

# Assessment of the Methods of Electrical Energy Rationalization in Kuwaiti Mosques using Hourly Analysis Program (HAP)

<sup>1</sup>Khaled Abduljabar Al-Kandari, <sup>2</sup>Mansour Elsaid Abou-Gamila, and <sup>3</sup>Ahmed Yousif Abdulla

<sup>1</sup>Mosques Sector, Ministry of Awqaf and Islamic Affairs, Mubarak Al-Kabeer Province, Kuwait

<sup>2</sup>Technology Management Program, College of Graduate Studies, Arabian Gulf University

P O Box 26671, Manama, Kingdom of Bahrain

<sup>3</sup> Department of Mechanical Engineering, College of Engineering, Bahrain University, P O Box 32038, Manama, Kingdom of Bahrain

## ABSTRACT

ID # (2746)

Received: 26/05/2013

In-revised: 09/10/2013

Corresponding Author;

Mansour Elsaid Abou-Gamila

Email: mansoursma@agu.edu.bh

The energy crisis, especially electricity consumption, is a crisis that plagues the world in general and Kuwait in particular. The Ministry of Electricity and Water in Kuwait (2009) said that the high temperature in the summer months, sometimes reach to 50 degrees celsius in the shade, leads to increase demand in the air-conditioning loads. The study aims to assess the methods of electrical energy rationalization in Kuwaiti mosques using the simulation software (HAP). Since the mosques are located in separate areas of Kuwait and operate simultaneously, one of the mosques was selected as an example to find the best way to conserve energy. The results showed that, there are several possible ways to reduce the air-conditioning loads. Replacement incandescent bulbs with the energy-saving bulbs, installing programmable thermostat technology and control the infusion rate, lead to energy savings up to 32%, 2.9% and 11.4% respectively. The study also demonstrated the impact of other ways in reducing the rate of consumption, as: area of glass (1.7%), direction of the building (2%), the heat transfer coefficient of the building and the windows (11.4%) and outside color of the building (4.2%). Moreover, the wall color is more influential than roof color and the selection of insulation material and thickness is very important as it reduces cooling load up to 35%. All of these factors may help in lowering the rates of energy consumption in mosques and hence contribute in the reduction of greenhouse gases and pollutants.

## KEYWORDS

Cooling load, Conditioning system, Programmable thermostat, Lighting systems, Infusion rate.

## تقييم طرق ترشيد الطاقة الكهربائية في مساجد دولة الكويت باستخدام برنامج HAP (Hourly Analysis Program, HAP)

<sup>1</sup>خالد عبد الجبار الكندري، <sup>2</sup>منصور السيد أبوجميلة، و <sup>3</sup>أحمد يوسف عبد الله

إقطاع المساجد، وزارة الأوقاف والشؤون الإسلامية، محافظة مبارك الكبير، الكويت

<sup>2</sup>برنامج إدارة التقنية، كلية الدراسات العليا، جامعة الخليج العربي، ص ب 26671، المنامة، مملكة البحرين

<sup>3</sup>قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة، جامعة البحرين، ص. ب. 32038، المنامة، مملكة البحرين

## المستخلص

تعتبر أزمة الطاقة واستهلاك الكهرباء من الأزمات التي تعاني منها دول العالم بشكل عام ودولة الكويت بشكل خاص. وقد ذكرت وزارة الكهرباء والماء الكويتية (2009) أن ارتفاع درجة الحرارة في أشهر الصيف والتي تصل أحيانا إلى 50 درجة مئوية في الظل يؤدي إلى زيادة الطلب في أحمال التكييف. يهدف البحث إلى تقييم طرق ترشيد الطاقة الكهربائية بمساجد الكويت باستخدام البرنامج الحاسوبي (HAP). تم اختيار أحد المساجد لتطبيق هذه الدراسة وذلك كون المساجد منتشرة في جميع مناطق الكويت وتعمل في فترات وأوقات محددة. أوضحت نتائج الدراسة أن هناك عدة طرق ممكنة لتقليل أحمال التكييف كاستبدال المصابيح المتوهجة بالمصابيح الموفرة للطاقة، التحكم في منظم درجة الحرارة والإنارة، التحكم في معدل التسرب والذي يؤدي إلى وفر في الطاقة بنسب تصل إلى 32%، 2.9%، 11.4% على الترتيب. كما بينت الدراسة أيضا أثر ونتائج طرق مختلفة أخرى في تخفيض معدلات الاستهلاك، منها مساحة الزجاج 1.7%، اتجاهات المبنى 2%، معامل الانتقال الحراري للمبنى والنوافذ 11.4%، لون المبنى الخارجي 4.2%، وأن لون الجدار أكثر تأثيرا من لون السقف، وأيضا فإن اختيار مادة العزل وسمكه مهم جدا إذ يقلل حمل التكييف بنسب تصل إلى 35%. وكل هذه العوامل في مجملها قد تساعد نحو الوصول إلى معدلات منخفضة لاستهلاك الطاقة الكهربائية في المساجد وبالتالي المساهمة في تقليل ظاهرة الاحتباس الحراري وانبعاث الملوثات.

رقم المسودة: (2746)

استلام المسودة: 2013/05/26

استلام المعدلة: 2013/10/09

الباحث المراسل:

منصور السيد أبوجميلة

بريد الكتروني:

mansoursma@agu.edu.bh

## الكلمات الدالة

أحمال التكييف، أنظمة التكييف، منظم الحرارة، أنظمة الإنارة، معدل التسرب.

المحمولة مع هواء التهوية والهواء المتسرب إلى غرف المبنى. لذا كان من الضروري الاهتمام بالهيكل الإنشائي للمبنى للتقليل من آثار تلك العوامل. يذكر تقرير الإسكوا (2002) أن دراسة خصائص موقع المبنى، وعلاقته بمتغيرات الطاقة الشمسية، وتحديد شكله (المقطع الأفقي، والارتفاع الطبقي، وعدد الطوابق)، وتوجيهه بالشكل المناسب بالنسبة لحركة الشمس، واختيار حجم الفتحات (الأبواب والنوافذ) ومواقعها في واجهات المبنى يسهل التحكم في كميات الإشعاع الحراري الداخل إليه صيفا وشتاء، وبالتالي يؤدي إلى تخفيض أحمال التكييف للمبنى.

تكمن مشكلة البحث أن الجانب الفني والتقني بالكويت لم يأخذ حظه من الدراسة في قضية ترشيد الكهرباء كما حدث في البلدان الصناعية، خاصة وأن ثمة إصراف واضح في استهلاك الكهرباء على جميع الأصعدة سواء الحكومية منها أو على مستوى الأفراد. بالإضافة إلى عدم استخدام الطرق التقنية والفنية الحديثة والوسائل المتاحة في ترشيد الاستهلاك في كثير من المساجد، إلى جانب تدني ونقص الخبرات العلمية العالية المستوى وبخاصة في مجال التصميم الملائم للبيئة الكويتية والذي يعد اللبنة الأولى والخوطة الأساسية في حل هذه المشكلة وخفض الطلب على الطاقة (وزارة الكهرباء والماء، 2009).

يهدف هذا البحث إلى حساب ومقارنة أحمال التكييف المختلفة واختيار أفضل الطرق لترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية في المساجد بدولة الكويت باستخدام البرنامج الحاسوبي (HAP - 4.2). تأتي أهمية هذه الدراسة للمساهمة في تقليص الأزمة التي تعاني منها الكويت سواء في نقص الكهرباء أو على مستوى التلوث الناجم من إحراق الوقود الزائد لتوليد الطاقة. وتتلخص أهمية هذه الدراسة في ما يلي:

(1) في حال تنفيذ وتطبيق التقنيات واستخدام الطرق التي تقلل من استهلاك الكهرباء سيكون هناك مزايا جمة للدولة ووزارة الأوقاف في تخفيض قيمة فاتورة الاستهلاك، وعلى وزارة الكهرباء في تقليل وخفض الأحمال الزائدة على المحطات المنتجة للكهرباء والاستفادة من الوفورات المالية بسبب الترشيح في تمويل مشاريع تنمية أخرى.

(2) ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية يساعد في تقليل استهلاك الوقود الذي ينتج عن احتراقه ملوثات وعوادم سامة بالإضافة إلى غازات الاحتباس الحراري.

### الدراسات السابقة

أشار (Gopal Maheshwari et al., 2010) أن تكييف بنايات يستهلك حوالي 40 % من الاستهلاك السنوي العام للكهرباء لذا يعتبر التكييف عاملا رئيسيا في استهلاك الطاقة وذو تأثير كبير بالنسبة لظاهرة الاحتباس الحراري. كما أظهرت دراسة (AI-Hamoud et al., 2009)، أن معدل استهلاك التكييف في مسجدين من مساجد المملكة العربية السعودية قد بلغ 70 % و 79 % من إجمالي استهلاك الكهرباء السنوي للمسجدين محل الدراسة. أشار (Gopal Maheshwari et al., 2001) أن منظم الحرارة القابل للبرمجة يقوم بإيقاف المروحة التي تقوم بتدوير الهواء عن طريق إطفاء المحرك المسؤول عن تدوير المروحة والذي يستهلك 10 % من طاقة التكييف

تعتبر وزارة الأوقاف والشؤون الإسلامية في دولة الكويت من الوزارات الفاعلة، حيث لا يقف نشاطها على التوعية والإرشاد فقط، بل يتعدى ذلك إلى التعاون مع باقي الوزارات كوزارة التربية ووزارة الكهرباء والماء وغيرهما من الوزارات، وأيضا تعاونها مع الجمعيات الخيرية والجمعيات المهنية كجمعية المهندسين وغيرها من أجل تحسين السلوك الشخصي للأفراد. تواصل وزارة الكهرباء والماء جهودها في نشر الوعي الخاص بمسألة الترشيد وامتد الأمر إلى الجهات الأخرى سواء الحكومية أو الجهات الأهلية والنقابية، حتى أن وزارة الأوقاف قد جعلت من الغايات الإستراتيجية والأهداف المتعلقة بمجالات المساجد غاية لتعزيز الأنشطة التنموية من خلال المساهمة في إيجاد البيئة المناسبة لها داخل المسجد، وجعلت من ضمن أهداف هذه الغاية هدف الدعوة إلى المحافظة على المال العام وصيانة المرافق وعدم الإسراف. إن ترشيد الطاقة يعنى الاستخدام الأمثل لموارد الطاقة الكهربائية المتوفرة واللازمة لتشغيل المنشأة دون المساس براحة مستخدميها أو إنتاجياتهم أو المساس بكفاءة الأجهزة والمعدات المستخدمة فيها أو كيفية أدائها، وذلك من أجل تحقيق أفضل الفوائد والنتائج من عملية الاستهلاك، ومنها وقف الهدر، وتجنب الفاقد، وتوفير التكاليف المترتبة على ذلك سواء على الجانب الشخصي أو الجانب العام. ومن المعلوم بأن الاقتصاد والترشيد في استهلاك الكهرباء دليل على رقي المجتمع وحضارته وتقدمه، لأنه يساهم في التقليل والحد من التلوث البيئي وغازات الاحتباس الحراري الناتج عن توليد هذه الطاقة كما يساهم في توفير الأموال والتي من خلالها يمكن إقامة مشاريع تنموية للبلد وبناء شبكات كهربائية جديدة وتأهيل الشبكات القائمة لتجنب الأزمات الناتجة عن النقص في كمية الطاقة الكهربائية وتفاقم الطلب على الطاقة (الخفاف وخضير، 2007).

إن المساجد في دولة الكويت بشكل خاص وفي الدول الأخرى بشكل عام لم تحظ بالدراسات الجادة والمستقلة بما تحتويه من الطبيعة المعمارية والخصوصية الدينية والروحانية عن باقي المباني الإنشائية إلا بالنزر اليسير، وبخاصة فيما يتعلق بالاستهلاك وحفظ الطاقة. خلصت دراسة (Al-Homoud, et al. 2005) بالتعريف بالمساجد واعتبارها متميزة عن أنواع المباني الأخرى بوظيفتها التي تتصف بالتشغيل المتقطع والمرتبط بأوقات الصلاة، حيث يتم تشغيل المساجد في نفس الوقت، الأمر الذي يعكس على طلب استخدام الطاقة وخاصة في المناطق التي يتم الاعتماد فيها على الوسائل الميكانيكية للتبريد أو التدفئة لتحقيق درجة الحرارة المريحة. وأشارت الدراسة إلى أن تمكين المصلين من أداء الصلوات في بيئة ذات درجة حرارة مريحة يلزم أن يتحقق ذلك بأقل استهلاك للطاقة الكهربائية.

يجب معرفة العوامل المؤثرة على اكتساب المبنى للحرارة، سواء أكانت هذه العوامل داخلية كالحرارة المنبعثة من الإنارة الاصطناعية أو القاطنون الذين يشغلون المبنى أو الأجهزة والمعدات الكهربائية المتواجدة داخل المبنى أو نتيجة عوامل خارجية أخرى كالحرارة المكتسبة من تأثير أشعة الشمس والمنقلة من خلال الحوائط الخارجية، الداخلية والأسقف والأرضيات، أو

أكثر بيد أنها في الوقت ذاته تؤدي إلى زيادة في فقد الحرارة مما يسبب زيادة في أحمال التكييف (التدفئة أو التبريد)، وعندئذ يكون الحل التصميمي هو الطريقة المثلى في تصميم النوافذ بحيث يكون هناك توازن بين متطلبات الإضاءة الطبيعية وأحمال التكييف مما يحقق استهلاكاً أقل للطاقة الكهربائية في المبنى. وتبرز أهمية استخدام الزجاج العازل في تقليل كمية الأشعة النافذة من خلالها وبالتالي الحد من الحرارة الممكن تسربها للمكان، لذا يجب أن يحدد الهدف من استخدام زجاج النوافذ من حيث الشفافية والرؤية من خلالها والاستعانة بها في دخول الإضاءة الطبيعية، ويمكن تحقيق ذلك عن طريق استخدام زجاج ذي معامل انتقال حراري منخفض مما يقلل من الطاقة الكهربائية المستهلكة في أحمال التكييف. وتجدر الإشارة إلى أهمية معرفة اتجاه النافذة ومدى تعرضها لأشعة الشمس وذلك لاختيار النوع المناسب منها، حيث إن هناك أنواعاً مختلفة من الزجاج العادي المفرد والمزدوج ذي السمك والألوان المختلفة وكذلك الزجاج ذو التحكم الشمسي أو ما يسمى بالنوافذ الذكية، وغيرها من الأنواع التي يختلف بعضها عن بعض من حيث النفاذية وموصلية الحمل الحراري نحو الخارج وغير ذلك من الصفات كما أشار إليها (حيان 2006).

أشار (Gopal Maheshwari et al., 2010) أن رقائق تظليل النوافذ ذات الخواص الطيفية الانتقائية هي إحدى الوسائل والتقنيات التي من الممكن استخدامها للحد من الطاقة وهي سهلة التركيب للمنشآت العامة، وأن تطبيق مثل هذه التقنية بنطاق واسع على المستوى الوطني الكويتي يمكن أن يكون أداة فعالة في استراتيجيات إدارة الأحمال وترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية. وأشارت الدراسة والتي طبقت على أحد المنازل السكنية في الكويت إلى أن استخدام رقائق التظليل على النافذة ذات الزجاج المزدوج أدى إلى خفض 6.7% من الطاقة اللازمة للتكييف وإلى 4.7% من الطاقة الكلية للمبنى.

أثبتت الدراسات جدوى استخدام وسائل العزل الحراري في المبنى حيث يمكن تخفيض الأحمال القصوى المطلوبة للتكييف والقدرة الكهربائية اللازمة وتقليص حجم المعدات والتركيبات على المدى القصير بالإضافة إلى تخفيض استهلاك الطاقة على المدى الطويل مع ضمان ربح اقتصادي مؤكد للمبالغ المستثمرة (وزارة الكهرباء والماء، 2009). وتتراوح نسبة الوفر في كمية الطاقة كما جاء في الإسكوا (2002) نتيجة لاستخدام العزل الحراري بين 25% - 75% وذلك طبقاً للنوعية المواد المستخدمة في البناء من جهة، ونوعية وسمك العزل الحراري المستخدم من جهة أخرى.

تطرقنا دراسة (Alanzi et al., 2009) إلى أثر كيفية تصميم المبنى على كفاءة الطاقة لمكاتب مجمع مبان في الكويت، وقد أبان المؤلفون لتلك الدراسة النتائج التي توصلوا إليها من خلال تحليل نتائج المحاكاة الحاسوبية التي تم عملها على المباني بشكل كامل، كما تم عند عملية التحليل الأخذ في الحسبان لأشكال عدة للمباني ونسبة الطول للعرض ونسب النافذة للحائط وأنواع النوافذ المستخدمة.

يلعب اتجاه المبنى دوراً رئيسياً في تصميم المبنى والنوافذ والأبواب وخاصة تلك التي تتعرض مباشرة لأشعة الشمس. وحينما تكون الجدران معرضة لأشعة الشمس فإنها تكسب حرارة نتيجة

الإجمالية مما يمكن من خفض الاستهلاك للكهرباء. تمت الدراسة على روضة أطفال ومسجد ومستوصف للعلاج في دولة الكويت. أوضحت النتائج أن نسبة الترشيد بلغت 46% و 37% و 25% على التوالي في حالة استخدام منظم الحرارة القابل للبرمجة. وأوصت الدراسة باستخدام منظم الحرارة القابل للبرمجة في الأماكن التي لا تعمل بشكل مستمر. وبينت الدراسة أهمية مراعاة كمية الحرارة التي يكتسبها المبنى عن طريق تخزين الحرارة فيه في حال توقف أجهزة التكييف عن العمل حيث يمكن أن ينتج من ذلك زيادة الطلب على التكييف واستمرار عمل المكيف والضغوط مع فترة أكبر لتقليل الحرارة المخترنة في المبنى.

تناولت دراسة (Joseph Lam et al., 2006) تأثير الإنارة بواسطة المصباح ذي الفتيل (المتوهج) على أحمال التبريد والتدفئة في الصين، حيث أشارت إلى أن التغيير في حمل كثافة الإضاءة لا يؤثر فقط على استعمال الطاقة الكهربائية للإضاءة بل يؤثر على الطاقة المطلوبة لتبريد أو تدفئة الحيز. وبينت الدراسة أن التخفيض في الطاقة الكهربائية المستهلكة في مثل هذه الحالة يؤدي إلى زيادة الحيز الذي يمكن تدفئته في أشهر الشتاء بنفس سعة الماكينات، وتقليل متطلبات التبريد في فصل الصيف. وجاء في تقرير (الإسكوا 2002) أن استخدام أجهزة عالية الكفاءة يؤدي إلى خفض استهلاك الكهرباء لكل من الإنارة والتكييف معاً، مما يساعد في تخفيض أحمال الذروة ويحد من الحاجة إلى إدخال محطات التوليد الاحتياطية ذات الأداء الأقل كفاءة في الخدمة. تتوفر حالياً مصابيح إنارة كفاءة تستهلك كمية طاقة أقل مع القدرة على الحفاظ على مستوى الإنارة المطلوب ويمكنها تحقيق وفر في الكهرباء المستهلكة يتراوح بين 35% - 82%، وذلك على حسب نوع المبنى.

أثبتت دراسة (Ihm et al., 2009) أثر ضوء النهار في توفير الطاقة الكهربائية المرتبطة بالإنارة الاصطناعية، ولقد تمت الدراسة على مبان مختلفة في التصميم وفي نوعية وقياس النوافذ في الولايات المتحدة وأماكن أخرى. وأشارت الدراسة إلى أن الكهرباء المستهلكة من الإنارة الاصطناعية تشكل 25% - 40% من الاستهلاك الكلي للكهرباء، لذلك يمكن أن توفر الإضاءة الطبيعية البديل للإنارة الاصطناعية ويكون ذلك عن طريق وضع المحسسات وأجهزة السيطرة والتي توفر الإنارة المطلوبة على حسب المكان والحيز المشغول كما توفر الإضاءة الطبيعية بيئة داخلية جذابة. واستخلصت الدراسة من خلال تحليل البيانات المستخرجة من عملية المحاكاة الحاسوبية أن التوفير ممكن عندما يتم الاستفادة واستغلال التحكم في ضوء النهار خاصة في الأماكن المعرضة بالكامل للضوء الطبيعي، حيث يمكن الوصول إلى 60% من التوفير من خلال استخدام التحكم في التعقيم.

جاءت بعض الدراسات لتوضح أهمية تصميم النوافذ في المباني مع مراعاة ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية من خلال الدمج بين الإضاءة الطبيعية والإنارة الاصطناعية في المباني، حيث أشار (الأشول 2008) في دراسته أنه يمكن التوصل إلى الدمج الفعال للإضاءة الطبيعية مع الإنارة الاصطناعية عندما يكون هناك إمكانية للتحكم في مستويات الإنارة الاصطناعية من خلال التعرف على مستويات الإضاءة الطبيعية الواصلة إلى سطح العمل في الفراغ الداخلي. تسمح النوافذ ذات المساحات الكبيرة بإنارة طبيعية

بالمبنى المدروس والتي تؤثر بالتالي على الحمل الحراري للمبنى، وتتغير هذا النسبة تبعاً لطبيعة الأرض المحيطة بالمبنى. كما يتم إدخال قيمة الناقلية الحرارية للأرض المحيطة بالمبنى، وتستخدم هذه القيمة عند احتساب الأحمال الحرارية للأرضية والجدران، وتتغير قيمة الناقلية تبعاً لتكيفية التربة والأرض المحيطة. ويتم كذلك تحديد أشهر الصيف، وذلك بتحديد أول شهر وآخر شهر وإدخال فرق التوقيت مع غرينتش وبأخذ الرقم قيمة موجبة في حال كان الموقع غرب غرينتش وقيمة سالبة إذا كان الموقع شرق غرينتش وإدخال التوقيت الصيفي إن وجد. يتم تعريف الجدران والأسقف بتحديد عامل انتقال الحرارة الكلي للجدران الخارجية أو الأسقف فقط المعرضة لأشعة الشمس، كما يتم إدخال حالة لون سطح الجدار أو السقف الخارجي (كاشف، متوسط، غامق) والذي يؤثر على قيمة عامل الامتصاصية. من العوامل التي يتم تعريفها عامل تحديد ارتفاع وعرض النافذة وإدخال عامل انتقال الحرارة الكلي للنافذة و عامل التظليل الكلي. ويتم تحديد عامل انتقال الحرارة الكلي للباب عن طريق إدخال مساحة الباب الكلية وقيمة عامل انتقال الحرارة الكلي للباب وقيمة المساحة الزجاجية إن وجدت في الباب وقيمة عامل انتقال الحرارة للزجاج وقيمة عامل تظليل الزجاج.

#### جدول 1: بعض المواصفات العامة لمسجد «بدرية المغيصب»

التكييف المستخدم/ طن التبريد الفعلي	الإضاءة المستخدمة	عدد الأبواب المعرضة للمحيط الخارجي	عدد النوافذ و نوعيتها	المساحة (m <sup>2</sup> )		
				العمامة	القبلة	المجموع
تكييف مركزي 43 طن Energy Efficiency Ratio = EER≈7	الفلوريسنت + الفلوريسنت المدمجة	60	13 زجاج مزدوج	330.6	106	510.1

#### منهجية وطرق البحث

إن أغلب مساجد الكويت متشابهة تقريباً في مواصفاتها الفنية مما يعطي فرصة لتعميم نتائج الدراسة. ولقد تم اختيار مسجد «بدرية المغيصب» ليكون مجال التطبيق في هذا البرنامج لهذه الدراسة، وذلك بسبب توافر البيانات والمعلومات المطلوبة عن هذا المسجد، ويوضح الجدول 1 بيانات المسجد مجال الدراسة.

وكانت خطوات الدراسة كالتالي:

(1) مراجعة الدراسات السابقة المتعلقة بموضوع الدراسة لتحديد العوامل المؤثرة على استهلاك الطاقة.

(2) جمع البيانات المتعلقة بالدراسة والمتضمنة الآتي:

(1.2) بيانات استهلاك المساجد للكهرباء طبقاً لبيانات وزارة الكهرباء والماء، وأيضاً البيانات الفنية والهندسية المتعلقة بالمسجد مجال الدراسة من مخططات وغيرها والتي تتضمن التصميم وأنواع التكييف والإضاءة المستخدمة ونمط

الأشعة المباشرة والمنتشرة. ومن المهم أيضاً إدراك أن كمية الحرارة المنتقلة من خلال الحوائط الشمالية تعتبر متواضعة نوعاً ما نظراً لأن نصف الكرة الشمالي نادراً ما تصل إليه الشمس وكذلك زاوية ميل أشعة الشمس تكون حادة جداً، وبالنسبة للناحية الشرقية تكون أكبر قليلاً من الشمالية نظراً لأن أشعة الشمس تترك هذا الجانب من المبنى قبل أن ترتفع درجة الحرارة إلى أقصاها خلال اليوم كما أن زاوية السقوط أكبر من الاتجاه الشمالي. أما الحوائط التي تواجه الناحية الجنوبية فإنها تتعرض لأشعة الشمس خلال الساعات المتأخرة من الصباح والمبكرة بعد الظهر وكذلك زاوية السقوط تكون أكبر من السابقة وينتج عن ذلك زيادة في كمية الحرارة المنتقلة داخل الغرف، ومن ناحية الغرب فإن كمية الحرارة المنتقلة للحوائط تكون كبيرة لأنها تتعرض لأشعة الشمس من بعد الظهر وحتى وقت الغروب كذلك زاوية السقوط تكاد تكون عمودية (ونوس، 2004).

تطُرقت دراسة (Alajmi and Hanby, 2008) إلى أهمية تطبيق برامج المحاكاة الحاسوبية لتحديد أحمال التكييف وتقييم استهلاك الطاقة للبيانات المحلية في دولة الكويت ذات المناخ الصحراوي الحار. وأشارت الدراسة إلى أن كود حماية الطاقة الصادر عن وزارة الكهرباء والماء يعتبر قديماً حيث تم إصداره عام 1983م وما زال العمل به سارياً ولم يتم تحديثه، في حين أنه تم ظهور منتجات وتقنيات مستجدة أكثر كفاءة وفعالية ولم تؤخذ في الاعتبار في هذا الإصدار القديم. وبينت الدراسة أن دعم الحكومة للكهرباء وعدم استفادة الوزارة من التقنيات الجديدة أدى إلى وجود زيادة وإسراف في الاستهلاك المحلي.

يعتبر برنامج (HAP-4.2) من البرامج الكبيرة المصنعة من قبل شركة كاريير (2003)، وهو اختصار (Hourly Analysis Program)، وقد تم تصميمه لكي يناسب ظروف العديد من المناطق ومن هذه المناطق دول الشرق الأوسط ومنها دولة الكويت. وهو برنامج حاسوبي يحتوي على العديد من الوظائف المتعلقة بتصميم أنظمة التدفئة والتبريد وتكييف الهواء في المباني التجارية وغيرها، حيث يقوم البرنامج بحساب الحمل وعمل تصميم للأنظمة كما يقوم بعمل محاكاة لطاقة المبنى وحساب تكاليف الطاقة. كما يعتمد البرنامج في حساباته على نسخة من مطبوعات جمعية مهندسي التكييف والتدفئة المعتمدة (ASHRAE 2005) (AHVACE). يعتمد البرنامج على تعريف العوامل المتعلقة بالمكان والنظام الخاص بالمشروع. يتم إدخال بيانات وخصائص الطقس من حيث اختيار القارة أو المنطقة، ومن ثم اختيار الدولة، وإدخال خط العرض وخط الطول وارتفاع المدينة عن سطح البحر ودرجة الحرارة الجافة التصميمية صيفاً ودرجة الحرارة الرطبة التصميمية صيفاً والمدى اليومي صيفاً ودرجة الحرارة الجافة التصميمية شتاءً ودرجة الحرارة الرطبة التصميمية شتاءً ودرجة صفاء الطقس حيث يستخدم هذا الرقم لتصحيح قيمة الإشعاع الشمسي تبعاً لصفاء السماء أو تلدها بالغيوم ووجود الضباب، وبأخذ هذا الرقم القيمة (1.15) للسماء الصافية تماماً والقيمة (1) للظروف العادية والقيمة (0.85) في حال وجود غيوم أو ضباب كثيف. كما يتم إدخال نسبة انعكاسية الإشعاع الشمسي عن الأرض المحيطة بالمبنى وتحدد هذه النسبة قيمة الإشعاع الشمسي المنعكس عن السطوح المحيطة

- المسببات الرئيسية لارتفاع الاستهلاك.
- (5) تحليل ومناقشة نتائج الحالة المدروسة ومعرفة أثر استخدام هذه الوسائل والتقنيات على تقليل الاستهلاك.
- (6) صياغة خلاصة الدراسة من خلال اقتراح بعض التوصيات التقنية والمعمارية، واقتراح بعض الطرق الملائمة للترشيد في استهلاك الطاقة الكهربائية في مباني المساجد القائمة أو المزمع إنشائها مستقبلاً.

### جدول 2: البيانات المتعلقة بطقس وموقع دولة الكويت

التوصيف	البيانات
City Name	Kuwait City
Location	Kuwait
Latitude	29.2 Deg.
Longitude	48.0 Deg.
Elevation	54.9 m
Summer Design Dry-Bulb	47.2°C
Summer Coincident Wet-Bulb	20.6°C
Summer Daily Range	15.4°K
Winter Design Dry-Bulb	3.3°C
Winter Design Wet-Bulb	-0.1°C
Atmospheric Clearness Number	1.00
Average Ground Reflectance	0.20
Soil Conductivity	1.385W/(m·°K)
Local Time Zone (GMT +/- N hours)	-3.0 hours
Consider Daylight Savings Time	No
Simulation Weather Data	None N/A
Current Data is	User Modified
Design Cooling Months	April to November

- الاستهلاك والأساليب المستخدمة حالياً لترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية، وذلك عن طريق إدارة الشؤون الهندسية بوزارة الأوقاف.
- (2.2) الكود الخاص للمواصفات والاشتراطات الخاصة بالمباني والمساجد كالتصميم والمواد العازلة وغير ذلك.
- (3.2) درجات الحرارة الكبرى والصغرى والرطوبة النسبية وما يتعلق بالمناخ السائد والأحوال الجوية في البلاد وذلك عن طريق إدارة الأرصاد الجوية الكويتية.
- (3) دراسة برنامج المحاكاة الحاسوبي (HAP)، يعتبر هذا البرنامج التابع لشركة كاريبر من البرامج الحاسوبية الدقيقة في حساب أحمال التكييف، وقد تم تصميمه لكي يناسب ظروف العديد من المناطق. تم إدخال البيانات التالية كما هو موضح بالجدولين 2 و 3.
- (1.3) البيانات المتعلقة بالطقس، وهي البيانات التي تم تعريف البرنامج الحاسوبي بها لتتناسب مع جو الكويت.
- (2.3) البيانات المتعلقة بالإضاءة وتواجد الناس ومنظم الحرارة (الثيرموستات)، وتم افتراض عمل الإضاءة وتواجد الناس، كما تم تشغيل منظم الحرارة بشكل مستمر خلال ساعات يوم الجمعة، بينما تم افتراض تغير نسبة شغل المكان بالنسبة للإضاءة أو تواجد الناس لباقي أيام الأسبوع. بالإضافة إلى جدول لتوضيح كيفية عمل منظم الحرارة.
- (3.3) البيانات المتعلقة بطبقات الحائط والأسقف والاتجاهات والمتاحة من مخطط المسجد.
- (4.3) البيانات المتعلقة ببعض الأحمال ونظام التشغيل والحيز المراد تكييفه على أساس الظروف التشغيلية المناسبة لجو الكويت وعلى أساس البيانات المتوفرة لنظام التكييف المستخدم في المسجد وبعض مواصفات ومعايير التكييف الموجودة في كتيب «دليل الاستخدام» لشركة كاريبر.
- (4) دراسة تفصيلية لأحمال التكييف أثناء ظروف التشغيل المختلفة من خلال تحري أثر العوامل المختلفة على حمل التكييف من خلال عمل محاكاة حاسوبية للحالة - تحت الدراسة - وتحديد

### جدول 3: بيانات الحائط وطبقات ومعامل انتقال الحرارة الكلي

Wall Details  
 Outside Surface Color : Light  
 Absorptivity : 0.450  
 Overall U-Value : 0.646W/(m<sup>2</sup>-°K)

Layers	Thickness mm	Density kg/m <sup>3</sup>	.Specific Ht (kJ / (kg - °K	R-Value m <sup>2</sup> -°K/W)	Weight kg/m <sup>2</sup>
Inside surface resistance	0.0 0	0000.0	0.00	0.12064	000.0
natural stone	50.0	1962.3	0.84	0.06887	098.1
sand cement	20.0	2002.3	0.84	0.01156	040.0
fiber glass	50.0	0102.5	0.84	1.15616	005.1
sand cement block	200.0	2002.3	0.00	0.11556	400.5
Plaster	20.0	1681.9	0.92	0.01539	033.6
Outside surface resistance	0.0	0000.0	0.00	0.05864	000.0
<b>Totals</b>	<b>340.0</b>	-		<b>1.54682</b>	<b>577.4</b>

Wall Layers Details (Inside to Outside)

## النتائج والمناقشة

يعني أن إجمالي أحمال التكييف قل بمقدار 2.8 طن تكييف و بنسبة 7.7 %، ليصبح قيمة الوفر 812 ديناراً كويتياً، كما هو موضح بالجدول 6.

## جدول 6: أثر تغيير قيمة واط الإنارة على طن التكييف الكلي

نوعية المصباح	الرقم المعتبر في البرنامج	قيمته	حمل التكييف		نسبة الوفر (%)
			(KW)	(TR)	
-	كود الوزارة	30 واط/م <sup>2</sup>	126.1	35.9	-
كومباكت وفلوريسنت	الفعلي	واط 7,780	115.5	33.1	7.7

ولتحري أثر المصابيح الموفرة للطاقة تم افتراض استبدال مصابيح الفلوريسنت والمدمج بالمصابيح المتوهجة ذات القدرة (100 واط) في البرنامج، وجد أن حمل التكييف الإجمالي للمصابيح المتوهجة بلغ 154.1 كيلوواط بنسبة زيادة 22 % عن كود الوزارة و 32 % عن المصابيح الموفرة للطاقة. كذلك يتبين أهمية اعتبار الرقم الفعلي للقدرة المقننة (بالواط) على الرقم المعتمد من قبل الوزارة بشرط ألا يتجاوز الواط الكلي رقم الوزارة المعتمد وذلك من أجل حسابات احمال التكييف الفعلية وعدم تحميل المكان أحمال تكييف أكثر من المطلوب وبالتالي يعتبر هدراً في استهلاك الكهرباء. والجدول 7 يوضح الجدوى الاقتصادية لاستخدام مصابيح الإنارة الموفرة للطاقة مقارنة مع مصابيح الإنارة المتوهجة على افتراض عدم تبديل أي منهما خلال السنة.

## جدول 7: مقارنة التكلفة المتوقعة من استخدام المصابيح المتوهجة والمصابيح الموفرة للطاقة

نوعية المصباح	المتوهجة	الموفرة للطاقة
عدد المصابيح	356	356
حمل التكييف الكلي (طن)	43.8	33.1
سعر المصباح (فلس)	100	500
القيمة السنوية لأسعار المصابيح (دك)	635	178
سعر طن التكييف حسب مواصفات جدول الأسعار لوزارة الأوقاف (2009) (دك)	290	
التكاليف السنوية الكلية (دك)	12,737.6	9,777

من خلال المقارنة في الجدول 7 نجد أن التكلفة السنوية للمصابيح المتوهجة أقل بنسبة 80 % عن تكلفة المصابيح الموفرة للطاقة حيث أن التكلفة السنوية لسعر المصباح الموفر للطاقة أعلى من المصابيح المتوهجة بمقدار 142.4 ديناراً كويتياً، بينما زادت تكلفة طن التكييف الكلي للمصابيح المتوهجة عن المصابيح الموفرة بنسبة 32 %، لذا عند مقارنة التكاليف الكلية فإن المصابيح الموفرة للطاقة أقل تكلفة من المصابيح المتوهجة بمقدار 2960.6 ديناراً كويتياً بنسبة 30.3 % مما يشير إلى أهمية المصابيح الموفرة للطاقة في تقليل الحمل الكلي للتكييف وبالتالي تقليل التكلفة المادية. أما على صعيد التكلفة الفعلية لوحدة الطاقة الكهربائية والمتمثلة ب

أوضحت النتائج المتحصل عليها من البرنامج الحاسوبي أن المسجد مجال الدراسة يحتاج إلى 35.9 طن تكييف والتي تقابل 126.1 kw وهي القيمة التي سيتم المقارنة بها. وتعتبر قيمة أحمال التكييف الناتجة من تطبيق برنامج المحاكاة قريبة من القيمة الافتراضية والتي تعتمد على افتراض قيمة تقريبية تساوي (850 BTU/m<sup>2</sup>) و (35 CFM/m<sup>2</sup>) طبقاً للقواعد المتبعة بالنسبة للمساجد في وزارة الأوقاف، حيث يتم ضرب المساحة الكلية بالوحدة الحرارية البريطانية للمتر المربع (850BTU/m<sup>2</sup>) ومن ثم تقسيمه على (12000 BTU) للحصول على طن التكييف الكلي، وبفس الطريقة يتم ضرب المساحة الكلية في سرعة تدفق الهواء للمتر المربع للحصول على القيمة الإجمالية كما هو موضح في الجدول 4. ومن خلال المقارنة، يتبين أن السعة الإجمالية لأجهزة التكييف الفعلية أكثر مما يحتاجه المسجد مقارنة مع القيمة الافتراضية والقيمة الناتجة من عملية المحاكاة بمقدار 7 طن تكييف، وبمعلومية أن سعر طن التكييف الواحد 290 ديناراً كويتياً طبقاً لمواصفات جدول أسعار وزارة الأوقاف لعام 2009، يصبح الوفر الإجمالي 2030 ديناراً كويتياً، وفي هذا إشارة إلى أهمية استخدام التقنية الحديثة في تحديد أحمال التكييف الفعلية.

## جدول 4: مقارنة بين طن التكييف الكلي الافتراضي والحقيقي وعن طريق البرنامج

الافتراضي	الفعلي	البرنامج
36	43	35.9
17,885	19,200	25,998
506	543	736
m <sup>3</sup> /min		
معدل حجم الهواء المتدفق		

## (1) أثر حمل الإنارة على طن التكييف الكلي

قامت وزارة الكهرباء والماء بتحديد القيمة 30 (w/m<sup>2</sup>) كحد أقصى للتصميم بالنسبة للإنارة في المساجد، والجدول 5 يبين نوعية وكمية الإنارة الحقيقية المستخدمة في مسجد "بدرية المغيصيب".

## جدول 5: كمية ونوعية الإنارة المستخدمة في مسجد بدرية المغيصيب

نوعية الإضاءة	القدرة الكهربائية للمصباح (و س)	عدد المصابيح	مجموع القدرة (و س)
الفلوريسنت (الأنبوب)	18	160	2,880
كومباكت فلوريسنت	25	196	4,900
المجموع		356	7,780

تم عمل محاكاة لعملية التكييف بفرض قيمة الإنارة 30 (w/m<sup>2</sup>) وهي القيمة القصوى، ووجد أن إجمالي أحمال التكييف تساوي 35.9، لكن عندما تم اعتبار حمل الإنارة الكلي الفعلي الموجود في المسجد (7780 واط) أصبح إجمالي أحمال التكييف 33.1، مما

متفاوتة لرؤية أثر تقليل التسرب على حمل التكييف الكلي، وقامت الفرضية على أساس وضع غالق الأبواب ووضع باب خارجي آخر يفصل بين المحيط الخارجي للمسجد وباب المسجد الداخلي، وكانت النتائج كما هو موضح في الجدول 10.

**جدول 9:** مقارنة بين حمل التكييف في حالتي وجود منظم للحرارة ومجسات الإنارة وفي حالة عدم وجودهما

وصف	الحالة الأولى	الحالة الثانية	قيمة ونسبة الوفر
وضعية الإنارة ومنظم الحرارة وتواجد الناس بشكل مستمر	اعتبار شغل الإضاءة والثرموستات وتواجد الناس بشكل مستمر	تنظيم عمل الإنارة والثرموستات على حسب جدول شغل المكان	
وضعية التحكم المقترحة	لا يوجد	مجسات للإضاءة ومنظم الحرارة القابل للبرمجة	
حمل التكييف الكلي (TR)	35.9	34.9	2.9 %
قيمة طن التكييف حسب مواصفات جدول أسعار وزارة الأوقاف (2009) (دك)	290	290	
تكلفة طن التكييف للمستهلك (دك)	10411	10121	290 %2.9
سعر مجسات استشعار الحركة (دك)	-	9 دك * 22 عدد = 198	
إجمالي التكلفة على مستوى المستهلك (دك)	10411	10319 = 10121 + 198	92 0.9%
حمل التكييف الكلي (KW)	126.1	122.9	2.6 %
القدرة الكهربائية المركبة المطلوبة بالمحطات والشبكات (الحمل + 50%)	189.15	184.35	
إجمالي تكلفة التزويد بالكهرباء بالنسبة للدولة (40 فلس/ك و س) (دك)	(40*189.15) 7.566	(40*184.35) 7.374	
التكلفة السنوية (دك)	2762	2692	2.6 %

(40 فلس/ك و س)، نجد أن نسبة الوفر في تكلفة الكهرباء الحقيقية تصل إلى 33 % كما هو موضح في الجدول 8.

**جدول 8:** نسبة الوفر الحقيقية في تكلفة الكهرباء عند استخدام الإنارة الموفرة للطاقة

نوعية المصباح	المتوهج	الموفرة
كيلو واط التكييف الكلي (KW)	154.1	115.5
القدرة الكهربائية المركبة المطلوبة بالمحطات والشبكات (الحمل + 50%)	231.15	173.3
إجمالي تكلفة التزويد بالكهرباء بالنسبة للدولة (فلس/ك و س)	40	40
التكلفة الفعلية بالدينار الكويتي	9.246	6.932
نسبة الوفر الناتج عن استخدام الإنارة الموفرة للطاقة %	-	33 %

**(2) أثر التحكم في منظم درجة الحرارة والإنارة على حمل التكييف الكلي**

تم افتراض عمل منظم الحرارة والإنارة بشكل مستمر في المرحلة الأولى وذلك لتحري أثرهما على حمل التكييف الكلي، ثم تم افتراض تشغيلهما في أوقات مختلفة بسبب وجود تحكم بهما عن طريق (منظم درجة الحرارة القابل للبرمجة ومجسات استشعار الحركة بالنسبة للإنارة) كما هو موضح في الجدول 9. لذا تم اختيار عدد 22 مجس استشعار حركة بالنسبة للإضاءة معتمداً على المدى الذي يغطيه المجس الواحد بالنسبة للمتر المربع. كما أن تكلفة منظم الحرارة القابل للبرمجة يدخل في التكلفة الإجمالية لطن التكييف الواحد كما جاء في جدول الأسعار لأعمال الترميم التابعة لوزارة الأوقاف (2009). أوضحت النتائج أن أحمال التكييف الكلي في الحالة الثانية قد قل بنسبة 2.9 % عنها في الحالة الأولى، وأن قيمة الوفر للمستهلك بسبب تنظيم الإنارة والثرموستات بلغت 290 ديناراً كويتياً، وبإضافة تكلفة مجسات استشعار الحركة بالنسبة للإنارة يصبح الوفر الناتج من أحمال التكييف الكلي 92 ديناراً كويتياً، والأهم من ذلك أنه تم تخفيض معدل الاستهلاك السنوي الفعلي بنسبة 2.6 % أي بمقدار 70 ديناراً كويتياً، مما يشير إلى أثر التحكم في الإنارة ومنظم الحرارة في تخفيض الاستهلاك السنوي.

**(3) أثر تسريب الهواء على حمل التكييف الإجمالي**

أوضحت الدراسات أن للتسرب الحاصل من المبنى أثر في تقليل حمل التكييف. ولحساب كمية تسرب الهواء المتوقعة من خلال أبواب المسجد والنوافذ، تم في البداية تحديد كمية وحجم الهواء بالمسجد خلال ساعة معينة على أساس ضرب ارتفاع المسجد بالمساحة ومن ثم ضربه بالعدد 1000 لتحويله إلى وحدة لتر/ثانية. وحيث إن الأبواب تفتح على الأقل في خمسة أوقات متفرقة من اليوم وبمعدل تقريبي يصل إلى خمس ساعات بسبب دخول وخروج المصلين، تم افتراض تغيير كمية حجم الهواء للمسجد مرة واحدة في اليوم والذي يقدر قيمته بـ (865 لتر/ثانية) واعتبار هذه القيمة هي أقصى معدل للتسرب. وبالتالي تم حساب حمل التكييف الإجمالي في الحالة الأولى، ثم تم افتراض تقليل هذه الكمية المتسربة بنسب

**جدول 10: أثر نسبة التسرب على حمل التكييف**

نسبة التقليل (%)	كمية التسرب (ل/ث)	حمل التكييف الكلي (طن)	الكيلو واط الكلي
الفعلي	865	35.9	126.1
10	778.5	35.1	123.5
20	692	34.3	120.7
30	605.5	33.8	118.8
40	519	32.7	114.9
50	432.5	31.8	112

بقراءة تحليلية للجدول نجد أنه يمكن تقليل حمل التبريد الكلي بنسبة 11.4% إذا كان في الإمكان تقليل نسبة التسرب بنسبة 50%، ويعتبر هذا الأمر ممكناً إذا أدرجنا أن الطرق المستخدمة في تقليل التسرب غير مكلفة بل ومجدية اقتصادية كما هو موضح في الجدول 11. يتضح من الجدول أن قيمة الوفر الحاصلة للمستهلك 1189 ديناراً كويتياً، وتعتبر مردوداً ذا قيمة معتبرة خاصة إذا ما قورنت مع التكلفة المتوقعة لتقليل التسرب والمتمثلة بقيمة الأبواب وغالق الأبواب مع بعض القواطع والتي لا تتعدى في مجموعها ما قيمته 1000 دينار كويتي، والتي من الممكن تعويضها في السنوات التي تليها. يتضح أيضاً أنه عند تشغيل التكييف لمدة 6 أشهر فإن هناك وفراً اقتصادياً قيمته 152.25 ديناراً كويتياً. والأمر الإيجابي الآخر هو التوفير في القدرات الكهربائية المركبة في المحطات والمنقولة في الشبكات والمتمثلة في إنتاج ونقل وتوزيع الطاقة، وتقدر بالحمل مضافاً إليه 50% ولذلك أثر إيجابي في تقليل تلوث الهواء وانخفاض انبعاث غازات الاحتباس الحراري.

**(4) أثر نوعية الزجاج ومساحته على حمل التكييف**

تعتبر نوعية النوافذ المستخدمة في المباني ونسبة مساحتها لنسبة مساحة الحائط من العوامل المهمة في احتساب معامل الانتقال الحراري، حيث إن نسبة مساحة الزجاج بالنسبة لمساحة الحائط الكلية يجب أن تكون في حدود (10%) لأي نوع من أنواع الزجاج المفرد و(11% - 15%) لأي نوع من أنواع الزجاج المزدوج (وزارة الكهرباء والماء، 2009). وبالنسبة للمسجد مجال الدراسة فإن هناك التزام بهذه النسبة كما هو مبين في مخططات المسجد. تم افتراض تغيير نوعية النافذة لتحري أثر قيمة معامل الانتقال الحراري النهائي للزجاج في حمل التكييف كما هو موضح في الجدول 12. أوضحت النتائج أن قيمة معامل الانتقال الحراري للزجاج المزدوج العاكس قد خفض حمل التكييف الكلي بنسبة 0.8%، أي يوفر اقتصاداً قيمته 87 ديناراً كويتياً مقارنة مع الزجاج ذو الطبقة الواحدة وهي نسبة تعتبر بسيطة مقارنة مع التكلفة المتوقعة من توريد وتركيب الزجاج المزدوج العاكس.

ولمعرفة أثر مساحة النافذة على حمل التكييف الإجمالي تم افتراض زيادة مساحة 50% في كل مرة كما هو موضح في الجدول 13. نجد أن حمل التكييف الإجمالي يزداد بزيادة مساحة النافذة، حيث بلغت نسبة الزيادة في طن التكييف 1.7% عندما زادت مساحة النافذة بمقدار 100%. ومن هنا يستنتج أن الزيادة في مساحة النافذة على طن التكييف يعتبر ضعف أثر نوعية الزجاج على طن التكييف، وفي هذا إشارة إلى أهمية اعتبار مساحة النوافذ في عملية التصميم.

**جدول 11: أثر التسرب على تكلفة طن التكييف**

الوصف	الوضع الأصلي	التقليل بنسبة 50%
حمل التكييف الكلي (TR)	35.9	31.8
التكلفة بالنسبة للمستهلك (د ك)	10411	9222
قيمة ونسبة الوفر	-	1189 (11.4%)
متوسط قيمة الأبواب والرداد (الغالق) العلوي (د ك) (جدول الأسعار - الأوقاف 2009)	-	6 أبواب * 120 = 720
حمل التكييف الكلي (KW)	126.1	112
القدرة الكهربائية المركبة المطلوبة بالمحطات والشبكات (الحمل+50%)	189.15	168
إجمالي تكلفة التوريد بالكهرباء بالنسبة للدولة (40 فلس/ك و س)	7.566	6.720
التكلفة السنوية (على اعتبار شغل التكييف لمدة 6 أشهر) (د ك)	1361.88	1209.6

**جدول 12: أثر الاختلاف في نوعية الزجاج على حمل التكييف الكلي**

نوعية الزجاج	مساحة النافذة m <sup>2</sup>	قيمة معامل الانتقال الحراري W/(m <sup>2</sup> -°K)	حمل التكييف الكلي	الكيلو واط الكلي
مزدوج وعاكس (الأصل)	1.16	2.13	35.9	126.1
مزدوج، 6 مم فراغ هواء		3.5	36	126.6
زجاج مفرد شفاف		5.9	36.2	127.4

**جدول 13: أثر زيادة مساحة النافذة على طن التكييف الإجمالي**

نسبة الزيادة على مساحة الزجاج المزدوج والعاكس	مساحة النافذة m <sup>2</sup>	قيمة معامل الانتقال الحراري W/(m <sup>2</sup> -°K)	حمل التكييف الكلي	
			TR	KW
الفعلي	1.16	2.193	35.9	126.1
50%	1.74	2.193	36.1	127.1
100%	2.32	2.139	36.5	128.2

**(5) أثر اتجاهات مبنى المسجد على حمل التكييف**

لمعرفة أثر الاتجاهات على حمل التكييف، تم افتراض تساوي مساحة الحائط في كل الاتجاهات، وتم افتراض وجود أربع نوافذ بمعامل انتقال حراري ثابت ومساحة ثابتة في جهة معينة لوجودها وعدم وجودها في الأخرى وذلك لرؤية أثر اتجاه كل حائط من حوائط المسجد على حمل التكييف الكلي وذلك بدلالة النوافذ كما هو موضح في الجدول 14.

**جدول 14: أثر الاتجاهات المختلفة على طن التكييف**

وصف النافذة والحائط	الاتجاه	الترتيب التنازلي	حمل التكييف الكلي	
			KW	TR
* زجاج شفاف *معامل الانتقال الحراري 5.9 (W/(m <sup>2</sup> -°K) *مساحة النوافذ (2.32m <sup>2</sup> ) *مساحة الحوائط (180m <sup>2</sup> )	NE	5	135.4	38.5
	N	7	135	38.4
	NW	3	137.2	39
	W	1	137.8	39.2
	SW	2	137.5	39.1
	S	6	135.3	38.5
	SE	4	135.6	38.6

يتضح من الجدول 14 أن أكثر الجهات تأثيراً بأشعة الشمس الساقطة والمباشرة وبالتالي زيادة حمل التكييف هي جهة الغرب ثم الجنوب الغربي (القبلة)، بينما تعتبر جهة الشمال أقل الجهات تأثيراً بأشعة الشمس الساقطة ويقف فيها حمل التبريد بنسبة 2% عن جهة الغرب. وحيث أن المساجد محكومة باتجاهات رئيسية ثابتة وهي (NW-NE-SE-SW) وأخرى فرعية تعتمد على التصميم الإنشائي للمسجد، نستطيع أن نستنتج أهمية اعتبار الجهات الأكثر تأثيراً بأشعة الشمس الساقطة من حيث نوعية ومساحة النوافذ ونوعية العازل المستخدم في الحائط الموجود في هذه الجهة. ولمعرفة أثر هذا الاستنتاج تم افتراض قيم مرتفعة للمعامل الحراري بالنسبة للنوافذ والحوائط الأقل تعرضاً للأشعة الساقطة المباشرة بينما تم افتراض قيم منخفضة للمعامل الحراري في الأجزاء الأكثر تعرضاً للأشعة الساقطة كما تم افتراض قيم مرتفعة للعامل الحراري لجميع الجهات كما هو موضح في الجدول 15. يمكن ملاحظة الآتي من الجدول 15:

(i) في الوضع الفعلي وباستخدام قيم منخفضة للمعامل الحراري للنوافذ والحوائط لجميع الجهات، مما يعني زيادة في العوازل والنوافذ ذات الجودة وبالتالي زيادة في التكلفة وجد أن الحمل هو (35.9 طن تكييف)، بينما نجد في الفرضية الأولى عندما تم استخدام قيم مرتفعة لمعامل الانتقال الحراري للنوافذ والحوائط في الجهات الأقل تعرضاً للأشعة الساقطة واستخدام قيم منخفضة لمعامل الانتقال الحراري للنوافذ والحوائط في الجهات الأكثر تعرضاً للأشعة الساقطة، زاد حمل التكييف الإجمالي بنسبة 1% عن الفعلي، مع أن الزيادة في قيمة معامل الانتقال الحراري للجهات الأكثر تعرضاً

للأشعة الساقطة زاد بمقدار الضعف عن قيمة معامل الانتقال الحراري للجهات الأقل تعرضاً للأشعة الساقطة، وفي هذا إشارة إلى إمكانية تخفيض التكلفة المقدرة للمبنى بعملية توازن بين تقليل العوازل في الجهة الأقل تعرضاً للأشعة الساقطة وبين وضع نوافذ ذات معامل حراري مرتفع.

(ii) عند افتراض وضع زجاج مفرد شفاف مع جدار أقل عزلاً ووزناً في جميع الجهات في الفرضية الثانية، مما يعني زيادة في قيمة معامل الانتقال الحراري، وجد أن حمل التكييف زاد بنسبة 11.4% عن الحمل الفعلي، أي بمقدار 4.1 طن تكييف وبتكلفة 1189 ديناراً كويتياً، وفي هذا دلالة على أهمية اعتبار معامل الانتقال الحراري وربطه بالاتجاهات المرتبطة بالمبنى.

**جدول 15: العلاقة بين معامل الانتقال الحراري واتجاه المبنى وأثره على حمل التكييف الإجمالي**

وجه المقارنة	معامل الانتقال الحراري		وزن الحائط Kg/m <sup>2</sup>	حمل التكييف الكلي	
	W/(m <sup>2</sup> -°K) النوافذ	الحوائط W/(m <sup>2</sup> -K)		KW	TR
قيم منخفضة لمعامل الانتقال الحراري لجميع الجهات	2.193	0.646	577.4	126.1	35.9
	5.9	1.409	303.9	140.8	40
الفرضية الأولى	2.193	0.646	577.4	127.6	36.3
	W				
	SW				
	5.9	1.409	303.9	140.8	40
	NE				
	S				
قيم مرتفعة لمعامل الانتقال الحراري لجميع الجهات	5.9	1.409	303.9	140.8	40

**(6) أثر اللون الخارجي لسطح الجدار والسقف على حمل التكييف**

تم تغيير اللون للجدار والسقف مع وجود القيم الأصلية للعازل وذلك لرؤية أثر اللون على حمل التكييف الكلي للمسجد وكانت النتائج كما هي موضحة في الجدول 16. يتضح أن حمل التكييف زاد بمقدار 1.5 طن تكييف بنسبة 4.2%، مما يؤدي إلى زيادة التكاليف بقيمة 435 ديناراً كويتياً، وذلك عندما تم تغيير لون السطح الخارجي من اللون الفاتح إلى اللون الغامق. زادت هذه القيمة بمقدار 0.8 طن تكييف بنسبة 2.2%، مما يؤدي إلى زيادة التكاليف بقيمة 232 ديناراً كويتياً، عندما تم تغيير اللون من الفاتح إلى المتوسط، مما يشير إلى أهمية الاهتمام باللون الخارجي للسطح والجدار في تخفيض حمل التكييف خاصة إذا ما قورنت بتكلفتها المنخفضة.

عازلة للحرارة من ألواح البوليسترين المبثوق (Extruded) على الطبقات الأصل، سمك 5 سم، كثافة 22 كجم/م<sup>3</sup>، ومقاومة حرارية  $0.7044 \text{ m}^2/\text{W}$ ، ووزن  $1.1 \text{ Kg/m}^2$ . يوضح الجدول 19 مقارنة بين حمل التكييف الإجمالي لطبقات الجدار الأصلي وبعد إضافة طبقة من ألواح البوليسترين المبثوق.

**جدول 18:** أثر زيادة معامل الانتقال الحراري في السقف على حمل التكييف

حمل التبريد الكلي		قيمة معامل الانتقال الحراري (w/m <sup>2</sup> .°K)	السقف
Kw	TR		
126.1	35.9	0.344	1 الفعلي
176.5	50.2	1.703	2 من غير عازل
137.9	39.2	0.759	3 عازل قليل
126.3	35.9	0.266	4 عازل أكثر
124.8	35.5	0.163	5

يتضح من الجدول 19 أثر إضافة طبقة من ألواح البوليسترين المبثوق على طبقات الجدار الأصلية، حيث انخفض حمل التكييف الإجمالي بنسبة 3.3% عند إضافة الطبقة العازلة. وبحساب الوفر الحاصل ومقارنته مع تكلفة العزل نجد أن تكلفة العزل يمكن استرجاعها خلال خمس سنوات تقريبا حيث يمكن حساب سنوات الاسترجاع عن طريق ضرب نسبة الوفر من طن التكييف (348 د ك) في عدد السنوات المتوقعة (5 سنوات) والنتيجة هو 1740 (د ك) وهذا المبلغ يغطي تكلفة العزل الذي أضيف (1500 د ك). ويوضح الجدول 20 أثر إضافة طبقة من العزل (مخلفات نباتية) بسماكات مختلفة على معامل الانتقال الحراري الإجمالي وحمل التكييف، ويتضح أن هناك تناسباً عكسياً بين سمك الطبقة العازلة ومعامل الانتقال الحراري وحمل التكييف، حيث نجد أن حمل التكييف قل بنسبة 6.8% عندما زاد سمك العزل من القيمة الفعلية (صفر) إلى 15.24 سم، وهذا مؤشر على أثر سمك الطبقة العازلة في تقليل حمل التبريد.



**شكل 1:** أثر الطرق المستخدمة على النسبة المئوية للوفر في حمل التكييف بالنسبة لعملية المحاكاة الحاسوبية

**جدول 16:** أثر اللون الخارجي لسطح الجدار والسقف على حمل التكييف

لون السطح الخارجي	معامل الامتصاص		السقف والجدار
	KW	TR	
فاتح (الفعلي)	126.1	35.9	0.450
متوسط	129.1	36.7	0.675
غامق	131.5	37.4	0.9

**(7) أثر التغيير في طبقات العازل للجدار والسقف على حمولة التكييف**

تعتبر العوازل سواء في الجدار أو في السقف من العوامل الأكثر تأثيراً على حمل التكييف، وحيث أن العوازل المستخدمة في مسجد بدرية المغيصيب تعتبر ملائمة للمواصفات المشروطة من قبل وزارة الكهرباء، فقد تم أولاً افتراض بعض أنواع الجدران والأسقف بما لا تحقق القيمة المطلوبة لمعامل الانتقال الحراري الكلي المعتمدة وتزيد عن  $0.57 \text{ (w/m}^2 \cdot \text{°K)}$  وتساوي  $0.1 \text{ BTU/(m}^2 \cdot \text{F}^{\circ} \cdot \text{hr)}$  للجدار، و  $0.4 \text{ (w/m}^2 \cdot \text{°K)}$  وتساوي  $0.07 \text{ BTU/(m}^2 \cdot \text{F}^{\circ} \cdot \text{hr)}$  للسقف وذلك لرؤية أثر زيادة معامل الانتقال الحراري على حمل التكييف كما هو موضح في الجدول 17.

**جدول 17:** أثر زيادة معامل الانتقال الحراري في الجدار على حمل التكييف الإجمالي

حمل التكييف الكلي		قيمة معامل الانتقال الحراري (W/m <sup>2</sup> .°K)	الجدار
KW	TR		
126.1	35.9	0.646	1 الفعلي
170.6	48.5	2.51	2 من غير عازل
149.1	42.4	1.409	3 عازل قليل
121.3	34.6	0.496	4 عازل أكثر
121.3	34.5	0.39	5
119.6	34	0.266	6

نجد أن طن التكييف قد زاد بمقدار 6.5 طن تكييف بنسبة 18%، مما يؤدي إلى زيادة التكاليف بقيمة 1885 ديناراً كويتياً، وذلك عند زيادة معامل الانتقال الحراري للجدار من 0.64 (الفعلي) إلى  $1.409 \text{ (w/m}^2 \cdot \text{°K)}$ . عند افتراض عدم وجود عازل زادت هذه القيمة إلى 12.6 طن تكييف بنسبة 35%، مما يؤدي إلى زيادة التكاليف بقيمة 3654 ديناراً كويتياً مما يشير إلى تأثير العزل على حمل التكييف الإجمالي. كذلك الأمر بالنسبة للسقف حيث يتضح من الجدول 18 أن نسبة الزيادة بلغت 9.2% عندما زادت قيمة معامل الانتقال الحراري من 0.344 إلى  $0.759 \text{ (w/m}^2 \cdot \text{°K)}$ ، وبنسبة 39.8% عندما زادت قيمة معامل الانتقال الحراري من 0.344 إلى  $1.703 \text{ (w/m}^2 \cdot \text{°K)}$ . بينما تعتبر نسبة التخفيض بسيطة جداً وهي 1.1% عندما تم تخفيض قيمة معامل الانتقال الحراري من 0.344 إلى  $0.163 \text{ (w/m}^2 \cdot \text{°K)}$ . ومن هنا يستنتج أن للعزل حداً معيناً يمكن من خلاله تخفيض حمل التكييف، وعند زيادة العزل عن الحد المطلوب فربما لن يكون ثمة مردود يذكر مقارنة بالتكلفة العالية للعزل. ولتحري أثر إضافة طبقة من العازل على طن التكييف وعلى المردود الاقتصادي من هذه الإضافة فقد تم إضافة طبقة

التي يمكن الحصول عليها من خلال الطرق المقترحة لتقليل حمل التكييف كما هو موضح في الشكل 1، وحيث أنه لا توجد أية شكوك في الجدوى الاقتصادية لجميع الطرق المقترحة، فمن الممكن أن يتم تصنيف تلك الطرق بناء على كمية الوفر الناتجة، ففي حال كون المبنى قائما ومشيدا فيعتبر تغيير نوعية الإضاءة هو الاختيار الأول ويليه تقليل التسرب ثم اللون الخارجي للمبنى ثم يليه وضع منظم الحرارة القابل للبرمجة ومجسات استشعار الحركة بالنسبة للإنارة، وأخيرا نوعية زجاج النوافذ، وفي حال كون المبنى أو المسجد في مرحلة التشييد أو الترميم فتكون العوازل أكثر العوامل تأثيرا على حمل التكييف وبالتالي يكون العزل أولى الطرق بالاهتمام.

### الخلاصة والتوصيات

يتضح لنا من خلال البحث وتطبيق برنامج (HAP) على المسجد مجال الدراسة أهمية عملية الترشيد وإمكانية تقليل حمل التكييف للمساجد باتباع الطرق المختلفة في الترشيد سواء في المباني القائمة أو المباني قيد الإنشاء والترميم، ومن النتائج تبرز الحقائق التالية:-  
(1) أهمية استخدام البرمجيات الحاسوبية الخاصة بأحمال التكييف في تحديد كمية حمل التكييف الإجمالي وكيفية تقليله بما يتوافق مع الجدوى الاقتصادية للطرق المقترحة.

(2) تعتبر العوازل من أكثر العوامل تأثيرا على حمل التكييف، حيث بينت نتائج تطبيق برنامج المحاكاة أن عدم وجود العازل يؤدي إلى زيادة معدل الاستهلاك بنسبة قد تصل إلى 35%.

(3) بالنسبة للمساجد القائمة، فإن تغيير نوعية الإنارة من المصابيح المتوهجة إلى المصابيح الموفرة للطاقة هو الأكثر فاعلية ومردودا في تخفيض الحمل الكهربائي وبالتالي تقليل الاستهلاك بنسبة 32 %، تلاها تقليل التسرب ثم اللون الخارجي للمبنى بنسب 11 % و 4.2 % على الترتيب.

(4) للعزل حد معين ممكن من خلاله تخفيض أحمال التكييف، فعند زيادة العزل عن الحد المطلوب فربما لن تحقق نسبة التخفيض فائدة تذكر إذ لن تتجاوز 1.1 % مقارنة مع التكلفة الزائدة في العزل.

(5) تأثير مساحة النوافذ على معدل الاستهلاك (1.7 %) أكبر من تأثير نوعية النوافذ (0.8 %).

(6) في دولة الكويت تعتبر الجهات الأكثر تأثرا بأشعة الشمس الساقطة وبالتالي زيادة معدل الاستهلاك هي جهة الغرب ثم الجنوب الغربي وأن أقل الجهات تعرضا لأشعة الشمس الساقطة هي جهة الشمال.

توصى الدراسة بدعوة الجهات المعنية بقطاع المساجد بشكل خاص والجهات الحكومية بشكل عام النظر في التوصيات التالية:

(1) الاهتمام بتحديث وتطبيق المواصفات والمعايير الخاصة بالجانب التصميمي والإنشائي والتكييف والإنارة في المباني، وعمل تصاميم نموذجية من شأنها أن تضمن الكفاءة العالية في مجال ترشيد واستهلاك الطاقة الكهربائية.

(2) استخدام برامج المحاكاة الحديثة في تصاميم المباني من قبل الجهات المعنية.

(3) دفع مهندسي الكهرباء المنتسبين إلى مراقبة الصيانة في الجهات الحكومية المعنية بالدراسة إلى استبدال المصابيح المتوهجة

**جدول 19:** أثر إضافة طبقة عزل جديدة على الطبقات الأصلية للجدار

الوصف	الوضع الأصلي لطبقات العزل الجدار	إضافة طبقة البوليسترين لطبقات العزل الأصلية
حمل التكييف الكلي (TR)	35.9	34.7
سعر طن التكييف (د ك)	290	290
التكلفة بالنسبة للمستهلك (د ك)	10411	10063
قيمة ونسبة الوفر	-	348 ( %3.46)
مساحة الحوائط الكلية m <sup>2</sup>	600	600
توريد وتركيب طبقة عازلة للحرارة من ألواح البوليسترين الميثوق سمك 5 سم كثافة من (21-24) كجم/م <sup>3</sup> والفئة تشمل جميع ما يلزم لإنهاء العمل كاملا حسب إرشادات الشركة المنتجة. السعر للمتر المربع 2.5 د.ك (جدول الأسعار - الأوقاف 2009)	-	السعر الكلي (د ك)
عدد سنوات الاسترجاع	5 سنوات	1500
حمل التكييف الكلي (kw)	126.1	122
القدرة الكهربائية المركبة المطلوبة بالمحطات والشبكات (الحمل +50%)	189.15	183
إجمالي تكلفة التزويد بالكهرباء بالنسبة للدولة (40 فلس/ك و س)	7.566	7.320
التكلفة السنوية (على اعتبار شغل التكييف لمدة 6 أشهر) (د ك)	1361.88	1317.6

**جدول 20:** أثر زيادة سمك الطبقة العازلة للمخلفات النباتية على حمل التكييف

السمك (سم)	معامل انتقال الحرارة (w/m <sup>2</sup> .°K)	حمل التكييف (طن تبريد)
0 (الفعلي)	0.646	35.9
2.54	0.498	35
5.08	0.406	34.6
7.62	0.342	34.2
10.16	0.293	33.8
12.7	0.259	33.7
15.24	0.232	33.6

### (8) اختيار أفضل الطرق في الترشيد

بقراءة تحليلية للنتائج المستخرجة من برنامج المحاكاة الحاسوبي لمسجد "بدرية المغيصيب" نجد أن هناك تفاوتاً في نسبة الوفر

**Alanzi A; Seo D; and Krarti M** (2009) Impact of Building Shape on Thermal Performance of Office Building in Kuwait. *Energy Conversion and Management*, **50** (3): 822-828.

Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890408003610>

**Al-Homoud, MS; Abdou AA; and Budaiwi IM** (2009) *Assessment of Monitored Energy use and Thermal Comfort Condition in Mosques in Hot-humid Climates*, *Energy and Building*, ENB-2558.

Available at: <http://www.elsevier.com/locate/enbuild>

**Al-Homoud MS; Abdou AA; and Budaiwi IM** (2005) Mosque Energy Performance, Part1: Energy Audit and use Trends Based on the Analysis of Utility Billing Data, *Journal of King Abdullaziz University: Science*, **16** (1): 165-184.

Available at: [http://www.kau.edu.sa/Files/320/Researches/52681\\_22987.pdf](http://www.kau.edu.sa/Files/320/Researches/52681_22987.pdf)

**Carrier Corporation** (2002) Software System Network. *HAP Quick Reference Guide*, USA.

Available at: <http://www.atecyr.org/eATECYR/curso-climatizacion/ftp/alumnos/docs/PDF>

**Gopal Maheshwari; Hanay Al-Taqi; Al-Nakib D; Alasseri R** (2010) *Energy Efficiency for Existing Buildings*, Paper presented at the Scientific Seminar in Kuwait Institute for Scientific Research, Jaber Al-Ahmed Auditorium, Kuwait, pp 33-36.

**Gopal Maheshwari; Hanay Al-Taqi; Rabaa Al-Murad; and Rajinder Suri** (2001) Programmable thermostat for energy saving. *Energy and Building*, **33** (7): 667-672.

Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778800001328>

**Ihm, P; Nemri A; and Krarti M** (2009) Estimation of lighting Energy Saving from Day Lighting. *Building and Environment*, **44** (3): 509-514.

Available at: [http://www.academia.edu/1951044/Estimation\\_of\\_lighting](http://www.academia.edu/1951044/Estimation_of_lighting)

**Joseph Lam; Tsang, CL; and Liu Yang** (2006) Impact of Lighting Density on Heating and Cooling Loads in Different Climates in China, *Energy Conversion and Management*, **47** (13/14): 1942 –1953.

Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890405002347>

**Ministry of Electricity and Water, MEW** (2009) *Energy Conservation Program*, General Guide for the Application of Thermal Insulation in Buildings, Ministry of Electricity and Water MEW R-5, Kuwait, 2nd ed.

بالمصابيح الموفرة للطاقة لتخفيض معدلات استهلاك الكهرباء. (4) أهمية اعتبار الجهات الأكثر تأثيراً بأشعة الشمس الساقطة من حيث جودة نوعية النوافذ بالنسبة لمعامل انتقال الحرارة ومساحاتها ونوعية المواد العازلة المستخدمة في الحوائط الموجودة في تلك الجهة.

## المراجع باللغة العربية

إدارة الأرصاد الجوية (2008/2009). معلومات مناخية: مراقبة المناخ، إدارة الأرصاد الجوية، الإدارة العامة للطيران المدني، الكويت.

إدارة الشؤون الهندسية (2005) مخطط مسجد بديرية المغيصيب، قسم الأرشيف إدارة الشؤون الهندسية قطاع المساجد، وزارة الأوقاف والشؤون الإسلامية، الكويت، ص 1-8. الإسكوا (2002) ترشيد استهلاك الطاقة في قطاع الأبنية، مؤتمر القمة العالمي للتنمية المستدامة (26/8-4/9/2002)، اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، الأمم المتحدة، جوهانسبرج، ص 1-14.

الأشول، نجيب (2008) تصميم النوافذ في المباني الإدارية مع مراعاة ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية من خلال الدمج بين الإنارة الطبيعية والصناعية في المباني الإدارية، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة الملك فهد للبترول والمعادن، الظهران، المملكة العربية السعودية، ص 1-15.

الخفاف، عبد علي و خضير، ثعبان (2007) الطاقة وتلوث البيئة. دار المسيرة للنشر والتوزيع، الأردن، عمان، ص 11.

حيان جواد صيداوي، مترجم (2006) عناصر التصميم والبناء. دار قابس للطباعة والنشر والتوزيع، بيروت، لبنان، ص 156. وزارة الأوقاف والشؤون الإسلامية (2009) أعمال الترميم والإنشاءات الصغيرة بمواقع مختلفة لمساجد محافظة الأحمدية المنطق الأولى، قطاع المساجد بوزارة الأوقاف والشؤون الإسلامية، المستند 3، الشروط الفنية، جدول الأسعار، رقم المناقصة أ.ف. 17 – 2008 / 2009، وزارة الأوقاف والشؤون الإسلامية، الكويت، ص 9-14.

ونوس، يوسف عبود (2004) المرجع الكامل في تدفئة وتكييف المباني، شعاع للنشر والعلوم، حلب، سوريا، ص 100 & 122.

## المراجع باللغة الإنجليزية

**AHVACE** (2005) *ASHRAE Handbook, Fundamentals* (SI), American Society of Heating Ventilation and Air Conditioning Engineers, Washington, USA. Ch. 29. Available at: <http://www.gobokee.org/ashrae-handbook-of-fundamentals-si-version>

**Alajmi F; and Hanby V** (2008) Simulation of Energy Consumption for Kuwaiti Domestic Buildings. *Energy and Building*, **40** (6): 1101-1109.

Available at: <http://www.journals.ohiolink.edu/ejc/search.cgi?q=authorExact:%22Al-ajmi>