الاسس الهندسية لبناء البرج في العمارة العربية الإسلامية

The Engineering Principles of Tower Construction in Islamic Arab Architecture

أ. د. إبراهيم سرحان الشمري

Prof. Dr. Ibrahim Sarhan Al Shammari

كلية الآداب _ جامعة بابل

College of Arts - University of Babylon

art.ibrahim.sarhan@uobabylon.edu.iq

Abstract:

This study focuses on the architectural and engineering analysis of towers in Arab-Islamic architecture. It investigates planning strategies, construction techniques, material usage, and structural detailing through a comprehensive examination of tower components and their functional roles within the overall form. The research begins by analyzing the solid base that supports the substantial mass of the tower, emphasizing the method by which the shaft is erected upon this foundation—especially in cylindrical towers that became prominent in Iraqi architecture. Special attention is paid to the treatment of the four corners of the base that extend beyond the circular plan of the tower. The study further explores how architects addressed the engineering challenges associated with great vertical heights—often ranging from 30 to 50 meters—by employing geometrical strategies that ensure the vertical alignment and structural stability of the tower. This was typically achieved by gradually narrowing the shaft towards the top, thus strengthening the core and resisting wind forces. The design includes openings (niches) that penetrate the tower shaft to admit light and air while diffusing wind pressure that could otherwise threaten the structure's integrity. In addition, the upper parts of the tower are analyzed for their defensive and functional significance, especially in towers integrated with fortifications, castles, and palaces. These sections often contain recessed platforms (basins), accessed via staircases and vaulted passageways embedded within the fortification walls. These features enabled defenders to move freely and use projectile weapons through horizontal slits (mazaghil) and vertical openings (saqatat), both carefully engineered for maximum protection and functionality. In the case of freestanding towers and roadside minarets, such upper platforms served as watchpoints and signaling stations to guide travelers and trade caravans. The architectural composition of the tower is typically crowned with a dome-shaped summit that functions as a canopy, protecting the internal structure from environmental elements.

ملخص البحث :

يتناول البحث دراسة البرج في العمارة العربية الإسلامية من الناحية الهندسية فهو يعالج طريقة التخطيط وتقنية البناء وطبيعة المادة البنائية المستعملة وتفاصيل البناء من خلال دراسة أجزاء البرج واهمية كل جزء في الهيكل العام للبرج ابتداءً من القاعدة الصلدة التي تحمل كتلة البرج العظيمة وطبيعة إقامة بدن البرج على القاعدة خاصة تلك البروج الاسطوانية الشكل التي شاعت في العمارة العراقية ، وكيفية معالجة الزوايا الأربعة للقاعدة والبارزة عن سمت البرج الاسطواني هذا فضلا عن مراعات ارتفاع البرج الشاهق الذي يصل في بعض البروج ما بين(30- 50م) والاسس الهندسية التي اعتمدها المعمار في المحافظة على شاقولية البناء المرتفع وثباتة من خلال ظاهرة اللم والضم الى لب البرج حتى يضيق بدن البرج كلما ارتفع ليحقق القوه والثبات للبرج مع وجود منافس (كوى تخرق بدن البرج) وتطل الى الفضاء لإدخال الضوء والهواء وتشتيت قوة الريح التي تصطدم ببدن البرج التي قد تسبب له الانهيارات ، فضلا عن أهمية الأجزاء العليا للبرج التي يتخندق بها المدافعين خاصة تلك البروج المتصلة بأسوار الحصون والقلاع والقصور من خلال وجود فسحة مجوفة (حوض)يوصل اليها سلالم وممرات مقباة تخرق السور في بعض الحصون على ارتفاع معين وتدور حولة لتيسير حركة المدافعين الذين يذودون عن الحصون بمقذوفات أسلحتهم من خلال فتحات تخرق جدار حوض البرج المطل على الفضاء افقيا والمعروفة ب (المزاغل) وأخرى شاقوليا تعرف ب (السقاطات) وطبيعة براعة المعمار في هندسة وتنفيذ تلك الفتحات بما يضمن الحماية للمدافعين . وهذه الفسحة او الحوض في البروج المستقلة ومنارات الطرق كانت تشكل مكانا للمراقبة وتطلق من خلالها إشارات الهداية لسالكي الطرق والقوافل التجارية ، وتقوم فوقها ويختم به عمارة البرج قمته التي تكون عادة على هيئة قبة تعمل كمظلة تحمي أجزاء البرج الداخلية .

الكلمات المفتاحية : العمارة ، الأبراج ، القلاع ، منارات الطريق ، القصور .

Keywords: architecture, towers, castles, beacons, palaces.

المقدمة :

يعد البرج من العناصر العمارية الهامة في العمارة الانسانية خاصة الدفاعية ، فلا تكاد تخلو منه عمارة الا ما ندر ، وأن البدايات الاولى لظهوره في العمارة كان لأغراض بنائية وجمالية بحتة ، فتعد الطلعات والدخلات المتمثلة على جدران المعابد في العمارة العراقية القديمة النموذج الأول له والذي كان الغرض منها أي الطلعات والدخلات لتزيين الجدران الصماء وازالت الرتابة والملل للناظر اليها بفضل ما تضيفه على تلك الجدران من بهاء وحسن تناسب وتحقق انكسارات للظل والضوء الساقط على تلك الجدران فضلا عن وظيفتها البنائية لدعم الجدران وتقويتها"[1]، حتى شاعت عمارة البروج في مختلف صنوف العمارة العراقية القديمة ومنذ عصور مبكرة[2].واستمرت في العمارة العربية الإسلامية لما تؤديه من أدوار ووظائف مهمة .

Introduction:

The tower is considered one of the important architectural elements in human architecture, especially in defensive structures. Hardly any architectural form is devoid of it, except in rare cases. The earliest appearance of the tower in architecture was purely for structural and aesthetic purposes. The projections and recesses that appeared on the walls of temples in ancient Iraqi architecture represent the first model of the tower. The purpose of these projections and recesses was to decorate plain walls, remove monotony and dullness for the viewer, and to impart elegance and harmonious proportions to the walls. They also created shadows and light breaks on the wall surfaces, in addition to their structural role in supporting and strengthening the walls. Hence, the architecture of towers became widespread in various types of ancient Iraqi architecture from early periods . It continued to exist in Arab-Islamic architecture because of the important functions and roles it fulfilled.

المعنى اللغوي والاصطلاحي للبرج :

أجمعت المعاجم اللغوية على ان البرج هو (الحصن وبرج الحصن ركنه) [3] . والجمع بروج كما وردت في القران الكريم بهذا المعنى (أَيْنَمَا تَكُونُوا يُدْرِكْكُمُ الْمَوْتُ وَلَوْ كُنْتُمْ فِي بُرُوجٍ مُشَيَّدَةٍ..) [4]

وجاء في معجم العين (البرج سور المدينة : وهي بيوت تبنى على السور)[5] ويؤكد ذلك صاحب اللسان بقولة (تسمى البيوت التي تبنى على نواحي اركان اسوار القصور بروجاً) [6].

وعموما فان البرج بناء مرتفع على شكل اسطواني او مضلع وقد يقام مستقلا او جزء من بناية عظيمة [7] وهو مزود عادة بكل وسائل الدفاع من حيث ضخامة المبنى وارتفاعه وتتخلل جدرانه الخارجية كوى مفتوحة (مزاغل) [8] تتمتع بهندسة الدفاع - واسعة من الداخل وضيقة من الخارج - فهي والحالة هذه لا تسمح للمهاجمين بتصويب مقذوفاتهم من خلالها الى الداخل .

والبرج عادة يؤدي وظيفتين الأولى : بنائية خاصةً تلك البروج المتصلة بالجدران فهي تعمل كركائز لتثبيت الجدران واسنادها والمحافظة عليها من التشقق والانهيار خاصة الجدران الطويلة التي تعمل عوامل التعرية من الرياح والامطار على اندثارها ما لم تبنى لها بروج ساندة . اما الوظيفة الثانية : فهي الوظيفة الدفاعية وان هذا النوع من البروج تقام عادة على اسوار المدن والقلاع والحصون والقصور وتكون عادة مجوفة تتخللها سلالم تسمح للمدافعين بالصعود الى أعلاه وهي مزودة بوسائل الدفاع كالمزاغل والسقاطات [9] وتقوم في اعلاها الشرافات [10].

ومن الالفاظ التي تعطي معنى هذا النوع من البروج او تختص ببعض وظائفه ، لفظة "المنارة " وهو ماخوذ من الانارة وهي موضع النور [11] ومنها ما يقام على الطرق البرية لهداية سالكي الطريق وحماية القوافل التجارية ومنها ما يقام على شطئان الأنهار والبحار تهتدي بها السفن التي تمخر عباب البحار ويطلق عليها (الفنار) ومنها فنار الإسكندرية [12] ، وقد أشارت المصادر التاريخية و البلدانية لأسماء ومواقع العديد منها الا ان ما يؤسف له قد اندثر معظمها ولم يبق شاخصا منها سوى نموذجين هما منارة "موجدة " ومنارة "ام القرون"[13]

وجاءت تلك المنارات بألفاظ مختلفة وفقا للبيئة التي أقيمت فيها او الوظيفة التي كانت تؤديها ومنها (المنظرة ، المرقب ، الطربال ، النوبة)، ومع تعدد هذه الالفاظ الا انها تتميز بشكل عماري واحد مع تعدد وتنوع وظائفها ما بين المراقبة والهداية والدلالة والانذار المبكر [14].

وبوسعنا تقسيم البرج الى اجزائه المتعددة لنتبين اسسه الهندسية ووظائف اجزائه .

1- القاعدة :

وهي أول اجزاء البرج في البناء، وتبنى في البروج المتصلة أي السائدة للجدران والاسوار مع اسسها فهي جزء لا يتجزأ منها تعقد معها باستمرار البناء أي الحل والشد " التعشيق " الا ان من سماتها البنائية اتساع اسسها افقيا عن مستوى اتساع اسس البناء الداعمة له . وغالبا ما يكون الاتساع من الجهة الخارجية للبناء لتميز البروج بظاهرة البروز عن سمت الجدران لأغراض بنائية ودفاعية . فكلما اتسعت قواعد البروج وامتدت افقيا كلما ارتفعت امكانية تحملها للضغط الناجم من كتلة بناء البرج القائم فوقها ولكي تكون البروج اكثر ثباتا وتماسكا لتحمل ثقل الجدران المستندة عليها .

والقاعدة هي الرابطة للأسس ببدن البرج والمحيطة بالجزء السفلي منه لضبطه احاطة السوار بالمعصم[15] ، واعتمد الشكل المضلع المنشوري ذو المقطع المربع في قواعد البروج المستقلة " المنفردة " والسائدة التي تقام في زوايا البناء " الركنية " وذو المقطع المستطيل القواعد البروج التي تنتظم على طول الجدران . والتربيع في قواعد البروج الركنية ضرورة حتمتها نقطة التقاء الجدران التي تقوم عليها فلابد والحالة هذه من اقامة قاعدة مربعة.

ان الشكل المنشوري لقواعد البروج جاء نتيجة " اللم " أي ضم صفوف البناء الى الداخل محاولة لتضييق قمة القاعدة نسبة لاتساع اسفلها مما يعطي للقاعدة شكلا منشوريا غير ان المعمار العربي المسلم قد تعدى ذلك الى تقسيم القاعدة الى مراحل وتدرج في شكلها، واروع مثل على ذلك في العمارة الاسلامية في العراق قواعد بروج قصر المعشوق (شكل1، أ) ، حيث تبدأ القاعدة بشكل مربع طول كل ضلع من اضلاعها (١٠م) ثم تتحول الى شكل هرمي (شكل 1، ب)تقوم عليه قاعدة منشورية متساوية الاضلاع أي ان هذه القواعد تضيق كلما ارتفعت حتى تصل الى ارتفاع (٣م) وهي تغوص في الارض الى عمق (1,5م)[16] و يعطى هذا التصميم للقاعدة قوة ورصانة ويصبح البرج القائم فوقها اكثر ثباتا واستقرارا .

وقواعد البروج عموما صلدة اغلبها مبنى بالأجر الصلب " المصخرج "[17] وبعضها من الحجارة[18] وان مثل هذه المواد تمتاز بصلابتها وقوة تحملها للثقل وقابليتها على مقاومة الرطوبة فضلا عن استخدام المواد الرابطة القوية كالجص والنورة والرماد احيانا [19].

2- منطقة الانتقال من القاعدة الى البدن :

والانتقال من القاعدة المضلعة الى البدن الاسطواني يتم بطريقة التدرج في تقليص حجم القاعدة وخير مثال على ذلك لازال شاخصا هو قاعدة منارة ام القرون (شكل 2) فعلى الرغم مما أصاب المنارة من انهيارات فلازالت قاعدتها ذات التصميم المدرج [20] لتهيئ الشكل الذى يتلائم والدائرة وهو قطاع بدن المنارة الافقي حتى يتطابق معها في كثير من البروج ويصبح محيط البدن على تماس مع اضلاع القاعدة، الا ان زوايا القاعدة تخرج من سمت البدن الاسطواني ، فعمد المعمار الى اخفاء ذلك بالطلاء الجصي الذي كسيت به معظم البروج مع قواعدها . وعليه فإن البروج كانت تقام على القواعد المضلعة مباشرة بلا واسطة انتقال كاستخدام الحنايا او المثلثات المسطحة [21] كما هو

الحال بالنسبة للمآذن مما يظهر في بعض البروج حافة القاعدة المربعة أو المستطيلة ، تخرج قليلا عن سمت البرج الاسطواني كما في بروج قصر المعشوق - شكل (3) ومن اجل المحافظة على قوة وصلادة القاعدة لا تفتح فيها أي فتحات تخرقها حتى ان مداخل الأبراج والمنارات المجوفة تكون مرتفعة عادة عن سطح الأرض القائمة عليها لفتحها في بدن البرج اعلا القاعدة وهذا ما نراه في برج او منارة موجدة (موقدة)(شكل4)

3- البدن :

تميزت بروج العمارة العراقية في العصر الاسلامي بكلا نوعيها الساندة والمستقلة بالبدن الاسطواني، ونراه في مختلف صنوف العمارة الدينية والمدنية والدفاعية وبروج المراقبة والانذار ، في حين أن معظم بروج العمارة العراقية القديمة قد تميزت بالشكل المضلع كما يظهر ذلك واضحا في تحصينات المدن البابلية والاشورية [22]. واستمر هذا الشكل من البروج الى حقب تاريخية لاحقة حيث نجده مجسدا في تحصينات مدينة الحضر[23] ايضا ، الا أن هذا لا يعني أن الشكل الاسطواني للبروج كان غير معروف في العمارة القديمة ، فقد ظهر في حقبة مبكرة ترتقي الى عصر فجر السلالات ، وظهر ايضا في العمارة العراقية قبل الاسلام [24] ، الا ان هذا الشكل لم يكتب له الانتشار آنذاك كما هوالحال بالنسبة للبرج المضلع، وهذا مما يؤكد معرفة هذا الشكل من البروج في العمارة العراقية القديمة ويثبت أصالتة .

والشكل الاسطواني للبروج له من المنافع والفوائد ما يفوق الاشكال المضلعة لذا فقد تمسك به المعمار المسلم وعزف عما دونه من الاشكال .

فمن الناحية البنائية يكون الشد والتلاحم في الشكل الاسطواني اكبر لان عملية الدفع المتولدة من الضغط الناجم من اعلى الى اسفل تؤدى الى التماسك في الشكل الدائري والخروج من سعت البدن في الشكل المربع فيحدث في الشكل الأخير بعض الشروخ والتشققات ، كما ان احداث فجوات في الدائرة اصعب قياسا الى المربع لان الشكل الدائري لا يدرك له طرف [25] ، فضلا عن الاقتصاد بمواد ونفقات البناء في الشكل الدائري بمعدل 11% [26] . وقلة تأثير العوامل الجوية فيه كالرياح والامطار ، لان الشكل الاسطواني للبرج بسطحه المقوس غير المستوى يشتت قوة الرياح اذا ما اصطدمت به ، كما أن نسبة الامطار التي تصيبه تكون أقل بسبب ضيق المساحة المواجهة لهطول الامطار فضلا عن تقوسه وانحداره مما يؤدي الى عدم استقرار مياه الامطار على سطحه ، في حين أن شدة اصطدام الرياح واستقرار مياه الامطار على الجدران المربعة والمستطيلة تكون أكبر بسبب استوائها مما يعمل ذلك على تعريتها بمرور الزمن وزعزعتها .

اما من الناحية الدفاعية فان الشكل الاسطواني للبروج يعطي مجالاً أوسع للحركة والمناورة عند الدفاع [27] . وان زاوية الرصد فيه أوسع من الشكل المربع أو المستطيل حيث تقف اركان البرج

المضلع حائلا امام امتداد النظر ويتحدد ذلك بطول الضلع، في حين أن زاوية النظر في البرج الاسطواني تصل الى (٣٦٠°) وطبقا لذلك فان الشكل الاسطواني قد طبع البروج العراقية بطابعه المتميز .

ولم يقف الشكل الاسطواني قاصرا على البروج بل تعدى ذلك الى عمائر اخرى ومنها بشكل خاص المآذن ، حيث يرى احد الباحثين " ان الشكل الاسطواني للمآذن قد اخذ طريقه من منارات الطرق ومنها موجدة وبروح الدفاع [28]. ولا غرابة في ذلك اذا ما قال الدكتور فريد شافعي " ويبدو أن المعماريين في العراق قد اغرموا بالشكل الاسطواني "[29].

ويكون البدن صلدا في البروج الساندة الى ارتفاعات مناسبة ، حيث تنتهي احيانا بغرف تخرقها المزاغل يقيم فيها المدافعون عن المبنى ، أما البروج المستقلة فهي مجوفة في داخلها سلم حلزوني يدور حول اللب أو ما يسمى بـ " الفحل " وهو عمود مركزي يتمحور حوله بدن البرج ويميل اليه بالضم كلما تقدم بالارتفاع ساندا اياه من خلال عقادة السلم. وهو نواة البرج وعليه اعتماد المعمار في ضبط المساحة وتقليصها تدريجيا كلما تقدم البناء [30]. وهذه العملية يطلق عليها البنائين اسم (اللقط) أي لقط صفوف البناء الى لب البرج وضمه حتى يبدو للناظر وكأن الجدران مائلة الى الداخل لتحقيق الثبات شاقوليا فضلا عن ان اختصار وتضييق قطر البرج كلما ارتفع الى الأعلى حتى تحقق قمة البرج أحيانا ربع مساحة البرج او اقل من جزئه السفلي أي ان بداية البرج القائم على القاعدة يكون أوسع من قمتها فضلا عن الاختصار في كميات المواد البناية وتخفيف الثقل على القاعدة ، كما فتحت كوى وعلى مستويات محددة كلما ارتفع البرج لتعمل كنوافذ لإدخال الضوء والهواء الى داخل جوف البرج فضلا عن كونها منافس تعمل على استيعاب و تشتيت قوة اصطدام الريح ببدن البرج .

4- الحوض :

دعت الوظيفة التي يؤديها البرج خاصة المستقل ان ينتهى بدنه بدائر شرفت حافاته يلف حول السطح ويحيط به يسمى " الحوض " . ويتوقف عنده السلم من الداخل وقد يتوقف اللب أو يستمر بالارتفاع قليلا تاركا فسحة من فراغ تلف حوله او تحيط به على شكل ممر يسمح للمتناوبين بالمرور والدوران للرصد والدفاع [31]، وشكله اخذ شكل البدن وتطابق معه ، وأن لم يخلص الينا مثال واحد من البروج للتنبين شكل حوضه ومواده البنائية بسبب سقوط الاجزاء العليا منها وهي الأكثر عرضة للتداعي والسقوط [32]، الا اننا نرى مثل هذا الوصف في مئذنة جامع الرقة (٥٦١ هـ / ١١٦٥ م) (شكل4)، حيث ارتفع بدنها الاسطواني باستقامة لتقوم على حافاته ستارة اتخذت شرفة للمؤذن . " وكانت منارة موجدة على تلك الهيئة [33] . وان سبقتها بنحو أربعة قرون.

5- قمة البرج :

وخاتمة العمل في بناء البرج قمته، فقد عمد المعمار المسلم إلى تغطية الحوض بقية في الاغلب لحماية الاجزاء الداخلية للبرج من خطر تسرب مياه الامطار عبر فتحة السلم، ووقاية للمتناوبين من عوارض الطبيعة وتقلباتها ، جاعلا من دائرة حاملا للقبة وتتخلل هذا الدائر منافذ للرصد والدفاع[34].

ان تغطية نهايات البروج الشاهقة بالقباب له مزاياه الانشائية التي تتلخص في ان قوة الرياح والعواصف لا تؤثر فيها كثيرا بسبب استدارتها وعدم استواء اجزائها الامر الذي يحول دون تركز قوتها على اوجهها ، هذا فضلا عما في السقوف المقببة من أهمية انشائية تتمثل في تخفيف قوة الضغط على الاسس والجدران ومساعدتها في التماسك بصورة افضل من السقوف المستوية ، كما انها تساعد على الاستغناء عن تكاليف الصيانة والترميم واعادة البناء لعشرات السنين [35].

وقد يبنى دائر الحوض ومظلته (قمة البرج) بالمواد البنائية نفسها للبرج ، أو من مادة الخشب [36] للتخفيف من الثقل .

ويظن العزاوي أن حوض منارة ام القرون يشكل قاعدة دائرية مستوية اقيمت عليها قبة نصف كروية كسيت بالجص ومزودة بكوى أو نوافذ في رقبتها من أجل التطلع والمراقبة [37] .

اما بخصوص البروج السائدة في العمارة الدفاعية فأنها تنتهي بغرف دائرية في بروج الاركان تقوم عليها قباب شبه كروية ، وفي بروج الاضلاع تكون الغرف نصف كروية سقوفها

انصاف قباب تخرقها كوى او مزاغل وهذا ما نجده ممثلا في حصن الاخيضر[38]. وتخرق بدن البروج المجوفة وشرفاتها كوى أو مزاغل لها مميزاتها الهندسية وخصائصها البنائية ، فهي تسمح بنفوذ الضوء والهواء الى الداخل والتطلع من خلالها ومراقبة ما يدور خارج البرج والاشراف على الطرق وتسيير القوافل ، فضلا عن الوظيفة الدفاعية الرئيسة وهي اطلاق السهام والمقذوفات الاخرى من خلالها الى من يهدد الحصن أو البرج حتى انها اتخذت شكل السهام من الخارج (شكل5) ، وبنيت وفق اسس هندسية توفر الحماية للمدافعين فقد عمد إلى جعل فتحاتها ضيقة من الخارج وواسعة من الداخل ليصعب التسديد والاصابة من خلالها من المهاجمين ، وسهولة ذلك من المدافعين ، فضلا عن المنافع البنائية الجمة ، ومنها التنفيس عن البناء ، وتشتيت قوة الرياح والعواصف [39]، اذ قد تؤدى مثل تلك القوى الهائلة الى هدم البروج واقتلاعها وزعزعتها في حالة كونها صماء ، فقد اشار في هذا الباب صاحب كتاب الاستبصار في عجائب الابصار خلال وصفه مدارة الاسكندرية وما فيها من بيوت انه فتح في تلك البيوت مضاوي ومنافس للهواء لئلا تهدمها الرياح [40] .

وبهذا المعنى ايضا اشار ابن المجاور الى ان الخليفة المنصور عند ما بنى القبة الخضراء في بغداد " لسبع طباق كلها عقود لئلا يرميها الهواء من علوها في الجو [41].

لذا كانت هذه الكوى او المزاغل مع بعض المظاهر العمارية كالحنايا الغائرة الصماء وغيرها من التكسرات و التجويفات البنائية الأخرى[42]، التي وجدناها خاصة على بدن البروج المستقلة تعمل على

تكسير سورات الرياح واضعاف قوتها وتقليص الاضرار المحتملة المتأتية من جرائها بسبب عدم استواء اوجهها، ويفيدنا في هذا الباب ما أورده المقدسي في وصفه لقبة الصخرة بقوله " قد شبكت لئلا تميلها الرياح " [43].

اما الغرض البنائي الآخر لهذا العنصر العماري فيتركز في كونه عادة مجوفا مما يؤدي ذلك الى التخفيف من ضغط الثقل الواقع على البناء بسبب الفراغ البنائي فضلا عن التوفير في المواد البنائية واقتصادا ظاهرا في الوقت والجهد والنفقات [44].

ومن المظاهر البنائية المهمة التي نلاحظها في البروج الساندة هي بروزها عن سمت الجدران التي تدعمها وارتفاعها عنها، وما لهذا البروز من أهدافه البنائية والدفاعية ، فمن الناحية البنائية هو زيادة متانة الجدران وتدعيمها، بزيادة سمكها، فمثلا ان بروج حصن الاخيضر(شكل6) تبرز عن سمت الجدران بمقدار (٢,٦م) وسمك الجدار (٢,٦م) ايضاً ليصبح سمك السور مع البروج الداعمة له (٥,٢م)[45] ، وهذا السمك يساعد على متانة البناء وعدم تمكين العدو من نقبه بسهولة ، فضلا عن أنه يوفر ممرا للجنود في اعلاه [46]، اخذت له التدابير التحصينية بتغطيته بالسقوف المقببة والجدر المخروقة بالمزاغل والشرفات حماية للمدافعين.

اما من الناحية الدفاعية فإن بروز البرج عن وجه الجدار يوفر للمدافعين زاوية رصد أوسع قد تصل في بروج الاركان الى (٣٦٠°) ، وامكانية فتح أكبر عدد ممكن من المزاغل للسيطرة من خلالها على المسافة الممتدة بين برج وآخر ، كما ان الارتفاع الشاهق للبرج يوفر رؤية أفضل لا بعد مدى مكن [47]، ويجعل من الصعب تسلقه من المهاجمين وهم تحت تأثير الرمي المتواصل للمدافعين الذين يتمكنون من السيطرة على الموقف بسبب الارتفاع فقد بلغ الارتفاع الاجمالي لبروج سور بغداد المدورة (٤٠) ذراعا [48] = (20م) ، كما بلغ ارتفاع بروج حصن الاخيضر (٢١م) [49]. وقد يزيد ارتفاع البروج من مستوى الابنية أو الاسوار التي تدعمها زيادة في مدى الرؤية واتساع زاوية الرصد حيث لا تحجبها اضلاع تلك الابنية ، واشارت المصادر التاريخية أن بروج السور الاعظم في مدينة بغداد المدورة كانت ترتفع بمقدار (٥ أذرع)[50] (2,5م) عن مستوى ارتفاع السور.

واعتمد المعمار المسلم " اللم " او اللقط في بناء البروج من أجل تقليص اقطارها كلما ارتفعت لزيادة ثباتها واستقرارها وما يصاحب ذلك من تقليص في المواد الانشائية الذى سيؤدي بدوره الى تخفيف الثقل على اساساتها ، اذ ينقل لنا الخطيب البغدادي في هذا الصدد على لسان الرباح مهندس جدران مدينة المنصور المدورة " ان في كل ساف من أسواف البناء مائة الف لبنة واثنين وستين الف لبنة من اللبن الجعفري عند الاساس فلما بنينا الثلث لقطناه فصيرنا في الساف مائة الف لبنة وخمسين الف لبنة فلما جاوزنا الثلثين لقطناه فصيرنا الساف مائة الف لبنة واربعين الف لبنة الى اعلاه " [51].

ومن الاسس الهندسية المرعية في بناء البروج الساندة ايضا انتظام توزيعها على الجدران ، أي أن المسافات الفاصلة بينها متساوية القياسات ، بحيث تكون المسافة بين برج وآخر مرمى سهم اي نحو عشرون مترا في المعدل لاتصال الرمي وتقاطع السهام لتصبح المسافات بين البروج محمية [52].

وكان لا بد من وسيلة للاتصال بين الجند المدافعين المتخندقين في اعلى البروج وتنظيم العمل بينهم بالصورة المطلوبة [53] ، وادامة تواصل المؤن والذخيرة ، وهو أمر استدعى اقامة الممرات في باطن الاسوار لربط غرف البروج فيما بينها [54].

وثمة ظاهرة جديرة بالذكر هنا ، هي ما نلاحظه من فتحتات صغيرة ضحلة العمق غير نافذة منتشرة على ابدان البروج خاصة الساندة منها، وهي ظاهرة نراها في معظم الجدران الخارجية للأبنية الاثرية والتراثية الشاخصة في العراق (شكل 7) .

ولا نجد تعليلا مقنعا لهذه الفتحات . فقد عدها الباحثين ثقوبا تستند عليها اخشاب السقالات عند البناء ، وربما لأسباب تمدد الجدران من الناحية الانشائية [55]، غير أن ضحالة عمق هذه الفتحات وصغرها لا تسمح بإدخال الاخشاب فيها ، كما انها لا تترك فجوات نافذة في الجدران من اجل ان تسمح لمواد البناء بالتمدد . والذى نراه ان المعمار ربما اعتمد عليها لأغراض انشائية بحتة وهي المحافظة على الجدران من الرطوبة ، اي ان مهمتها هنا لتسريب المياه الجوفية الصاعدة مع البناء والرطوبة المتأتية من هطول الامطار عليها لتحول دون وصولها الى باطن الجدران ، وتأثير ذلك في قوة ومتانة البناء وهي ما اصطلح عليها بـ " العيون الدامعة ".

الخلاصة :

أظهرت الدراسة الموسومة (الاسس الهندسية لبناء البرج في العمارة العربية الإسلامية) ان للعرب المسلمين فكر هندسي عميق فهم لم يعتمدوا العشوائية في بناء عمائرهم المختلفة بل عمدوا الى وضع المخططات الدقيقة قبل الشروع في بناء مدنهم واعتمدوا الأسس الهندسية المتقنة في بناء عمائرهم . وتبين من خلال الدراسة الموسومة أعلاه ان المعمار المسلم قد راعى الأسس الهندسية في كل جزء من أجزاء عمارة البرج وفق حسابات دقيقة من حيث إقامة القاعة الجزء الأهم الذي تتوقف علية متانة البناء فكلما كانت العمارة القائمة فوقها ضخمة ومرتفعة كلما عمد المعمار الى اتساع القاعدة وتدرجها لتأخذ الشكل الهرمي او المدرج وانتقاء اقوى المواد البنائية مثل الاجر الصلب (الصخريج) المعامل بدرجات حرارية عالية او اعتماد الحجارة في تهيئة قاعدة صلبة تتحمل ثقل ابدان البروج المرتفعة .

ومن اجل معالجة ضخامة ابدان البروج وارتفاعها اعتمد المعمار المسلم أسس هندسية في ضبط شاقوليتها وثباتها فوق قواعدها باعتماد ظاهرة اللم (اللقط) بضم صفوف البناء الى لب البرج

وتضيق ابدانها كلما ارتفعت حتى تتراءى جدرانها للناظر وكأنها مائلة الى الداخل وهذا يوفر ثباتا للبرج ويقلل من الثقل المسلط على القاعدة بفعل تقليل المواد البنائية فضلا عن الاقتصاد بالنفقات .

كما عمد المعمار الى التقليل من تاثير قوة اصطدام الريح بابدان البروج العالية والتي قد تسبب لها الانهيارات بتشتيت تلك القوة من خلال كوى نافذة تفتح بارتفاعات مناسبة في جدران البرج ، فضلا عن ان تلك الكوى تعمل على ادخال الضوء والهواء الى داخل بدن البرج المجوف عادةً . وعمد أيضا الى تزويد البروج بوسائل الدفاع كالمزاغل والسقاطات والشرافات وهي قائمة على رؤية هندسية متقنة من خلال اتساع تلك النوافذ (المزاغل) من الداخل وضيقها من الخارج وهي بهذا التصميم تمنح المدافعين حرية الحركة والمناورة ودقة التصويب فضلا عن ان ضيق المزاغل من الخارج يجعل من الصعوبة بمكان تسديد الأعداء مقذوفات اسلحتهم من خلالها الى داخل البرج .

وختاماً فان كل هذه المعالجات تنم عن اتقان العرب المسلمين فقه الهندسة المعمارية .

الهوامش :

1 – باقر ، طه ، مقدمة في تاريخ الحضارات القديمة ، بغداد ، 1973، 1\70

2 – ينظر : الاعظمي ، محمد طه ، الاسوار والتحصينات الدفاعية في العمارة العراقية القديمة ، رسالة دكتوراة غير منشورة ، جامعة بغداد ، كلية الاداب ، 1992، ص 306–319

3 – ابن منظور ، أبو الفضل جمال الدين محمد ، لسان العرب ، دار صادر ، بيروت ، 1966، 2\212، الفيروزبادي ، مجد الدين محمد ب0 ، ن يعقوب ، القاموس المحيط ، مصر ، 1330هجرية ، ، 1\178

4– سورة لنساء الاية 78

5 – الفراهيدي ، الخليل بن احمد ، العين ، بغداد ، 1982 ، 6\112، 113

6– ابن منظور ، لسان العرب ، 2\112

7 – معلوف لويس ، المنجد في اللغة والاعلام ، بيروت ، 1976 ، ص31.

8 – المزغل من زغل الشئ زغلا وازغله ، صبه واخرجة دفعا (ابن منظور ، لسان العرب ، 12\30) وتوصف المزاغل بانها مرامي النشاب (ابن الفوطي المصدر السابق ص23)وعلية فالمزغل عبارة عن نافذة يطل من خلالها المدافع لمراقبة مايجري خارج البرج ومعالجة المهاجمين برميهم بالسهام .(شافعي ، فريد ، العمارة العربية في مصر الإسلامية ، 1\211

9– السقاطات : عناصر عمارية بارزة تبنى على هيئة شرفات صغيرة تتخللها فتحات شاقولية تتدلى من اعلى الاسوار او البوابات وتستخدم لالقاء مقذوفات المدافعين المتخندقين فيها مثل الزيت المغلي او الماء الحار او الحجارة او السهام على الأعداء المهاجمين (شافعي ، فريد ، المصدر السابق ،1\ 213

10 – الشرفة اعلى الشئ وهي ما يوضع على أعالي اسوار القصور والمدن (سعيد خليل ، الربط الإسلامية ، رسالة ماجستير غير افمنشورة ، بغداد ، 1973 ، ص103 واشرافات من العناصر العمارية التي تتوج جدران الأبنية وتاخذ اشكالا هندسية مثلة او مدرجة او هرمية

غرضها الزينة والدفاع (الهاشمي ، نسيبة محمد الشرافات ضهورها وتطورها حتى سنة 656هجرية \ 1258 م أطروحة دكتوراه غير منشورة ، جامعة بغداد ، 1995 ص 33

11 – ابن منظور ، لسان العرب ، 5\240 .

1212 – ينظر الشمري ، إبراهيم سرحان ، منارات الهداية والدلالة على الطرق البرية والبحرية في الدولة العربية الإسلامية ، مجلة ايسن للاثار التاريخ واللغات القديمة ، العدد 6 ، 2023م

13 – ينظر العزاوي ، عبد الستار ، استدراكات (منارة ام القرون ليست مأذنة) ، مجلة سومر ، م36 ، 1980 ، ص 318 . الشمري إبراهيم ، المصدر السابق ، ص 260

14 – حول هذا الموضوع ينظر ، الشمري إبراهيم سرحان ، البرج في العمارة العربية الإسلامية في العراق ، أطروحة دكتوراة غير منشورة ، جامعة بغداد ، 1996 م ، ص 6

(15) العاني ، مآذن مدينة السلام ، ص ١٥٨ .

(16) العبيدي ، المصدر السابق ، ص66 .

(17) كما في قواعد بروج السور الخارجي لمديد بغداد المدورة ، اليعقوبي، البلدان ، ص8 .

18 – ومنها منارة ام القرون التي بنيت قاعدتها بالحجارة : ينظر ، العزاوي ، عبد الستار ، طريق الحج البري ، ، ص 112

(19) مديرية الآثار القديمة ، حفريات سامراء ، 14/1 .

20 – العزاوي ، عبد الستار ، طريق الحج البري دة درب زبيدة ، مجلة سومر ، م4، 1985م ، ص 112

(21) العاني ، مآذن مدينة السلام ، ص163 .

(22) كريشن ، المصدر السابق ، ص ٣٣ .

(23) الشمس ، الحضر العاصمة العربية ، ص ٢٤ .

(24) موركات ، أنطوان ، الفن في العراق القديم ، مترجم ، بغداد ، 1979، ص 25 وينظر الاعظمي ، محمد طه ، المصدر السابق ، ص34

(25) العاني ، مآذن مدينة السلام ، ص ١٦٥ .

(26) مصطفى ، شاكر ، المدن في الاسلام حتى العصر العثماني ، الكويت (١٩٨٨م) ، ٤٤١/١٠

(27) العميد ، " العمارة العسكرية " ، حضارة العراق ، 197/9.

(28) العاني ، مآذن مدينة السلام ، ص164.

(29) شافعي ، العمارة العربية ماضيها وحاضرها ومستقبلها ، ص170.

(30) العاني ، مآذن مدينة السلام ، ص ١٠٥.

(31) المصدر نفسه ، ص175.

(32) ابن الجوزي ، المنتظم ، 15/9.

(33) شافعي ، المصدر السابق ، ص177 .

(34) العاني ، مآذن مدينة السلام ، ص177 .

(35) الجمعة ، " القباب العربية وتطورها خلال العصور العربية الاسلامية " ، ص328 .

(36) المعروف ان المنارة الشامية قد اتخذت من الخشب مادة لمظلتها – ابن كثير اسماعيل بن عمر ، البداية والنهاية في التاريخ ، مطبعة السعادة ، مصر، ١٣٤٨هـ ، 150/9 .

(37) العزاوي ، طريق الحج القديم ، ص212.

38 – ينظر : مديرية الاثار القديمة ، الاخيضر ، بغداد ، 1937 ، ص29 . مهدي ، علي محمد ، الاخيضر ، بغداد ، 1969، ص23

(39) حمزة ، المصدر السابق ، ص190.

(40) مؤلف مجهول ، الاستبصار في عجائب الامصار ، بغداد ، 1986م ، ص97 .

(41) ابن المجاور ، جمال الدين ، تاريخ المستبصر أو صفة بلاد اليمن ومكة وبعض الحجاز ، ق٢ ، لىدن ١٩٥٤ م ، ص182 .

42() مظلوم ، " نماذج الاصالة المعالجات المناخية في العمارة العربية "، مجلة التراث والحضارة ، العدد ٨ – ٩ (١٩٨٦ – ١٩٨٧) ، ص10 .

43() المقدسي ، المصدر السابق ، ص170.

(44) فكرى ، المدخل ، ص ١١٤ .

(45) سلمان ، المصدر السابق ، ص267 .

(46) عثمان ، المدينة الاسلامية ، سلسلة عالم المعرفة ، عدد ١٢٨ ، الكويت ، 1988م ، ص142 .

(47) المصدر نفسة ، ص124 .

(48) الخطيب البغدادي ، المصدر السابق ، 74/1 .

(49) مهدي ، الاخيضر ، ص23 .

(50) الخطيب البغدادي ، المصدر السابق ، 74/1 .

(51) المصدر نفسه ، 71/1 وينظر الاحصائية التي أوردها الاستاذ كرزويل في هذا الشأن . كرزويل ، المصدر السابق ، ص221–222 .

(52) رؤوف والعبيدي ، المصدر السابق ، ص140 .

(53) عثمان ، المدينة الاسلامية ، ص138 .

(54) حيث نرى ذلك مجسدا في حصن الاخيضر . ينظر : مهدي ، محمد علي ، المصدر السابق ، ص98 . واسوار قلعة صلاح الدين الايوبي في القاهرة

(55) العزاوي ، طريق الحج القديم ، ص206 .

المصادر والمراجع

القران الكريم

1– ابن الجوزي ، عبد الرحمن ، المنتظم في تاريخ الملوك والأمم ، مطبعة حيدر اباد الدكن ، 1358هج)

2 – ابن الفوطي ، كمال الدين ، الحوادث الجامعة والتجارب النافعة في المائة السابعة، بغداد ،1932م

3– ابن كثير ، عماد الدين إسماعيل ، البداية والنهاية في التاريخ، مصر 1348–1351هـ

4– ابن المجاور ، جمال الدين ، تاريخ المستبصر اوصفة بلاد اليمن ومكة وبعض الحجاز ، مطبعة ليدن ، ق1 1952م

5– ابن منظور ، أبو الفضل جمال الدين محمد ، لسان العرب ، دار صادر ، بيروت ، 1966م

6– الاعظمي ، محمد طه ، الاسوار والحصينات الدفاعية في العمارة العراقية القديمة ، رسالة دكتوراه غبر منشورة ، جامعة بغداد ، 1992 م

7– باقر ، طه، مقدمة في تاريخ الحضارات القديمة ،بغداد 1973 الجزء الأول

8– الجمعة ، احمد قاسم ، القباب العربية وتطورها خلال العصور الإسلامية مركز احياء التراث العلمي العربي ، جامعة بغداد 1989م

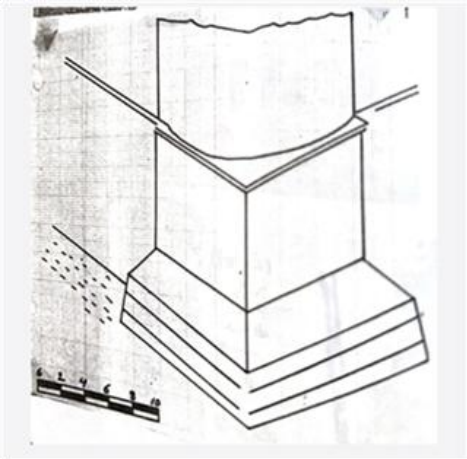
9– حمزة ، حمزة حمود ، النوافذ في العمارة العباسية في العراق ، رسالة دكتوراه غير منشورة ، جامعة بغداد 1990م

10– الخطيب البغدادي الحافظ أبو بكر احمد ، تاريخ بغداد مدينة السلام ، القاهرة ، 1931م

11- رؤوف ، صبيح محمد ، والعبيدي ، صلاح حسين ، المظاهر العسكرية لحصن الاخيضر ، مجلة سومر ، م32 ،1976م
12- سعيد ، خليل، الربط الإسلامية ، رسالة ماجستير غير منشورة ، جامعة بغداد ، 1973
13- سلمان ، عيسى ، التحصينات الدفاعية في الاخيضر ، الجيش والسلاح ، ج3 ،1987م
14- شافعي ، فريد ، العمارة العربية الإسلامية ماضيها وحاضرها ومستقبلها ، الرياض ، 1982م ،
15- العمارة العربية في مصر الإسلامية ، القاهرة ، 1970م
16- الشمري ، إبراهيم سرحان ، البرج في العمارة العربية الإسلامية في العراق ، رسالة دكتوراه غير منشورة ، جامعة بغداد 1996م
17 -منارات الهداية والدلالة على الطرق البرية والبحرية في الدولة العربية الإسلامية ، مجلة ايسن ، العدد 6 ، 223م
18- الشمس، ماجد ، الحضر العاصمة العربية ، بغداد ، 1988م
19- العاني ، علاء الدين احمد ، مآذن مدينة السلام ، رسالة دكتوراه غير منشورة ، جامعة بغداد 1992م
20- العبيدي ، عباس فاضل ، قصر المعشوق، رسالة ماجستير غير منشورة ، جامعة بغداد 1987م
21- عثمان، محمد ، المدينة الإسلامية سلسة عالم المعرفة عدد 128 ، الكويت 1988م
22- العزاوي ، عبد الستار ، استدراكات منارة ام القرون ليست مأذنة ، مجلة سومر ، م36 ، 1980م
23- طريق الحج القديم درب زبيدة محطة القرون ، مجلة سومر ، م44 1985م
24- العميد ، طاهر مظفر ،العمارة العباسية في سامراء ، بغداد 1976م
25- الفراهيدي ، الخليل ابن احمد ، العين ، ج6 ، بغداد، 1982 م
26- فكري ، احمد ، مساجد القاهرة ومدارسها ، دار المعارف ، مصر 1961 م
27- الفيروزبادي ، مجد الدين محمد ابن يعقوب ، القاموس المحيط ، مصر ، 1330 هـ
28- كريزويل ، ك، الاثار الإسلامية الأولى ، مترجم ، دمشق ، د، ت ،ط
29- كريشن فريمز ، عجائب الدنيا في بابل ، مترجم ، بغداد ، 1976م
30- مديرية الاثار القديمة ، الاخيضر ، بغداد ، 1937 م ،
31- حفريات سامراء 1936-1939 م1 ، بغداد ،1940م

32- مصطفى ، شاكر ، المدن في الإسلام حتى العصر العثماني ، الكويت ، 1988م
33- مظلوم ، طارق عبد الوهاب ، نماذج لاصالة المعالجات المناخية في العمارة العربية ، مجلة التراث والحضارة ، العدد 8-9 سنة 1986-1987م
34- مورتكات ، أنطوان ،الفن في العراق القديم ، مترجم ، بغداد 1975م
35- مؤلف مجهول ، الاستبصار في عجائب الامصار ، بغداد 1986م
36- مهدي ، علي محمد الاخيضر ، بغداد 1976، م
37- الهاشمي ، نسيبة محمد ، الشرفات ظهورها وتطورها حتى سنة 656 هـ/ 1258م، اطروحة دكتوراه غير منشورة ، جامعة بغداد ، 1995م .

(شكل ، أ) قواعد وابراج قصر المعشوق تصوير الباحث

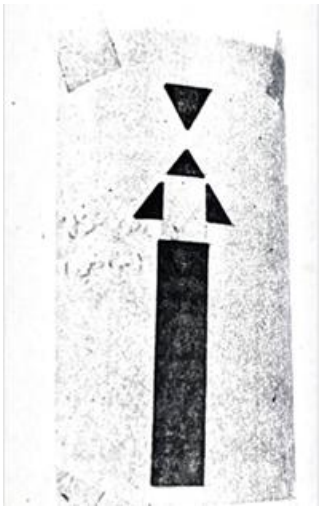


(شكل1، ب)رسم القاعدة برج من قصر المعشوق

(شكل 2)قاعدة منارة ام القرون

(شكل3) مدخل منارة موقدة وارتفاعه فوق القاعدة

(شكل4)حوض منارة جامع الرقة وتظهر الكوى الاخيضر



(شكل 5) رسم لاحد مزاغل حصن

(شكل 6) بروج حصن الاخيضر (تصوير الباحث)

(شكل 7) فتحات العيون الدامعة اعلى العقود وعلى ابدان البروج (تصوير الباحث)