وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه بناب

فصلنامه معماری و محیط اقلیم سرد

دوره ۱، شماره ۲، بهار ۱۴۰۵
شاپا الکترونیکی: ۰۸۲۲-۳۱۳۴
https://ccae.ubonab.ac.ir



Research Paper

Structural Patterns and Construction Systems in Maku's Historic Historic Houses: Case Studies of the Bank Melli, Finance Department, and Police Department Buildings

Ahad NejadEbrahimi[*1], **Mahdi Asari**[2]

1- Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.
2- M.A. in Islamic Architectural Engineering, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.

ARTICLEINFO

Received:2026/04/10
Accepted:2026/09/09
PP: 58-82

Scan the QR code below to access and read this article.

Keywords: Traditional Structures ; Historic Architecture; Historic Houses; Structural Patterns; Maku City.

Abstract

Objective: This research investigates the structural principles underlying the sustainability of historic houses in Maku, Iran. It aims to analyze indigenous construction techniques to elucidate how historical builders achieved resilient and stable structural systems in this mountainous region. By leveraging generational empirical knowledge and the strategic selection of local materials, Maku's historic architecture features structural patterns that were developed to effectively address both functional requirements and long-term physical durability. The hybrid application of stone, timber, and other available materials plays a decisive role in establishing this structural stability.

Findings: The findings indicate that by relying on empirical knowledge and the strategic integration of indigenous materials—particularly stone and wood—Maku's local architects developed patterns that enhance structural integrity while contributing to physical and economic sustainability. The structural geometry and gravity load distribution in these houses reflect an optimal balance between structural flexibility and physical performance, demonstrating a seamless integration of structure and architecture adapted to the region's unique topography and climate.

Methodology: This research employs a descriptive-analytical method. Data were collected through the analysis of surviving historic houses, including the National Bank, the Police Station, and the Finance Department, archival research, field surveys, and the interpretation of oral narratives from local master builders. This approach facilitates a comprehensive understanding of the underlying logic and historical structural techniques inherent in these buildings.

Conclusion: The study concludes that the structural models of Maku, characterized by the intelligent organization of load-bearing elements, hold significant potential for reproducing sustainable solutions in contemporary design. The logic of material usage and force distribution systems in these buildings can serve as a practical paradigm for enhancing structural quality and sustainability in modern construction.

Citation: NejadEbrahimi.A., Asari. M. (2026). Structural Patterns and Construction Systems in Maku's Historic Historic Houses: Case Studies of the Bank Melli, Finance Department, and Police Department Buildings. *Journal of Cold Climate Architecture and Environment*,Vol 13, No 51, PP: 1-18.
DOI:

فصلنامه معماری و محیط اقلیم سرد
دوره ۱، شماره ۲، بهار ۱۴۰۵
شاپا الکترونیکی: ۰۸۲۲-۳۱۳۴
https://ccae.ubonab.ac.ir



Extended Abstract

Introduction

Vernacular architecture should not be understood solely in terms of visual or formal qualities. Rather, it constitutes an organized system shaped by the interaction of human needs, environmental constraints, site-specific natural conditions, and available technical resources. Accordingly, the built fabric of vernacular architecture in any region reflects specific patterns of adaptation to local climatic, geological, and cultural conditions.

Within this context, the historic city of Maku, located in northwestern Iran and characterized by its mountainous and rocky terrain, provides a significant case for examining the relationship between natural geomorphology and traditional construction systems. The placement of parts of Maku's historic urban fabric among massive rock formations and on steep slopes required architectural solutions capable not only of ensuring indoor thermal comfort in a cold mountainous climate, but also of addressing structural stability, load transfer, differential settlement, lateral thrust, and climatic loads, particularly snow loads.

In such a demanding topographical setting, Maku's historic buildings were required to maintain structural stability on irregular rocky ground while simultaneously providing habitable interior environments. Accordingly, the principal concern of this research is to identify and explain the structural and construction strategies employed by local master builders to create stable residential and administrative buildings in the cold and rocky environment of Maku. The central question is how the structural systems of these buildings achieved equilibrium by reconciling the demands of construction on a hard and discontinuous rocky substrate with the mechanical properties of local materials and the functional requirements of the buildings.

To address this question, three prominent historic buildings in Maku were selected: the National Bank building, the Police Department building, and the Department of Finance building. These case studies were chosen on the basis of two principal criteria: first, their importance within the historical and physical fabric of the city; and second, observable evidence of their long-term structural stability under both gravity and lateral loads over their service life. Preliminary observations suggest that these buildings have demonstrated satisfactory performance under dead loads, snow loads, thermal expansion, localized ground movement, and lateral actions.

The analysis of these buildings therefore makes it possible to formulate a coherent understanding of the structural logic underlying Maku's historic architecture. The primary objective of this study is to examine the hidden structural mechanisms of these buildings, with particular emphasis on the relationships among materials, construction details, building geometry, and load paths. More specifically, the study seeks to clarify how the integration of heterogeneous materials, especially stone, adobe, and timber, within a unified construction system resulted in a structure that was both stable and adaptable on a rigid rocky foundation. Within this framework, the concept of adaptive construction logic is proposed as an analytical tool to describe a building system that develops in accordance with, rather than in opposition to, the physical and geometric logic of the natural ground.

Methodology

This qualitative study adopts a descriptive-analytical approach. The process of data collection, organization, and analysis was executed across four complementary layers:

1. Technical Documentation and Surveying: The three selected buildings were subjected to direct physical inspection. Key structural details were recorded and analyzed, including the anchoring of walls to the rocky bed, the dimensions and thickness of load-bearing piers across different floors, the arrangement of timber elements in floor/ceiling systems, the bonding patterns of materials, and the masonry techniques.
2. Qualitative Mechanical Analysis of Indigenous Materials: The physical and structural properties of the primary materials (stone, adobe, and timber) were evaluated based on classical mechanics to determine their respective contributions to compressive, tensile, and shear resistance, as well as the composite behavior of the masonry assembly.
3. Comparative Analysis: A comparative evaluation of the three case studies was conducted to identify shared constructive patterns and localized variations, aiming to establish a generalized framework for Maku's historical building systems.
4. Interpretation of Oral Histories and Tacit Knowledge: Local master builders' implicit knowledge—which is rarely documented in technical drawings but remains critical for understanding historic foundation techniques, material bonding, and topographic adaptation—was interpreted and integrated into the analysis.

فصلنامه معماری و محیط اقلیم سرد
دوره ۱، شماره ۲، بهار ۱۴۰۵
شاپا الکترونیکی: ۰۸۲۲-۳۱۳۴
https://ccae.ubonab.ac.ir
وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه بناب



Results and Discussion

The field surveys and structural analyses indicate that the construction system of Maku's historic buildings operates across three primary levels:

- 1. Gravity Load Management and Slenderness Control of Load-Bearing Elements

Analysis of the load-bearing piers, particularly in the Finance Department building, reveals that the walls were constructed with a vertically tapered profile. The thickness of the ground floor walls, which rest directly on stone foundations or bedrock, ranges between 100 and 120 cm. This substantial thickness served multiple concurrent functions: safely transferring upper-floor gravity loads to the ground, increasing the footprint of the building on the uneven substrate, reducing localized stress concentrations, and providing mass-based resistance against lateral earth pressure and potential soil thrust. Additionally, these thick walls acted as high thermal mass barriers, stabilizing indoor temperature fluctuations in the cold climate.

On the upper floors, wall thickness decreases to approximately 60 to 80 cm. This gradual reduction is not merely an economic or practical choice but a deliberate structural logic. Decreasing mass along the height reduces the dead load of the upper floors, thereby lowering the overturning moment and seismic shear forces. Furthermore, this configuration ensures a logical load path from the lighter upper components to the highly consolidated ground floor mass. In other words, a structural rigidity hierarchy is evident, characterized by a controlled reduction in weight and stiffness from the base to the top.

- 2. Material Synergy and the Role of Timber Lacing in Structural Integrity

One of the key findings of this research is the systematic integration of horizontal and vertical timber elements (timber lacing or *katibeh*) within the stone and adobe masonry walls. In the Police Department building, these timber elements form a three-dimensional grid, providing integrity to the perimeter walls. This mechanism operates as a containment or tie-beam system. Timber, possessing high tensile strength and energy dissipation capacity, acts as a ductile complement to the brittle, compression-dominant stone and adobe masonry.

While stone and adobe provide excellent compressive resistance, they are highly vulnerable to tension and sudden deformations. The inclusion of timber members prevents localized stress concentration, mitigates crack propagation, and wards off brittle failure modes. Under lateral forces (such as seismic action, uneven settlement, or thermal expansion), these timber elements introduce ductility into the structural system.

Thus, while the stone piers provide the primary load-bearing capacity and stiffness, the timber elements act as a structural mediator, preventing localized failures from escalating into global collapse. This behavior can be described as a "middleware" structural mechanism—neither entirely rigid nor fully flexible, but reliant on a combination of strength and controlled deformation. This mechanism is critical in Maku, where structures must adapt to severe thermal cycles and non-homogeneous foundation soils.

The floor and roofing systems follow a similar logic. In all three buildings, the floors are constructed using regularly spaced timber joists. These joists transfer floor loads linearly to the load-bearing masonry walls while minimizing the building's dead weight. Above these timber joist systems, light wooden trusses or pitched framing were installed in certain zones to create sloped roofs. This configuration is highly effective in Maku's cold, snowy climate, as the pitched roof sheds snow rapidly, preventing the accumulation of heavy snow loads.

- 3. Geometric Adaptation to Topography and Foundation Design

A defining characteristic of Maku's historic architecture is its direct anchorage to the bedrock or shallow lithic strata. Field evidence from all three buildings shows that rather than executing extensive leveling of the rocky terrain, the builders utilized a "step-footing" (*pi-sazi-ye pellei*) strategy. Each section of the building foundation was placed on an undisturbed natural rock terrace, managing elevation differences through controlled steps in the foundation.

This approach offered significant engineering advantages: it avoided the labor-intensive excavation of bedrock, preserved the natural integrity of the ground, minimized the risk of differential settlement, and enhanced the mechanical bond between the superstructure and the bedrock. Instead of imposing a rigid geometric form on the site, the building's geometry adapted to the natural topography.

This principle is most pronounced in the Finance Department building, where natural rock outcrops serve not only as foundation support but also function directly as part of the load-bearing wall system. This integration blurs the boundary between the natural ground and the man-made structure, establishing physical continuity that optimizes direct, safe load transfer to the solid bedrock.

Conclusion

فصلنامه معماری و محیط اقلیم سرد
دوره ۱، شماره ۲، بهار ۱۴۰۵
شاپا الکترونیکی: ۰۸۲۲-۳۱۳۴
https://ccae.ubonab.ac.ir
وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه بناب



Based on the findings of this research, the traditional construction system of Maku can be understood as a structural logic based on minimum intervention and maximum adaptation. Within this framework, major building components are primarily functional rather than decorative, and each element performs simultaneous structural, constructive, and climatic roles. Stone not only carries compressive loads but also provides thermal mass for indoor temperature regulation. Adobe walling improves the thermal performance of the envelope, while timber elements act both as tensile lacing to limit cracking and as lightweight joists in floor and roof systems. Maku's traditional construction system relied on geometric alignment with natural slopes, effective use of bedrock bearing capacity, and minimal site excavation. This indicates that structural stability in vernacular architecture depends not only on material strength, but also on contextual understanding and efficient load distribution. A key contribution of this study is the identification of a hybrid structural behavior in Maku's historic buildings. This condition, neither fully rigid nor fully flexible, results from the composite interaction of materials with contrasting mechanical properties. Stone and adobe provide mass, stability, and compressive resistance, while timber contributes tensile capacity, ductility, and stress redistribution. Together, these materials enable the buildings to accommodate thermal variation, material movement, and minor foundation settlement. From a bioclimatic perspective, this system is also highly effective. The thermal mass of stone and adobe moderates indoor temperature fluctuations in the cold mountain climate, while lightweight timber roof structures support pitched forms that improve snow shedding. Ultimately, the structural systems of Maku's historic architecture are inseparable from their site. Rather than being imposed on the landscape, they emerge from it and remain structurally bonded to the bedrock. This finding highlights the importance of recovering vernacular engineering knowledge, not only for architectural heritage conservation, but also for developing contemporary low-impact structural solutions for mountainous environments.



فصلنامه معماری و محیط اقلیم سرد

دوره ۱، شماره ۲، بهار ۱۴۰۵

شاپا الکترونیکی: ۰۸۲۲-۳۱۳۴

https://ccae.ubonab.ac.ir

وزارت علوم تحقیقات و فناوری

دانشگاه بناب

مقاله پژوهشی

الگوهای‌سازه‌ای و سیستم ساخت در خانه های تاریخی شهر ماکو (مطالعه موردی: ساختمان‌های بانک ملی، دارایی، شهربانی)

احد نژادابراهیمی*: گروه معماری و هنر، دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

مهدی آثری: کارشناسی ارشد مهندسی معماری اسلامی- دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۹

شماره صفحات: ۸۲-۵۸

برای مطالعه این مقاله کد زیر را اسکن کنید

واژه‌های کلیدی:

سازه های سنتی، معماری تاریخی، خانه‌های تاریخی، الگوهای سازه-ای، ماکو

چکیده

هدف پژوهش بررسی رویکردهای سازه‌ای در پایداری خانه‌های تاریخی می‌باشد. در این پژوهش تحلیل شیوه‌های ساخت‌وساز بومی در خانه‌های شهر ماکو و تبیین چگونگی دستیابی معماران تاریخی این منطقه به ساختارهای مقاوم و پایدار انجام شده است. معماری تاریخی ماکو با اتکا به تجربه نسل‌های متعدد سازندگان و م صالح بوم‌آورد، به الگوهایی سازه‌ای د ست یافته ا ست که توا ستهاند نیازهای عملکردی و دوام کالبدی خانه‌ها را به‌طور مؤثر تأمین کنند. استفاده ترکیبی از سنگ، چوب و سایر مصالح در دسترس، نقشی تعیین‌کننده در شکل‌گیری این پایداری سازه‌ای داشته است.

یافته‌ها نشان می‌دهد که معماران بومی ماکو با شناخت دقیق از ظرفیت باربری مصالح بوم‌آورد (به‌ویژه ترکیب سنگ و چوب) و انطباق نظام ساختمانی با توپوگرافی و اقلیم خاص منطقه، به تعادلی بهینه میان انعطاف‌پذیری سازه‌ای و عملکرد کالبدی د ست یابند. هند سه ساختاری و توزیع بارهای ثقلی در این بناها، فراتر از یک پاسخ عملکردی، نمایانگر یکپارچگیِ کامل میان سازه و معماری است.

پژوهش حا ضر از نوع تو صیفی-تحلیلی ا ست. گردآوری داده‌ها از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، برر سی ا سناد تاریخی، بردا شت‌های میدانی از نمونه‌های برجای‌مانده و بازخوانی روایت‌های شفاهی معماران محلی در سه بنای تاریخی بانک ملی،شهربانی و دارایی صورت گرفته است تا لایه‌های منطقی سیستم‌های سازه‌ای بازشناسی شوند.

نتایج تحقیق بیانگر آن است که الگوی سازه‌ای معماری ماکو، مبتنی بر سازمان‌دهی منطقی عناصر باربر، باعث ایجاد ظرفیتی بالا جهت بازتولید راهکارهای پایدار در طراحی معا صر دارد. منطق به‌کارگیری مصالح و شیوه‌های انتقال نیرو در این بناها می‌تواند به عنوان الگویی کاربردی در ارتقای کیفیت سازه‌ای و پایداری ساخت‌وسازهای امروزی مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

استناد: نژادابراهیمی، احد؛ آثری، مهدی. (۱۴۰۵). الگوهای سازه‌ای و سیستم ساخت در خانه های تاریخی شهر ماکو (مطالعه موردی: ساختمان‌های بانک ملی، دارایی، شهربانی)، ۱(۲)، صفحات: ۸۲-۵۸

DOI:

نویسنده مسئول: احد نژاد ابراهیمی **تلفن:** ۰۴۱۳۵۵۳۹۲۰۷ **ایمیل:** ahadebrahimi@tabriziau.ac.ir

۱- مقدمه

سنت به‌طور کلی به مجموعه‌ای از دانش‌ها، باورها، مهارت‌ها و شیوه‌های زندگی اطلاق می‌شود که در میان مردمانی با فرهنگ مشترک، به‌صورت شفاهی و غیرشفاهی از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌گردد. این انتقال نه‌تنها موجب حفظ هویت فرهنگی یک جامعه می‌شود، بلکه زمینه استمرار و تکامل تجربیات بشری را نیز فراهم می‌آورد.(Dobrowlski, 1971) در حوزه معماری، سنت به‌صورت مجموعه‌ای از اصول، الگوها و شیوه‌های ساخت‌وساز متجلی می‌شود که طی قرن‌ها شکل گرفته و در پاسخ به شرایط اقلیمی، فرهنگی، اجتماعی و فنی هر منطقه تکامل یافته است(صادقی‌پی ،۱۳۸۸).

معماری تاریخی ایران یکی از برجسته‌ترین جلوه‌های این میراث فرهنگی به شمار می‌آید. این معماری صرفاً به جنبه‌های زیبایی شناختی و تزیینی بنا محدود نمی‌شود، بلکه هماهنگی میان فرم، عملکرد، سازه و محیط را به‌گونه‌ای منسجم به نمایش می گذارد. در بسیاری از بناهای تاریخی ایران، زیبایی و ظرافت معماری نه تنها در نمای بیرونی و فضای داخلی مشاهده می‌شود، بلکه در ساختار سازه‌ای بنا نیز جلوه‌گر است. به عبارت دیگر، سازه در معماری تاریخی ایران تنها نقش تحمل بار را بر عهده ندارد، بلکه خود به‌عنوان بخشی از بیان معماری و عامل شکل‌دهنده به فضا و فرم بنا عمل می‌کند.

پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه سازه‌های معماری تاریخی ایران اغلب بر عناصر شاخصی همچون طاق‌ها، قوس‌ها و گنبدها متمرکز بوده‌اند و نحوه شکل‌گیری، اجرا و انتقال نیرو در این عناصر را بررسی کرده‌اند. این عناصر سازه‌ای، علاوه بر کارکرد فنی، نقش مهمی در تعریف فضاهای معماری و ایجاد هویت بصری در بناهای سنتی ایفا می‌کنند. با این حال، بررسی سازوکارهای سازه‌ای در مقیاس محلی و در ارتباط با ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی هر منطقه، همچنان نیازمند پژوهش‌های بیشتر است همچنین مرور پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که اغلب مطالعات حوزه معماری تاریخی یا به بیان ویژگی‌های مفهومی و فرهنگی معماری بومی پرداخته‌اند و یا رفتار سازه‌ای برخی عناصر و مصالح را در نمونه‌هایی از مناطق مختلف ایران بررسی کرده‌اند؛ با این حال، تحلیل منسجم رویکردهای سازه‌ای خانه‌های تاریخی شهر ماکو و تبیین نقش آن‌ها در پایداری کالبدی بناهای مسکونی تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است. نوآوری اصلی پژوهش حاضر در آن است که با اتخاذ رویکرد توصیفی تحلیلی و با تمرکز بر مطالعه میدانی خانه‌های تاریخی ماکو با مطالعه نمونه های موردی (ساختمان بانک ملی ،شهربانی و دارایی) که هرسه تغییرکاربری یافته از خانه به ساختمان اداری هستند ، تلاش می‌کند منطق سازه‌ای حاکم بر ساخت این خانه‌ها را در قالب یک چارچوب تحلیلی بازخوانی کند. در این پژوهش، پایداری نه صرفاً به‌عنوان پیامد شرایط محیطی یا استفاده از مصالح بومی، بلکه به‌عنوان نتیجه تعامل آگاهانه میان شیوه‌های ساخت، نحوه سازماندهی عناصر سازه‌ای و ترکیب مصالح سنگی و چوبی مورد تحلیل قرار گرفته است. از این منظر، پژوهش حاضر با برجسته‌سازی الگوهای سازه‌ای شکل‌گرفته در خانه‌های تاریخی ماکو، خلأ موجود میان مطالعات نظری معماری تاریخی و تحلیل‌های کاربردی سازه را کاهش داده و زمینه‌ای برای بازخوانی و بهره‌گیری از این دانش بومی در توسعه رویکردهای پایدار در معماری معاصر مسکن فراهم می‌کند.

در این میان، شهر ماکو با برخورداری از پیشینه تاریخی و معماری ارزشمند، نمونه‌های قابل‌توجهی از بناهای تاریخی را در خود جای داده است که بررسی آن‌ها می‌تواند شناخت دقیق‌تری از شیوه‌های بومی ساخت‌وساز ارائه دهد. معماری این منطقه، تحت تأثیر شرایط اقلیمی، مصالح در دسترس و تجربیات انباشته نسل‌های گذشته، از راهکارهای سازه‌ای خاصی بهره برده است که به دوام بناها کمک کرده‌اند.

بر این اساس، پژوهش حاضر با تمرکز بر سازه‌های به‌کاررفته در معماری تاریخی شهر ماکو، به بررسی ویژگی‌ها و کارکردهای آن‌ها می پردازد تا نشان دهد که چگونه معماران و سازندگان بومی با بهره‌گیری از دانش تجربی و مصالح محلی، راهکارهایی مؤثر برای افزایش پایداری و استحکام بناها ارائه کرده‌اند. این پژوهش می‌تواند گامی در جهت شناخت بهتر ارزش‌های سازه‌ای معماری تاریخی و بهره‌گیری از آن‌ها در رویکردهای معاصر حفاظت و طراحی معماری باشد.

۲- پیشینه تحقیق

پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه معماری سنتی ایران را می‌توان در سه محور اصلی مبانی نظری و ماهیت معماری سنتی، تحلیل سازه‌ای و پایداری در برابر مخاطرات و بازخوانی الگوهای بومی در معماری معاصر طبقه‌بندی کرد.

- مبانی نظری و ماهیت معماری سنتی

نخستین بخش ازپیشینه تحقیق به تبیین ماهیت و مبانی نظری معماری سنتی اختصاص دارد. صادقی‌پی (۱۳۸۸) معتقد است ارائه تعریفی جامع از معماری سنتی، به دلیل پیوند آن با متغیرهای زمان، مکان و فرهنگ، دشوار است. وی با تبیین ماهیت سنت، معماری سنتی را پدیده‌ای فرهنگی ـــ تاریخی می‌داند که استمرار آن در گرو «دست‌به‌دست شدن» تجربه‌ها و دانش میان نسل‌هاست. به‌زعم وی، شناخت این معماری مستلزم عبور از ظاهر بنا و توجه به صفات کلیدی و زمینه‌های معنایی شکل‌گیری آن در بسترهای گوناگون است. از این منظر، معماری سنتی صرفاً مجموعه‌ای از فرم‌ها و عناصر تثبیت شده نیست، بلکه نظامی زنده از دانش، تجربه و سازگاری با زمینه محسوب می‌شود. این رویکرد، چارچوبی نظری برای ورود به بررسی سیستم‌های ساخت در بناهای تاریخی فراهم می‌آورد.

با این حال، بیشتر مطالعات این محور در سطح تبیین‌های مفهومی و فرهنگی باقی مانده‌اند و کمتر به این پرسش پرداخته‌اند که این مبانی نظری چگونه در قالب منطق ساخت، سازمان سازه‌ای و شیوه‌های عملی ساخت‌وساز در بسترهای محلی تجلی یافته‌اند.

- تحلیل سازه‌ای و پایداری در مقابله با مخاطرات

بخش قابل‌توجهی از پژوهش‌ها بر عملکرد سازه‌ای بناهای سنتی و سازگاری آن‌ها با شرایط محیطی و مخاطرات طبیعی تمرکز دارد. کبیر صابر (۱۳۹۲) در بررسی خانه‌های سنتی تبریز، فن تسلیح ساختمان‌ها با شبکه‌های چوبی را حاصل خلاقیت معماران بومی برای مقابله با ضعف‌های سازه‌ای زمان خود می‌داند و بر نقش عناصر کششی چوبی در کنار مصالح فشاری تأکید می‌ورزد. این مطالعه نشان می‌دهد که راهکارهای بومی، نه بر پایه تجربه‌ای تصادفی، بلکه بر اساس نوعی عقلانیت فنی و انباشتی شکل گرفته‌اند. عباسی‌نیا و همکاران (۱۳۹۹) نیز با واکاوی سقف‌های تیرپوش استدلال می‌کنند که این سیستم‌ها صرفاً برای پوشاندن فضا طراحی نشده‌اند، بلکه راهکاری کارآمد برای پاسخ‌گویی هم‌زمان به نیازهای اقلیمی و زیستی به شمار می‌روند؛ یافته‌ای که دلالت‌های روشنی بر نقش سازه‌ای و عملکردی این پوشش‌ها در توزیع بار دارد.

در ارتباط با شرایط اقلیمی سخت و کوهستانی، خدایار و نادری (۱۳۹۸) در مطالعات خود بر روستاهای کوهستانی، دیوارهای باربر ضخیم را راهکاری هوشمندانه برای مدیریت شرایط سخت اقلیمی و کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله معرفی کرده‌اند. از سوی دیگر، زارع و بیات (۱۳۹۸) در پژوهش بر سازه‌های بوم‌آورد، پایداری را حاصل هم‌افزایی میان «سبک‌سازی» و «ساختار سازه‌ای کارآمد» می‌دانند و بر اهمیت کنترل بار مرده و مرکز ثقل در پایداری سازه‌های سنگی تأکید می‌کنند. همچنین رسولی، شهبازی و مولانایی (۱۳۹۸) در مطالعه معماری اورامانات، بر پیوند تنگاتنگ میان سازه، معماری و بستر طبیعی تأکید کرده و مفهوم «همگرایی سازه و معماری» را در بناهای صخره‌ای برجسته ساخته‌اند.

با وجود اهمیت این مطالعات، اغلب آن‌ها یا بر یک عنصر سازه‌ای خاص متمرکز بوده‌اند و یا در نمونه‌هایی محدود از مناطق خاص انجام شده‌اند؛ ازاین‌رو، هنوز تحلیل جامعی از منطق سازه‌ایِ یکپارچه در نسبت با توپوگرافی، اقلیم و بستر طبیعیِ یک منطقه مشخص کمتر دیده می‌شود.

- بازخوانی الگوهای بومی در معماری معاصر

محور سومِ ادبیات به چگونگی انتقال، تفسیر و بازتولید الگوهای بومی در معماری معاصر می‌پردازد. خادم‌حسینی قاسمی و ثابت (۱۳۹۸) معتقدند تغییرات کالبدی در معماری امروز حاصل تقابل الگوهای بومی با نیازهای مدرن است و از این منظر، بازخوانی الگوهای سنتی را در گرو شناخت همین تعامل می‌دانند. شکرپزی خیابانی و همکاران (۱۳۹۸) نیز استدلال می‌کنند که رویکردهای درون‌گرا و استفاده از مصالح بوم‌آورد در خانه‌های سنتی، مصداقی از پایداری محیطی هستند و قابلیت بازتولید در استانداردهای معماری معاصر را دارند. در این چارچوب، معماری بومی نه به‌مثابه الگویی برای تقلید شکلی، بلکه به‌عنوان منبعی برای استخراج منطق‌های پایدار طراحی، ساخت و زیست‌پذیری بازخوانی می‌شود.

با این همه، بخش مهمی از این مطالعات بیشتر بر بازتفسیر مفهومی یا زیباشناختی الگوهای بومی تأکید کرده‌اند و کمتر به این مسئله پرداخته‌اند که چگونه می‌توان منطق سازه‌ایِ نهفته در این الگوها را به‌عنوان دانشی کاربردی برای معماری معاصر استخراج و صورت‌بندی کرد.

مرور پیشینه نشان می‌دهد که مطالعات موجود عمدتاً یا به تبیین ابعاد مفهومی و فرهنگی معماری بومی پرداخته‌اند، یا رفتار سازه‌ای برخی عناصر و مصالح را در نمونه‌هایی محدود بررسی کرده‌اند، و یا به بازخوانی الگوهای سنتی در معماری معاصر از منظر مفهومی و محیطی توجه داشته‌اند. با این حال، سازوکارهای سازه‌ای هنوز کمتر در مقیاس محلی و در پیوند هم‌زمان با ویژگی‌های جغرافیایی، اقلیمی

و بستر طبیعیِ یک منطقه مشخص تحلیل شده‌اند. ازاین‌رو، پرسش اصلی آن است که منطق ساخت در خانه‌های تاریخی ماکو چگونه از خلال هم‌افزایی مصالح بومی، سازمان عناصر باربر و رابطه بنا با بستر طبیعی شکل گرفته و به پایداری سازه‌ای انجامیده است.
پژوهش حاضر با تمرکز بر معماری تاریخی ماکو، در پاسخ به این خلأ شکل گرفته است. ماکو به دلیل استقرار در گلوگاهی کوهستانی، مجاورت با صخره‌های سترگ، اقلیم سرد و مواجهه با تهدیدات لرزه‌ای، بستری ویژه برای تحلیل رابطه «انسان، سازه و بستر طبیعی» فراهم می‌کند. نوآوری اصلی این پژوهش آن است که به‌جای بررسی منفردِ عناصر سازه‌ای، سیستم ساخت را به‌مثابه یک کل منسجم بازخوانی می‌کند؛ رویکردی که می‌تواند افزون بر شناخت دقیق‌تر تاب‌آوری سازه‌های بومی، درس‌آموخته‌هایی قابل‌بازتولید برای معماری معاصر ایران ارائه دهد.

۳- مواد و روش تحقیق

این پژوهش با رویکردی کیفی و بر اساس روش توصیفی-تحلیلی انجام شده است. ضمن معرفی اجمالی برخی از خانه‌های تاریخی شهر ماکو به‌عنوان مطالعه موردی سه بنای تاریخی بانک ملی،شهربانی و دارایی با توجه به سطح اطلاعات موجود و در دسترس بودن آن‌ها در یک مجموعه نزدیک به هم انتخاب شده و تحلیل آن‌ها با تمرکز بر رویکردهای سازه‌ای به‌کاررفته در ساخت بناها صورت گرفته است. گردآوری داده‌ها از طریق مطالعه اسناد و منابع تاریخی، بررسی متون و تصاویر آرشیوی، برداشت میدانی از نمونه‌های منتخب و ثبت ویژگی‌های کالبدی و سازه‌ای آن‌ها انجام شده است. داده‌های حاصل با استفاده از تحلیل تفسیری مورد بازخوانی قرار گرفته‌اند تا منطق سازه‌ای حاکم بر انتخاب مصالح، شیوه‌های اتصال و سازماندهی ساختاری خانه‌ها در بستر تحولات تاریخی تبیین شود. در نهایت، نتایج پژوهش با هدف شناسایی ظرفیت‌های پایداری سازه‌ای در معماری تاریخی و امکان بهره‌گیری از این رویکردها در طراحی معاصر، به‌صورت تحلیلی استخراج و ارزیابی شده‌اند.

٤- چهارچوب نظری پژوهش: سازه‌های سنتی در معماری خانه‌های تاریخی

سازه:در معنای وسیع و کاربردی در علوم فنی،عبارت است از نوعی ساختار خلق شده به دست بشر که شامل اجزایی با روابط پیچیده باشد و اهداف مد نظر انسانی را محقق سازد.سازه در مهندسی سازه عبارت است از یک عضو یا مجموعه ای از اعضا که به منظور تحمل و انتقال نیرو بکار میرود.مهمترین این اهداف شامل تعادلی پایدار با حفظ شکل هندسی و الگوی از پیش تعیین شده است.از دیگر اهداف مهم که معمولا در نظر گرفته می شود شکل بهره برداری مطلوب از آن است.تفاوت ساختار با سازه در آن است که ساختار یک فرم طبیعی دارد و می‌بایست کشف یا مشاهده گردد؛حال آن که سازه دارای طراحی انسانی و مخلوق دست بشر است(ستوده بیدختی،۱۳۹۲). با همین دیدگاه سازه را نیز می توان چنین تعریف کرد :آن چیزی که به همه عناصری که در معماری مشاهده گردد و سازمان دهد، سازه می گویند (گلابچی و تقی‌زاده، ۱۳۹۰). معماری کلیتی واحد و یکپارچه است که در جهت پاسخگویی به نیازهای انسانی ساکنان آن شکل گرفته است، و تفکیک عوامل طبیعی، مصنوعی و انسانی در آن به سادگی امکان پذیر نیست(ویسه و همکاران، ۱۳۸۸).با توجه به این توضیحات پی برده می شودکه اصول ایجاد فضا تلفیق معماری و سازه به صورت جدا نشدنی می باشد. مهارت فنی و آگاهی از علوم ساختمانی و ارتباط آن با رشته معماری مقوله ای بسیار مهم است. سازه به دو شکل در معماری موثر است:

الف - عملکرد ذاتی سازه که تحمل و انتقال بار و به عنوان اسکلت نگه دارنده ساختمان است.

ب - عملکرد تندیس‌گون

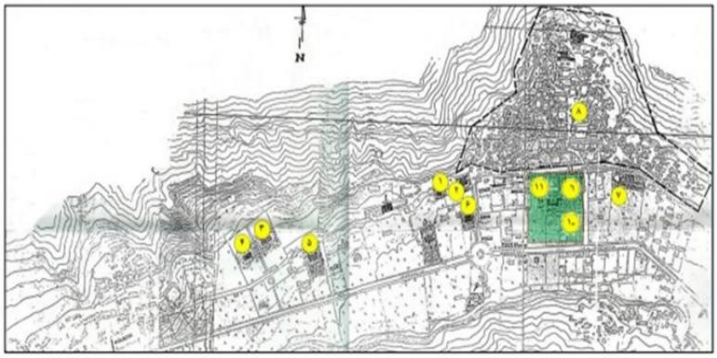
با توجه به تحقیقات انجام شده از سازه در دوره های مختلف معماری برای مفهوم دهی و شکل دهی به فضای معماری استفاده شده است و عناصر و ویژگیهای سازه ای معماری بومی و سنتی در معماری معاصر غالباً برای خلق معنا و نوعی اصالت و هویت کاربرد دارد. طراحان معماری و سازه در تلاش برای تجمیع ملاحظات معمارانه و سازه ای به روشها و ایده‌های متفاوتی دست یازیده اند که طبیعت بازنمودی شاخص و منبعی ویژه برای ارائه ایده هایی کارآمد در این زمینه بوده است. از آنجا که ساختارهای مندرج در طبیعت ساختارهایی بهینه به شمار می روند در پاسخگویی به هریک از مقوله های طراحی معماری و سازه الگوهایی بی نظیر بدست می دهند که کاربستشان می تواند در ایجاد نتایجی بهینه موثر واقع شود (رسولی و همکاران، ۱۳۹۸). در این نوشتار طبیعت به عنوان بستر اصلی ایجاد اثر و نیز زمینه ای موثر در فرایند ایجاد الگووواره و شکل گیری اثر، مطالعه شده و

امکان بهره گیری از راهبردهای آن در ایجاد و طراحی ساختار معماری همساز با سازه بررسی می گردد. در این رویکرد تفکیک فرم، سازه و عملکرد در اثر معماری راهگشا نبوده و پاسخ مناسب به یک منظور به منزله برآورده سازی سایر ملزومات طراحی می باشد.

نظام سازه‌ای در معماری تاریخی ایران، فراتر از یک ضرورت فنی برای ایستایی، به عنوان بخشی از «کلِ تفکیک‌ناپذیر» معماری و عامل سازمان‌دهنده فضا تلقی می‌گردد. بر این اساس، سازه در خانه‌های تاریخی نه تنها وظیفه تحمل و انتقال نیروهای ثقلی و جانبی را بر عهده دارد، بلکه به تعبیر گلابچی و تقی‌زاده (۱۳۹۰)، به عنوان زبان بیانگر معماری و حامل معنا و دوام بنا عمل می‌کند. این هم‌پیوندی میان فرم و ساختار در خانه‌های تاریخی، محصول فرآیندی است که در آن «سنت» به عنوان بستر انتقال دانش فنی، الگوهای پایدار ساخت را از نسلی به نسل دیگر منتقل کرده است؛ به گونه‌ای که انتخاب مصالح و تکنیک‌های اجرایی، تابعی از منطق اقلیمی و محیطی بوده است (بزرگمهری، ۱۳۸۶). در تحلیل سازه‌های سنتی، پایداری خانه‌ها ریشه در «خرد سازه‌ای» معمار بومی دارد که با درک دقیق از رفتارهای مکانیکی مصالحی چون سنگ، چوب و ملات‌های بومی، به بهینه‌ترین پاسخ‌های کالبدی دست یافته است. این رویکرد، سازه را از یک عنصر منفعل فنی به یک مولفه فعال کالبدی تبدیل می‌کند که با سازمان فضایی بنا هماهنگ است (ستوده بیدختی، ۱۳۹۲). در این راستا، خانه‌های تاریخی ماکو به دلیل موقعیت خاص بستر سنگی و کشیده، نمونه‌ای شاخص از انطباق هوشمندانه نظام سازه‌ای با محدودیت‌های محیطی هستند. در این بناها، منطقِ «سنت ساخت» با بهره‌گیری از مصالح در دسترس، منجر به ایجاد سازه‌های پایدار و تاب‌آور شده است که هویت معمارانه بنا را در عین تامین ایمنی سازه‌ای، حفظ کرده‌اند. از این منظر، مطالعه سازه‌های سنتی در این خانه‌ها نه صرفاً یک بررسی باستان‌شناختی، بلکه بازخوانی الگوهای پایداری است که در آن «سازه، معماری و سنت» در یک نظام واحد با یکدیگر هم‌افزایی دارند.

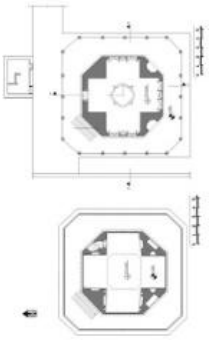
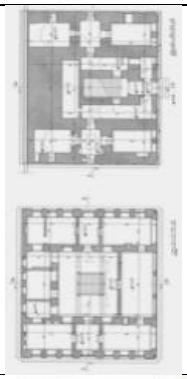
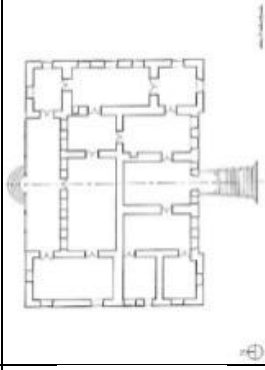
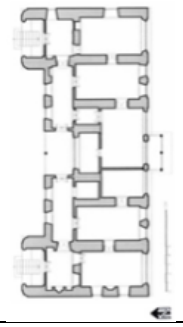
۵- بحث و یافته‌های تحقیق: نمونه مطالعات خانه های تاریخی ماکو

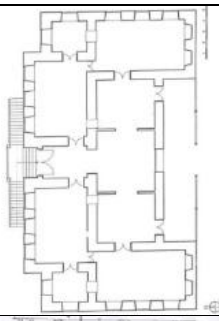
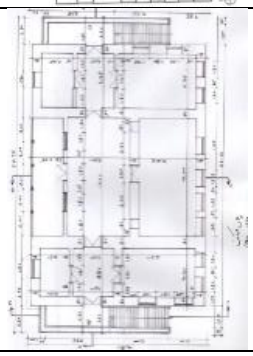
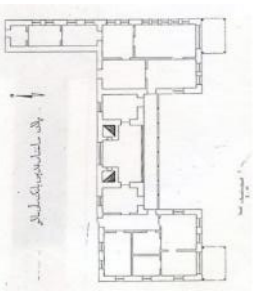
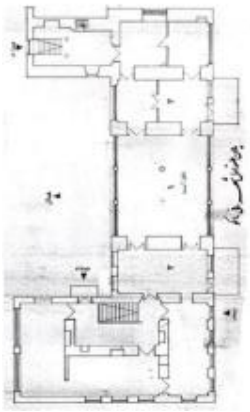
بر اساس اسناد تاریخی هسته اصلی شهر ماکو در زیر قطعه‌سنگی بزرگ که بر روی شهر پیش‌رفته، به وجود آمده است که در ابتدای شکل‌گیری شهر حفاظ قلعه محسوب می‌شد(موسوی ماکویی،۱۳۷۶). در مرتفع‌ترین وجه شمالی شهر بقایای دیوار و ساختمان‌های قدیمی، قلعه‌ای مستحکم و محل سکونت خان ماکو مشاهده می‌گردد که هسته اولیه و مرکزی شهر محسوب شده و سایر خانه‌های مسکونی و در اختلاف سطح یک یا دو طبقه حول‌وحوش آن قرار گرفته بوده است ولی به‌مرورزمان و با افزایش جمعیت و با شکل‌گیری محور دسترسی اصلی، شهر به‌صورت کاملاً خطی و در دو جبهه شمالی و جنوبی جاده گسترش‌یافته و هم‌اکنون در جهت غربی و به سمت شهر بازرگان توسعه می‌یابد(مستوفی، ۱۳۸۶). در شهر ماکو علاوه بر مستحدثات عمومی و کاخ‌ها و بناهای عام المنفعه، بناها و خانه‌های تاریخی واجد ارزش‌های تاریخی و میراث فرهنگی در شهر ماکو وجود دارد که برخی از آنها به ثبت آثار ملی رسیده است ولی برخی دیگر هنوز بررسی و ثبت نشده‌اند. در زیر به برخی از این خانه‌های تاریخی و مکان آنها در نقشه شهر اشاره می‌شود.

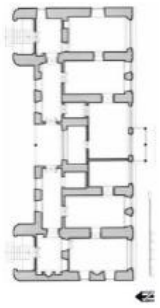


نقشه ۱) نمایش موقعیت بناهای باارزش ماکو روی نقشه(منبع نقشه: آرشیو دفتر فنی میراث فرهنگی استان آذربایجان غربی)

جدول شماره ۱)مشخصات بناهای با ارزش تاریخی ماکو(منبع: آرشیو میراث فرهنگی استان آذربایجان غربی- گزارش مطالعاتی خانه‌های تاریخی ماکو)

ردیف	نام بنا	مشخصات بنا	پلان	عکس
۱	ساختمان کلاه فرنگی	عمارت کلاه‌فرنگی ماکو، متعلق به اواخر دوره قاجار و وابسته به مجموعه علی‌قلی‌خان بیات، نمونه‌ای شاخص از معماری اعیانی منطقه است که اصالت کالبدی آن حفظ شده است. این بنای دوطبقه با پلان صلیبی و فرم بیرونی هشت‌ضلعی، دارای بالکن چوبی پیرامونی با ستون‌های متعدد است. استفاده از آجر، خشت خام، چوب و اندود گچی در کنار تزیینات شاخص گچ‌بری، آیینه‌کاری و نقاشی، ارزش معماری و هنری بنا را برجسته می‌سازد.		
۲	ساختمان شیروخور شید	این بنا در خیابان طالقانی و جنب کلاه‌فرنگی واقع شده و متعلق به یکی از افراد خانواده بیات است که تزیینات گچ‌بری آن، زیبایی خاصی به بنا بخشیده است. نمای این بنا ترکیبی از تزیینات گچبری و سنگی می-باشند. سقف بنا به صورت خرپای چوبی بوده و با شیروانی پوشانده شده است. سازه بنا خشتی است و با تیرهای چوبی مسلح شده است،سقف طبقا تیرپوش بوده و به شیوه سنتی پوشیده شده است. این بنا به شماره ۲۲۱۷ در فهرست آثار تاریخی به ثبت ملی رسیده است.		
۳	خانه علی‌خان بیات ماکو	این بنا در محوطه‌ای به مساحت تقریبی ۵۶۰۰ مترمربع واقع شده و قدمت آن به ۱۵۰سال پیش باز می‌گردد .علی‌خان یکی از خان‌های ماکو بوده که به دستور خود و با استفاده از استادکاران و تجهیزات روسی خانه فوق را به همراه خانه مجاور خود یعنی خانه پست ساخته است. ازآنجاکه از این بنا هم اکنون نیز با کاربری مسکونی استفاده می‌شود به لحاظ ساختاری سالم‌ترین خانه قدیمی ماکو می‌باشد. مصالح عمده مورداستفاده در این بنا سنگ و آجر و خشت خام میباشد. پوشش سقف این بنا شیروانی میباشد.		
۴	خانه سنگی جمال خان تیموری	این بنا در زمینی به وسعت ۴۰۰۰ مترمربع قرار دارد و قدمت آن به اواخر دوره قاجار باز می‌گردد. مالکیت بنا شخصی بوده و کاربری آن مسکونی می‌باشد. بنا در دوطبقه ساخته شده است و مساحت هر طبقه در حدود ۶۰۰ مترمربع می‌باشد. مصالح عمده به‌کاررفته در این بنا سنگ، چوب، خشت و نمای آن اندود گچی داشته و با گچبری-های زیبا تزیین‌شده است. سقف بنا شیروانی بوده و سازه زیر آن خرپای چوبی میباشد.		
۵	خانه حسن خان تیموری	این بنا که قدمت آن به اواخر قاجار می‌رسد، با کاربری مسکونی ساخته شده و در سال ۱۳۷۶ توسط میراث فرهنگی استان خریداری شده و محل استقرار فعلی اداره میراث شهر ماکو می‌باشد. تزیینات بنا خصوصاً نقاشی-های دیواری تالار اصلی آن، کم نظیر و درخور توجه می‌باشد. مصالح عمده بکار رفته در بنا سنگ، آجر و خشت خام می‌باشد. پوشش سقف به صورت شیروانی میباشد		

۶	ساختمان فرمانداری سابق	این بنا هم‌اکنون متروکه می‌باشد و مالکیت خصوصی دارد و هنوز در فهرست آثار تاریخی کشور به ثبت نرسیده است .این ساختمان در طول عمر خود مالکیت‌های مختلفی داشته است. در دوره ساخت مسکونی بود و در دوره‌های بعد مورداستفاده شهرداری، مخابرات ، شرکت تلفن و فرمانداری قرار گرفت. مصالح عمده آن سنگ، خشت و چوب بود و پوشش خرپای چوبی و شیروانی داشت. این بنای سه‌طبقه به علت آسیب-های کلی سازهای و شرایط بسیار بد نگهداری در سال‌های پیش تخریب کامل شده و استفاده‌های دیگری از محوطه آن می‌شود.		
۷	خانه صفرعلی خان ماکو	این بنا در بلندترین نقطه جبهه شمالی شهر و در زیر تخته‌سنگ عظیم شهر و بر روی چندلایه تخت سنگ عظیم قرار گرفته است. این خانه دارای یک حیاط بیرونی بوده و به صورت بسیار جالبی حیاط خصوصی داخلی از فضای خارجی جدا میگردد. این بنا از خشت خام و تیرهای چوبی تشکیل یافته است. متأسفانه این بنا متروکه است و در مقابل عوامل جوی و دخالت‌های انسانی در حال تخریب میباشد. تالار پذیرایی بنا یا شاه‌نشین آن دارای فضاسازی‌های زیبا با استفاده از مقرنس‌سازی‌های ظریف بوده و دارای انواع تزیینات گچبری است که به علت تخریب سازه در مقابل عوامل مخرب مختلف بدون حفاظ مانده‌اند.		
۸	خانه احمدخان بیات ماکو(بانک ملی)	خانه احمدخان بیات ماکو، که بعدها به‌عنوان ساختمان بانک ملی مورد استفاده قرار گرفت، از نمونه‌های شاخص معماری تاریخی منطقه محسوب می‌شود. این بنا که در سال ۱۲۷۶ هجری شمسی به دستور احمد بیات (افخم‌السلطنه) احداث شده، دارای دو طبقه، همکف و زیرزمین است و ساختار آن مبتنی بر دیوارهای باربر بنایی و استفاده از مصالح متداول معماری تاریخی منطقه شکل گرفته است. به‌کارگیری عناصر چوبی در سقف‌ها و بازشوها، در کنار مصالح بنایی، بیانگر نظام سازه‌ای ترکیبی در بناست که ضمن تأمین پایداری سازه، امکان شکل‌گیری فضاهای داخلی متنوع را فراهم کرده است. همچنین، حضور عناصر تزیینی همچون گچبری، آیینه‌کاری، نقاشی‌های دیواری و پنجره‌های ارسی، نشان‌دهنده تلفیق عملکرد سازه‌ای و بیان هنری در معماری این بناست. این ویژگی‌ها، خانه احمدخان بیات را به یکی از نمونه‌های قابل توجه در مطالعه نظام سازه‌ای و فضایی معماری تاریخی ماکو تبدیل کرده است..		
۹	بنای شهربانی ماکو	بر اساس کتیبه موجود در تالار آیینه‌کاری، بنای شهربانی سابق ماکو در سال ۱۳۲۰ هجری قمری احداث شده است. این ساختمان که پیش‌تر متعلق به کاظم‌خان، از خوانین ماکو، بوده، بعدها توسط شهربانی خریداری و تا زمان انتقال به فضای بزرگ‌تر مورد استفاده قرار گرفت. بنا به‌صورت دوطبقه طراحی شده که طبقه اول فاقد تزیینات شاخص است، اما طبقه دوم از نظر سازمان فضایی، نورگیری و تناسبات معماری دارای ارزش قابل توجهی است. وجود تالار آیینه‌کاری، درهای ارسی بزرگ، شیشه‌های رنگین، گچبری‌ها و تزیینات نمای خارجی شامل سرستون‌های تزیینی، مجسمه‌های نیم‌برجسته و نقوش گیاهی، به غنای هنری بنا افزوده است. پلان کلی ساختمان یادآور عمارت باغچه‌جوق بوده و در ساخت آن از مصالح متفاوت استفاده شده است؛ به‌گونه‌ای که نمای خارجی با سنگ‌های مالون منظم و بخش‌های داخلی با خشت خام اجرا شده‌اند. همچنین پوشش بام به‌صورت شیروانی طراحی شده و فضاهای جانبی به‌صورت الحاقی به بخش مرکزی بنا متصل شده‌اند. این ویژگی‌ها، همراه با کیفیت بالای تزیینات و نظم در ترکیب نمای سنگی، ارزش تاریخی و معماری قابل توجهی برای بنا ایجاد کرده است.		

۱۰	ساختمان دارایی ماکو	این بنا مثل بناهای شهربانی و دارایی دارای اختلاف سطح قابل توجه نسبت به حیاط شمالی و جنوبی می‌باشد که به علت شیب طبیعی زمین در این منطقه از شهر تاریخی ماکو می‌باشد. این بنا به فرم نواری و در جهت شرقی-غربی گسترده شده است و دو پیش‌آمدگی در بخش شمال شرقی و شمال غربی بنا دیده میشود. ازلحاظ معماری دارای تناسبات منطقی در پلان و ارتفاع است که این مسئله از عوامل مؤثر در ایستایی مطلوب بنا علیرغم متروک شدن آن است. ساختمان در نمای جنوبی سه طبقه بوده و در نمای شمالی دوطبقه دیده می‌شود. طبقه تحتانی تنها دارای دو فضا و آن‌هم به‌صورت مستقل از هم می‌باشد و سایر بخش‌ها به-صورت سقف منحنی پرسازی می‌باشد. وجود این پرسازی در مقیاس وسیع از مهم‌ترین عوامل پایداری سازهای بنا است. در صورت اختصاص فضا در تمامی طبقه تحتانی به طور قطع آسیب‌های سازه‌ای بسیار زیادی متوجه بنا می‌شد.		

جدول شماره ۲)جدول ویژگی های بستر تاریخی،فرهنگی و سیاسی قرارگیری خانه های تاریخی ماکو (منبع: آرشیو میراث فرهنگی استان آذربایجان غربی)

نام خانه	محل قرارگیری در بافت تاریخی	تاریخ ساخت	ابعادعرصه (متر مربع)	ابعاد اعیان فعلی(متر مربع)	چشم انداز	اهمیت تاریخی و فرهنگی	وضعیت ثبتی	استفاده از تکنولوژی بومی	تغییرات و الحاقات	مصالح اصلی سازنده	دسترسی به معابر اصلی	مالکیت فعلی بنا	وضعیت ایستایی کنونی
ساختمان کلاه فرنگی	داخل بافت تاریخی	اواخر قاجار	۳۰۰۰	۳۵۰	عالی	زیاد	ثبت ملی	زیاد	بازسازی و مرمت	سنگ و آجر و چوب	ضعیف	میراث فرهنگی	خوب
ساختمان شیروخورشید	داخل بافت تاریخی	اواخر قاجار	۳۰۰۰	۶۵۰	مناسب	زیاد	ثبت ملی	زیاد	الحاقات تزئینی پهلوی	سنگ و آجر و چوب و خشت	مناسب	میراث فرهنگی	ضعیف
خانه علی خان بیات ماکو	خارج بافت تاریخی	۱۵۵سال پیش	۴۵۰۰	۸۵۰	مناسب	زیاد	ندارد	زیاد	تعمیرات داخلی و خارجی	سنگ و چوب و خشت	مناسب	خصوصی	خوب
خانه سنگی جمال خان تیموری	خارج بافت تاریخی	اواخر قاجار	۴۰۰۰	۱۱۰۰	مناسب	زیاد	ندارد	بسیار زیاد	ندارد	سنگو چوبو خشت	مناسب	خصوصی	خوب
خانه حسن خان تیموری	داخل بافت تاریخی	اواخر قاجار	۳۰۰۰	۶۰۰	مناسب	متوسط	ثبت ملی	زیاد	بازسازی و مرمت	سنگو چوبو خشت	مناسب	میراث فرهنگی	خوب
ساختمان فرمانداری سابق	داخل بافت تاریخی	اواخر قاجار	۵۰۰۰	۱۰۵۰	عالی	متوسط	ندارد	متوسط	تخریب چند باره و بازسازی	سنگو چوبو خشت	مناسب	خصوصی	بسیار وخیم
خانه صفرعلی خان ماکو	داخل دژ تاریخی	اواخر قاجار	۱۵۰۰	۳۰۰	عالی	بسیار زیاد	ندارد	زیاد	ندارد	سنگو چوبو خشت	ضعیف	متروکه	بسیار وخیم
خانه احمدخان بیات ماکو(بانک ملی)	داخل بافت تاریخی	اواخر زندیه	۵۵۰۰	۸۸۰	عالی	بسیار زیاد	ثبت ملی	بسیار زیاد	الحاقات پهلوی و مرمت و بازسازی	سنگ و آجر و چوب و خشت	مناسب	میراث فرهنگی	ضعیف
بنای شهربانی ماکو	داخل بافت تاریخی	اواخر قاجار	۴۰۰۰	۸۵۰	عالی	زیاد	ثبت ملی	بسیار زیاد	الحاقات پهلوی و تعمیرات داخلی بنا	سنگ و آجر و چوب و خشت	مناسب	میراث فرهنگی و نیروی انتظامی	وخیم
ساختمان دارایی ماکو	داخل بافت تاریخی	اواخر قاجار	۳۰۰۰	۸۶۰	عالی	متوسط	ثبت ملی	زیاد	الحاقات اواخر پهلوی و تعمیر در چند دوره	سنگ و آجر و چوب و خشت	مناسب	میراث فرهنگی و دارایی	وخیم

۵-۱- ویژگی های معماری ومعرفی ساختاری:

بررسی نمونه‌های موردی و مطالعات انجام‌شده در این پژوهش نشان می‌دهد که معماری بومی شهر ماکو از مجموعه‌ای از ویژگی‌های کالبدی و سازه‌ای برخوردار است که در تعامل با شرایط محیطی، مصالح در دسترس و دانش تجربی معماران محلی شکل گرفته‌اند. از مهم‌ترین این ویژگی‌ها می‌توان به استفاده از احجام فشرده و عمدتاً مکعب‌مستطیلی اشاره کرد که با هدف کاهش سطح تماس بنا با عوامل محیطی و افزایش کارایی فضایی به کار رفته‌اند. همچنین، ساختار سازه‌ای بناها عمدتاً بر پایه دیوارهای باربر و جرزهای قطور استوار است؛ به‌گونه‌ای که در برخی موارد ضخامت این دیوارها به حدود ۱۳۰ سانتی‌متر می‌رسد و نقش مهمی در تأمین پایداری و مقاومت سازه‌ای ایفا می‌کند.

در حوزه مصالح نیز استفاده از سنگ‌های سیاه آتشفشانی منطقه به‌صورت گسترده در شالوده یا در بدنه بنا تا ارتفاع حدود یک متر مشاهده می‌شود که علاوه بر افزایش مقاومت سازه‌ای، در جلوگیری از رطوبت صعودی نیز مؤثر است. در ادامه، خشت خام به‌عنوان یکی از مصالح اصلی برای اجرای دیوارهای باربر مورد استفاده قرار گرفته که بیانگر بهره‌گیری از مصالح بومی و در دسترس است. در کنار این ساختار سازه‌ای، تزیینات معماری نیز به‌صورت محدود اما هدفمند در بناها دیده می‌شود؛ به‌طوری‌که در نمای خارجی بیشتر در قالب حاشیه پنجره‌ها، کتیبه‌ها و ازاره‌های سنگی و در فضاهای داخلی عمدتاً در قالب نقاشی‌ها و آرایه‌های مرتبط با فضاهای پذیرایی جلوه می‌یابد.

از نظر سازمان فضایی و استقرار سازه، در بسیاری از بناها دیوارهای سازه‌ای اصلی در راستای شمالی–جنوبی و همسو با جهت شیب بستر طبیعی قرار گرفته‌اند که این امر به افزایش پایداری و انطباق بنا با توپوگرافی محل کمک می‌کند. همچنین در ساختار فضایی خانه‌های تاریخی ماکو، فضای شاه‌نشین یا طنبی معمولاً در مرکز پلان قرار گرفته و به‌عنوان مهم‌ترین فضای عملکردی و نمادین بنا، در سازماندهی فضایی و نمای معماری نقش شاخصی ایفا می‌کند.

مجموع این ویژگی‌ها نشان‌دهنده شکل‌گیری نوعی منطق سازه‌ای و فضایی در معماری بومی ماکو است که بر پایه بهره‌گیری از مصالح بومی، ضخامت بالای عناصر باربر و انطباق هوشمندانه با بستر طبیعی منطقه شکل گرفته است.

۵-۲- شناخت کالبد:

در ادامه با در نظر گرفتن نمونه های مورد مطالعه (بانک ملی و شهربانی و دارایی) به بررسی و شناخت کالبد بناهای سه گانه پرداخته می شود.

هنگام اجرای طرح پردیسان و بعد از گودبرداری قسمتی از بناها مشخص گردید پی بناها به صورت کلی با سنگ ساخته شده است و در لایه زیرین با سنگ‌های بزرگ لاشه اجراشده اند و سپس با کرسی چینی سنگی با ملات گل-آهک و آهک به عمق تقریبی ۷۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر اجراشده است. پی‌سازی بناهای سه گانه با سنگ لاشه تا ارتفاع تقریبی ۱,۵ تا ۲ متری می‌باشد. با توجه به شیب زمین که میزان آن در این بناها بسیار قابل توجه است، پی‌سازی سنگی و به دنبال آن دیوار سازی سنگی در بخش شمالی از تراز حیاط در این بخش به میزان تقریبی ۷۰ سانتیمتر بالاتر می‌باشد. دیوارهای احداثی روی دیوار سازی سنگی در تراز تحتانی همچون الگوی متداول در منطقه به‌وسیله خشت خام اجرا گردیده است. ضخامت این دیوارها در برخی قسمت ها تا ۹۵ سانتی‌متر هم میرسد. اندود خارجی و داخلی این اندودها گچ بوده است. جهت احداث بنای دارایی در حد یک طبقه صفه‌سازی صورت گرفته است درحالی که در ساختمان بانک ملی و شهربانی در غالب بخش‌های طبقه تحتانی فضا دیده میشود. این مسئله را باید از نقاط قوت بنای دارایی از منظر سازهای دانست. سر پنجره‌ها و سردرها در بنای دارایی با دهانه‌های کوچک به صورت آهنگ اجرا گردیده است. در حالی که در ساختمان بانک ملی تماماً سر تخت بوده و از تیرهای چوبی به عنوان نعل درگاه استفاده شده است. در بنای دارایی نیز در بخش فوقانی درها و پنجره‌ها صندوقه‌سازی صورت نگرفته و تماماً پرسازی شده است. از دیگر ویژگی‌های سازه‌ای بناها سقف دولایه در طبقه فوقانی آن‌ها است که در لایه زیرین به صورت سقف تیرپوش تخت با لایه نی و خاک برای فضاسازی داخلی بنا و لایه بالایی سقف شیروانی به صورت خرپای چوبی است که عایق بسیار خوبی در محافظت از بنا در مقابل عوامل مخل طبیعی فراهم کرده است.

مواد و مصالح ساختمانی:به صورت کلی عمده مصالح بکار رفته در سه بنای مورد مطالعه طبق جدول ذیل جمع آوری شده اند.

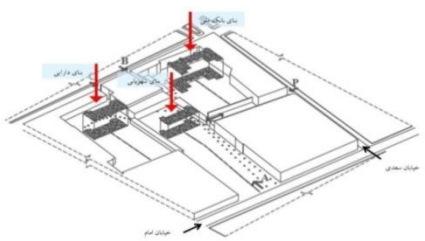
جدول شماره۳) مواد و مصالح ساختمانی بکار رفته در بنای سه گانه(منبع: آرشیو میراث فرهنگی استان آذربایجان غربی)

ردیف	نوع مصالح	توضیحات	نمونه
۱	خشت	- خشت ۲۵*۴*۲۵ سانتی‌متر که متعلق به زمان ساخت بناها بوده است و درواقع پیکره بناها را تشکیل داده است.	
۲	آجر	- آجر دوره پهلوی با ابعاد ۱۰*۱۰*۶ که در زمان بازسازی و تغییر کاربری استفاده شده است. - آجر گری و ختایی با ابعاد ۶*۲۰،۵*۱۰ که پوسته مرمتی در زمان مرمت آن در سال ۱۳۸۴می‌باشد. - طاق ضربی سقف طبقه همکف تماماً توسط آجرهای ۴*۲۰*۲۰ و به روش سنتی اجراشده است.	
۳	گچ	- جهت اجرای اندود داخلی فضاها - جهت اجرای تزئینات نظیر رسمی بندی‌های داخل بنا و خارج آن و طرح‌های گچبری سراسر بنا و همچنین کاسه سازی‌های دیوارهای طنبی - جهت اجرای طاق ضربی سقف طبقه همکف و بخشی از انباری	
۴	سنگ	- به‌صورت ازاره سنگی در سراسر پای نمای خارجی بنا و همچنین پای ستون‌ها و پله-های سنگی کارشده است . - همچنین کل شالوده بناها از تخته‌سنگ‌های بزرگ و لاشه‌سنگ‌های با ابعاد کوچکتر و قلوه‌سنگ‌ها می‌باشد. - برای ساخت حوض بزرگ سنگی حیاط اندرونی خانه‌ها استفاده شده است.	
۵	آهک	- آهک با ترکیب گل و آهک برای ایجاد کرسی چینی روی پی استفاده شده است. همچنین به یقین می‌توان گفت که در ترکیب اندودهای خارجی نماهای بناها از ترکیبات آهکی مقاوم در برابر آب هم استفاده شده است.	
۶	تیرآهن	- از تیرآهن در بنای بانک ملی و در دوره مرمت سال ۱۳۸۴ جهت تقویت جرزهای طبقه اول و به صورت ستون‌های بین دیوارها استفاده شده است . - همچنین به‌عنوان تیرهای باربر و نعل درگاه هم در دیوارها استفاده شده است . - هم‌چنین سازه‌های الحاقی بی‌ارزش هم که در دوره استفاده از بنا در زمان پهلوی ساخته‌شده‌اند، سازه‌ای از پروفیل‌های تیرآهن دارند.	
۷	چوب و تیر چوبی	-از تیر چوبی جهت ستون‌های بالکن، نرده‌های پلکان و بالکن و تراسها و همچنین تیرپوش کردن سراسر سقف ها و نعل درگاه‌ها استفاده شده است. هم‌چنین از تخته-های پردی مانند(توفال) جهت پوشش بین دو تیر سقف استفاده شده است . - نکته جالب استفاده از تیرهای چوبی بین دیوارهای جداره بنا و همچنین دیوارهای جداکننده می‌باشد که یک چهارچوب و قاب را با تیرهای چوبی سقف و کف ایجاد کرده‌اند . -کلیه درها و پنجره‌ها و قاب برخی پنجره‌ها چوبی می‌باشند.	

۸	سیمان و میلگرد	-از سیمان در بنای بانک ملی و در مرمت‌های سال ۱۳۸۴ جهت بندکشی دیوارهای آجری ساخته شده استفاده شده است و همچنین از سیمان و میلگرد برای ساخت کلاف بتنی رادیو ژنرال دور پی‌سنگی استفاده شده است . -در بنای دارایی ماکو هم از سیمان و ملات ماسه-سیمان جهت ساخت الحاقات آجری و همچنین اندود سطح تخریب شده ازاره نمای جنوبی بنا استفاده شده است . -در بنای شهربانی هم در پشت‌بند ساخته پای نمای شمالی بنا و الحاقات دوره پهلوی از ملات ماسه-سیمان استفاده شده است.	
۹	کاه گل	- کاه‌گل تنها ملات چسباننده در سازه بنا و هم‌چنین اندودها در دوره ساخت بنا بوده است. از کاه‌گل به‌صورت فراوان جهت ملات بین بند خشت‌های دیوارها و پرکننده بالای سقف‌ها و هم‌چنین اندود دیوارها استفاده شده است.	
۱۰	شیشه	- جهت تزیینات آینه‌کاری داخل طنبی و همچنین در پنجره‌های چوبی استفاده شده است.	
۱۱	ورق های شیروانی و گالوانیزه	- جهت ایجاد پوشش شیب‌دار پشت‌بام استفاده شده است. همچنین سر ناودان‌ها از ورق گالوانیزه ساخته شده است.	
۱۲	موزائیک و کاشی	- کف طبقه اول بنای بانک ملی و طنبی و برخی اتاق‌های بنای شهربانی و قسمت عمده کف طبقات بنای دارایی با موزاییکهای ۳۰*۳۰ پوشیده شده است و مربوط به دوره پهلوی دوم می‌باشد. همچنین سطح برخی دیوارها در بناهای دارایی و شهربانی با کاشی‌های صنعتی دوره پهلوی دوم و حتی بعد از انقلاب پوشانده شده است.	

در ادامه به منظور بررسی جزئی‌تر ویژگی‌های معماری و تحلیل های سازه ای مرتبط به آن و با دقت نظر به سطح اطلاعات موجود و در دسترس بودن سه بنای(خانه احمد خان بیات ماکو(بانک ملی)،شهربانی ماکو و دارایی) در یک مجموعه نزدیک به هم ،اقدام به معرفی ۳بنای مذکور شده است.

جدول ۴)پرسپکتیو و بناهای شاخص (منبع: نگارنده و آرشیو میراث فرهنگی استان آذربایجان غربی)

بنای بانک ملی		پرسپکتیو بناهای سه گانه مورد مطالعه
		

بنای شهربانی	بنای دارایی
	

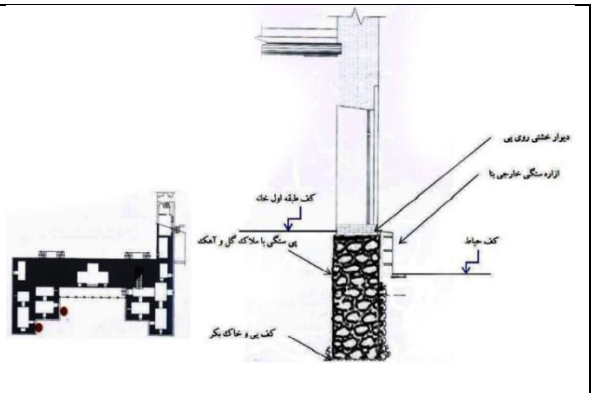
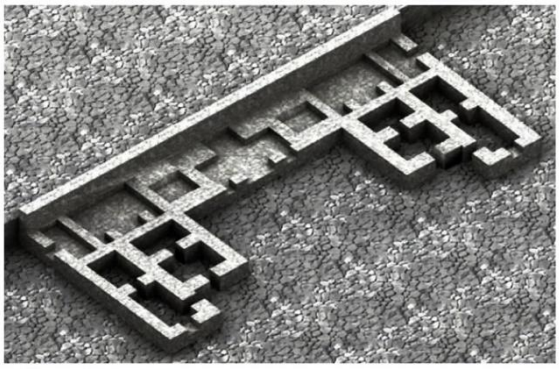
۵-۳- تحلیل یافته

تکنیک های ساخت (تحلیل سازه ای): در این بخش به بررسی تکنیک‌ها و روش‌های ساخت سازه بنا و ویژگی‌های آن پرداخت شده است و سلسله‌مراتب آرایش سازه‌ای بناها مورد بررسی قرار گرفته است.

۱)پی: پی بناها با سنگ‌های بزرگ که روی هم چیده شده است ساخته شده که برخی از سنگ‌های آن ابعادی در حدود ۲ متر داشته است در این بناها از پی شفته آهکی خبری نیست. در هر سه بنا دیوارهایی سنگی روی پی دیده می‌شوند مخصوصاً در قسمتهایی از بنا که در شیب بالاتر قرار دارند این دیوارهای سنگی بیشتر مشاهده می‌شود، که تا حدود ۷۰ تا ۲۰۰ سانتیمتر بالای تراز پی نیز ادامه یافته-اند که در هر سه بنا دیده می‌شود. ملات گل و احتمالا گل-آهک در سازه پی برای فراهم کردن چسبندگی بین لایه سنگ‌های کوچک و لاشه سنگ‌ها استفاده شده است. (طرح مطالعاتی پردیسان،۱۳۸۴)

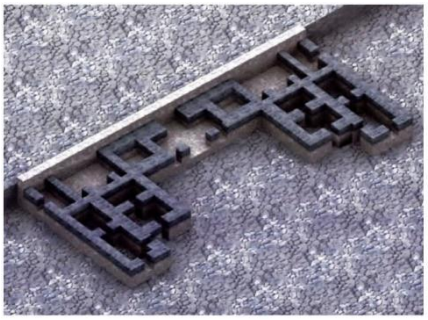


تصویر۱)تصاویری از پی سنگی بناها که به صورت لاشه و تکه سنگ با ملات گل آهک ساخته شده است(آرشیو میراث فرهنگی استان آذربایجان غربی)

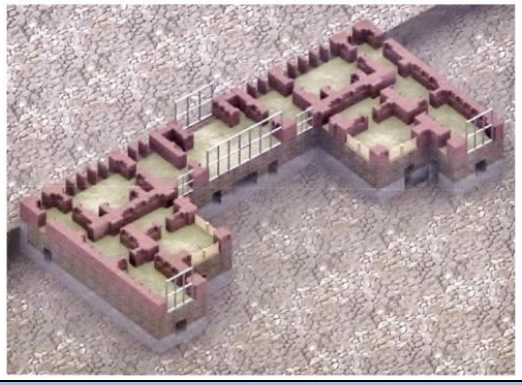
	
تصویر۲) جزییات اجرایی پی سنگی بنا و دیوار خشتی روی آن به همراه محل آن در پلان بنای بانک ملی	تصویر۳)طرح سه بعدی از اجرای پی سنگ لاشه در بنای بانک ملی که دیواره های سنگی بخش شمالی بنا ارتفاع بالای دو متر دارد(منبع: مطالعات طرح پردیسان ماکو،۱۳۸۴)

در بنای شهربانی و دارایی هم با توجه به فراوان بودن سنگ در منطقه در پی سازی از سنگ‌های با احجام بزرگ استفاده شده است. در بنای شهربانی ماکو به دلیل اختلاف شیب بسیار کم بستر ساخت، برخلاف بنای بانک ملی و دارایی دشواری خاصی وجود نداشته است و اختلافی بین ترازهای پی در آن وجود ندارد.

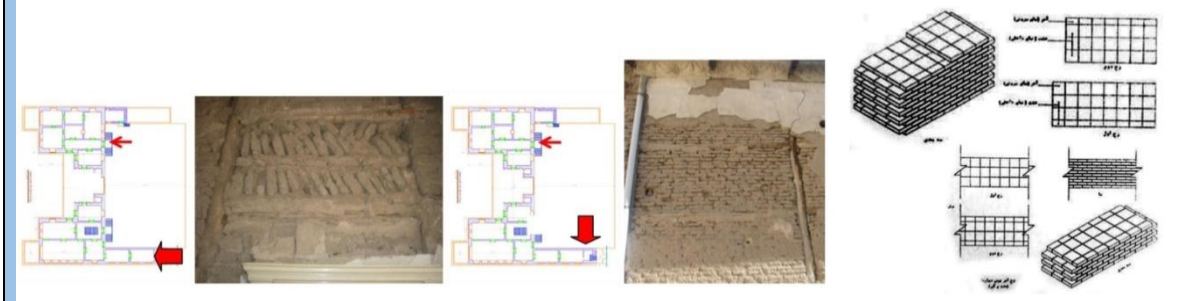
۲)جرزها: جرزها و دیوارهای این بناها عموماً با خشت و ملات کاه‌گل اجراشده است. در این بنا دیوارهای الحاقی آجری با ملات ماسه-سیمان اجراشده است که مربوط به دوره مرمت بنا و یا زمان پهلوی دوم است. پهنای جرزهای باربر در کل دیوارهای بناها بالای ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد، به جز در بال شمال شرقی بنای بانک ملی و بیشتر دیوارهای غیر باربر داخلی بناها که دارای دیوارهای خشتی ۱۵ سانتی‌متری می‌باشد. درهرصورت بسته به میزان باربری جرزها ضخامت جرزهای باربر از ۳۵ سانتی‌متر تا ۱۰۰سانتی‌متر متغیر است. در بنای شهربانی ماکو بخشی از دیوارهای خارجی بنا با سنگ ساخته شده است که ایستایی قابل قبولی ندارد.



تصویر۴)طرح سه بعدی از اجرای دیوار قطور 100 سانتی متری روی پی لاشه سنگی بنای بانک ملی ماکو (منبع: مطالعات طرح پردیسان ماکو،۱۳۸۴)

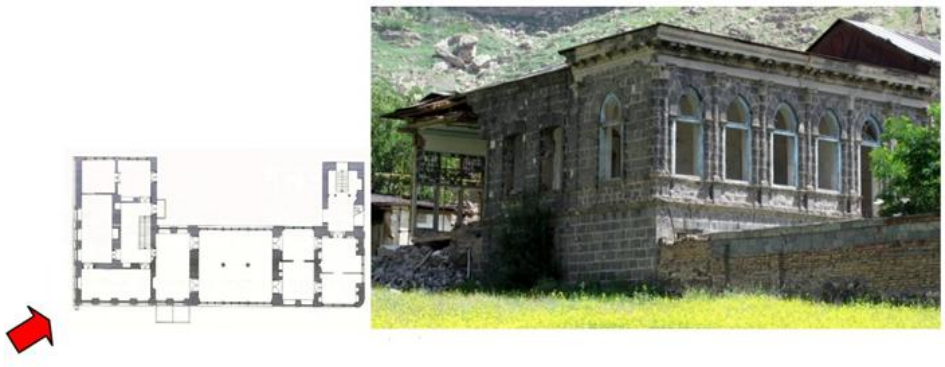


تصویر۵)طرح سه بعدی از برپایی و شکل‌گیری دیوارها و فضاها در طبقه اول بنای بانک ملی ماکو بر طبق الگوی اولیه معمار بنا در طبقه همکف، همانطور که مشاهده می‌شود دیوارهای دورطبقه اول و برخی دیوارها به ویژه دیوارهای حائل طنبی بنا قطور بوده و نقش سازهای برای تحمل بار سقف شیروانی بنا داشته است. (منبع: مطالعات طرح پردیسان ماکو،۱۳۸۴)



تصویر۶)چیدمان خشت و رج بندی دیوارهای خشتی در جرزهای باربر در بنای بانک ملی (جرزهای باربر اصلی با تیرهای چوبی بین دیوارها تقویت شده است)و نحوه اجرای خشت بالای نعل درگاه (آرشیو میراث فرهنگی استان آذربایجان غربی)

همان‌طور که در تصویر روبرو در خانه شهربانی مشخص است علاوه بر احداث دیوار خشتی روی پی لاشه سنگ ۱۴۰ سانتی‌متری، در بخش‌های شمالی و جنوبی بنا تا تراز کف طبقه اول بنا از سنگ قواره رگ چین بدون اتصال به ساختار اصلی بنا استفاده شده است.



تصویر۷)جرز باربر با مصالح سنگی در بخش الحاقی بنای شهربانی(آرشیو میراث فرهنگی استان آذربایجان غربی)

۳) **ستون:** ستون‌های چوبی این بناها در بالکن‌ها و تراس‌ها دیده می‌شوند. طنبی یا شاه‌نشین دو بنای بانک ملی و شهربانی هم دارای دو ستون تزیین‌شده چوبی می‌باشد. این ستونها یا روی پایه ستون‌های سنگی قرارگرفته‌اند و بار سازه را در قسمت کنسول سقف تحمل می‌کنند و یا مستقیم روی تیرهای چوبی باربر قرارگرفته‌اند .لازم به ذکر است نمونه یک ستون در نمای شمالی بنای دارایی ماکو وجود دارد که با تقسیمات معماری منطقی فعلی بنا مطابقت ندارد؛ و احتمالا مربوط به دوره اولیه ساخت بنا است.



تصویر۸)ستون‌های آینه‌کاری شده طنبی خانه شهربانی	تصویر۹)تک ستون اندود شده نمای شمالی خانه دارایی	تصویر۱۰)بالکن و ستونهای چوبی خانه بانک ملی	تصویر۱۱) نمونه‌ای از ستون-های چوبی در داخل دیوارهای خشتی بنای بانک ملی ماکو

(عکس ها: آرشیو میراث فرهنگی استان آذربایجان غربی)

۴) پوشش‌ها: پوشش فضاهای این بناها به طورکلی بر اساس نوع مصالح و رفتار سازهای شامل۵ نوع پوشش می‌باشد:

الف: پوشش سقف طبقه‌های همکف بناها که عمدتاً تیرپوش چوبی تخت است که توفال‌کوبی شده است .

ب: پوشش سقف طبقه‌های اول که ابتدا تیرپوش تخت بوده و سپس به صورت خرپای چوبی است .

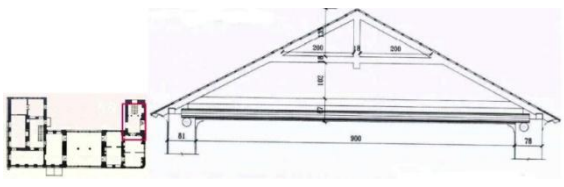
پ: پوشش تخت تیرآهن که از الحاقا دوره پهلوی و بعد از انقلاب می‌باشد و جایگزین پوشش تیر چوبی شده است .

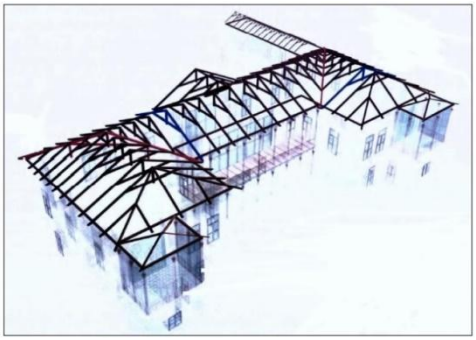
ج: پوشش طاق ضربی که به‌صورت استثنا در دو فضای کوچک طبقه همکف بنای بانک ملی اجراشده است.

د: پوشش طاق آهنگ که در چند نقطه از سقف پستوهای خانه احمدخان بیا اجرا شده است. هم‌چنین پوشش بالای بازشوهای خانه دارایی به صورت منحنی اجراشده است و این برخلاف پوشش بالای درگاه بازشوهای سایر بناهاست که به صورت نعل درگاه چوبی اجراشده است.

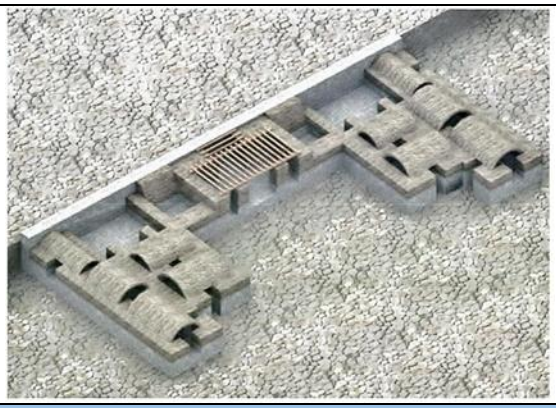
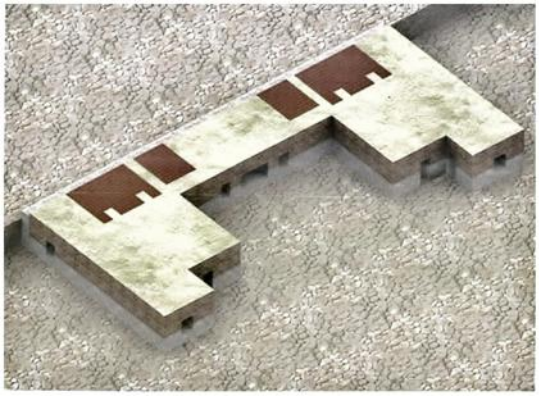


تصویر۱۲)پوشش خرپای چوبی سقف طبقه اول و شیروانی روی آن وتخته‌های کارشده به شکل پرده‌ای‌های چوبی روسی با رنگ‌آمیزی بسیار جالبی روی سقف تالار ناهارخوری بنای بانک ملی (عکس:آرشیو میراث فرهنگی استان آذربایجان غربی)





تصویر۱۳)نمونه ای از سقف خرپای شیروانی خانه شهربانی ماکو(منبع: آرشیو طرح پردیسان ماکو،۱۳۸۳)	تصویر۱۴)طرح سه بعدی از چگونگی برپای سازه خرپای شیروانی طبقه اول بنای بانک ملی ماکو(منبع: آرشیو طرح پردیسان ماکو،۱۳۸۳)

	
تصویر۱۵)طرح سه بعدی از مرحله ساخت طاق‌های آهنگ همکف و همچنین تیر ریزی سقف زیر طنبی بنای بانک ملی(منبع: آرشیو طرح پردیسان ماکو،۱۳۸۴)	تصویر۱۶)طرح سه بعدی از مرحله پر سازی روی طاق‌های آهنگ فضاهای هم-کف و بالا بردن سقف زیر همکف تا کف طبقه اول بنای بانک ملی(منبع: آرشیو طرح پردیسان ماکو،۱۳۸۴)
	
تصویر۱۷)طاق آهنگ روی سقف طبقه همکف بنای بانک ملی که در وضعیت خطرناک فروریزی قرار دارد.	تصویر ۱۸)طاق آهنگ سقف طبقه همکف در بنای شهربانی ماکو که با خشت اجراشده است.
	
تصویر ۱۹)ساقه های نی و ساقه گندم خشک که روی تیرهای تخته کوب شده قرار داده می‌شدند تا به‌عنوان عایق عمل کنند.	تصویر ۲۰)جزییات اجرایی سقف طبقه همکف بخش شمالی بنای دارایی ماکو.

تحلیل نیروها:

ارتباط منطقی بین سازه یا کالبد با معماری و شکل‌گیری فضاهای معماری، در شکل‌گیری بناهای ایرانی بسیار مهم بوده است. این ارتباط به‌هم‌پیوسته در روابط فضا و سازه به‌گونه‌ای در تمام اعضاء و پیکره بنا به‌گونه‌ای نمود یافته است که معمار ایرانی را علاوه بر سازنده یک فضای مردم‌وار و زیبا به یک مهندس سازه باتجربه تبدیل کرده است. معمار ایرانی برای خلق اثر معماری خود، علاوه بر اینکه روابط بین فضاهای مختلف را بررسی میکند، علم مهندسی سازه را هم در طراحی خود دخیل میکند و در ذهن خود بارگذاری‌ها، مؤلفه‌های نیرو را در نظر می‌گیرد. البته توجه به جنبه‌های زیبایی‌شناسی هم یکی دیگر از عرصه‌های موردتوجه معمار ایرانی خواهد بود. درنهایت معمار ایرانی با طراحی یک پلان در ذهن، تمام این ایده‌ها را به‌صورت منسجم در هم ادغام می‌کند. سپس دیوارها و جرزها را میسازد. سقفها و طاق‌ها را طراحی می‌کند و پوشش مناسب را انتخاب می‌کند .معماری دوره قاجار ایران و به‌ویژه معماری خانه‌های تاریخی ناحیه آذربایجان ایران هم نمودهای عینی استادی و هنرمندی مهرازان ایرانی می‌باشد. به عنوان مثال در بناهای تاریخی ماکو به ویژه بناهای موردمطالعه توجه کامل

و جامعی به آرایش سازه‌ای بنا و تقسیم متناسب و متعادل نیروها شده است. رعایت اصل ضریب لاغری در طراحی جرزهای باربر، تناسب در ضخامت جرزهای باربر بنا از جرزهای ضخیم روی پی تا سقف سبک خرپای بناها، نوع آرایش دیوارهای
داخلی بناها که بیشتر در جهت جنوب به شمال می‌باشد به همراه کاربرد فراوان و حساب شده از خشت در هر سه بنا مهم‌ترین شاخصه‌های در نظر گرفتن اصول محاسبات مهندسی سازه می‌باشد. همانطور که بیان گردید استفاده از دیوارهای با قطر نزدیک به ۱ متر در زیرزمین‌ها و سبکتر و لاغرتر شدن آنها در طبقه اول به همراه سبک‌تر شدن آنها، در نظام باربری این سازه‌ها تأثیر زیادی گذاشته است و ساختمانها را در برابر زلزله مقاوم‌ترکرده است.
بدین ترتیب در هر سه بنا با رعایت ضریب لاغری جرزها و دیوارهای زیر سازه خرپای شیروانی، کل سازه به صورت یکپارچه و منسجم عمل کرده و نیروها را به زمین منتقل میکند. همچنین سبک کردن دیوارها و جرزهای قطور در نقاطی که سازه اجازه دهد، مثلا با ایجاد طاقچه یا شومینه در داخل تویزه‌های باربر این امر محقق شده است.



تصویر۲۲) تعبیه انواع بازشوها، طاقچه‌ها، شومینه‌ها و ارسی در طنبی خانه احمد بیات(منبع: آرشیو میراث فرهنگی استان آذربایجان غربی)

درباره سقف‌های تیرپوش این سه بنا باید گفت که این نوع سقف‌ها در معماری این خطه، در زمره ساده‌ترین سازه‌های باربر افقی می‌باشند که بار وارده را به جرزها منتقل می‌کند. این سیستم سنتی سازه سقف در شهر ماکو بسیار رایج می‌باشد. نحوه عملکرد این سقف‌ها به اینگونه است که ابتدا این سیستم باربر بار سقف را دریافت میکند و با تحمل خمش آن را به جرزها انتقال می‌دهد. این انتقال بار باعث تغییر فرم تیر چوبی می‌شود و شکل آن را از دایره به شکل کمانی و منحنی تبدیل میکند. این امر در سقف باعث ایجاد تنش‌های مختلفی می‌شود که در محل تکیه‌گاه‌ها با نزدیک شدن تارها به هم فشار و در پایین با دور شدن تارها از هم کشش ایجاد می‌شود، به این ترتیب در مرکز تیر تار خنثی به همان اندازه سابق باقی مانده و خمش ایجاد می‌شود. به دلیل قابلیت انعطاف نسبی سیستم تیر چوبی می‌توان ادعا کرد که این نوع سیستم باربر بهترین انتخاب برای این بناهای تاریخی در گذشته بوده است؛ بنابراین انتخاب تیر چوبی برای مقابله با تنش کششی بسته به نوع و خصوصیات فیزیکی آن، انتخاب مناسبی بوده است .در هر سه بنای مجموعه ایجاد شرایط تکیه‌گاهی مناسب، کم کردن بارهای وارده به سقف و جرزها و استفاده ترکیبی از انواع سیستم‌های باربر، کمک فراوانی به افزایش مقاومت سقف‌ها خمشی و کششی سقف‌ها کرده است و ضمناً کمک کرده است تا شکل سازه به سمت بهینه خود که حداقل تنش را دارا می‌باشد، نزدیک شود.برخی از این تمهیدات به صورت زیر می‌باشند.



- **استفاده از سقف‌های دو پوش**

تصویر ۲۳)استفاده از سقف دوپوش خرپا و تیر افقی برای کم کردن بار وارده و متعادل کردن دما در سقف بنای شهربانی ماکو(منبع : آرشیو میراث فرهنگی استان آذربایجان غربی)

- **استفاده از روش متناوب بارگذاری :** استفاده از روش انتقال متناوب بار تیرها به تیرهای اصلی در هر سه بنا مشهود می‌باشد. در این حالت بار وارده بر شاه‌تیر نسبت به در یک راستا به نصف تقلیل می‌یابد . بنابراین کاهش بار وارده به صورت مجازی صورت می‌گیرد.



تصویر۲۴) انتقال متناوب بار تیرها به تیرهای اصلی در طنبی بنای بانک ملی ماکو (عکس: آرشیو میراث فرهنگی استان آذربایجان غربی)

- **سبک کردن سربار سقف:** ایجاد فضاهای خالی در سقف‌های تیرپوش با تخته، ترکه، حصیر و گاه مصالح بنایی روشی معمول در سبک کردن سقف و عایق کردن آن در برابر عوامل جوی در این منطقه میباشد.استفاده از رشته‌های نی، علوفه خشک و توفال در پوشش سقف تیرپوش به منظور هرچه سبک‌تر کردن سقف بنای بانک ملی



تصویر۲۵) ایجاد فضاهای خالی در سقف بانک ملی (عکس: آرشیو میراث فرهنگی استان آذربایجان غربی)

- **تقویت تکیه‌گاه‌ها:**

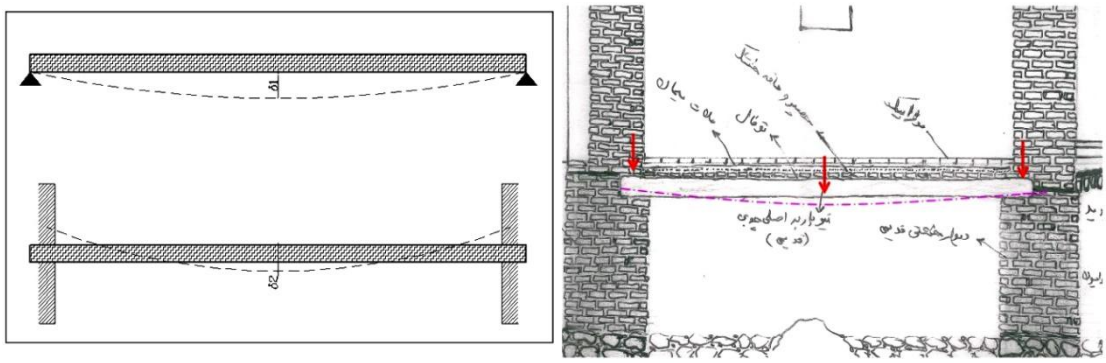
بار وارده بر سقف‌ها از طریق جرزها و ستون‌ها به زمین وارد می‌شوند. به همین دلیل نحوه اتصال عناصر افقی تیر و عناصر عمودی جرزها در محل اتصال به دلیل تمرکز تنش‌های کششی و فشاری، دارای اهمیت بسیاری است . به طوری که با تقویت و بهینه کردن این تکیه‌گاه‌ها، امکان مقابله با تنش‌های خمشی و مجاز کردن آنها فراهم میشود (تهرانی، ۱۳۹۰).در سازه سقف این بناها روش‌های زیر برای بهینه‌سازی عملکرد تکیه‌گاه‌ها اعمال شده است:

- **تبدیل تیرهای منفرد به یک سامانه تیرگذاری پیوسته:** در سازه سقف بنای بانک ملی ، افزایش تعداد تکیه‌گاه‌ها برای تبدیل تیر منفرد به یک سامانه تیرگذاری پیوسته مشاهده شد؛ که این شیوه اجرای سقف موجب بهبود عملکرد سازه‌ای شده است. همان‌طور که در تصاویر زیر مشخص است در این روش چند شاه‌تیر در طول هم و روی چند تکیه‌گاه اعم از جرز و ستون قرار گرفته و به‌گونه‌ای به هم اتصال پیداکرده است که محل اتصال هیچ دو تیری باهم مشترک نیست.



تصویر ۲۶)چند تیر منفرد که بر روی تکیه‌گاه‌های جرزهای دیوارهای داخلی به‌هم پیوسته‌اندو تشکیل یک تیر سراسری را داده‌اند(عکس: آرشیو میراث فرهنگی استان آذربایجان غربی).

- **ایجاد گیرداری در تکیه‌گاه‌ها:** در این روش به‌منظور کاهش لنگر خمشی ایجادشده در میانه تیر، تکیه‌گاه‌ها به‌صورت گیردار انتخاب می‌شوند تا با ذخیره نمودن لنگر منفی از پیدایش لنگر خمشی مثبت در وسط دهانه کاسته شود(تهرانی،۱۳۹۰).



تصویر ۲۷)کاهش لنگر میانه دهانه تیر با ایجاد گیرداری در تکیهگاهها و نحوه اثر نیرو روی تیر باربر طبقه همکف بنای بانک ملی(تهرانی، ۱۳۹۰)

۵. نتیجه‌گیری:

پژوهش حاضر با معرفی برخی از خانه های باارزش تاریخی و معماری ماکوو به صورت نمونه تحت مطالعه و بررسی سه بنای با ارزش بانک ملی، شهربانی و دارایی، نشان داد که پایداری این بناها محصول یک «خرد سازه‌ای بوم‌آورد» است که در آن، فرم معماری و تکنیک‌های مهندسی در تقابلی بهینه با شیب تند زمین و شرایط اقلیمی منطقه شکل گرفته‌اند. یافته‌ها حاکی از آن است که معماران تاریخی ماکو از طریق سلسله‌مراتب دقیقِ انتقال نیرو، به تعادلی میان صلبیت (در پی و جرزها) و انعطاف‌پذیری (در سیستم‌های تیرپوش) دست یافته‌اند. نتایج کلیدی این مطالعه را می‌توان در سه محور فنی زیر خلاصه کرد:

۵-۱- مدیریت بار و بهینه‌سازی مقطع عناصر:

بررسی نمونه‌های مورد مطالعه از خانه‌های سنتی ماکو نشان می‌دهد که در شکل‌گیری دیوارها و اجزای باربر، ملاحظاتی سازه‌ای و تجربی قابل تشخیص است. کاهش تدریجی ضخامت جرزها از بخش‌های پایینی بنا ــ که معمولاً با پی‌سازی سنگی و دیوارهای ضخیم‌تر همراه است به طبقات بالاتر، می‌تواند با کاهش بارهای وارد بر ترازهای فوقانی و نیاز متفاوت این بخش‌ها به ظرفیت باربری مرتبط باشد.

همچنین، کاربرد سامانه تیرگذاری پیوسته در برخی نمونه‌ها، در مقایسه با تیرهای کوتاه و منفرد، احتمالاً در توزیع مناسب‌تر بار میان تکیه‌گاه‌ها و افزایش پیوستگی عملکرد سقف نقش داشته است. بر این اساس، می‌توان چنین برداشت کرد که سازندگان محلی، بر پایه تجربه انباشته و شناخت مصالح و شیوه‌های بومی ساخت، راهکارهایی متناسب با کنترل ابعاد جرزها، انتقال بار و پایداری کلی بنا به کار گرفته‌اند.

۵-۲-هم‌افزایی سازه‌ای در برابر نیروهای جانبی: پایداری این بناها در بستر کوهستانی، نه صرفاً ناشی از جرم حجیم دیوارها، بلکه محصول «یکپارچگی میان کلاف‌های چوبی و جرزهای خشتی» است. بهره‌گیری از سقف‌های دوپوش (تیرپوش چوبی در لایه زیرین برای کاهش خیز و خرپای شیروانی در لایه فوقانی برای محافظت اقلیمی)، یک راهکار چندمنظوره بوده که ضمن کاهش بار مرده سقف، باعث عملکرد یکپارچه سازه در برابر فشارهای جانبی شده است.

۵-۳- سازگاری هندسی با توپوگرافی: یکی از دستاوردهای مهم این پژوهش، تبیین نقش «پی‌سازی سنگیِ پله‌ای» در ترازهای مختلف است که ضمن انطباق بنا با شیب طبیعی زمین، از تمرکز تنش در شالوده‌ها جلوگیری کرده است. این ویژگی در بناهایی نظیر ساختمان دارایی، به عنوان عامل اصلیِ ایستاییِ بنا در غیاب کاربری و مراقبت‌های معمول، شناسایی شد.

در نهایت، نظام سازه‌ای خانه‌های تاریخی ماکو الگویی از «فناوری انطباق‌پذیر» است. این پژوهش تأکید می‌کند که منطق نهفته در نحوه اتصال تیرهای چوبی به جرزهای قطور و استفاده از مصالح ترکیبی (سنگ، خشت و چوب)، پتانسیل بالایی برای بازتولید در طراحی‌های نوین مسکن در مناطق کوهستانی دارد. پیشنهاد می‌شود در باززنده‌سازی بناهای این شهر، به‌جای مداخلاتِ صرفاً تزیینی، تقویت «مفاصل تکیه‌گاهی» و حفظِ «سیستم انتقال بارِ سقف‌های تیرپوش» به عنوان اصیل‌ترین الگوی سازه‌ای منطقه، در اولویت دستورالعمل‌های مرمتی قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی:

پیروی از اصول اخلاق پژوهش: در مطالعه حاضر فرم‌های رضایت نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

حامی مالی:

تعارض منافع: بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

Abbasinia, Alireza, Haghighi, Yousef, & Daneshjoo, Khosrow (2020). Structural Stability of Timber-Beamed Roofs in Traditional Iranian Architecture. Sixth International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urbanism, pp. 1–11. [In Persian]

Bozorgmehri, Zohreh (2007). Geometry in Historical Iranian Architecture. Tehran: Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism Organization. [In Persian]

Dobrowolski, K. (1971). Peasant traditional culture. In T. Shanin (Ed.), *Peasants and Peasant Societies: Selected Readings* (pp. 277–298). Harmondsworth: Penguin Books.

Golabchi, Mahmoud, & Taghizadeh, Katayoun (2011). Interaction of Structure and Architecture. Tehran: University of Tehran Press. [In Persian]

Golabchi, Mahmoud, & Taghizadeh, Katayoun (2011). Structural Fundamentals for Architects. Tehran: University of Tehran Press. [In Persian].

Kabirsaber, Mohammadbagher (2013). Traditional Architecture Approaches of Tabriz for Safe Construction after Earthquake: Case Study of the Use of Timber Ties in Qajar Houses. Letter of Architecture and Urbanism, 6(11), 59–74. [In Persian]

Karagar, Bahman (1937). First Season of Archaeological Excavation of Sangar Fortress, Maku. West Azerbaijan Province Cultural Heritage Archive. [In Persian]

Khadem-Hosseini Ghassami, Saeedeh, & Sabet, Seyed Ali (2019). Study of the Structure of New and Traditional Houses around the Historical City of Kashan. The Second National Conference on Civil Engineering and Architecture in 21st Century Urban Management, Tehran. [In Persian]

Khodayar, Nasrin, & Naderi, Seyed Sajad (2019). Investigation of the Structure of Traditional Houses in Khalkhal County (Case Study: Kazej Village). Sixth National Congress of Civil Engineering, Architecture and Urban Development, Tehran. [In Persian]

Mostofi, Abdollah (2007). My Life Story: Social and Administrative History of the Qajar Period (Vol. 3). Tehran[In Persian].

Mousavi Makoui, Mir Asadollah (1997). History of Maku. Tehran: Bistoon[In Persian].

Rasouli, Sonia, Shahbazi, Simin, & Molanaei, Salah al-Din (2019). Investigation of Structural Convergence in Vernacular Architecture of Mountainous Regions: Case Study of Hawraman Village. International Conference on Civil Engineering, Architecture, Urban Development, and Regeneration of Urban Infrastructure in Iran, Tehran. [In Persian]

Sadeghi-Pi, Nahid (2009). A Reflection on Traditional Architecture. Saffeh, 18(2.)[In Persian]

Shokarpozi Khyabani, Tahereh, Sepahban, Farinaz, & Jamshidi Sarkhe Kavi, Khadijeh (2019). A Study of the Concept of Sustainability in Traditional Houses of Tabriz. First International and Fifth National Conference on Sustainable Architecture and City, Tehran. [In Persian]

Sotoudeh Bidokhti, Amirhossein (2013). Structural Behavior Analysis in Iranian Architecture. Tehran: Architecture and Urbanism Publications. [In Persian]

Tehrani, Farhad (2011). Digital Structural Notes. Tehran. [In Persian]

West Azerbaijan Province Cultural Heritage Archive. Revitalization Plan for the Historical Houses of Maku. [In Persian]

Wiseh, Sohrab, Khodabandeh, Nahid, Hakkakifard, Hamidreza, & Tahmasebi, Farhang (2009). Appropriate Methods for Using Local Materials. Housing and Rural Environment, 28(126), 2–19. [In Persian]

Zare, Arash, & Bayat, Mitra (2019). Investigation of the Performance and Behavior of Structural Elements in Traditional Turkmen Houses (Oyi). Third International Conference on Applied Research in Structural Engineering and Construction Management, Tehran. [In Persian]