مجلة جامعة الملك عبدالعزيز : علوم الأرصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة ، **١٦هـ ١٤** ، ص ص ٧٥-٨٨ (٢٠٠٥م/ ١٤٢٥هـ)

تقييم كفاءة المكيفات الصحراوية بتطبيق معادلة الكفاءة التبريدية ومعادلة انتقال الطاقة الحرارية

عبد الوهاب سليمان مشاط* ، أحمد عبدالله مكي* و تركي محمد حبيب الله**

**كلية الأرصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة ، جامعة الملك عبد العزيز، جدة*

***معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج ، جامعة أم القرى ، مكة المكرمة*

المملكة العربية السعودية

المستخلص. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم كفاءة المكيفات الصحراوية ذات رقائق الخشب أو القش (aspen wood or aspen pad) المستخدمة للتبريد بالتبخير بتطبيق معادلة الكفاءة التبريدية ومعادلة انتقال الطاقة الحرارية، حيث تم قياس درجة الحرارة والرطوبة النسبية لكل من الهواء الداخل إلى المكيف والخارج منه، و قياس سرعة تدفق الهواء. وباستخدام القياسات التي تمت خلال التجربة تم تقدير الكفاءة التبريدية ومعدل انتقال الطاقة الحرارية. وقد وجد أنه من الأفضل عند تقييم كفاءة المكيف الصحراوي لابد من استخدام معادلة الكفاءة التبريدية وكذلك استخدام معادلة انتقال الطاقة الحرارية معاً.

مقدمة

استخدمت فكرة التبريد بالتبخير منذ القدم عند الإغريق والمصريين القدماء وذلك بتبليل قطعة من القماش ووضعها على فتحة الخيمة أو النافذة كطريقة لتخفيض درجات

الحرارة وبالتالي تلطيف الجو. وطريقة التبريد بالتبخير تستخدمها النباتات في عملية البخر- نتح، وبعض الحيوانات التي تستخدم نفس فكرة التبريد بالتبخير عند خروجها من الماء إلى الهواء، وأيضاً يتخلص الإنسان من الحرارة الزائدة في جسمه نتيجة العمليات الحيوية والمجهود الزائد عن طريق تبخر العرق المتكون على جسمه فتنخفض درجة حرارة سطح الجلد.

وتقوم فكرة التبريد في المكيفات الصحراوية بتبخير الماء الموجود على رقائق الخشب والتي يتم إنتاجها من جذوع الأشجار، حيث يتم نشرها على هيئة رقائق، توضع داخل شبك من النايلون على شكل مربعات صغيرة يتم تثبيتها على شبابيك المكيف الصحراوي.

وتتناسب كمية التبخير مع مساحة سطح رقائق الخشب (القش) تناسباً طردياً مع مساحة السطح. و يعتمد التبخير على كمية الهواء المار فوق السطح المبلل خلال رقائق الخشب، فإذا كانت سرعة الهواء عالية زادت كمية التبخير (فرج، ١٩٩٩). كما تتأثر كمية التبخير بعدد من العوامل، أهمها درجة حرارة وجفاف الهواء وارتفاع درجة حرارة سطح الماء. وتعتمد كفاءة التبريد باستعمال المكيفات الصحراوية على الفرق بين درجة حرارة الهواء الجاف الداخل والخارج، ويمكن استنتاج درجة التبريد بتطبيق معادلة الكفاءة التبريدية. كما أوضحت الدراسات أنه في حالة تبريد الإنسان في جو رطب فإن الكفاءة التبريدية الملائمة لراحة الإنسان الحرارية يجب أن تكون عند رطوبة نسبية ما بين ٢٠٪ - ٨٠٪ (ASHRAE, 1984).

وقد قام الباحثون (Dowdy *et al.,* 1986) بحساب معاملات انتقال الحرارة والكتلة (heat and mass transfer coefficients) تجريبياً لعملية التبريد بالتبخير لسماكات مختلفة ومتنوعة من رقائق الخشب، وقاموا برسم المنحنيات وإستنتاج مجموعة من المعادلات التطبيقية من هذه المنحنيات. ومن الدراسات التطبيقية بالمملكة العربية السعودية تلك الدراسة التي قام بها العامري وآخرون (٢٠٠٢) بتقييم أداء المكيفات الصحراوية في المشاعر المقدسة بمنطقة منى خلال يومي ١١ وَ ١٢ من ذو الحجة عام ١٤٢٢هـ لستين

خيمة موزعة على أربع مناطق مختلفة بمنى. أخذت القراءات لخيام مكتظة بالحجاج وأخرى شبه فارغة لدراسة تأثير عدد الحجاج بالخيمة الواحدة على المحتوى الرطوبي بالخيام مع الاستدلال بقراءات درجة حرارة الهواء الجاف والمبلل والرطوبة النسبية والاعتماد على معادلة الكفاءة التبريدية باستخدام رقائق الخشب والتي كانت جيدة نسبياً بمتوسط ٤٧٪، و استنتج الباحثون أن زيادة محتوى الرطوبة للخيام المكتظة بالحجاج يعود إلى ما يطرحه جسم الإنسان من رطوبة بالحيز المراد تكييفه.

وحيث أنه في معادلة الكفاءة التبريدية التي استخدمت في البحوث السابقة لم يؤخذ في الاعتبار كمية الهواء الذى تم تبريده أي الطاقة المفقودة لكل متر مكعب من الهواء والتي يعتمد عليها قدرة المكيف على تبريد حجم معين أو حيز من الهواء، لذا سيتم استخدام معادلة انتقال الطاقة كدلالة فعلية على كفاءة نظام التبريد في المكيف الصحراوي. والغرض من هذه الدراسة تقييم كفاءة التبريد للمكيف الصحراوي ذو رقائق الخشب سُمك ٣سم، حيث تحظى مكة المكرمة بوجود خمسمائة ألف مكيف صحراوي يستخدم رقائق الخشب بمشعر منى خلال فترة الحج. وسوف يتم تقييم كفاءة المكيف الصحراوي باستخدام معادلة الكفاءة التبريدية ومعدل انتقال الطاقة الحرارية.

المواد والطرق المستخدمة

تم القيام بهذه الدراسة بمعهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج بجامعة أم القرى بمكة المكرمة، حيث تم تركيب المكيف الصحراوي في أحد معامل المعهد. والمكيف المستخدم في التجربة مكون من غرفة حديدية مقفلة من القاع والسطح ذات ثلاثة جوانب على هيئة الشبابيك يوضع عليها مادة رقائق الخشب (القش)، وعلى الجانب الرابع تم تثبيت مجرى لخروج الهواء المبرد من الجهة الأمامية للمكيف بطول واحد ونصف المتر. ويتركب المجرى من شرائح حديدية سمك (٥ , ١ ملليمتر) مغلف بعازل حراري حتى لا يتأثر بالوسط المحيط الخارجي وبه فتحتين الأولى تم تثبيتها على فوهة المكيف والأخرى من الجهة المقابلة مفتوحة لخروج الهواء الخارجي حيث يمكن التحكم في مقدار شفط الهواء بواسطة المروحة ذات مفتاح كهربائي لتغيير سرعة الهواء الخارج

(الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس، ١٩٩٧). ولقد تم تجهيز المكيف بالأجهزة المطلوبة لقياس درجات الحرارة و الرطوبة للهواء الخارج من المكيف باستخدام سلك ثرموكابل (Thermocouple) مكون من معدنين مختلفين (Copper-Constantan)، وتم قياس درجات حرارة البصيله المبللة (wet bulb temperature) التي دُهن فيها العنصر الحساس الثرموكابل بمادة رقيقة من الغراء البلاستك يصل سُمكها إلى جزء من المليمتر لتجنب تأثره بالماء والبصيله المبللة عبارة عن قطعة قماش من القطن أو الموسلين تم إدخال العنصر الحساس من السلك فيها ومتصلة بقارورة معبأة بالماء المقطر لتزويد الفتيلة بالماء بحيث عندما يتبخر الماء من قطعة القماش التي على العنصر الحساس تقل درجات الحرارة. ولقد تم وضع المجسات على بعد متر واحد من فوهة المكيف داخل مجرى الهواء بعيداً عن ملامسة الجدار (شكل ١).

وحيث أن الهواء الداخل إلى المكيف الصحراوي هو الهواء الخارجي لذا تم وضع كشك للأرصاد فوق المكيف الصحراوي مزود بنفس الأجهزة الموجودة بداخل المعمل وذلك للمقارنة بين الهواء الداخل والخارج من المكيف الصحراوي (شكل ٢). ولتغذية المكيف الصحراوي بالماء، تم وضع خزان ماء داخل المعمل وذلك للحفاظ على ثبات درجة حرارة الماء داخل خزان المكيف الصحراوي حيث أن درجة حرارة الماء المستخدم في المكيف يؤثر على كفاءة المكيف. و تم إستخدام سلك الثرموكابل لقياس درجة حرارة الماء داخل خزان المكيف الصحراوي مع طلاء العنصر الحساس فيه بمادة الغراء سُمك ٢ ملليمتر لعزله عن الماء مع الحفاظ على الحساسية اللازمة للقياس. وللتحكم في تأثير الإشعاع الشمسي على كفاءة المكيف تم تظليله من أشعة الشمس المباشرة والتي يمكن أن تزيد من درجة حرارة الماء.

ولقياس سرعة الهواء الخارج من المكيف الصحراوي في داخل المجرى تم استخدام جهاز الأنيمومتر (Anemometer)، وبالتالي تم حساب معدل تدفق الهواء (تصريف الهواء) الناتج من حاصل ضرب سرعة الهواء في مساحة مقطع مجرى المكيف العرضي. أما الضغط الجوي فقد تم أخذه من محطة مناخية مجاورة لمكان إجراء التجربة، حيث أن التغير في الضغط الجوي مع المسافة الأفقية غير محسوس ولا مؤثر

شكل (١). وضع مجسات الثرموكابل لقياس درجة حرارة الثرمومتر الجاف والمبلل داخل جهاز به مروحة لشفط عينة من الهواء الخارج من المكيف على المجسات.

شكل (٢). المكيف الصحراوي وكشك الأرصاد من خارج المعمل.

على الحسابات الناتجة عنه. وتم توصيل جميع الأجهزة التي تم استخدامها في القياس بمجمع بيانات (Data Logger) لتخزين المعلومات، ثم نقلها للحاسب الآلي المحمول لعمل الحسابات المطلوبة (شكل ٣).

ولقد تم القيام بمعايرة الأجهزة قبل إجراء التجارب في حجر معايرة (حضانات) تابعة لقسم الأرصاد بكلية الأرصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة بجامعة الملك عبد العزيز بجدة، وتمت معايرة الأجهزة بدقة متناهية لتجنب الأخطاء حيث تم وضع كل أسلاك الثرموكابل وعنصر قياس درجة الحرارة (Probe) في غرفة المعايرة وبعد ذلك تم البدء في المعايرة بتدريج درجات حرارة غرفة المعايرة من خمس درجات مئوية إلى خمسين درجة مئوية مع أخذ القراءات كل خمس درجات مئوية وتسجيل قراءة غرفة المعايرة (Y) وقراءات درجات الحرارة (X) وبعد الانتهاء من المعايرة تم تطبيق معادلة الانحدار (Y=aX—b) من خلال البرنامج الإحصائي بالحاسب الآلي. والسبب وراء أخذ عنصر قياس درجة الحرارة هو لزيادة التأكد من صحة البيانات وقت التجربة. وبالنسبة

شكل (٣). مكونات التجربة من داخل المعمل.

لعنصر قياس الرطوبة النسبية فتمت معايرته عن طريق أجهزة المعايرة مع تطبيق معادلة الانحدار بعد تجميع البيانات. وأخيراً تم وضع أجهزة يدوية وترمومترات زئبقية أثناء القيام بإجراء التجارب للتأكد من صحة القراءات.

ولحساب الكفاءة التبريدية للمكيف الصحراوي فقد تم تطبيق بعض المعادلات التي تمثل الجانب الأساسي للتبريد (الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس، ١٩٧٧؛ و Liao *et al.,* 1998 ؛ و (Al-Sulaiman, 2002) وهي على النحو التالي:

١- تم حساب مقدار تدفق الهواء باستخدام المعادلة

$$Q = A \times V \qquad (١)$$

حيث أن Q تدفق الهواء (م^{٣}/ ث)، و A المساحة العرضية لمقطع فتحة المكيف (م^{٢})، و V سرعة الهواء الخارج من المكيف (م/ ث).

٢- تم حساب الكفاءة التبريدية (Cooling Efficiency) باستخدام المعادلة

$$C_{eff} = \frac{T_{id} - T_{od}}{T_{id} - T_{iw}} \times 100 \qquad (٢)$$

حيث أن Ceff الكفاءة التبريدية (٪)، و T_{id} درجة حرار الثرمومتر الجاف للهواء الداخل للمكيف الصحراوي (درجة مئوية)، و T_{od} درجة حرار الثرمومتر الجاف للهواء الخارج من المكيف الصحراوي (درجة مئوية)، و T_{iw} درجة حرارة الثرمومتر المبلل للهواء الداخل للمكيف الصحراوي (درجة مئوية).

٣- تم حساب معدل تبخر الماء باستخدام المعادلة

$$E = \rho_a \times Q(W_o — W_i) \qquad (٣)$$

حيث أن E معدل تبخر الماء (كجم/ ساعة)، و ρ_a كثافة الهواء (كجم/ م^{٣})، و W_o نسبة الخلط (mixing ratio) للهواء الداخل للمكيف (كجم/ كجم)، و W_i نسبة الخلط للهواء الخارج من المكيف (كجم/ كجم). وتم تقدير قيم W_i و W_o باستخدام المعادلتين

$$W_i = 0.622 \frac{e_i}{P - e_i} \qquad (٤)$$

$$W_o = 0.622 \frac{e_o}{P - e_o} \quad (٥)$$

حيث أن e_i و e_o ضغط بخار الماء الفعلي للهواء الداخل للمكيف والخارج منه على التوالي (ملليبار)، و P الضغط الجوي (ملليبار).

٤- تم حساب معدل انتقال الطاقة الحراري باستخدام المعادلة

$$q = \rho_a C_p Q(T_{id} - T_{od}) + \rho_a C_{pv} Q[W_i(T_{id} - T_{od}) - W_o(T_{od} - T_{iw})] \quad (٦)$$

حيث أن q معدل انتقال الطاقة الحرارية (جول/ ثانية)، و C_p الحرارة النوعية (specific heat) للهواء الجاف عند ثبوت الضغط الجوي (جول/ كجم درجة مئوية)، و C_{pv} الحرارة النوعية لبخار الماء عند ثبوت الضغط الجوي (جول/ كجم درجة مئوية).

النتـــائـــج

تم وضع مادة رقائق الخشب (القش) سمك ٣سم على شبابيك المكيف الصحراوي، فبالإضافة إلى قياس درجات الحرارة والرطوبة النسبية للهواء الداخل والخارج من المكيف الصحراوي تم أخذ القراءات لجميع العناصر كل خمس دقائق للفترة ما بين الساعة الثامنة صباحاً و الثالثة ظهراً (حسب التوقيت المحلي لمكة المكرمة) والتي بلغت سبع ساعات متواصلة مع محاولة ثبوت درجة حرارة الماء المستخدم لتعويض الفقد، حيث أن درجة حرارة الماء قد تراوحت ما بين ٢٣,٧٤ درجة مئوية إلى ٢٥,٨٨ درجة مئوية بمتوسطه ٢٤,٨٩ درجة مئوية . ويوضح جدول (١) أن درجة حرارة الثرمومتر الجاف عند دخول الهواء تراوحت ما بين ٣٧,٩٦ درجة مئوية إلى ٤١,٦٤ درجة مئوية بمتوسط ٤٠,٣٣ درجة مئوية، بينما تراوحت درجة حرارة الثرمومتر المبلل ما بين ٢٣,٨ درجة مئوية إلى ٢٥,٣ درجة مئوية بمتوسط ٢٤,٥٥ درجة مئوية. وبعد مرور الهواء في المكيف من خلال رقائق الخشب فقد تراوحت درجة حرارة الثرمومتر الجاف للهواء الخارج ما بين ٢٦,٢٤ درجة مئوية إلى ٢٧,٧٤ درجة مئوية بمتوسط ٢٧,٠١ درجة مئوية، ونظراً لتبخر الماء على سطح رقائق الخشب وما تبعه من تغيير في محتوى كمية الحرارة فقد وصل الفرق بين درجة حرارة الثرمومتر الجاف للهواء الداخل والخارج من

جدول (١). ملخص العناصر التي تم قياسها أو تقديرها في حالة استخدام رقائق الخشب بسمك ٣سم للمكيف الصحراوي.

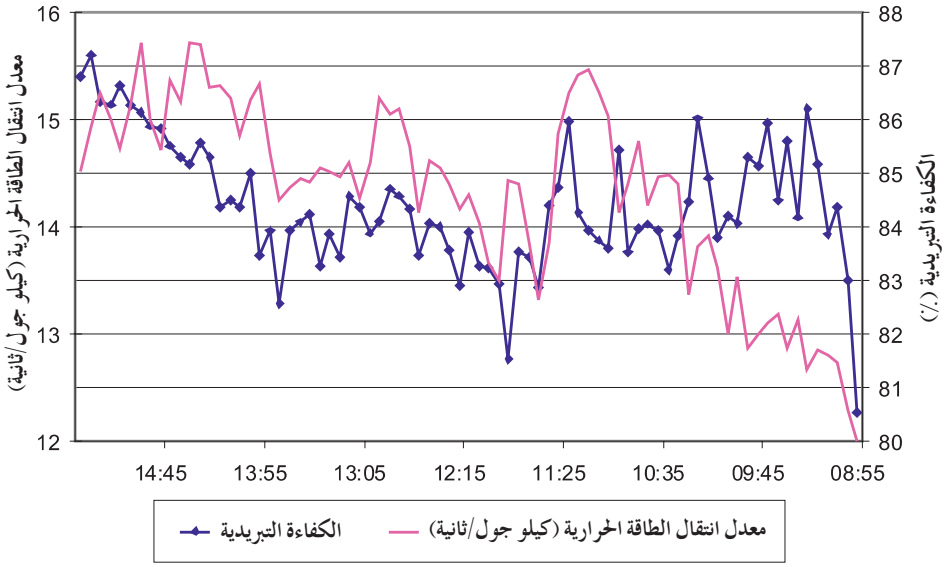
العنصـــــــــــــــر	أعلى قيمة	أقل قيمة	المتوسط	الانحراف المعياري
درجة حرارة الثرمومتر الجاف عند دخول الهواء (درجة مئوية)	٤١,٦٤	٣٧,٩٦	٤٠,٣٣	٠,٩١
درجة حرارة الثرمومتر المبلل عند دخول الهواء (درجة مئوية)	٢٥,٣٠	٢٣,٩٨	٢٤,٥٥	٠,٣٣
درجة حرارة الثرمومتر الجاف عند خروج الهواء (درجة مئوية)	٢٧,٧٤	٢٦,٢٤	٢٧,٠١	٠,٤٠
درجة حرارة الثرمومتر المبلل عند خروج الهواء (درجة مئوية)	٢٤,٢٩	٢٢,٥٠	٢٣,٤٤	٠,٤٤
درجة حرارة الماء في خزان المكيف الصحراوي (درجة مئوية)	٢٥,٨٨	٢٣,٧٤	٢٤,٨٩	٠,٥٨
الرطوبة النسبية عند دخول الهواء (٪)	٣٢,٩٧	٢١,٣١	٢٦,٣٩	٢,٦٢
الرطوبة النسبية عند خروج الهواء (٪)	٧٧,٤١	٧٠,٩١	٧٣,٨٨	١,٥٠
سرعة الهواء (م/ ث)	٣,٧	٣,٤	٣,٦	٠,١
تدفق الهواء (م٣/ ث)	٠,٨٦	٠,٧٩	٠,٨٤	٠,١
معدل تبخر الماء (كجم/ ساعة)	١٩,٥٢	١٠,٨٤	١٥,٨٥	١,٦٣
الكفاءة التبريدية (٪)	٨٧,٢٢	٨٠,٥٢	٨٤,٤١	١,١٨
معدل انتقال الطاقة الحرارية (كيلوجول/ ثانية)	١٥,٧٢	١٢,٠	١٤,٣٢	٠,٩

المكيف الصحراوي إلى ١٣,٣ درجة مئوية تقريباً، كذلك تراوحت درجة حرارة الثرمومتر المبلل عند خروج الهواء ما بين ٢٢,٥ درجة مئوية إلى ٢٤,٢٩ درجة مئوية بمتوسط ٢٣,٤٤ درجة مئوية. أما الرطوبة النسبية للهواء الداخل إلى المكيف فقد تراوحت ما بين ٢١,٣١٪ إلى ٣٢,٩٧٪ بمتوسط ٢٦,٣٩٪. هذا الهواء يعتبر مائلا إلى الجفاف مما أدى إلى زيادة معدل التبخير، لذلك فقد زادت الرطوبة النسبية للهواء الخارج إلى ٧٣,٨٨٪ في المتوسط حيث تراوحت مابين ٧٠,٩١٪ إلى ٧٧,٤٪، وبالتالي فقد

كان الفرق بين الرطوبة النسبية للهواء الداخل والهواء الخارج من المكيف حوالي ٤٧٪ في حالة استخدام رقائق الخشب.

ومن سرعة الهواء فقد تم حساب تدفق الهواء وذلك بمعرفة مساحة مقطع مجرى المكيف من المعادلة (١) والتي كانت ٠,٨٤ م٣/ ث في المتوسط. وباستخدام القياسات التي تمت خلال التجربة وبتطبيق المعادلة (٢) لحساب الكفاءة التبريدية فقد وجد أن الكفاءة التبريدية للمكيف الصحراوي باستخدام رقائق الخشب تتراوح ما بين ٥,٨٠٪ إلى ٢,٨٧٪ بمتوسط ٤١,٨٤٪. كما تم تقدير معدل تبخر الماء بالمكيف الصحراوي المستخدم لرقائق الخشب والتي تم حسابه باستخدام المعادلة (٣) ويتراوح ما بين ٨٤,١٠ كغم/ ساعة إلى ٥٢,١٩ كغم/ ساعة بمتوسط ٨٥,١٥ كغم/ ساعة. كما تم حساب معدل انتقال الطاقة الحرارية باستخدام المعادلة (٦) والذي تراوح ما بين ٧٢,١٥ كيلوجول/ ثانية إلى ٠,١٢ كيلوجول/ ثانية بمتوسط ٣٢,١٤ كيلوجول/ ثانية، ويعتبر معدل انتقال الطاقة الحرارية أحد أهم المحاور الأساسية لتقدير كفاءة المكيف الصحراوي بجانب حساب الكفاءة التبريدية وتكمن أهميته في حالة خروج الهواء المبرد من المكيف الصحراوي بسرعة عالية مع كفاءة تبريدية مناسبة فانه يمكن تغيير خصائص الهواء الموجود في الغرفة بأقل زمن ممكن.

ويوضح الشكل ٤ مقارنة الكفاءة التبريدية مع معدل انتقال الطاقة الحرارية باستخدام رقائق الخشب وهي مقارنة مطردة ماعدا الساعة الأولى حيث أن الكفاءة التبريدية كانت مرتفعة وذلك لأن درجة حرارة الهواء الداخل قريبة من درجة حرارة الترمومتر المبلل بالإضافة أن درجة حرارة الماء في الخزان لم تصل إلى درجة حرارة الترمومتر المبلل مما يعطينا كفاءة تبريدية عالية على الرغم من أنه لم يحدث تبخير كبير من الماء أي أن معدل انتقال الطاقة قليل. ولدخول تدفق الهواء في معادلة معدل انتقال الطاقة الحرارية بالإضافة إلى مواصفات الكتلة الهوائية الداخلة والخارجة من المكيف فإن ذلك يدل على أنها تمثل الكفاءة المثلى للمكيف الصحراوي لأن المكيف لا تستقر كفاءته على التبريد فقط ولكن تدفق الهواء الخارج من المكيف يمثل العامل الأكبر في الكفاءة التبريدية للمكيف الصحراوي.



شكل (٤). مقارنة بين الكفاءة التبريدية ومعدل انتقال الطاقة الحرارية باستخدام رقائق الخشب في المكيف الصحراوي.

الاستنتاجات والتوصيات

من أهم الاستنتاجات أنه من الأفضل لتقدير كفاءة المكيف الصحراوي استخدام معادلة الكفاءة التبريدية ومعادلة انتقال الطاقة معاً وذلك لأخذ اعتبار كمية الطاقة المفقودة أثناء التبخير. وكذلك وجد أن كمية الهواء المار خلال رقائق الخشب (أو القش) يلعب دوراً كبيراً في كفاءة تبريد الهواء (كفاءة المكيف)، لذا نوصي بإجراء مزيد من الدراسات على مواد مختلفة ذات نفاذية مختلفة للهواء للحصول على كفاءة عالية للمكيف الصحراوي.

قائمة المراجع

المراجع العربية

الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس (١٩٧٧) طرق اختيار مبردات الهواء بتبخير الماء (المكيفات الصحراوية). الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس – الرياض.

العامري، رحيم كاظم و علي عبد الكريم محمد علي و تركي محمد حبيب الله (٢٠٠٢) تقييم وتطوير أداء المكيفات الصحراوية (التبخيرية) في المشاعر المقدسة (بمنطقة منى). تقرير - معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج، جامعة أم القرى، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية.

فرج، علي محمد (١٩٩٩) أجهزة التبريد والتكييف. دار دمشق، شارع بور سعيد، سورية.

المراجـــع الأجنبيـــة

Al-Sulaiman, F. (2002) Evaluation of the Performance of Local Fibers in Evaporative Cooling. *Energy Conversion and Management,* **43**(16): 2267-2273.

ASHRAE (1984) *ASHRAE Handbook of Fundamentals.* American Society of Heating, Refrigerating and Air-Condition. Atlanta, GA.

Dowdy, J.A.; Rrid, R.L.; and **Handy, E.T.** (1986) Experimental Determination of Heat and Mass Transfer Coefficients in Aspen Pads. ASHRAE Transactions, 92 (2A), pp. 60-70.

Liao, C.M., Singh, S., and **Wang, T.S.** (1998) Characterizing the Performance of Alternative Evaporative Cooling Pad Media in Thermal Environmental Control Applications. *J. Environ. Science Health,* Part A, **33**(7): 1391-1417.

Evaluation of the Efficiency of Evaporative Cooler Using Cooling Efficiency Equation and Heat Transfer Equation

ABDUL-WAHAB S. MASHAT* , AHMED A. MAKKEY*
and TURKI M. HABEEBULLAH**
* *Meteorology Department, Faculty of Meteorology, Environment and Arid Land agriculture, King AbbdulAziz University,Jeddah*
** *The Custodian of the Two Holy Mosques Institute of Hajj Research Umm Al-Qura University, Makkah, Saudi Arabia*

ABSTRACT. The aim of this study is to evaluate the efficiency of Evaporative Cooler with aspen wood or aspen pad. Dry-bulb temperature, wet-bulb temperature, and relative humidity of air in and out the Evaporative Cooler, and water temperature were measured. The cooling efficiency and mean heat transfer flows were calculated by applying cooling efficiency equation and heat transfer equation. It was found that for better evaluation of the efficiency of Evaporative Cooler to use both equations.