مجلة جامعة الملك عبد العزيز: العلوم الهندسية، م **14**، ع 1، ص ص 61-86 (1423هـ / 2003م)

# الكفاءة الحرارية للسقوف ذات الأقبية للتبريد الخامل صيفًا في الأبنية الواطئة

**نجلاء محمد وجدي بكر**
*قسم هندسة العمارة-كلية الهندسة*
*جامعة العلوم التطبيقية-عمان-الأردن*

المستخلص . تتميز السقوف المقببة (Barrel Vaults) بأنها تعكس معظم الأشعة الشمسية الساقطة على سطحها الخارجي بسبب شكلها المحدب ويمكن طرد القسم الآخر الذي ينتقل إلى الداخل على شكل طاقة بواسطة التهوية، وبذلك تتخلص الأبنية في دول المناطق الحارة من أكبر مشكلة حرارية تواجهها خلال موسم الصيف. يتناول البحـث دراسة نوعية وكمية للكفاءة الحرارية للسقوف ذات الأقبيـة وتحت الظروف المناخية التي يتسـم بها العراق، وأخذنـا غرفة منفردة في بغداد كمثال نظـري إذ نجد المساهمة فعالة للسقف المقبب في توفير البيئة الحراريـة المناسبة داخل الأبنيـة قليلة الارتفاع مقارنة بالسقوف المستوية، وقد اعتمدنا طريقة درجـة

الحرارة الشمسية – الهوائية (Sol – air temperature) في المقارنة والتقييم. تم تسجيل قراءات للسطح الخارجي والداخلي لسقف ذي قبو لبيت مبني من طابق واحد في منطقة سكنية لذوي الدخل المحدود في بغداد، وقد وجدنا القراءات مقاربة للنتائج في ورقة البحث. يخرج البحث بنتائج وتوصيات يمكن تطويرها من أجل الوصول إلى التصميم المناخي الأفضل للمساهمة في خفض درجات حرارة الأبنية صيفاً.

## 1- المقدمة

في دول المناطق الحارة ومن ضمنها العراق والتي يتصف مناخها بالحرارة والجفاف خلال موسم الصيف الطويل الأمد يعتبر السقف من أهم العناصر المؤثرة على البيئة الحرارية داخل الأبنية لأنه يستقبل كميات كبيرة من الأشعة الشمسية بسبب شكله المستوي [1] ولكون الأبنية في العراق بصورة عامة منخفضة الارتفاع لذلك يشكل سطح السقف النسبة الأكبر من المساحة السطحية الكلية للبناء، فيعمل السقف على انتقال مقادير أكبر من الطاقة الحرارية من وإلى داخل البناء مقارنة بالجدران.

بالإضافة إلى الشكل فالتركيب البنائي للسقوف المستوية بصورة عامة يحتوي على الخرسانة وحديد التسليح كجزء أساسي مما يزيد من المقادير الحرارية المنتقلة من السطح الخارجي إلى داخل البناء أثناء النهار بسبب الموصلية الحرارية العالية (Thermal conductivity). وإذا قارنا ما يستقبله السقف الخارجي من شدة الإشعاع الشمسي (Solar Intensity) إلى ما تستقبله باقي الواجهات نجد أنه في شهر يوليو مثلا يستقبل سطح السقف المستوي

كمعدل يومي 950 واط على المتر المربع حيث تنتقل هـذه الطاقـة بواسـطة التوصيل إلى داخل البناء متسببة في رفع درجة الحرارة، بينما مجمـوع شـدة الإشعاع الشمسي التي تستلمها واجهات الجدران في الوقت ذاتـه أقـل نسـبيا وبمعدل يبلغ 350 واط على المتر المربع [1] .

أما في الشتاء عندما تكون زاوية سقوط الأشعة منخفضة (قدرها 30 درجة في شهر يناير) فإن شدة الإشعاع التي يستلمها السطح الخـارجي للسـقف فـي النهار لا تتعدى 300 واط على المتر المربع حيث يعمل السقف المستوي علـى خفض درجة الحرارة داخل المبنى إلى مستوى أقل من المطلوب للراحة، وذلك عندما ينقل الحرارة إلى الخارج حيث درجة الحرارة تنخفض إلى دون المستوى المريح وبشكل أسرع بكثير من الجدران ولنفس الأسباب المـذكورة أعـلاه [2]، فالمشكلة الحرارية التي تسببها السقوف المستوية في الأبنية يجب أن تجد الحـل المناسب.

### ***1-1 إنشاء السقف المقبب (Barrel Vault)***

يتطلب الأمر في حالة السقف المستوي توفير طاقة هائلة وأجهزة معقـدة وكبيرة لخفض الحرارة إلى المستوى المناسب في الأبنية، ونظرا للأعداد الهائلة لهذه الأبنية ذوات السقوف المستوية وخاصة في مجال الإسكان [3] نجد أن الحل المنطقي هو أن يتغير شكل السقف المستوي إلى شكل مقبب نصف أسـطواني، وبدراسة مدى كفاءة الشكل المقبب في عكس أكبر قـدر ممكـن مـن الأشـعة الشمسية قبل دخولها كطاقة حرارية خلال السقف إلى الداخل، يمكن تبني شـكل السقف المقبب (Barrel Vault) كحل أفضل، هذا بالإضافة إلى ارتبـاط الأقبيـة بالمعالجات المعمارية التاريخية تراثيا ومحليا.

بذلك يمكن التغلب على المشكلة الحرارية الآتية من السقوف في الصـيف في الأبنية ذات الطابق الواحد أو الطابقين والتي يتصف بها الإسكان في العراق بشكل عام [3] حيث إن السقف المحدب من الخارج ناجح تماماً في عكس الأشعة الشمسية والتخاص من الحرارة العالية من على السطح الخارجي في الصـيف. وكذلك بإمكان الشكل المقوس من الداخل أن يحفظ الحرارة داخـل البنـاء فـي الشتاء، وبذلك نكون قد تخلصنا من القسم الأكبر من الحـرارة فـي الصـيف واحتفظنا بجزء لا يستهان به من الطاقة الحرارية في الشتاء [4].

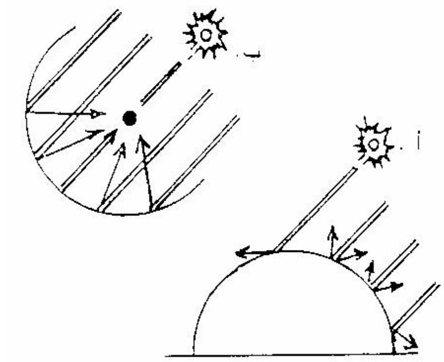
## 2 - التحليل النوعي للتصرف الحراري للسقف المقبب

نظرية انعكاس الأشعة من سطح مقبب مأخوذة مـن العمليـة التجميعيـة للأشعة المستعملة في المجمعات الشمسية والتي تعتمد على اسـطوانات نصـفها الخارجي من زجاج شفاف والنصف الداخلي من مرآة عاكسة للأشعة الشمسـية إلى مركز الاسطوانة لتتجمع في نقطة هي خط مسار أنبـوب لرفـع درجـة حرارة السائل داخله وتحويله إلى بخار بدرجة حرارة عالية تصل إلـى 400م[5] حيث تستعمل كطاقة في تشغيل أجهزة التدفئة والتبريد.

أما نظرية الانعكاس من على السطح الخارجي للسقف المقبـب، هـي أن الأشعة الشمسية الساقطة على السطح الخارجي المحدب تنعكس وتتبعثر فالعملية معكوسة تماما في هذه الحالة. وكما في الشكل (1) .

وأما المقادير القليلة المتنقلة كطاقة من قبـل السـطح الخـارجي للسـقف المحدب فإنها ستنتقل بالتوصيل إلى الوجه الداخلي للسقف ثم تبقى فـي الجـزء الأعلى من البناء دون تأثير يذكر على الجو الداخلي.

أما الحرارة المنتقلة بواسطة الحمل (أي الهواء المتاخم للسقف من الداخل)




شكل (1) : أ . سقف مقبب يبعثر الأشعة الشمسية
ب. مجمع شمسي مقعر يعكس الأشعة نحو المركز

فإنها أيضا تبقى في الأعلى حيث سيعمل الشكل المقوس على تجميع الحرارة في حيز المقبب بحيث لا تؤثر على الساكنين داخل البناء. ويمكن الـتخلص مـن الهواء الحار المتجمع في هذا المكان بواسطة التهويـة الطبيعيـة أو باسـتعمال ساحبة الهواء خلال فتحتين في بداية ونهاية المقبب وفي الموقع المركزي .

وإذا كانت استطالة السقف المقبب موجهة نحو الشـمال والجنـوب فـذلك يساعد على التخلص ليس من الهواء المتجمع في القسم الأعلى من البناء فحسب، وإنما سيعمل على استقطاب الحرارة من باقي أجزائه المترتبـة علـى تسـرب

الهواء الحار من الخارج أو انتقال الحرارة إلى الداخل من النوافذ أو تلك المنتقلة من خلال الجدران وذلك لأن الهواء الحار يرتفع دائما إلى مستويات أعلى .

فالشكل المقبب للسقف يكون ملقفا للهواء الحار وبذلك يسهل التخلص منـه أما الهواء الأبرد فسيبقى في المستويات المنخفضة داخل البناء، بينمـا بالنسـبة للسقف المستوي فالطاقة الشمسية تدخل بالتوصيل خلاله إلى داخل البناء وتؤثر على الساكنين بالأشعة ذات الموجة الطويلة وعلى رؤوسهم مباشرة.

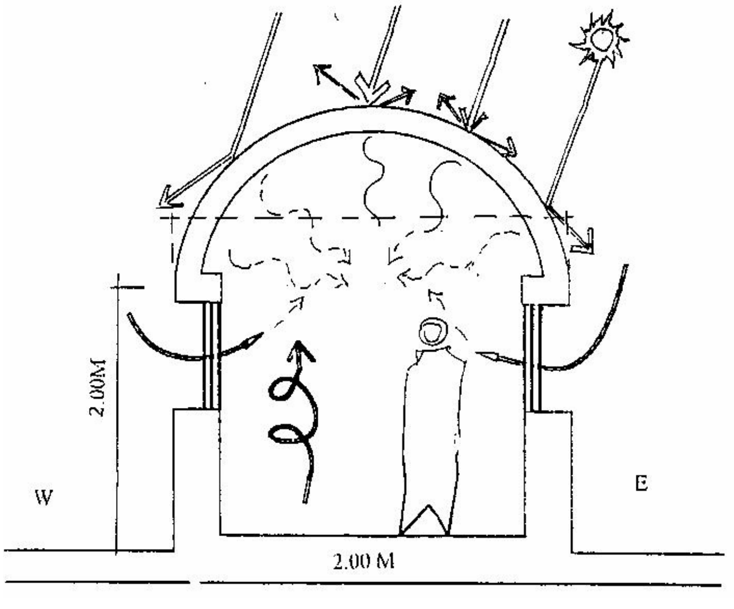
وبما أن السقف يشكل عنصراً مؤثرا حراريا فـي الأبنيـة ذات الطـابق والطابقين، وكما أسلفنا فإن التحسين للأداء الحراري لعنصر السقف سيكون لـه مردود إيجابي كبير على البيئة الحرارية داخل البناء وخاصة في إسـكان ذوي الدخل المحدود، لأن هذه الشريحة من المجتمع لا يمكنها بأية حال أن توفر طاقة عالية للتبريد والتدفئة واستعمال أجهزة ميكانيكية عالية الكلفة.

إذن عنصر السقف سيكون عنصر تبريد في حالة السقف المقبب بعـد أن كان عنصر زيادة في العبء الحراري صيفا، والمقارنة موضحـة في (الشـكل 2 ) و (الشكل 3) .

الأبنية المبنية بطريقة السقف المقبب نصف الأسطواني، وهي شائعة فـي الأقبية القديمة تتميز بخاصية حرارية فيزيائية جيدة وليس كونها عنصر تبريـد صيفا ولكن كعنصر تدفئة في الشتاء أيضا، فالحرارة المكتسبة في النهـار مـن الشمس عندما تقل زاوية سقوط الأشعة على الجدران وعلى الوجـه الجنـوبي خاصة وتدخل من النوافذ لتدفئ الأبنية [1] يعمل المقبب كالمحـافظ علـى هـذه

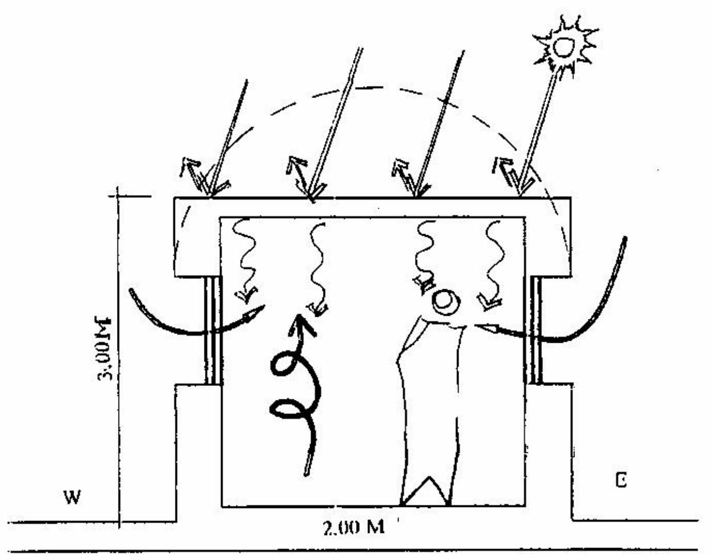
الحرارة داخل البناء.

إذ إن الحرارة المكتسبة في البناء تحت السقف الدافئ وفي هذه المرة نكون قد أغلقنا منافذ التهوية العالية والنوافذ الاعتيادية فبـذلك ينحصـر الهـواء ولا يتسـرب إلـى الخـارج أما الحـرارة التي تحـاول الانتقال بواسطة الإشعاع (Longwave Radiation) إلى السقف فإنها حالما تسقط على السـطح الـداخلي ترجع منعكسة للداخل عموما وتعمل على تدفئة الهـواء فـي فضـاء المقبـب




وتنتقل

شكل (2) الأداء الحراري للقبو في يوم صيف من شهر يوليو




شكل (3) الأداء الحراري للسقف المستوي في يوم صيف من شهر يوليو

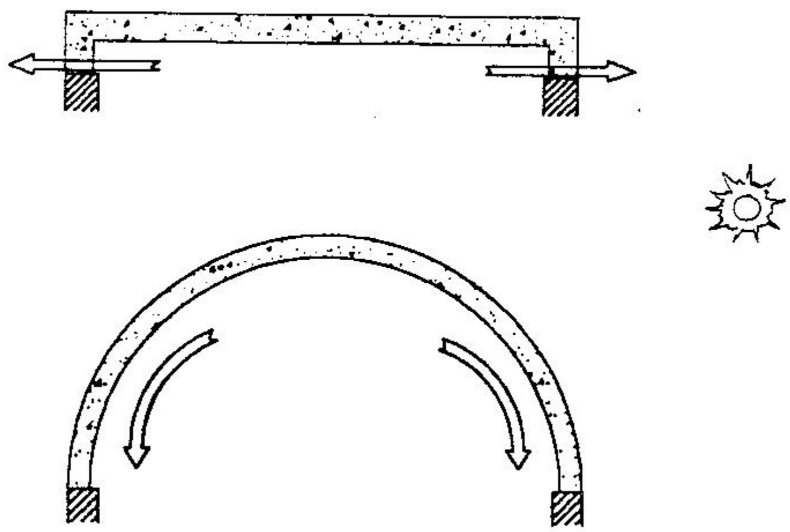
بواسطة الحمل متحركة باتجاه باقي الفضاءات وتأخذ الشـكل الـدائري لتبقـى محافظة على الحرارة داخل البناء بوقت مناسب إلى حين شروق الشـمس فـي اليوم التالي [4] وذلك عندما يرتفع الهواء الدافئ إلى الأعلى ليحل الهواء الأقـل دفئا أو المتسرب من المناطق الأبرد محله الهواء وبسبب اختلاف الضغط (على افتراض عدم وجود تسرب هواء من الخارج) وبالتالي يبقى الهواء في الغرفـة ودون التسرب إلى خارج البناء.

إذن السقف المقبب مناسب للمشاكل الحرارية في الأبنية. وعند الرجـوع إلى الأشكال القديمة للسقوف نجد الأقبية كانت وما تزال متميزة مـن النـواحي المعمارية التصميمية ، والإنشائية ، والاقتصادية أيضا.

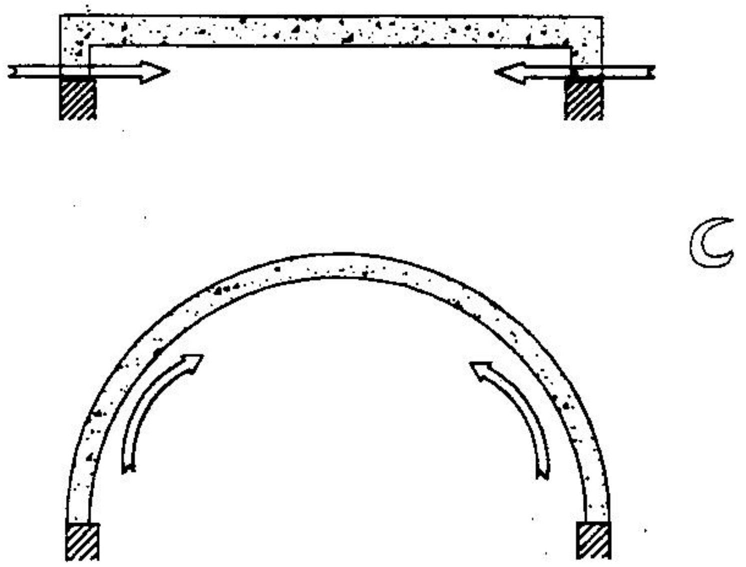
فمن الناحية المعمارية للأبنية بأشكالها المعروفة تاريخيا هـي مـن أهـم

الصفات التي تميز الحضارة العمرانية المحليـة والإقليميـة للعمـارة العربيـة الإسلامية ولعصور متجذرة في القدم ، وبأصالة جمالية مؤثرة متجانسـة مـع المناخ والبيئة الاجتماعية في تلك العصور وما تلتها من تطـورات تقنيـة فـي العصر الحالي.

أما التوافق المناخي فيتمثل بالكفاءة الحرارية للسقف المقبب وكما أسـلفنا بالإضافة إلى التوفير في الطاقة والأجهزة المكيفة فإن الأداء الحراري المتوازن للسقف المقبب يزيد من الكفاءة البنائية أيضا مقارنة بالسقف المستوي المعـرض للتمدد الحراري والسبب الرئيسي للتشققات والكسور في الأبنيـة. (الشـكل 4) و(الشكل 5) .



شكل (4) التمدد الحراري للسقف المستوي والسقف المقبب أثناء النهار في الصيف



شكل (5) التقاص الحراري للسقف المستوي والسقف المقبب خلال الليل في الصيف

# 3- التقييم الحراري الكمي للسقف المقبب نظريا

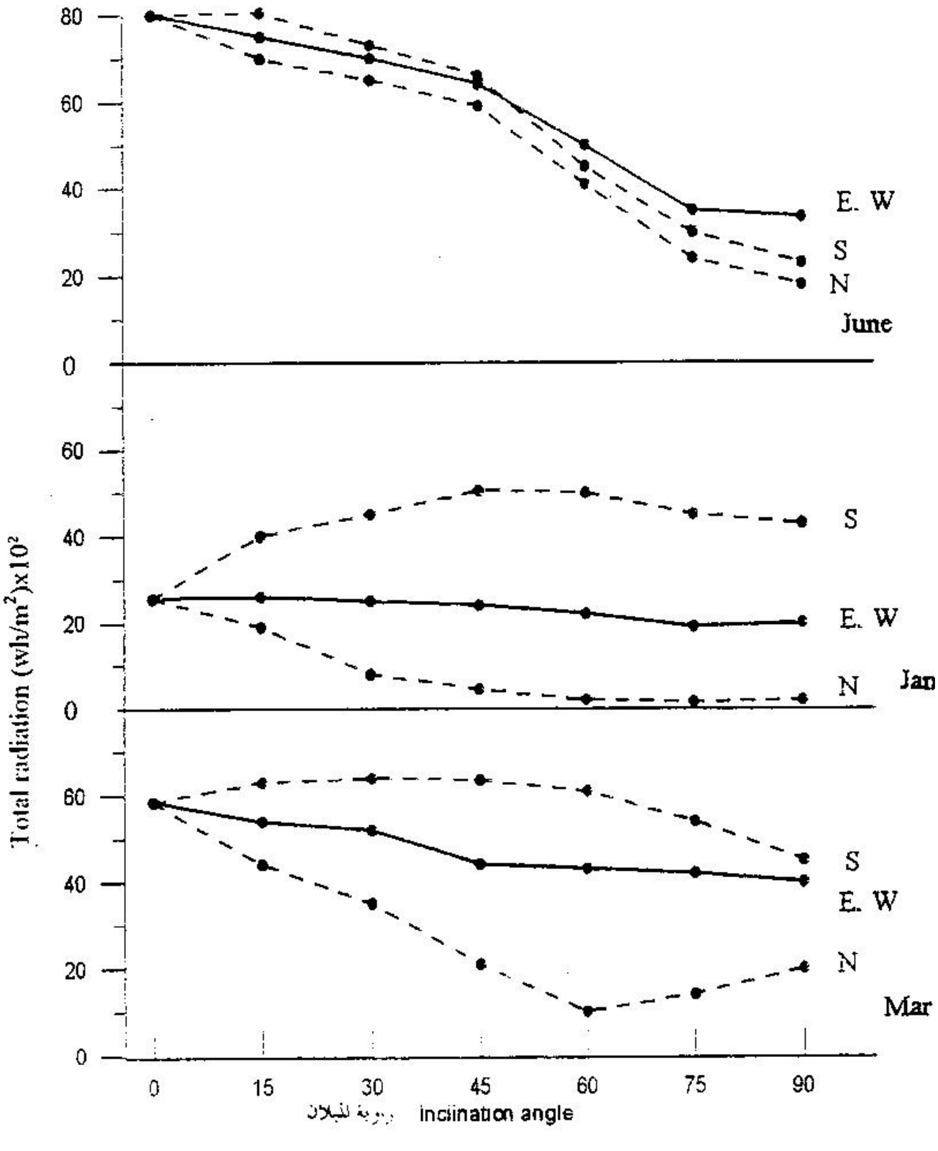
## 3-1 اختيار التوجيه المناسب للسقف المقبب

بمقارنة معدلات شدة الإشعاع الشمسي الكلية على السطوح المائلة عن المستوى الأفقي في بغداد والمبينة في (الشكل 6) فإننا نرى أن الواجهتين الشرقية والغربية تستقبلان نفس المقادير من الأشعة الشمسية وهي مقاربة إلى تلك التي تستقبلها الواجهتان الجنوبية والشمالية والتدرج الحاصل لمعدلات شدة الإشعاع الشمسي الكلية عند ميلان السطح عن الأفق بالزوايا المحددة وللجهات الأربعة في الجدول تتناقص تدريجيا وبشكل متقارب على كل الواجهات إلى أن تصل زاوية الميلان إلى الدرجة (90).

ونجد نفس التدرج والنسب للمعدل اليومي لشدة الإشعاع الشمسي للسطوح المائلة في مدينة بغداد وللجهات الأربعة والموضحة في (الجدول 1) فإننا نجد نفس التدرج بالنقصان لشدة الإشعاع كلما زادت زاوية الميلان للسطوح عن المستوى الأفقي لذلك افترضنا وجود سطوح قصيرة على المقطع النظري لسقف قبو وتشكل هذه السطوح القصيرة شرائح بعرض 10سم وطول 10م لتشكل سطحا مائلا لكل زاوية وبذلك نحصل على سقف ذي قبو لغرفة منفردة بطول 10م وعرض 2م وبارتفاع 2م للجدار. حيث يمثل (الشكل 2) الغرفة النظرية في الحالة الأولى بسقف مستوي وأما (الشكل 3) فيمثل شكل الغرفة عندما يتغير السقف إلى قبو.

لذلك نختار الميلان لتقوس المقبب إلى الجهتين الشرقية والغربية لعدم

وجود فرق كبير بينهما وبين الشمالية والجنوبية نسبة لكميات الطاقـة الشمسـية المستقبلة، وعلى هذا الأساس نجد أفضلية الميلان نحو الشرق والغرب واجبة في




شكل (6) معدل شدة الإشعاع الشمسي الكلية على السطوح المائلة في مدينة بغداد

(AL Riahi, M. 1985)

هذه الحالة وذلك لسبب الحصول على تهوية سريعة من خلال الجهتين الشـمالية والجنوبية من المقبب والتي تستقبل الرياح الشمالية الغربية العامـة فـي بغـداد والإقليم بشكل عام مما يخفف من حرارة البناء والجو الداخلي أثناء الليـل فـي الصيف [4].

تم حساب درجات الحرارة الشمسية الهوائية على السطح المقبب النظري وعلى نقاط تماثل النقاط على السطوح المائلة للزوايا المذكورة في (الجـدول 1) والتي يتم تعويضها في المعادلة الخاصة باستخراج درجات الحـرارة (المعـدل اليومي).

أما على السقف المستوي فأخذنا نقطة واحدة لأنها تتكرر بـنفس زاويـة الميل عن الأفق والتي هي زاوية صفر والمقادير من شدة الإشعاع الشمسي التي تستقبلها تساوي تلك التي تستقبلها النقطة التي تقع على قمة السقف المقبب، ومن ثم احتساب مقادير الأشعة الشمسية على السقف المستوي المبنـي علـى نفـس مساحة الغرفة في الحالة الأولى والتي هي للسقف المقـبب وفي الحالتين فرضنا مساحة الغرفة مساوية إلى (2 × 10) م$^2$.

### 3-2 حساب درجات الحرارة السطحية (الشمسية الهوائية) (Sol-air temperatures) للسقف المقبب والمستوي

فرضنا وجود غرفة ذات فراغ واحد مبنية في بغداد بسقف مستوى مـرة وبسقف مقبب نصف أسطواني مرة ثانية وذلك للتقييم والمقارنة الحرارية (الشكل 2) و (الشكل 3) واعتمد البحث أسلوب درجة الحرارة (الشمسـية – الهوائيـة) للسطوح (Sol-air temperature) دليل (ASHRAE Guide 1981 Chpt – 28) [5]

في التقييم ذلك لأنهـا هي نفسها درجـة حرارة الوجه الخارجي للغلاف البنائي

جدول (1) المعدل اليومي لشدة الإشعاع الشمسي (كيلو واط.ساعة/المتر المربع في اليوم) للسطوح المائلة في مدينة بغداد (AL Riahi, M. 1985)

| | الجنـــوب | | | | الشـــرق والغـــرب | | | | الشمـــــــــــال | | | | زاوية الميل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| °0 | °30 | °45 | °65 | °80 | °30 | °45 | °65 | °80 | °30 | °45 | °65 | °80 | |
| 3.10 | 4.10 | 5.30 | 5.10 | 2.90 | 2.80 | 2.80 | 2.50 | 2.50 | 0.90 | 0.80 | 0.70 | 0.60 | يناير |
| 4.50 | 5.70 | 6.50 | 5.70 | 4.90 | 4.20 | 4.00 | 3.40 | 3.00 | 2.00 | 1.70 | 1.40 | 1.00 | فبراير |
| 7.00 | 6.80 | 6.80 | 6.00 | 5.10 | 5.70 | 5.10 | 4.30 | 3.60 | 3.90 | 2.60 | 1.80 | 1.30 | مارس |
| 8.10 | 7.10 | 6.60 | 5.60 | 4.40 | 6.20 | 5.50 | 4.50 | 3.80 | 4.50 | 3.60 | 2.00 | 1.50 | ابريل |
| 8.40 | 7.30 | 6.60 | 5.30 | 3.60 | 6.60 | 5.80 | 4.80 | 4.10 | 5.70 | 4.70 | 3.00 | 1.60 | مايو |
| 8.50 | 7.40 | 6.50 | 4.80 | 3.20 | 7.10 | 6.20 | 5.20 | 4.20 | 6.80 | 5.70 | 3.90 | 1.70 | يونيو |
| 9.50 | 7.50 | 6.60 | 5.30 | 3.60 | 6.60 | 5.80 | 4.80 | 4.10 | 5.70 | 4.70 | 3.00 | 1.60 | يوليو |
| 8.00 | 7.10 | 6.60 | 5.60 | 4.40 | 6.20 | 5.50 | 4.50 | 3.80 | 4.50 | 3.60 | 2.00 | 1.50 | أغسطس |
| 7.20 | 6.80 | 6.70 | 6.00 | 5.10 | 5.70 | 5.10 | 4.30 | 3.60 | 5.90 | 2.60 | 0.90 | 1.30 | سبتمبر |
| 5.00 | 5.70 | 6.00 | 5.10 | 5.00 | 4.20 | 4.00 | 3.40 | 3.00 | 2.40 | 1.70 | 0.80 | 1.90 | أكتوبر |
| 4.00 | 4.70 | 5.20 | 5.10 | 4.90 | 2.80 | 2.80 | 2.50 | 2.50 | 0.90 | 0.80 | 0.70 | 080 | نوفمبر |
| 2.80 | 3.60 | 4.60 | 4.80 | 4.90 | 2.50 | 2.00 | 1.90 | 1.90 | 0.40 | 0.20 | 0.50 | 0.60 | ديسمبر |

والتي تنتقل إلى داخلها متسببة في رفع الحرارة الداخلية وهي عبارة عن درجة مركبة من حرارة الهواء المحيط وشدة الأشعة الشمسية الساقطة علـى السـطح المعرض. وسيتم اختبار السقف في الصيف لكونه أطول المواسم، حيث تتـأثر درجة حرارة السطوح بعاملين رئيسين هما ؛

- شدة الإشعاع الشمسي (Solar Intensity) ،
- ودرجة حرارة الهواء المحيط (Ambient Air Temperature).

لذلك تم حساب درجة الحرارة (الشمسية – الهوائية) بالاعتمـاد علـى المعادلة التالية:

**(ASHRAE)**

$$teo = tao + Rso\ (alt - \varepsilon IL) \quad ^{o}C$$

حيث إن:

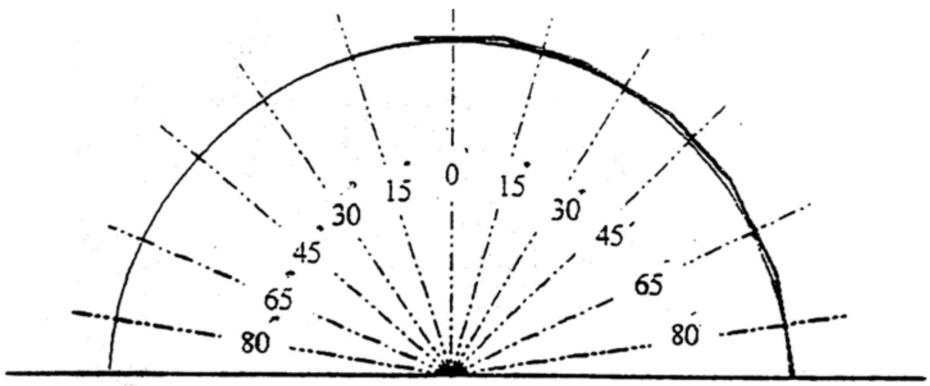
| | |
|---|---|
| - درجة الحرارة الشمسية الهوائية. | teo: Sol – air temperature $^{o}C$ |
| - درجة حرارة الهواء الخارجية. | teo: outdoor air temperature $^{o}C$ |
| - معامل الامتصاص للسطح الخارجي. | A: absorption coefficient of the outer surface of the construction. |
| - شدة الإشعاع الشمسي واط/م$^{2}$ | It: intensity of solar radiation. |
| - معامل مسامية السطح الخارجي نحو الموجة الحراريـة الطويلـة وهـي 0.9سطوح الأبنية. | ε: emissivity of surface of the outer surface to longwave radiation. |
| - إشعاع الموجة الطويلة مـن السـطح الأسود تحت درجة الحرارة الهوائية المحيطـــة واعتمـــدنا w/m 113.5حسب الدليل. | IL: Longwave radiation from a black surface at outdoor air temperature. |
| - معامل مقاومة السطح الخارجي لشدة الرياح وقد اعتمدنا قيمة 0.045 فـي | Rso: external surface resistance. |

حساباتنا للتعرض الاعتيادي للريـاح
وحسب الدليل المعتمد.

علما أن من خاصية سطوح الأبنية الخارجية مقاومة شدة الإشعاع الشمسي (Resistivity) ومقدارها يعتمد على شكل السطح المعرض للأشعة أولاً وخواصه الفيزيائية ثانياً وهي عوامل الامتصاص (Absorptivity) والمسامية (Emissivity). وللاختبار الحراري للسقف المقبب أجرينا مقارنة بينه وبين السـقف المسـتوي الأفقي السائد في الأبنية في العراق، وحسبنا المعدل الشـهري لدرجـة حـرارة السطح الخارجي خلال أيام الذروة الصيفية في شهر يوليو، وعلى تسـع نقـاط تتوسط المتر المربع الواحد للسقفين: السقف المستوي مرة ومـرة ثانيـة علـى السقف المقبب ثم مقارنة هذه المعدلات بدرجات الحرارة المريحة والمطلوبة في الأبنية.

اعتمدنا على (الجدول 1) في حساب المعدل اليومي لـدرجات الحـرارة السطحية للسقف المقبب وفي الحالتين اعتبرنا التركيب البنائي نفسـه (السـقف الخرساني) وبنفس الموصلية الحراريـة (Thermal conductivity) وبالأسـماك المتداولة حاليا في الأبنية القائمة [3] ليتضح تأثير الشكل المقبب مقارنة بالشـكل المستوي في الطرد الحراري للطاقة الشمسية من على سطحه الخارجي، حيـث أخذنا معدل درجات الحرارة على مسافات متساوية مـن السـطحين المحـدب والمستوي المعرضين إلى العوامل المناخية للمقارنة وللحصول على نتائج أقرب إلى الواقع ومع الاعتبارات التالية:

* تم اعتماد المعدلات لشدة الإشعاع الشمسي على السطوح المائلة لشهر يوليو مع العلم أن الأيام المعتمدة التصميمية التي تقع ضمن حدود الذروة لحرارة السطح هي الأيام الواقعة بين 15و20 من هذا الشهر [1].
* معدل شدة الإشعاع الشمسي يقاس بالواط ساعة على المتر المربع الواحد (واط س/م$^2$) ولكي نحصل على سطح من متر مربع واحد للنقاط المختارة في وسطها، لذلك افترضنا تقسيم المقبب من السطح إلى شرائح بعرض 10سم وطول 10متر الذي هو طول المقبب الواحد من السقف (الشكل 7) حيث إن (طول سقف الغرفة النظري 10م وعرضه 2م)، وبدون تغير في باقي أجزاء البناء.
* اعتبرنا معامل الامتصاصية 0.8 لكي نعبر عن القيمة الأقرب إلى الواقع لسطوح الأبنية بصورة عامة لكونها معرضة دوما لتراكم الأتربة والتي تعمل على زيادة الامتصاصية للأشعة الشمسية لأوجه الأبنية وسطوح السقوف بصورة خاصة إلى درجة مقارنة للون الخرساني الغامق، فاللون الأبيض والألوان الفاتحة لم تؤخذ في الاعتبار لأنها غير مؤثرة على الأسطح ما لم تكن جديدة ونظيفة وهذا شبه مستحيل في جو العراق الصحراوي المشوب بالغبار دائما.




شكل (7) التقسيم النظري للسقف المقبب إلى شرائح سطحية طولية وبالميول الواردة للزوايا في جدول (1) من أجل حساب درجة الحرارة الشمسية – الهوائية عليها للاختبار الحراري.

من أجل التقييم تمت مقارنة النتائج لدرجات حرارة السـطحين المسـتوي والمقبب مع درجة حرارة الهواء المطلوبة داخل الأبنية لراحة الإنسان، واعتبرنا 15م° كحد أدنى للشعور بالراحة و 28م° كحد أعلى صيفا، ولـذلك افترضـنا وجود جهاز تكييف لإدامة هذه الدرجات [1].

* عـرضنا قيم شدة الإشعاع الشمسي للسطوح المائلة على مقطع قبو واحـد وبما يقابله على السقف المستوي في (الجدول 2) وكذلك النتـائج الحسـابية لدرجة الحرارة الشمسية الهوائية على النقاط الموزعة لكـل متـر مربـع للسقفين وذلك لكون تقييم هذه الظاهرة الطبيعية يساعد في حفظ الهواء الدافئ داخل السقف في الشتاء حيث الحاجة ماسة للتدفئة في شهر كانون الثـاني، وبغلق فتحات التهوية بشكل منضبط واستغلاله للتدفئة ستكون حرارة السقف جيدة ومحافظة على التوازن المطلوب.
* الفروقات القليلة في معدل درجات الحرارة السطحية للسقف المقبب بين الليل والنهار تعمل على حفظ التوازن في تمدد وتقلص السقف. كذلك فإن شـكل المقبب نصف الدائري يعمل على التخفيف من التمدد الحراري، وإن وجـد

فهو بالاتجاه العمودي على الجدران ولا يحدث شرخ يذكر، أما في السقوف المستوية بالإضافة إلى تمددها وتقلصها الكبير فإنها تتمدد بشكل أفقي مسببة فطورا وكسورا ظاهرة للعيان وذات عواقب إنشائية سلبية تعمل على اندثار البناء (الشكل 4) و (الشكل 5).

* لذلك نجد أن السقف المقبب لا يسبب مثل هذه الفطور محافظا على متانة البناء وله فوائد اقتصادية إنشائية بالإضافة إلى توفير الطاقة.
* التوجيه ليس مهما للسقف المستوي لأنه معرض بنفس الشدة للأشعة الشمسية في كل النقاط وكذلك للقبة الدائرية، ولكنه مهم بالنسبة للأبنية التي تأخذ سقوفها شكل الأقبية الأسطوانية، لذا اعتبرنا التوجيه نحو الشمال والجنوب من الناحية المستطيلة للبناء والذي يعتبر التوجيه الأحسن [4] والتحدب إلى جهة الشرق والغرب.
* بالإضافة إلى ما ورد فالشكل المقبب للسقف يتطلب كثافة خرسانة وحديد تسليح أقل من السقف المستوي يسبب المتطلبات الإنشائية المعروفة من حيث انتقال الثقل البنائي إلى الجدران بالإضافة إلى الاقتصاديات الإنشائية، لذلك فمعامل التوصيل الحراري للسقوف ذات الشكل المقبب أقل من السقف المستوي وبالتالي يسمح بانتقال حراري أقل خلال سمكه "من وإلى داخل البناء" وكما تم حساب ذلك في التقييم الكمي

## 3-3 حساب المعدل اليومي للطاقة الحرارية المنتقلة خلال السقفين

لفهم الظرف الحراري للسقف وحده كعنصر للدراسة ولكي نقيم هذا السلوك بالنسبة المئوية نجد:

أن السقف المستوي يسمح بدخول 65% من مجمل العبء الحراري المنتقل إلى داخل البناء في الصيف [1] ونؤكد على هذا الموسم لكونه أطول موسم في السنة والمشكلة أكثر بكثير من التدفئة في الشتاء.

اعتمدنا المعادلة التالية لمقارنة مقادير الطاقة المتعلقة بها داخل البناء خلال السقفين

$$(\widehat{Q/A}) = U(\widehat{teo} - ti) \qquad \text{(Szokolay, 1980)}$$

حيث إن:

- المعدل اليومي للطاقة الحرارية المنتقلة خلال السقف للمتر المربع الواحد — $\widehat{Q/A}$: Daily mean heat flow. Wh/m$^2$
- (U value) قيمة الموصلية الحرارية الكلية للسقف. — U: Over all thermal Conductance coefficient. W/m$^o$C

وللمقارنة النظرية اعتبرناها لمرحلة أولى U = 3 للسقفين

ولمرحلة ثانية واقعية U = 1.17 للسقف المقبب

- المعدل اليومي لدرجات الحرارة الشمسية الهوائية على السقف. — $\widehat{teo}$: $^o$C
- درجة الحرارة داخل البناء وقد اعتبرناها 25 $^o$C للراحة الحرارية في الصيف وتعتبر ثابتة من الناحية النظرية. — ti: $^o$C

فمقدار الطاقة الحرارية اليومية الداخلية خلال متر مربع واحد من:

* السقف المستوي Wh/m$^2$ 142.8 = 3(72.6-25)

| | |
|---|---|
| - السقف المقبب | $Wh/m^2$ 108.9 = 3(61.3-25) |
| - عندما U = 1.17 | $Wh/m^2$ 42.5 = 1.17(61.3-25) |

فلو غيرنا السقف من الشكل المستوي إلى المقبب (الشكل 3) مع الاحتفاظ بالمواصفات الإنشائية الأخرى على وضعها السابق (أي باعتبار $U = 3w / m^oC$ نظريا) نجد أن 24% فقط من العبء الحراري للمتر المربع الواحد يدخل البناء.

عند التعويض بالقيمة الفعلية للموصلية الحرارية للسقف المقبب بالمقدار 1.17 w/m $^oC$ وحيث تقل كميات حديد التسليح إلى الربع وكثافة الخرسانة إلى النصف [4] فنجد في هذه الحالة مشكلة المساحة السطحية المضاعفة في المقبب تضمحل وتتلاشى لكي يكون السقف المقبب اقتصاديا ليس فقط بالمواد وإنما بتوفير الطاقة أيضا. ولهذا السبب نجد الأبنية القديمة المبنية بهذا الأسلوب أكثر راحة من الأبنية الحديثة.

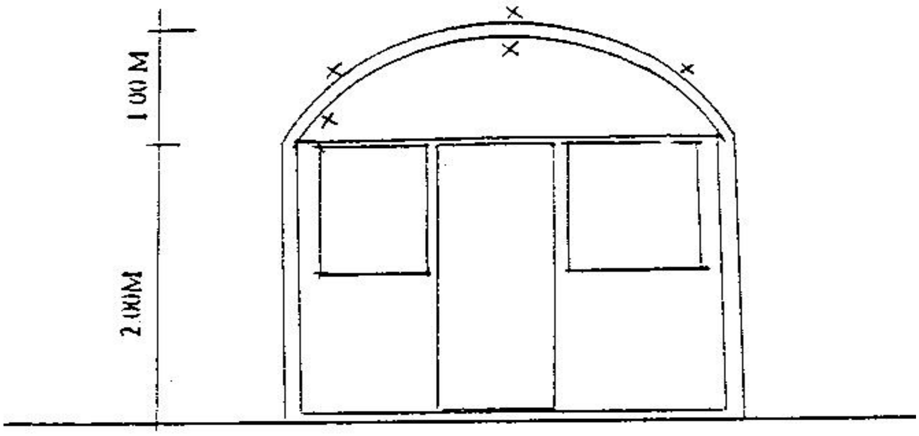
جدول (2) المعدل اليومي لدرجة الحرارة الشمسية – الهوائية ومعدل شدة الإشعاع اليومي على النقاط الموزعة لكل متر مربع من السطح للسقفين المسطح و المقبب

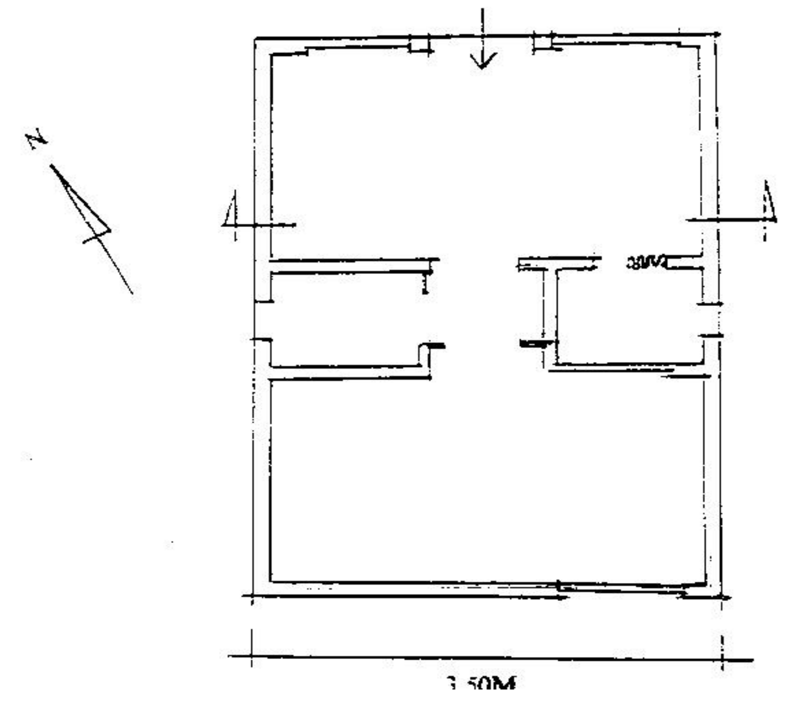
| زاوية ميل السقف | | المعدل اليومي لشدة الإشعاع الشمسي $wh/m^2$ | | المعدل اليومي لدرجة الحرارة على السقف $C^o$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| المستوي | المقبب | المستوي | المقبب | المستوي | المقبب |
| 0 | 80 | 950 | 410 | 72.6 | 52 |
| 0 | 65 | 950 | 480 | 72.6 | 54.7 |
| 0 | 45 | 950 | 580 | 72.6 | 58.2 |
| 0 | 30 | 950 | 660 | 72.6 | 61 |
| 0 | 15 | 950 | 800 | 72.6 | 66 |
| 0 | 0 | 950 | 950 | 72.6 | 62.6 |
| 0 | 15 | 950 | 800 | 72.6 | 66 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 30 | 950 | 660 | 72.6 | 61 |
| 0 | 45 | 950 | 580 | 72.6 | 58.2 |
| 0 | 65 | 950 | 480 | 72.6 | 54.7 |
| 0 | 80 | 950 | 410 | 72.6 | 52 |
| المعدل | | 950 | 527 | 72.6 | 61.3 |

## 4- التقييم لبيت مبني في بغداد

تم الحصول على قراءات واقعية لدرجات حرارة سطح سقف ذي قبو لبيت بطابق واحد مبني في منطقة سكنية لذوي الدخل الواطئ ببغداد (الشكل 8) حيث أخذنا نقاط على السطح بمواقع مشابهة للسقف المقبب فـي الاختبـار النظـري والاختلاف بسيط في الشكل المقبب، حيث إن سقف البيت المبني في الواقع أقل


1.00 M
2.00M


N
3.50M

شكل (8) مخطط ومقطع للبيت المبني مع النقاط التي تم قياس درجات الحرارة عليها

تحدباً من السقف في الاختبار النظري، كانت القراءات مقاربة جداً في الحالة النظرية والواقعية للسقف المقبب مما يدل على كفاءة السقوف المقببة وإن كانت قليلة التحدب ومن خلال الملاحظات التالية:

* معدل درجات الحرارة على النقاط المتماثلة للحالة النظرية أعلى بقليل من السقف المقبب النظري بسبب التحدب الأقل للسقف الواقعي، وهذا يعني أنه كلما كان التقوس أقرب إلى المستوى كلما كانت درجات الحرارة أعلى والعكس صحيح. وبالرغم من أن النقاط أقل من الحالة النظرية، فإن القراءات تمت خلال ثلاثة أيام من شهر يوليو.
* التحدب الأكثر يعني سطحا أكبر للسقف وتعرضا أكثر للأشعة الشمسية المباشرة والحرارة الخارجية، صيفاً، وبالرغم من أن الحسابات النظرية لم تأخذ بالحسبان درجات الحرارة الداخلية، فإننا نجد أن درجات الحرارة التي سجلت في الصيف في شهر أغسطس داخل البيت المبني في الواقع هي أقل من الأبنية المجاورة والتي يتألف سقفها مستوياً، حيث إن البيت المبني بسقف قبو يتم استعمال جهاز التبخر الكهربائي "Evaporative Cooling" المعروف في الدول الحارة الجافة، بشكل تنخفض معه درجات الحرارة داخل البيت إلى 30م[5] في شهر يوليو ومع حركة الهواء داخل البيت بواسطة الجهاز الذي يضخ بخار الماء في نفس الوقت، يشعر الساكنون براحة حرارية مناسبة، أما البيوت المجاورة الأخرى فلا تنخفض الدرجة العليا إلى أقل من 40م[5] وبالرغم من استعمال نفس النوع من الجهاز المستعمل وكما في معظم البيوت في العراق.

* البيوت المجاورة أوسع مساحة من البيت الذي أجرينـا علـى سـقفه قيـاس درجات الحرارة ولكن سقوفها المستوية تشكل مساحة نسبية أقل من المساحة النسبية لسقف البيت المقبب حيث إن أكثر البيـوت المسـتوية السـقف ذات طابقين، وبذلك تكون نسبة مساحة السقف إلى الجدران أقل بينما البيت المقبب وبالإضافة إلى السطح الأكبر الذي يشغله السقف نسبة لسطوح الجدران لكون البيت بطابق واحد، فإن التأثير الحراري إيجابي أكثر مما هو عليه في الأبنية ذات السقوف المستوية.

## 4 – الاستنتاجات

للسقوف المقببة في الأبنية ذات الطابق الواحد إيجابيات كثيرة، لذا يجـب اعتماد شكل المقبب في إنشاء السقوف بشكل عام لكونه مناسبا حراريا ومعماريا ويمكن تنفيذه بتوسيع قاعدة الخبرات الموجودة ويجب مراعاة مـا يـأتي عنـد التصميم والتنفيذ للحصول على نتائج جيدة:

- تصميم المقبب بمقطع دائري مشكلا نصف اسطوانة وباسـتطالة موازيـة للشمال والجنوب للحصول على أفضل أداء حراري، مـن خـلال عكـس الأشعة الشمسية، ليس من أعلى السقف فقط وإنما لرفع العـبء الحـراري عن الواجهتين الشرقية والغربية أيضا، والحصول على التهوية الجيدة خلال فتحتين في فراغ المقبب وبفعل الرياح الشمالية الغربية.
- عكس الأشعة الشمسية عن سطح السقف المقبب يزداد كلمـا كانـت هـذه السطوح مائلة عن الأفق، وهذا الأداء متقارب نوعا ما في كـل الجهـات،

لذلك فإن الأشكال الأخرى من الأقبية البيضاوية والمدببة، تعتمـد كفاءتهـا الحرارية على مقدار ميلان سطوحها.

- اعتماد الأسلوب المتداول التقليدي في بناء السقف المقبب وذلك للحصـول على أقل قيمة للموصلية الحرارية "U" والأكفأ حراريا أيضا. ويجـب أن يتراوح سمكه بين 15سم و 20سم مع استعمال مادة الخرسانة الخفيفة وأقل حديد تسليح مسموح به إنشائيا، أو يفضل استعمال الطابوق الطيني المفخور في إنشاء المقبب.
- المشكلة الوحيدة في السقف المقبب هي أن شكله الدائري يؤلف سطحا أوسع من السقف المستوي، وأن الشكل الدائري تفوق مساحته السقف المسـتوي بثلاثة أضعاف، لذا يعمل على انتقال حراري أكثر خلالـه، هـذه مشـكلة محلوله فيما لو حرصنا في تصميم الفراغ للبناء على أن لا تتعـدى نسـبة الفراغية على تلك في حالة السقف المستوي، بحيث يبدأ قوس المقبب عنـد ارتفاع الجدار المساوي لارتفاع الأبواب وهو 2م للغرفة الواحدة، أو الفراغ الإنشائي المتكرر وبواقع 3م أي 1.5م لقطر القبو، بينما في حالة السـقف المستوي عادة يكون ارتفاع الغرفة أو الوحدة الفراغية بارتفاع 3م، وبهـذه الطريقة يمكن اختصار السطح الخارجي للبناء بشكل عام في حالة السـقف المقبب.
- في الشتاء من المفضل استخدام التهوية الطبيعية من خلال النوافذ الاعتيادية عند الشعور بالحرارة في بعض الأيام المشمسة، أما النوافذ العليا الخاصـة بالمقبب فيجب الإبقاء على غلقها في أيام الشتاء لكي نحافظ علـى حـرارة السقف للاستفادة منه ولتدفئة الفضاءات الداخلية عند الحاجة حيـث تغلـق النوافذ وتستعمل الستائر كعازل للاحتفاظ بالحرارة أطول فترة ممكنة خلال الليل البارد.

# المراجع

[1] **Dawud, Azhar, J**: "Passive Approaches to Solar Architectural Design for Iraq" University of Sheffield, England, July (1983) Appendix A Table A2, and PP. 20–50, 60–65.

[2] **Baker, N.M.W**: "Energy Conservation in Housing Designs". *International Journal for Housing Science*, Florida U.S.A, (1985) Volume **9**, PP. 35–47.

[3] **Amanat, Al-Asima**: General Housing Planning for Iraq, Baghdad (1977) *Report Two – Strategies*, PP 20–28.

[4] **قادر، جنكي جلال**، "الغلاف الخارجي للمساعد وخصوصيته في توفير الراحـة الحرارية في الأقاليم الحارة، "الجامعة التكنولوجية" بغداد – 1990.

[5] **ASHRAE**: **Handbook of fundamentals**, American Society for Heating and Air Conditioning Engineers. USA (1981) Chapter 28.

# Barrel Vault Roofs for Passive Cooling in Low Rise Buildings

NAJLA M. W. BAKR
*Architectural Engg. Deptt, Faculty of Engg.*
*Applied Sciences University, Amman - Jordan*

ABSTRACT. Barrel vault roofs reject most of the solar radiation that impinges on their surface due to their shape. In hot countries, excessive heat inside buildings, caused by flat roofs, can be reduced if altered to the vaulted shape. This paper studies the thermal performance of the barrel vault roof according to its solar rejecting capability compared to that of the flat roof, under the prevailing climatic conditions in Iraq. Sol-air temperature method is used for evaluation, which shows the great cooling effect of the barrel vault roof. External and internal surface temperatures are recorded for a barrel vaulted roof of a house, built with one floor in a low-income group of housing. The recorded temperatures are close to those estimated in this paper. Conclusions and recommendations are drawn from the investigation for energy efficient buildings.