أبحاث ندوة عمارة المساجد، م ٦ أ، ص ص ٢٥-٤٠، كلية العمارة والتخطيط، جامعة الملك سعود (١٤١٩ هـ/ ١٩٩٩م)

أبراج التبريد الطبيعي وأثرها على الأداء الحراري للمساجد: حالة دراسية لجامع الرحمانية بالجوف

خالد بن عبد الله بن مقرن آل سعود، ناصر بن عبد الرحمن بن محمد الحمدّي

قسم العمارة وعلوم البناء ، كلية العمارة والتخطيط ، جامعة الملك سعود

الرياض، المملكة العربية السعودية

ملخص البحث: أبراج التبريد الطبيعي أو ما يسمى تقليدياً بملاقف الهواء أو البادجير هي من العناصر المعمارية البارزة في العمارة التقليدية و المنتشرة في مناطق واسعة من الأقاليم المناخية الحارة الجافة والرطبة. و قد ظهرت مؤخراً تطبيقات مطورة تعتمد على تبريد الهواء طبيعياً بواسطة التبخير في الجزء الأعلى من برج التبريد و يؤدي تبريد الهواء إلى زيادة كثافته فيندفع إلى أسفل البرج ويخرج من الفتحة المؤدية إلى فراغ المبنى. و من الأمثلة الحديثة في هذا المجال استخدام أبراج التبريد الطبيعي في تكييف مسجد الرحمانية الجامع بمدينة سكاكا بمنطقة الجوف والذي تم بناؤه منذ ثلاث سنوات.

يهدف البحث بصورة رئيسة إلى دراسة فاعلية استخدام هذه التقنية في تبريد المساجد و التي تتميز بفترات استعمال قصيرة نسبياً ومتقطعة و ذلك من خلال تقويم البيئة الحرارية الداخلية و تحديد مدى مناسبتها لأداء الصلاة. و قد قام الباحثان في هذا الصدد بقياس دقيق لدرجات الحرارة داخل وخارج المسجد في فصل الصيف تلاه تحليل إحصائي كمي ونوعي مدعم بالرسومات البيانية.

وقد توصل الباحثان إلى نتائج ملخصها بأن هذا النظام الطبيعي في التبريد كان فاعلاً ومحققاً لمتطلبات الراحة الحرارية بشكل كبير كما أن لهذا النظام أثر في خفض استهلاك الطاقة الكهربائية. ويوصي الباحثان بأن يستفاد من هذه التجربة وأن يتم تعميمها في المساجد الجديدة التي تقع في المناطق ذات المناخ الحار و الجاف.

المقدمة

عرف الإنسان القديم الأثر الإيجابي للتهوية الطبيعية في التخفيف من أثر الحرارة على جسمه ، وعليه فقد طور تقنيات بنائية متعددة يتحقق من خلالها قدر مناسب من التهوية داخل المباني و يتحقق بواسطتها أفضل مستوى ممكن من الراحة الحرارية للمستخدمين. و من بين هذه التقنيات ما يُعرف قديماً في اللغة الفارسية بالبادجير Bad Gear و يعني برج الهواء أو ملقف الهواء [١] و قد أستخدمه قدماء المصريين في مبانيهم و ظهر ذلك في بعض الرسومات والتي ترجع إلى سنه ١٥٠٠ قبل الميلاد [٢] و قد انتشرت هذه التقنية بصور وأشكال معمارية متعددة بعضها بدائي بسيط وبعضها متطور في مناطق واسعة من البيئات الحارة. وبالأخص في منطقة الخليج العربي و العراق و مصر و إيران و الباكستان و أفغانستان وقد لخصت (سوزان رؤوف) هذه الأشكال في بحثها عن التقنيات التقليدية في ستة نماذج. [٣]

وتتفوق أبراج التهوية عن غيرها من الفتحات والنوافذ بميزات متعددة أوردها (المقرن) وهي: [٤]

١- الحصول على هواء نقي نسبياً من العوائق الترابية وذلك لبعد مصدر الهواء عن سطح الأرض.

٢- الحصول على هواء بسرعة أعلى وذلك لأن سرعة الهواء تتزايد كلما زاد الارتفاع عن سطح الأرض.

٣- الارتفاع و البعد عن المباني و العوائق المادية التي تحجب أو تعيق الرياح من الوصول إلى الفتحات.

٤- توفير التهوية للمباني أو الفراغات التي لا يوجد لها نوافذ خارجية.

٥- تلطيف درجة حرارة الهواء المار خلال جسم البرج.

٦- إقتناص نسيم الهواء من كافة الاتجاهات بصرف النظر عن توجيه المبنى.

المساجد و أبراج التهوية

كان النموذج النبوي لتصميم المسجد [٥] و الذي يتكون من فراغين رئيسين الأول مغطى بقباب و الآخر الصحن المفتوح أساساً لمعظم تصميمات المساجد في المناطق الحارة. إن الفناء المكشوف أو صحن المسجد التي تقع في مؤخرته تمثل حلاً مناخياً يعطي الإمكانية لأداء صلوات المغرب والعشاء والفجر في فصل الصيف والربيع , لأن درجة الحرارة الخارجية تكون مقبولة نسبياً في تلك الفترات اكثر منها خلال النهار.

وقد ظهر استخدام أبراج التهوية في المساجد التاريخية كما في المسجد القديم في كرمان بإيران [٦] حيث يقع برج التهوية بجوار المحراب و يتكامل مع بناء و تكوين المسجد. وقد وجد الباحث (يعقوبي) في دراسته لهذا المسجد أن برج التهوية قد ساعد على إحداث تيار هواء أثناء النهار من الخارج إلى داخل المسجد و ذلك عندما كانت سرعة الهواء الخارجي منخفضة و كانت درجة حرارة الهواء الخارج من البرج تقل عن درجة حرارة الهواء الخارجي بمقدار ثلاث درجات مئوية مما أعطت تأثيراً إيجابياً داخل المسجد ، أما في الليل فقد تغير اتجاه تيار الهواء في البرج و اصبح يعمل كالمدخنة.

وفي المناطق الحارة الجافة فإن أثر أبراج و ملاقف الهواء يكون محدوداً ومقتصراً على أحداث تيار هواء داخل المبنى أما درجة حرارة الهواء فعادة ما تكون قريبة من درجة حرارة الهواء الخارجي. فقد أضيفت تاريخياً بعض أنظمة التبخير إلى أبراج التهوية وذلك لرفع كفاءتها ، ومن الأمثلة على ذلك، ما وجد في مصر من استخدام الزير والخيش المبلل في داخل البرج [٧] وذلك لتلطيف درجة حرارة الهواء المار خلال البرج، و كذلك ما وجد في إيران من تمرير الهواء الداخل عبر البرج تحت الأرض أو فوق مسطح مائي [٨] و ذلك لخفض حرارته بواسطة التبخير.

أهداف البحث

يهدف البحث بصورة أساسية إلى أجراء دراسة تحليلية لأبراج التبريد المستخدمة في جامع الرحمانية بالجوف وذلك من خلال تحقيق ما يلي:

- تحديد كفاءه أبراج التبريد الطبيعي في جامع الرحمانية ومدى ملاءمتها للتطبيق في منطقة الجوف والمناطق المشابهة.
- قياس فاعلية الأبراج في تكييف الفراغ الداخلي للجامع.

منهج البحث وطريقته

لتحقيق الأهداف آنفة الذكر، فقد أُتبعت الخطـــوات التاليـــة:

الخطوة الأولى : الرجوع إلى المطبوعات والسجلات و الأبحـــاث و التقـــارير المنشـــورة:

١- عن التجارب والتطبيقات التي أُنجزت بواسطة باحثين متخصصين في دراسة فاعليـــة أبـــراج التـــبريد الطبيعيـــة.

٢- مناخ منطقة الجـــوف.

٣- بيانات استهلاك الكهرباء لجامع الرحمانية و للمساجد بشـــكل عـــام.

الخطوة الثانية : القيام بدراسات ميدانية اشـــتملت علـــى:

١- جمع بيانات درجات حرارة الهواء المسجلة لفصل الصيف شاملة درجات حرارة الهواء الخارجي و الهواء داخل الجامع .

٢- جمع بيانات تفصيلية عن الإشعاع الشمسي و درجات الحرارة والرطوبة النســـبية وســـرعة الهـــواء خـــارج وداخـــل الجامع وذلك لفترة ٤٨ ساعة متتالية من فصـــل الصيـــف.

وقد استخدمت مجموعة مـــن المجســـات الحراريـــة Thermocouples المتصلـــة بجـــهاز آلي لجمـــع البيانـــات Data Logger و الذي يسجل القراءات كل ١٥ دقيقة ، ووزعت المجسات الحراريـــة في داخـــل فـــراغ المســـجد و علـــى ارتفاع ١م عن سطح الأرض و عند مخارج الأبراج ، كما ركبت محطة أرصـــاد في أعلـــى ســـطح المســـجد و ذلـــك لجمع البيانات المناخية آنياً مع البيانات المسجلة داخـــل المســـجد.

٣- إجراء مقابلات شخصية مع فنيي ورواد المسجد لمعرفة انطباعاتهم عن الأبراج من حيث تبريدها و تشغيلها وصيانتها.

الخطوة الثالثة : تحليل البيانات وتتضمن مـــا يلـــي :

١- تحديد كفاءه الأبراج في جامع الرحمانية لتبريد الهواء ويتم ذلـــك مـــن خـــلال:

- قياس التبريد المتحقق للهواء في الأبراج مع ما يمكن تحقيقـــه نظريـــاً .
- مقارنة ما تحقق من تبريد في أبراج الجامع مع ما تحقق عملياً في أبـــراج مشـــروعات أخـــرى.

٢- تحديد كفاءة الأبراج في جامع الرحمانية لتبريد الفراغ الداخلي للمسجد. و يتـــم ذلـــك مـــن خـــلال:

- قياس الخفض في درجات الحرارة الداخلية للجامع عن درجـــات الحـــرارة الخارجيـــة .
- مقارنة درجات الحرارة والرطوبة النسبية داخل الجامع مع النطاق القياسي للراحة الحرارية للإنسان Thermal Comfort.
- مقارنة استهلاك الطاقة الكهربائية للمسجد مع معدلات استهلاك الطاقـــة الكهربائيـــة للمســـاجد المشـــابهة و الـــتي تستخدم الأنظمة التقليدية في التكييف وفي نفس الظـــروف المناخيـــة .

التجارب الحديثة لأبراج التبريد

أدى ظهور الكهرباء و توفرها وأنظمة التكييف الميكانيكية الحديثـــة إلى شـــيوع اســـتخدامها في المبـــاني ومـــن ضمنـــها المساجد و ترتب عليه تقلص الحاجة إلى السرحة الخارجيـــة و اختفائـــها تدريجيـــاً.

وبعد أزمة إمداد البترول في الغرب عام ١٩٧٣م سعى العلماء إلى البحث عن وسائل تبريد و تدفئه تعتمد على طاقات طبيعية متجددة ورخيصة يمكن الاستعاضة بها عن الوسائل الميكانيكية التي تعتمد على الاستهلاك المرتفع للكهرباء. و من الطبيعي أن يقوم الباحثون بتطوير الأنظمة الطبيعية التقليدية التي كانت مستخدمة قبل ظهور الكهرباء. ومن ذلك ما قام به الباحثون في معمل أبحاث البيئة في جامعة أريزونا بمدينة توسان بالولايات المتحدة الأمريكية Environmental Research Laboratory من تطوير لأبراج التهوية التقليدية و ذلك لتبريد الهواء الداخل من خلال الفتحات الموجودة في أعلي البرج بواسطة التبخير و عندئذ تزيد كثافته فيندفع ذاتيا إلى أسفل البرج و من ثم إلى داخل المبنى. و قد قام كل من الباحثان (كنيجهام و ثمبسون) [٩] بدراسة الأداء التبريدي لأبراج مدينه توسان لمدة يومين في شهر أغسطس ٢٢ - ١٩٩٨/٢٣م وحصلوا على نتيجة مدهشة لفاعلية الأبراج في تبريد الهواء. فقد وجدوا أنه عند الساعة الرابعة بعد الظهر وصلت درجة حرارة الهواء الخارج من البرج ٢٣,٩ م و ذلك عندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجية ٤٠,٦ م و الرطوبة ٢١,٦ ٪. وقد اقترح البروفيسور كوك تلطيف الهواء في الواحة الشمسية Solar Oasis في مركز مدينة فينيكس بأريزونا باستخدام عشرة أبراج هواء مع استخدام خيمة كبيرة وذلك للحماية من أشعة الشمس و لكن المشروع لم ينفذ لظروف مالية. [١٠]

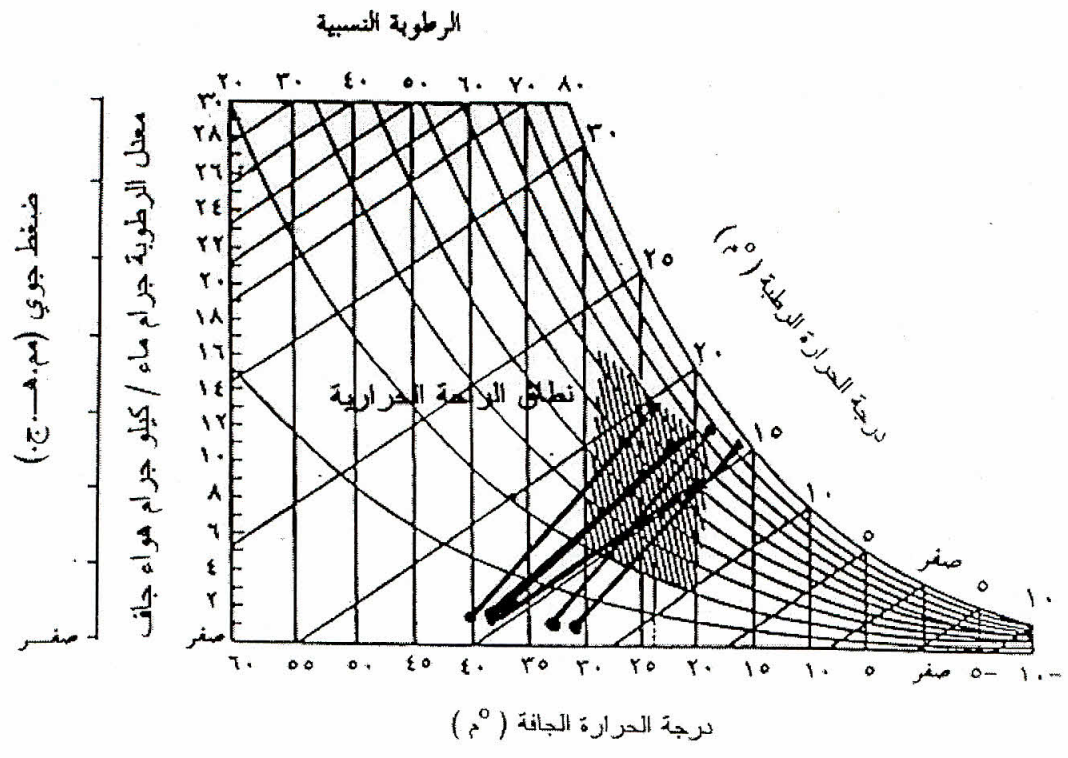
وعلى الرغم من أن هذا النظام قد تم تطويره في الولايات المتحدة الأمريكية إلا أنه قد نال نصيبا وافرا من التطبيق في المملكة العربية السعودية ، فقد تم تصميم و تنفيذ برج ضخم للتبريد في حديقة وزارة الشئون البلدية والقروية و عدد من أبراج التبريد في فندق النزل و جامع الرحمانية بمدينة سكاكا بالجوف، و في بعض المساكن الخاصة بمدينة الرياض. و في الوقت الحاضر، يجري تنفيذ عدد من أبراج التبريد في المركز التجاري التابع لشركة الرياض للتعمير في وسط مدينة الرياض. [١١]

وقد قام الباحثان بدراسة تطبيقية عملية للتعرف على فاعلية أبراج التبريد في فندق النزل في سكاكا بالجوف [١٢] و قد تبين من الدراسة أن الأبراج ذات كفاءه عالية، فعندما كانت درجة حرارة الهواء الخارجي تزيد عن ٤٠ م فإن درجة حرارة الهواء الخارج من البرج في نفس الوقت كانت ٢٥ م، كما أن درجة الهواء في داخل بهو الفندق كانت ٢٦ م

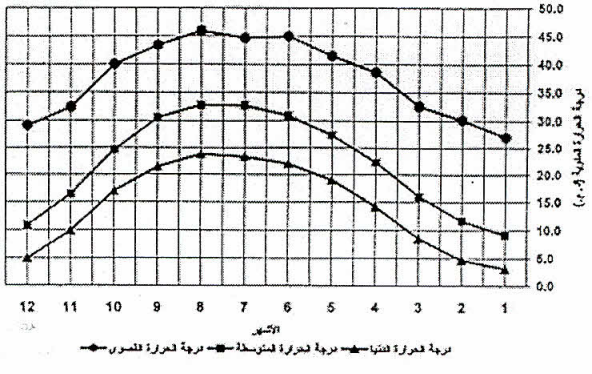
جامع الرحمانية و أبراج التبريد و التهوية

يقع الجامع بمدينة سكاكا بمنطقة الجوف بشمال المملكة العربية السعودية ، وعلى خط عرض ٢٩,٥ م شمال خط الاستواء و بارتفاع قدره ٢٠٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر. ويتصف مناخ مدينة سكاكا بارتفاع درجة الحرارة في فصل الصيف و استنادا على البيانات المناخية الصادرة عن مصلحة الأرصاد وحماية البيئة [١٣] و المتضمنة معدلات البيانات المناخية لعشر سنوات لمنطقة الجوف من عام ١٩٨٦ - ١٩٩٨م فإن متوسط درجة الحرارة العظمى يصل إلى درجة ٤٠ م وقد يرتفع ليصل إلى ٤٥ م في اشهر يونيو ويوليه و أغسطس. و متوسط درجة الحرارة الصغرى يتراوح ما بين ٢٢ إلى ٢٣ م في نفس اشهر الصيف، أي بفارق يومي يصل إلى اكثر من

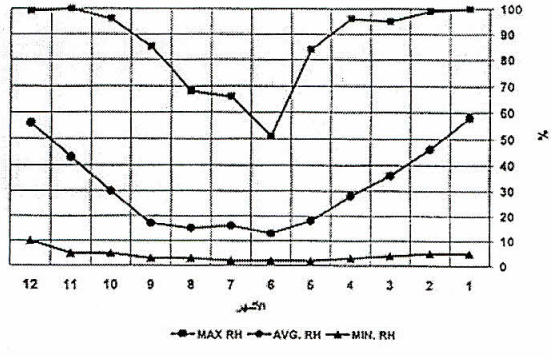
٢٠ْم. كما أن المناخ جاف جداً حيث تنخفض نسبة الرطوبة في وسط النهار إلى ما بين ٢ إلى ٣٪ و في الليل تتراوح ما بين ٥١ ٪ إلى ٦٩٪. أما الرياح السائدة خلال اشهر الصيف فهي غربية الاتجاه وبسرعة تتراوح ما بين ٧ إلى ٨ عقدة، أما الرياح المثيرة للأتربة فيمكن حدوثها خلال يومين إلى أربعة أيام في الشهر و ذلك في أشهر يونيو و يوليه و أغسطس. ونظراً لجفاف المناخ وارتفاع درجة الحرارة في وسط النهار فإن فاعلية التبريد بواسطة التبخير تعتبر عالية جداً كما يتضح ذلك على المخطط الحيوي (شكل ١).



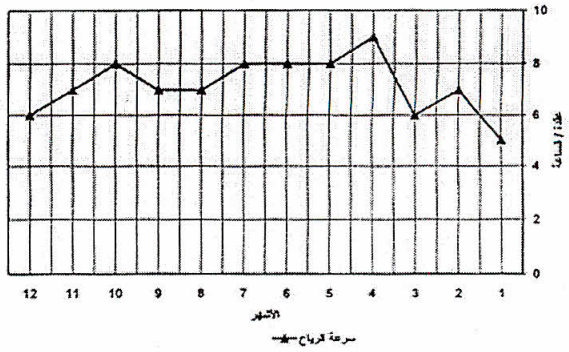
شكل ١: المستوى الحراري للجوف و علاقته بنطاق الراحة الحرارية القياسي.



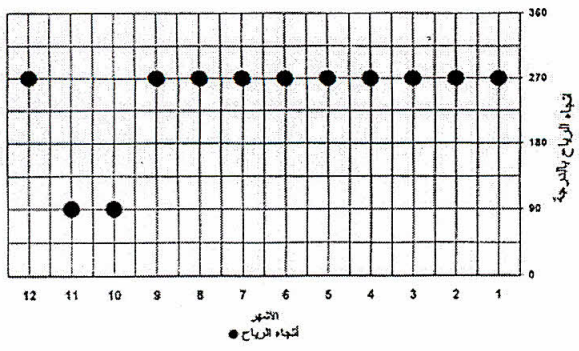
شكل ٢: درجات حرارة الرياح في منطقة الجوف.



شكل ٣: الرطوبة النسبية في منطقة الجوف.



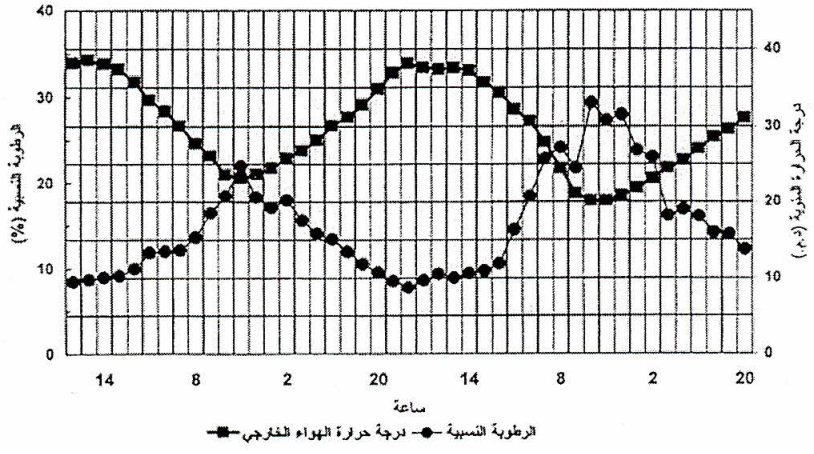
شكل ٤: سرعة الرياح في منطقة الجوف.



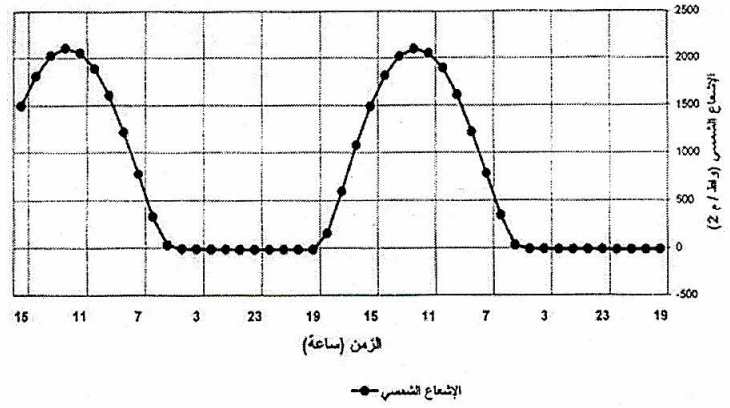
شكل ٥: اتجاه الرياح في منطقة الجوف.

تبين (الأشكال ٢،٣،٤،٥) رسومات بيانية لمناخ منطقة الجوف في والخاصة بدرجات الحرارة للهواء الخارجي والرطوبة النسبية وسرعة الهواء وكمية الأمطار على التوالي.

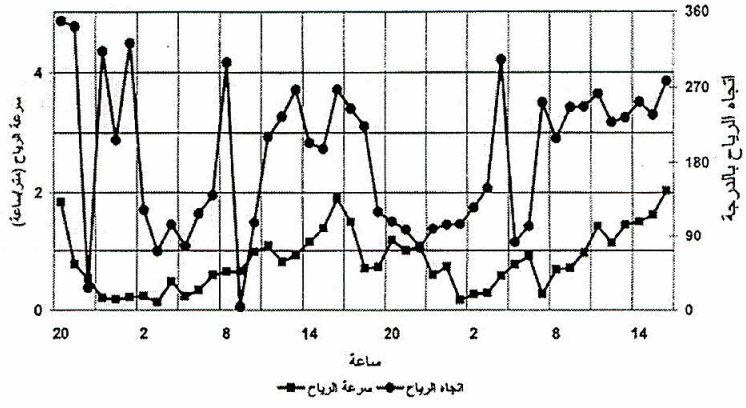
وقد تم رصد وقياس العناصر المناخية الرئيسية في موقع جامع الرحمانية وذلك لمدة ٤٨ ساعة في أيام ٣،٤،٥ يونيو و ذلك باستخدام محطة أرصاد متصلة بجامع للبيانات مربوط بجهاز حاسب آلي. و يتضح من البيانات المسجلة أن أعلى درجة حرارة جافة سجلت بلغت ٣٨ م عند الساعة الثالثة ظهرا. كما أن أقل درجة بلغت ٢٠ م عند الساعة الخامسة فجرا كما هو مبين في (شكل ٦) أما الرطوبة النسبية فقد وصلت إلى أعلى نسبة لها عند الساعة السادسة صباحا وبلغت ٢٩٪. أما أقل نسبة وصلت إليها فكانت ٧,٥٪ و سجلت في الساعة السادسة بعد العصر كما هو مبين في (شكل ٦) أما الإشعاع الشمسي فقد وصل ذروته عند الساعة الثانية عشر ظهرا وكان الجو صحوا و بلغت كمية الإشعاع المسجلة ٢١٠٠ وات / م^2 كما هو مبين في (شكل ٧). و بالنسبة للرياح فهي أثناء النهار جنوبية غربية و بسرعة تصل إلى ٢ م/ثانية كما هو مبين في (شكل ٨). أما في الليل والصباح الباكر فهي جنوبية شرقية وبسرعة لا تتجاوز ١م/ثانية.



شكل ٦: درجات حرارة الهواء و الرطوبة النسبية في أيام ٣، ٤، ٥ يونيو ١٩٩٨م.

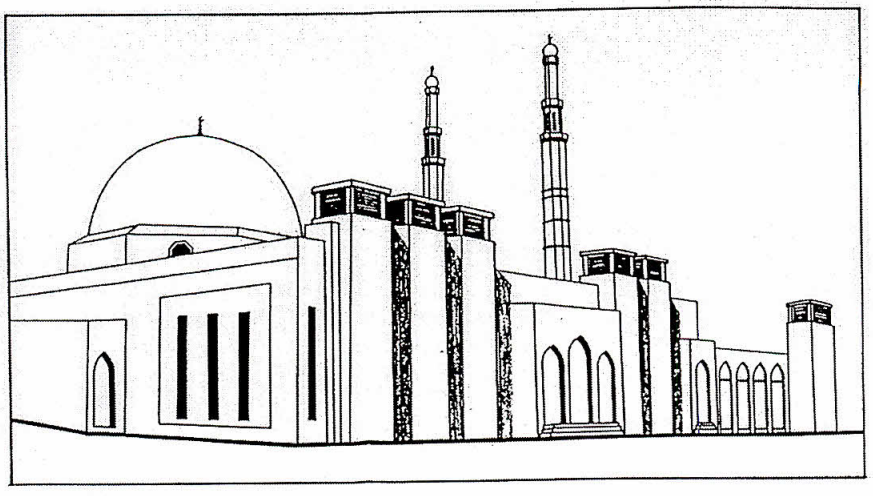


شكل ٧: الإشعاع الشمسي في أيام ٣، ٤، ٥ يونيو ١٩٩٨م.

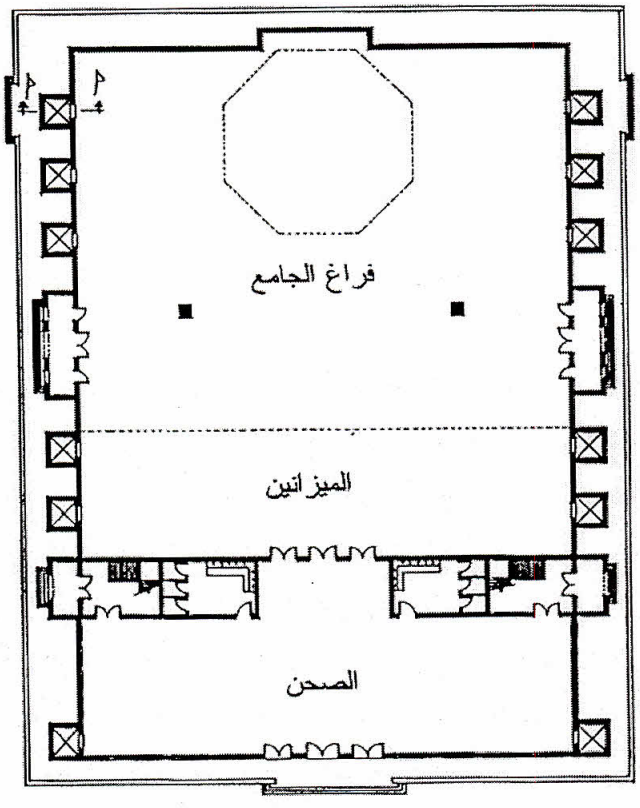


شكل ٨: سرعة و اتجاه الرياح في في أيام ٣، ٤، ٥ يونيو ١٩٩٨م. اتجاه الرياح بالدرجة.

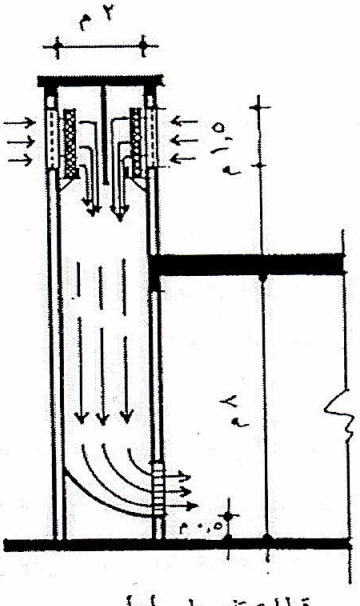
يوضح (شكل ٩و١٠) التصميم المعماري لجامع الرحمانية من حيث المدخل الرئيسي والطابع المعماري للواجهة الرئيسية والمسقط الأفقي للدور الأرضي. و تبلغ مساحة الجامع ٢٥٠٠ م^2 و قد تم بناء الجامع من الخرسانة المسلحة وتعلوه قبة ضخمة تغطي وسط الجزء الأمامي كما توجد شرفة لصلاة النساء تعلو الصفوف الخلفية. و في مؤخرة الجامع يوجد صحن مكشوف تحيط به سقائف. و يوجد بالجامع ١٢ برج تبريد ضمن الحوائط الجانبية. عشرة منها لتكييف الفراغ الداخلي للمسجد و اثنان لتكييف الصحن الخلفي وجميع الأبراج متشابهة في الحجم و الشكل و مقطعها الأفقي مربع بمقاس ٢ م × ٢ م و بارتفاع ١٠ م وكل برج مزود بأربع فتحات علوية مربعة الشكل ١,٥م × ١م^2 مركب على كل فتحة ألواح من الكرتون Cel-dek التي تبلل بالماء و ذلك عن طريق ضخ و توزيع الماء على الأطراف العليا من الألواح و جمع الفائض من الأطراف السفلى للألواح و ذلك بواسطة حوض يتم تصريف الماء منه إلى خزان ماء خاص بكل برج و ذلك يعاد استخدامه. و يدخل الهواء إلى فراغ المسجد عن طريق فتحة سفلية جانبية بالبرج مربعة الشكل بمقاس ١,٥م × ١م قريبة من أرضية المسجد. (شكل ١١) يوضح المقطع الرأسي لأحد الأبراج. و تستخدم الأبواب الرئيسية للجامع كمخرج للهواء ولذا فهي تبقى مفتوحة بصورة مستمرة .



شكل ٩: الواجهة الرئيسة لمسجد الرحمانية ، و تظهر فيها أبراج التبريد.



شكل ١٠: المسقط الأفقي للدور الأرضي لمسجد الرحمانية موضح عليه مواقع أبراج التبريد.



شكل ١١: تفصيلة رأسية لبرج التبريد يوضح الأجزاء الرئيسة لنظام التبريد.

تحليل البيانات

قياس الكفاءة التبريدية للأبراج

يوضح (شكل ١٢) درجات الحرارة الخارجية وكذلك درجة حرارة الهواء الخارج من الأبراج ومنه يتضح أن هناك خفضا ملحوظا في درجة حرارة الهواء الخارج من البرج تحقق بواسطة عملية التبريد بالأبراج. و هذا الخفض يتفاوت تبعا لتفاوت درجة حرارة الهواء الخارجي والوقت من اليوم. فنجد مثلا أن درجة حرارة الهواء الخارج من البرج تصل إلى ١٢ م في حين أن درجة حرارة الهواء الخارجي الجافة كانت ٢٤,٥ م.

ونظريا يمكن خفض درجة الحرارة لتصل إلى مستوى درجة الحرارة الرطبة وعندها يصبح الهواء مشبعا بالرطوبة أي أن رطوبة الهواء النسبية وصلت إلى ١٠٠ ٪. و تزيد كفاءة برج التبريد بزيادة قدرته على التبخير وخفض مستوى درجة الحرارة إلى درجة تقارب درجة الحرارة الرطبة. و كميا تقاس كفاءة البرج التبريدية باستخدام المعادلة التالية .

كفاءة التبريد (كت) = (ح خ – ح ب) ÷ (ح خ – ح ر) × ١٠٠ . . . . . (١)

حيث أن :

ح خ = درجة الحرارة الجافة للهواء الخارجي.

ح ر = درجة الحرارة الرطبة للهواء الخارجي.

ح ب = درجة الحرارة الجافة للهواء الخارج من البرج.

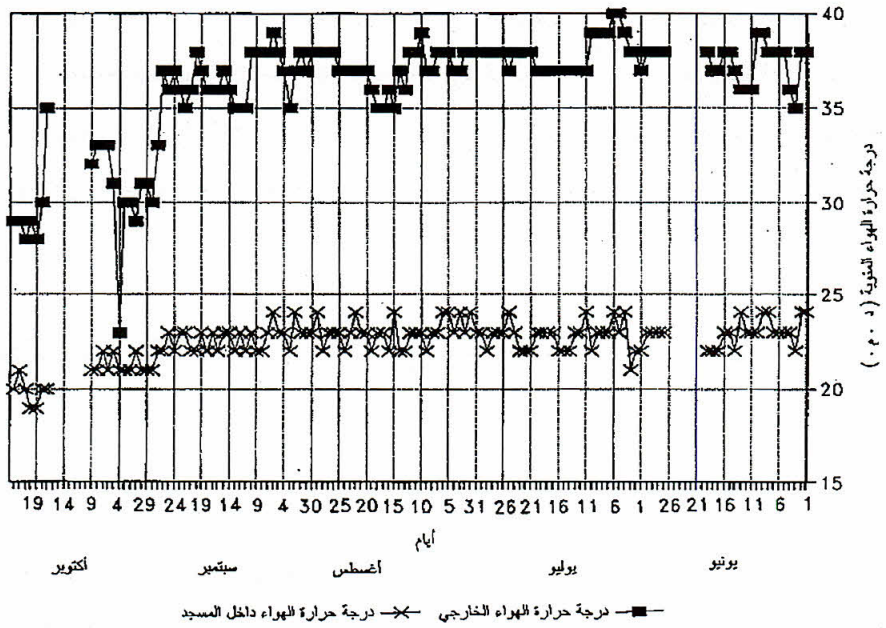
يبين (شكل ١٣) متوسط كفاءة أبراج التبريد في الجامع خلال ٤٨ ساعة من الأيام ٣ و٤ ومن شهر يونيو. و يتضح من الشكل بأن الكفاءة تتفاوت بشكل واضح فقد وصلت إلى ١٠٠ ٪ وذلك عند الساعة الثامنة صباحا عندما كانت درجة الحرارة الخارجية ٢٤ م و عندها كانت درجة حرارة الهواء الخارج من البرج ١١,٥ م ، كما أنها في الساعة الرابعة فجرا تدنت لتصل إلى ٤٣,٥ ٪ وذلك عندما كانت درجة الحرارة الخارجية ٢٤ م ودرجة حرارة الهواء الخارج من البرج ١٧ م . أما الساعة الرابعة عصرا فقد وصلت الكفاءة إلى ٥٣ ٪ و ذلك عندما كانت درجة الحرارة الخارجية ٥, ٣٧ م ودرجة حرارة الهواء الخارج من البرج ٢٦ م. وبشكل عام فإن كفاءة التبريد ترتفع بصورة حادة من بعد الساعة السادسة صباحا لتبلغ ذروتها الساعة الثامنة ومن ثم تأخذ بالانخفاض التدريجي إلى أن تصل إلى اقل قيمة لها عند الساعة الرابعة عصرا .

أبراج التبريد في جامع الرحمانية تتراوح من ٤٠ ٪ إلى ١٠٠ ٪. و قد يكون المرجع في ذلك الاختلاف في أسلوب تحفيز حركة الهواء داخل البرج فهو في برج أريزونا باستخدام المدخنة الشمسية في حين أنه في جامع الرحمانية يتم بفتح أبواب الجامع أثناء النهار.

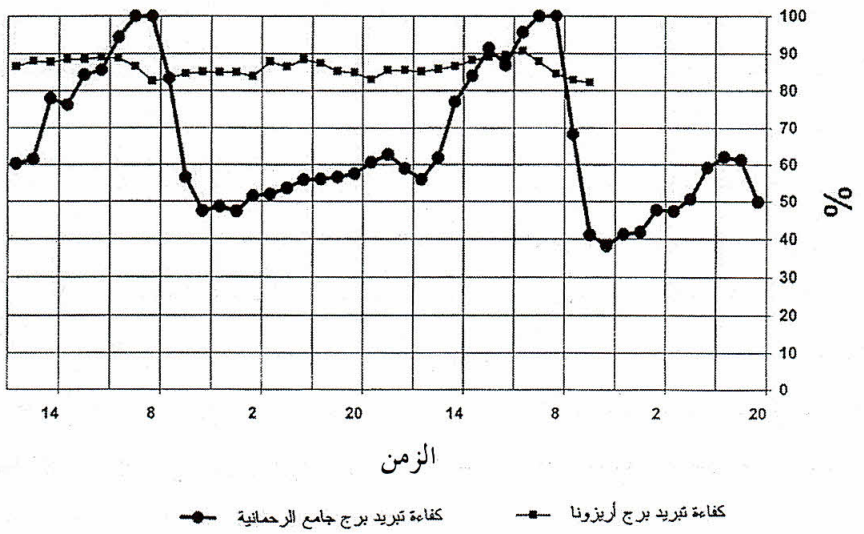
تحديد فعالية الأبراج في الجامع لتبريد فراغ المسجد

إن درجة فعالية الأبراج لتبريد الجامع ترتكز على قدرة تلك الأبراج على توفير الظروف الحرارية و الحيوية الملائمة لمتطلبات للإنسان داخل الجامع وقياس ذلك يتم من خلال :

مقارنة الانخفاض في درجات الحرارة المتحقق داخل فراغ الجامع بالنسبة إلى درجات الحرارة الخارجية :



شكل ١٢: أداء أبراج التبريد في مسجد الرحمانية مقارنة مع درجات الحرارة الجافة و الرطبة للهواء الخارجي.

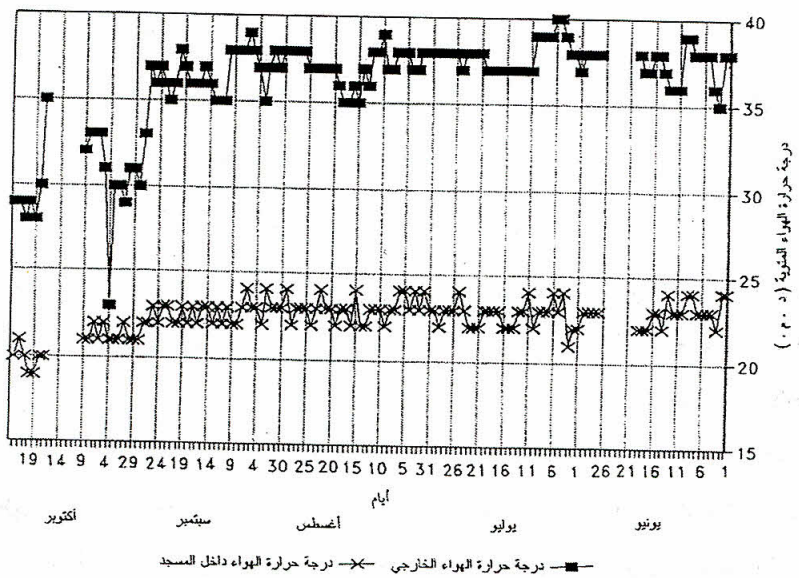


شكل ١٣:. متوسط كفاءة أبراج التبريد خلال ٤٨ ساعة في المسجد و مقارنة ببرج أريزونا.

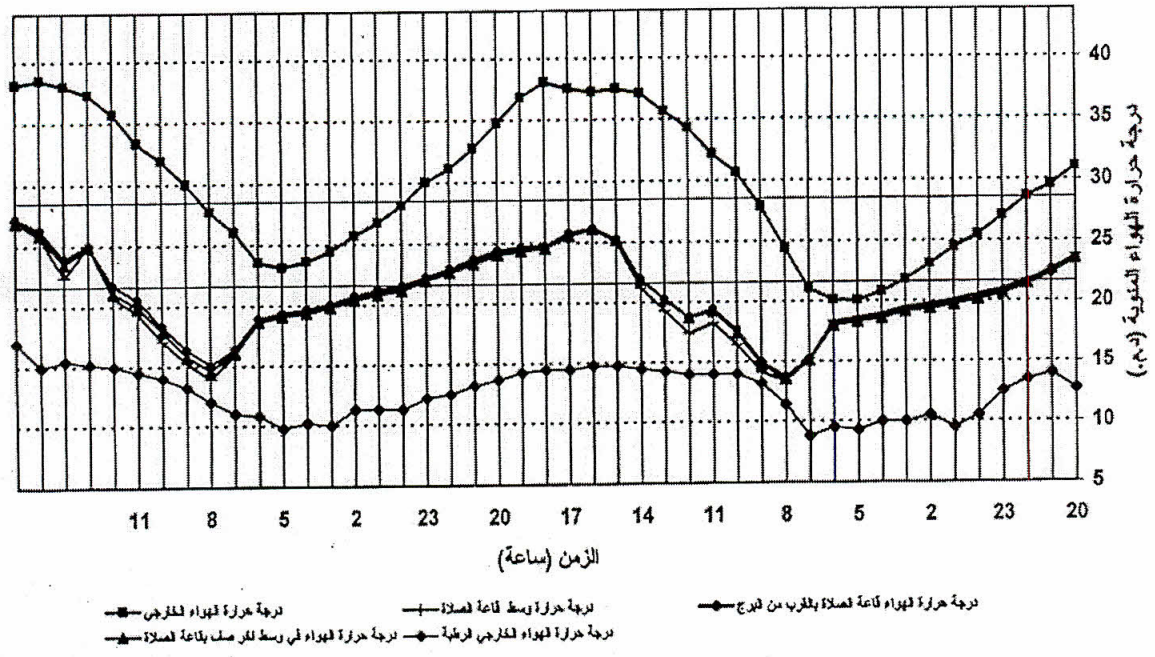
يبين (شكل ١٤) درجات الحرارة الجافة الخارجية والداخلية عند الساعة الثانية ظهرا و المسجلة خلال أشهر يونيو ويوليه وأغسطس وسبتمبر و أكتوبر و يتضح من الشكل أن درجات الحرارة الخارجية خلال فصل الصيف كانت تتراوح في تلك الساعة من ٣٦ م إلى ٣٩ م كما أن درجات الحرارة الداخلية لنفس الفترة كانت تتراوح بين ٢٢ م و ٢٤ م و يتضح كذلك أن متوسط الانخفاض في درجات الحرارة عن الساعة الثانية ظهرا بلغ ١٤٫٥ م و منه يتبين أن الأبراج كانت فاعلة في تحقيق خفض مناسب داخل فراغ الجامع. أما على المستوى اليومي (شكل ١٥) يوضح أن الانخفاض في درجات الحرارة يزيد في وسط النهار يتراوح ما بين ٢ م- ١٧ م وعندما كانت درجة الحرارة الخارجية الساعة الثالثة ظهرا تبلغ ٣٧٫٥ م كانت درجة الحرارة الداخلية ٢٦ م و أثناء خطبة صلاة الجمعة لم تتجاوز درجة الحرارة ٢٥ م .

مقارنة المستوى الحراري داخل الجامع مع النطاق القياسي للراحة الحرارية:

نطاق الراحة الحرارية يربط بمحددين هما درجة الحرارة وتقع ما بين ٢٢ م إلى ٢٨ م والرطوبة النسبية وتقع ما بين ٢٠ ٪ إلى ٧٠٪ . ومن (شكل ١٤ و ١٥) يظهر أن المستوى الحراري المتحقق داخل الجامع نتيجة استخدام أبراج التبريد كان له جانبان أحدهما إيجابي و الأخر سلبي. فأما الجانب الإيجابي فيظهر في الفترة من قبل الضحى إلى قبيل منتصف الليل وفي هذه الفترة فإن مستوى درجة الحرارة و مستوى الرطوبة النسبية يحققان متطلبات الراحة الحرارية من غير تجاوز. أما الجانب السلبي فيظهر في الفترة بعد منتصف الليل وحتى الساعة الحادية عشرة صباحا. و في هذه الفترة تخرج كل من درجة الحرارة والرطوبة النسبية عن المستويات المرغوبة فمثلا درجات الحرارة تنخفض عن مستوى الراحة لتصل إلى ١٤ م أما الرطوبة النسبية فتصل إلى مستويات مرتفعة تتجاوز حدود نطاق الراحة. و يمكن إرجاع السبب في ذلك إلى أن الأبراج تعمل بصورة مستمرة وبدون توقف في حين أن درجات الحرارة الخارجية بعد منتصف الليل تنخفض بشكل كبير يصل قبيل طلوع الشمس إلى



شكل ١٤: درجات الحرارة داخل و خارج جامع الرحمانية خلال خمسة اشهر.



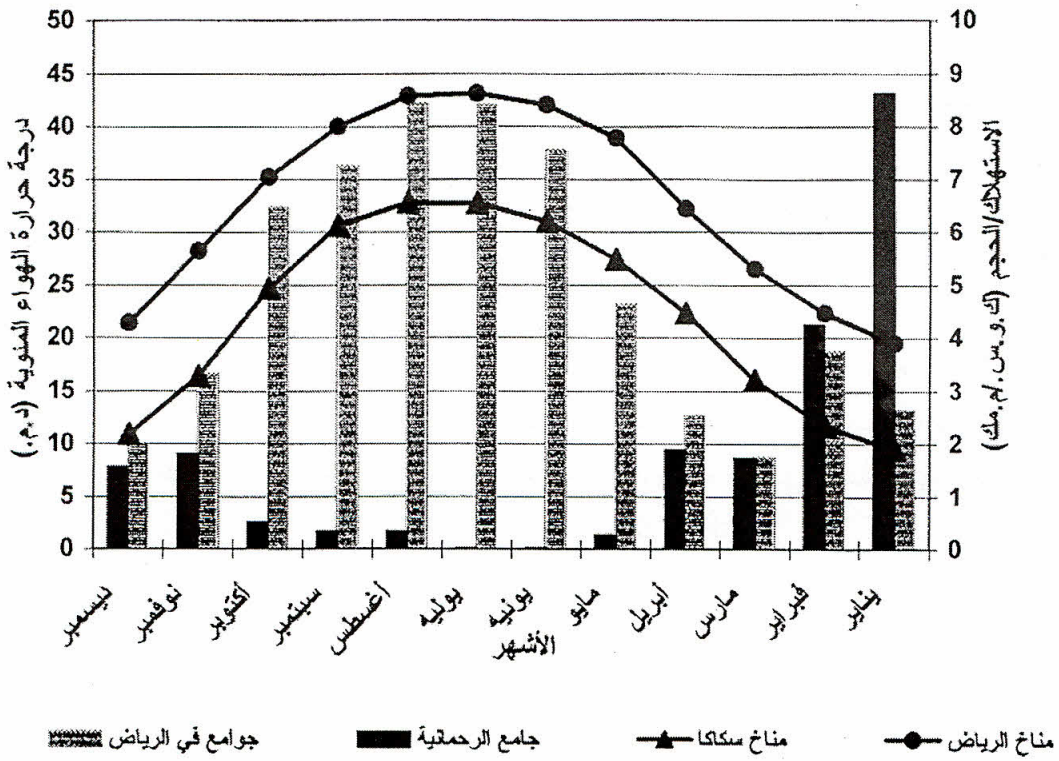
شكل ١٥: درجات الحرارة داخل و خارج جامع الرحمانية.

٢٠ م ، وعند هذه الدرجة فأن التهوية بالهواء الخارجي بدون تبخير يكفي لتبريد الجامع. و للتغلب على زيادة الرطوبة النسبية و انخفاض درجة الحرارة يمكن برمجة الأبراج لتتوقف عن العمل بواسطة الماء ابتداء من الساعة الخامسة صباحا و حتى الساعة الثامنة صباحا وذلك لعدم الحاجة إلى تبريد الهواء في تلك الفترة.

فاعلية أبراج التبريد في ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية

يتوقع وبشكل كبير أن يكون لاستخدام هذا النظام أثر واضح في تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية في الجامع لاقتصار الحاجة أليها على توفير الإضاءة فقط و في فصل الشتاء يستفاد منها لتشغيل نظام التدفئة باستخدام الماء الساخن لأرضية الجامع.

يبين (شكل ١٦) مقارنة لمعدلات استهلاك الطاقة الكهربائية السنوية في جامع الرحمانية [١٥] مع مجموعة من المساجد الجامعة المشابهة في الحجم بمدينة الرياض. [١٦] و قد ربطت المقارنة على الشكل مع متوسط درجات الحرارة خلال العام لكل من منطقة الجوف والرياض. و يظهر من الشكل إن هناك اختلافان جوهريان بين نمطي الاستهلاك للطاقة الكهربائية لبعض الجوامع في مدينة الرياض وجامع الرحمانية بالجوف. فالاختلاف الأول، يتمثل في أن نمط استهلاك الطاقة الكهربائية في جوامع مدينة الرياض يزيد مع زيادة درجات الحرارة في حين أن نمط أما الاختلاف الثاني، فيظهر في أن استهلاك جامع الرحمانية ضئيل جدا بالمقارنة مع استهلاك جوامع الرياض وهذا مرجعه إلى أن جامع الرحمانية بني بمواصفات عزل حراري للحوائط و الأسقف ونوافذ عالية الجودة تمنع التسرب الحراري من وإلى الجامع. كما أن وحدات الإنارة من النوع الاقتصادي في استهلاك الطاقة. الاستهلاك في جامع



شكل رقم ١٦: مقارنة لمعدلات استهلاك الطاقة الكهربائية السنوية في جامع الرحمانية ومجموعة من المساجد الجامعة في مدينة الرياض.

الرحمانية على العكس من ذلك فقد كان الاستهلاك يزيد تبعا لانخفاض درجة الحرارة و هذا يظهر أن الاستخدام الرئيسي للطاقة في جوامع الرياض كان للتبريد في حين أن الاستخدام في جامع الرحمانية كان للتدفئة.

انطباعات المستخدمين

من مقابلة بعض الفنيين المسؤولين عن تشغيل الأبراج ، فأن تسرب المياه في داخل البرج والناتجة عن زيادة الماء بسبب تفاوت كمية الماء المتبخرة ما بين فترات اليوم المختلفة تمثل مشكلة تشغيلية رئيسة. و يمكن علاجها ببرمجة تشغيل مضخات الماء تبعا للظروف الخارجية خلال فترة الصيف. كما أن كفاءه الألواح الكرتونية المستخدمة للتبخير تقل تبعا لزيادة الأملاح المتراكمة على سطحها ولذا فإن من المهم استبدال هذه الألواح بصورة دورية .
أما المصلين في الجامع فتمثل زيادة الرطوبة في بعض الأوقات داخل الجامع اكبر مشكلة وقد يكون علاج هذه المشكلة هو إضافة مراوح داخل فراغ الجامع وذلك لزيادة تحريك الهواء وتقليل الشعور بالرطوبة لدى المصلين .

الخاتمة

مما سبق يظهر بأن تجربة استخدام أبراج التبريد بصورة مستقلة لتبريد الجامع كانت ناجحة جدا وذلك على الرغم بعض من السلبيات التي ظهرت والتي يعتقد الباحثان بأنها لا تمثل مشكلة كبيرة بل من الممكن التغلب عليها باتخاذ بعض الإجراءات الممكنة. كما أن النتائج في اقل الأحوال تثبت أهمية هذا النظام ودوره الفاعل في تقليل استهلاك الطاقة والحاجة إلى دعم تطويره بصورة تتلاءم مع الاستخدامات الإنسانية المتنوعة.

شكر وتقدير

يخص الباحثان بالشكر جامعة الملك سعود على دعم هذا البحث ، كما يشكران مؤسسة عبدالرحمن السديري الخيرية والقائمين عليها على تعاونهم بالسماح للباحثين بأخذ القراءات المطلوبة داخل الجامع وتزويدهم بالبيانات التي تم قياسها في فترات سابقة وتزويد الباحثين بالمساعدة اللازمة لإتمام عملية القياس بالشكل المطلوب.

المراجع

[١] Bahadori, M. "An Improved Design of Wind Tower for Natural Ventilation and Passive Cooling." In: *Solar Energy*, Vol. 35. No. 2, 1985.

[٢] Fathy, H. "Natural Energy and Vernacular Architecture." Chicago : The University of Chicago Press, 1986.

[٣] Roaf, S. "The Traditional Technology Trap: Stereotypes of Middle Eastern Traditional Building Types and Technologies." *Trialog* , No. 26, 1990.

[٤] Al-Megren. K. *Wind Towers for Passive Ventilation Cooling in Hot-Arid Regions*. Doctoral Dissertation, Ann Arbor, MI: University of Michigan, Ann Arbor. U.S.A., 1987.

[٥] وزارة الأعلام. *عمارة المساجد*. ١٤١٧ هـ.

[٦] Yaghoubi, M., A. Sabzevari, and A. Golneshan, Wind "Towers: Measurement and Performance." *Solar Energy,* Vol. 47, No. 2, 1991, pp. 97-106.

[٧] Fathy, H. *Natural Energy and Vernacular Architecture*. Chicago: The University of Chicago Press, 1986.

[٨] Yaghoubi, M., A. Sabzevari, and A. Golneshan, "Wind Towers: Measurement and Performance." *Solar Energy,* Vol. 47, No. 2, 1991, pp. 97-106.

[٩] Cunningham, W. A. and Thompson, T. L. "Passive Cooling with Natural Draft Cooling Towers in Combination with Solar Chimneys." In: *Proceedings of PLEA Conference*, Hungary: Pecks, 1986.

[١٠] Cook, J. "The State of Passive Cooling Research." In: *Passive Cooling*, Edited by Jeffrey Cook. The MIT Press, London, 1989.

[١١] الحمدي ، ناصر. "*تطبيقات نظم التبريد الطبيعية السلبية على المباني الصحراوية في المملكة العربية السعودية*." في *سجل المؤتمر المعماري الثالث : عمارة و تخطيط الصحراء تجارب الماضي و آفاق المستقبل*، جامعة أسيوط، كلية الهندسة، أسيوط ، جمهورية مصر العربية: ١٩٩٧م, صفحات ١٤ ج –٢٣ ج.

[١٢] الحمدي ، ناصر, آل سعود، خالد. "*أبراج التبريد الطبيعي و أثرها على الأداء الحراري لمبنى فندق النزل بمنطقة الجوف*." بحث مقبول للنشر في *المؤتمر الهندسي السعودي الخامس* بجامعة أم القرى ، مكة المكرمة ، المملكة العربية السعودية، رقم البحث A-014، ذو القعدة ١٤١٩ هـ.

[١٣] مصلحة الأرصاد و حماية البيئة. *معلومات عن أحوال الطقس و بيئة مدينة الرياض*. مركز المعلومات و الوثائق العلمية،، وزارة الدفاع و الطيران، جدة، المملكة العربية السعودية : ١٤١٥ هـ.

[١٤] Givoni, B. *Climatic Considerations in Building and Urban Design*. Van Nostrand Reinhold, 1998.

[١٥] الشركة الموحدة للكهرباء بالمنطقة الشمالية. *بيانات استهلاك الطاقة الكهربائية بجامع الرحمانية*. سكاكا، المملكة العربية السعودية ،١٤١٨ هـ.

[١٦] الشركة الموحدة للكهرباء بالمنطقة الوسطى. *بيانات استهلاك الطاقة الكهربائية لبعض جوامع في مدينة الرياض* . المملكة العربية السعودية ،١٤١٨ هـ.

Cooling Towers and their Effect on Mosque Thermal Performance Case Study: Al-Rahmania Mosque Al-Jouf

Khalid A. M. Al-Saud and Nasser A. M. Al-Hemiddi
Department of Architecture and Building Science
College of Architecture and Planning
Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia

Abstract: Cooling towers (Malqaf or Badger) are among the distinguished traditional architectural elements, widely used in hot dry and humid regions. Recently, modern applications of cooling towers depending on evaporative cooling were developed. Outside hot and dry air is passed through wetted pads within the upper portion of the tower. The temperature of the humidified air then drops and its weight increases. Heavy cool air naturally moves downward and exits through the lower opening of the tower.

This newly developed concept of natural cooling is used to cool the newly built mosque, "Al-Rahmanyah" in the City of Skaka, in Al-Jouf Region.
This paper, however, aims to study the effectiveness of using this technology in mosques by the evaluation of the thermal environment inside the mosque.

Air temperature and humidity inside and outside the mosque were measured and analyzed. Statistical analysis supported with Figures will be used to present the results and conclusions.
Finally, the role of this system in view of electric energy conservation will be presented.