للمبردة المقترحة (ذات أربعة أبواب) وذات التدفق الأمثل فقد تراوحت درجة حرارة الهواء الخارج من المبردة (T_{2out}) بين (23.2oC-27.7oC) والرطوبة النسبية (Rh_{2out}) بين (75% - 58%)، أما مقدار الانخفاض في درجة حرارة الهواء ($D2$) فقد تراوحت بين (2.8oC - 11.9oC)، وكانت فاعلية المبردة (η_2) تراوحت بين (69.7% - 19.6%).

يوضح الشكل رقم (10) مقارنة بين درجة حرارة الهواء الخارج من المبردة المقترحة والاعتيادية في أوقات مختلفة من اليوم، ويظهر أن درجة حرارة الهواء الخارج من المبردة المقترحة كانت أدنى من درجة حرارة الهواء الخارج من المبردة الاعتيادية في مختلف أوقات اليوم، ومن الملاحظ أن الفرق بينهما يزداد في ساعات الجو الحارة، وهذا يشير إلى أن أداء المبردة المقترحة أفضل من أداء المبردة الاعتيادية في الظروف الجوية لمدينة كربلاء.

يوضح الشكل رقم (11) مقارنة بين رطوبة الهواء الخارج من المبردة المقترحة ذات التدفق الأمثل والمبردة الاعتيادية في أوقات مختلفة من اليوم، ويظهر أن رطوبة الهواء الخارج من المبردة المقترحة كانت أعلى من رطوبة الهواء الخارج من المبردة الاعتيادية في مختلف أوقات اليوم وهذا يشير إلى أن أداء المبردة المقترحة أفضل من أداء المبردة الاعتيادية في الظروف الجوية لمدينة كربلاء.

يوضح الشكل رقم (12) مقارنة بين مقدار الانخفاض في درجة حرارة الهواء في المبردة المقترحة والاعتيادية في أوقات مختلفة من اليوم، ويظهر أن مقدار الانخفاض في المبردة المقترحة كان أعلى من المبردة الاعتيادية في مختلف أوقات اليوم، ومن الملاحظ أن الفرق بينهما يزداد في ساعات الجو الحارة، وهذا يشير إلى أن أداء المبردة المقترحة أفضل من أداء المبردة الاعتيادية في الظروف الجوية لمدينة كربلاء.

يوضح الشكل رقم (13) مقارنة بين الفاعلية التبريدية للمبردة المقترحة والاعتيادية في أوقات مختلفة من اليوم، ويظهر أن فاعلية المبردة المقترحة كانت أعلى من المبردة الاعتيادية في مختلف أوقات اليوم، ومن الملاحظ أن الفرق بينهما يزداد في ساعات الجو الحارة، وهذا يشير إلى أن أداء المبردة المقترحة أفضل من أداء المبردة الاعتيادية في الظروف الجوية لمدينة كربلاء.

6- حسابات الجدوى الاقتصادية

1. ان وحدة دفع الهواء ثابتة في المبردة المقترحة والمبردة الاعتيادية لذلك لا تكلفه اضافية.
2. ان مضخة الماء بسعة 1500L/hr للمبردة الاعتيادية ومضخة الماء بسعة 1800L/hr للمبردة المقترحة تباع بنفس السعر (هناك اسعار مختلفة لكلا النوعين طبقاً لنوع المضخة ومصدر المنتأ). ولكن صرف الطاقة الكهربائية اقل بقليل لسعة 1500l/hr.
3. المبردة المقترحة تحتوي على باب اكثر من المبردة الاعتيادية مع رقائقها الخشبية بالاضافة الى عدم تصنيع الوجه الذي تركيب فيه الباب حيث يتم دفع الهواء من الاسفل. وبالنظر لعدم توفر المعامل المصنعة للمبردات في قطرنا وعدم توفر وثائق بالاسعار السائدة لقطعات المبردة بشكل يمكن الاعتماد عليه في حساب الجدوى الاقتصادية تم الاستعانة بالمهتمين في الاسواق المحلية وتم تحديد كلفة تصنيع المبردة المقترحة اكثر من المبردة الاعتيادية بمبلغ (10000 دينار عراقي) لحجم (2700 cfm) ($4500m^3/hr$) اي ان كلفة تصنيع المبردة المقترحة اعلى من كلفة تصنيع المبردة الاعتيادية بمقدار 5% .

7- الاستنتاجات

1. في المبردة المقترحة عند زيادة معدل تدفق الماء تزداد الفاعلية التبريدية للمبردة، وكذلك يزداد كل من انخفاض درجات الحرارة للهواء داخل المبردة والرطوبة النسبية للهواء الخارج من المبردة، ولكن لا يمكن تجاوز الرطوبة النسبية حد 80% تقريباً حسب خارطة الراحة للإنسان.
2. الرطوبة النسبية للهواء الخارج من المبردة المقترحة ذات التدفق الأمثل أعلى من المبردة الاعتيادية لذلك يفضل استخدامها في ظروف جوية حارة وجافة مثل مدينة كربلاء.

3. الفاعلية التبريدية للمبردة المقترحة ومقدار الانخفاض في درجات حرارة الهواء داخل المبردة المقترحة كان أعلى من المبردة الاعتيادية في مختلف أوقات اليوم علاوة على أن الفرق بينهما يزداد في ساعات الجو الحار، وهذا يشير إلى أن أداء المبردة المقترحة ذات التدفق الأمثل أفضل من أداء المبردة الاعتيادية في أجواء مماثلة لمدينة كربلاء.
4. إن المبردة المقترحة تتيح لنا إمكانية استخدامها في السقوف أو النوافذ وذلك باستخدام المجاري الهوائية المرنة.
5. إن التكلفة الاقتصادية لإنتاج المبردة المقترحة مقارنة للمبردة الاعتيادية لذلك فإن إنتاجها مبرر من الناحية الاقتصادية.
6. إن استخدام مبردات الهواء ليس محصوراً للاستخدام البشري فهي تستخدم في مجالات كثيرة مثل تربية الحيوان والمخازن وتعطي نتائج طيبة جداً من حيث توفير الظروف المطلوبة واستهلاكها للطاقة الكهربائية لذلك فإن تطوير المبردة له أثر مهم وخاصة من الناحية الاقتصادية. [23]

CONFLICT OF INTERESTS.

There are no conflicts of interest.

References:

- [1] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, and C. Pout, "A review on buildings energy consumption information," *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 394-398, 2008.
- [2] J. R. Watt and W. K. Brown, *Evaporative Air Conditioning Handbook*: Prentice Hall, 1997.
- [3] http://www.gothicarchgreenhouses.com/greenhouse_cooling.htm.
- [4] J. R. Camargo, C. D. Ebinuma, and J. L. Silveira, "Experimental performance of a direct evaporative cooler operating during summer in a Brazilian city," *International Journal of Refrigeration*, vol. 28, pp. 1124-1132, 2005.
- [5] Y. J. Dai and K. Sumathy, "Theoretical study on a cross-flow direct evaporative cooler using honeycomb paper as packing material," *Applied Thermal Engineering*, vol. 22, pp. 1417-1430, 9// 2002.
- [6] C. Sheng and A. G. Agwu Nnanna, "Empirical correlation of cooling efficiency and transport phenomena of direct evaporative cooler," *Applied Thermal Engineering*, vol. 40, pp. 48-55, 2012.
- [7] J. M. Wu, X. Huang, and H. Zhang, "Numerical investigation on the heat and mass transfer in a direct evaporative cooler," *Applied Thermal Engineering*, vol. 29, pp. 195-201, 2009.
- [8] G. Heidarinejad, V. Khalajzadeh, and S. Delfani, "Performance analysis of a ground-assisted direct evaporative cooling air conditioner," *Building and Environment*, vol. 45, pp. 2421-2429, 2010.
- [9] S. Elmetenani, M. L. Yousfi, L. Merabeti, Z. Belgroun, and A. Chikouche, "Investigation of an evaporative air cooler using solar energy under Algerian climate," *Energy Procedia*, vol. 6, pp. 573-582, 2011.
- [10] P. Finocchiaro, M. Beccali, and B. Nocke, "Advanced solar assisted desiccant and evaporative cooling system equipped with wet heat exchangers," *Solar Energy*, vol. 86, pp. 608-618, 2012.
- [11] Rummel, A. J. "Evaporative Cooling ; where to use it " Proceeding of Sixth Annual Southwest Air-condition Conference ., PP. 103-110, December, 1950.
- [12] سليم، جوامير مجيد / سمعان، وسيم يوسف / آدم، شموئيل خوشابا " دراسة تجريبية للاداء الحراري لمبردات الهواء التبخيرية المباشرة " مجلة المهندس، بغداد، السنة الخامسة والعشرون، العدد الرابع، صفحة 18-27، تسلسل 77 كانون الاول 1980.
- [13] العمران، اسعد توما مروكي " دراسة استخدام بدائل الحشوة الخشبية وتأثيرها على اداء المبردات التبخيرية " رسالة ماجستير الجامعة التكنولوجية، اب 1981.
- [14] جواد، صلاح كريم / محمد، عماد صديق " دراسة تأثير بعض العوامل المؤثرة في الاداء الحراري لمبردة الهواء التبخيرية "

The Iraqi Journal for Mechanical and Material Engineering, Vol.9, No.2, 2009.

[15] مشاط، عبد الوهاب سلمان / مكي، احمد عبد الله / حبيب الله، تركي محمد " تقييم كفاءة المكيفات الصحراوية بتطبيق معادلة الكفاءة التبريدية ومعادلة انتقال الطاقة الحرارية " مجلة جامعة الملك عبد العزيز، علوم الارصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة 1-16.

[16] الحلفي، اسعد رحمن سعيد / مشعل، عباس عبد الحسين " تطوير المبردة التبخيرية بإضافة وحدة الماء الممغنط ومبادل حراري لها " مجلة ابحاث البصرة (العلميات) العدد 40. الجزء 4. B.4 (2014)

[17] حسين، تحسين علي / كاظم، مهدي هاتف / حسين، محمد عبد الرضا " تصميم وحدة تكييف هواء منزلية واطئة الكلفة " www.iasj.net/iasj?func=fulltext&aId=28265

[18] محمد، عامر عبد الله / وناس، عقيل علي / نبهان، بيداء جابر " دراسة عملية لمبردة الهواء التبخيرية متعددة المراحل " مجلة جامعة ذي قار للعلوم والهندسة / المجلد السابع / العدد الاول 2016

[19] حسن، مناضل عباس " تطوير المبردة الحالية الى مبردة ذات اربعة ابواب " مجلة جامعة كربلاء العلمية - المجلد السادس عشر - العدد الاول / علمي الصفحة 152-165 / اذار/ 2018

[20] <http://www.wescorhvac.com/Evaporative%20cooling%20white%20paper.htm>.

[21] Dr. John R. watt, P.E. "Evaporative Air Conditioning " HANDBOOK Second edition

<https://www.scribd.com/.../Evaporative-Air-Conditioning-Handbook-2nd-Edition-Dr-Jo>

[22] ASRAE ASHRAE Handbook of Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Condition. Atlanta, GA, 2013.

[23] El-Nouty.F.D., A. A. Al-Haidary, and M. S. Salah. "Spray cooling effect on milk production; some blood parameters and thyroid hormones of Holstein cows in the semi-arid environment", Indian J Anim Sci. 63: 360-364, 1990.

جدول رقم (1) العناصر التي تم قياسها وحسابها للهواء والماء المتدفق.

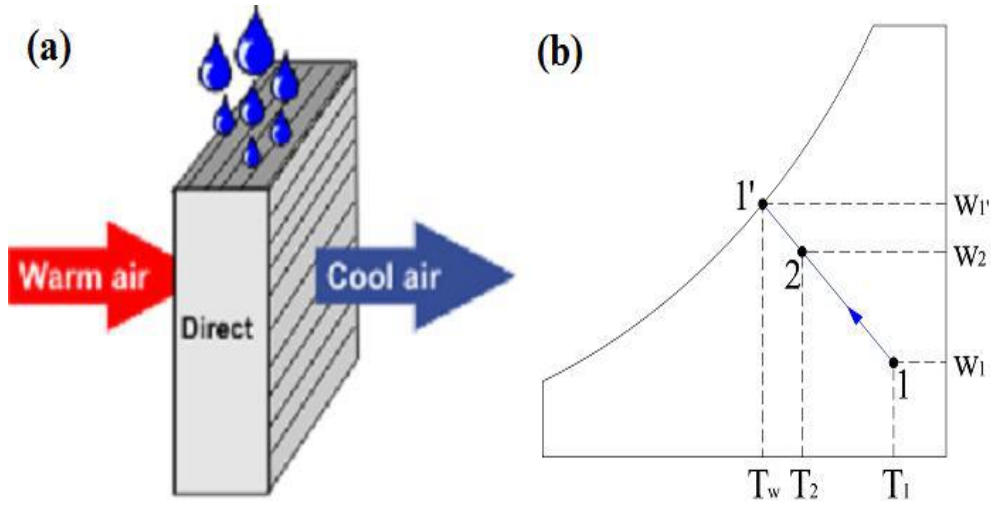
Time	Q_w (L/hr)	T_{in} (°C)	Rh_{in} (%)	T_w (°C)	T_{out} (°C)	Rh_{out} (%)	D (°C)	η (%)
10:15 am	800	31.0	20	16.2	29.4	41	1.6	10.8
10:30 am	900	31.0	20	16.2	29.3	50	1.7	11.5
10:45 am	1000	31.0	20	16.2	28.0	54	3.0	20.3
11:00 am	1100	31.0	20	16.2	27.0	57	4.0	27.0
11:15 am	1200	31.4	20	16.4	26.0	58	5.4	36.0
11:30 am	1300	31.6	20	16.7	25.0	60	6.6	44.3
11:45 am	1400	31.8	19	16.5	23.4	64	8.4	54.9
12:00 pm	1500	31.8	19	16.5	23.4	68	8.4	54.9
12:15 pm	1600	31.8	19	16.5	23.4	70	8.4	54.9
12:30 pm	1650	32.0	18	16.4	23.2	74	8.8	56.4
12:45 pm	1700	32.6	18	16.5	23.5	76	9.1	56.5
1:00 pm	1750	33.0	18	17.0	23.3	78	9.7	60.6
1:15 pm	1800	33.5	17	16.5	23.4	80	10.1	59.4
1:30 pm	1850	34.0	17	16.6	23.0	80	11.0	63.2

جدول رقم (2) العناصر التي تم قياسها وحسابها للهواء.

الهواء الخارجي الداخل للمبردتين				الهواء الخارج من المبردة الاعتيادية ذات ثلاثة أبواب				الهواء الخارج من المبردة المقترحة ذات أربعة أبواب			
Time	T _{in} (°C)	Rh _{in} (%)	T _w (°C)	T _{1out} (°C)	Rh _{1out} (%)	D ₁ (°C)	η ₁ (%)	T _{2out} (°C)	Rh _{2out} (%)	D ₂ (°C)	η ₂ (%)
9:45 am	30.5	21	16.2	30.3	51	0.2	1.4	27.7	59	2.8	19.6
10:00 am	31.4	21	16.8	28.0	53	3.4	23.3	26.0	58	5.4	37.0
10:15 am	31.5	21	17.0	27.8	52	3.7	25.5	25.2	61	6.3	43.4
10:30 am	31.6	20.5	16.9	27.4	55	4.2	28.6	25.0	66	6.6	44.9
10:45 am	32.0	20.5	17.1	26.5	61	5.5	36.9	24.8	70	7.2	48.3
11:00 am	32.4	20	17.3	27.0	63	5.4	35.8	24.9	72	7.5	49.7
11:15 am	32.8	20	17.5	26.2	64	6.6	43.1	24.0	71	8.8	57.5
11:30 am	33.3	19	17.8	26.5	64	6.8	43.9	23.9	74	9.4	60.6
11:45 am	34.0	18.5	17.8	26.0	65	8.0	49.4	23.8	74	10.2	63.0
12:00 pm	34.4	18	18.0	25.8	67	8.6	52.4	24.2	75	10.2	62.2
12:15 pm	34.5	17.5	18.0	26.2	66	8.3	50.3	24.0	72	10.5	63.6
12:30 pm	34.9	17	18.0	25.9	65	9.0	53.3	24.0	72	10.9	64.5
12:45 pm	35.0	16.5	18.5	25.8	65	9.2	55.8	24.1	72	10.9	66.1
1:00 pm	35.2	16	17.8	25.6	64	9.6	55.2	23.9	71	11.3	64.9
1:15 pm	35.4	15.5	17.9	25.0	63	10.4	59.4	23.2	70	12.2	69.7
1:30 pm	35.4	15	17.8	26.2	63	9.2	52.3	23.5	69	11.9	67.6
1:45 pm	35.4	15	17.8	26.2	62	9.2	52.3	23.5	70	11.9	67.6



الشكل رقم (1) منصات رطبة مستخدمة في البستنة [3].

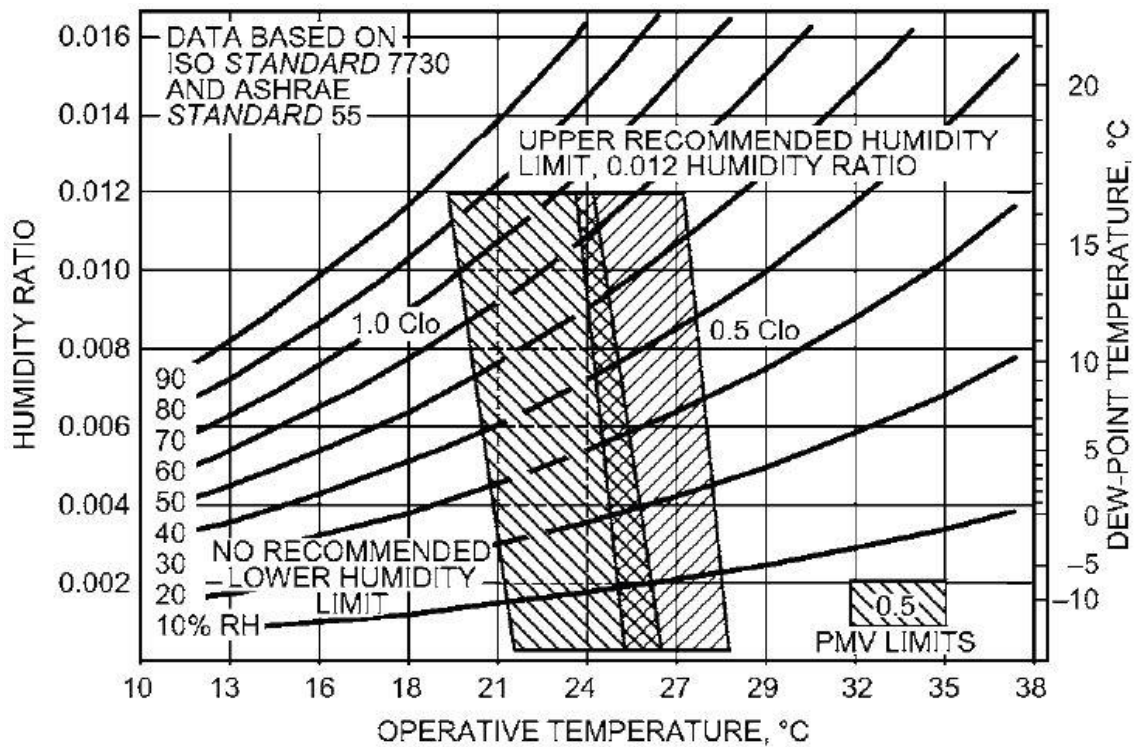


شكل رقم (2) التبريد التبخيري المباشر: (a) نموذج لنظام التبريد التبخيري المباشر، (b) التمثيل على خارطة الهواء

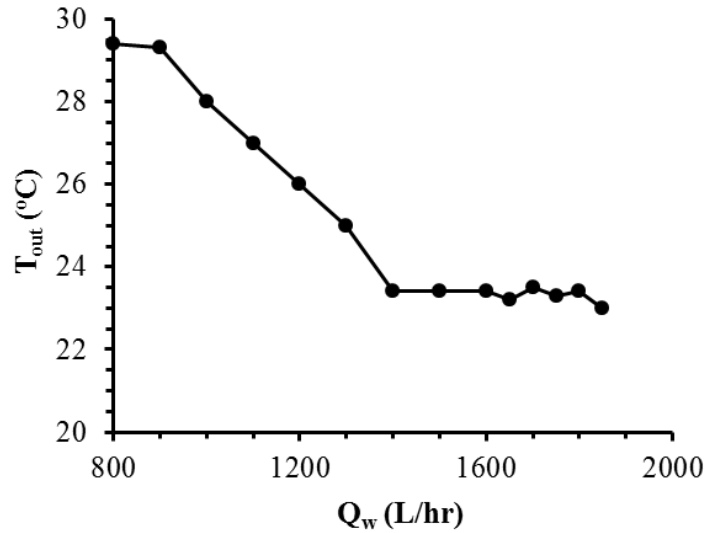
[20].



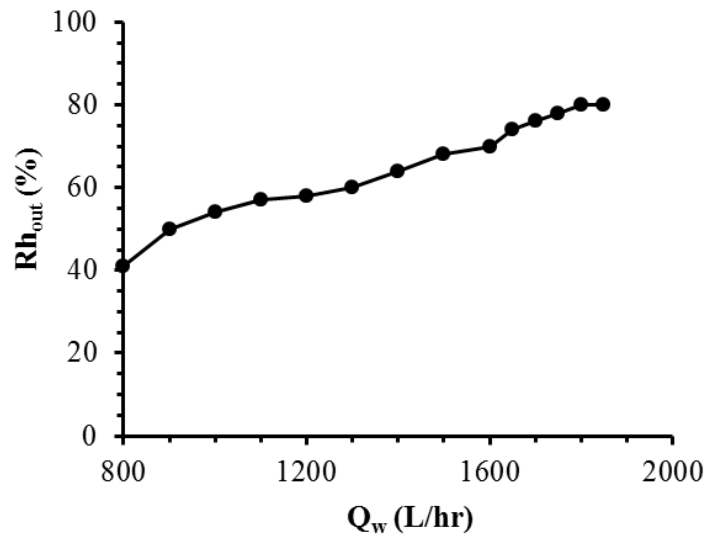
شكل رقم (3) المبردة المقترحة ذات تدفق ماء متغير. شكل رقم (4) جهاز قياس درجات الحرارة والرطوبة النسبية.



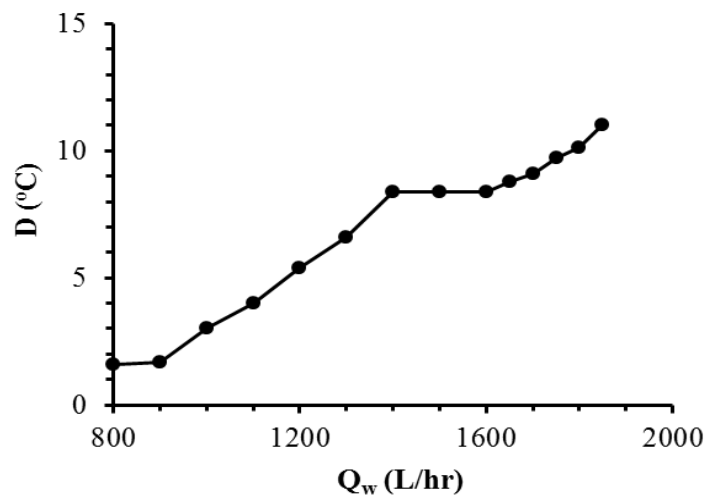
شكل رقم (5) خارطة الراحة للإنسان. [22]



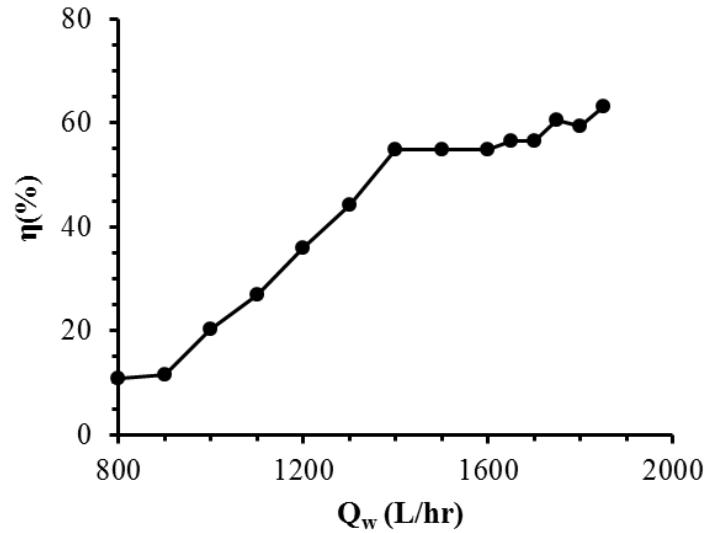
شكل رقم (6) يوضح مقدار درجة حرارة الهواء الخارج من المبردة المقترحة مع معدل تدفق الماء.



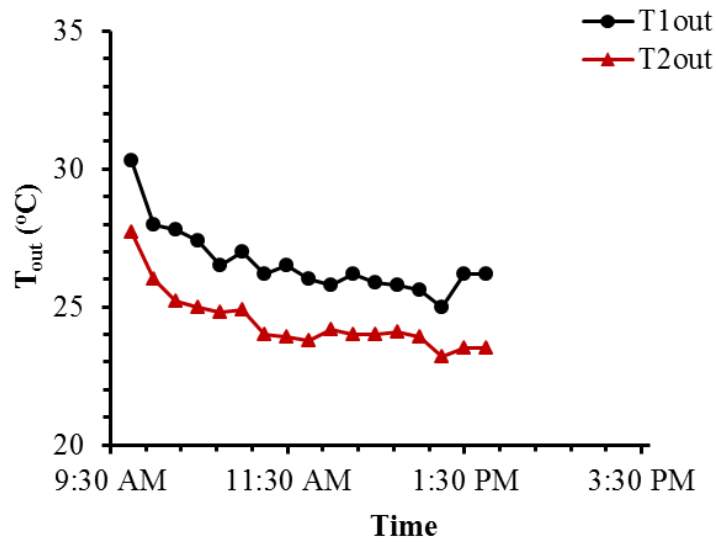
شكل رقم (7) يوضح مقدار رطوبة الهواء الخارج من المبردة المقترحة مع معدل تدفق الماء.



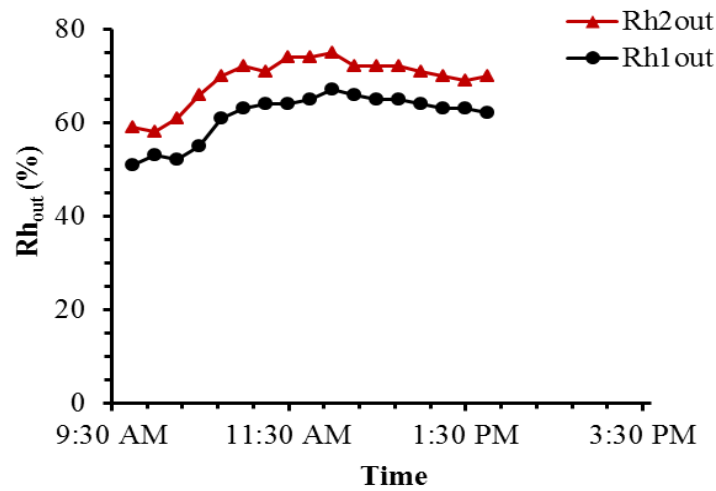
شكل رقم (8) يوضح مقدار مقدار الخفض في درجات حرارة الهواء داخل المبردة المقترحة مع معدل تدفق الماء.



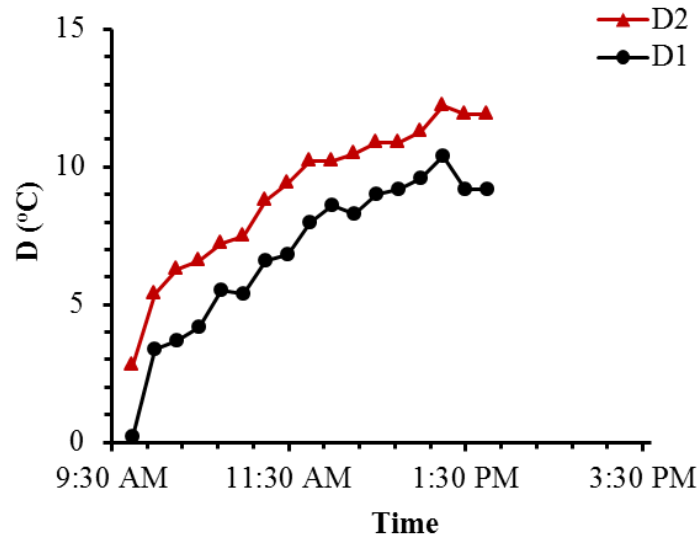
شكل رقم (9) يوضح مقدار الفاعلية التبريدية للمبردة المقترحة مع معدل تدفق الماء.



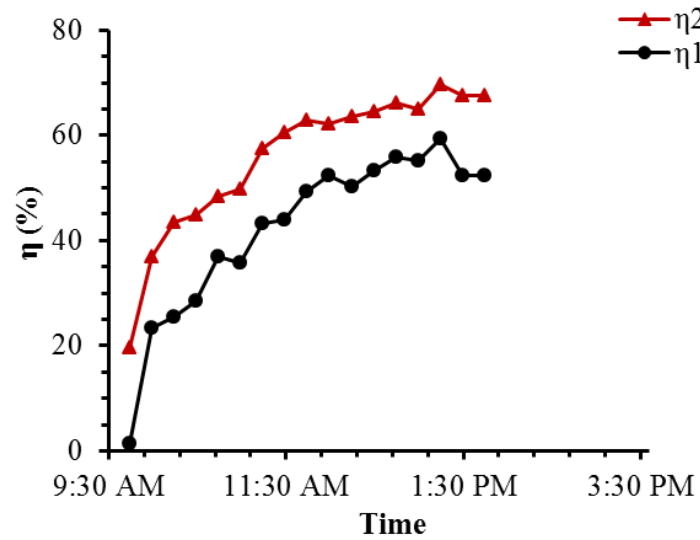
شكل رقم (10) يوضح مقدار درجة حرارة الهواء الخارج من المبردة المقترحة والاعتيادية مع الوقت.



شكل رقم (11) يوضح مقدار الرطوبة النسبية للهواء الخارج من المبردة المقترحة والاعتيادية مع الوقت.



شكل رقم (12) يوضح مقدار الخفض في درجات الحرارة للهواء في المبردة المقترحة والاعتيادية مع الوقت.



شكل رقم (13) يوضح الفاعلية التبريدية للمبردة المقترحة والاعتيادية مع الوقت.