

دراسة تأثير عدد و موقع الأنابيب المائية المبردة المستخدمة داخل الجدران لتبريد الأبنية
على توزيع درجات الحرارة على السطح الداخلي للجدار باستخدام طريقة العناصر المحددة
حمد رمضان محسن خليل إبراهيم عباس باسم حميد عبود

كلية الهندسة – الجامعة المستنصرية

**Studying the effect of number and location of chilled water pipes
used to cool the inside walls of buildings on the distribution of
temperatures on the inner surface of the wall using the finite
element method**

Abstract

In the present work , a new type of cooling building system has been used. this system consists of using water piping inside the walls. This study has been carried out in Baghdad city which is has recognize high temperatures difference between night and day. In this study the suggested model consists of inner water piping inside the wall with variable temperature, where pipe number and location has been considered evaluate its effect on cooling building . All constants and variables have been modeled using finite element method which represents one of the modern methods that give accurate results. The results show that increasing number of water pipes will increase cooling rate about (30.5%). It is shown also that the closer is the pipe location is the cooling rate about (14.3%).

الخلاصة :-

تضمنت هذه الدراسة استخدام نوع جديد من أنظمة تبريد الأبنية وهي طريقة استخدام الأنابيب المائية داخل الجدران وتم تطبيق هذه الدراسة في مدينة بغداد لانها من المناطق المناخية التي تتميز بوجود فرق كبير في درجات الحرارة بين الليل والنهار. تم خلال هذه الدراسة اخذ نموذج مقترح لترتيب جدار يتم فيه وضع أنابيب مائية إذ يتم تجهيز الماء من مبرد ودرجات حرارة مختلفة إذ تم دراسة تأثير عدد و موقع الأنابيب المائية المبردة داخل الجدران وبيان مدى الاستفادة من هذه الطريقة في تبريد الأبنية وتم محاكاة كل الثوابت والمتغيرات أعلاه بواسطة استخدام طريقة العناصر المحدد لأنها من الطرق الحديثة التي تعطي نتائج دقيقة في الحسابات. من خلال هذه الدراسة اتضح لنا انه كلما ازداد عدد الأنابيب المستخدمة كلما كان التأثير التبريدي أفضل ينسبه مئوية (30.5%). كلما كان موقع الأنابيب المائية قريبة من السطح الداخلي للجدار في الحيز المكيف كلما كان التأثير التبريدي للحيز أفضل ينسبه مئوية (14.3%).

المقدمة :-

شهد العالم في العقود الاخيرة نهضة عمرانية واسعة انتشرت خلالها الابنية الحديثة بمختلف انواعها وقد شهد ترافق مع ذلك زيادة ملحوظة في استهلاك الوقود والطاقة الكهربائية لاغراض التدفئة والتبريد.

وبهدف تخفيض التناامي المتسارع للطلب على الطاقة وحماية البيئة من التلوث الناتج من انبعاث الغازات الدفيئة نتيجة احتراق الوقود وتحقيق متطلبات الراحة في الابنية بات من الضروري استخدام اساليب جديدة للتدفئة والتبريد من اشهر هذه الطرق هي استخدام الانابيب المائية داخل الجدران. وفي ادناه ذكر بعض العوامل المؤثرة في التصميم الحراري وهي:

الظروف الجوية

قبل البدء بعمليات التصميم يجب تحديد ما يلي:

1. المتطلبات التصميمية اللازم توفرها داخل البناء وتتضمن ما يلي:

- درجات الحرارة الجافة التصميمية.
- الرطوبة النسبية التصميمية.
- معدل التهوية التصميمي.

2. المتطلبات التصميمية الخارجية السائدة صيفاً وشتاءً لكل منطقة مناخية.

- درجات الحرارة الجافة التصميمية.
- الرطوبة النسبية التصميمية.
- سرعة الرياح التصميمية واتجاهها.
- كثافة الأشعة الشمسية وزاوية سقوطها.
- الاتجاه الجغرافي وشكل البناء وموقعه:

اختيار ظروف التصميم الداخلية

تتمثل الظروف الداخلية التي على منظومة التبريد ادامتها والحفاظ عليها بدرجة حرارة البصلة الجافة والرطوبة النسبية وتقاس هذه الظروف على ارتفاع حوالي (1.5) متر من ارضية الحيز المكيف في منطقة تمثل معدل ظرف الغرفة على ان لا تكون هذه الغرفة او الحيز غير معرضة لكسب او فقدان حراري غير اعتيادي من الداخل او الخارج.

عند اختيار ظروف التصميم الداخلية وهذه المؤشرات ذات تاثير مباشر على راحة الانسان وهي :

- 1- ان تكون درجة الهواء ذات قيمة اقل من ان تكون ذات قيمة اعلى عند توفر الخيار بين الاثنين.
- 2- ان يكون معدل سرعة الهواء في الغرفة عند قيمة مرتبطة بدرجة حرارة البصلة الجافة وكذلك تكون العملية الجارية تمثل عملية تدفئة ام تبريد.

- 3- يفضل ان تكون الرطوبة النسبية ضمن حدود بين 40% و 60% مع الحفاظ على قيمة 50% مجعاً للتصميم ويجب ان لا تتعدى الرطوبة النسبية قيمة 70% صيفاً وان لا تقل عن 20% شتاءً.

حسابات احمال التبريد الحرارية بالطريقة التقليدية:

حساب معامل الانتقال الحراري الكلي (U – Value) للعناصر المؤلفة من عدة طبقات

يتم حساب معامل الانتقال الحراري الكلي وفق العلاقة الاتية

$$U = \left(\frac{1}{Rt} \right) = \left[\frac{1}{(R_i + R_1 + R_2 + R_{\dots\dots\dots} + R_n + R_o)} \right] \dots\dots\dots (1)$$

بعد ذلك يتم حساب كمية الحرارة المنتقلة خلال الجدار من المعادلة الآتية

$$Q = UA[CLTD] \dots\dots\dots (2)$$

ويمكن إيجاد معامل تصحيح فرق درجات الحرارة من المعادلة [4]

$$CLTD_{\text{correction}} = [((CLTD) + LM)K + (25.5 - T_i) + (T_{av} - 29.4)]$$

حساب احمال التبريد للأجهزة والمعدات

$$Q_{sp} = N_{o1} * q_s * Clf \ 2 \dots\dots\dots (4)$$

حساب أحمال التبريد للأشخاص (الكامن والمحسوس)

$$Q_{Lp} = (N_p * q_L) \dots\dots\dots (5)$$

$$Q_{sp} = (N_p * q_s) \dots\dots\dots (6)$$

حساب أحمال التبريد للأنارة

$$Q_{light} = No2 * P \dots\dots\dots (7)$$

حساب أحمال التبريد للتسرب الهواء (الكامن والمحسوس)

$$Q_{Fs} = 1.22 * V_i * (T_a - T_i) \dots\dots\dots (8)$$

$$Q_{FL} = 2940(Vi * (Wo - Wi)) \dots\dots\dots (9)$$

حساب أحمال التبريد للتهويه (الكامن والمحسوس)

$$Q_{vs} = 1.22 * V_o * (T_o - T_i) \dots\dots\dots (10)$$

$$Q_{vL} = 2940 * V_o (W_o - W_i) \dots\dots\dots (11)$$

حساب الحمل الحراري الشمسي خلال الشبابيك من المعادلات الآتية

$$Q_{g1} = A_g * (SHG) * (Sc) * clfg \dots\dots\dots (12)$$

$$Q_{g2} = A_g * U_g * CLTD_c \dots\dots\dots (13)$$

محاكاة تأثير درجات الحرارة وتوزيع الأنابيب المائية وعددها داخل الجدران:

تسلسل المحاكاة يتضمن الخطوات التالية والشكل (1) يوضح المخطط الأنسيابي لهذه المحاكات:

رسم النموذج وتثبيت الظروف المحيطة بشكل ابتدائي ، شكل (2 - أ) (Modeling Geometry).

أعطاء توزيع العناصر والعقد ، شكل (2 - ب) (meshing).

احمد رمضان محسن وجماعته

تثبيت الظروف المحيطة (درجات الحرارة) كأحمال حرارية على سطح الجدار ، شكل (2- ج) (boundary condition).

أيجاد وجمع ثم تحليل النتائج (Collection And Analysis) الخاصة بتوزيع درجات الحرارة ومعدلات درجة الحرارة على سطح الجدار وعلى مدار الساعة وكذلك لكل حالة من (تغير موقع الأنابيب و تغير عددها) من خلال البيانات والمخططات.

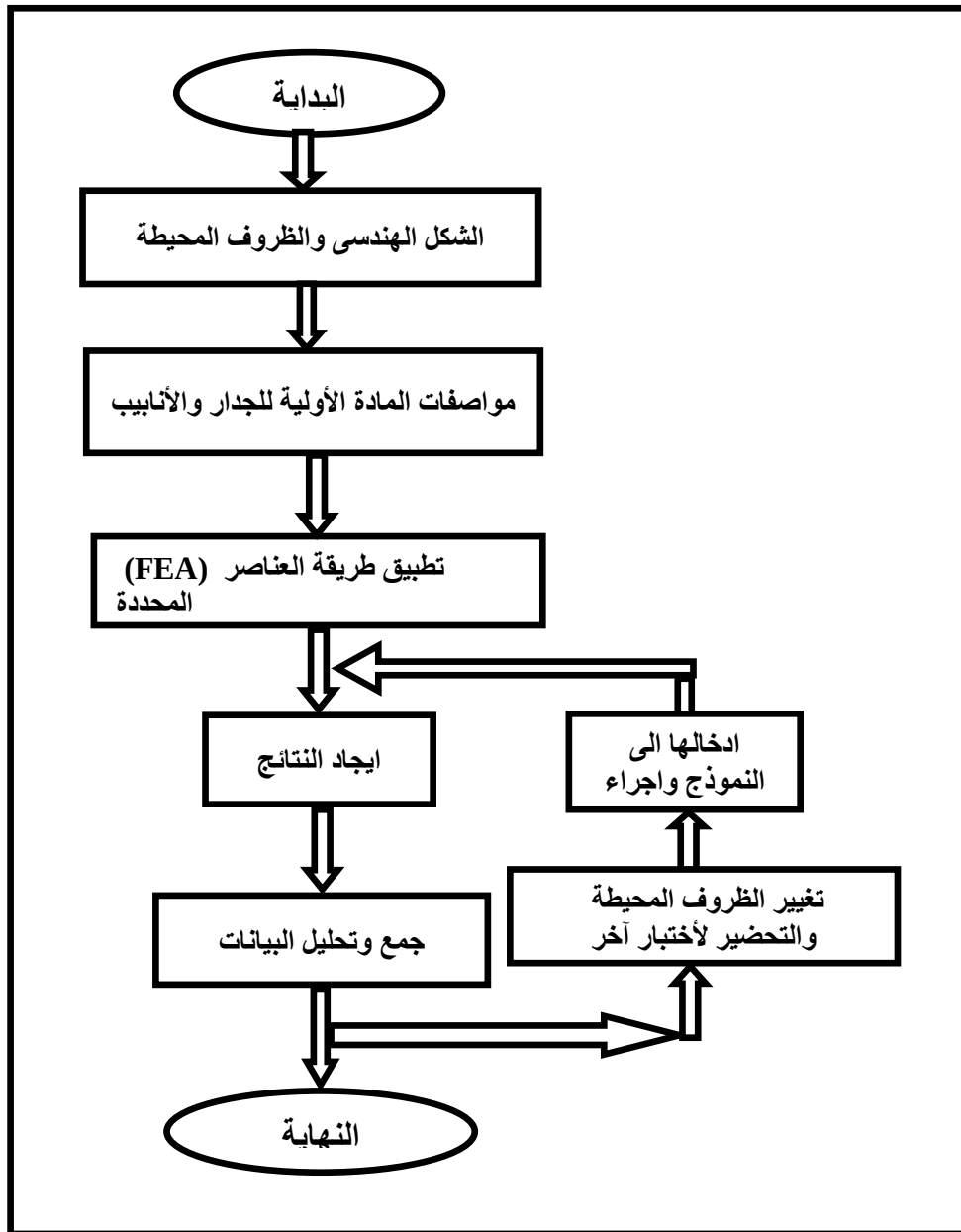
1) رسم النموذج : Modeling

تتضمن عملية المحاكاة إنشاء نموذج يشبه الشكل الحقيقي للجدار بسمك (0.3م) حيث (0.27م) سمك التركيب الإنشائي (طابوق ، سميتالخ) و (0.03 م) سمك اللبخ مع النثر للطبقة الخارجية من الجدار واخذ النموذج بطول (1.54م) إذ (0.27م) سمك الجدار الجانبي من كل جانب وبطول مطلق (1م) متأثر بدرجة الحرارة والشكل (2 - أ) يبين ذلك. ولتمثيل وجود الأنابيب داخل الجدار فقد وضعت في منتصف مسافة سمك الجدار (0.135م) مقاسا من سطح الجدار الداخلي وكذلك أخذت على مسافة الثلث من سمك الجدار مقاسا من السطح الداخلي للجدار. هذا بالإضافة الى تغيير عددها كما في عنوان البحث.

الجدول (1) يمثل مواصفات المواد المستخدمة في هذه المحاكات.

ت	نوعية التركيب الإنشائي	k (w/m ² .k) الموصلية الحرارية
1	الطبقة الخارجية (نثر ولبخ)	0.81
2	طابوق مجوف	0.72
3	الطبقة الداخلية (بياض ولبخ)	0.721

الجدول (1) يمثل مواصفات المواد المستخدمة في هذه المحاكاة.



(FEA) يوضح المخطط الانسيابي لأدخال المتغيرات في طريقة العناصر المحددة 1 الشكل)
ثم جمع النتائج وتحليلها على جدار يحوي أنابيب مائية وبدونها.

(1) توزيع العناصر:

في هذا البحث تم اختيار العنصر (77 - Plane) لتمثيل الجدار واللبخ، وقد وزعت العناصر على طول وعرض الجدار بـ (10 عناصر في العرض ، 60 عنصر في الطول) وعدد كبير من العناصر الصغيرة حول فتحات الأنابيب شكل (2 - ب).

(2) الظروف الابتدائية المحيطة:

كما في الواقع شكل (2- أ) فإن الجدار يتأثر بتغير درجات الحرارة على طول الجدار (الداخلي و الخارجي) والجانب (الجانب الأيسر و الأيمن) إذ أن السطح الخارجي يتأثر بدرجة حرارة المحيط وعلى مدار الـ (24 ساعة) اخذ بنظر الاعتبار أقصى حمل أثناء وبوجود مصدر حراري طبيعي (الشمس). والسطح الجانبي الأيمن (يعتبر سطح داخلي) على انه داخل البناية فدرجة الحرارة هي (25 درجة مئوية) والسطح الجانبي الأيسر (يعتبر خارجي) فقد أعطي درجة حرارة ثابتة (45 درجة مئوية) أما السطح الداخلي للجدار فانه يعتبر سطح متأثر بتغير درجات الحرارة وسوف يتم إيجاد درجات الحرارة على سطحه وتوزيعها على طوله.

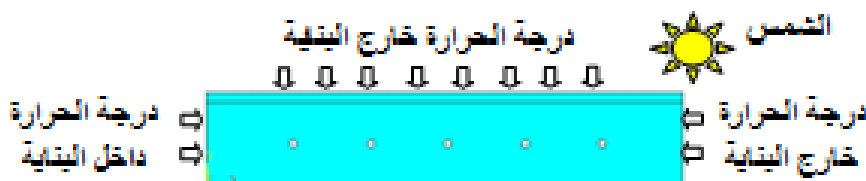
وبخصوص عدد الأنابيب وموقعها داخل الجدار فقد تم دراسة تغير درجة حرارة وتوزيعها حول الأنابيب وعلى امتداد الجدار الداخلي بمساقطه الثلاثة ولكل حالة من حالات أختلاف عدد الأنابيب وهي (3، 5، 10) أنبوب. والمسافة أخذت على نوعين [(0.33، 0.5) * سمك الجدار] مقاسا من سطح الجدار الداخلي. أما الطلاء فقد أخذ بمواصفات المادة المطلوبة ووضعت على انها بتماس مباشر مع الجدار وعلى امتداد سطحه.

(3) إيجاد وجمع النتائج:

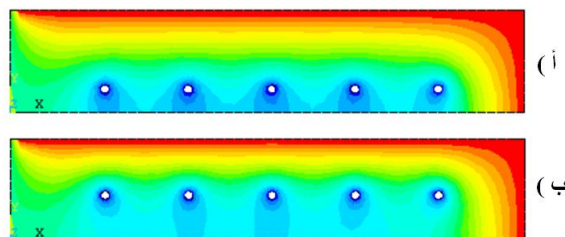
تضمنت النتائج نوعين أساسيين،

الأول هو التوزيع لدرجات الحرارة على طول الجدار وحول الأنابيب المائبة على شكل رسومات يصدرها برنامج الـ Ansys) أختلاف الألوان يناضره أختلاف درجات الحرارة). شكل (2- ج، د)
الثاني جمع النتائج (أي درجات الحرارة) ولنقاط (عقد) (nodes) موزعة بشكل منتظم على طول الجدار الداخلي وتنظيمها بمخططات تحليلية.

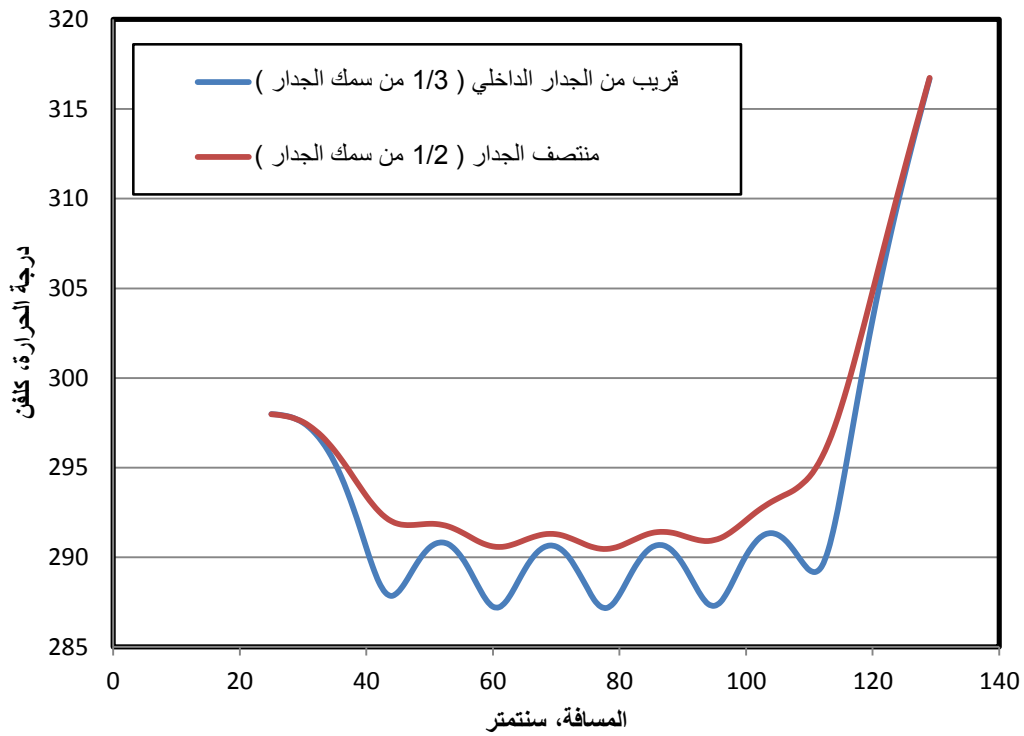
(أ) يمثل الضروف المحيطة بالجدار (درجات الحرارة من خارج وداخل البناية).



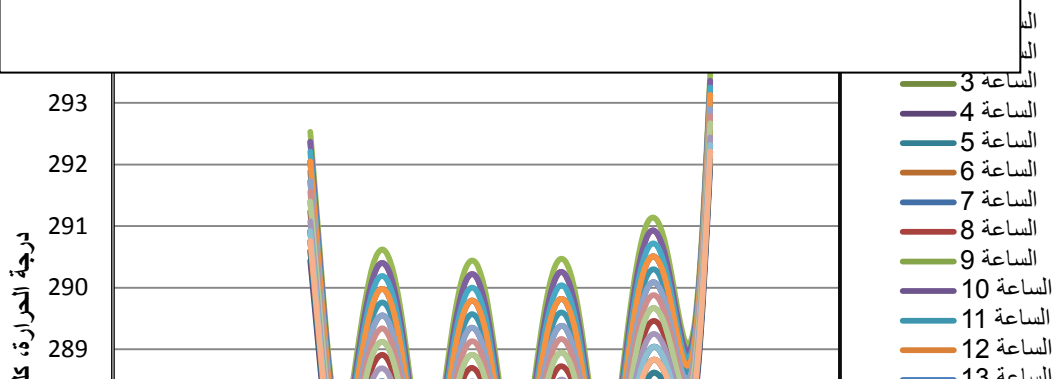
الشكل (2) يبين تسلسل عملية المحاكات بوجود الانابيب المائية وعدم وجودها في الجدار المقترح بواسطة برنامج
Ansys (11) .



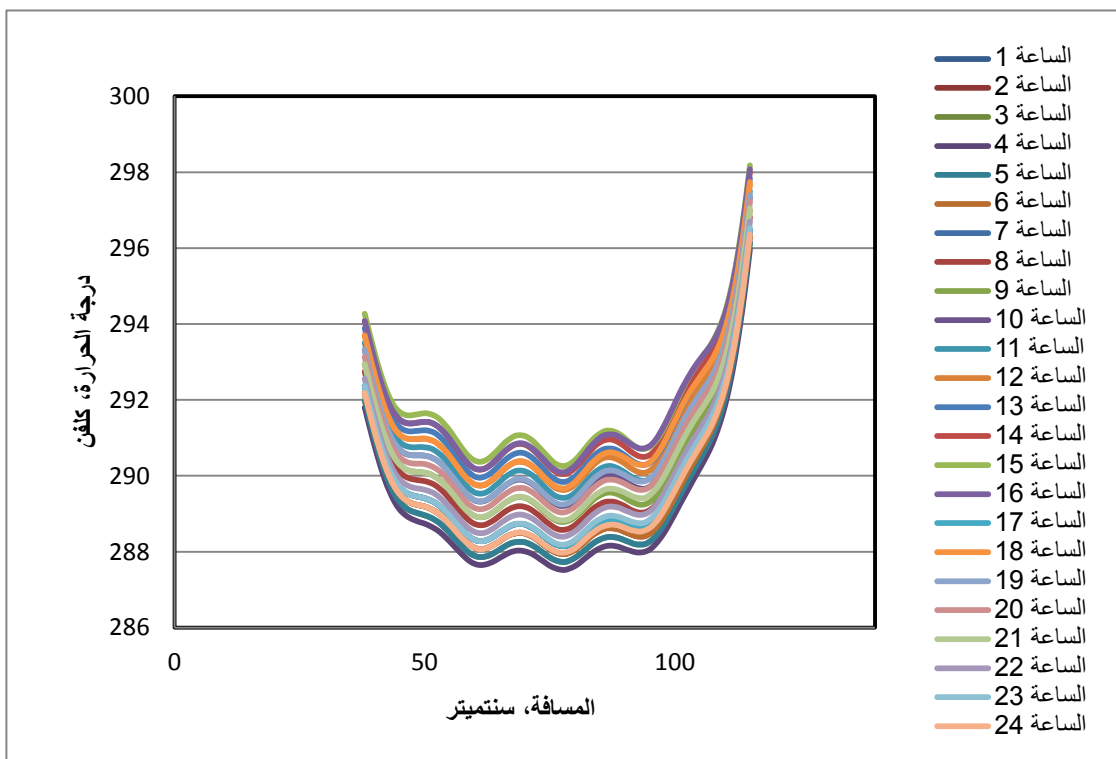
الشكل (3) يوضح توزيع درجات الحرارة على الجدار بوجود الأنابيب المائية لحالتين:
 أ) الأنابيب المائية قريبة من الجدار الداخلي.
 ب) الأنابيب المائية تقع وسط الجدار.



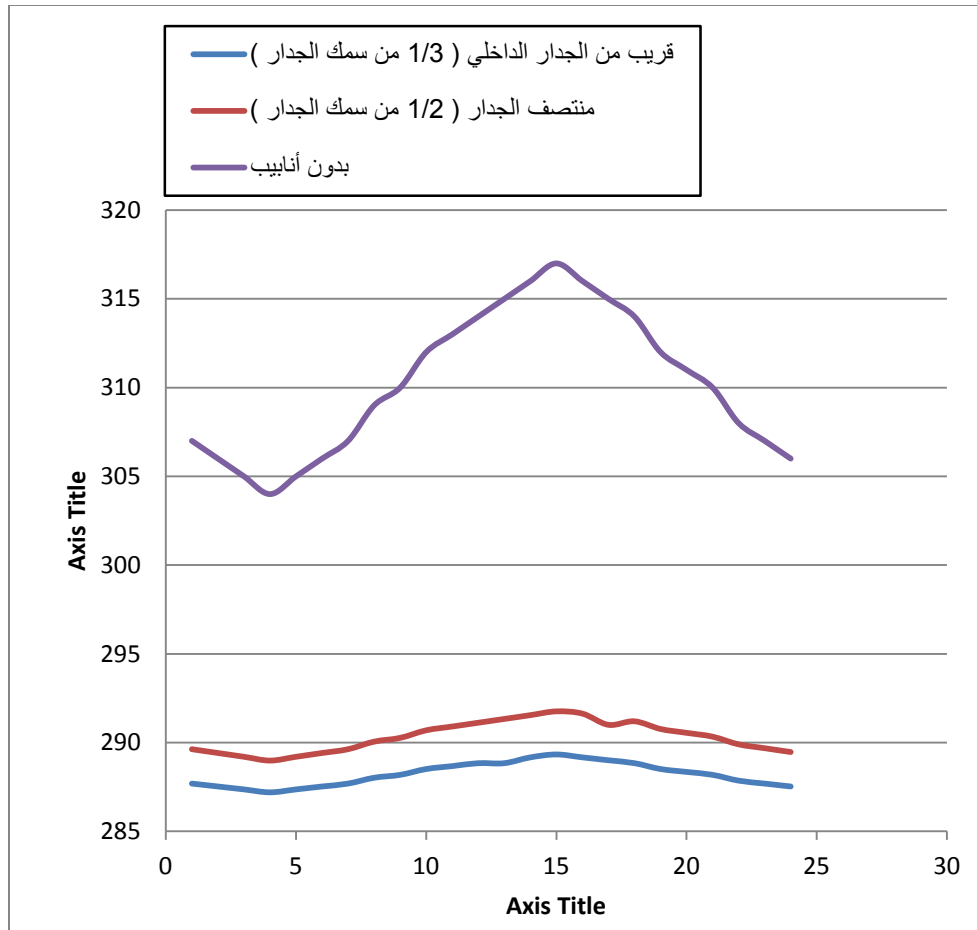
الشكل (4) يوضح توزيع درجات الحرارة على الجدار الداخلي بوجود الأنابيب المائية لحالتين:
 أ) الأنابيب المائية قريبة من الجدار الداخلي.
 ب) الأنابيب المائية تقع وسط الجدار.



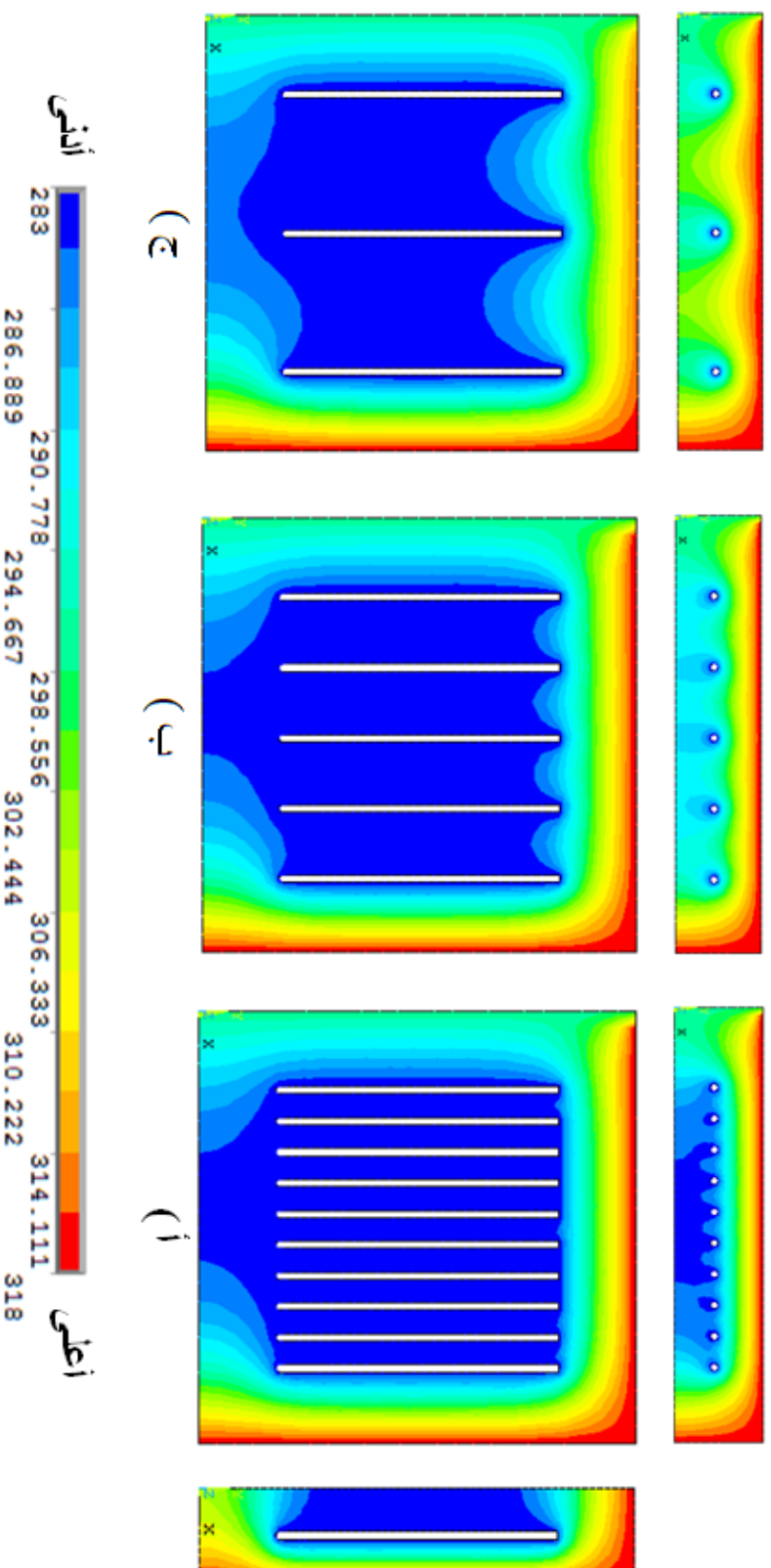
الشكل (5) يوضح توزيع درجات الحرارة على الجدار الداخلي بوجود الأنابيب المائية خلال يوم كامل (24 ساعة) : (الأنابيب المائية قريبة من الجدار الداخلي).



الشكل (6) يوضح توزيع درجات الحرارة على الجدار الداخلي بوجود الأنابيب المائية خلال يوم كامل (24 ساعة) : (الأنابيب المائية تقع وسط الجدار) .

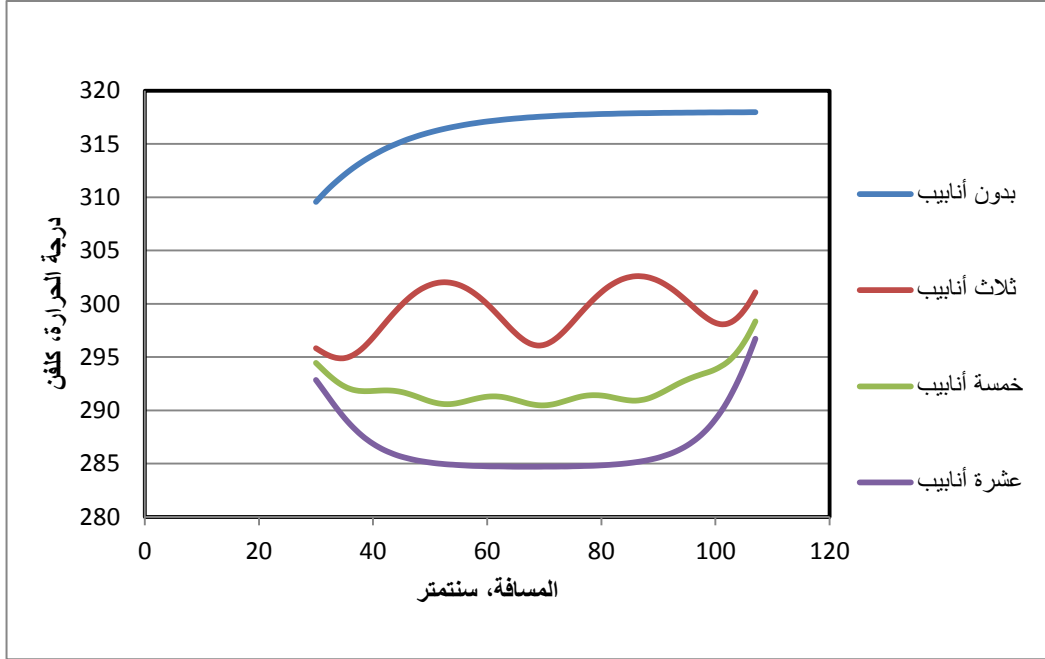


الشكل (7) يوضح معدلات درجات الحرارة على الجدار الداخلي بوجود الأنابيب المائية وبدونها:
 أ (الأنابيب المائية قريبة من الجدار الداخلي.
 ب) الأنابيب المائية تقع وسط الجدار.
 ج (بدون أنابيب.



الشكل () : يمثل توزيع درجات الحرارة للجدار الحاوي على أنابيب مائية وبخلاف عدد الأنابيب (للمساقط الأمامي والطوي والجانبى).

أ) عدد الأنابيب (٣) . ب) عدد الأنابيب (٥) . ج) عدد الأنابيب (١٠) .



الشكل (9) يوضح توزيع درجات الحرارة على الجدار الداخلي بوجود الأنابيب المائية وبدونها:
أ) بدون أنابيب. ب) ثلاث أنابيب. ج) خمسة أنابيب. د) عشرة أنابيب.

المناقشة :-

توجد طرق كثيرة لتبريد الابنية وتم خلال هذا البحث دراسة استخدام نوع جديد من أنواع التبريد للأبنية وهو طريقة استخدام الأنابيب المائية داخل الجدران ويتم تجهيز هذه الأنابيب بالماء المبرد بواسطة (Chiller). تم خلال هذه الدراسة اعتماد عدة متغيرات للدراسة وهي تغير كل من عدد الأنابيب للقياسات (انج) وبتغير موقع الانابيب المائية داخل الجدار وبتغير الأحمال الحرارية نتيجة لتغير درجة حرارة المحيط الخارجي.

الشكل (1) يوضح المخطط الانسيابي لإدخال المتغيرات في طريقة العناصر المحددة FEA ثم جمع النتائج وتحليلها على الجدار الذي يحوي أنابيب مائية وبدون استخدام الأنابيب المائية داخل الجدار.

الإشكال (3،4) توضح توزيع درجات الحرارة على الجدار بوجود الأنابيب المائية لحالتين (أ) الأنابيب المائية قريبة من السطح الداخلي للجدار (ب) الأنابيب المائية تقع وسط الجدار لولحظ من خلال الشكل (4) انه كلما كان موقع الانابيب المائية قريب من السطح الداخلي للجدار كلما كان تبريد الحيز المكيف أفضل والعكس صحيح اذ ان النسبة المئوية للفرق بين الحالتين هي (25.6%) .

الشكل (5) يوضح توزيع درجات الحرارة على الجدار الداخلي بوجود الأنابيب المائية خلال يوم كامل 24 ساعة و الأنابيب المائية قريبة من الجدار الداخلي نلاحظ من خلال الشكل مدى التغير الكبير في درجات الحرارة وهذا يؤكد لنا انه عند التصميم لتبريد حيز باستخدام مثل هذه الطريقة يجب ان توضع الانابيب المائية قريبة من السطح الداخلي للحيز المكيف قدر الإمكان وان النسب المئوية لاقل والكبر قيمة هي (13.8%) و (17.1%) على التوالي .

الشكل (6) يوضح توزيع درجات الحرارة على السطح الداخلي للجدار بوجود الأنابيب المائية خلال يوم كامل 24 ساعة الأنابيب المائية تقع وسط الجدار نلاحظ من خلال الشكل ان التأثير التبريدي للأنابيب المائية في هذه الحالة يكون اقل من الحالة السابقة والتي تكون فيها الانابيب قريبة من السطح الداخلي للحيز المكيف ومن خلال الاشكال (5,6) اتضح ان فرق درجات الحرارة التي يصل لها الحيز المكيف في الحالتين اعلاه هي (5,5 درجة مئوية).

الشكل (7) يوضح معدلات درجات الحرارة على السطح الداخلي للجدار ولحالتين بدون انابيب و بوجود الأنابيب المائية (في كلا الحالتين عندما تكون الأنابيب المائية بالقرب من السطح الداخلي للجدار، وعندما تكون في وسط الجدار) نلاحظ من خلال الشكل مدى الفائدة المستحصلة من استخدام هذه الطريقة في تبريد الأبنية نتيجة الفرق في درجات الحرارة بين المحيط الخارجي والحيز المكيف فعلى سبيل المثال تم مقارنة الحالتين (بدون انابيب وبوجود انابيب مائية في وسط الجدار) فوجد ان النسبة النوية لدرجات حرارة الحيز المكيف وللحالتين اعلاه هي (7.5 %)، اما في حالة (بدون انابيب وبوجود انابيب مائية بالقرب من السطح الداخلي للجدار) فكانت النسبة (8.86 %) اي بنسبة فرق بين الحالتين اعلاه بمقدار (14.33 %).

الشكل (8) يوضح المقطع الأمامي والجانبى والعلوي للجدار وكيفية توزيع وتدرج درجات الحرارة وذلك باختلاف عداد الأنابيب المائية داخل الجدار وذلك عندما تكون عددها (10,5,3) وهذا الشكل من الإشكال المهمة في هذا البحث اذ من خلاله يتضح لنا مدى الفارق الكبير في توزيع درجات الحرارة والتأثير التبريدي لطريقة التبريد بالأنابيب المائية عند استخدام عدد مختلف من الأنابيب داخل الجدار وقد لوحظ من الشكل انه كلما كان عدد الأنابيب اكبر كلما كان التأثير التبريدي اكبر وكلما حصلنا على درجة حرارة أفضل داخل الحيز المكيف والعكس صحيح.

الشكل (9) يوضح توزيع درجات الحرارة على الجدار الداخلي وحالتين بدون أنابيب، وبوجود أنابيب (ثلاث أنابيب، خمسة أنابيب، عشرة أنابيب) اذ من خلال هذا الشكل نستطيع المقارنة الواضحة وكيفية الفائدة المرجوة من استخدام هذه الطريقة نتيجة الفارق الكبير بين درجات الحرارة للمحيط الخارجي والحيز الداخلي من خلال النتائج التي تم الحصول عليها لوحظ ان مقارنة النتائج لحالة بدون أنابيب مع وجود أنابيب (ثلاث أنابيب) فان فرق درجات الحرارة هي (% 4.57) ولحالة (خمس أنابيب) فان النسبة كانت (% 5.99) ولحالة (عشرة أنابيب) فان النسبة كانت (% 6.62).

الاستنتاجات

من خلال هذه الدراسة يمكن ان نستنتج عدة امر مهمه وهي:

1- من خلال هذه الدراسة اتضح لنا انه كلما ازداد عدد الأنابيب المستخدمة كلما كان التأثير التبريدي أفضل ينسبه مئوية (% 30.5).

كلما كان موقع الأنابيب المائبة قريبة من السطح الداخلي للجدار في الحيز المكيف كلما كان التأثير التبريدي للحيز أفضل ينسبه مئوية (% 14.3).

Reference

1. Stoecker, W.F. and J.W. Jones, 1982.Refrigeration and Air Conditioning. McGraw Hill,Int. Edn.
- 2- ASHRAE Fundamentals Handbook (SI) NONRESIDENTIAL COOLING AND HEATINGLOAD CALCULATIONS CHAPTER 28 , 1997.
- 3- ASHRAE Fundamentals Handbook (SI) HEAT TRANSFER CHAPTER 2 , 2001.
4. Rudoy, W., Cooling and Heating Load Calculation Manual. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, Ga. 1979.
5. ASHRAE Handbook, Fundamentals Volume, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, Ga. 1981.
- 6- A Simple Approach for Building Cooling Load Estimation F.A. Ansari , A.S. Mokhtar, K.A. Abbas and N.M. Adam Faculty of Engineering, UPM, Serdang, Selangor Darul Ehsan, Malaysia American Journal of Environmental Sciences 1 (3): 209-212, 2005.
- 7- Artificial Neural Networks for predicting cooling load in buildings in tropical countries Sapan Agarwal, M.Tech. (IT in Building Science), International Institute of Information Technology, Hyderabad 2004.
8. Prasad, M., Refrigeration and Air Conditioning Data Book. Wiley Eastern Limited, New Delhi. 1989.
- 9- Cooling load calculations and Duct Design (Institute of Air Science and Contamination Control.2005.
- 10- HVAC Cooling Load Calculation and Principles PDHengineer.com Course № M-6010 , 5870 Highway 6 North, Suite 310 Houston, TX 77084 Toll Free: 877 500-7145,2008. administrator@PDHengineer.com.
- 11- Analysis of the Cooling Load of Building Saik Han Siang Mechanical Engineering Project Supervisor : Dr. Dirk Rilling.2006.
- 12- Application of Building Energy Simulation to Air-conditioning Design Sam C M Hui and K P Cheung Department of Architecture, The University of Hong Kong.2007.
- 13- ansys, Inc. and ANSYS EUROPE, Ltd are UL registered ISO 9001 companies. 9001. www.ANSYS.com

14- HVAC Fundamentals Second Edition Samuel C. Sugarman Published by The Fairmont Press, Inc 2007.

15-Handbook of air conditioning and refrigeration / Shan K. Wang—2nd ed. 2000.

16-ENGINEERING THERMODYNAMICS, By R.K. RAJPUT M.E. (Heat Power Engg.) Hons.—Gold Medallist ; Grad. (Mech. Engg. & Elect. Engg.) ; M.I.E. (India) ; M.S.E.S.I. ; M.I.S.T.E. ; C.E. (India) Third Edition : 2007.

قائمة الرموز

- U = معامل انتقال الحرارة الاجمالي $(W/m^2.C)$.
 Q = كمية الحرارة المارة خلال الجدار (W) .
 A = مساحة الجدار (m^2) .
 $CLTD$ = فرق درجات حرارة حمل التبريد الكلي المكافئ (C) .
 $CLTDc$ = فرق درجات حرارة حمل التبريد الكلي المكافئ المصحح (C) .
 LM = معامل التصحيح لخط العرض
 k = معامل التصحيح للون الجدار.
 T_i = درجة حرارة الحيز المكيف الداخلية (C) .
 T_{av} = معدل درجة حرارة الهواء الخارجية في اليوم التصميمي (C) .
 Q_m = كمية الحرارة الناتجة عن المعدات والاجهزة داخل الحيز (W) .
 N_m = عدد الاجهزة والمعدات داخل الحيز.
 q_s = الحرارة الناتجة من كل جهاز (W) .
 cl_{f2} = معامل تصحيح.
 Q_{lp} = الحرارة الناتجة عن الاشخاص (حمل كامن) (W) .
 q_l = مقدار الحمل الكامن لكل شخص (W) .
 $Q_{l_{gth}}$ = كمية الحرارة الناتجة عن الاضاءة (W) .
 N_{ol} = عدد المصابيح داخل الحيز.
 P = قدرة المصباح الواحد (W) .
 Q_{fs} = الحمل الحراري المحسوس نتيجة تسرب الهواء (W) .
 V = حجم الحيز المكيف (m^3) .
 T_a = درجة حرارة الهواء الخارجية (C) .
 Q_{fl} = الحمل الحراري الكامن نتيجة نسرب الهواء (W) .
 w_o = المحتوى الرطوبي للهواء الخارجي (Kg/Kg_a) .
 w_i = المحتوى الرطوبي للهواء الداخلي (Kg/Kg_a) .
 Q_{vs} = الحمل الحراري المحسوس نتيجة التهوية (W) .
 Q_{vl} = الحمل الحراري الكامن نتيجة التهوية (W) .
 Q_g = الحمل الحراري خلال الزجاج (W) .
 U_g = معامل انتقال الحرارة الاجمالي للزجاج $(W/m^2.C)$.
 A_g = مساحة الزجاج (m^2) .