مجلة جامعة النجاح للأبحاث (العلوم الطبيعة) المجلد ١٦ (١)، ٢٠٠٢
(Short Communication) (مراسلة قصيرة)

استخدام وحدات مسبقة الصب في إنشاء القباب: قبة مسجد صلاح الدين الأيوبي في طولكرم – فلسطين

Using Precast Units in Dome Structures: The Dome of Salah Al-Dean Mosque in Tulkarm, Palestine

رياض عبد الكريم عوض

قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة النجاح الوطنية، نابلس، فلسطين.

تاريخ التسليم: (١٤ /٢/ ٢٠٠١)، *تاريخ القبول:* (١/ ٥/ ٢٠٠٢)

ملخص

إن هذه الورقة تصف طريقة حديثة في بناء القباب تم استخدامها عملياً في إنشاء قبة مسجد صلاح الدين الأيوبي في مدينة طولكرم، إحدى مدن الساحل الفلسطيني وقد أثبتت الطريقة فاعليتها.

لقد تم استيحاء هذه الفكرة من طرق إنشاء القباب التقليدية التي كانت متوارثة عبر تاريخ العمارة الإسلامية حيث أنه ومع تطور الخرسانة شاع انتشار طريقة استخدام الخرسانة المسلحة في إنشاء القباب بعد أن يتم تشكيل طوبار من الخشب بشكل القبة المطلوب، إلا أن هذه الطريقة لها عدة سلبيات مما أدى إلى التفكير باستخدام طريقة جديدة تتمثل في استخدام وحدات مسبقة الصب يتم تصنيعها من الخرسانة ثم يتم بناؤها لتشكيل القبة المطلوبة دون الحاجة إلى طوبار الخشب.

وفي هذا البحث وصفٌ لهذه الطريقة الجديدة بعد استعراض الطرق المختلفة المستخدمة في إنشاء القباب ومقارنة لهذه الطريقة مع باقي الطرق من حيث الميزات و السلبيات.

Abstract

This paper describes a new method in constructing domes which was actually used in the construction of Salah Al-Dean Alyoubi’s Mosque in Tulkarm, Palestine. The principles of this method, with proved efficiency, were derived from traditional methods of dome construction used in Islamic Architecture.

The Utilization of reinforced concrete in dome construction had some drawbacks, especially in the necessity of form works that has the exact shape of the dome. This led to the development of the new proposed method. Precast concrete units were utilized, without the need for any framework. This paper describes this method after analyzing various methods of dome construction. The advantages and disadvantages of each method are also discussed.

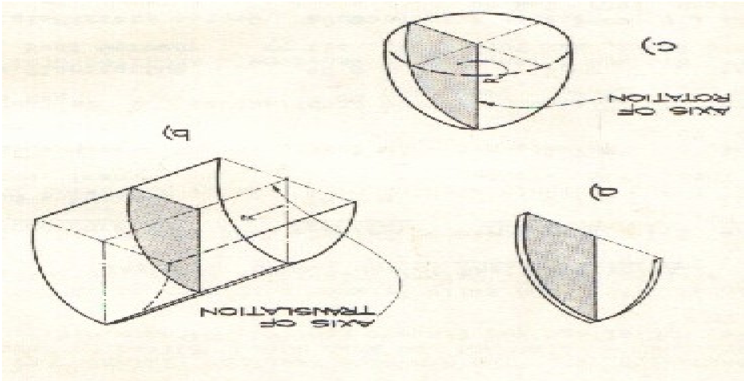
مقدمة

لقد كانت القباب ولا تزال معلماً من معالم الحضارة العربية الإسلامية التي عمت أرجاء واسعة من هذه المعمورة. إن فكرة القباب عندما نشأت ابتداءً إنما نشأت كفكرة إنشائية لتغطية مساحات واسعة حيث أن القبة كعنصر إنشائي تقع تحت تأثير قوى الضغط فقط والمواد الإنشائية التي كانت مستخدمة تتحمل قوى الضغط أكثر بكثير من تحملها لقوى الشد، ونظراً لشيوع استخدام القبة في العمارة الإسلامية فقد أصبحت معلماً من معالم الحضارة العربية الإسلامية. هذا وقد تطورت طرق إنشاء القباب على مر العصور تبعاً للمواد الإنشائية المتوفرة في كل عصر.

لقد تحكمت خواص مواد البناء المستخدمة في الإنشاء في شكل وطبيعة النظم الإنشائية بحيث يتم استثمار خواص هذه المواد على أكمل وجه. فعلى سبيل المثال يستطيع الخشب تحمل قوى الشد والضغط على السواء في الوقت الذي لا تستطيع فيه وحدات الطوب والحجر المترابطة مع بعضها البعض بواسطة مواد إسمنتية أو طينية تحمل قوى الشد بينما يكون باستطاعتهما تحمل قوى الضغط بالـــرغم من أن الحجر والطوب يعتبران من أكثر أنواع مواد البناء التي استخدمت في الإنشاء منذ قرون طويلة نظراً لخواصها الإنشائية المتميزة ونظراً لقدرتها على الديمومة وقابليتها لتشكيل أنماط معمارية متميزة. وقد أمكن التطور التكنولوجي من استخدام تقنيات متقدمة تستثمر خواص المادة مثل الانتقال من نظام الخرسانة المسلحة إلى نظام الخرسانة مسبقة الإجهاد أو التحول إلى استخدام رقائق الخشب المصفح (Laminated Timber) أو غير ذلك من الوسائل.

لقد تميزت العمارة الإسلامية على مر العصور باستخدام نمط إنشائي متميز يمثل حجر الزاوية لهذه العمارة المتميزة وهذا النمط الانشائي تمثل في استخدام القوس (Arch) والقبة (Dome) والقبو (Vault) كعناصر أساسية يعتمد عليها هذا النمط، وجميع هذه العناصر تتشكل ابتداءً من شكل نصف قوس (Half Arch) كما هو موضح في الشكل رقم (١) ان

القبة تتشكل من دوران نصف القوس حول محور رأسي أما القبو فيتشكل من إزاحة أو نقل القوس على طول محور أفقي.



شكل (١): الأشكال الهندسية للقوس والقبة والقبو

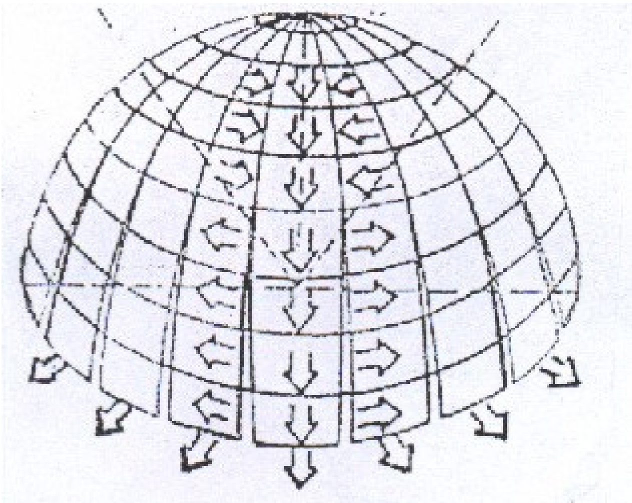
إن جميع هذه العناصر تقاوم الأحمال الرأسية بشكل أساسي بواسطة مقاومة مواد البناء المستخدمة في هذه العناصر لقوى الضغط حيث أن اجهادات الشد (Tensile Stresses) في هذه العناصر تكون محدودة حيث يبنى القوس من وحدات متراكبة بحيث تكون خطوط التقائها (Joints) متعامدة مع خط القوس.

تطور طرق لإنشاء العناصر الأساسية في العمارة الإسلامية:

أدى استخدام هذه الأنماط الإنشائية الثلاثة (القوس، القبة، القبو) إلى تطوير نماذج معمارية متميزة امتازت بها العمارة الإسلامية طوال قرون عديدة وذلك بإدخال تعديلات بسيطة على الشكل الهندسي الأساسي الذي هو القوس حيث أن هذه الأنماط الإنشائية أصبحت معلماً من معالم العمارة الإسلامية التي انتشرت قديماً وحديثاً في طول العالم الإسلامي وعرضه وأصبحت هذه العمارة تعرف من خلال هذه العناصر التي استخدمت ابتداء كفكرة إنشائية.

إن الأوزان أو الأحمال الرأسية التي يتعرض لها القوس أو القبة تؤدي إلى حصول قوى أفقية عند قاعدتي القوس أو عند قاعدة القبة (قوى رفس) كما هو موضح في الشكل رقم (٢) وهذه القوى يمكن مقاومتها بواسطة الأعمدة التي يرتكز عليها القوس أو بواسطة جسر ربط يربط قاعدتي القوس (في حالة القوس) ببعضها البعض أو بواسطة جسر دائري يقع على محيط قاعدة القبة (في حالة القبة).

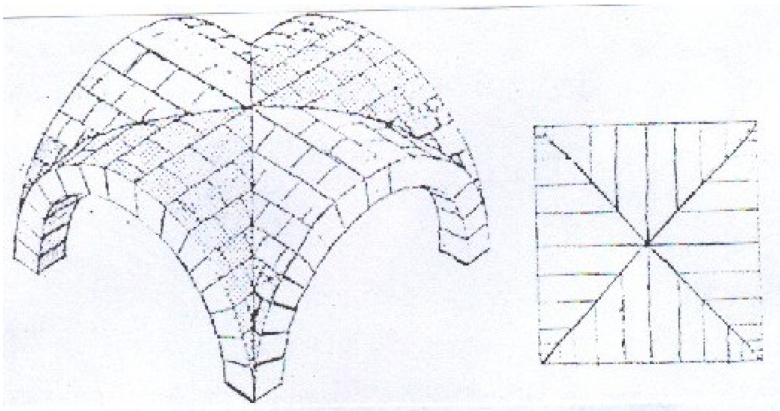
وفي حالة وجود عدد من الأقواس المتجاورة فان القوى الأفقية للأقواس الداخلية يلغي بعضها بعضاً ويمكن ملاحظة وجود جسور الربط بين الأقواس التي أنشأت في مسجد عمرو بن العاص (٦٧٣م) والجامع الأزهر (٩٧٠م) في القاهرة كما يظهر في الشكل رقم (٣) ، أما الجامع الكبير الذي أنشئ في قرطبة عام (٩٦٨م) فقد استخدم فيه نمط متميز من الأقواس حيث استخدمت أقواس مزدوجة لتقليل ارتفاع القوس الواحد وبالتالي تقليل مقدار القوة الأفقية التي يمكن أن تنشأ.



شكل (٢): القوى الأفقية الناشئة عند قاعدة القبة

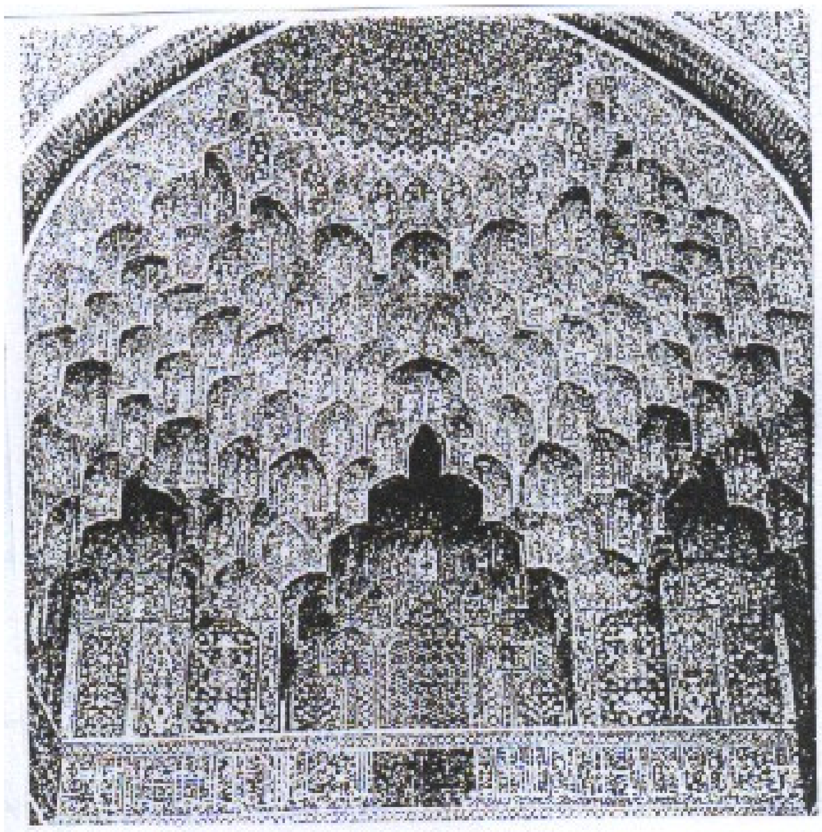
شكل (٣): جسور الربط بين الأعمدة التي ترتكز عليها الأقواس

إن فكرة القبو (Vault) الذي يتشكل من عملية إزاحة أو نقل القوس على طول محور معين لا يمكن أن يغطي مسافة عرضية (Span) كبيرة كذلك وتبعاً للفكرة الإنشائية لا يمكن فتح نوافذ أو شبابيك على جوانب القبو. من هنا نشأت فكرة استخدام القبو المتعامد (Cross Vault) الذي يرتكز على أربعة دعامات (Support) والذي يتيح تغطية مساحات واسعة كما يتيح فتح أبواب أو شبابيك في الجهات الأربعة كما هو واضح في الشكل رقم (٤) وهذه الفكرة استخدمت ابتداء في إيران كم استخدمت في بناء القاعة الرئيسية في قصر عمرة في الأردن عام (٧٥٠م) وهناك أمثلة عديدة أخرى على استخدام هذا النمط الإنشائي في مواقع مختلفة في العالم الإسلامي.



شكل (٤): نظام القبو المتعامد Cross Vault

أما القباب والتي تكون عادة ذات شكل نصف كروي فقد تطورت طرق انشائها حيث استخدمت فيها الحجارة والطوب والخشب إذ كان يتم بناء القبة بتنظيم صفوف من الطوب أو الحجارة المنحوتة بحيث تتجه لحاماتها نحو مركز القبة كما هو الحال في بناء العقود وفي بعض الحالات كانت تعمل أعصاب يملأ الفراغ بينهما بصفوف من الطوب أو الحجارة (Ribbed Dome) كذلك وجدت قباب تعمل من قشرتين بحيث يكون الشكل الخارجي مختلفاً عن الشكل الداخلي كذلك وضعت بعض القباب الحجرية سلاسل من الحديد أو قطع من الخشب وتكسية هذا التشكيل من الداخل والخارج بمواد معدنية مختلفة وخير مثال على هذا النمط من القباب قبة الصخرة المشرفة التي تزين سماء مدينة القدس والتي كانت ولا تزال تعتبر تحفة هندسية مميزة. إن الحاجة لتغطية المساحات الواسعة لقاعات الصلاة مع مراعاة النواحي الجمالية والبيئية أدت إلى التطور في استخدام القباب بأنماط متعددة طوال قرون عديدة، ولما كانت هناك مشكلة في عملية الانتقال من الشكل الدائري عند قاعدة القبة إلى الشكل المربع لقاعة الصلاة أو الليوان فقد تم استعمال مثلثات كروية في الأركان أو حنيات في الأركان في منطقة الانتقال (Squinches) كما شاع استعمال المقرفصات لتقوم بعملية النقل هذه (أنظر الشكل رقم ٥). وقد انتشر استخدام المقرنصات في إيران وتركيا وغيرها من بلدان العالم الإسلامي بحيث أصبحت من المعالم التي تضاف إلى معالم العمارة الإسلامية.



شكل (٥): إستخدام الحنيات والمقرنصات في عملية الانتقال من الشكل المربع إلى الشكل الدائري عند قاعدة القبة

وبعد أن تطور استخدام الخرسانة المسلحة في العالم أصبح إنشاء القباب باستخدام الخرسانة المسلحة أمراً شائعاً حيث يتم تجهيز الطوبار بشكل القبة المطلوب وبعد وضع حديد التسليح فوق الطوبار يتم صب الخرسانة ثم بعد حصول الخرسانة على القوة الكافية يتم فك الطوبار فتشكل القبة من الخرسانة المسلحة ومع تطور استخدام المواد الخفيفة مثل الألمنيوم والبلاستيك والفيبرجلاس أمكن إنشاء قباب باستخدام هياكل معدنية مشكلة بشكل القبة وتكسية هذه الهياكل بالمواد الخفيفة مثل الألمنيوم والبلاستيك والفيبرجلاس.

طرق الإنشاء الحديثة واستخدامها في إنشاء الأقواس والقباب

إن التطور الرئيسي الذي حصل في علم وتكنولوجيا البناء خلال العقدين الماضيين كان في استخدام الخرسانة مسبقة الصب والخرسانة مسبقة الإجهاد مع تطور طرق التصميم والتحليل الإنشائي وان انتشار استخدام الوحدات مسبقة الصب (Precast Units) بواسطة استعمال الرافعات الميكانيكية الحديثة أدى إلى توفير استخدام هذه الوحدات في إنشاء الأقواس والقباب الأمر الذي زاد في مرونة تصميم وتشكيل الأقواس والقباب وأدى إلى تخفيض كلفة إنشاء هذه العناصر الإنشائية.

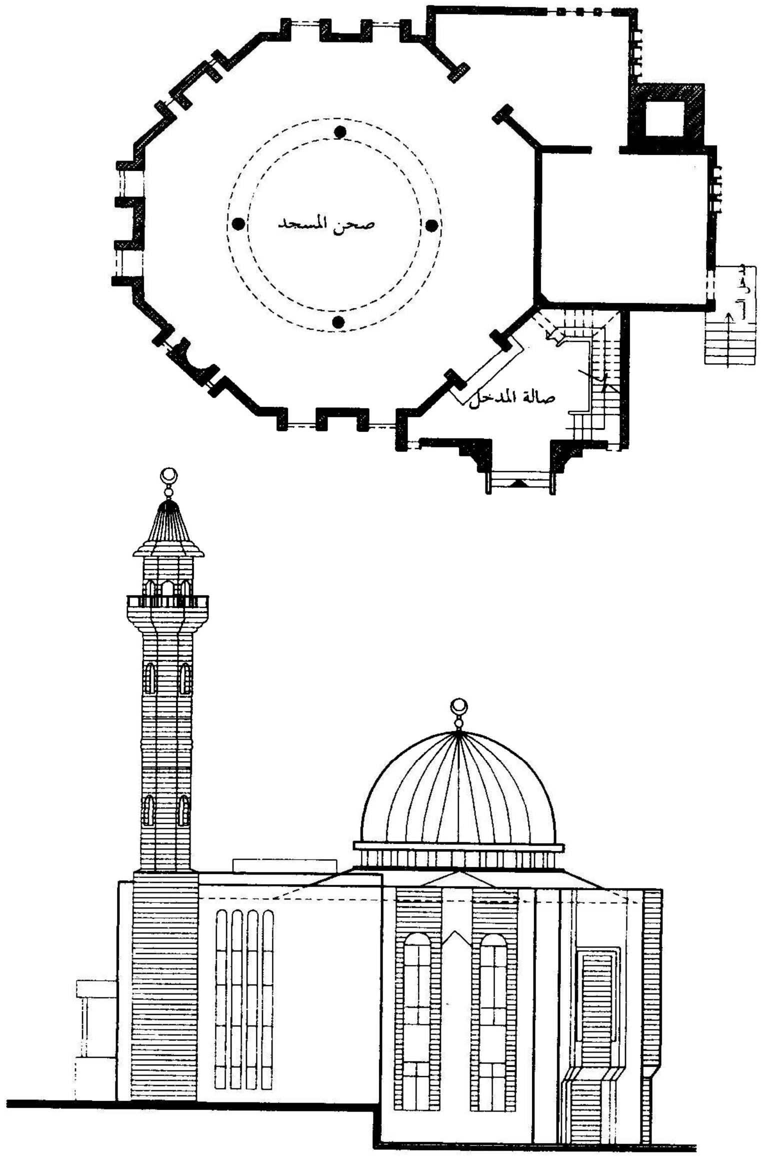
طريقة مقترحة لاستخدام وحدات مسبقة الصب في إنشاء القباب:

لقد تم استيحاء فكرة هذه الطريقة من الطريقة المستخدمة حالياً في بناء القباب في السعودية وبعض دول الخليج والتي يستخدم فيها الطوب الحراري الذي يتم بناؤه باستخدام المونة الإسمنتية حيث يتم التحكم بسماكة هذه المونة بحيث يتم تشكيل شكل القبة المطلوبة كما هو واضح في الشكل رقم (٦). ولكن سلبية هذه الطريقة في أنها تحتاج إلى كمية مونة إسمنتية كبيرة وجهد كبير نظراً لأن وحدات الطوب المستخدمة ذات شكل متوازي المستطيلات ولا يوجد فيها انحناء دوراني يعمل على تشكيل شكل القبة.

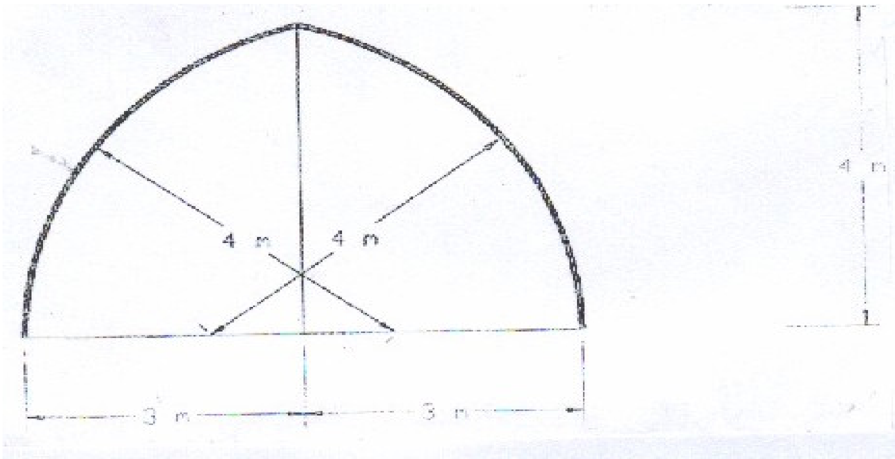
شكل (٦): عملية بناء قبة مسجد الكورنيش في مدينة جدة

إن هذه الطريقة تعتمد على صب وحدات صغيرة الحجم في قوالب خاصة مشكلة بطريقة تتناسب مع شكل القبة المطلوب ثم تجميع هذه الوحدات دون استخدام أي طوبار لتشكيل القبة. وقد تم استخدام هذه الطريقة كتجربة لإنشاء قبة مسجد شبه نصف كروية.

الشكل رقم (٧) يظهر المسقط الأفقي وإحدى الواجهات لمسجد صلاح الدين في مدينة طولكرم – فلسطين والذي تم إنشاء القبة له باستخدام هذه الطريقة، حيث كان نصف قطر القبة عند قاعدتها ٣ متر. والشكل رقم (٨) يوضح مقطعاً رأسياً في القبة يظهر ارتفاعها ويبين أبعادها.



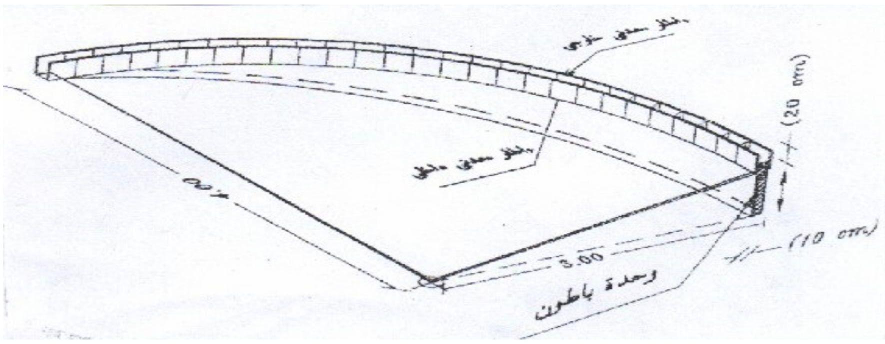
شكل (٧): المسقط الافقي واحدى الواجهات لمسجد صلاح الدين.



شكل (٨): الأبعاد الهندسية للقبة المقترحة

وفيما يلي الخطوات التي أتبعت في تنفيذ إنشاء القبة بهذه الطريقة:

١. تم رسم نصف المقطع الرأسي المار في منتصف القبة المراد تنفيذها على أرضية مستوية أفقياً ثم تم تشكيل خط الدائرة بمواسير حديدية وثبتت بواسطة اللحام الكهربائي. ثم تم تثبيت إطار معدني داخلي بحيث تكون المسافة بين الإطار الخارجي والإطار الداخلي ثابتة وتساوي ١٠سم وبعد ذلك تم تقسيم الشريحة المشكلة إلى ٢١ قطعة بواسطة تثبيت قطع معدنية كما هو مبين في الشكل رقم (٩)

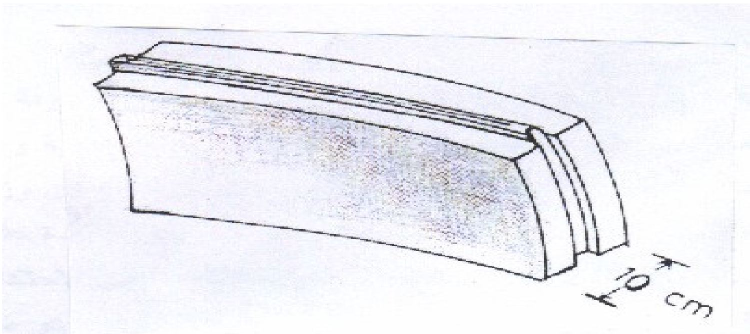


شكل (٩): الإطار المعدني المشكل بشكل نصف القبه

٢. مع تثبيت محور التماثل على الأرض يتم تحريك الإطار المعدني الذي تم تشكيله الى أعلة وأسفل عدة مرات وباستخدام باطون قليل المرونه يتم تشكيل القطعة المرادة والتي تكون قطعة نموذجية في أحد مداميك بناء القبة.

٣. يتم تجهيز قالب من الفيبرجلاس لكل قطعة نموذجية وعليه يكون عدد القوالب مساوي لعدد المداميك التي ستشكل بناء القبة وهي ٢١ مدماك في حالتنا هذه.

٤. بعد تجهيز القوالب يتم صب الباطون بداخل القوالب فينتج نفس شكل القطعة المرادة وبحساب محيط الدائرة عند كل مدماك وتقسيمه على عرض القطعة الواحدة يتم إيجاد عدد القطع اللازمة في كل مدماك ويبين الشكل رقم (٩) شكل قطعة نموذجية بعد أن تم صبها (لاحظ وجود النتوء من جانب والمجرى من الجانب الآخر ليعمل على زيادة الاحتكاك بين القطع المتراكبة).

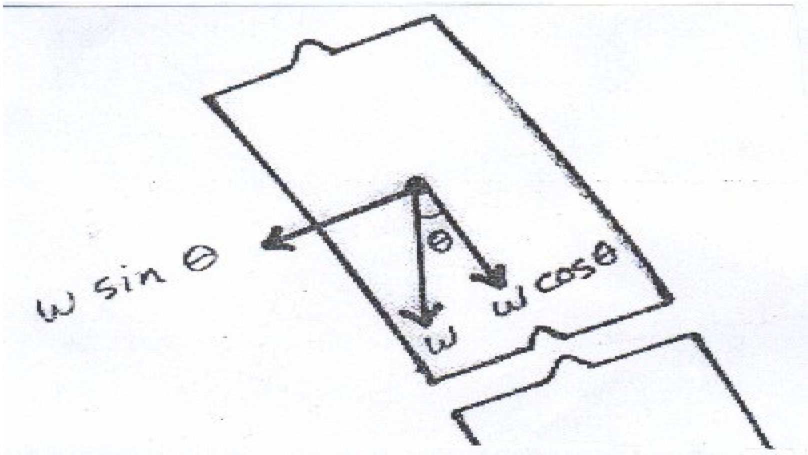


شكل (١٠): شكل إحدى القطع النموذجية بعد أن تم صبها

٥. قبل البدء بعملية بناء الوحدات أو القطع التي تم صبها مسبقاً يتم تثبيت عمود معدني في وسط القبة يمثل محور التماثل في القبة المراد إنشاؤها ويثبت على هذا المحور بيكار يستخدم في التأكد من دائرية المداميك أثناء بنائها كما هو واضح في الشكل رقم(١١).

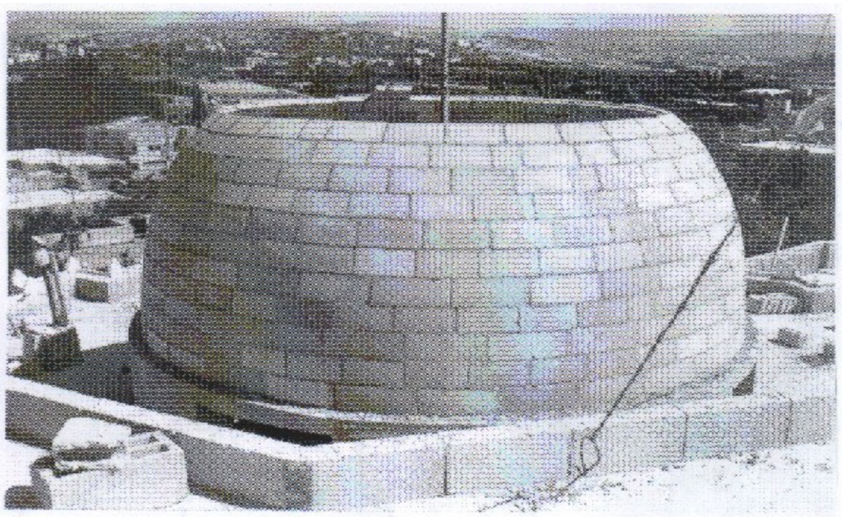
شكل (١١): عملية بناء المداميك بالاستعانة بالبيكار

٦. تتم عملية تركيب القطع مسبقة الصب في مداميك باستخدام مونة إسمنتية بسيطة حيث يعتمد تماسك القطع مع بعضها البعض على المونة الإسمنتية وعلى الفرزة أو التسنين الموجود في القطع حيث أنه يتم تحليل القوة الناتجة عن وزن القطعة إلى قوتين : قوة مماسية تشكل قوة الضغط على القطعة وقوة متعامدة عليها تعمل على محاولة إزاحة القطعة إلى الداخل فتتم مقاومة هذه القوة بقوة الاحتكاك الناتجة عن المونة الإسمنتية وعن التسنين أو الفرزة الموجودة في القطعة كما هو مبين في الشكل رقم (١٢).



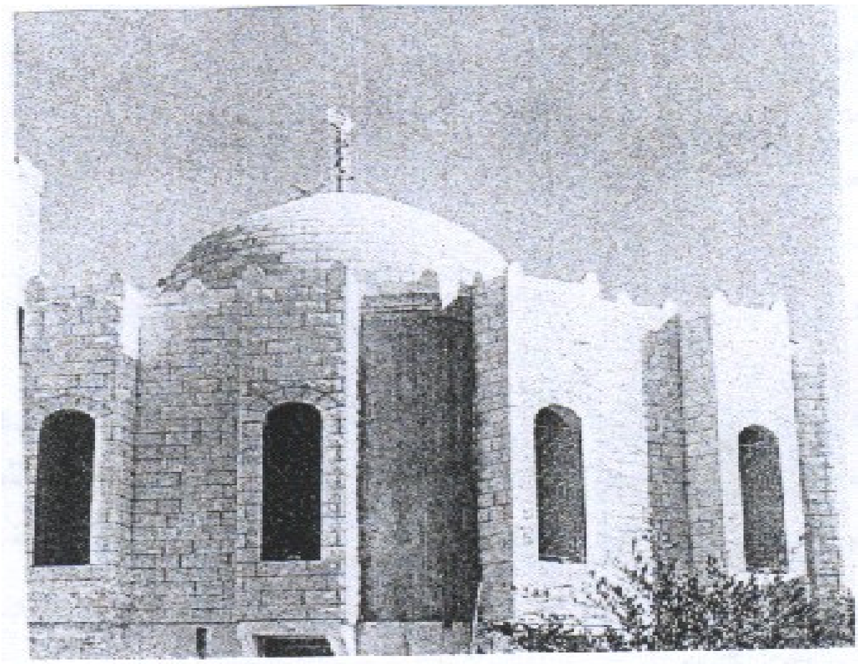
شكل (١٢): تحليل القوة المؤثرة على الوحدات المتراكبة

٧. بعد بناء المداميك فوق بعضها البعض تبعاً للتقسيم الذي تم في الخطوة رقم (٢) تبدأ القبة بالتشكل بالشكل المطلوب كما هو مبين في الشكل رقم (١٣).



شكل (١٣): الوحدات مسبقة الصب بعد أن تم بناؤها تشكل شكل القبة المطلوب

وبعد الانتهاء من إنشاء القبة ظهرت بشكل جميل ومتناسق مع شكل المسجد كما أظهرت فاعلية وكفاءة في منع تسرب المياه من سطح القبة. الشكل رقم (١٤) يظهر صورة المسجد بعد انتهاء بناء القبة.



شكل (١٤): صورة المسجد بعد انتهاء بناء القبة

تقييم الطريقة المقترحة من الناحية الاقتصادية

إن مقارنة الطريقة المقترحة وهي طريقة استخدام الوحدات مسبقة الصب مع الطريقة الشائعة حالياً وهي طريقة صب القباب من الخرسانة المسلحة بعد عمل الطوبار المناسب تثبت أن كلفة الطريقة الأولى هي في حدود ٥٠% من كلفة الطريقة الثانية وفيما يلي تفصيل لهذه المقارنة:

أ. تكاليف إنشاء القبة باستخدام الوحدات مسبقة الصب

▪ تكاليف صناعة القوالب	٥٠٠ دينار أردني
▪ أجرة صناعة الوحدات مسبقة الصب	٢٠٠ دينار أردني
▪ ثمن الباطون المستخدم في الوحدات مسبقة الصب وثمن المونة الإسمنتية اللازمة لبناء هذه الوحدات	٤٠٠ دينار أردني
▪ أجرة بناء الوحدات مسبقة الصب لتشكيل القبة	٥٠٠ دينار أردني
المجموع	**١٦٠٠ دينار أردني**

ب. تكاليف إنشاء القبة بطريق صب الخرسانة المسلحة

▪ ثمن باطون	٥٠٠ دينار أردني
▪ ثمن حديد	٣٠٠ دينار أدردني
▪ أجرة طوبار وتسليح وصب القبة	٢٠٠٠ دينار أردني
▪ تكاليف قصارة القبة من الداخل والخارج	٧٠٠ دينار أردني
المجموع	**٣٥٠٠ دينار أردني**

أما بخصوص المدة الزمنية اللازمة لبناء القبة فإن الطريقة المقترحة لاستخدام وحدات مسبقة الصب لا تستغرق أكثر من أسبوع حيث أن الوحدات تكون مصبوبة وجاهزة قبل الوصول إلى مرحلة إنشاء القبة، بينما تستغرق عملية طوبار وتسليح وصب القبة المصنوعة من الخرسانة المسلحة وكذلك عملية فك الطوبار والقصارة الداخلية والخارجية مدة لا تقل عن شهر.

ويمكن أن تكون طريق استخدام الوحدات مسبقة الصب ناجحة وفعالة إذا تم تكرار استخدام القوالب، وهذا يتطلب اعتماد قبة بأبعاد معينة وتكرار إنشائها في أكثر من مسجد، وهذا ما حصل في حالتنا حيث تم إنشاء أكثر من قبة بنفس أبعاد قبة مسجد صلاح الدين وتم استخدام القوالب نفسها في إعداد الوحدات مسبقة الصب التي استخدمت في إنشاء القبة.

الخلاصة

بعد ان تم استعراض طريقة استخدام الوحدات مسبقة الصب في إنشاء القباب وبعد أن تم استخدامها عملياً في إنشاء قبة ذات أبعاد معينة ومع افتراض إمكانية تكرار إنشاء مثل هذه القبة بنقس الأبعاد التي تعتبر أبعاداً نموذجية كقبة مسجد يمكن استخلاص المزايا التالية لهذه الطريقة:

١. عدم الحاجة الى استخدام الطوبار الخشبي كوسيلة لتدعيم القبة وتشكيلها.
٢. يمكن استخدام القوالب في تصنيع وحدات متكررة يمكن استخدامها في إنشاء قباب مماثلة.
٣. تجنب مشكلة الدلف وتسريب المياه من سطح القبة حيث ان طريقة استخدام الخرسانة العادية فوق الطوبار الخشبي يتطلب أن تكون الخرسانة قليلة المرونة وبالتالي تكون نسبة فراغات الهواء عالية مما يعطي إمكانية لتشرب مياه الأمطار عبر سطه القبة. إما في طريقة استخدام الوحدات مسبقة الصب فيمكن استخدام خرسانة عالية المرونة في إمكانية الدمك لطرد فراغات الهواء.
٤. يمكن الاستغناء عن القصارة الداخلية والخارجية لسطح القبة نظراً لأن الوحدات مسبقة الصب تكون ذات سطوح ملساء وذات مظهر جيد لا تحتاج إلى القصارة.
٥. خفض التكاليف، إذ يمكن الاستغناء عن الدعامات والطوبار الخشبي المستخدم في إنشاء القباب بالطريق المعتادة. كذلك فإن طريقة الوحدات المسبقة الصب لا تحتاج الى استخدام قضبان حديد التسليح باهظ التكاليف. هذا بالاضافة الى خفض التكاليف نتيجة عدم الحاجة لاستخدام قصارة داخلية وخارجية للقبة.
٦. تقليل الجهد بالمقارنة مع أسلوب التنفيذ التقليدي للقباب، والذي لا يخلو من صعوبات كبيرة في التحكم بالشكل المطلوب ودقة التنفيذ.
٧. الأسلوب الجديد يوفر إمكانية استخدام أشكال متعددة للقباب بطرق سهلة وعلى درجة عالية من الاتقان.

المراجع

١] الدكتور أحمد فكري، مساجد القاهرة ومدارسها، الجزء الأول، دار المعارف، القاهرة، ١٩٦٥.

٢] صالح لمعي مصطفى، القباب في العمارة الإسلامية، دار النهضة العربية للطباعة والنشر، بيروت، ١٩٧٥م، ص ٢٣-٢٥.

3] Alexandre Papadopoulo , Islam and Muslim Art , Harry N. Abramc , Inc. Publisher , New York , 1979

4] Tariq Rafay, Impact of Developments in Building Science and Technology on Islamic Architecture, Proceeding Of the 8 Th Annual Conference of the Association of Muslim Scientists & Engineers, USA, 1982, pages 326-339.

٥] الدكتور عفيف البهنسي، العمارة عبر التاريخ، دار طلاس، دمشق، ١٩٨٧.

٦] البناء، عبد الواحد الوكيل وتصميم عمارة المساجد في المملكة العربية السعودية، العدد ٣٤، ١٩٨٧.

7] Martin Frishman and Hasan-Uddin Khan , The Mosque : History , Architectural Development & Regional Diversity , Thames and Hudson , London , 1994

8] George Michel , Architecture of the Islamic World , Thames and Hudson , London , 1995

9] Ismail Serageldin and James Steele , Architecture of the Contemporary Mosque , Academy Editions , London , 1996