

دراسة تأثيرات بعض التركيبات البنائية (وأشكالها الشبكية) على مؤذنة الحدباء وتأثير ذلك على أساليب صيانتها

د. بسام محمود مصطفى الامام*

ملخص البحث:

يهدف البحث إلى دراسة التراكيب البنائية التي اشتملت عليها بعض الحلقات في مؤذنة الحدباء، محاولاً ربطها مع المفاهيم الشبكية والتي تتراص على أساسها الذرات والجزيئات في المادة الصلبة، لكي تكتسب وبالذات المعادن تلك المرونة والصلابة التي تتميز بها، والتي نعتقد بأنها العنصر الذي ميز مؤذنة الحدباء عن سائر الأبنية الأثرية الأخرى. أن أهم عوامل قوة هذا المنشأ الهندسي الرائع يكمن في تركيباته البنائية والتي استخدمت مفاهيم التناظر والتي تعتبر أساس البنى التركيبية للمواد الصلبة.

Abstract

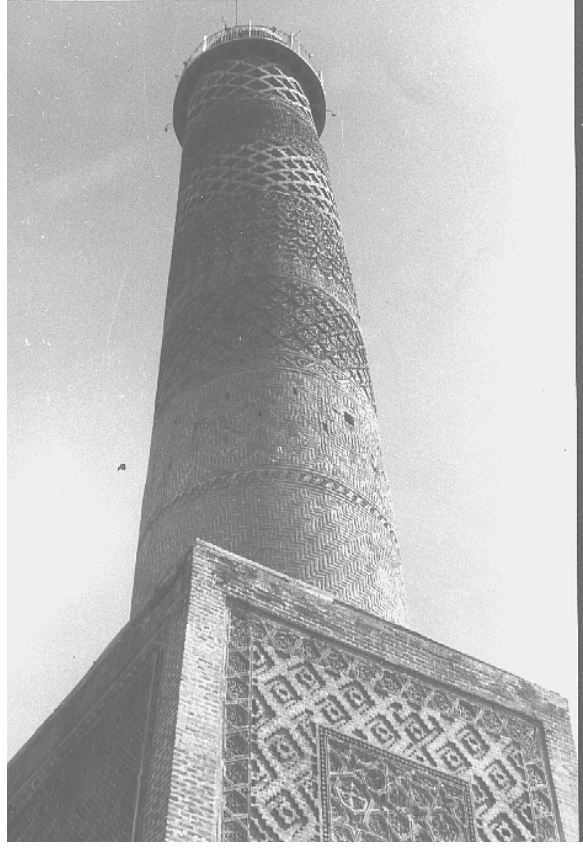
The aim of the research is to study some structural constructions of the Al-Hadba minaret, and to link them with the lattice concepts on which the atoms and molecules of solids are packed, for attaining their distinguished elasticity and hardness, this as we think distinguish Al-Hadba minaret from other ancient buildings. The power of this wonderful geometrical establishment comes from its structural constructions, which uses the symmetry concepts, which forms the basis of the solid materials.

* استاذ مساعد/ قسم الفيزياء/ كلية العلوم.

دراسات موصلية - العدد التاسع عشر - صفر ١٤٢٩ هـ / شباط - ٢٠٠٨ م

مقدمة

منارة الحدباء هذا الأثر الإسلامي الرائع و قبلة أنظار المدينة أينما اتجهنا^(١)، منذ إنشائها أصبحت، أبرز معالم المدينة رغم عراقية مدينتنا وامتدادها التاريخي^(٢،٣)، وهكذا سميت المدينة باسمها^(٤) وفي هذه الأيام تشكوا المدينة القديمة من ظاهرة التلوث بالمياه الجوفية والتي حولت تربتها إلى طين لزج وبالتالي يؤثر على قدرة الأرض على إسناد المئذنة مما يؤثر سلبا على ميلان المنارة علما أن التركيب الجغرافي للمدينة يسمح بالتصريف الطبيعي لمياهها الجوفية والسطحية^(٥). ولكي نعرف كيف نعالج الأخطار المحدقة بالمئذنة، لابد من تفهم الأسلوب المعماري الفريد الذي بنيت وفقه. في بحثنا السابق عن المئذنة والذي نشر في مجلة أوراق موصلية (٧) حاولنا بشكل عام أن نلقي الضوء على جوانب من العبقرية المعمارية والهندسية والعلمية التي بنيت على أساسها. وبيننا أن المعمار في هذا المنشأ قد استطاع أن يسمو إلى هذا الارتفاع دون أن تكون فكرة التسليح تخطر على بال أحد حيث لم تظهر إلا في أوائل القرن العشرين بعد التوصل إلى فكرة الإسمنت المسلح. واستطاع المعمار أن يقدم تراكيب بنائية من ترتيبات خاصة للطابوق استطاعت أن تعوض عن التسليح، من ناحية ثانية تعتبر مئذنة الحدباء من أوائل الأبراج في العالم من ناحية القطر والارتفاع ويعتبر معماريو المئذنة من الرواد في بناء الأبراج العالية وبمفهومها الذي نراه اليوم. كما هو الحال مع الأبراج العالمية كبرج أيفل وغيره التي تتميز بعناصر معمارية و هندسية وعلمية خاصة كمرونتها الكبيرة مما يجعلها تقاوم الأعاصير والزلازل وغيرها من العوامل الطبيعية العنيفة دون حدوث تشوهات في بنيتها تؤدي إلى انهيارها^(٦). ومرة ثانية يعزى ذلك إلى امتلاك المئذنة تراكيب بنائية وتركيبية من تشكيلات الطابوق عوضت عن الفولاذ وغيره من المواد الخاصة والتي تبنى بها أبراج اليوم.



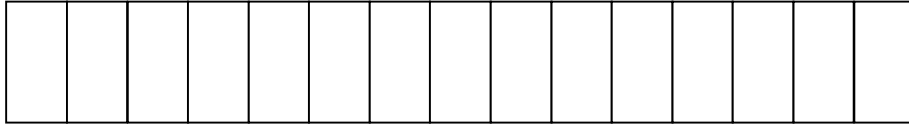
الشكل ١: مئذنة الحدباء وتركيباتها البنائية، وكيف تتغير مع تغير ارتفاع المئذنة.
وفي هذا البحث سنحاول تفهم هذه التراكيب الخاصة التي بنيت بها المئذنة والتي تشبه ما نراه من تراكيب في البنى الذرية والتي تؤدي إلى التراكيب البلورية والتي تمنح المواد وبالذات المعادن عناصر القوة والمرونة هذه التراكيب الخاصة والتي تصطف على أساسها الذرات تسمى الشبائك وهي بنى هندسية رياضية تستند إلى مفاهيم نظرية المجموعات ومفاهيم التناظر^(٨).

الجانب النظري

لو القينا نظرة على مئذنة الحدباء (شكل ١) لكان أول ما يلفت النظر هو التناظر في تشكيلات الطابوق عبر كل حلقات المئذنة. وهذه الطرق في صف الطابوق تشكل تناظرا معيناً في كل حلقة من حلقات المئذنة، وأن هذا التناظر في تشكيلات الطابوق يتغير من حلقة إلى أخرى، وبشكل تدريجي صعوداً إلى أعلى المئذنة. وهذا يدفع للتأمل في هذه البنى التركيبية، ومحاولة تفهمها وفق مفاهيم التناظر. علماً أن مفاهيم التناظر كانت الأساس في تفهم الخواص الميكانيكية والكهربائية والحرارية للمواد الصلبة .

التناظر والتركيبات البنائية

يعتمد مبدأ التناظر على تكرار شكل معين من خلال عمليات التناظر والتي تشمل على الانعكاس في المرآة أو الدوران حول محور معين، وغيرها ، فلو أننا صففنا قطعاً من الطابوق واحدة بجوار الأخرى في صف طويل ثم وضعنا مرآة بين قطع الطابوق ونضربنا من خلال المرآة لرأينا صورة صف الطابوق في المرآة كأنها هو امتداد للصف الحقيقي كما في الشكل ٢ آ

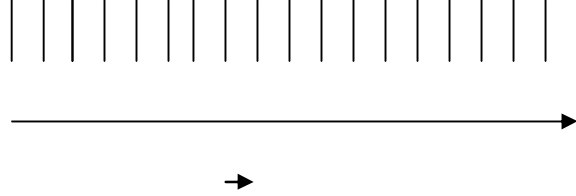


شكل ٢ آ : يرينا كيف أن البناء يستند إلى مبدأ التناظر، فلو وضعنا مرآة بين قطع الطابوق ونضربنا من خلال المرآة لرأينا صورة صف الطابوق في المرآة بدون تغيير. وهذا النوع من التناظر يكون الشبيكة الخطية، المكونة من التكرار المنتظم لنفس القطعة بنفس الإزاحة.

وتسمى عملية التناظر هذه بالعملية m والتي جاءت من كلمة $mirror$. ويعبر عن ذلك رياضياً بالمتجه R والذي يسمى بمتجه الانتقال الشبيكي والذي يساوي

$$R = m \times a \dots\dots\dots (1)$$

حيث أن a, m تمثلان وحدة المنتج وعدد صحيح على التوالي. ونرى في (الشكل ٢ب) تطبيقاً لهذه الفكرة :



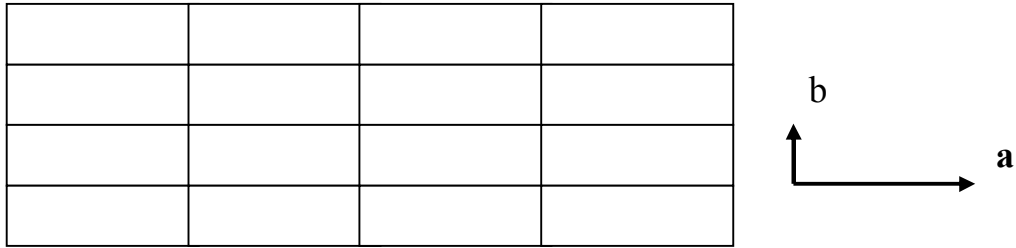
شكل ٢ب : الشبكة الخطية، ومنتجه الانتقال الشبكي (السهم الطويل)، والمكون من التكرار لوحدة المنتج (السهم الصغير) بنفس الاتجاه والمقدار. مثل أعمدة الكهرباء. تطبيقاً لهذه الفكرة. يطلق على هذه النوعية من ترتيب الأشياء المتشابهة (كالطابوق) بالشبكة ذات البعد الواحد one dimensional lattice (شكل ٢ أ) وهناك نوع واحد فقط منها^(٩).

ويمكن أن نتصور أهمية المعادلة (١) عند تطبيقها على شبكة ذات بعد واحد كخطوط نقل الطاقة الكهربائية فأى إهمال في تطبيقها سواء من ناحية المسافة بين الأعمدة أو استقامتها أو خروج أي من الأعمدة عن وضعه الشاقولي سيؤدي إلى ظهور إجهادات ميكانيكية تؤدي إلى إعطابها.

من ناحية ثانية فالجدران والأبنية لا تكون في بعد واحد وإنما يصف فيها الطابوق ببعدين وهنا نتحدث عن الشبائك ذات البعدين two dimensional lattice. والشبائك ذات البعدين تكون على خمسة أنواع. فعندما نصف قطع الطابوق في صفوف مستقيمة، ثم نضع صفاً فوق صف فنحصل على ما يسمى الشبكة المستطيلة rectangular lattice كما في (الشكل ٣ أ)، والناتج عن وجود نوعين من تناظر المرآة، والمسمى الشبكة المستوية. وفي الجزء الأسفل من الرسم الأسهم تمثل وحدات المنتج (الأفقية a والعمودية b) والتي بتكرارها صحيحة m, n نحصل على التركيب بأعداد البنائي ذو البعدين.

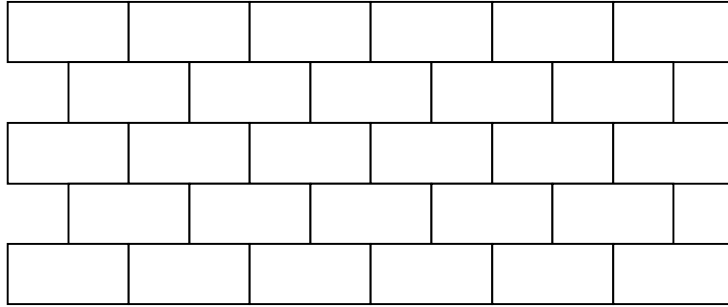
$$R = m \times a + n \times b \dots\dots\dots (2)$$

حيث أن b يمثل وحدة متجه بالاتجاه الصادي و n عدد صحيح. إن هذا النوع من ترتيبات الطابوق، لا يستعمل في الأبنية إلا في الحالات التي لا تتعرض فيها الأبنية إلى إجهادات كبيرة، ويمكن أن تتعرض بسهولة إلى التشققات العمودية والأفقية والمائلة إذا تعرضت إلى إجهادات



الشكل ٣ : الترتيب البنائي للطابوق ببعدين، لينتج تركيباً ذا بعدين، يسمى الشبكة المستطيلة وفي الجزء الأيمن من الرسم تبدوا وحدات المتجه الأفقية والعمودية والتي بتكرارها معا بعدد صحيح من المرات.

النوع الثاني من ترتيبات الطابوق يسمى البناء بالشد وكما نرى في الشكل ٤. ويعتبر هذا الطراز من طرز البنيان للجدران طرازاً قوياً، يتحمل الإجهادات الميكانيكية. الشبكة هنا تسمى الشبكة المستطيلة المتمركزة **centered rectangular lattice**.



شكل ٤ ترتيب الطابوق لينتج التركيب البنائي المسمى بأسلوب البناء بالشد، والشبيكة الناتجة عنه تسمى الشبيكة المستوية المتمركزة. ومتجه الانتقال الشبيكي في هذه الحالة يكون :

$$R = m \times a + \frac{1}{2} n \times b \quad \dots \dots \dots (3)$$

من أجل أن يكون أي جدار مبني بالطريقة السابقة بحالة قوية ولن يعاني من التشققات ويؤدي دوره في حمل الإجهادات فوقه ، فإنه ينبغي أن يحقق المعادلة ٣. وتتوقف مهارة البناء وخبرته، على قدرته في أن يطبق المعادلة ٣ بنسبة مئوية عالية وبالتالي الحصول على جدار قويم، دون أن يعي في الغالب النموذج الرياضي الذي يسير وفقه.

تحليل التراكيب البنائية والمعمارية للمئذنة

في ضوء ما قدمناه في الجانب النظري عن الأساس العلمي والرياضي للتركيبات البنائية المستخدمة خصوصا في البناء بالطابوق فسنحاول أن نطبق هذا الأسلوب التحليلي على دراسة التراكيب البنائية في المئذنة. لو تمعنا في الشكل ١ لرأينا أن هنالك تراكيب بنائية، تختلف بتناوب حلقات المئذنة ، فهناك تقارب بين تراكيب الحلقة الأولى والثانية وكذلك بين الحلقتين الخامسة والسابعة. أما الحلقات الثالثة والرابعة والسادسة فلكل منها تركيبه الخاص..التراكيب البنائية للمئذنة تتميز بكونها مركبة (مؤلفة من جميع تراكيب بسيطة) وهذا يدل بشكل ما على أنها تؤدي دورا في تقوية نظام المنارة، وأنها تؤدي دورا رابطا لهيكل المئذنة. وهذا

واضح من التراكيب في الحلقة الخامسة والسابعة، حيث أنها تحتوي على تراكيب تشبه تلك التي في الجسور. وسنحاول تطبيق هذه الأفكار في دراسة الحلقة الأولى والثانية والتي كما أشرنا تملك تركيبات متشابهة. أملاً أن أتمكن في دراسات مقبلة من تحليل البنى الرياضية للحلقات الأخرى.

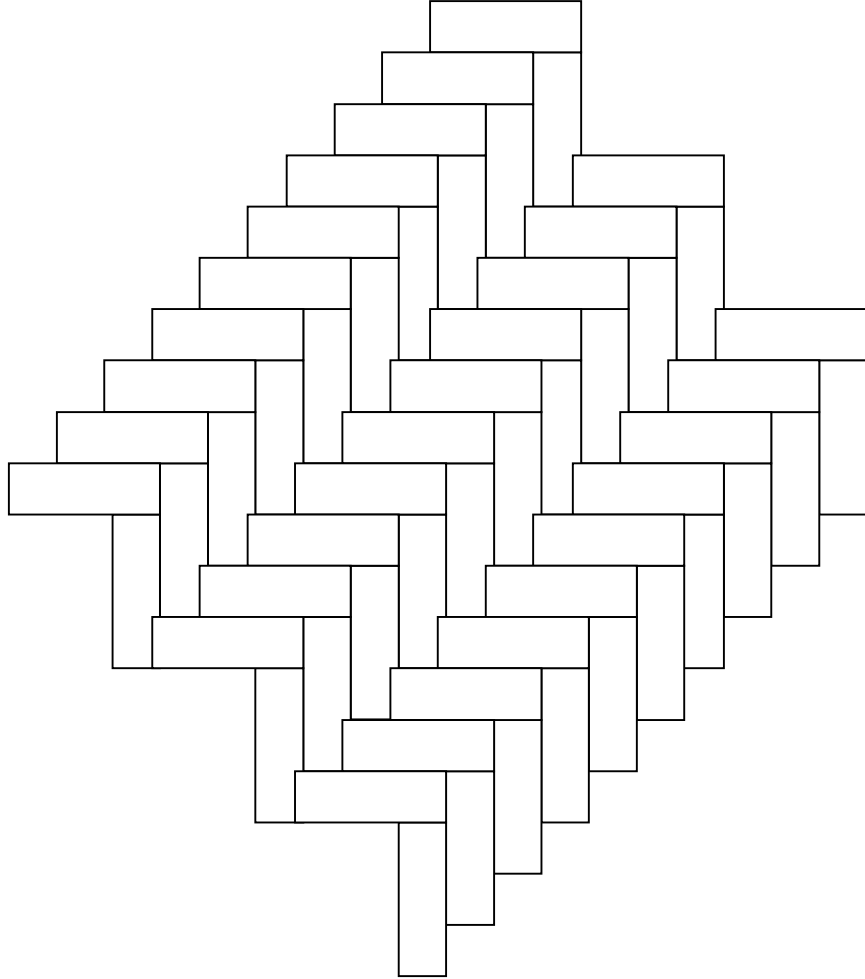
البنى التركيبية للحلقة الأولى:

كما أشرنا قبل قليل فإن حلقات المئذنة تحتوي تراكيب بنائية مركبة **complex structures** أي أن وحدتها الأساسية والتي يطلق عليها أسم الأساس **basis** تتكون من أكثر من قطعة واحدة تأخذ شكلاً هندسياً معيناً يعاد تكراره وليست تراكيب مؤلفة من قطعة واحدة كما شرحنا في الجزء النظري. ولذلك نحتاج أن نحدد الوحدة التكرارية الأساسية في الحلقة. وفي الشكل ٥ أ نرى تركيب الحلقة الأولى. ومنه يمكن أن يحدد أساس التركيب وكما نرى في الشكل ٥ ب الذي يتكون من رصف قطعتي طابوق متجاورتين بالرأس ليكونا زاوية قائمة ويكرر هذا التركيب (الأساس) لتتكون منه بنية الحلقة الأولى كلها. وهيكل الحلقة الأولى يتكون من أزاحه هذا الجزء بمقدار عرض الطابوقة الواحدة W زائداً سمك المونة C بالاتجاهين السيني والصادي معاً. وبذلك نستطيع تحديد متجه الانتقال الشبكي

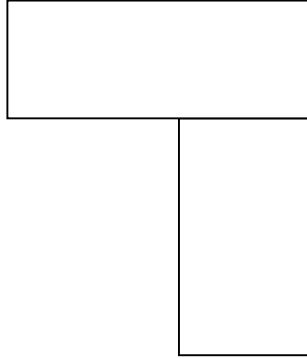
$$R = k(L + C)[(W + C) \times (ma + nb)] \dots\dots\dots (5)$$

حيث k هو عدد صحيح و L يمثل طول الطابوقة. إن هذا النمط من التناظر في صف الطابوق يؤدي المزيد من تماسك أجزاء الجدار، إضافة إلى كونه قد أدى إلى ظهور تراكيب تشبه السنابل تمتد بصورة مائلة على امتداد الجدار. إن ظهور مثل هذه التراكيب في الجدار قد جعل منها عناصر دعم وتسليح للجدار. فعندما يكون لدينا صفيحة معدنية واسعة المساحة (بليت) فإنها تلتوي بسهولة، ولذلك فإنها تدعم بأخاديد طولية، أو عرضية أو بإشكال خاصة لكي تحافظ على استقامة سطحها كما نرى ذلك كثيراً في أجزاء هيكل السيارة.

وهي ستودي دورا كبيرا في تحمل الضغط الكبير عليها. إن أهمية هذا النوع من التركيب بالنسبة للحلقة السفلية يمكن أن تفهم كما يلي :



الشكل ٥٥ يمثل التراكيب البنائية للطابوق في الحلقة الأولى



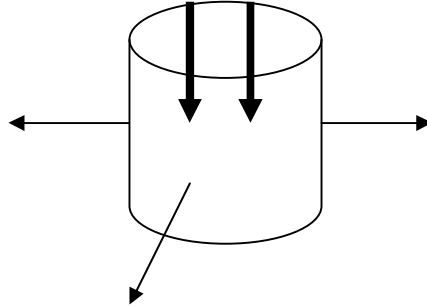
الشكل ٥ ب: يمثل التراكيب البنائية للطابوق (الأساس) للحلقة الأولى، والذي بتكراره ينتج الشكل ٥ آ

أن الحلقة الأولى (الحلقة السفلية) تتحمل كل ثقل المتذنة ولذلك فإن جدارها سوف يتحمل ضغطا P يساوي

$$P = \frac{Mg}{A} \dots\dots\dots (7)$$

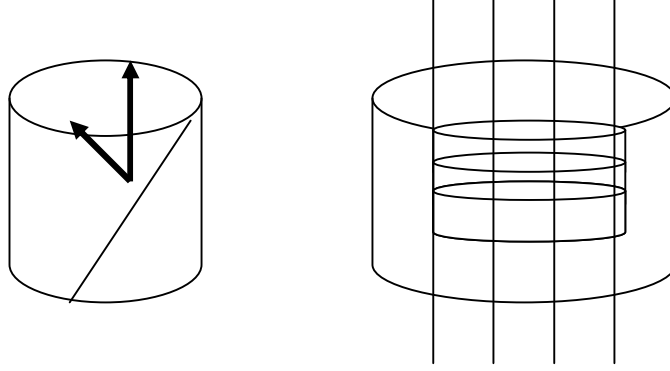
حيث أن M, A, g تمثل التعجيل الأرضي، ومساحة قاعدة المتذنة وكتلتها على التوالي

إن هذا الضغط الكبير، سوف يدفع جدار المتذنة نحو الخارج (الشكل ٥ ج).



الشكل ٥ ج : الحلقة الأولى والقوى المسلطة عليها بفعل ثقل جسم المنارة. ولابد من وجود تراكيب ممتدة بالاتجاهين العمودي والأفقي لتحمل هذا الضغط الكبير. ففي العمارات الحديثة تسلمح الأعمدة الخرسانية التي تحمل المبنى بحديد

تسليح بشكل حلقات، إضافة إلى وجود قضبان تمتد على طول العمود كما في الشكل (الشكل ٥ د).



الشكل ٥ د : الشكل في اليمين يمثل التسليح في الأعمدة الخرسانية وإلى اليسار يظهر خط مائل يمثل التسليح والذي تلعبه التراكيب البنائية للحلقة الأولى حيث يسلب الشد فيها قوة نحو مركز المئذنة وكذلك نحو الأعلى، تعاكس الضغط الناجم عن ثقل المئذنة.

إن الحلقة الأولى ينبغي أن تقوم بنفس الفعل الذي يقوم به العمود الخرساني ولذلك فمن المرجح أن التراكيب السنبلية في الحلقة الأولى ستقوم بفعل التسليح ولكونها مائلة بزاوية مقدارها ٤٥ درجة، فإن الشد فيها سيعوض عن دور الحلقات، والقضبان في الأعمدة الخرسانية. حيث أن قوة الشد في التراكيب السنبلية تحلل إلى مركبتين، الأولى نحو الداخل، التي تقاوم الضغط الذي يدفع الجدار نحو الخارج، والثانية نحو الأعلى، والتي تقاوم الكبس نحو الأسفل (الشكل ٥ د).

البنى التركيبية للحلقة الثانية

لو نظرنا إلى الأشكال ١ و ٦ (أ و ب) و 7 لرأينا كما نوهنا سابقا بوجود تقارب في أسلوب صف الطابوق والتراكيب البنائية مع وجود، اختلاف في التركيبات البنائية.. ولذلك نرى تغييرا في الأشكال السنبلية، فبدلا من أن تكون بشكل خطوط مائلة، أخذت تتقاطع مع بعضها وتؤدي إلى ظهور تصالبات كما هو الحال مع

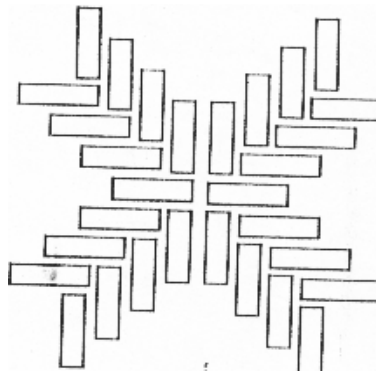
الجسور، والأبراج كبرج أيفل. وفي الشكل ٦ نرى الوحدة البنائية الأساسية (الأساس) كما نرى جزءا من التركيب البنائي للحلقة الثانية والذي ينتج من التكرار المنتظم للوحدة البنائية الأساسية أما الشكل ٧ فيرينا التراكيب البنائية الأساسية للحلقة الثانية ،حيث يوجد صفيين من هذه التصلبات في الحلقة الثانية . إن متجه الانتقال الشبيكي معقد نوعا ما.فلكل تصالب يمكن أن يعبر عن متجه الانتقال الشبيكي :

$$R = k \times P \times [(W + C) \times (ma + nb)] \dots\dots\dots (7)$$

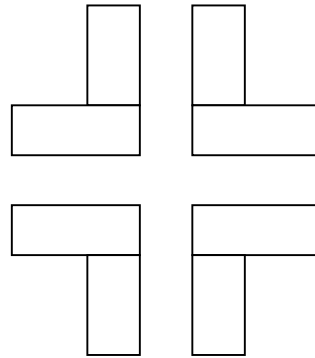
على شرط أن يكون لدينا

$$\pm m, \pm n$$

وهذه الشروط تنطبق على كل صف من التصلبات بنفس الطريقة. P تمثل هنا نصف عرض الشكل المعيني الواحد الذي في الشكل ٧. إن مثل هذه التراكيب تقوم بنفس الفعل كما هو الحال مع الحلقة الأولى من ناحية ما توفره من شد لمقاومة الانحراف نحو أي من الاتجاهات الأفقية كما أنها تقاوم الكبس الذي يسلطه الجزء الذي فوقها من جسم المئذنة. مع مراعاة أن هذه التراكيب توفر شدا أكبر لأجزاء الجدار مع بعضها لمقاومة الميلان الذي يزداد تأثيره بزيادة الارتفاع.

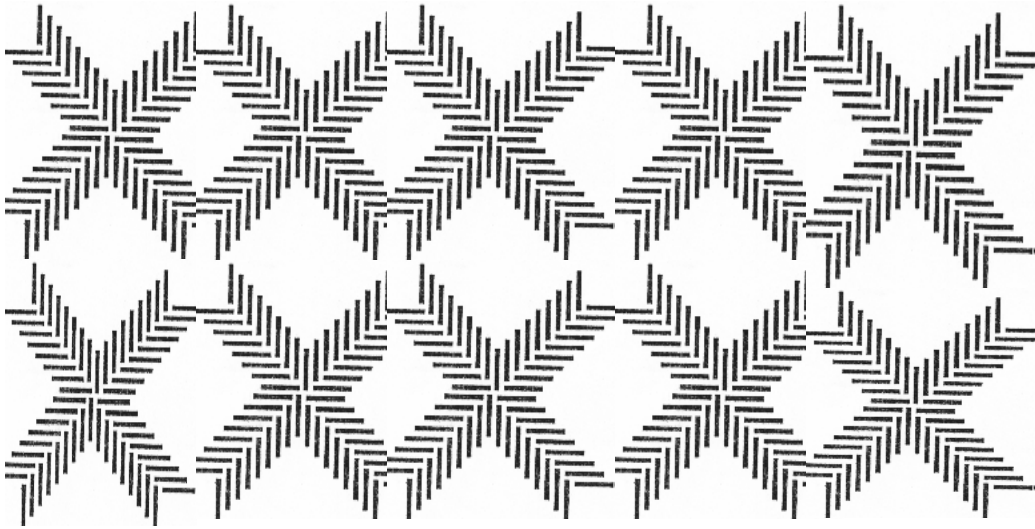


الشكل ٦ب



الشكل ٦أ

الشكل ٦ أ: يبين الوحدات البنائية الأساسية (الأساس) للحلقة الثانية والتي بتكرارها وفق المعادلة ٧ نحصل على التركيب البنائي للحلقة الثانية.
الشكل ٦ ب : يبين الجزء المركزي من التركيب البنائي الأساسي للحلقة الثانية والمبين في الشكل ٧.



الشكل ٧: التراكيب البنائية للحلقة السادسة والتي تمنح الحلقة رد فعل قوي ضد تأثيرات الميلان وتحمل ثقل الجزء العلوي من المئذنة.

صيانة مئذنة الحدباء

إن صيانة مئذنة الحدباء مسألة في غاية الإلحاح، نظرا للميلان الذي تتعرض له المئذنة، بفعل تغير طبيعة التربة الساندة لها. فمبنى الحدباء، بالعبقرية التي بنى بها وأسلوب بنائها الفريد ، قد استطاع أن يصمد، أمام شتى عوامل البيئة الطبيعية دون تأثير كبير (عدا عوامل التعرية والتي أثرت على الجزء السطحي منه دون أن تعرض المبنى للخطر). أما اليوم فإن التخريب البيئي، يعرض المبنى برمته للخطر وما الميلان في المنارة إلا جرس إنذار لذلك. إن أي صيانة للمبنى ينبغي أن تضع في اعتبارها ما يلي :

- ١ - أن المبنى ككل مترابط مع بعضه بشكل قوي جدا كالنسيج القوي وهو مجهز ليقاوم العوامل الطبيعية والهزات الأرضية وكل ذلك يكمن في أسلوب البناء الفريد والمرتكز على تفهم للقوى التي تنشأ عن ترتيبات الطابوق .
- ٢ - وجود التراكيب البنائية والتي تقوم مقام التسليح مسألة لا بد من تفهمها بالعمق الكافي وأن لا ينظر إليها كزخارف فقط، وأنها هي التي منحت المئذنة عنصري المرونة والصلابة التي مكنت هذا المبنى الشامخ من الصمود كل هذه القرون.
- ٣ - إن أية صيانة للمئذنة، ينبغي تراعي، أن التأثير على أي جزء سيؤثر على الأجزاء الأخرى من المئذنة. وهكذا فإن صيانة الجزء ينبغي أن تكون في إطار من تفهم التأثير على كل المبنى.

الاستنتاجات

- ١- إن مئذنة الحدياء مبنى فريد بني بعقريية علمية ، والتي وفرت له شروط الصمود.تمثلت في تفهم أن التناظرات في صف سوف تؤدي إلى ظهور تركيبات بنائية تشبه الترتيبات البنائية للذرات في البلورات والتي تسمى شببيكات، وهذه التركيبات البنائية تمنح المبنى قوة تشبه القوة التي يمنحها التسليح لأبنية اليوم.
- ٢- إن صف الطابوق في الحلقة الأول الطابوق راعي بشكل كبير الدور التي تلعبه الحلقة الأولى بالنسبة للمئذنة. وقد جاء من خلال تكرار وحدة بنائية أساسية تتكون من قطعتي طابوق بينهما زاوية قائمة.وأدى ذلك إلى ظهور تراكيب سنبلية ممتدة بزواوية ٤٥ درجة مع الأفق قدمت شدا كبيرا لجدار الحلقة ضد الدفع نحو الخارج والكبس نحو الأسفل.
- ٣- الوحدة البنائية الأساسية معاكسة، في الاتجاه لتلك التي في الحلقة الأولى. واستخدم متجه انتقال شببيكي أدى إلى ظهور تصالبات تشبه الموجودة في الجسور الحديدية. وتراعي عوامل الزيادة في الارتفاع.

٤- صيانة المبني ينبغي أن تتفهم الأسلوب الفريد الذي بنيت به المئذنة من ناحية دور التراكيب البنائية للمنارة و أساسها العلمي.

المصادر

- ١ - الجمعة، أحمد قاسم، الدلالات المعمارية وتجديرها الحضاري، ١٩٩٢، موسوعة الموصل الحضارية، الجزء الثالث، جامعة الموصل، ص ٣١٩.
 - ٢ - الجمعة، أحمد قاسم، المآذن، ١٩٩٢، موسوعة الموصل الحضارية، الجزء الثالث، جامعة الموصل، ص ٢٩٦.
 - ٣ - سليمان، عامر ١٩٩١، منطقة الموصل في الألف الثاني قبل الميلاد، موسوعة الموصل الحضارية، الجزء الأول، جامعة الموصل، ص ٦٧.
 - ٤ - سليمان، عامر ١٩٩١، منطقة الموصل في النصف الأول من الألف الثاني قبل الميلاد، موسوعة الموصل الحضارية، الجزء الأول، جامعة الموصل، ص ٨٢.
 - ٥ - الإمام، بسام محمود، ٢٠٠١، منارة الحدباء وأسرار صمودها عبر التاريخ جريدة نينوى كانون أول.
 - ٦ - الجنابي، صلاح حميد، ١٩٩١، تحليل موضع مدينة الموصل،، موسوعة الموصل الحضارية، الجزء الأول، جامعة الموصل، ص ٦٠.
 - ٧- الإمام، بسام محمود، منارة الحدباء دراسة تركيبية مجلة أوراق موصلية مجلد ٢، العدد ٢، ٢٠٠٢ مركز دراسات الموصل.
- 8 - Kittle ، C.، 1986، Introduction to Solid State Physics، 6th edition، John Wiley and Sons،New York.
- 9 - Sirotin، Yu. I.,1982، Fundamentals of crystal physics،Mir Publisher، Moscow.