تأثير الرطوبة على معامل انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي[+]

EFFECT OF MOISTURE CONTENT ON THE COEFFICIENT OF NATURAL CONVECTION HEAT TRANSFER

عاصم صاحب علاوي[*]

المستخلص

أن انتقال الحرارة بالحمل من سطح معين يعتمد فيما يعتمد عليه على خواص المائع الموجود في الطبقة المتاخمة وعلى درجة حرارتها وعند وجود محتوى رطوبة معين فأن خواص الهواء في هذه الطبقة تتغير وخاصة الكثافة و اللزوجة و الموصلية الحرارية ومعامل الحرارة النوعية . في هذا البحث تمت دراسة تأثير محتوى الرطوبة أو الرطوبة النسبية على معامل انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي لأشكال هندسية مختلفة (سطح مستو عمودي و أفقي و اسطوانة عمودية أو أفقية .... وغيرها) وسواء كانت الطبقة المتاخمة ذات طبيعة طباقية (laminar) أو مضطربة (Turbulent) . تبين نتائج هذا البحث أن قيمة معامل انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي تزداد بزيادة محتوى الرطوبة أو الرطوبة النسبية عند درجة حرارة معينة للهواء وأن أعلى قيمة لها عند درجة الإشباع أي عندما تكون الرطوبة النسبية (100%) . و تبلغ قيمة هذه الزيادة في معامل الحمل الحراري الحر عند درجة حرارة الطبقة الحدية (C 75) ، (34%) من قيمتها عند تعرض السطح إلى الهواء الجاف في حالة الانسياب الطبقي للطبقة الحدية والى (52%) في حالة الانسياب المضطرب . تم تثبيت النتائج في منحنيين (مشابه لمخطط البخار (PSYCHROMETRIC CHART)) أحدهما للانسياب الطبقي والآخر للانسياب المضطرب .

Abstract

Heat transfer by natural convection from specific surface to moist air depends on the properties of the boundary film layer ,characteristic length and the temperature difference . The properties like density, viscosity, coefficient of conductivity and specific heat coefficient depend on the content moisture and the temperature of the film layer . This study is to separate the effect of moisture from the effect of the dry air on the natural heat transfer coefficient in developing two chart , one for laminar boundary layer and second for turbulent boundary layer .The two charts give the rational value for the moisture air heat transfer natural coefficient to the coefficient of the dry air for each relative humidity value and temperature of the film boundary layer . The effect of moisture air excesses of the natural coefficient of dry air reach 34% for laminar boundary layer and 52% for turbulent boundary layer at saturated air (relative humidity =100%) .

[+] تاريخ استلام البحث :٢٠٠٤/٥/٥، تاريخ قبول النشر : ٢٠٠٥/٣/١٦

[*] الكلية التقنية الهندسية – بغداد/بغداد/العراق.

NOMENCLATURE

Notation :

B	**bulk expansion coefficient**	**1/K**
Cp	**specific heat at constant pressure**	**kJ/kg K**
g	**Gravitational acceleration**	**m/s^2**
Gr	**Grashof number**	
Nu	**Nusselt number**	
Pr	**Prandtl number**	
P	**pressure**	**Pa**
h	**heat transfer natural coefficient**	**W/m^2 K**
RH	**relative humidity**	
T	**Temperature (0 C < T < 100 C)**	**C**
k	**heat conductivity**	**W/m K**
x	**mole fraction**	
w	**moisture content**	**kg moist./kg dry air**
Ψ	**rational coefficient**	
μ	**viscosity**	**pa s**
ρ	**density**	**kg/m^3**
Δt	**temperature difference**	**C**

Indices:

Cp	**specific heat at constant pressure**
d	**dry air**
m	**moist air**
h	**coefficient of heat transfer natural convection**
t	**total**
v	**water vapor**
s	**air saturated with water**
k	**heat conductivity**
μ	**viscosity**
ρ	**density**

المقدمة والبحوث السابقة (Introduction and Literature Review)

من العوامل المهمة المؤثرة في العمليات التي تجري في حقل التبريد والتكييف محتوى الرطوبة وهو الذي يـؤثر بصورة مباشرة على مستوى راحة الإنسان وإنتاجيته .أن عملية التحكم في مقدار محتوى الرطوبة له أهمية بالغة فـي حقل مهندسي التبريد والتكييف .إن للظروف المناخية العراقية تطرفاً في قيم هذه الخاصية حيث تصل إلى نسب عاليـة مما يؤثر في كل مجالات الحياة وطريقة عمل الأجهزة والمكائن . تتغير قيمة الرطوبة النـسبية كلمـا ازدادت درجـة حرارة الهواء ولكل درجة حرارة توجد قيمة قصوى لهذا المحتوى يطلق عليها حالة الإشباع وتبلـغ فيهـا الرطوبـة النسبية (100%) .أن عملية انتقال الحرارة التي تتم عبر السقوف والجدران نتيجة وجود فرق في درجات الحرارة بين سطحي هذه الجدران الخارجي والداخلي يتم بطريقة الحمل الطبيعي والتي تكون قيم محتوى الرطوبة فيهما مختلف مع ساعات النهار مما يعني عدم صحة استخدام قيم واحدة وثابتة لمعامل الحمل الطبيعي على طول سـاعات اليـوم . إن اختلاف قيم محتوى الرطوبة والرطوبة النسبية خلال ساعات النهار يؤثر كعامل أضافي عند حساب السريان الحراري من والى الحيز وبالتالي على كمية الطاقة الكلية المحسوبة .لقد تم إنجاز الكثير من البحوث لحـساب معامـل أنتقـال

الحرارة بالحمل الطبيعي [3],[2],[1] إذ تبحث في حساب معامل الحمل الحر بطريقة التجربة من سطوح ساخنة آلـــي الهواء المحيط ، دون ذكر لمحتوى الرطوبة أو الرطوبة النسبية بل تؤخذ كقيم ثابتة داخل الحيز وكقيم بدلالـــة ســـرعة الهواء عند السطح الخارجي . في البحوث [6],[9],[2] تدخل قيمة محتوى الرطوبة ضمنيا في المعاملات ألابعدية التي تحدد قيم معامل الحمل الحر كعدد كراشوف ،برا نتل ،وعدد نسلت (Gr ,Pr ,& Nu numbers) حيث لا تبين تأثير الرطوبة بشكل واضح بل تدخل بشكل غير مباشر عند حساب قيم خواص المائع المحيط والذي هو هواء رطب . من البحوث المحلية التي اهتمت بالسريان الحراري الحاصل في الجدران الخارجية هي [9],[1],[3] إذ تم بنـــاء جهـــاز خاص لحساب قيمة معامل الحمل الحراري الحر ولم يجري فيه ذكر محتوى الرطوبة أو اختلاف قيمها علـــى نتـــائج التجارب التي أجريت وخاصة على قيمة (h) .من هنا تبلورت فكرة أجراء دراسة مستندة على التحليل النظري وعلـــى المقارنة مع ما تم الوصول اليه من التجارب المختبرية لآخرين لغرض الحصول على قيمـــة دقيقـــة لمعامـــل انتقـــال الحرارة بالحمل الحر .أن خطوات البحث تتمثل بالخطوات التالية :

١-مراجعة الدراسات السابقة الخاصة بطرق إيجاد معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر وفيما اذا تم الأخـــذ بنظـــر الاعتبار محتوى الرطوبة وتغيرها مع درجة حرارة الطبقة الحدية . رغم دراسة العديد من البحوث منها التـــي ذكرت آنفا لم نرى دراسة تبين بشكل واضح ودقيق علاقة محتوى الرطوبة والرطوبة النـــسبية علـــى قـــيم (h) وعلاقتها بدرجة حرارة الهواء الجافة .

٢-أيجاد طريقة تحليلية يتم فيها حساب هذا العامل مع الاستعانة ببرامج حاسوبية تم أعدادها في هذا البحث .

٣-تمثيل النتائج بشكل مشابه لمخطط البخار المستخدم في حقل هندسة التبريد والتكييف .

٤--مقارنة النتائج التي تم ا لحصول عليها في هذا البحث مع النتائج التي نحصل عليها مـــن تطبيـــق المعـــادلات الابعدية الموجودة [8],[7],[4] عند الظروف نفسها من درجة حرارة ومحتوى رطوبة .

النموذج الرياضـــــي (Mathematical Modelining)

لغرض حساب تأثير الرطوبة على انتقال الحرارة تم فصل تأثير الهواء الجاف عن تأثير الهواء الرطب . تم أخذ العلاقة العامة التي تربط المتغيرات الابعد ية للحمل الحر من أسطح لها وضعية هندسية عامة وعندما تكـــون الطبقـــة الحدية طباقية ومضطربة . لغرض أنجاز هذا الاشتقاق تم فرض آلاتي :

١-إن وجود محتوى رطوبة معين في الهواء الجاف لا يغير من طبيعة الانسياب في الطبقة الحدية إذ أن قيمة نـــسبة معامل الحمل للهواء الرطب والجاف مقاربة للواحد لذلك فأن القيم C ,n لا تتغير اي أن الرطوبة الموجـــودة لا تغير نوع الجريان للظروف نفسها والأبعاد .

٢-أن عملية الخلط لا تغير من درجة حرارة الهواء سواء القريبة أو البعيدة عن السطح .

أن قيمة عـــدد نسلت لسطح له درجة حرارة ثابتة (Isothermal temperature) معينة وموضوع فـــي حيـــز مـــن الهواء الرطـــــب تساوي [4],[7] :

$$Nu_m = C \cdot (Gr \cdot \Pr)_m^n \quad \text{.....1}$$

ان قيم C ,n تعتمد على طبيعة الطبقة الحدية .

Suppose :

$$\Psi_\rho = \frac{\rho_m}{\rho_d}, \ldots\ldots \Psi_{Cp} = \frac{Cp_m}{Cp_d}, \ldots\ldots \Psi_\mu = \frac{\mu_m}{\mu_d}, \ldots\ldots \Psi_k = \frac{k_m}{k_d} \quad \text{.....2}$$

Substituting eq.(2) in the eq.(1) :

$$Nu_m = C \cdot (\frac{\rho_d^2 \cdot \Psi_\rho^2 \cdot g \cdot B \cdot Cp_d \cdot \Psi_{Cp} \cdot \Psi_{Cp} \cdot \Delta t \cdot \mu_d \cdot \Psi_\mu \cdot Cp_d \cdot \Psi_{Cp}}{\mu_d^2 \cdot \Psi_\mu^2 \cdot K_d \cdot \Psi_K})^n \quad \ldots\ldots\ldots 3$$

$$\therefore Nu_m = C \cdot (Gr \cdot \Pr)_d^n \cdot \left(\frac{\Psi_\rho^2 \cdot \Psi_{Cp}^2}{\Psi_\mu \cdot \Psi_K} \right)^n \ldots\ldots\ldots 4$$

$$\therefore Nu_m = Nu_d \cdot \Psi_t^n$$

$$\therefore \Psi_{Nu} = \frac{Nu_m}{Nu_d} = \Psi_t^n \ldots\ldots\ldots 5$$

Where $$\Psi_t = \frac{\Psi_\rho^2 \cdot \Psi_{Cp}^2}{\Psi_\mu \cdot \Psi_K} \ldots\ldots\ldots 6$$

$$\therefore \Psi_t^n = \frac{Nu_m}{Nu_d} = \frac{h_m}{h_d} \cdot \frac{K_d}{K_m} = \frac{\Psi_h}{\Psi_K} \ldots\ldots\ldots 7$$

$$\therefore \Psi_h = \Psi_K \cdot \Psi_t^n \ldots\ldots\ldots 8$$

إن المعادلة (8) تمثل المعادلة الرئيسية لمعرفة تأثير الرطوبة إذ يعطى هذا التأثير بشكل نسبة بين معامل الحمل الحر للهواء الرطب إلى قيمة معامل الحمل الحر للهواء الجاف .

محتوى الرطوبة (Moisture Content)

أن لكل درجة حرارة حد أعلى لقيمة محتوى الرطوبة يمكن أن يتشبع به الهواء وذلك عند درجة حرارية معينة هنالك قيم لمحتوى الرطوبة تتراوح بين صفر إلى حد أقصى (w_S) . تم تحويل قيم محتوى الرطوبة المشبع والتي تم الحصول عليها من مخطط البخار آلى معادلة بدلالة درجة حرارة الهواء الجاف وكالآتي :

$$W_S = A_0 + A_1 \cdot T + A_2 \cdot T^2 + \ldots\ldots + A_5 \cdot T^5 \ldots\ldots\ldots 9$$

تم أعداد برنامج حاسبي لغرض حساب قيمة الثوابت (A_0 ,A_1,A_2,....) . لغرض معرفة تأثير الرطوبة على قيمة معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر للأسطح المختلفة تم فصل الخواص الفيزيائية لكل من الهواء الجاف والرطوبة وذلك لحساب قيمة خواص الخليط الكلية . ولغرض إنجاز ذلك تم أعداد اشتقاق المعادلات الأساسية التالية:

$$RH = \frac{P_v}{P_{vs}} = \frac{w}{w_s} \ldots\ldots\ldots 10$$

$$x_v = \frac{w}{0.622 + w} \ldots\ldots\ldots 11$$

إن قيمة معامل نسبة الرطوبة (ψ_ρ) والتي تمثل نسبة كثافة الهواء الرطب الى كثافة الهواء الجاف وتحسب كما يلي :

$$\Psi_\rho = \frac{\rho_m}{\rho_d} = 1 + w \ldots\ldots\ldots 12$$

آما قيمة معامل نسبة الحرارة النوعية (ψ_{Cp}) فتم حسابها من التعاريف الاساسية وكما يأتي :

$$\Psi_{Cp} = \frac{Cp_m}{Cp_d} = \frac{Cp_d + w \cdot Cp_v}{Cp_d} = 1 + w \cdot \frac{Cp_v}{Cp_d} \ldots\ldots\ldots 13$$

$$\therefore \Psi_{Cp} = 1 + 1.87 \cdot w$$

أما قيمة معامل نسبة اللزوجة للهواء الرطب إلى الهواء الجاف فتوصلنا أليها من التحليل التالي [4] :

$$\Psi_{\mu} = \frac{\mu_m}{\mu_d} = \frac{1 + x_v \cdot (0.7887 \cdot \frac{\mu_v}{\mu_d} - 1)}{1 - 0.2113 \cdot x_v} \quad \text{.....14}$$

$$\frac{\mu_v}{\mu_d} = \frac{8.19 + 0.0407 \cdot T + 4.75 \cdot 10^{-7} \cdot P}{17.11 + 0.0536 \cdot T + 9.058 \cdot 10^{-7} \cdot P} \qquad \text{Where } 0C \le T \le 100C^{\circ}$$

اما حساب قيمة (ψ_K) اي نسبة معامل التوصيل الحراري للهواء الرطب الى معامل توصيل الهواء الجاف فتم من التحليل الاتي :

$$\Psi_K = \frac{K_m}{K_d} = \frac{1 + x_v \cdot (0.8536 \cdot \frac{K_v}{K_d} - 1)}{1 - 0.1464 \cdot x_v} \quad \text{.....15}$$

$$\text{where} \qquad \frac{K_v}{K_d} = \frac{0.0158 + 84 \cdot 10^{-6} \cdot T}{0.02402 + 74 \cdot 10^{-6} \cdot T} \qquad 0C^{\circ} \le T \le 100C^{\circ}$$

تم الاستفادة من المعادلات أعلاه لغرض حساب قيمة معامل نسبة معامل الحمل الحر (ψ_h) ومعامل نسبة عدد نسلت (ψ_{Nu}) وذلك من المعادلات (5 & 6) والتي تبين تأثير الرطوبة على معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر .

نتائج البحث (Results and discussion)

تم أعداد برنامج خاص لحساب تأثير محتوى الرطوبة وحساب تأثير الرطوبة النسبية (RH) في الهواء على الزيادة الحاصلة في قيمة معامل الحمل الحراري للهواء الجاف . تم حساب قيمة الثوابت الخاصة بمعادلة حساب قيمة محتوى الرطوبة المشبع عند درجة حرارية معينة (Eq. 9) وكانت كالآتي :

Polynomials	The value
A_0	$3.67714\ 10^{-3}$
A_1	$2.890959\ 10^{-4}$
A_2	$9.914856\ 10^{-6}$
A_3	$1.577468\ 10^{-7}$
A_4	$-2.513125\ 10^{-10}$
A_5	$5.453691\ 10^{-11}$

إن لحساب قيمة (w_s) أهمية بالغة إذ توجد لكل درجة حرارة جافة قيمة قصوى لمحتوى الرطوبة عندها تصبح الرطوبة النسبية (100%) . عند ملاحظة معادلات الحمل الحر في العديد من المصادر منها [4],[8],[7] نلاحظ إن قيمة (n) في المعادلة (1) عندما تكون الطبقة الحدية منتظمة وطبقية تبلغ (1/4) وللانسياب العشوائي (1/3) أما قيمة (C) فتعتمد على نوع (مستو أو اسطوانة) على وضعية السطح (أفقي أو عمودي) وطبيعة السطح المسخن (من الجهة العليا أو السفلي) . أن درجة الحرارة المؤثرة على الخواص الفيزيائية للهواء الرطب هي درجة حرارة الطبقة الحدية وبالتالي هي المؤثرة على قيمة معامل الحمل الحر .تم تثبيت النتائج والتي تم الحصول عليها في هذا البحث في مخططين الأول عندما تكون الطبقة الحدية ذات انسياب طبقي والثاني عندما يكون الانسياب عشوائي . يمثل الشكل (1) العلاقة بين درجة الحرارة الحدية) ونسبة معامل الحمل الحر للهواء الرطب إلى معامل الحمل للهواء الجاف السطح والظروف نفسها ولنسب مختلفة للرطوبة النسبية . نلاحظ أن قيمة (ψ_h) أو قيمة (h_m/h_d) تزداد بزيادة درجة حرارة الطبقة الحدية والرطوبة النسبية ، فعندما تبلغ الرطوبة النسبية (20%) في الهواء ودرجة حرارة الطبقة الحدية

(75 C) تصل الزيادة في معامل الحمل (6%) , وتبلغ نسبة الزيادة هذه (14%) عندما تبلغ قيمة (RH=40%) وتستمر هذه الزيادة لتبلغ (34%) عند الوصول إلى حالة الإشباع أي (RH=100%) .أن الشكل (2) يبين العلاقة بين درجة الحرارة للطبقة الحدية ونسبة معامل الحمل الحر للهواء الرطب إلى معامل الحمل للهواء الجاف (ψ_h) أو ($H_{moist.}/ H_{dry\ air}$) .نلاحظ آن تأثير الرطوبة يزيد من معامل الحمل الحر إذ تبلغ هذه الزيادة إلى (8%) عند درجة حرارة البقعة الحدية (T=75C) وقيمة رطوبة نسبية (20%) يستمر معدل الزيادة في نسبة معامل الحمل الحر باطراد كلما زادت الرطوبة النسبية لتبلغ أعلى قيمها عند الإشباع لتبلغ (52%) نلاحظ أن تأثير طبيعة الطبقة الحدية العشوائي على قيمة معامل الحمل الحر يكون أعلى منه في حالة الشكل الطبقي .تمت مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من البحث مع نتائج تم الحصول عليها من المعادلة العامة (1) وقد تم أختيار السطح العمودي والمعادلة العامة في حالة الشكل الطبقي هي :

$$Nu = 0.59 \cdot (Gr \cdot \Pr)^{1/4}$$

Where the information is T_f=75c ,RH=100%

وبعد حساب الخواص الفيزياوية للهواء الرطب وللهواء الجاف [8] وبعد عمليات حسابية طويلة كانت نسبة معامل الحمل الحر الذي تم الحصول عليها هي :

h_m/h_d =1.33

اما عند حساب قيمة (h_m/h_d) وبالمعلومات نفسها أعلاه وباستخدام المخطط الأول في صفحة (١٠) فانها تبلغ قيمة (1.34) اي بانحراف قدره لا يزيد عن ١%.

<u>الاستنتاجات والتوصيات</u>

تم في هذا البحث الحصول على طريقه ناجحة لحساب قيمة تأثير الرطوبة على معامل الحمل الحراري إذ يتم حساب قيمة معامل الحمل الحر للهواء الجاف من الجدول أدناه [7] :

Gr Pr = 1.6 * $10^6 L^3 \Delta t$ (at 21^0C, L in m, Δt in K		
a	**Horizontal cylinders**	
	Small cylinder,	$h = 1.32(\Delta t/L)^{0.25}$
	Large cylinder, turbulent range	$h = 1.24(\Delta t)^{0.33}$
b	**Vertical plates**	
	Small plates, laminar range	$h = 1.42(\Delta t/L)^{0.25}$
	Large plates, turbulent range	$h = 1.31(\Delta t)^{0.33}$
c	**Horizontal plates,** facing upward when heated or downward when cooled	
	Small plates, laminar range	$h = 1.32(\Delta t/L)^{0.25}$
	Large plates, turbulent range	$h = 1.52(\Delta t)^{0.33}$
d	**Horizontal plates,** facing upward when heated or downward when cooled	
	Small plates, laminar range	$h = 0.59(\Delta t/L)^{0.25}$

ولغرض حساب قيمة معامل الحمل الحر يصحح بضربه في معامل نسبة معامل الحمل الحر للهواء الرطب الى معامل الحمل الحر للهواء الجاف والذي تحسب قيمته بدلالة درجة حرارة الطبقة الحدية نوعية الجريان وعلى قيمة الرطوبة النسبية .من التوصيات المستقبلية أجراء دراسة عملية من خلال بناء جهاز مختبري لمعرفة تأثير محتوى الرطوبة والرطوبة النسبية على معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر كما نوصي بأجراء بحث نظري وعملي عن تأثير محتوى الرطوبة على معامل الحمل الحراري القسري .

FIG. (1):THE EFFECT OF MOISTURE ON THE COEFFICIENT OF NATURAL CONVECTION FOR LAMINAR BOUNDRAY LAYER.

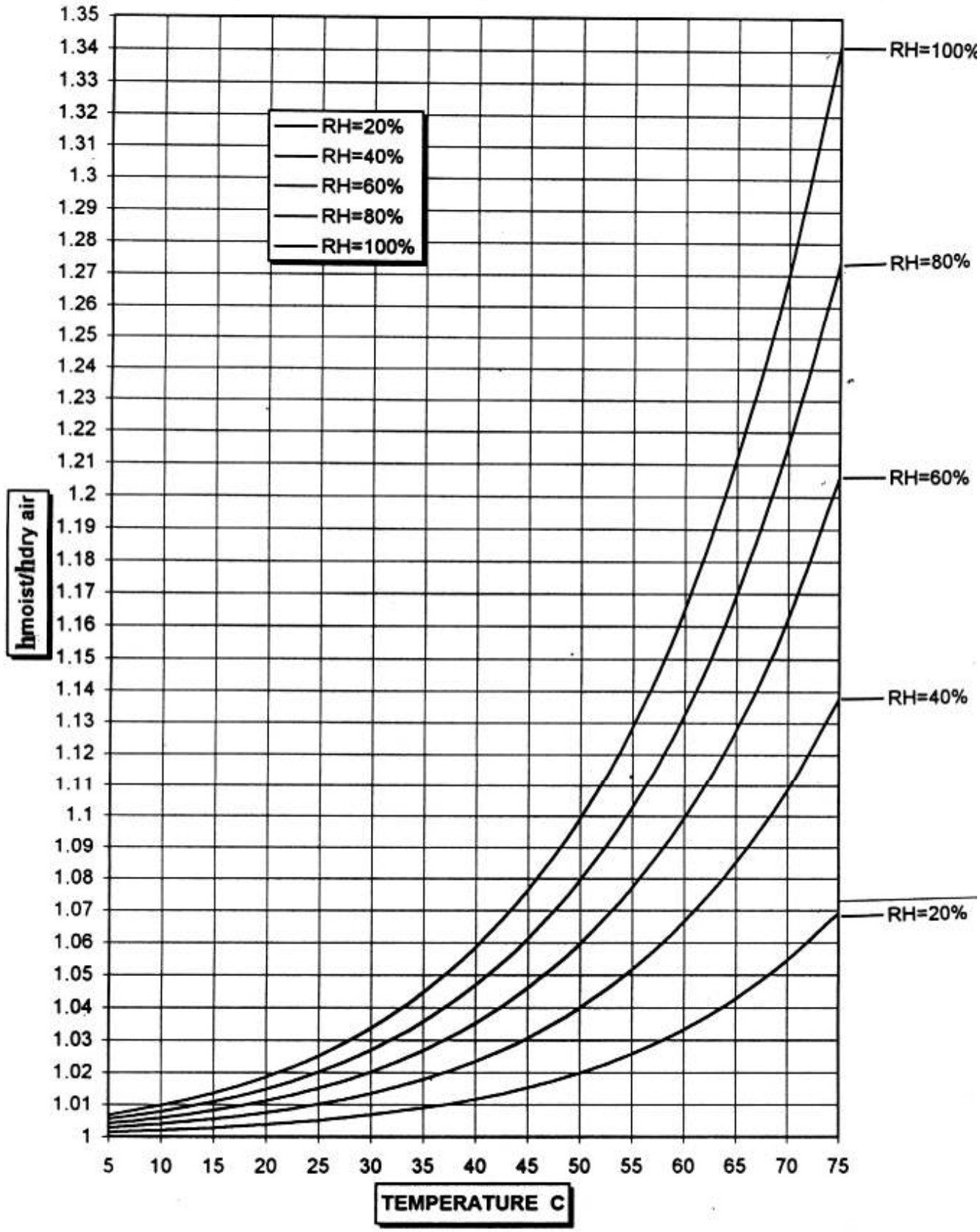
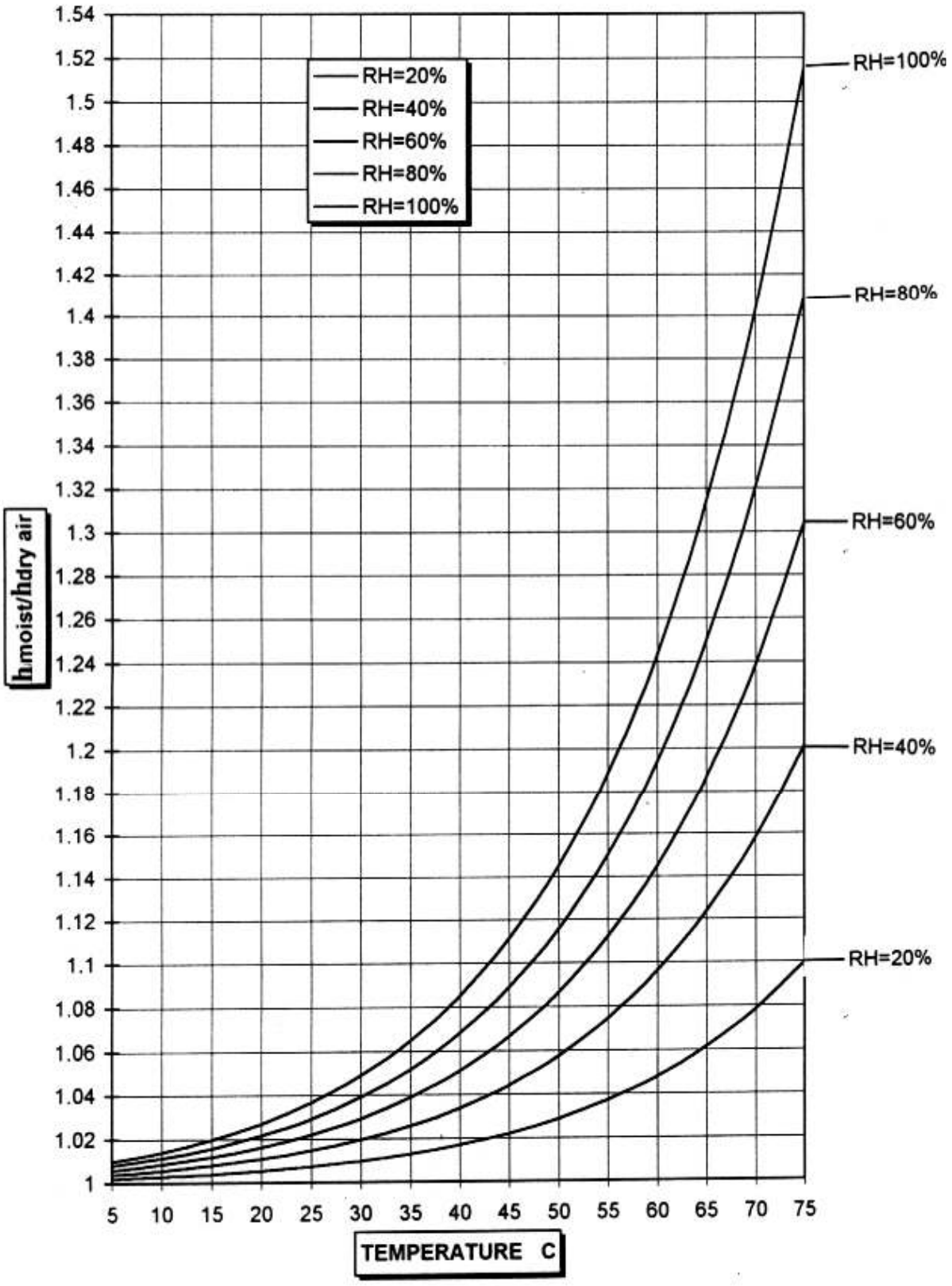


FIG. (2):THE EFFECT OF MOISTURE ON THE COEFFICIENT OF NATURAL CONVECTION FOR TURBULENT BOUNDRAY LAYER



المصادر

-1فاتح غانم فتوحي *"دراسة انتقال الحرارة من أسطح مستوية وتحت ظروف مختلفة "*رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة المكائن والمعدات كجزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير، الجامعة التكنلوجية،١٩٨٧ .

-2عاصم صاحب علاوي *"تاثير مناطق الربط على انتقال الحرارة في جدران مجوفة "* رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة المكائن والمعدات كجزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير، الجامعة التكنلوجية ،٩٨٦ .

-3عبد السلام حمزة *ناصر "دراسة تجريبية حول تأثير الظروف المناخية المحلية على السريان الحراري عبر الجدران والسقوف ذات التراكيب المختلفة "* رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة المكائن والمعدات كجزء من. متطلبات نيل شهادة الماجستير، الجامعة التكنلوجية ،١٩٨٦.

4-L.P.B.M.Janssen *"Transport Phenomena Data Companion "*Arnold , Britain ,1987 .

5- C.T. *GOSLING "Applied Air Conditioning and Refrigeration "*Applied Science Publishers LTD ,London ,1974 .

6خميس جوير جاسم *"دراسة تأثير الظروف المناخية على السريان الحراري عبر الجدران والسقوف في فصل–الشتاء "* رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة المكائن والمعدات كجزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير ،الجامعة التكنلوجية ،١٩٨٦ .

7-ASHRAE *"Fundamentals Handbook ",*Ch. 3 ,1997 .

8-Eckert, E.R.G, and ROBERTM. DRAKE,JR.*"Analysis of Heat and Mass Transfer "* McGRAW-HILL LTD. ,1972 .

9- Mahdi ,H.S. *"Heat transmission through Walls and Roofs Under Climatic Condition of city of Baghdad "*M.Sc. Thesis, College of Baghdad ,1977 .