

دراسة استقرارية منارة الحدباء تحت تأثير عوامل متعددة

د. محمد طيب حسين الليلة*، د. سهيل إدريس خطاب* و أمينة احمد خليل*

تاريخ التقديم: 2009/ 12/2

تاريخ القبول: 2010/ 5/ 6

الخلاصة

تعد منارة الحدباء من الأثار المهمة والمعالم القديمة في مدينة الموصل والتي تمتاز بجمالها وارتفاعها انشأت هذه المنارة سنة 1172م . حاليا تعاني المنارة من تشققات في مناطق مختلفة كما أن هناك انهيار جزئي في الدرج الخارجي وكذلك القبة العليا مع ميلان وانحراف المنارة حيث أصبح وضع المنارة مخيفا و يهدد سلامتها. يهدف البحث الحالي إلى تحليل استقرارية المنارة تحت تأثير خصائص التربة المحيطة بأساس المنارة وتأثير ذلك على توزيع القوى في جسم المنارة وبالأخص الجزء الاسطواني على اعتباره أكثر الأجزاء تأثراً بهذه التغيرات. اخذ بنظر الاعتبار تأثير وزنها مع القاعدة الموشورية والأساس فضلا عن الأحمال الخارجية والأحمال الإضافية الناتجة عن أعمال ترميم المنارة وقد اعتمدت طريقة العناصر المحددة باستخدام برنامج ANSYS ولقيم مختلفة لسرع الرياح.

مثل جسم المنارة والأساس ككتلة مترابطة لا يمكن فصلها. كما تم إدخال الشكل الحالي للمنارة من حيث الميل والتغير في أبعادها مع الارتفاع للجسم الاسطواني للمنارة فضلا عن دراسة تأثير تغيير طبيعة التربة المحيطة بأساس المنارة وارتفاع منسوب المياه الجوفية في المنطقة المحيطة بالمنارة. أوضحت النتائج أن جزء التربة المحيط بأساس المنارة والممتد من مستوى سطح الأرض ولعمق (4.3-9.8m) هي عبارة عن تربة ردم وهي ضعيفة وحماية على مواد عضوية وفجوات وهذا الجزء تأثيره قليل على توزيع القوى. كما أظهرت النتائج أن الجزء الاسطواني للمنارة تحت قوة ضغط في جهة الميلان والمعاكسة لاتجاه الرياح عند أسفل الجزء الاسطواني وان هنالك مواقع تحت قوة شد في الجهة المقابلة لاتجاه الرياح في أسفل الجزء الاسطواني. كما أظهرت النتائج أن هنالك قوة أفقية بقيم عالية عند أسفل زاوية القاعدة الموشورية في الجهة الشرقية وقيم عالية عند سرعة الرياح العالية وهذه القوى أدت إلى دوران المنارة.

الكلمات المرشدة: منارة الحدباء، أبنية أثرية، ميلان المنائر، ANSYS، صيانة الأبنية الأثرية.

Stability of Al-Hadba minaret a-parametric study

Abstract

Al-Hadba minaret in MOSUL City is one of the famous and oldest Islamic monuments in the city. This minaret suffers from cracks in different places and partial collapse in the outer stairs and in the upper dome. In addition to that, the minaret is suffering from leaning. In this research the stability analysis, displacement, and stress distribution were investigated using ANSYS 11 program to represent the effect of external loads, and loads from maintenance work. In the analysis the minaret and its foundation were considered as a one unit. Further more, the effect of changing the nature of surrounding soil was investigated.

Results showed that the underground soil around the foundation is fill and very loose material containing high percent of organic material and cavities. This formation is extend down to (4.3-9.8 m) below the ground surface and have no pronounce effect on the stability of the minaret .The analysis showed that the

maximum compressive stress at the base of minaret in the inclination direction of the minaret, where the opposite direction is under tension and the highest value was at the base of cylindrical part.

Keywords: Al-Hadba minaret, rune building, leaning minaret, ANSYS, maintain of ancient.

- 2- عام 1969 1.64 م
3- عام 1981 2.19 م
4- عام 1997 2.50 م
5- عام 2007 2.53 م

يبلغ ارتفاع منارة الحدباء الكلي (47.8m) وتتكون من ثلاثة أجزاء رئيسية : أولها القاعدة الموشورية المتكونة من جزئين الجزء السفلي يبدأ من سطح الأرض ويرتفع بحدود 9.8 m وهذا الجزء مبني من الحجر والجص والنورة وقد تم تغليفه من قبل الايطاليين بحجر الحلان. والجزء الأخر من القاعدة هو أيضا قاعدة موشورية فوق الجزء الأسفل وترتفع فوق القاعدة الأولى وتمتد إلى الارتفاع 17.45m وهو مبني من الطابوق والجص والنورة ويعتقد أن هذا الجزء أضيف لاحقا بعد أن لاحظ أهالي المدينة أن المنارة بدأت بالميلان.

الجزء الاسطواني والمكون من جسم اسطواني مجوف بقطر خارجي في الأسفل اكبر منه في الأعلى وبسمك متغير في الأسفل عنه في الأعلى إضافة إلى ذلك هناك عمود اسطواني مركزي صلب (اللب) يبدأ عند الارتفاع 9.8m تقريبا وبقطر متغير في الأسفل منه في الأعلى ويمتد لمسافة 43.2m وفي مركز العمود هنالك قطع خشب هي جذوع أشجار تمتد على طول العمود المركزي . يربط الجزء الاسطواني المركزي (اللب) والجدار الخارجي للجسم الاسطواني سلميين حلزونيين ينتهيان في أعلى المنارة بصحن دائري. وقد استخدم في إنشاء السلميين الحلزونيين الحجر مع مونة الجص والنورة مع استخدام درجة من الخشب كل 4-5 درجات.

أما الجزء الثالث الذي هو أعلى المنارة مكون من صحن دائري مغطى بجزء اسطواني مجوف وعليه قبة نصف كروية.

المقدمة

تعتبر المآذن والأبراج العالية حالة خاصة من حالات الأبنية والمنشآت المعروفة في العالم والتي قد تكون بمقاطع اسطوانية، مربعة ، أو مضلعة مبنية من الحجر، الطابوق مع الجص والنورة، أو الكونكريت. تتأثر اغلب المباني ذات الارتفاعات العالية مثل الأبراج والمآذن بعدد من الأحمال أهمها أحمال الرياح (Wind Load) والتي تسبب قوى القص (Shearing Force)، وقوى الشد (Tension Force)، وقوى الضغط (Compression force) إضافة إلى التغيير الحراري والذي يساهم في هذه القوى.

كما قد تعود جزء من حالات الميلان في المباني إلى مشاكل في التربة. فقد تكون نوعية التربة مختلفة تحت الأساس وبذلك فإن توزيع الاجهادات تختلف، كما إن قوة الرياح في اتجاه معين يولد اختلاف في قيمة ضغط الماء (Pore Water Pressure) تحت الأساس ومع استمرار مثل هذه الظاهرة فقد يتولد هبوط غير متجانس في التربة تحت الأساس.

نبذة تاريخية عن منارة الحدباء

أنشئت منارة الحدباء عام 1172م وتعد من المآذن المشهورة في العالم العربي والإسلامي بسبب ارتفاعها الشاهق و ميلها وجمال الأشكال الزخرفية التي تغطي كامل بدنها وجزء من قاعدتها ولا يوجد ما يشير متى بدأت المنارة بالانحراف. كما وتبين القياسات التي أخذت لميل المنارة منذ عام 1964م وحتى وقت قريب بأن ميل أعلى المنارة عن مركزها مع المنسوب العلوي للقاعدة قد ازدادت من 1.4m إلى 2.53m كما أن الميلان غير منتظم ومقدار الميل كما موضحة أدناه: [1,2]

- 1- عام 1964 1.40 م

وقد أعيد بناء هذا الجزء بالحجر والجص بعد أن تعرضت أجزائه إلى الانهيار وبني بشكل عمودي وهو بهذا يخالف تحذب المنارة والشكل (1) يوضح مخطط لأجزاء المنارة. إن طريقة بناء المنارة بهذه الضخامة والارتفاع جعل لها قوة ومثانة إضافة إلى استقراريتها. كما أن التكوين الإنشائي لبدنها الاسطواني الذي يكون كتلة مترابطة بين الجدران الخارجية والمحور الوسطي حيث أن الربط بينهما يتم بواسطة سلميين حلزونيين إضافة إلى استعمال رباطات خشبية مثبتة بالجدار الخارجي من جهة والعمود الوسطي من جهة أخرى لغرض إعطاء قوة وإسناد إضافية للجدران الخارجية إضافة إلى بعض المرونة. [3]

تذكر المصادر إن عدد من الترميمات قد أجريت من أجل الحفاظ على المنارة منذ تاريخ إنشائها ولحد وقتنا الحالي ولم توثق، نذكر منها الصيانة التي أجريت سنة 1920 م من قبل أهالي المدينة كما إن الشركة الإيطالية [4] في عام 1981م قامت بصيانة المنارة والتي شملت تقوية كل من بدن وأساس المنارة كما ذكرت بذلك الشركة. أجريت دراسات قليلة حول القوة المتولدة على بدن المنارة من الناحية الإنشائية كدراسة (LIZZI, F & CARNEVALE, G., 1981) وهي الدراسة التي تمت من قبل الشركة الإيطالية. أظهرت النتائج أن قيم الاجهادات المتولدة في الجزء الاسطواني من جسم المنارة دون إدخال أساس المنارة بنظر الاعتبار ولحالتين: الأولى ناتجة من وزن المنارة فقط والثانية ناتجة من وزن المنارة مضافة إليه تأثير قوة الرياح. أن جسم المنارة الاسطواني وابتداءً من القاعدة وفي الجهة المقابلة للرياح تحت قوة شد وبمدى 10m تحت تأثير وزن المنارة فقط و 17m تقريباً تحت تأثير وزن المنارة مضافة إليه تأثير قوة الرياح وإن أكبر إجهاد ضغط كانت بمقدار 1064 kN/m^2 وأكبر إجهاد شد كان بمقدار 246 kN/m^2 عندما كانت سرعة الرياح المسلطة 90 Km/hr . [4]

كما أجرى المكتب الاستشاري الهندسي/جامعة الموصل دراسة حول واقع حال المنارة في عام 1998 تحت تأثير وزن المنارة مع وجود الانحناء في جسم المنارة حيث تم عمل نموذج رياضي لتمثيل جسم المنارة لحد مستوى سطح الأرض فقط (دون إدخال تأثير أساس المنارة أيضاً كالدراسات التي سبقتها) باستخدام برنامج SAP86. أظهرت النتائج إن أكبر إجهاد ضغط كان بمقدار 1734 kN/m^2 وأكبر إجهاد شد كان بمقدار 252 kN/m^2 عندما كانت سرعة الرياح المسلطة 125 Km/hr . [2]

أما في الدراسة الحالية فقد اجري التحليل لبدن وأساس المنارة تحت تأثير وزنها فضلاً عن الأوزان الإضافية (قضبان الحديد، مزيج الأسمنت والرمل) نتيجة لأعمال الصيانة العديدة اخذين بنظر الاعتبار جسم المنارة والأساس ككتلة مترابطة لا يمكن فصلها ولسرعة مختلفة من الرياح هي (36, 54, 65, 72, 90, 108, 125 Km/hr) كذلك أدخلت خواص التربة المحيطة بالأساس والتربة التي تحت أساس المنارة في عملية التحليل. كما تم التحليل وإيجاد القوى المتولدة على جسم المنارة في حال القيام بتحسين خواص التربة المحيطة بالأساس.

الوصف الإنشائي للمنارة

تتكون المنارة من جسم اسطواني مجوف بقطر خارجي 5.35m في الأسفل و قطر خارجي 3.8m في الأعلى وبسمك متغير من 0.92m في الأسفل إلى 0.8m في الأعلى إضافة إلى جزء مركزي اسطواني صلد بقطر 1.9m في الأسفل عند الارتفاع 8.9m يصبح 0.75m في الأعلى عند الارتفاع 43.2m. يربط بين الجزء المركزي والجدار الخارجي سلميين حلزونيين ينتهيان في الأعلى بصحن دائري عليه جزء اسطواني مجوف ذات قبة نصف كروية. ترتكز المنارة على قاعدة موشورية بإبعاد 9*9 m عند مستوى سطح الأرض وتتغير تدريجياً إلى 8.7*7.8m عند الارتفاع 5.9m ثم تصبح 8.2*7.6m عند ارتفاع 9.8m ثم تصبح 7.9*7.1m عند الارتفاع 17.45m. ترتكز القاعدة الموشورية على أساس موشوري مدرج بإبعاد 15*15m في الأسفل.

واقع المنارة الحالي

تعاني المنارة من تشققات في مناطق مختلفة كما أن هنالك انهيار جزئي لأجزاء منها إضافة إلى ميلانها والذي ازداد مع الوقت بحيث أصبح مخيفاً ويهدد سلامة المنارة. لوحظ من خلال الزيارات الميدانية وجود شقوق في كل من الجانب الشرقي والجنوبي للقاعدة الموشورية والجدار الخرساني المسلح المحيط بالقاعدة السفلى (نفذ من قبل الشركة الإيطالية سنة 1981) كما لوحظ أيضاً وجود شقوق في القبة لأعلى المنارة. الشكل (2) يوضح شكل وميل المنارة من جهات مختلفة التقطت من قبل الباحثين كما ويظهر الشكل أيضاً مواقع الشقوق الموجودة. استخدم الحجر والطابوق والجص والنورة كمادة رابطة في إنشاء جسم المنارة والقاعدة الموشورية والأسس تحت مستوى الأرض.

أدت عدة عوامل ربما إلى ميل المنارة بهذا الشكل منها:

1. تأثير الرياح والتي أدت إلى ظهور ميلان في بعض المنائر في الموصل ومنها

منارة الحدياء وبتجاه حركة الرياح تقريباً وكما بينت الدراسة التي قام بها الدكتور خالد الشيخ علي. [6]

2. تأثير تغير درجات الحرارة اليومي والفصلي وكذلك تغير نسبة الرطوبة على المواد المستخدمة في بناء جسم المنارة.

3. عوامل بيئية مثل تسرب مياه الأمطار في الشقوق الموجودة في المنارة مع إهمال أعمال الصيانة لها. وكذلك عوامل بيئية أخرى من اهتزازات وغازات والتي أثرت تأثيراً سلبياً على المنارة.

4. المياه الجوفية التي ارتفعت إلى ما يقارب 5m تحت سطح الأرض ومصدر هذه المياه آتية من النضوح من أنابيب المياه وكذلك مياه الصرف الصحي وتسير إلى منطقة أساس المنارة وهذه المياه تجري بسرعة لكون المنطقة التي تتسرب منها المياه مرتفعة عن منطقة المنارة. إن هذه المياه أدت إلى جرف أجزاء من التربة مما أدى إلى تكون فراغات في منطقة أساس المنارة كما وأنها أضعفت مواد البناء.

وصف أساس المنارة وخصائص التربة تحت الأساس

أجريت تحريات للتربة في الجهة الجنوبية الشرقية وذلك للكشف عن أساس المنارة وظهر أن أساس المنارة مبني من الحجر والجص مع النورة كمادة رابطة يمتد إلى عمق 2m بنفس أبعاد القاعدة عند سطح الأرض ثم يتسع بمقدار 2m ويمتد إلى الأسفل بمقدار متر واحد ويتسع متر واحد وإذا فرضنا أن نفس الزيادات تتكرر في الاتجاهات الأخرى فهذا يعني أن أبعاد الأساس 15m*15m. ومن دراسة طبيعة طبقات التربة وفي مناطق حول المنارة وكذلك من المعروف تاريخياً أن أسس مثل هذه المنشآت يقترّب من شكل المكعب تقريباً فإن الأساس يمتد إلى عمق يقارب 16m تحت مستوى الأرض يجلس على طبقة حصوية.

قامت أكثر من جهة بإجراء تحريات التربة فشرية فوندايل الإيطالية والمكتب

الجنوب والجنوب الشرقي أدى إلى تفاقم المشكلة.

التحليل باستخدام طريقة العناصر المحددة

تعد طريقة العناصر المحددة من طرق التحليل العددي التي يتم استخدامها لإيجاد الحلول التقريبية للعديد من المسائل والتي من الصعب إيجاد الحلول الدقيقة لها باستخدام طرق الحل التقليدية. إن طبيعة الحل باستخدام هذه الطريقة والدقة المطلوبة للحل لا تعتمد على حجم العنصر المستخدم في الحل وعددها بل تعتمد على دالة الشكل التي يتم اعتمادها في الحل لأن اختبارها يجب أن تحقق الاستمرارية في قيم المتغيرات أو مشتقاتها عند حدود العناصر المتجاورة.

في هذا البحث أستخدم برنامج ANSYS/11.0 وهو برنامج تحليلي يعتمد على طريقة العناصر المحددة في الحل ومجهز بقاعدة بيانات ومكتبة ضخمة تحتوي على عدد كبير ومتنوع من العناصر التي يمكن من خلالها تمثيل مسائل مختلفة بحيث يتمكن المهندس من إنجاز مهام عديدة وعلى نحو واسع في مجال الهندسة المدنية وغيرها من فروع الهندسة.

أستخدم العنصر (Solid185) لتمثيل كل من الأساس وجسم المنارة المكون من القاعدة الموشورية والجزء الاسطواناني (القشرة، الدرج، الجزء المركزي الاسطواناني الصلد اللب). في حين أستخدم العنصر (Solid45) لتمثيل طبقات التربة التي تحيط بالمنارة وكذلك التربة التي يستند عليها الأساس.

الشكل (3) يوضح مخطط لجسم المنارة مع القاعدة الموشورية والأساس بالإضافة إلى طبقات التربة التي فرض أنها ممتدة إلى مدى (25m) من جميع الجهات المحيطة بأساس المنارة.

خصائص المواد الإنشائية المكونة للمنارة والمستخدم في التحليل موضحة في الجدول (1)، أما خصائص طبقات التربة

الاستشاري الهندسي/ جامعة الموصل وشركة الفرات / وزارة الري (بإشراف المكتب الاستشاري الهندسي/ جامعة الموصل) وكذلك المركز القومي للمختبرات الإنشائية. وكانت نتائج شركة الفرات والمركز القومي متقاربة. ويمكن القول من خلال الدراسات السابقة والخبرة الميدانية لأحد الباحثين في الموضوع بأن التربة بشكل عام تتكون من خمسة أنواع هي:

الطبقة العليا وهي تحت سطح الأرض مباشرة (Filling material, and very loose material) متكونة من مواد ضعيفة جدا وهي أنقاض مواد بناء قديمة ومواد عضوية مع وجود فراغات (Cavities) وسمك هذه الطبقة يتغير من (4.3-9.8 m). بعد هذه الطبقة ظهرت طبقة طينية ذات لون بني وتحتوي على قطع صغيرة من $CaCO_3$ (Brown silty clay with organic material) وسمكها يتغير من (2.8-1.2 m) وصنفت على أنها CL حسب التصنيف الموحد. تحت الطبقة الطينية ظهرت طبقة من الرمل (Coarse to medium sand) تدرجه خشن إلى متوسط وسمك يتغير من (1.9-0.8 m). بعدها تحولت التربة إلى مزيج من الحصى والرمل ومواد ناعمة (Mixture of gravel, sand, and fine materials) وسمكها بالقرب من أساس المنارة (2-9 m). أما الطبقة الأخيرة فكانت من المارل ذات لون يميل إلى الأزرقاق وصنفت على أنها CL حسب نظام التصنيف الموحد.

أما مستوى المياه الجوفية فكان ما بين 4.5 m إلى 6 m تحت سطح الأرض للفترة ما بين عام 1981-1998. في حين حدد منسوب المياه الجوفية على عمق 4.5 m تحت سطح الأرض في عام 1998م ومن التحريات التي أجريت في ذلك الوقت. إن ارتفاع مستوى المياه الجوفية قد أثر على تماسك المواد البنائية تحت سطح الأرض. كما إن استمرار ارتفاع المياه الجوفية في الموقع وحركتها في اتجاه

الرياح من (36-90 Km/hr) فإن أعلى قيم لقوى الشد عند أسفل القاعدة الاسطوانية كانت ($65-418 \text{ kN/m}^2$). كما ويلاحظ من الشكل (6) إن الجزء الاسطواني من جسم المنارة في الجهة المعاكسة لاتجاه الرياح يقع تحت قوة ضغط وأعلى قيمة للقوى هو ($1127.3-2743.7 \text{ kN/m}^2$) عند أسفل القاعدة الاسطوانية للجزء الاسطواني عندما تكون سرعة الرياح (108-125 Km/hr) على التوالي في حين كانت أعلى قيم لقوى الضغط عند أسفل القاعدة (110.2-466 kN/m^2) عندما تتغير سرعة الرياح من (36-90 Km/hr). علماً إن قوة تحمل الطابوق للانضغاط يتراوح بمدى (-6700 kN/m^2) [7] لم يلاحظ من المشاهدات الحقلية فشل في الطابوق أما المواد الرابطة فلم يتم قياس قوة تحملها والذي يتوقع أن يحدث فيها الفشل وان هذا الفشل ناتج عن الإزاحة التي تحدث في جسم المنارة إضافة إلى القوى التي ذكرت سابقاً (علماً إن معظم التشققات التي تم ملاحظتها كانت في المواد الرابطة).

من جانب آخر بينت النتائج الموضحة في الشكل (7) قيم القوى المتولدة في الجزء الاسطواني المركزي الصلد والذي يقع تحت قوى ضغط وأعلى قيمة للقوى هو (-316 kN/m^2) عند أسفل القاعدة للجزء الاسطواني عند سرعة الرياح (108-125 Km/hr). في حين كانت أعلى قيم لقوى الضغط لهذا الجزء عند أسفل القاعدة الاسطوانية هو ($17-175 \text{ kN/m}^2$) ولباقي قيم السرعة المختارة في البحث. من الملاحظ إن أعظم قوة شد تم الحصول عليها في التحليل نتيجة وزن المنارة فقط دون تأثير قوة الرياح كانت (120.7 kN/m^2) في حين تم حسابها من قبل الشركة الإيطالية في عام 1981 بقيمة (50 kN/m^2) و بقيمة (104 kN/m^2) في عام 1998 من قبل المكتب الاستشاري الهندسي / جامعة الموصل.

فموضحة في الجدول (2) أما تغير طبقات التربة من التحريات المختلفة فموضحة في الشكل (4). حساب قوة الرياح المسلطة كانت باستعمال المعادلة المبينة أدناه على اعتبار أن سرعة الرياح (36, 54, 65, 72, 90, 108, 125 Km/hr) [5].

$$F=C_d * A * \rho * V^2/2$$

F:Total Drag Force (N) قوة الرياح
A:Project Area of the Vertical Cross Section (m^2) مساحة المسقط العمودي للمنارة

ρ :Air density (Kg/m^3) كثافة الهواء
V:Wind velocity (m/sec) سرعة الرياح

$C_d=0.8$ معامل معتمد على نسبة (طول/ قطر) أي سطح اسطواني معرض إلى قوة رياح

مناقشة النتائج

تأثير تغيّر سرعة الرياح

لدراسة تأثير تغيّر سرعة الرياح والتي هي من القوة المؤثرة على بدن المنارة والتي تنتقل كقوة ضغط اضافية إلى التربة إضافة إلى وزن المنارة. تم تسليط سبعة قيم لقوة الرياح على فرض أن قيم سرعة الرياح (36, 54, 65, 72, 90, 108, 125 Km/hr).

أظهرت النتائج الموضحة في الشكل (5) قيم القوة المتولدة في الجزء الاسطواني في الجهة المقابلة لاتجاه الرياح والتي توضح أنها قوى شد تمتد من أسفل القاعدة الاسطوانية ولحد (17.5m) من جسم المنارة وبأعلى قيمة لها عند أسفل القاعدة الاسطوانية وبمقدار (1164-2658 kN/m^2) عندما تكون سرعة الرياح (-108-125 Km/hr) على التوالي ويعد ذلك مؤشر خطير لوضعية المنارة حيث إن قوة تحمل الطابوق للشد تتغير من (500-1200 kN/m^2) [7]. وفي حالة تغيّر سرعة

أسفل القاعدة ($110.2-466 \text{ kN/m}^2$) على التوالي ولمرحلتي التحليل الأولى والثانية. نظراً لما تم التوصل إليه من نتائج تشير إلى وجود دوران في المنارة وكما تم ذكرها سابقاً تم محاولة دراسة تأثير تغيير خصائص التربة للطبقة الأولى كمحاولة لاستخدام تربة بخصائص أفضل وذلك للحد من دوران المنارة وتأثير ذلك على توزيع القوة المتولدة في بدن المنارة تم تغيير قيمة معامل المرونة واستعملت القيم (100, 15000, 50000, 100000, 50000 kN/m^2) والتحليل لقوة الرياح المسلطة بسرعة (90 Km/hr).

أشارت النتائج التي تم الحصول عليها إلى زيادة في قيم الشد المتولدة على طول الجزء الاسطواني للمنارة وكما موضح في الشكل (9) حيث كانت قوة الشد بمقدار (484 kN/m^2) عند اكبر قيمة لمعامل المرونة المفروضة ترافقها نقصان في قيمة الضغط الأفقي في أسفل زاوية القاعدة الموشورية المقابلة للدرج في الجهة الشرقية حيث أصبحت بقيمة (368 kN/m^2) وهذا يؤدي إلى تقليل العزم الذي يسبب دوران للمنارة. مع امتداده الشد على طول الجزء الاسطواني لمسافة أكثر من 17.5m حيث قد تصل في حالات أن معظم الجزء الاسطواني للمنارة يقع تحت قوة شد والى مسافة 23.5m وكما موضح في الشكل (10). وعليه فان منع حركة أساس المنارة بواسطة ردم المنطقة المحيطة حول أساس المنارة بتربة ذات خصائص أقوى أو عمل تحشية سوف يزيد من قوة الشد التي تتولد على الجزء الاسطواني ويسبب خطورة لسلامة وثبوتية المنارة.

الاستنتاجات

من خلال التحليل بطريقة العناصر المحددة لدراسة استقرارية منارة الحدياء وتغيير خصائص التربة المحيطة بالأساس ولقوى متعددة من سرع الرياح المسلطة واعتماداً على النتائج التي تم الحصول عليها يمكن الوصول إلى الاستنتاجات الآتية:

دراسة دوران المنارة

أظهر التحليل أن هنالك ضغط أفقي عالي في أسفل زاوية القاعدة الموشورية قرب الدرج الخارجي في الجهة الشرقية وبقيمة (435 kN/m^2) عندما كانت القوة المسلطة على جسم المنارة عند هبوب الرياح بسرعة (90 Km/hr) مما سبب ظهور قوة عزم سببت دوران للمنارة وبمقدار 2.56° . ومن خلال الزيارات الميدانية للباحثين لوحظ ما يؤكد ذلك من وجود شقوق في الجدار الكونكريتي المغلف للقاعدة الموشورية في تلك المنطقة كما لوحظ أن هنالك قوى قص في الجدار تحت الدرج والذي سبب قطع لقضبان التسليح للجدار كما يظهر في الشكل (8).

تغيير خصائص التربة المحيطة بأساس المنارة

لدراسة استقرارية المنارة مع تغيير خصائص التربة المحيطة بأساس المنارة ولقيمتين مختلفتين من قوة الرياح المسلطة عند السرعتين (30, 90 Km/hr) تم التحليل على مرحلتين: الأولى إدخال تأثير الطبقة الأولى والمكونة من (طبقة تربة الردم وطبقة المواد ضعيفة جداً) وبخصائصه الموضحة في الجدول (2) كما تم توضيحها في فقرات سابقة والتي هي عبارة عن تربة ردم حاوية على نسبة عالية من المواد العضوية والفراغات، أما المرحلة الثانية فقد أعيد الحل على اعتبار أن الطبقة مهمة في التحليل.

أظهرت النتائج أن هذه الطبقة ليست لها تأثير مهم في التحليل وإنها لا تتحمل أي قوى أو إجهادات حيث تم الحصول على نفس قيم توزيع الإزاحات والاجهادات على جسم المنارة لقيمتي قوة الرياح المسلطة المختارة (36, 90 Km/hr) حيث كان أعلى قيم لقوى الشد عند أسفل القاعدة الاسطوانية ($65-418 \text{ kN/m}^2$) على التوالي وان أعلى قيم لقوى الضغط عند

وضغط مازالت ضمن مدى تحمل هذه المواد الإنشائية (الطابوق) وللقيم التي تم استخدامها في البحث، أما إذا تغيرت قوة التحمل نتيجة التغيرات البيئية فإن الأمر يتطلب إعادة دراستها.

المصادر

- [1] الليلية، محمد طيب حسين، " منارة الحدياء"، وقائع الندوة العلمية في مركز دراسات الموصل - جامعة الموصل، العراق، (2008).
- [2] تقارير الخدمات الاستشارية الهندسية لمشروع معالجة منارة الحدياء في الموصل، المكتب الاستشاري/ كلية الهندسة - جامعة الموصل، (1998).
- [3] الكفلاوي، سامي عبد الحسين، "الصيانة الأثرية لبعض الصروح الإسلامية"، بغداد، العراق، ص 21-35، (2004).
- [4] Lizzi, F., and Carnervale, G., "The Static Restriction of Leaning AL-Hadba Minaret in MOSUL", 3rd International Symposium on Babylen, Ashor, and Haditha, Baghdad, Iraq, (1981).
- [5] Mahmood, M. N., and Sarsam, H. H., "Leaning of Old Minarets in MOSUL City", International Conference on Case Histories in Structural Failures, CHSF89, Singapore, pp G28-G39, (1989).
- [6] AL-Shaikh, K. A., "Leaning minarets of MOSUL", Summer Journal of Archaeology and History in Iraq, Vol. 31, No. 1, PP 87-100, (1975).
- [7] "صيانة منارة الحدياء"، تقرير أولي، ديوان الرئاسة، دائرة الشؤون الهندسية، (2002).

1- إن جسم المنارة الاسطواني في الجهة المقابلة للرياح تحت قوة شد ولمسافة (17.5m) من أسفل الجزء الاسطواني عند السرعة العالية للرياح. في حين أن جسم المنارة الاسطواني في الجهة المعاكسة للرياح عليه قوة ضغط. وهذه القيم اقل من قيم قابلية تحمل الضغط والشد المقاسه للطابوق ولسرعة الرياح (30, 90 Km/hr) ولا يتوقع حدوث فشل في الطابوق وإنما الفشل سيكون في المادة البنائية الرابطة.

2- كما أظهرت النتائج أن هنالك ضغط أفقي بقيم عالية عند أسفل زاوية القاعدة الموشورية في الجهة الشرقية نتيجة ميلان المنارة بالاتجاه الجنوبي الشرقي والتي تسبب ظهور قوة عزم تعمل على دوران للمنارة وقيم عالية عند سرعة الرياح العالية وتقل هذه القيم عند محاولة إسناد أو منع حركة القاعدة ولكن بالمقابل يؤدي ذلك إلى زيادة في قيم قوة الشد في أسفل الجزء الاسطواني مع امتداده لمسافة أكبر.

3- الطبقة السطحية من التربة والممتدة لعمق (4.3-9.8 m) تقريبا لا تتحمل أي جهودات أو قوى وان محاولة تغير خصائص هذه الطبقة (ردم المنطقة) المحيطة حول أساس المنارة بتربة ذات خصائص أفضل سوف تقلل القوة المسببة للدوران في المنارة ولكن يقابله زيادة في قوة الشد التي تتولد على الجزء الاسطواني.

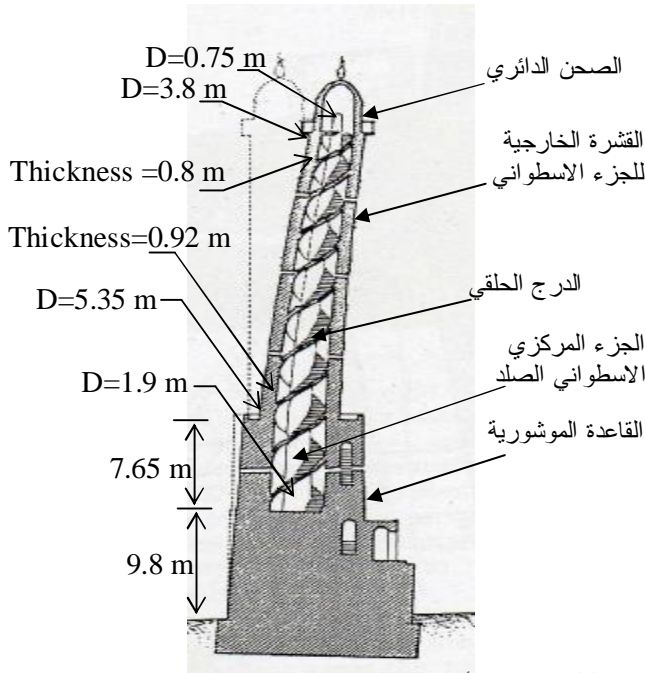
4- يتضح مما سبق وعلى الرغم من الميلان الكبير للمنارة وخطورة تأثير الرياح خاصة عند السرعة العالية، وتغير الظروف البيئية المحيطة بالمنارة والمؤثرة على المواد الإنشائية المكونة لجسم المنارة إلا أن قيم القوى المتولدة في جسم المنارة من شد

جدول(1): خصائص المواد الإنشائية المكون منها المنارة [2,3]

الأساس	القاعدة الموشورية	الجزء المركز الصلب	الدرج	القشرة الخارجية	معامل المرونة Yong Modules (kN/m ²)
7.6*10 ⁶	7.6*10 ⁶	6*10 ⁶	2*10 ⁶	1.8*10 ⁶	
0.2	0.2	0.22	0.23	0.25	نسبة بوسون Poisson's Ratio
19.60	19.60	19.60	19.60	19.60	الكثافة kN/m ³

جدول(2): خصائص طبقات التربة [1]

طبقة من المارل	مزيغ من الحصى والرمل	طبقة رملية	طبقة طينية غرينية	طبقة مواد ضعيفة جدا	طبقة من تربة ردم	معامل المرونة Yong Modules E (kN/m ²)
1.5*10 ⁷	10*10 ⁷	6*10 ⁷	1.5*10 ⁷	1*10 ²	1*10 ²	
0.35	0.35	0.3	0.4	0.498	0.498	نسبة بوسون Poisson's Ratio
19.60	18.62	18.52	17.64	15.68	15.68	الكثافة kN/m ³
20	2-9	0.8-1.9	1.2-2.8	2-5	2.3-4.8	مدى سمك الطبقة (m)



الشكل(1): مخطط توضيحي لأجزاء المنارة





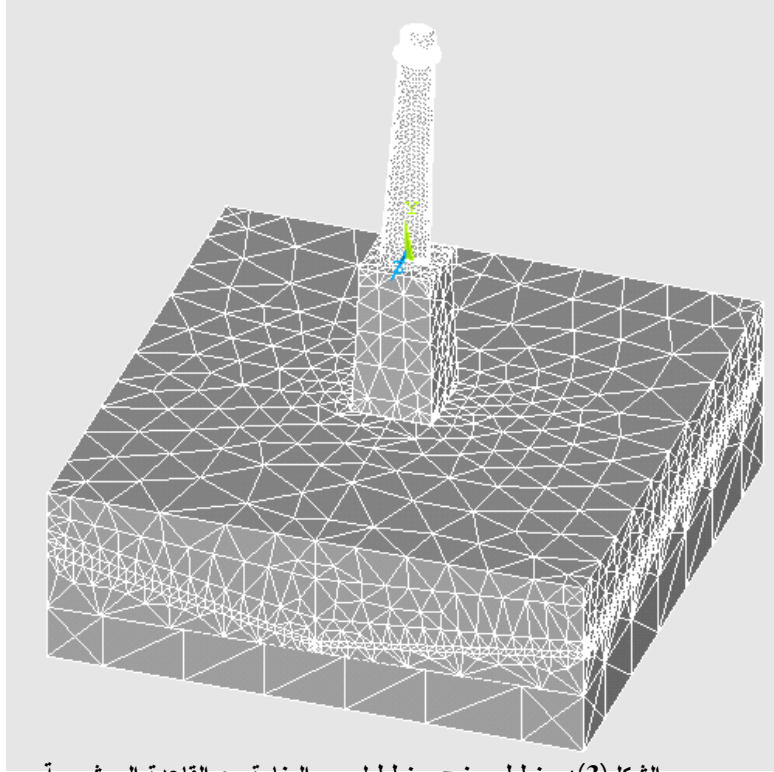
التشققات في الجهة الشمالية الغربية



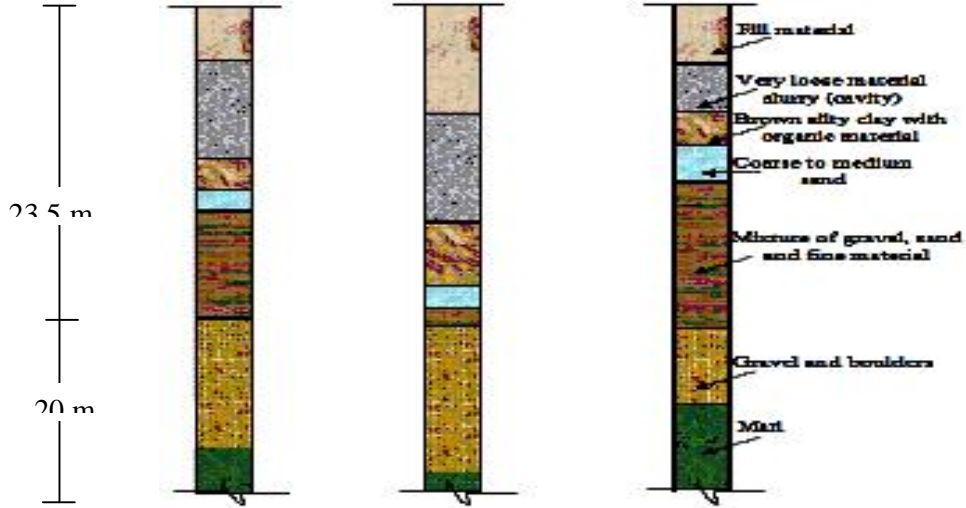
التشققات في الجدار الكونكريتي المسلح تحت الدرج

التشققات في الجهة الجنوبية الشرقية
في الجزء الأعلى من القاعدة

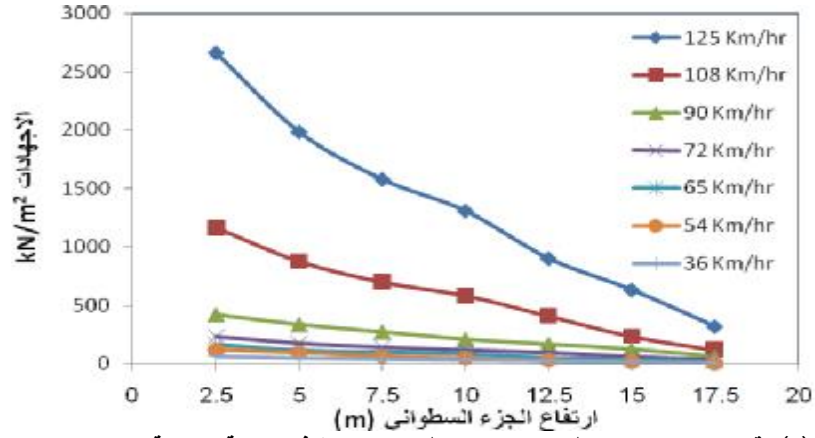
الشكل(2): صور لمنارة الحدياء موضح عليه التشققات الحاصلة فيها



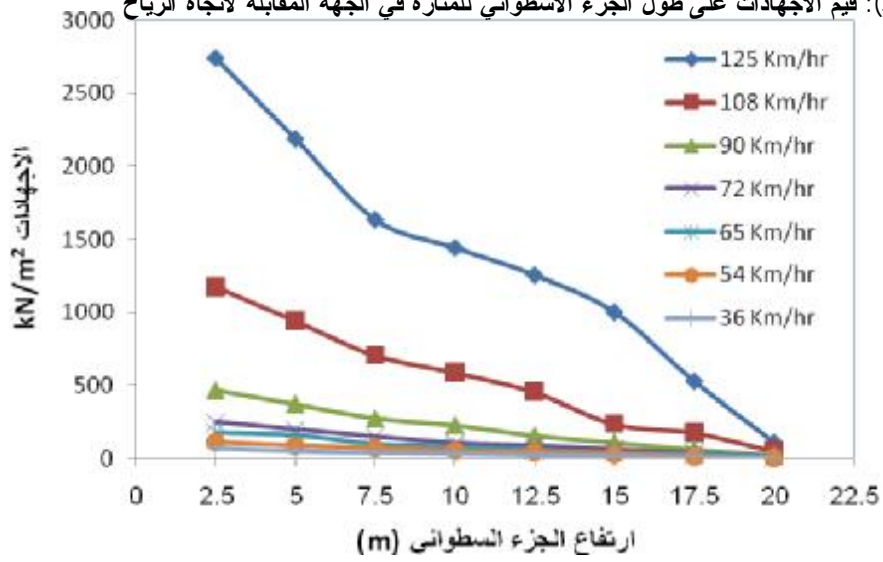
الشكل (3): مخطط يوضح مخطط لجسم المنارة مع القاعدة الموشورية
والاساس بالإضافة إلى طبقات التربة



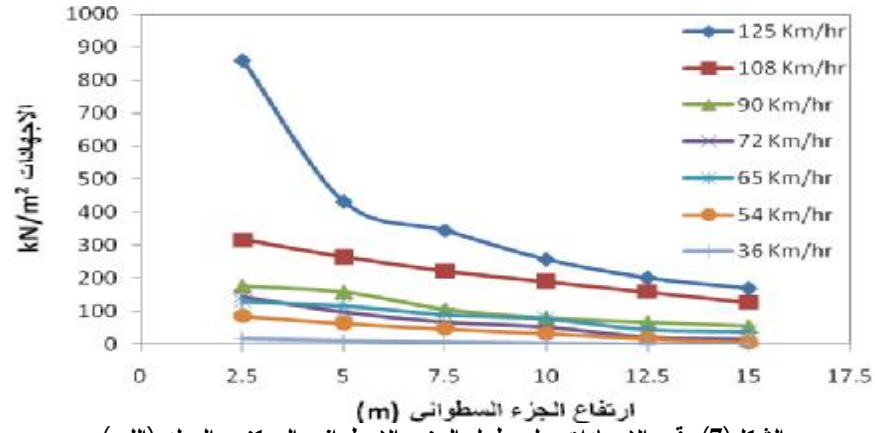
الشكل (4): مخطط يوضح طبقات التربة في مناطق مختلفة حول المنارة [1]



الشكل (5): قيم الاجهادات على طول الجزء الاسطواني للمنارة في الجهة المقابلة لاتجاه الرياح

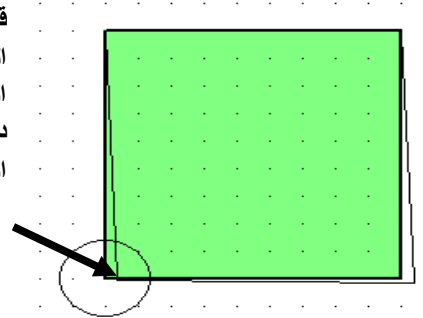


الشكل (6): قيم الاجهادات على طول الجزء الاسطواني للمنارة في الجهة المعاكسة لاتجاه الرياح



الشكل (7): قيم الاجهادات على طول الجزء الاسطواني المركزي الصلد (اللب)

قوة أفقية عالية في أسفل زاوية القاعدة
الموشورية قرب الدرج الخارجي في الجهة
الشرقية مما سبب ظهور قوة عزم تسبب
دوران للمنارة والذي سبب قطع لقضبان
التسليح للجدار.

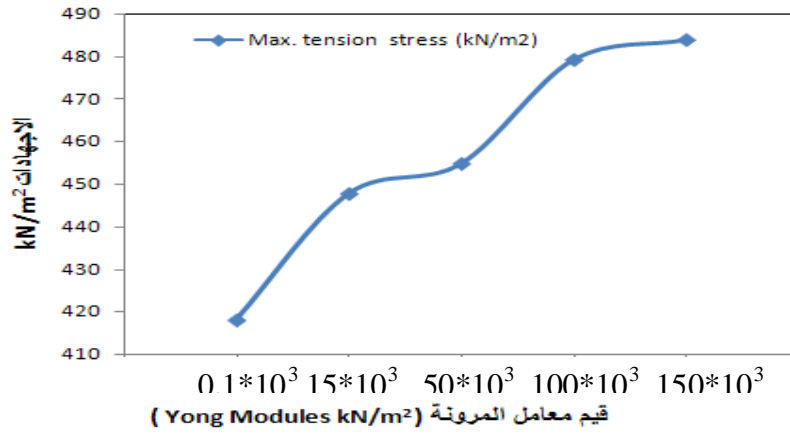


قضبان التسليح
(مقطوعة)

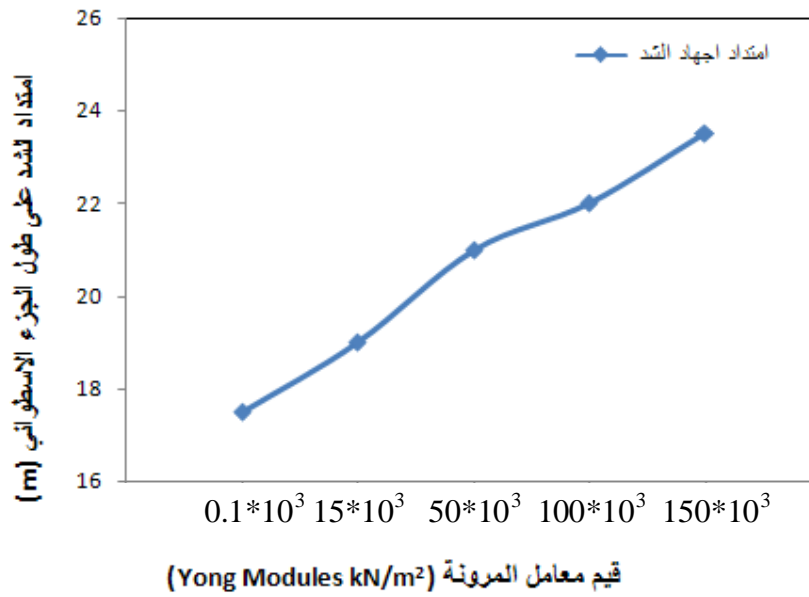


التشققات في الجدار
الكونكريتي

الشكل (8): مخطط يوضح الدوران الحاصل في القاعدة الموشورية والتشققات و قطع قضبان التسليح



الشكل (9): أعظم إجهاد شد في أسفل الجزء الاسطواني في الجهة المقابلة لاتجاه الرياح



شكل (10): امتداد اجهادات الشد في الجزء الاسطواني في الجهة المقابلة لاتجاه الرياح