

# مقارنة الأداء الحراري بين برج هوائي و مكيف صحراوي لتبريد المباني في المناطق الحارة الجافة بالمملكة العربية السعودية

د. ناصر بن عبدالرحمن الحمدي

أستاذ مشارك، قسم العمارة وعلوم البناء - كلية العمارة والتخطيط - جامعة الملك سعود  
ص.ب : 57448 الرياض - 11574 ، المملكة العربية السعودية

## ملخص البحث

تعتبر صائدات الهواء wind scopes أو بما تسمى ملاقف الهواء أو البراجيل أو الكاشتيل إحدى السمات المعمارية الموروثة لتبريد المباني التقليدية و تهويتها طبيعياً و على وجه الخصوص في المباني السكنية. استخدمت هذه الملاقف الهوائية في بعض المناطق من الجزيرة العربية وإيران وشمال أفريقيا لقرون طويلة عاكسة أثر العوامل المناخية على التكوين العمراني التقليدي في البيئة الصحراوية ذات المناخ الحار الجاف. وفي الوقت الحاضر ، استخدمت أبراج مطورة بالتبخير و بتصاميم جذابة و حديثة مميزة في عدد من المشاريع الجديدة في المملكة العربية السعودية مثل مبنى وزارة المعارف ومركز التعمير الأول بمدينة الرياض استجابة لسياسة الحكومة لترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية في تبريد المباني. يهدف هذا البحث إلى التعرف والتحقق من مدى فاعلية أبراج المطورة لتبريد غرف اختباريه تم تبريد أحدها بواسطة برج هوائي ومقارنتها بغرفة تم تبريدها بمكيف صحراوي وغرفة أخرى بدون تبريد. تم إجراء التجربة في محطة أبحاث كلية العمارة و التخطيط بجامعة الملك سعود بمدينة الرياض و ذلك خلال فترة الصيف لعام 1421هـ ( 2000م ). ولقد تم جمع معلومات بواسطة نظام جامع بيانات "CR10-X" و تحليلها باستخدام محلل إحصائي "Microsoft Excel" و تم عرض المعلومات على هيئة رسومات بيانية. دلت نتائج البحث على فاعلية تبريد الفراغ الداخلي باستخدام برج الهواء المطور وذلك مقارنة بنظام تكييف صحراوي معروف و شائع استخدامه في المناطق الحارة الجافة. وقد وجد أن درجات حرارة الهواء الداخلي للغرفة المبردة بواسطة البرج قد انخفضت مساوية درجة حرارة الغرفة المبردة بواسطة المكيف الصحراوي عند درجة حرارة 25°م و أقل من غرفة التحكم التي لم تبرد بحوالي 12°م عندما وصلت درجة حرارة الهواء الخارجي 44°م. ويختتم البحث بعرض بعض التوصيات المعمارية لتطبيق برج التبريد الطبيعي لتوظيفه في المباني في المناطق الحارة الجافة .

## 1. مقدمة :

مما لا شك فيه إن توظيف الإنسان الوسائل الطبيعية في العمارة التقليدية معروفه منذ زمن بعيد لتبريد الفراغات الداخلية و إنفاص تسرب كمية حرارة الشمس إلى داخل المساكن ، ولكن كانت طرق بدائية وفعاليتها غير كافية لتوفير الراحة الحرارية الملائمة للإنسان مثل جعل الحوائط والأسقف عريضة بهدف إبطاء سريان الحرارة من داخل المبنى الى خارجه و العكس صحيح.

في الوقت الحاضر و نتيجة التطور في تقنيات التصميم المعماري والعلوم الفيزيائية ، ظهرت منظومات تبريد طبيعية Passive Cooling Systems و التي تختلف باختلاف الابتكارات في طريقة خفض درجة حرارة الهواء في الفراغات المراد تبريدها في المباني. تعتمد هذه الأنظمة الطبيعية على استغلال الهواء الخارجي ambient air بعد تبريده طبيعياً لخفض درجة حرارة الهواء داخل المباني وبدون استخدام طرق ميكانيكية معقدة والتي تدار بالطاقة الكهربائية مثل مكيفات الهواء المعروفة Air Conditioning Systems . إن معامل كفاءة أداء الأنظمة الطبيعية Coefficient Of Performance – C. O. P. كما يعرف بأنه نسبة كمية التبريد الناتجة بالواط إلى كمية الطاقة المستهلكة بالواط – عادة خمسة أضعاف معمل الكفاءة للأنظمة الميكانيكية [1].

و مما لا شك فيه ان ظهور تقنيات بناء جديدة في عصرنا الحاضر مثل خرسانة الجاهزة وحديد التسليح و الزجاج و مواد العزل الحراري في عمليات البناء افرز تصاميم جديدة تكاد تلغي أسس وقوانين البناء التقليدية و التي كانت متلائمة مع أحوال المناخ ومتوافقة مع متطلبات الراحة الحرارية للإنسان بالرغم من عدم توفر الطاقة الكهربائية في ذلك الوقت. نتج عن تلك التصاميم مباني خرسانية بدون عوازل حرارية في الحوائط و الأسقف استهلاك للطاقة الكهربائية بمعدلات عالية لأجل توافر جو مريح بداخلها باستخدام المكيفات الميكانيكية الغالية الثمن. وصلت معدلات استهلاك الطاقة الكهربائية بواسطة الوحدات السكنية بمدينة الرياض إلى نسبة عالية جداً بالمقارنة مع معدلات الاستهلاك للوحدات السكنية المماثلة لها في المساحة وعدد أفراد الأسرة في كل من أستراليا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية , حسب دراسة قام بها الباحث ، سعيد عبد الرحيم سعيد على الوحدات السكنية بمدينة الرياض [2]. تشير هذه الدراسة إلى أن المتوسط العام لاستهلاك المباني السكنية من الطاقة الكهربائية في المملكة العربية السعودية يزيد بنسبة 63% عن معدلات الاستهلاك في أستراليا وبحوالي 47% عن معدلات الاستهلاك في المملكة المتحدة , وبحوالي 34% عن معدلات الاستهلاك في الولايات المتحدة الأمريكية . كما أوضحت هذه الدراسة أن التكييف ( تبريد وتدفئة ) يحتل المركز الأول في معدلات استهلاك الكهرباء في الدول الأربع حيث تقدر النسبة المئوية لاستهلاك التكييف من الطاقة الكهربائية في المملكة العربية السعودية بحوالي 41% , وفي أستراليا بحوالي 50% وفي المملكة المتحدة بحوالي 64% وفي الولايات المتحدة الأمريكية بحوالي 61%.

دعت الحكومة السعودية مواطنيها بضرورة الترشيد في استهلاك الطاقة الكهربائية و استخدامها بطرق مثلى و كفاءة عالية والحد من الاستهلاك الزائد عن الحاجة [ 3 ] . بالإضافة إلى ذلك ، وضعت برامج ترشيد استهلاك الطاقة لحل هذه المشكلة وتطبيق نظم التدفئة ونظم التبريد الطبيعية وتسخين المياه بالسخانات الماصة للطاقة الشمسية [4].

إن توظيف أنظمة التبريد الطبيعية لتوفير الراحة الحرارية للإنسان داخل فراغات المباني في الدول المتقدمة ساهم بشكل كبير في تحسين البيئة العمرانية وتقليل الاعتماد على الطاقة الكهربائية وخاصة في مباني المساكن الصحراوية التي يصعب أو لا تتوفر محطات توليد للطاقة الكهربائية بها .

## 2. أهداف الدراسة :

تهدف الدراسة إلى مقارنة بين نظام تبريد طبيعي باستخدام برج هوائي مطور من ملقف الهواء التقليدي , ونظام تبريد المكيف الصحراوي وأخذ قياسات لدرجات الحرارة بها و تحليلها و من ثم مقارنتها ببعض .

كما تهدف الدراسة إلى تحقيق الأهداف التالية عن طريق تجارب تطبيقية:

أ- دراسة فاعلية تبريد الفراغ الداخلي باستخدام برج التبريد الهوائي.

ب- التحقق من أثر البرج الهوائي لتبريد الفراغ الداخلي في غرف تجريبية واقعة في مناخ حار وجاف بمدينة الرياض.

ج- مقارنة الأداء الحراري للفراغ الداخلي باستخدام النظامين السابقين .

د- اقتراح توصيات تطبيقية مناسبة لاستخدام برج التبريد المقترح كمصدر تبريد طبيعي للمباني في المناطق الصحراوية و باستخدام أقل قدر ممكن من الطاقة.

## 3. منهج البحث :

نظراً لأن طبيعة الدراسة تجريبية , فقد اتبعت في البحث الخطوات التالية :

أولاً : الرجوع إلى المطبوعات والأبحاث والتقارير المنشورة عن التجارب المشاهدات التي أنجزت بواسطة باحثين متخصصين في دراسة تبريد المباني باستخدام برج الهواء .

ثانياً: إجراء تجربة تطبيقية خلال فترة الصيف عام 1421 هـ الموافق عام 2000م , والتي اشتملت على الخطوات التالية :

أ- جمع بيانات شاملة لدرجات حرارة الهواء في منتصف فراغ الغرف الاختبارية بدون أي نظام تبريد وبعد تشغيل أنظمة التبريد .

ب- جمع بيانات تفصيلية لأحوال الطقس من الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الهواء الجافة والرطوبة النسبية وسرعة الرياح واتجاهها .

ثالثاً: تحليل البيانات لمعرفة فاعلية تبريد برج هوائي و مقارنة بنظام التبريد لمكيف صحراوي الشائع استخدامه في المناطق الحارة الجافة بالمملكة العربية السعودية . نظراً لأن المناخ في مدينة الرياض يتميز بالحرارة الشديدة نتيجة شدة الإشعاع الشمسي , فإن إمكانية تبريد المباني بواسطة أبراج التبريد تسهم عملياً في خفض درجة حرارة الفراغات الداخلية إلى مستوى الراحة الطبيعية. ولتحديد فاعليتها تمت مقارنة ما يلي:

أ- دراسة الأداء الحراري للغرف الاختبارية في وضع حالة أساسية Basecase غير مبردة بهدف معرفة الأداء الحراري للغرف مع انعدام أي أثر للتبريد، وذلك بمقارنة متوسط ساعات اليوم والمتوسط اليومي لقراءات درجات حرارة الغرف الثلاث .

ب- دراسة الأداء الحراري للغرف الاختبارية في حالة تشغيل برج التبريد الطبيعي و المكيف الصحراوي .

إن معيار قياس فاعلية برج هوائي في تبريد الغرف النموذجية التجريبية يرتكز على ما تحقق من ظروف حرارية داخل الغرفة والتي تلبي الراحة الحرارية للإنسان . وعليه يتم مقارنات لما تحقق من خفض في درجات الحرارة الداخلية بالمقارنة مع درجات الحرارة الخارجية ، وذلك بمقارنة متوسط ساعات اليوم والمتوسط اليومي لقراءات درجات حرارة الهواء في منتصف الغرفة المبردة بواسطة برج التبريد مع هواء الغرفة المبردة بالمكيف الصحراوي وغرفة التحكم. وتم استخدام برامج تحليل إحصائي Microsoft Excel. في عملية تحليل البيانات والقراءات وتم عرض نتائج البحث بصورة منحنيات وجداول ورسومات بيانية للمقارنة .

#### 4. وصف الموقع والغرف الاختبارية

##### أ- الموقع

تم اختيار مدينة الرياض - التي تقع في هضبة نجد على خط عرض 24° و 42 شمال خط الاستواء و خط طول 46° و 44 شرق جرينتش و على ارتفاع 624 متر فوق سطح البحر - مكانا مناسباً للدراسة كما تم اختيار موقع التجربة في شمال أرض جامعة الملك سعود ، الرياض لكون هذا الموقع يتصف بالحرارة و الجفاف الشديدين صيفا و بالنطاق الحراري المرتفع حوالي 18°م. و يلاحظ أن فصل الصيف يمتد من شهر يونية إلى شهر سبتمبر و يتراوح المعدل الشهري لدرجة حرارة الهواء الجافة الصغرى من 22.0°م إلى 25.4°م ، أما المعدل الشهري لدرجة الحرارة القصوى فتتراوح من 44.0°م إلى 47.4°م. أما بالنسبة للرطوبة لنفس المدة فإن المعدلات العليا تتراوح من 32.0% إلى 66.0% و المعدلات الصغرى تتراوح من 2% إلى 3%. و تهب رياح حارة و جافة على مدينة الرياض، تُعرف برياح "السموم" و يتراوح المعدل الشهري لهبوبها صيفا" ما بين 4 عقدة إلى 8 عقدة و اتجاهها غالبا" ما يكون شمالا". و يتراوح الضغط الجوي ما بين 937.1 ساعة ضغط إلى 940.4 ساعة ضغط. كما أن المعدل الشهري لهطول الأمطار 0.0 مم في أشهر الصيف بينما يصل 39.5 مم في شهر إبريل. و يتميز المناخ في مدينة الرياض بوجود أشعة الشمس شبه العمودية في فترة الصيف و التي تتراوح من 813 إلى 929 واط/م<sup>2</sup>، و تكون النتيجة ارتفاع في درجة حرارة سطح الأرض مما يؤدي إلى ارتفاع في درجة حرارة الهواء الملامسة لسطح الأرض و ترتفع إلى أعلى ليحل هواء بارد نسبي وبالتالي تتواجد زوايا رميلية في فترة شدة أشعة الشمس [5].

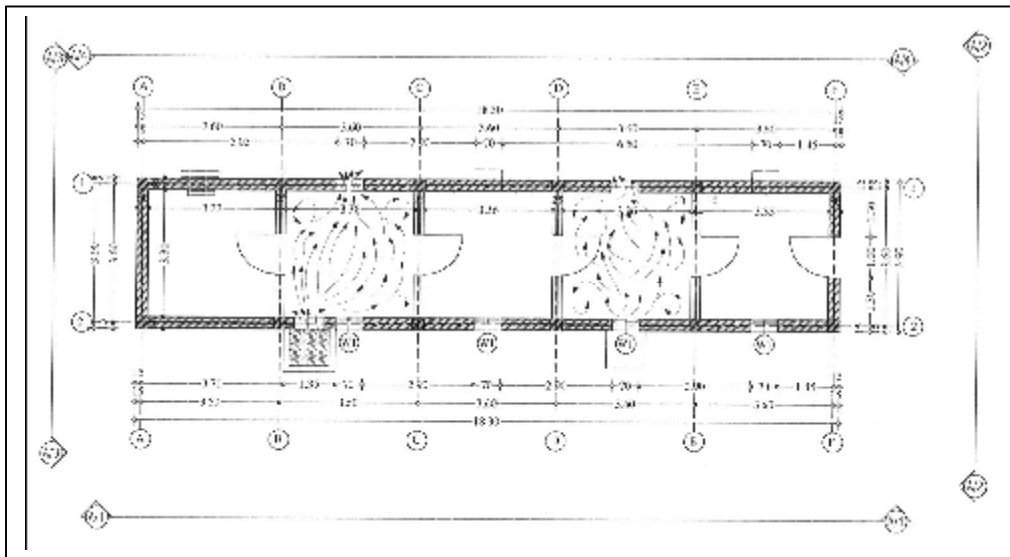
##### ب- الغرف الاختبارية :

لقد تم اختيار مبنى لإجراء الدراسة التطبيقية ويتكون من صف من خمس غرف أنشئت في عام 1987م . جميع الغرف متساوية الأبعاد 3.45م X 3.45م في المسقط الأفقي وبارتفاع 3م . صمم المسقط الأفقي للمبنى بحيث يكون مستطيلاً ضلعه الأطول باتجاه الشمال إلى الجنوب بهدف تساوي أثر عوامل المناخ كالرياح وسقوط أشعة الشمس على الحوائط والأسطح . حوائط المبنى الداخلية والخارجية معزولة حرارياً . يظهر الشكل رقم 1 رسومات معمارية للغرف الاختبارية شاملة مسقط أفقي و واجهة و قطاع للمبنى التجريبي. شيد هذا المبنى بحوائط خارجية مزدوجة السمك 20سم و 15سم بينهما فراغ مملوء بعازل حراري سمك 7.5سم من مادة ألواح البولستيرن . و أسقف الغرف الاختبارية متساوية في مساحتها وسمك بلاطة السقف

الأفقية بمقدار 12سم ودروة السقف ارتفاعها 40سم . تم طلاء الحوائط الخارجية بلون ترابي فاتح . زودت الغرف ماعدا الغرفة الجنوبية ، التي خصصت كغرفة تحكم أي بدون تبريد ، بنوافذ ذات زجاج مزدوج . كما زودت الغرف جميعها بأبواب محكمة الغلق لمنع التسرب الحراري بين غرفة وأخرى. عامل الفقد



1(أ) منظر عام لموقع التجربة.



## 1(ب) مسقط أفقي لمبنى غرف التجارب

شكل (1) منظر عام لموقع التجربة و مسقط أفقي لمبنى التجربة في محطة الأبحاث لكلية العمارة و التخطيط ، جامعة الملك سعود ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

الحراري (The Building Loss Coefficient (BLC) لغرفة التحكم وغرفة البرج بمقادير 1563 و 857 وات ساعة / م<sup>3</sup> يوم ، على التوالي. يبين الشكل رقم 2 تفاصيل الغرف التجريبية. كما يوضح الشكل رقم 3 منظر خارجي لمبنى التجربة في محطة الابحاث بكلية العمارة و التخطيط. يتكون نظام برج التبريد الطبيعي من ثلاثة أقسام :

1. الملقف : وهو جزء علوي يشمل على فتحات موجهة للرياح ومركب ألواح الكرتون Sildek.
2. الارتفاع : وهو عمود البرج ( الارتفاع الفعال ) وهو الجزء الذي يصل بين مقفل الهواء وفتحات الخروج .
3. نظام التبخير : والمكون من مادة كرتونية تسمى "Sildek" و مواسير تغذية و تصريف بقطر نصف بوصة و مضخة ماء نصف حصان تستهلك 450 واط/ساعة و خزان ماء سعة 1 م<sup>3</sup>. وتعتمد فكرة نظام برج الهواء الطبيعي على إدخال الهواء الساخن الجاف عبر فتحات ضيقة لألواح الكرتون المرطبة بالماء وينحرف اتجاه الهواء أسفل متجهاً إلى الفراغ المراد تبريده. و ينتج عن تبريد الهواء الساخن بالتبخير إنخفاض في درجة حرارة الهواء المحسوسة وارتفاع في درجة حرارة الماء الغير محسوسة. و ينساب الهواء البارد إلى اسفل البرج نتيجة زيادة كتلته.

### ج\_ الأجهزة المستخدمة في التجربة :

أُستخدمت أجهزة خاصة في إجراء الدراسة ويمكن تصنيفها إلى ثلاث أجزاء رئيسية :

#### أولاً : المجسات

1. استخدم 22 مجس Thermocouples , type T لقياس درجة حرارة هواء الغرف الاختبارية وحرارة الأسطح الحوائط والأسقف والأرضيات الداخلية والخارجية للغرف الاختبارية . وقد تم عمل تصحيح عمل القراءات الحرارية. تم الحصول على قراءات للمجسات ومعيار حراري زئبقي Spar Scientific لمدة ثلاثة أيام عندما وُضعت جميعها في ماء ساخن وماء متجمد وماء دافئ وتم عمل معادلة علاقة خطية بين قراءة المجس الواحد وقراءة المعيار الزئبقي بهدف الحصول على معامل تصحيح لكل مجس حراري .
2. مجس بيرانوميتر A Perineometer model LI-COR, type LI2003S لقياس كمية الإشعاع الشمسي.

3. مجس قياس سرعة واتجاه الرياح A Met One Anemometer, type 014A-U

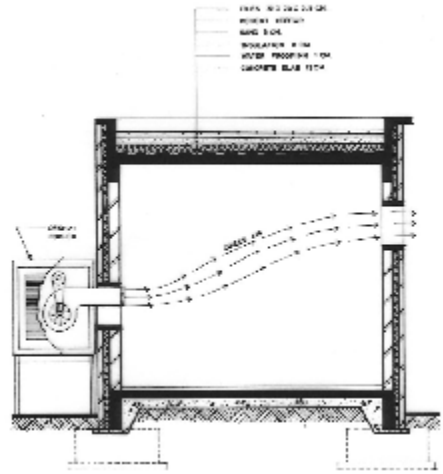
4. مجس درجة حرارة الهواء الجافة والرطوبة النسبية نوع VAISALA, type HMP35C

#### ثانياً : نظام تجميع وتخزين القراءات

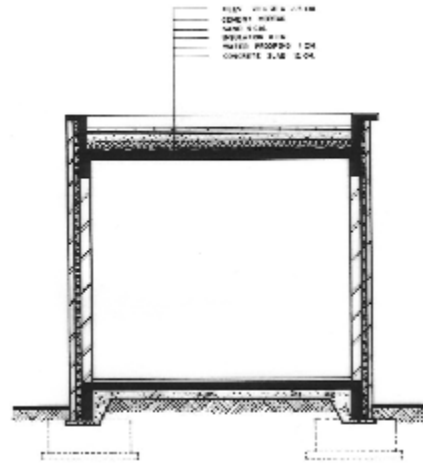
تم استخدام نظام CR10 المصنوع بواسطة شركة كامبل العالمية . Campbell Scientific, Inc. Logan Utah, USA حيث يقوم هذا الجهاز بتسجيل متوسط للقراءات من جميع المجسات كل 10 دقائق ثم كل 30 دقيقة ثم كل 24 ساعة .

#### ثالثاً : وحدة حاسب آلي.

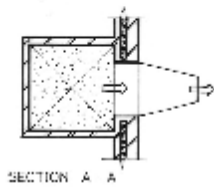
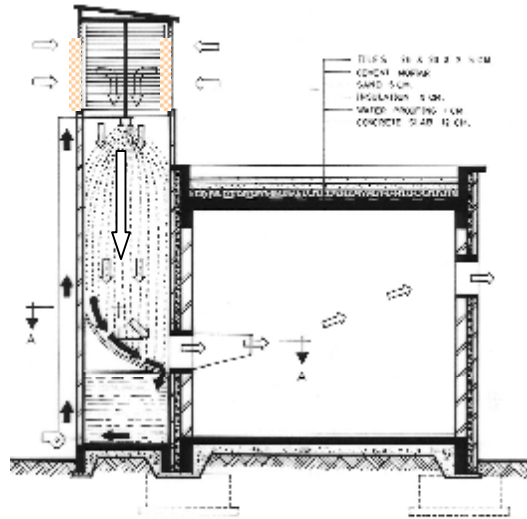
تم استخدام جهازين حاسب آلي , يعملان على برنامج PC208 , لتشغيل نظام آلي CR10 ومعالجة القراءات وتخزينها يومياً ومشاهدة رسومات بيانية وقت تسجيل القراءات لجميع أجهزة القياس لأحوال الطقس والمجسات الحرارية . كما استخدم برنامج Excel لتحليل البيانات وتحويلها إلى رسومات بيانية وتحليل البيانات المسجلة. ولقد تم الحصول على أجهزة قياس لجمع القراءات من شركة كامبل الأمريكية . Campbell Scientific, Inc. Logan Utah USA . ولكن المجسات الحرارية قد صححت Calibrated في موقع التجربة بوضع جميع المجسات في حوض ماء ذو ثلاث حالات - ساخنة ودافئة وباردة - . وتم الحصول على قراءات في الحالات الثلاث وقورنت بقراءات صحيحة باستخدام ثيرموميتر . ووجد أن المجسات الحرارية تسجل قراءات متقاربة وبفروق صغيرة حوالي  $\pm 3\%$  . أما بالنسبة لجميع الأجهزة التي تم توريدها من شركة كامبل فقد عمل لها تصحيح Calibrated من الشركة نفسها .



2 (ب) غرفة المكيف الصحراوي



2 (أ) غرفة التحكم



شكل (2) رسومات للغرف الاختبارية في محطة أبحاث كلية العمارة والتخطيط جامعة الملك سعود.



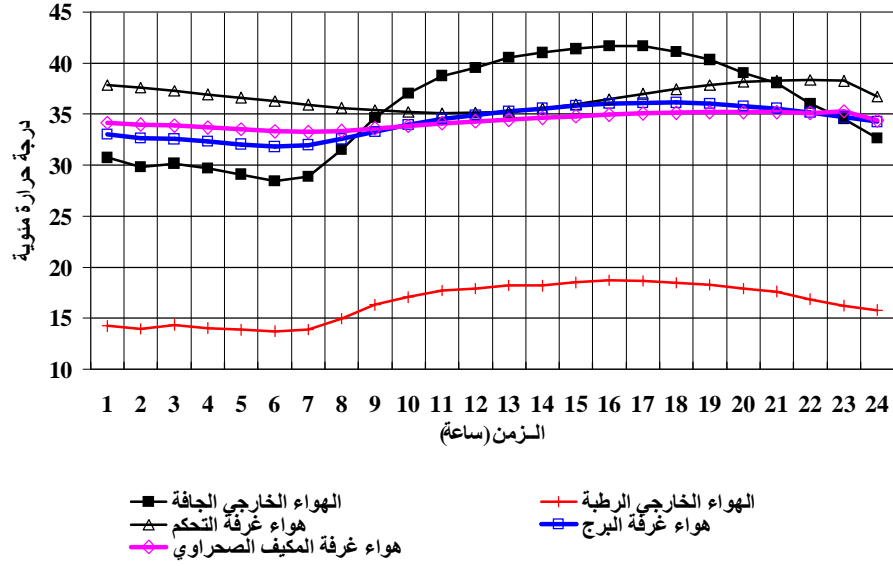
## 5. عرض النتائج :

أجريت التجربة التطبيقية على مرحلتين خلال موسم الصيف من 1 / 6 / 1421هـ إلى 6 / 6 / 1421 هـ. تم تسجيل قراءات درجات حرارة سقف وهواء لكل غرفة من الغرف الثلاث التجريبية ( غرفة تحكم "بدون تبريد" ، غرفة مزودة ببرج تبريد طبيعي، غرفة مزودة بمكيف صحراوي). تم تسجيل قراءات درجات الحرارة الجافة "DBT" Dry Bulb Temperature والرطوبة "WBT" Wet Bulb Temperature والرطوبة النسبية والإشعاع الشمسي وسرعة و اتجاه الرياح . ولقد تم تسجيل القراءات في ثلاثة أوقات كل 10 دقائق و 30 دقيقة و 24 ساعة يومياً طوال مدة التجربة , وكانت حالة الطقس أيام التجربة حارة جداً والسماء صحو ليلاً ونهاراً.

يوضح الشكل رقم ( 3 ) الأداء الحراري للمرحلة الأولى من إجراء التجربة و هي حالة أساسية، بحيث تم أخذ قراءات داخل و خارج الغرف التجريبية بدون عمل البرج و المكيف الصحراوي. اشتملت القراءات على درجات حرارة الهواء الخارجي الحارة والرطوبة و كذلك درجة حرارة هواء غرفة التحكم و الغرف المزودة ببرج التبريد الطبيعي و غرفة المكيف و لكن بدون أثر تبريد من تلك الأنظمة التبريدية. يوضح هذا الشكل متوسط قراءات ليوم كامل يمثل قراءات ستة أيام و ذلك خلال الفترة من تاريخ 1 / 6 / 2000م إلى تاريخ 6 / 6 / 2000م. كما يبين الشكل نمط درجات الحرارة لهواء غرفة التحكم والغرف الأخرى . عندما سجلت حرارة الهواء الخارجي للحد الأعلى 42 °م في الساعة الثالثة ظهراً ، وصلت درجة حرارة الهواء لغرفة التحكم حوالي 36 °م بينما وصلت درجة حرارة هواء غرفة البرج 35.5 °م وسجلت درجة حرارة هواء غرفة المكيف الصحراوي 35 °م. و يلاحظ أن المتوسط اليومي لدرجة حرارة الهواء الخارجي المحيط ينطبق على المتوسط اليومي لغرفة التحكم المقفلة و يصل حوالي 36 °م ، بينما يصل المتوسط اليومي للهواء الداخلي للغرف الأخرى حوالي 34.5°م. من هذه النتيجة يتضح تساوي درجة حرارة الهواء الداخلي للغرف الاختبارية على وجه التقريب مع عدم وجود تأثير تبريد بداخل الغرف التجريبية.

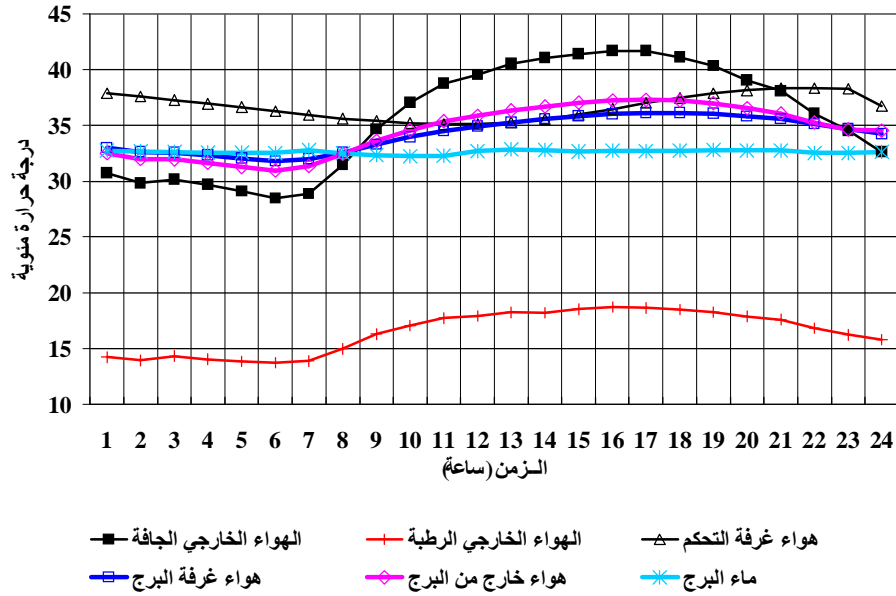
يوضح الشكل رقم 4 الأداء الحراري لغرفة برج التبريد الطبيعي و غرفة التحكم عندما لم يكن برج الهواء يعمل. و يلاحظ أن نمط درجة حرارة الهواء في فتحة برج التبريد تقترب من نمط درجة حرارة الهواء الداخلي للغرفة. كما أن درجة حرارة الماء في حوض برج التبريد المعزول بالبولستيرين حوالي 32.5°م. كما يلاحظ أن درجة حرارة الهواء الخارجي الصغرى عند الساعة السادسة صباحاً وصلت 29°م بينما وصلت درجة حرارة كل من الماء و غرفة البرج و غرفة التحكم أعلى من درجة حرارة الهواء الخارجي بمقادير 33°م ، 32°م ، 36°م ، على التوالي. هذه النتيجة توضح أن الأداء الحراري لغرفة برج هوائي في فترة الليل لم يوجد أثر تبريد بالرغم أن درجة حرارة الهواء الخارجي أبرد من داخل الغرفة.

المرحلة الأولى: الغرض في وضع حالة بدون عمل البرج و المكيف الصحراوي (فترة 1-6 يولية 2000م).



شكل (3) الأداء الحراري للغرف الاختبارية في المرحلة الأولى بدون تبريد.

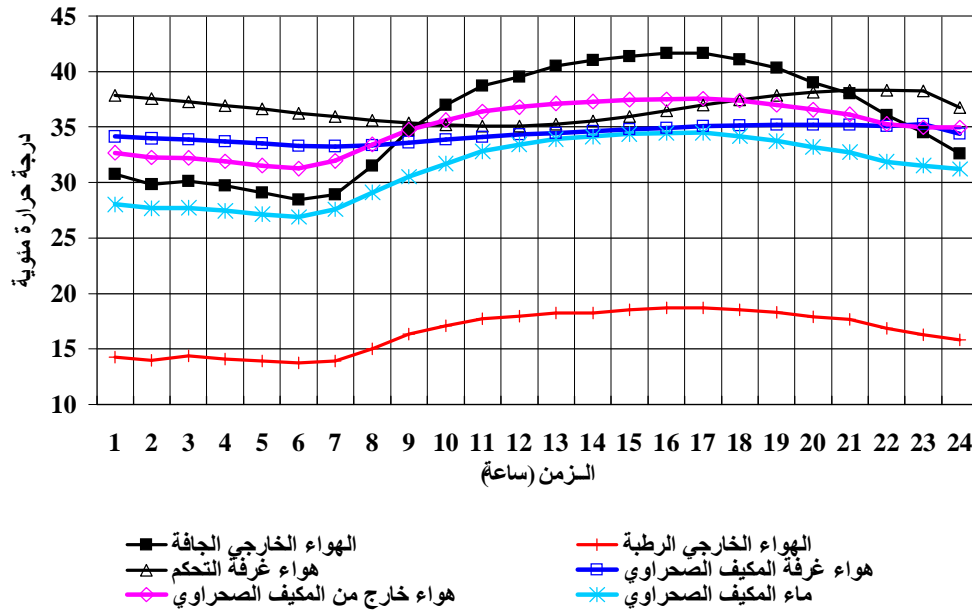
المرحلة الأولى: غرف البرج في وضع حالة بدون تبريد (فترة 1-6 يولية 2000م).



شكل (4) الأداء الحراري لغرفة برج التبريد الطبيعي و غرفة التحكم.

يوضح الشكل رقم ( 5 ) الأداء الحراري لغرفة بدون عمل المكيف الصحراوي و غرفة التحكم في المرحلة الأولى من إجراء التجربة و هي حالة أساسية عندما لم يكن المكيف الصحراوي يعمل. و يلاحظ أن نمط درجة حرارة الهواء في فتحة المكيف والماء في اسفل المكيف يتخذان النمط نفسه بفارق بينهما حوالي 4 °م. كما يلاحظ أنه عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي الصغرى 29°م في الساعة السادسة صباحاً وصلت درجة حرارة كل من غرفة المكيف و غرفة التحكم أعلى من درجة حرارة الهواء الخارجي بمقادير 34°م ، 36°م ، على التوالي. هذه النتيجة توضح أن الأداء الحراري لغرفة المكيف في فترة الليل لم يتأثر أثر تبريد بالرغم أن درجة حرارة الهواء الخارجي أبرد من داخل الغرفة. و لكن درجة حرارة الماء انخفضت بحوالي 1°م عن أدنى درجة لحرارة الهواء الخارجي.

المرحلة الأولى: غرف المكيف الصحراوي وضع حالة بدون تبريد (فترة 1-6 يولية 2000م).

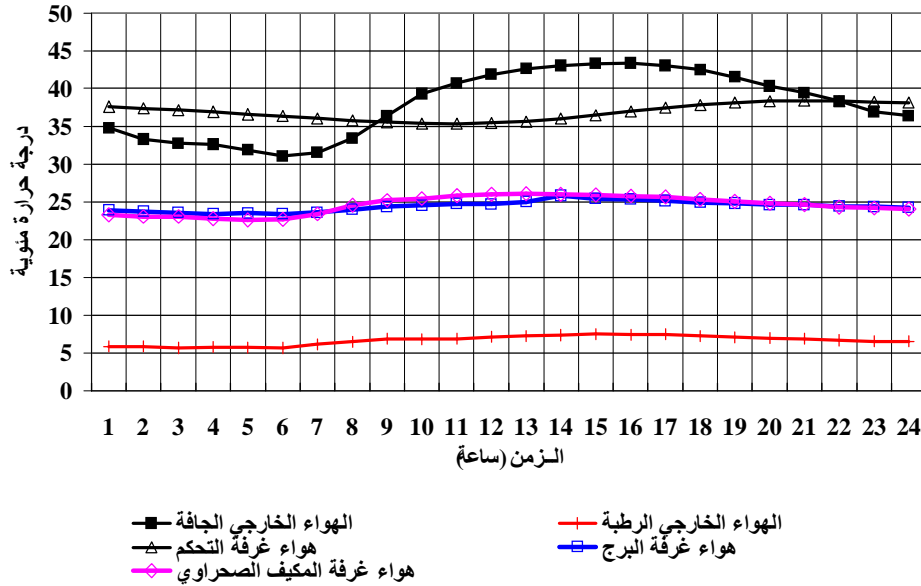


شكل (5) الأداء الحراري لغرفة لمكيف الصحراوي و غرفة التحكم.

يوضح الشكل رقم ( 6 ) الأداء الحراري للغرف التجريبية في المرحلة الثانية من التجربة ، عندما تم تشغيل برج التبريد الطبيعي و ذلك بتشغيل مضخة الماء و تشغيل المكيف الصحراوي بدفع هواء عالي. و تم أخذ قراءات داخل و خارج الغرف التجريبية و اشتملت القراءات على درجات حرارة الهواء الخارجي الحارة والرطوبة و كذلك درجة حرارة هواء غرفة التحكم و الغرف المزودة ببرج التبريد الطبيعي و غرفة المكيف الصحراوي. يوضح هذا الشكل متوسط قراءات يوم كامل يمثل قراءات ستة أيام و ذلك خلال الفترة

من تاريخ يوم 9 / 6 / 2000م إلى تاريخ يوم 15 / 6 / 2000م. كما يبين الشكل نمط درجات الحرارة لهواء غرفة التحكم والغرف الأخرى . عندما سجلت حرارة الهواء الخارجي للحد الأعلى 44 م° في الساعة الثالثة ظهراً ، وصلت درجة حرارة الهواء لغرفة التحكم حوالي 35 م° بينما وصلت درجة حرارة هواء غرفة كل من البرج و المكيف الصحراوي 25.5 م°. و يلاحظ أن المتوسط اليومي لدرجة حرارة الهواء الخارجي المحيط ينطبق على المتوسط اليومي لغرفة التحكم المقلدة و يصل حوالي 37 م° ، بينما ينخفض المتوسط اليومي للهواء الداخلي للغرف كل من البرج و المكيف الصحراوي حوالي 25 م°. من هذه النتيجة يتضح تساوي درجة حرارة الهواء الداخلي في الغرف الاختبارية على وجه التقريب لتأثير كل من البرج و المكيف الصحراوي لتبريد هواء داخل الغرف التجريبية. كما يتضح فاعلية الأداء الحراري لبرج التبريد الطبيعي بالمقارنة مع أداء المكيف الصحراوي المستخدمان في التجربة.

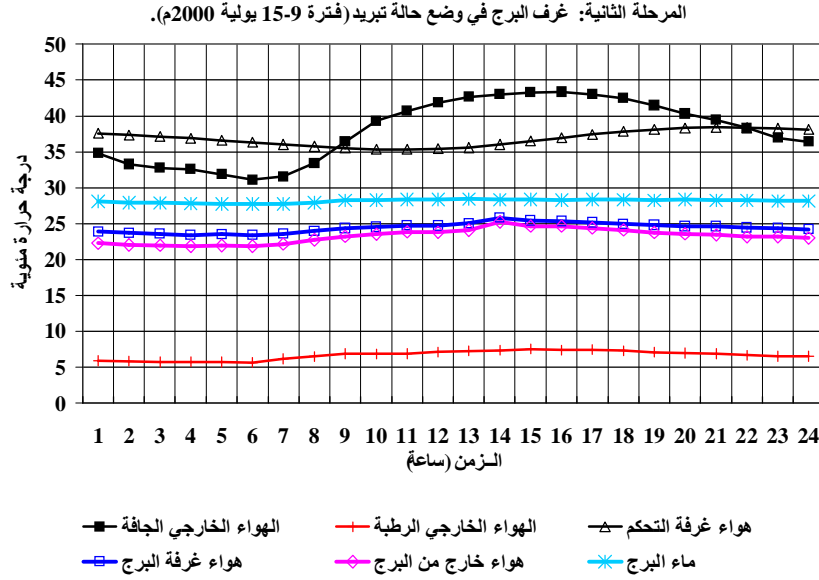
لمرحلة الثانية في وضع حالة عمل البرج و المكيف الصحراوي  
(فترة 9-15 يولية 2000م).



شكل (6) الأداء الحراري للغرفة التحكم و الغرف المزودة بالبرج و المكيف الصحراوي.

يوضح الشكل رقم (7) الأداء الحراري لغرفة برج التبريد الطبيعي و غرفة التحكم عندما كان برج التبريد مشغلاً. و يلاحظ أن نمط درجة حرارة الهواء في فتحة برج التبريد تقترب من نمط درجة حرارة الهواء الداخلي للغرفة. كما أن درجة حرارة الماء في حوض برج التبريد المعزول بالبولسترين حوالي 27 م°. كما يلاحظ أنه عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي الصغرى عند الساعة السادسة صباحاً حوالي 29 م°

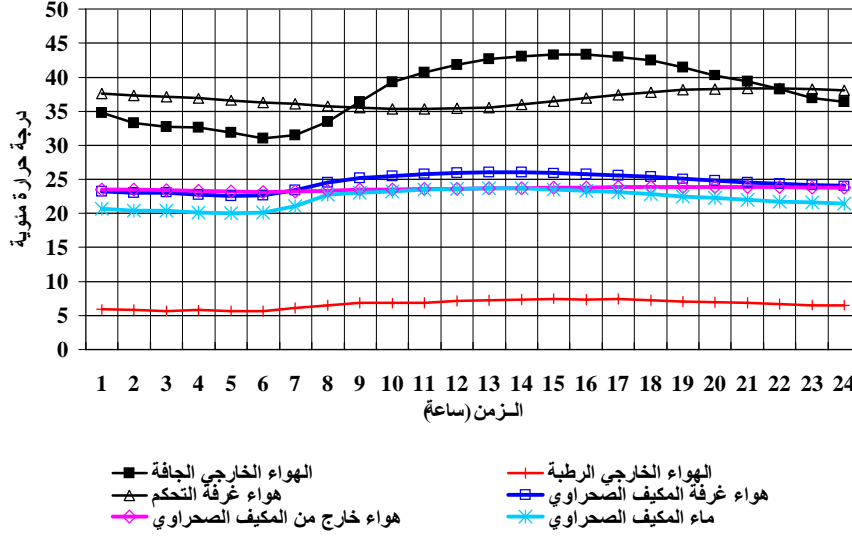
وصلت درجة حرارة كل من الماء و الهواء الخارج من البرج و غرفة البرج و غرفة التحكم أعلى من درجة حرارة الهواء الخارجي بمقدار 27م ، 24م ، 23م ، 36م ، على التوالي. هذه النتيجة توضح أن الأداء الحراري للبرج كان فاعلاً في تبريد غرفة البرج بحيث أصبح أقل من الحد الأدنى لدرجة حرارة الهواء الخارجي.



كل (7) الأداء الحراري للغرفة التحكم و الغرفة المزودة ببرج التبريد الطبيعي.

يوضح الشكل رقم ( 8 ) الأداء الحراري لغرف بدون عمل المكيف الصحراوي و غرفة التحكم في المرحلة الثانية من إجراء التجربة و هي الحالة التي كان المكيف الصحراوي يعمل. و يلاحظ أن نمط درجة حرارة الهواء في فتحة المكيف والماء في اسفل المكيف يتخذان النمط نفسه بفارق بينهما حوالي 2 م. يلاحظ أنه عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي الصغرى 29م في الساعة السادسة صباحاً وصلت درجة حرارة كل من الماء والهواء الخارج المكيف الصحراوي غرفة المكيف و غرفة التحكم أقل من درجة حرارة الهواء الخارجي و بمقدار 20م ، 20م ، 20م ، 36م ، على التوالي.

المرحلة الثانية: غرف المكيف الصحراوي وضع حالة تبريد (فترة 9-14 يولية 2000م).



شكل (8) يوضح الأداء الحراري للغرفة التحكم و الغرفة المزودة بالمكيف الصحراوي.

## 6- اقتراحات لتطبيقات برج الهواء في المباني:

في هذه الدراسة تبين فعالية استخدام النظام المقترح لتبريد مبنى في منطقة حارة وجافة كما هو الحال في مدينة الرياض . ويمكن تطبيق استخدام النظام المقترح على المباني ذات الدور الأرضي أو الدورين أو الأدوار العليا من المباني , لكن يتطلب أن يراعي تصميم المبنى مع تصميم النظام المقترح .

## 7- الخاتمة:

يمكن إيجاز أهم الاستنتاجات من هذه الدراسة في النقاط التالية :

1. تشير هذه التجارب إلى أن نظام برج الهواء المقترح يسهم بأثر فعال لتبريد الفراغ الداخلي للمبنى خلال فترة الصيف الحارة . هذا يؤكد الافتراضية بأن النظام المقترح يزيد من فعالية أداءه بدليل أن نتائج الدراسة بينت أن أداء هذا النظام مكن من الحصول على أداء مماثل للمكيف الصحراوي.
2. تطبيق نظام البرج الهوائي المقترح يمكن أن يكون استراتيجية فعال لتبريد المباني خلال الفترة الحارة الجافة في المناطق الصحراوية في أيام الصيف عندما تسجل أعلى درجات حرارة للهواء فيمكنه بفعالية خفض متوسط حرارة الهواء إلى أقل من متوسط درجة حرارة الهواء الجافة للبيئة المحيطة خارج المبنى.

3. يمكن تطبيق برج الهواء في المباني ذات الدور الأرضي أو الدورين أو الأتوار العليا من المباني متعددة الطوابق ولكن سلبية هذا النظام أنه لا يستخدم إلا للتبريد في الصيف فقط. وهذا النظام يمكن إنشاءه بتكلفة مالية قليلة من مواد متوفرة محلياً .

### شكر و عرفان

يشكر الباحث مركز البحوث في كلية العمارة و التخطيط في جامعة الملك سعود على دعم هذا البحث و تسجيله برقم 1-23-1418.

### المراجع:

<sup>1</sup>Givoni, B. *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*. Van Nostrand Reinhold, 1994.

<sup>2</sup> عبدالرحيم ، سعيد ، "تقسيمات الطاقة في المباني السكنية"، مجلة جامعة الملك عبدالعزيز، كلية الهندسة، 1417 هـ.

<sup>3</sup> جريدة الرياض ، " خادم الحرمين يرأس مجلس الوزراء " ، محليات ص 2 ، عدد 11639 ، السنة 37 ، 12 صفر 1421 هـ ، 16 مايو 2000

<sup>4</sup> التويجري عبدالرحمن عبدالمحسن ، " جهود وزارة الصناعة والكهرباء في مجال ترشيد الاستهلاك وإدارة الأحمال الكهربائية والنتائج التي تم تحقيقها على مستوى المملكة " . ورقة مقدمة في ورشة عمل ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية وإدارة الأحمال ، الرياض ، المملكة العربية السعودية ، 29 ذي الحجة 1417 هـ - - غرة محرم 1418 هـ .

<sup>5</sup> مصلحة الأرصاد وحماية البيئة . "معلومات عن أحوال الطقس وبيئة مدينة الرياض" . جدة ، مركز المعلومات والوثائق العلمية ، وزارة الدفاع والطيران ، المملكة العربية السعودية ، 1415 هـ .