

تدعيم وإعادة تأهيل منارة الزيواني في مدينة الموصل بالاعتماد على فحوصات موقعيه وتحليل انشائي متقدم

مثنى عادل نجم عبو

قسم هندسة تقنيات البناء والانشاءات، الكلية التقنية الهندسية، الجامعة التقنية الشمالية، الموصل، العراق.

abbu@ntu.edu.iq

الملخص

إن البحث في صيانة وحماية وترميم المعالم الاثرية بمدينة الموصل الواقعة شمال العراق عملية شاقة وطويلة ومتشعبة نظراً لكثرة تلك المعالم وتطور الأساليب والمناهج المتعلقة بالموضوع. وإذا أردنا الإحاطة بكافة المعالم مع تفصيلاتها وبيان مشكلاتها فإن الأمر يحتاج إلى أكثر من فريق عمل متخصص ويحتاج إلى وقت طويل.

ان البحث المقدم هو عمل تحليل انشائي لمنارة الزيواني في مدينة الموصل الواقعة شمال العراق والتي تعتبر بعمرها البالغ 350 سنة ثاني أقدم منارة في مدينة الموصل. وكذلك دراسة اسباب ميلان المنارة وتعرضها لاحتمال السقوط مع دراسة جيولوجية المنطقة وتتضمن خطة العمل إجراء الدراسات اللازمة لموقع العمل من فحوصات لتربة الموقع وتشخيص الأسباب المؤدية إلى انحراف المئذنة والأضرار الإنشائية والمعمارية الناتجة عنها. تم تحديد عمق الأساسات الحاملة لقاعدة المنارة وتحديد مدى تأثر الأساسات من الناحية الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية نتيجة تقدم العمر والتعرض للظروف المحيطة بها. وكذلك تم إجراء مسح عام وقياس انحراف المئذنة وتحديد المناطق المتضررة نتيجة لذلك وإعادة إجراء التحليل الإنشائي اللازم وتحديد نقاط الضعف التي قد تسبب في انهيار المئذنة كما تم إجراء الفحوصات اللازمة ودراسة طبيعة المواد المستعملة في إنشاء المئذنة ومدى تأثر هذه المواد بالظروف الخارجية ودراسة الخواص الميكانيكية لها.

كما تم عمل مسند حديدي داخل المنارة بمقاطع حديدية مناسبة اعتماداً على التحليل الإنشائي بحيث يتم تثبيتها إلى قضبان حديدية يتم غرسها بقاعدة المئذنة باستعمال مواد رابطة مثل الايبوكسي تربط بمسند خارجي يتم تركيبها على بعد مناسب على المئذنة باختيار مقطع حديدي مناسب.

الكلمات المفتاحية: تحليل انشائي، فحوصات تربة، صيانة ابنية اثرية، إعادة تاهيل.

Strengthening and Rehabilitation of Ziواني Minaret in Mosul City Depending on Site Testing and Advanced Structural Analysis

Muthanna Adil Najm Abbū

Building and Construction Engineering Technology Department, Technical Engineering
College, Northern Technical University, Mosul, Iraq.

abbu@ntu.edu.iq

Abstract

Research on the maintenance, protection and restoration of monuments in the northern Iraq city of Mosul, a tedious, lengthy and complex due to the many milestones and development of methods and approaches on the subject if we take all the parameters with the lengthy statement problems needed a more specialized work team and needs a long time.

Different work in maintenance and repair of buildings according to their financial ability, artistic, cultural and heritage in all its aspects, there is the need for maintenance of that heritage as an expression of respect for the past and care to continue the dialogue with him because that is linked to the past with the present and looking to the future prosperous, sophisticated, and there was seen a negative heritage and considers it a sign of backwardness of the past and the need to get rid of it, this has caused the destruction of many monuments, in many Muslim countries.

Deep foundations were identified carrying the base of the minaret and determine the impact of the foundations in terms of physical, chemical and mechanical result of age and exposure to the boundary conditions. As well as conducting a general survey and measuring the deviation of the Minaret and determine the areas affected as a result and the structural analysis and identification of weaknesses that had caused the collapse of a minaret has also been conducting Necessary tests and study the nature of the materials used in creating the minaret and the vulnerability of these materials by external circumstances and study of mechanical properties.



As is the work of steel supporters inside the minaret with a suitable metal sections depending "on structural analysis to be installed to the steel sections are embedded in the base of the Minaret using materials such as epoxy bond Linking to an external Datum being installed after a minaret by choosing a section of supporter.

Keywords: structural analysis, soil investigations, historical buildings, rehabilitation.

1. المقدمة

يختلف العمل في صيانة وترميم المباني وفقاً للقدرة المالية والفنية والثقافية والنظرة إلى التراث بكافة جوانبه. فهناك من يرى ضرورة صيانة ذلك التراث تعبيراً عن الاحترام للماضي والحرص على مواصلة الحوار معه لأن في ذلك ربطاً للماضي بالحاضر وتطلعاً إلى مستقبل زاهر مزدهر ومتطور. وهناك من ينظر إلى التراث نظرة سلبية ويرى فيه دلالة على تخلف الماضي وضرورة التخلص منه، وقد سبب هذا تدمير كثير من المعالم الأثرية، في كثير من البلدان الإسلامية.

بعد جامع الزيواني من المساجد القديمة في مدينة الموصل وقد تطوع ببنائه رجال كثيرون في ازمة متفرقة متباعدة وله اراضي وبيوت موقوفة ولا يعلم اول من بناه. وقد سمي بهذا الاسم نسبة الى الشيخ محمد الزيواني المدفون فيه. ويرجع انشاؤه (بوضعه الحالي) الى سنة 1193 هـ الموافق لسنة 1779 م.

يقع هذا الجامع في محلة باب البيض التحتاني في مركز مدينة الموصل واهم مرافقه منارته التاريخية التي ترتفع بحدود (15 م)، وهي واحدة من بين خمس منارات أثرية اشتهرت بها مدينة الموصل طوال قرون مضت، وهي مهددة بالسقوط نتيجة لوجود تصدعات في القاعدة وفي الغلاف الخارجي لها كما مبين في الشكل 1. وروى شهود عيان من سكان المنازل المجاورة لجامع الزيواني كيف تهشم جزء مهم من وسط المنارة في جهتها الأمامية كما مبين في الشكل 2، وأكدوا على أن سقوط قبتها قبل فترة طويلة سمح بتغلغل مياه الأمطار بداخلها، وأن انهيارها بات مسألة وقت لا أكثر، لذا بادر البعض الى وضع لافتات على مختلف جوانب المنارة يحذرون فيها المواطنين من الاقتراب لأنها آيلة للسقوط [1].



شكل 2: تهشم جزء مهم من وسط المنارة في جهتها.

شكل 1: منطقة فصل قاعدة المنارة عن السياج الخارجي.

يعود جامع الزيواني الى ديوان الوقف السني في محافظة نينوى، وكانت النية معقودة على هدمه من قبلهم واعادة بنائه من جديد، الا ان الهيئة العامة للأثار والتراث رفضت عملية الهدم واوصت بصيانته وصيانة المئذنة بأشراف خبراء هذه الهيئة وباستخدام الاساليب العلمية للصيانة الحديثة مع المحافظة على العناصر المعمارية والزخرفية للجامع والمئذنة. وتعد هذه الورقة أحد المحاولات العلمية لكشف اسباب الانهيار الموقعي للمئذنة بغية ايجاد الحلول المناسبة لإيقاف هذا الانهيار ومعالجة المشاكل الهندسية الحاصلة فيها.

ان المشروع المشمول في هذه الورقة هو عمل تحليل انشائي لمئذنة الزيواني ودراسة اسباب ميلان المئذنة وتعرضها لاحتمال السقوط مع دراسة جيولوجية المنطقة وتضمنت خطة العمل إجراء الدراسات اللازمة لموقع العمل من فحوصات لتربة الموقع وتشخيص الأسباب المؤدية إلى انحراف المئذنة والأضرار الإنشائية والمعمارية الناتجة عنها، كما تمت صيانة المئذنة وفق الاقتراحات الناتجة من الدراسات مع الأخذ بنظر الاعتبار الاحتياطات اللازمة لتفادى المشكلة وصيانة الأجزاء المتضررة وكون المنشأ مبنى أثري ذو قيمة تاريخية.

2. دراسة التربة

لغرض اعداد هذه الورقة تم زيارة الموقع عدة مرات والاطلاع على المشاكل الهندسية التي اعترت مئذنة الجامع والاسباب المؤدية لهذه المشاكل، ثم تم اجراء دراسة التربة التفصيلية وذلك بعمل ثلاث حفر اختبارية (Boreholes) على محيط المئذنة من خارج وداخل الجامع المذكور حيث تبلغ مساحة المئذنة حوالي 30 متر مربع وذلك لمعرفة الخواص الهندسية لتربة الموقع وتغير هذه الخواص مع العمق كما موضح في الشكل 3، وتتراوح عمق الحفر بحدود (4-5 م) كما مبين في الشكل 4 وتمت عملية الحفر يدويا لتعذر دخول اليات الحفر الكبيرة بسبب طبيعة المنطقة الشعبية وضيق أزقتها [2].



شكل 3: أعمال الحفر للتجريات الحقلية.

ان وصف التربة في هذه الحفر ولحد عمق (5.0 م) من سطح الارض موضحة في الشكل 4 ادناه:

Depth (m)	Symbol	Soil Description
1.0 m		Fill material (loose) light brown silty clayey soil with large amount of gypsum content and different size of rocks.
2.0 m		
3.0 m		
4.0 m		
5.0 m		

شكل 4: وصف التربة في حفر الاختبار حسب العمق.

3. استخراج العينات

بعد اجراء عملية الحفر للحفر الاختبارية المذكورة اخذت نماذج التربة المخلخلة وغير المخلخلة (Disturbed and undisturbed Samples) من مختلف الاعماق (كل 50 سم) وتم تغليف النماذج جيدا بغية اجراء الفحوصات الهندسية المختلفة عليها.

4. الفحوصات المختبرية

ان جميع الفحوصات المختبرية التي اجريت على نماذج التربة اعتمدت المواصفات العالمية للجمعية الامريكية للفحوصات والمواد ASTM وكما يلي:

5. الفحوصات الدليّة

وتشمل هذه الفحوصات ما يلي:

- المحتوى الرطوبي الطبيعي (Natural Water Content). وحسب المواصفة ASTM-D 2216 [3].
- الكثافة الطبيعية للتربة (Natural Soil Density). وحسب المواصفة ASTM-D 1556 [4].
- الوزن النوعي (Specific Gravity). وحسب المواصفة ASTM-D 854 [5].
- حدود القوام -اتريك- (Atterberg Limits) : وحسب المواصفة ASTM-D 4318 [6].

والتي تشمل حد السيولة (Liquid Limit)، حد اللدونة (Liquid Plastic) ودليل اللدونة (Plasticity index).

1. التحليل الحبيبي للتربة (Sieve Analysis). وحسب المواصفة ASTM-D 422 [7].

وعلى ضوء نتائج حدود اتريك والتحليل الحبيبي للتربة تم تصنيف التربة بموجب نظام التصنيف الموحد Unified [8]

Classification System، ان نتائج هذه الفحوصات موضحة في الجداول (3-1) للحفر الاختبارية (3-1) على التوالي

،ولأكثر من نموذج وتمثل قيم الجدول المعدل لنتائج هذه النماذج:

جدول 1: الخصائص الدليلية للتربة (B.H.1).

التصنيف	الوزن النوعي GS	مؤشر اللدونة (P.I)	حد اللدونة (P.L)	حد السيولة (L.L)	الكثافة الطبيعية للتربة (غرام/سم ³)	محتوى الرطوبة الطبيعي (%)	العمق (متر)
CL	2.66	9	21	30	1.3-1.32	19-19.7	0.5-2.0
CL	2.67	9	23	32	1.32-1.34	18-19.5	2.0-5.0

جدول 2: الخصائص الدليلية للتربة (B.H.2).

التصنيف	الوزن النوعي GS	مؤشر اللدونة (P.I)	حد اللدونة (P.L)	حد السيولة (L.L)	الكثافة الطبيعية للتربة (غرام/سم ³)	محتوى الرطوبة الطبيعي (%)	العمق (متر)
CL	2.66	7	22	29	1.3-1.32	19-20.1	1.0-2.5
CL	2.67	10	23	33	1.32-1.35	18.5-19	2.5-4.0

جدول 3: الخصائص الدليلية للتربة (B.H.3).

التصنيف	الوزن النوعي GS	مؤشر اللدونة (P.I)	حد اللدونة (P.L)	حد السيولة (L.L)	الكثافة الطبيعية للتربة (غرام/سم ³)	محتوى الرطوبة الطبيعي (%)	العمق (متر)
CL	2.66	8	22	30	1.3-1.32	18.5-20	0.5-3.0
CL	2.67	9	22	31	1.32-1.35	18.6-19	3.0-4.5

2. الفحوصات الكيميائية (Chemical Tests) وحسب المواصفة ASTM-D 2974 [9].

وتشمل هذه الفحوصات ما يلي:

- نسبة املاح الكبريتات (% So₃) والتي تراوحت في الحفر الثلاثة ما بين 0.35 الى 0.48 % للعمق دون المترين وما بين 0.2 الى 0.37 % للعمق أكثر من مترين.
- نسبة الجبس (% gypsum) والتي تراوحت في الحفر الثلاثة ما بين 3.2 الى 5.1 % للعمق دون المترين وما بين 2.1 الى 4.3 % للعمق أكثر من مترين.
- نسبة المواد العضوية (% O.M) والتي تراوحت في الحفر الثلاثة ما بين 36 الى 41 % للعمق دون المترين وما بين 31 الى 35 % للعمق أكثر من مترين.

ان نتائج هذه الفحوصات اظهرت ان وصف التربة هو fill material-silty clayey soil [8].

6. الفحوصات الميكانيكية

وتشمل هذه الفحوصات ما يلي:

- فحص الانضغاط (Consolidation test). وحسب المواصفة ASTM-D 2435 [10].
- فحص التداعي (Collapsible test-Double odometer test) وحسب المواصفة ASTM-D 5333 [11].
- فحص النفاذية (Permeability Test) وحسب المواصفة ASTM-D 2434 [12].
- فحوصات مقاومة القص للتربة (Shear Strength Tests) وحسب المواصفة ASTM-D 7608 [13].

تم إجراء هذه الفحوصات على نماذج التربة غير المخلخلة (Undisturbed Samples) لغرض التعرف على الخواص الانضغاطية للتربة (Compressibility Properties) لتربة الموقع ومدى تأثير ذلك على الابنية المقامة عليها وكذلك حساب مقاومة تحمل التربة (Soil Bearing Capacity). ونتائج هذه الفحوصات مدرجة في الجداول (4-6) للحفر الاختبارية (1-3) على التوالي.

جدول 4: الخصائص الميكانيكية للتربة (B.H.1).

العمق (متر)	مؤشر الانضغاط * (Cc)	امكانية الفشل ** (%)
0.5-2.0	- ***	-
2.0-5.0	0.32-0.36	3.5- 5.3

جدول 5: الخصائص الميكانيكية للتربة (B.H.2).

العمق (متر)	مؤشر الانضغاط * (Cc)	امكانية الفشل ** (%)
من 1.0 الى 2.5	-	-
من 2.5 الى 4.0	0.35-0.38	4.1-6

جدول 6: الخصائص الميكانيكية للتربة (B.H.3).

العمق (متر)	مؤشر الانضغاط * (Cc)	امكانية الفشل ** (%)
0.5-3.0	-	-
3.0-4.5	0.33-0.39	3.7-5.7

$$* C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma_{ef}}$$

$$** (امكانية الفشل) = (\Delta e / (1 + e_0)) \times 100 \%$$

*** - لم يفحص

Δe = التغيرات بنسبة الفراغات

$\Delta \log \sigma_{ef}$ = التغيرات اللوغاريتمية للجهود المؤثرة

e_0 = الفراغات الأولية

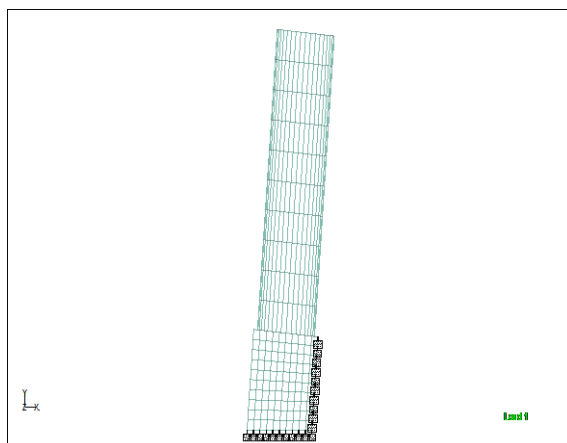
7. التحليل الإنشائي للمنارة

من خلال دراسة التربة التي تم خلالها مشاهدة التشققات عن كثب وقياس مقدار الانحناء بالمنارة والذي يقدر ما بين 11-13 درجة عن الشاقول و قد تم عمل فحوصات التربة اللازمة ونظرا لأهمية البناية من الناحية الاثرية على المدى الحالي والمستقبلي ولخطورة احتمال حدوث الأسوأ بانهيار المبنى فقد تم القيام بأجراء التحليل الإنشائي وباستخدام برنامج STADD PRO وعلى اعتبار قيم مقاومة التحمل للانضغاط لمادة الطين 15 ميكا باسكال وفقا لتقرير التربة النهائي لبرنامج الحاسوب وباستخدام مقاومة تحمل للمادة الرابطة (الجبس gypsum) المستخدم في اعمال البناء 150 ميكا باسكال.

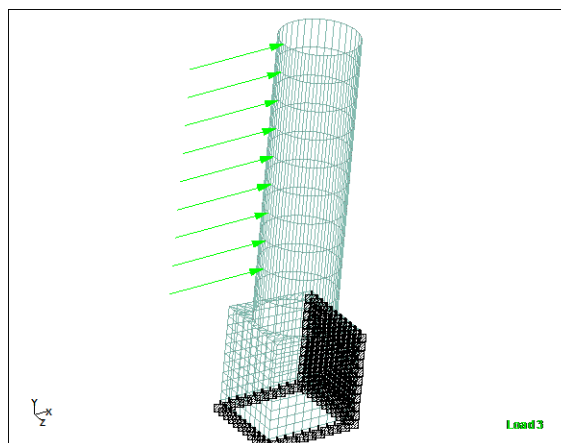
الصور في شكل 5 الى شكل 7 توضح التحليل الإنشائي بالبرنامج المذكور حيث تم احتساب الانتقال نتيجة وزنها واحمال ناتجة من قوة الرياح واحمال ناتجة نتيجة هبوط قسم من الاساسات بفعل فشل التربة، وتم افتراض حالة المنارة على انها

صفحة متجانسة لصعوبة الفصل بين المواد المكونة لجسم المنارة والمواد الرابطة لها. علما ان جميع الاحمال تم احتسابها وفقا

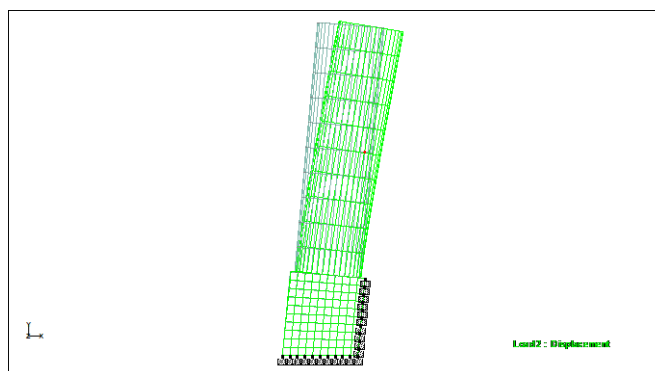
لمدونة الاحمال والقوى (مدونة بناء عراقية) [14].



شكل 6: الموديل الانشائي للمنارة.



شكل 5: تسليط الاحمال على النموذج الانشائي.



شكل 7: الانحناء الناتج في المنارة.

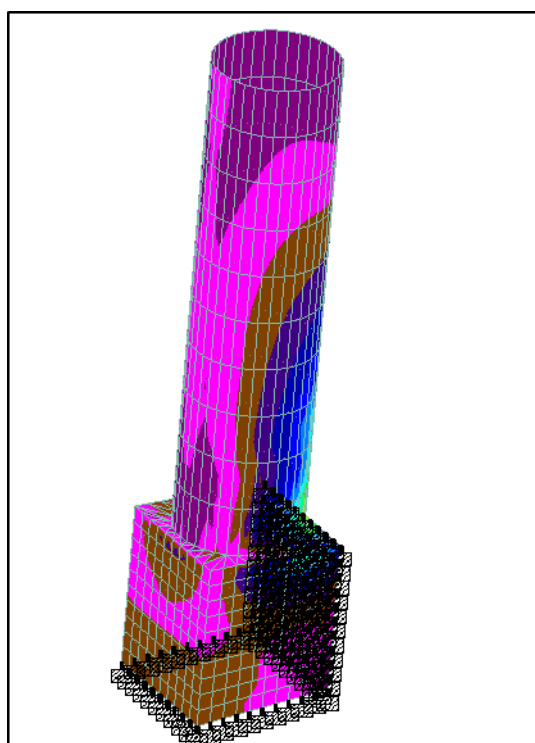
8. النتائج والمناقشة

في هذه الفقرة من الورقة البحثية سنقوم بتقسيمها الى فقرتين، الاولى هي الوقوف على معطيات المشكلة في الاتجاهات كافة والثانية تحديد اسباب المشكلة الرئيسية وفق المعطيات المتوفرة والتحريات التفصيلية ومن ثم اعطاء التوصيات والمقترحات التي بموجبها نحد من تفاقم المشكلة. وهذا يتضمن مناقشة النتائج من ناحية انشائية لتسهيل اقتراح الحلول المناسبة والناحية الاخرى هي دراسة التربة لتلافي حدوث الاسباب المؤدية للمشكلة.

ظهر في الحالتين اي التحليل الانشائي اليدوي وبالحاسوب ان المقطع يتعرض الى اقصى حالات الاجهاد وخاصة الانحناء وكما موضح بالشكل الانشائي 8 الى 10 في المنطقة الواقعة فوق قاعدة المنارة واتجاه ميلان المنارة.

الاشكالية التي ظهرت في التحليل اليدوي هي ظهور قيمة عالية في عزم الانحناء المسبب للتشققات الموجودة في أسفل الثلث الاخير من المنارة تتراوح ما بين 6 - 7.5 طن. متر الامر الذي يستدعي معالجة انشائية لتلك المنطقة كما موضح في

شكل 9 [15].



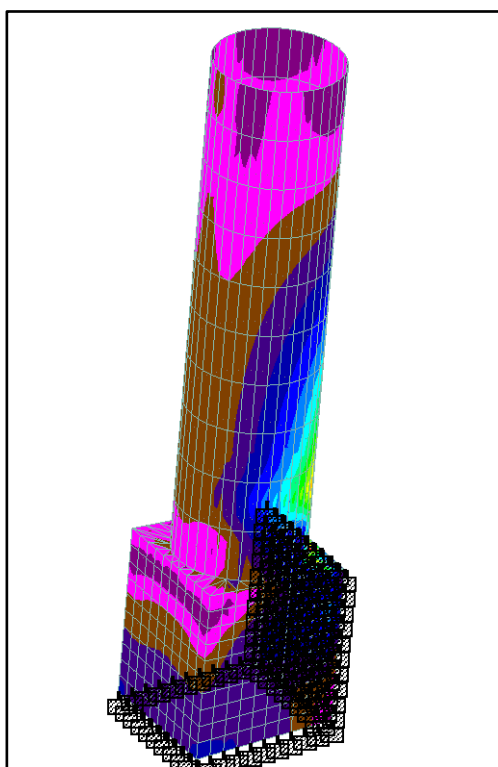
شكل 8: عزوم الانحناء في المنارة.

كما نلاحظ في برنامج الحاسوب انه تم احتساب الاثقال للمنارة نتيجة وزنها واحمال ناتجة من قوة الرياح وتم افتراض حالة المنارة على انها صفيحة متجانسة لصعوبة الفصل بين المواد المكونة لجسم المنارة والمواد الرابطة لها. وقد تم اخذ تأثير الزلازل بحدوده الدنيا لقصر ارتفاع المنارة.

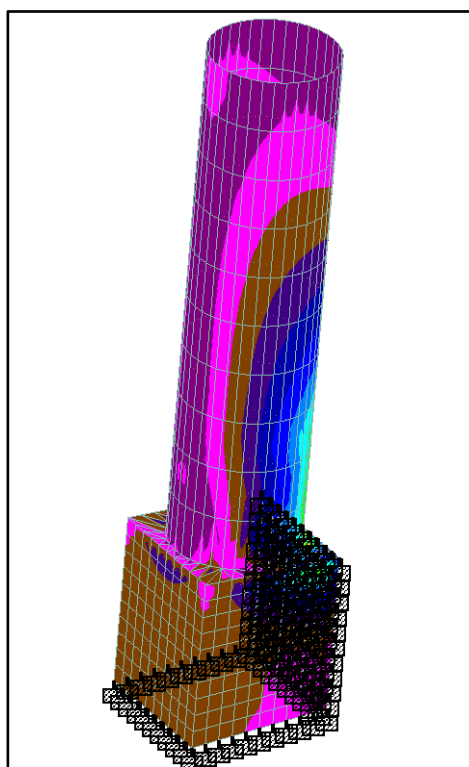
تبين الجداول الناتجة من الحاسوب تفاصيل التحليل الانشائي لكل نقطة تم فصلية من جسم المنارة وعلى قاعدة ارتكازية مكونة من ثلاثة ردود افعال وحسب النتيجة الظاهرة من تقرير التربة.

تم احتساب ردود الافعال بصورة دقيقة وبالاتماد على مبدا العناصر متناهية الصغر ليتسنى من خلالها نقل الاحمال الى الاساس الموجود تحت قاعدة المنارة بحوالي 3-4 أمتار حسب تقرير التربة وحسب الفحوصات الحقلية بجهاز فوق الصوتية، التربة الفاشلة حسب تقرير التربة اخذت قابلية تحملها من تقرير التربة ليعتمد عليها في التقرير الانشائي [16].

وقد ظهرت النتائج لتعطينا عزم قص وانحناء عاليين في أسفل المنارة وكما موضح في شكل 9 و 10 ادناه:



شكل 10: الاجهادات الاساسية في المنارة



شكل 9: عزوم القص في المنارة

ان تهشم وسط المنارة من جهتها الامامية وتساقط الغلاف الاجري لها وظهور تشققات مستمرة في قاعدة المنارة من جهة القنطرة الملاصقة لها، فضلا عن العديد من الشقوق الصغيرة غير المستمرة في نفس المكان والتي تشير الى بداية تصدع هذه القاعدة. وكذلك حدوث شق طولي يفصل المنارة عن السياج الخارجي للمسجد بالقرب من البوابة الرئيسية له والتي تدل على ميل المنارة باتجاه القنطرة، ومن خلال جمع المعلومات من أهالي المنطقة تبين ان هذا الشق اخذ بالزيادة بشكل تدريجي مع الوقت.

من خلال الاستعراض المبسط للمشكلة أعلاه ومن معاينة اتجاه ميل المنارة والظروف المحيطة بها لوحظ ان المنارة مستندة على قنطرة قديمة كما في الشكل 11 والتي تعد صمام الأمان لهذه المنارة من الانهيار، وان سبب زيادة المشكلة تم إيعازه إلى حدوث هبوط مستمر (Continuous Settlement) للتربة تحت أساس المنارة.

أظهرت التحريات الحقلية أن تربة الموقع هي تربة غرينيه طينية (Silty clayey soil)، وهي تربة ردم تحوي على حجارة ومواد بناء (الجبس) لأنقاض بناء سابق، وهذه المكونات ظاهرة في مقطع التربة بشكل واضح ولجميع الحفر الاختبارية.

أظهرت نتائج الفحوصات المختبرية، إن هذه التربة هشة ذات كثافة طبيعية جافة تتراوح بين (1.35-1.3 كجم/سم³) ومحتوى رطوبة طبيعي (18.5-20 %) ويزداد مع العمق، وتحوي هذه التربة على نسبة فراغات (Void ratio) عالية جدا تتراوح بين (0.98-1.05) وهي قيمة عالية تعلل سبب انخفاض قيمة كثافة التربة، كما تبين سبب ارتفاع قيمة معامل النفاذية للتربة (Coefficient of permeability) والذي كان بحدود (1 × 10 مترات) [17].



شكل 11: القنطرة الداعمة للمنارة.

لوحظ من خلال الفحوصات الدليلية إن حد السيولة (Liquid limit) تراوح بين (29-35 %) ويزداد مع العمق وان دليل اللدونة (Plasticity index) تراوح بين (7-10 %)، صنفت التربة على أثرها ووفقا للنظام التصنيف الموحد (Unified Classification System) على أنها تربة واطئة اللدونة (CL).

بينت الفحوصات الكيماوية احتواء تربة الموقع على نسبة عالية من الأملاح بشكل عام وبخاصة أملاح الجبس (gypsum content) (31-41 %) وهي نسبة عالية صنفت التربة على أثرها بأنها تربة غرينيه طينية جبسية (Gypseous silty clayey soil) ولهذا السبب يوعز زيادة نسبة الفراغات بسبب الذوبان المستمر لأملاح الجبس بفعل المياه الجوفية المتحركة (وهي مياه المجاري والأمطار) التي تصل إلى أسس أسفل المنارة من الدور السكنية المجاورة ذات الطابع القديم (الأزقة والشوارع الفرعية القديمة في المنطقة).

أظهرت نتائج فحوصات الانضغاط (Consolidation tests) والتداعي (Collapsibility tests) على أن التربة ذات قابلية عالية على الانضغاط وإن دليل الانضغاط يتراوح بين (0.32-0.39) وهي قيم عالية تشير إلى خطر إنشاء منشأ هندسي عليها، فضلا عن نسبة التداعي العالية (3.5-6 %) والتي تصنف التربة بموجبها على أنها خطيرة من الناحية الهندسية (Moderate engineering trouble)، أي تسبب مشاكل هندسية للمنشآت المقامة عليها، ومما زاد في تفاقم المشكلة هو وصول المياه إلى هذه التربة وحركة هذه المياه وفق حركة المياه الجوفية في المنطقة، فضلا عن وصول المياه من الشقوق السطحية وأنابيب المياه القريبة من السطح والملاصقة للمنارة.

أظهرت نتائج التحليل لفحوصات مقاومة قص التربة (Shear strength tests) إن قابلية تحمل التربة (Soil Bearing capacity) لا تتجاوز (2 طن/م²). إن هذه العوامل مجتمعة أدت إلى هبوط تفاضلي ((Differential settlement في أساس المنارة ودوران (Rotation) من قاعدتها واعترض هذا الدوران وجود القنطرة مما أدى إلى تهشم غلاف المنارة من الأعلى مع استمرار حالة الدوران بسبب عدم وجود عائق (رد فعل) يعيق هذه الحركة وبالتحديد بالقرب من بوابة المسجد.

9. المقترحات والتوصيات

بناء على ما جاء في هذه الورقة من نتائج ومعطيات ولطبيعة المنطقة الشعبية القديمة ونظرا لضعف قابلية تحمل التربة تحت أسس المنارة وللحد من تفاقم المشاكل الهندسية الحاصلة يوصى بجملة من التوصيات والمقترحات والتي تم الأخذ بها بالفعل وتمت معالجة المنارة وهي الآن بحالة ممتازة، وأهم التوصيات كانت:

1. عمل مرساة تكون بشكل طوق اعلى قاعدة المنارة يسحب جسم المنارة بالاتجاه المعاكس للميلان بواسطة اثنان من المقطع المدلفن 8 بوصة وعلى امتداد لا يقل عن ثمانية أمتار من الطوق يتم ربطهم الى الطوق بصورة محكمة عن طريق اللحام ويتم تحميل المرساة بصورة تدريجية ولحد 2 طن كحد اقصى وحسب التقرير الانشائي.
2. تقوية جسم المنارة من الداخل بصفائح 2 بوصة لمعالجة التشققات الحاصلة في جسم المنارة.
3. نظرا لطبيعة التربة الضعيفة (Fill material) واحتوائها على نسبة عالية من الاملاح وبخاصة املاح الجبس ذات قابلية الذوبان العالية بالماء، لذا يوصى بأبعاد مصادر المياه عن الوصول الى تربة اسس المنارة وذلك بإلغاء كافة الانابيب القريبة وتحشية الشقوق السطحية وتعلية منسوب الارضيات الحالية لضمان عدم تسرب المياه بشكل مباشر.
4. اسناد القنطرة الحالية وذلك بتغليفها بغلاف حديدي (Steel Structure) مصمم لحمل الدفع الجانبي الناتج من المنارة بما يضمن ايقاف هذا الدفع وعدم تآثر هذه القنطرة فهي صمام الامان لسلامة المنارة، مع مراعاة الناحية العمرانية للقنطرة وطبيعة التكوين التاريخي. كما يجب مراعاة عمل دعائم حديدية اثناء الاسناد تحت سطح الارض وإعادة صب هذه الدعائم بشكل يمنع تغلغل المياه من خلالها.
5. من خلال ملاحظة اتجاه ميل المنارة ولتجنب ظاهرة دوران المنارة (Rotation) من قاعدتها وبالتالي زيادة تهشم المنارة من وسطها وانهارها لذا يوصى بتنفيذ رباط خرساني على عمق لا يقل عن (2.0 م) يسند الجدار الملاصق للمنارة وبالتحديد عند بوابة المسجد ويكون هذا الرباط باتجاه الجدار ويصمم بحيث يقاوم احمال التدوير (عند الحاجة ممكن اضافة قاعدة من الخرسانة لغرض الاسناد فقط من داخل المسجد لزيادة الحمل الميت (Dead load) وتحقيق اتزان ميكانيكي للكتل ((Mechanical equilibrium)).
6. لتحسين خواص التربة تحت الاسس موقعا، يوصى بإجراء عمليات حقن بالإسمنت المقاوم للأملاح وتكون عملية الحقن بمادة البولي يوريثان المضافة للسمنت لكون المنطقة معرضة لتسرب مياه، ووفقا لمواصفات الحقن تحت اسس المنارة مع الاخذ بنظر الاعتبار اتجاه ميل الارض الطبيعية وحركة المياه الجوفية (مياه المجاري للدور السكنية) في المنطقة ، ولتحقيق ذلك يوصى بعمل جدار ساند يعيق ويحجز مواد الحقن من الحركة وبالتالي تسربها وهدر الكميات

وعدم تحقيق الغاية في تحسين خواص التربة. ونقترح ان يكون موقع هذا الجدار في اوطا نقطة وباتجاه حركة المياه وبالتحديد ركن المنارة الخارجي القريب من القنطرة وبهذا يكون اجراء عملية الحقن مستوى الاساس اي بحدود 4.5 متر تحت اسفل قاعدة المنارة لمل التكهفات.

7. يعتمد اثناء التصميم على مقاومة تحمل التربة (Allowable Bearing Capacity) مقدارها (2-2.5 طن /م²).

الاشكال 12 و 13 و 14 توضح بعض اعمال صيانة المنارة التي اعتمدت التوصيات في هذه الورقة البحثية:



شكل 13: حقن الشقوق في جسم المنارة.



شكل 12: اصلاح تداعي جسم المنارة.



شكل 14: عمليات حقن الاسمنت المعالج تحت اساسات المنارة.

المصادر

- [1] عادل نجم عبو، "الصيانة واساليب التسقيف في بوابة ادد الاثرية، سومر"، الهيئة العامة للآثار، العراق، (1975).
- [2] عبد المعز شاهين، "ترميم وصيانة المباني الاثرية والتاريخية"، المجلس الاعلى للآثار المصرية، مصر، (1994).
- [3] ASTM Standard D-2216,: **"Standard Test Methods for Laboratory Determination of 1Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass"** , Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA (2010).
- [4] ASTM Standard D-1556,: **"Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by Sand-Cone Method"**, ASTM International, West Conshohocken, PA (2015).
- [5] ASTM Standard D-854,: **"Standard Test for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer"**, Annual Book of ASTM Standard", ASTM International, West Conshohocken, PA (2010).
- [6] ASTM Standard D-4318,: **" Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils"**, Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA (2010).
- [7] ASTM Standard D-422,: **"Standard Test Methods for Particle-Size Analysis of Soils"**, Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA (2007).
- [8] ASTM Standard D-2487,: **"Standard Test Methods for Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)"** , Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA (2010).

- [9] ASTM D2974,: ***"Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils"***, Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA (2014).
- [10] ASTM-D2435,: ***"Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading"***, Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA (2011).
- [11] ASTM Standard D-5333,: ***"Standard Test Methods for Measurement of Collapse Potential of Soils"***, Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA (2003).
- [12] ASTM-D2434,: ***"Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)"***, Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA (2006).
- [13] ASTM-D7608,: ***"Standard Test Method for Torsional Ring Shear Test to Determine Drained Fully Softened Shear Strength and Nonlinear Strength Envelope of Cohesive Soils (Using Normally consolidated Specimen) for Slopes with No Preexisting Shear Surfaces"***, Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA (2010).
- [14] ***"مدونة الاحمال والقوى"***, مدونة بناء عراقية، م.ب.ع 301، وزارة الاعمار والإسكان , دائرة المباني، (2015).
- [15] S. P. Santos, C. Modena and CIB Commission, ***" Guide for the structural rehabilitation of heritage buildings"***, CIB Publication, No. 335, W023 - WALL STRUCTURES, Portugal (2010)



-
- [16] H. Shrestha, S. Pradhan, R. Guragain, "*Experiences on Retrofitting of Low Strength Masonry Buildings by Different Retrofitting Techniques in Nepal*", Proc. of the 15th World conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal (2012).
- [17] C. A. Brebbia, "*Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings*". Southampton;Baston: Computational Mechanics; Basd; Basel; Baston Birkhauser, (1989).