Journal of Archaeological Studies
No. 3, Vol. 13, Serial No. 27 / Autumn 2021

Formerly "the Journal of the Faculty of Literature and Humanities"... University of Tehran

Static Review of the so-Called Ark-e-Alishah A Critical Assessment toward the Islamic World's Longest Span

Mansour Hoseinpour Mizab[1]& Mehdi Mohammadzadeh[2]& Amin Moradi[3]

(1-22)

Abstract

Based on the results of preceding research in the field of architectural history and archeology; the largest brick arch in the Islamic world during Ilkhanid era (1256-1353 AD), in the remains of so-called Alishah Gilani, Minister of sultan Muhammad Khodabandeh Öljaitü, and in the city of Tabriz has been erected. In the present survey, by providing the structural weakness of the architectural volume of the building attributed to Alishah to execute such a huge arch in a span of thirty meter, while the previous studies have been questioned, the incompatibility of modern architectural remains with the mosque in historical texts has been confirmed. With this pre-assumption that the U-shape structure had been considered to create a brick arch of a huge architectural project; clarifying the statically limitations of the mentioned building in terms of the impossibility of creating any kind of arch or vault in the mentioned span would shed new lights on the identity of this structure. After responding to the question of static feasibility of any kind of arch or vault in the so-called Ark-e-Alishah and besides static analyses, what paradox of historical engineering does the results highlight is that the tension result of loading due to any kind of arch would exceed the mechanical potentials of structure's buckling capacities, causing gross deformation and fracture of vertical units under any conditions. From this point of view, there has never been any kind of arch nor vault in this building anytime - The engraving drawn by Jean Chardin seems to represent an accurate picture of the Alishah building before the new southern part was annexed to it, and the connection of the southern part took place after the early seventeenth century (the year this engraving was drawn)– and in other words, what is known as today's remnants of the so-called Ark-e-Alishah is in the complete contradiction with what is known as Ali-Shah Mosque including a great brick arch.

Keywords: Ark of Ali-Shah, Ali-Shah Mosque, Ali-Shah's Arch, Ali-Shah's Complex, Ilkhanid Architecture.

Received: 7, April, 2019; Accepted: 21, December, 2021

10.22059/jarcs.2020.278863.142698
Online ISSN: 2251-9297 Print ISSN: 2676-4288-
https://jarcs.ut.ac.ir

1. Assistant professor. Department of Art and Architecture. University of Payame Noor, Iran.
2. Professor. Department of Industrial Arts, Tabriz Islamic Art University. Iran.
3. Corresponding author's email: Amin.moradi@uni-bamberg.de
Alexander von Humboldt Research Fellow at the Otto-Friedrich-University of Bamberg.

1.Intuoduction

Considering the architectural remnants of the so-called structure of Ark-e-Alishah in Tabriz; Northwest Iran, as the last sequence of the large-scale architectural movement whose approximate 29m span had held the most magnificent ever made arch in the Islamic World during Ilkhanid era (1256-1353 AD), proposing controversial technical bugs parallel to the violation of theoretical possibilities towards having such an arch would be the exact opposite point of more than half a century's studies of historic architecture, archaeological investigation, as well as historical resources in relation to the identity of the Great Ali-Shah Mosque. With this pre-assumption that the U-shape structure including roughly 11-meter thickness for its walls had been considered to create a brick arch of a gigantic architectural project; clarifying structural limitations of this building in terms of stability, durability, vulnerability and the impossibility of creating any type of arch or vault in the mentioned span would shed new lights on the incompatibly of the current structure with preexisting results. In the historical perspective, this building has gone through various interpretations, mainly emphasizing on the stiffness of the walls which are arranged to carry the world's largest brick arch in what is now called Ark-e-Alishah, recognizing it as a remnants of the Ali Shah Mosque′s architectural project in Tabriz (Pope et al. 1967; Wilber 1968; Qiyasi et al. 1997; Sarfaraz, 1972). Although archeological investigations in this building have had a deep background, there has always been as a gap between high objects and low achievements since the structural identity of this monument has always been followed with the least justifiable theories (Mansoori and Ajorlo et al. 2004; Ajorlo et al. 2018). Overlapping the current remnants with the medieval Ali Shah mosque, Brambila (1980) comments many details of this structure stating that the structure exhibits an escalation of scale but lacks technical innovation. There is a finite point at which the structure is stressed past an acceptable limit and its building materials collapse under its own weight. Traditional construction techniques of the era failed to consider this repercussion. Admittedly, what was proposed as the hyperbolic Sassanid vault lied in the fact that "Ali Shah" had ordered masons to increase the dimensions in his project since his initial purpose and the specific goals were to surpass the arch of Taq-i-Kasra in Ctesiphon (Brambila 1980). Several theoretical studies were also carried out around the geometry of the hypothetical arch employed in this structure of which the optimal behavior, flexibility, requiring less buttressing, and mechanical behavior of pointed arches versus various types of parabolic arches and the like, and with respect to the writers' experimental studies in the field of design, implementation, and reconstruction of traditional structures reported elsewhere (Moradi and Omrani 2018), in a study conducted by the author in 2018, the theory of the pointed arch was proposed (Omrani and Moradi, 2018). Far from historic reports, finite element method has been employed as a means to get a better understanding of the essential requisites of this building to remains in equilibrium. The present paper aims at contributing to the discussion of the structural vulnerability of substantial remains of a brick masonry known as the so-called Ark-e-Alishah [Arch of Alishah], located in Tabriz; Northwest Iran, since this assessment could play a vital role to recognize its structural identity. With reference to all scholars, in particular historians, it was believed that this building made when the criterion of increased proportions governs the structures parallel to the large-scale architecture appears in the 13th century in Iran, an Ilkhanid theory of architecture.Results of the analysis illustrate that this structure articulation is not adequate to withstands the vertical loads proposing by any type of arch nor vault. Thus, the logic of stability and structural facilities of today ′s remnants of the so-called "Ali Shah" arch in Tabriz is much weaker to concern its 29.73m span covered by any arch nor vault. Hence, this theory is far, very far beyond what it could accomplish. According to the previous studies, the problem of the crash of the arch and its collapse has always been addressed around this structure. While, after a simple loading of the structure and in the first stage, its foundation will undergo fracture and displacement. From this point of view, and regarding the absence of any cracks in the stressful parts of the structure, it seems that the remnants have never been affected by the force and load caused by the creation

of the arch or vault. Regardless of attributing any proposed chronology for the building and viewing the problem of the massive elements′ displacement through the creation of a buttressing units in the large-scale structures in a not-too-distant geographic location, including Soltaniyeh, as well as the confirmation of archaeological evidences, implying that there is no support on the sides of the structure to prevent the displacement of the walls in this building, it can be said that the architectural knowledge in the building could have not faced the challenge of force channeling of an arch. According to what was discussed, the issue of coverage between two eastern and western arms in the present remains of the so-called Ali Shah building has been totally rejected; thus, no arch or vault has been built there in any time. From this point of view, there is no connection between the contemporary remnants attributed to Ali Shah and what the scholars have mentioned as Ali Shah Mosque, known as the world's largest brick arch. Although the issue of the hybridization between two architectural phase of the current remains and the recently unearthed older northern part has been proofed (Mansoori and Ajorlo 2004), the quality of this juxtaposition is still open to doubt; since, blocking the main façade of the glorious northern part by installing a gigantic vaulted structure would not follow the acceptable explanations. While as a result of a synthetic and non-analytical approach, the previous studies on the existing architectural remains have proposed factual distortions of its function as a mosque, this study is pioneer in reviewing the possibility of the presence of an arch or its absence in the so-called Ark-e-Alishah in Tabriz based on the available objective data.

Sources

Dieulafoy. J. 2005. *The itinerary of Dieulafoy*. Translated by H. Sabeg. Tehran: Khayam. [in Persian].

Ibn Battūta. 1953. Shams al-Dīnʾ Abū ʾAbd al-Lā h Muhammad ibn ʾAbd al-Lāh I-Lawātī.. *Rihla*, edited by H. Gibb, England: Routledge and Kegan.

Karbalai. H. H. 1965. Rozat al-Jinan va Janat al-Jinan. Vol 2. Tehran. [in Persian].

Matragchi, N. 2000. *Bayan-e-Manazil*. Translated by E. Raisniya. Tehran: Research Center for Cultural Heritage. [in Persian].

Qiyasi. J. 1997. *Me'mar Xacəəlişah Təbrizi: Dövrü & Yaradiciliği*. Baku: Azerbaijan National Academy of Sciences.

Wilber. D. N. 1955. *The Architecture of Islamic Iran: The IlKhanid Period*. New York: Greenwood Press.

Sarfaraz. A. 1972. Archaeological Reports of Alishah Jame Mosque. Tehran: Cultural Heritage Organization. [in Persian].

Ajorlo. B .2018. Archaeological Research of Ark-e-Alishah. Tehran: Cultural Heritage Organization. [in Persian].

Chardin. J. 1986. Journal du voyage du chevalier Chardin en Perse et aux Indes Orientales par la Mer Noire et par la Colchide. Paris: Daniel Horthemels.

بازبینیِ سازه‌ای بنای موسوم به ارک علیشاه در تبریز

(ارزیابی انتقادیِ منطق حضور تاق در بزرگ‌ترین دهانه‌ی آجری جهان اسلام)

منصور حسین‌پور میزاب

استادیار گروه هنر و معماری دانشگاه پیام نور

مهدی محمدزاده

استاد گروه هنرهای صناعی دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

امین مرادی[۱]

پژوهشگر پسادکتری دانشگاه اتوفریدریش بامبرگ.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰

علمی- پژوهشی

چکیده

بر اساس آنچه در نتایج پژوهش‌های پیشین در زمینه‌های تاریخ معماری و باستان‌شناسی به چشم می‌خورد؛ بزرگ‌ترین تاق آجریِ جهان اسلام طیِ دورۀ ایلخانی (۶۵۴-۷۵۰ ه.ق)، در بقایای امروزیِ منسوب به علیشاه جیلانی وزیر سلطان محمد خدابنده اولجایتو و در شهر تبریز اجرا شده است. در پژوهش پیشرو با اثبات ضعف سازه‌ای حجم معماریِ منسوب به علیشاه جهت اجرای چنان تاق عظیمی در دهانه‌ای نزدیک به سی متر، ضمن آنکه نتایج مطالعات پیشین مورد تردید واقع شده است، عدم انطباق بقایای معماری امروزی با مسجد اشاره شده در متون تاریخی تأیید شده است. بدین ترتیب پس از پاسخ‌دهی به این مسئله که آیا حجم آجری منسوب به علیشاه جیلانی قابلیت اجرای چنان تاقی را داشته است یا خیر، ضمن آنالیز استاتیکی و تحلیل مشخصات سازه‌ای بقایای معماریِ موجود و مقایسۀ نتایج به‌دست‌آمده با گزارش‌های تاریخی پیرامون مسئله تاق در بنای مزبور، نتایج این پژوهش نقش تعیین‌کننده‌ای در بازبینیِ هویت معماری این بنا داشته است. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، تنش حاصل از بارگذاریِ ناشی از وزن هر نوع تاق در بنای مورد نظر، فراتر از پتانسیل‌های مکانیکیِ سازه بوده و منجر به فروپاشی پایه‌ها در هر شرایط خواهد شد. از این دیدگاه، هیچ نوع پوششی از نوع تاق در هیچ بازۀ زمانی در بقایای معماری منسوب به علیشاه جیلانی قابل اجرا نبوده است- به نظر می‌رسد گراور طراحی‌شده توسط شاردن بیانگر تصویر دقیقی از بنای علیشاه قبل از الحاق بخش جدید جنوبی بدان باشد و اتصال بخش جنوبی پس از اوایل قرن هفدهم میلادی (سال ترسیم این گراور) صورت گرفته است- و هیچ رابطه‌ای میان بقایای امروزی منسوب به علیشاه و مسجد ساخته‌شده توسط علیشاه وزیر با بزرگ‌ترین تاق آجری جهان اسلام وجود ندارد؛ به همین ترتیب، نمی‌توان حجم معماری U شکل در تبریز را به علیشاه جیلانی نسبت داده و متعلق به او دانست.

واژه‌های کلیدی: معماری ایلخانی، ارک علیشاه تبریز، مسجد علیشاه، تاق علیشاه، مجموعه علیشاه.

۱. مقدمه

مطالعات تحلیلی پیرامون رفتار سازه‌ای ساختمان‌های بنّایی در خصوص قابلیت‌های باربری و پتانسیل‌های مکانیکیِ مربوط به آن از موضوعات قابل توجه تاریخ معماری جهان بوده است. هرچند مشخصات سازه‌ای سازه‌های مدرن به واسطۀ تعریف استانداردهای مشخص فنی به راحتی قابل درک است (Betti 2011)، بررسی قابلیت‌های فنیِ بناهای تاریخی بسیار چالش برانگیز است (Amer 2017). طی دورۀ ایلخانی و به دلیل اهمیت شمال‌غرب ایران به عنوان پایتخت جهان اسلام، شکل‌گیری دیدگاه‌های معماری متفاوت در این منطقه منجر به تولید ابعاد متفاوتی از بناها گردید که تا آن زمان بی‌سابقه بوده است (مرادی ۱۳۹۶). در همین راستا، آنچه در روند تغییر ابعاد ساختمانی در مرحله اول ضروری می‌نماید، طراحیِ سیستم کارآمدی جهت انتقال نیرو به بهترین شکل ممکن به پایه‌هایی خواهد بود که قدرت واکنش در برابر آن نیرو را داشته باشند (Block and

۱. رایانامۀ نویسندۀ مسئول:

Amin.moradi@uni-bamberg.de

Ochsendrof 2007؛ Fraternali 2009)؛ به همین جهت، اجرای بزرگ‌ترین تاق آجری جهان در بنای موسوم به ارک علیشاه و در دهانه‌ای نزدیک به ۳۰ متر، بزرگ‌ترین چالش معماری جهان اسلام را در پی خواهد داشت. علی‌رغم پیچیدگی مسئله در نگاه اول، تمهیدات استاتیکی جهت انتقال نیروی ناشی از چنان تاق عظیمی در بنای موسوم به ارک علیشاه نه تنها کافی نیست، بلکه مسئله ایستایی چنان سازه‌ای با توجه به ارتفاع دیوارها، مستلزم حضور پشتیبان‌هایی در دو طرف آن خواهد بود- مطابق با نتایج کاوش در این بنا عدم وجود چنین پشتیبان‌هایی اثبات شده است (سرفراز ۱۳۵۰)- چراکه در غیر این صورت، فشار جانبی تاق منجر به ایجاد شکست در پایه‌ها (نوری‌فرد و دیگران ۱۳۹۵) و در نتیجه از هم گسیختگیِ کل بنا خواهد شد. از آنجا که مصالح بنایی عموماً دارای قابلیت مکانیکیِ فشاری می‌باشند (Ozhan and Cagatay 2014)، فروپاشی و شکست سازه در اثر اعمال نیروهای کششی در آنها غیرقابل اجتناب خواهد بود و بنای منسوب به ارک علیشاه از این قائده مستثنی نیست؛ به عبارتی، حضور سیستم توانمندی از واحدهای معماری جهت انتقال خط نیروی ناشی از هرگونه تاق فرضی، اصلِ معماری غیرقابل تغییر در بنای مورد نظر است.

با علم بر اینکه ایستائی دیوار ضلع جنوبی کمتر از دیگر اضلاع است (حسینی و دیگران ۱۳۹۵) و با پذیرش تئوری حضور تاق در این بنا، به‌گونه‌ای که ارتفاع آن بین ۶۵ متر (منصوری و آجرلو ۱۳۸۲) تا ۵۵ متر (مرادی ۱۳۹۶) می‌توانسته متغیر باشد؛ مسئله پوشش حدفاصل بین دیوار محراب و بالاترین ارتفاع تاق با مصالح آجری و به صورت سرتاسری از منطق ایستایی برخوردار نخواهد بود؛ چراکه در این صورت، علاوه بر چالش مهار تاق، تثبیت رانش دیوار جنوبی جزء پیچیده‌ترین مسائل سازه‌ای پیرامون تاریخ مهندسی خواهد بود. از طرفی، مسئله اتصال بقایای معماری امروزی به بخش شمالیِ قدیمی‌تر (سرفراز ۱۳۵۰؛ منصوری و آجرلو ۱۳۸۲)، بلافاصله این استدلال را مطرح خواهد کرد که مسدود نمودن نمای اصلی بنای قسمت شمالی با حجم آجریِ عظیمِ تاق‌دار از منطق معمارانه برخوردار نیست. ازآنجا که نتایج مطالعات پیشین پیرامون مطالعهٔ بقایای معماری موجود رهیافتی ترکیبی[1] و غیر تحلیلی بوده است؛ پژوهش پیشرو نخستین گام در زمینهٔ بازبینیِ مسئله امکان حضور تاق و یا عدم وجود آن در سازه منسوب به علیشاه در تبریز خواهد بود.

۲. روش تحقیق

در پژوهش پیش رو از روش مدل اجزای محدود جهت بررسی امکان اجرای تاق در سازه منسوب به علیشاه استفاده شده است. بر پایهٔ این روش از مدل‌سازیِ مصالح بنایی، نمی‌توان واحدهای منفرد و اتصالات را از یکدیگر تشخیص داد تا جایی که محیط مصالح بنایی به صورت پیوسته در نظر گرفته می‌شود؛ به این معنی که آجرها و سطح مشترک ملات و آجر به صورت یک مادهٔ همگنِ معادل فرض می‌گردد و خواص فیزیکی این محیط با متوسط‌گیریِ وزنی بین خواص فیزیکی محیط آجر و ملات تعیین می‌شود. اِلمان به کار رفته جهت تعیین الگوی شکست در این پژوهش، اِلمانSolid65 است که این المان برای مدل‌سازی مصالح تُرد، مانند آجر، به کار می‌رود و قابلیت تعریف معیارهای شکست در پروژهٔ مورد نظر را دارا است (حجاری و دیگران ۱۳۹۵). با توجه به اینکه این روش برای آنالیز سازه‌های بنایی بزرگ بسیار مطلوب است (حسینی و دیگران ۱۳۹۵)، به علت حجیم بودن سازه و تعدد بی‌شمار آجرهای به کار رفته در آن از این مِتد برای مدل‌سازیِ بنا استفاده

شده است. مشخصات فنی مصالح ساختمانی در تحقیق پیش‌رو با توجه به معیار استانداردهای ساختمانی (NTC 2008) در جدول شمارهٔ ۱. مشخص شده است.

جدول شمارهٔ ۱. مشخصات مکانیکی آجر (NTC 2008).

Table 1. Mechanical characterization of material (NTC 2008).

مصالح	مدل الاستیک (M Pa)	ضریب پواسون	چگالی (Kg/m^3)	مقاومت فشاری (N/mm^2)	مقاومت کششی (N/mm^2)	مدل الاستیک طولی
آجر سنتی	۱۵۰۰	۰,۲۰	۱۸۰۰	۳,۰	۰,۱۲	۲۱۰۰

در همین راستا، نگارندگان ضمن بازبینیِ نقشه‌های معماری موجود و ایراد اصلاحات فنی، برداشت معماری بنا و تطبیق آن با داده‌های اسکن فوتو لیزر[۲] را در دستور کار قرار دادند. ورود به فضاهای میان‌تهی موجود در داخل دیوارها و اقدام به تهیه نقشه معماری آن در ترازهای ارتفاعی مختلف از جمله اقداماتی بوده است که در تاریخ مطالعات بنای منسوب به ارک علیشاه بی‌سابقه بوده است. درنهایت، مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده با گزارش‌های تاریخی پیرامون مسجد علیشاه، تدبیر علمی نویسندگان برای بازبینی هویت معماری این بنا بوده است.

۳. پیشینهٔ پژوهش

محققان و تاریخ‌دانان همواره از بزرگ‌ترین تاق آجری جهان در آنچه امروزه به عنوان ارک علیشاه معرفی شده است سخن گفته و آن را بخشی از بقایای پروژهٔ معماریِ مسجد علیشاه در تبریز دانسته‌اند (Pope 1967؛ ویلبر ۱۳۴۶؛ Qiyasi 1997؛ سرفراز ۱۳۵۰). با این حال، بازبینی‌های علمی جهت حضور گونه‌ای تاقِ سهمی شکل دورهٔ ساسانی در دهانه‌ای نزدیک به سی متر در بقایای امروزیِ منسوب به علیشاه موضوعی بوده است که تنها در سال‌های اخیر بدان پرداخته شده است (منصوری و آجرلو ۱۳۸۲). نگارندگان ضمن تکمیل مطالعات مزبور و با توجه به رفتار بهینه، انعطاف‌پذیری، قدرت تحمل بار و رفتار مکانیکیِ فوق‌العاده‌ی قوس‌های تیزه‌دار نسبت به انواع سهمی شکل و مانند آن (مرادی ۱۳۹۶) و همچنین با توجه به تجارب اجرایی نگارندگان در زمینهٔ احیاء فنون معماری قرون میانه در ایران که گزارش آن در جای دیگر آمده است (Moradi & Omrani 2018)، ضمن بازبینیِ نظریهٔ قوس سهمی شکل، نحوهٔ پوشش در سازهٔ مزبور را از نوع قوس تیزه‌دار معرفی کرده‌اند (مرادی ۱۳۹۶). پژوهش‌های صورت گرفته در زمینهٔ تحلیل رفتار سازه‌ای این بنا محدود به بررسیِ آسیب‌پذیریِ لرزه‌ای آن بوده و جز ارزیابیِ ایمنی بنا در برابر زلزله به نتایج روشنی در زمینهٔ نحوهٔ پوشش بنا منجر نمی‌شود (حسینی و دیگران ۱۳۹۵).

۴. مطالعات تاریخی پیرامون سازهٔ منسوب به علیشاه جیلانی

ابن‌بطوطه در مورد کاربری‌های جانبی موجود در مسجد علیشاه می‌نویسد: «... در خارج در سمت راست شخصی که رو به قبله ایستاده، مدرسه و در سمت چپ زاویه قرار داد» (ابن‌بطوطه ۱۳۷۰: ۶۰).

با توجه به مینیاتور مطرقچی (تصویر ۱)، گزارش بازرگان ونیزی مبنی بر اینکه «... در کنار درِ اصلی مسجد جوئی جریان دارد»، با موقعیت بنا در بافت تاریخی تبریز همسو خواهد بود. (ویلبر ۱۳۶۵: ۱۵۸) مطابق با توضیحات شاردن، موقعیت قرارگیری این بنا در نزدیکی باروی شهری و در فاصلهٔ کمی از دروازهٔ شهر باعث

شده است تا ساختمان این مسجد جزء اولین بناهایی باشد که به هنگام رسیدن به تبریز قابل روئیت باشد. (همان ۱۶۰).

تصویر ۱- راست: نقشه شهر تبریز در قرن دهم هجری (مطرقچی ۱۳۷۹: ۸۹)؛ چپ: موقعیت مسجد علیشاه در نقشه مطرقچی.

Figure 1. right: Tabriz map in the 16th century AD (Matragchi 2000: 89), left: the location of the Ali Shah mosque in the Matragchi map.

در روضات الجنان پیرامون محل تدفین علیشاه وزیر چنین نوشته است: «آن وزیر صاحب جاه، خواجه تاج‌الدین علیشاه در عقب مسجد [علیشاه] و متصل به آن در مقبره‌ای که خود بنا کرده آنجا مدفون است» (کربلایی تبریزی ۱۳۴۴: ۴۹۶). هرچند مطابق نظر محققان، ساختار کلی مسجد علیشاه هرگز به مراحل پایانی خود نرسیده بود (منصوری و آجرلو ۱۳۸۲)؛ با این حال، اتصال آرامگاه علیشاه به مسجد علیشاه در ادوار بعد، زمانی معنی خواهد داشت که مسجد علیشاه وجود داشته باشد.

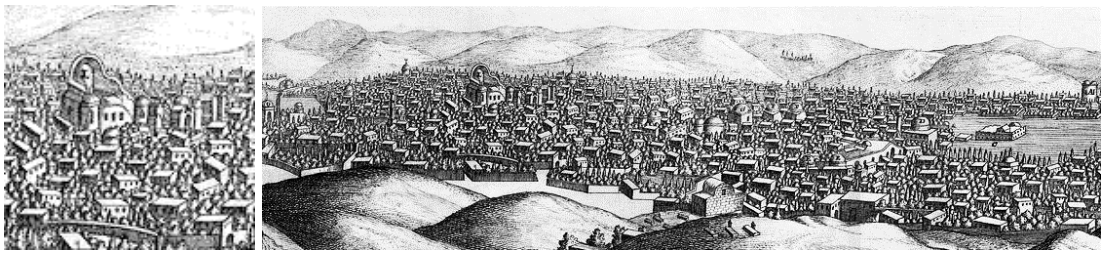
شاردن؛ که کتاب خود را قبل از سال ۱۶۷۳ م. نوشته است، مسجد علیشاه را شرح داده و در تصویری که با همه جزئیات از شهر تبریز کشیده، ساختمان فعلی را به همین نام خوانده و علامت‌گذاری کرده است (ذکاء ۱۳۶۸: ۵۰). آنچه در تصویر شاردن قابل مشاهده است، حجم معماری بزرگی است که بقایای یک تاق گهواره‌ای از نوع قوس‌های دورهٔ ساسانی بر روی آن دیده می‌شود.

دیولافوآ در رابطه با موقعیت شهری بنای علیشاه می‌نویسد: «... این بنای باعظمت که بیش از بیست متر ارتفاع دارد و قبل از ورود به شهر در فاصله زیاد نظر مسافرین را جلب می‌کند، در مرکز میدان وسیعی قرار گرفته است و از دیواری محصور گردیده و دارای برج‌های مرتفعی است و اطراف آن خندق عریض و عمیقی بود که اکنون یک قسمت آن پر شده است» (دیولافوآ ۱۳۴۸: ۵۵). نادر میرزا در رابطه با مشخصات فنّیِ ساختمان علیشاه ضمن اشاره به وجود تاق می‌نویسد: «... اکنون آنجا را ارک نامند. اسلحه و غلات را انبار است. این مسجد را علیشاه بنیاد نهاده ... به فرمان پادشاه آن را عمارت کرد و به اتمام آن تعجیل کرد. چون آن مسجد عمارت کردند، بنیان که تازه بود و هنوز سخت نشده فرو نشست و تاق بشکست» (نادرمیرزا ۱۳۵۱:

۱۰۵). از طرفی، نادرمیرزا نخستین فردی است که به مسئله الحاق یک بخش جدید به بخش قدیمی‌تر را بیان می‌کند و چنین توضیح می‌دهد که بخشِ شمالی بنا بعدها بدان افزوده شده است (همان ۱۰۶).

ویلبر ضمن اشاره به توضیحات حمدالله مستوفی مبنی بر فروریختن تاق مسجد علیشاه مدتی پس از اتمام بنا، بقایای معماری موجود را همان مسجد علیشاه تصور کرده است، به نحوی که این بنا دارای تاقی استوانه‌ای شکل بوده است (ویلبر ۱۳۶۵: ۱۵۸). در سال ۱۵۱۴ تاجر ایتالیایی درباره این بنا می‌نویسد: «مسجد بسیار بزرگ است ولی وسط آن هرگز پوشیده نشده است. در سمتی که مسلمانان به دعا می‌ایستند، محلی است که تاق بزرگی دارد و بلندی آن به قدری است که تیر به آن نمی‌رسد» (همان).

مطابق نتایج کاوش در محوطهٔ علیشاه، بقایای امروزی موسوم به ارک علیشاه در واقع بخشی از معماری بقایای بخش قدیمی‌تر بوده است. در همین راستا، وضعیت فرورفتگی‌های موجود در قسمت بیرونی حجم U شکل، همچنین عدم تکمیل کادرهای تزئینی موجود در آن قسمت، احتمالاً بدین معنی بوده است تا با الحاق حجم U شکل به بقایای ساختمان قدیمی‌تر، زمینه برای اتصال بنای جدید به بنای قدیمی‌تر فراهم آید (سرفراز ۱۳۵۰). هرچند مطابق با توصیفات جهانگردان، مسجد علیشاه دارای دو مناره‌ی رفیع بوده است؛ با این حال هیچ ردی از مناره‌ها در کاوش باستان‌شناختی به دست نیامده است و در رابطه با آن تنها باید به مینیاتور مطرقچی و تصویر شاردن اکتفا کرد.

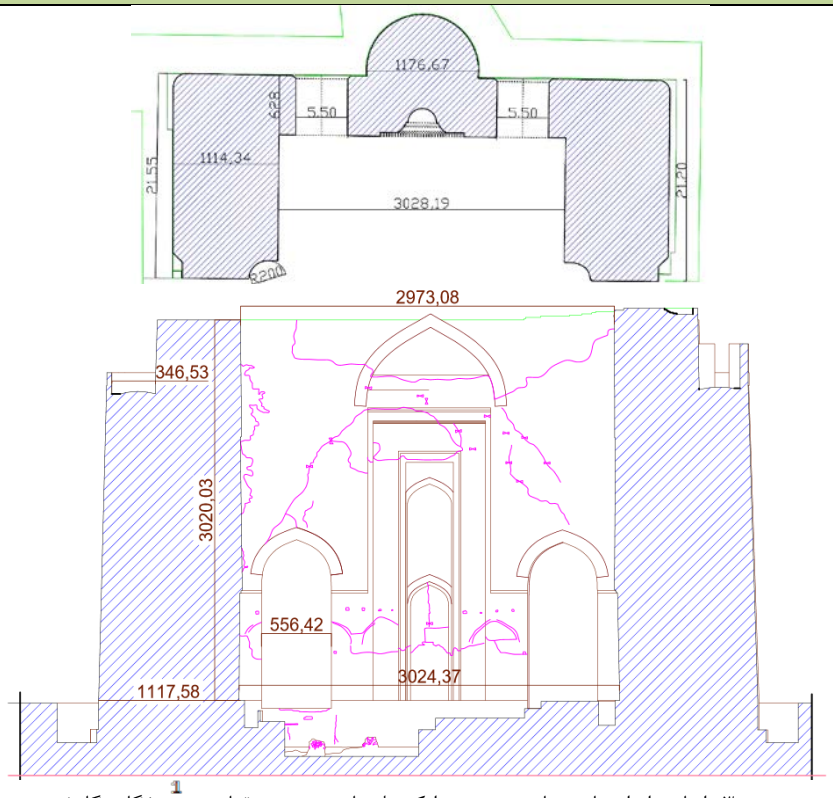


تصویر۲-موقعیت مسجد علیشاه در بافت تاریخی تبریز مربوط به قرن هفدهم میلادی (Chardin 1686: 409).

Figure 2. The location of the Ali Shah mosque in the sketch of Tabriz in the seventeenth century AD (Chardin 1686: 409)

۵. جزئیات معماری بقایای امروزی منسوب به علیشاه جیلانی در تبریز

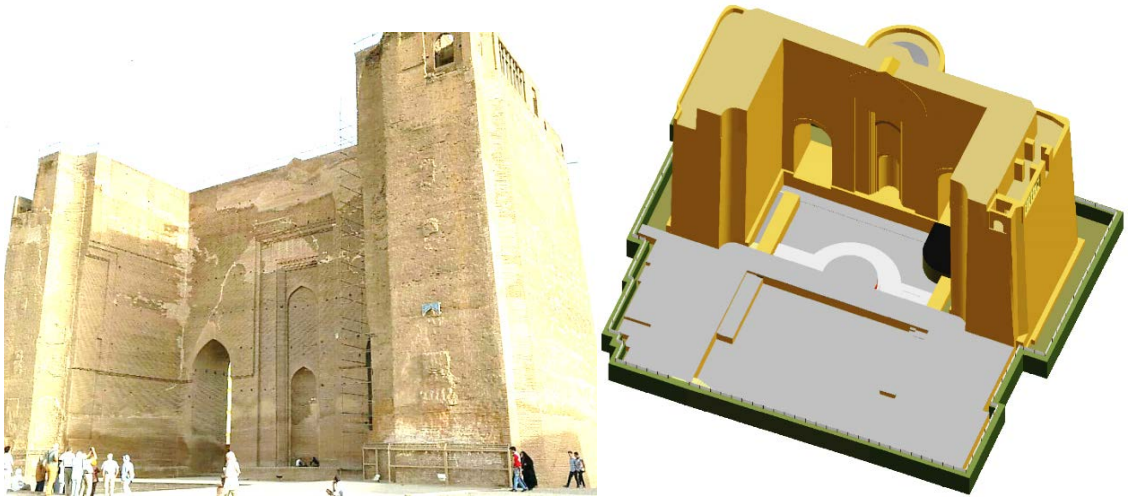
آنچه امروزه موسوم به ارک علیشاه در تبریز است، حجم معماری U شکلی است که در راستای شمالی جنوبی با دو بازوی آجری به قطر پایه ۱۱/۱۱ متر و به طول ۲۱/۵۵ متر در ضلع شرقی و ۲۱/۲۰ متر در ضلع غربی به نحوی ساخته شده است که به ازای هر ۱۰ متر ارتفاع، ۲۵ سانتی‌متر از قطر آن کاسته می‌شود؛ به صورتی که در مرتفع‌ترین نقطه از بنا و در ۳۰ متری، قطر دیوار به ۱۰ متر کاهش می‌یابد؛ بدین ترتیب عدم تقارنِ نامحسوسی در ساختار کلی پایه‌ها وجود دارد. (تصویر ۳)



تصویر۳- ابعاد و اندازه‌ها در بنای موسوم به ارک علیشاه در تبریز؛ مقیاس: $\frac{1}{100}$ (نگارندگان).

Figure 3. The sizes and dimensions in the Ark-e-Alishah in Tabriz. Scale: 1/100 (Authors).

این دو بازو که به میزان ٪۲ در سطح بیرونی شیب‌دار می‌باشند، توسط رابطی در بخش جنوبی به قطر ۶/۲۸ متر به یکدیگر متصل می‌گردند و این ضلع از بنا توسط یک نیم‌برج استوانه‌ای متمایل به مخروط به قطر ۱۱/۷۶ متر در میانه تقویت شده است. فرورفتگیِ انتهای شمالی هر دو بازو شامل رُبعی از دایره‌ای است که ۴ متر قطر دارد؛ به نحوی که امتداد این فرورفتگی تا بلندترین نقطه بیانگر این واقعیت است که بنا در این دو قسمت به حجم استوانه‌ای مرتفعی متصل بوده است. فاصله بین این دو بازو در پایین‌ترین تراز، دهانه‌ای به طول ۳۰/۲۸ متر را تشکیل می‌دهد که این اندازه در ارتفاع ۸/۸۰ متری به ۲۹/۷۳ متر کاهش‌یافته و تا انتها ادامه پیدا می‌کند[۳]. دیوار ضلع جنوبی شامل دو بازشو با قوس چهارپرگاریِ تیزه‌دار به عرض ۵/۵۶ متر و ارتفاع ۱۳/۴۰ متر است که از تراز ۳/۸۰+ سانتی‌متری شروع‌شده و در حدود ۱۶ درصد از کل سطح دیوار جنوبی را به خود اختصاص داده‌اند (تصویر ۴).



تصویر ۴-راست: بقایای امروزیِ منسوب به علیشاه در تبریز؛ چپ: طرح سه بعدی از بقایای موسوم به ارک علیشاه در تبریز بر اساس داده‌های اسکن لیزر و برداشت‌های میدانی (نگارندگان).

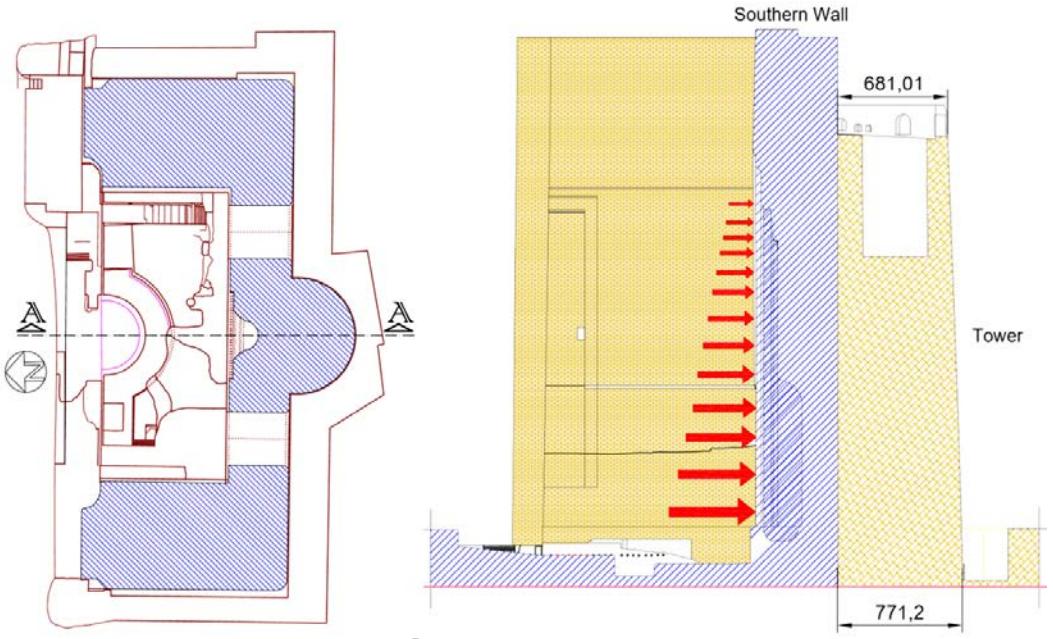
Figure 4. Right: current remnants of the Ark-e-Alishah; left: 3D view of the structure (Authors).

ارتعاشات ساختمان‌های بنایی شدیداً به چگونگیِ اتصال دیوارها به یکدیگر و نیز مهار آنها در ارتفاع و کف بستگی دارد (کریمی و دیگران، ۱۳۹۶)؛ به صورتی که اگر دیوارهای باربر به صورت منسجم و یکپارچه عمل کنند، مجموعه فضاها همراه با دیوارهای ضخیم در مقابل زلزله مقاومت بیشتری خواهند داشت (Zeilinska and Misiewic, 2016). چنین به نظر می‌رسد که وجود تمهیداتی در نقاط اتصال بازوها به دیوار ضلع جنوبی و اجرای آن به صورت منحنی و نه زوایای شکسته در سازه، تفکری بوده است به منظور جلوگیری از ارتعاش آزاد در اجزای باربر و معمار بنا بدین مسئله به خوبی واقف بوده است؛ چراکه عملی نبودن اجرای اتصالِ مناسب بین دو دیوار ضخیم به روش هشت و گیر، باعث ایجاد انفصال در دیوار و در نتیجه کاهش مقاومت کلیت سازه می‌گردد (Huerta 2008) (تصویر ۵).

تصویر ۵- بقایای معماری بنای موسوم به ارک علیشاه (نگارندگان).

Figure 5. The remnants of the Ark-e-Alishah in Tabriz (Authors).

با توجه به عرض کمتر دیوار ضلع جنوبی (۶/۲۸ متر) و به منظور جلوگیری از چرخش و پیچش آن، نیم‌برج را در میانهٔ دیوار بدان افزوده‌اند. با علم بر اینکه مقدار نیروی وارده از جانب بازوهای متصل به ضلع جنوبی در پایین‌ترین نقطه بیشترین حد ممکن خواهد بود، به صورتی که با نزدیک شدن به رأس دیوار از این میزان کاسته می‌شود (Gupta and others 2018)، برج پشت دیوار ضلع جنوبی را به صورت مخروطی ساخته‌اند که قطر آن از پایین‌ترین تراز تا بالاترین ارتفاع به میزان ۹۰ سانتی‌متر کاهش یافته است تا عکس‌العمل مناسبی در برابر نیروی وارده به شکل مثلث از جانب دیوارهای متصل به آن داشته باشد و آن را به بهترین کیفیت خنثی کند. با نزدیک شدن به ترازهای بالایی و با کم شدن اثر نیرو در ارتفاع مزبور، تمهیداتی در نظر گرفته شده است تا به ارتفاع ۷/۳۱ متر از ساختار برج به صورت میان‌تهی اجرا شود؛ بدین صورت علاوه بر کاهش هزینهٔ ساختمانی، سرعت اجرای کار افزایش یافته است (تصویر ۶).



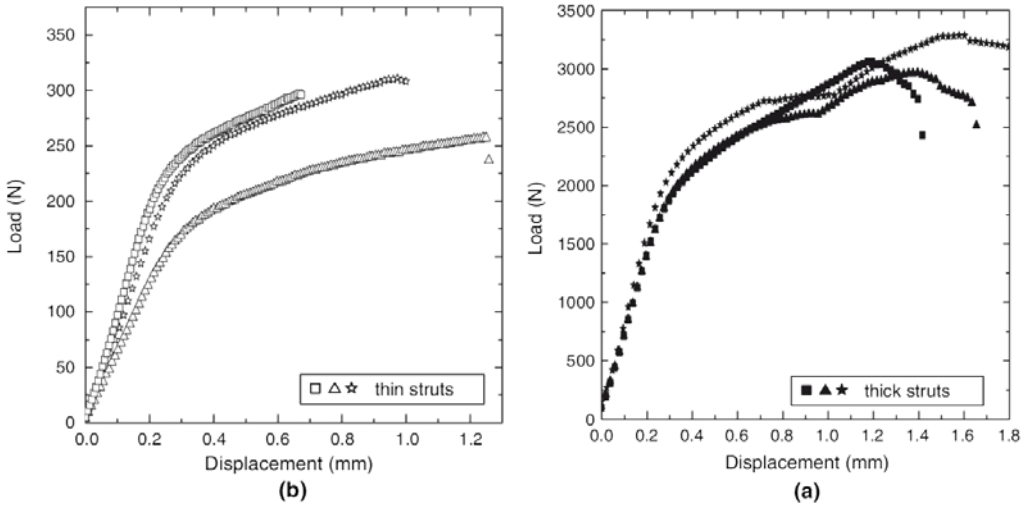
تصویر ۶- راست: مقدار و جهت نیروهای وارد شده به دیوار ضلع جنوبی (مقیاس: $\frac{1}{50}$) و موقعیت برج استوانه‌ای نسبت به آن؛ چپ: موقعیت مقطع A-A در بنای موسوم به ارک علیشاه؛ مقیاس: $\frac{1}{150}$ (نگارندگان).

Figure 6. The effect rate and direction of the applied forces to the southern intermediated wall and the half tower position relative to it. Right: plan; left: section A–A. Scale: 1/500 (Authors).

۶. بهبود شکل‌پذیریِ سازه‌ایِ بنای موسم به ارک علیشاه با رویکرد سبک‌سازی اجزای باربر

دیوارهای باربری که از قطر قابل توجهی برخوردار هستند از جمله عناصر سازه‌ای می‌باشند که بیشترین پتانسیل تخریب ساختمان را می‌تواند در بر داشته باشد (Charleson 2017). خسارات واردِ بر این دیوارها می‌تواند خطراتی برای سازه و سایر عناصر غیر سازه‌ای ایجاد کرده، همچنین مشکلاتی اساسی برای کارایی سازه و کاربری ساختمان ایجاد نماید (Taligedik 2016). از طرفی، شکل‌پذیری یک ساختمانِ بنّایی تابعی از تنش‌های قائم، هندسه یا نسبت ارتفاع به طول، خواص مصالح استفاده شده (مقاومت فشاری) و شرایط مرزی

تکیه‌گاهی در حجم معماری مورد نظر خواهد بود (Farshchi 2007). در حقیقت، هنگامی‌که نیروهای فشاری مقادیر بزرگ‌تری دارند، مصالح بنایی برای اینکه شکل‌پذیری مناسبی داشته باشند، باید کرنش‌های خیلی بزرگ‌تری را متحمل شوند که بدون تنظیم تمهیداتِ خاص معماری در دیوارهای قطورِ بنایی این امر امکان‌پذیر نیست. در خصوص رابطهٔ شکل‌پذیری و نسبت ارتفاع به طول دیوار، تحقیقات انجام‌شده نشان داده است که با افزایش این نسبت، مکانیسم شکست به مکانیسم خمش تبدیل‌شده، به‌گونه‌ای که با افزایش شکل‌پذیری، احتمال گسیختگیِ ترازهایی بالایی در دیوارهای آجری افزایش می‌یابد؛ در حالی که برای دیوارهایی با مقادیرِ کوچک‌تر از نسبت مذکور، مکانیسم برشی حاکم بوده و ظرفیت شکل‌پذیری کاهش می‌یابد (Anthonine 1994). با توجه به ضخامت ۱۱ متری پایه‌ها در سازهٔ موسوم به ارک علیشاه، سازه دارای مقاومت فشاری قابل توجهی است؛ به‌گونه‌ای که جهت تحمل بارهای قائم عموماً از اضافه ظرفیت نیز برخوردار است؛ با این حال، توپُر بودن بنا منجر به انعکاس رفتاری فوق‌العاده خمشی در برابر بارگذاری جانبی و لرزش‌ها خواهد داشت (Zeilinska and Misiewicz 2016) (تصویر ۷)؛ به همین دلیل در طراحی سازهٔ مزبور، معیار «رفتار» به جای معیار «مقاومت» مورد توجه بوده است. از این دیدگاه و با توجه به تجربیات زمین‌لرزه‌های گذشته در تبریز (ذکاء ۱۳۶۸)، معمار بر این اصل آگاه بوده است که ساختار چنین دیوارهای عظیمی می‌تواند آثار مثبت یا منفی بر رفتار ساختمان و ایستایی آن داشته باشد. از این دیدگاه، ایجاد فضاهای میان‌تهی در داخل پایه‌های ساختمان مزبور، رفتار کلی سازه را تغییر داده است؛ در غیر این صورت و با اجرای پایه‌ها به صورت حجم توپُر، با افزایش ارتفاع سازه، بارِ قائم زیادی نیز بر آن‌ها وارد شده و به موازات آن جابجایی و سقوط قسمت فوقانی پایه‌ها تحت تأثیر نیروهای جانبی دور از انتظار نخواهد بود (Tabeshpour 2013: 67).

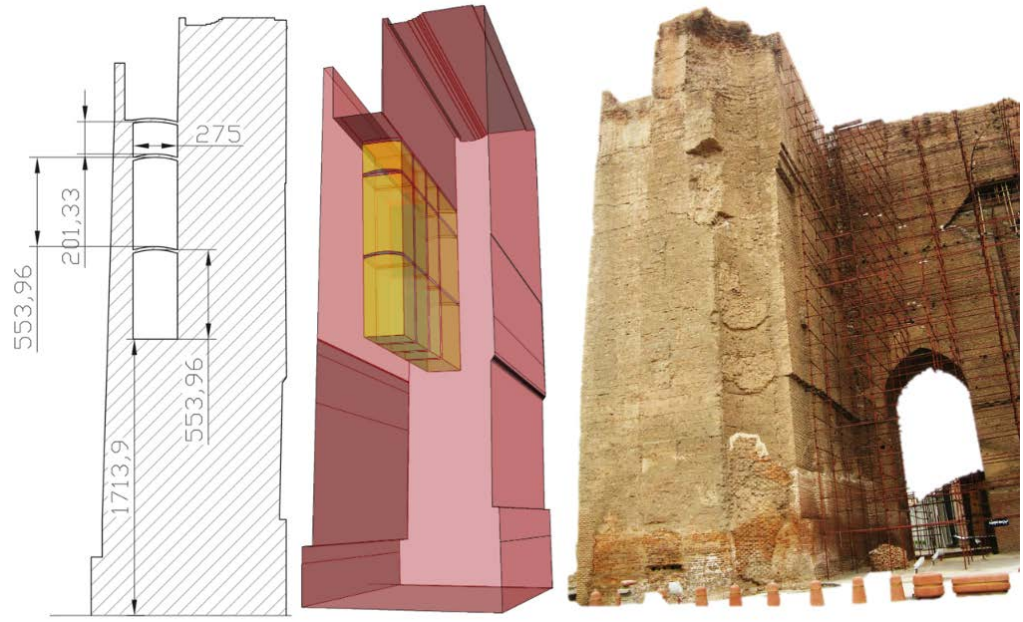


تصویر۷- میزان جابجایی بخش فوقانیِ سازه‌های مرتفع تحت بارگذاری در دیوارهای باربر مرتفع توپُر (a) و دیوارهای مرتفع میان‌تهی (b). به نحوی که در نمودارها نشان داده شده است، جابجایی در دیوارهای مرتفع میان‌تهی نسبت به دیوارهای توپر کم‌تر است (Koduru 2018).

Figure 7. The displacement rate of the upper part of the structures under load in the high massive and solid walls (a) and the void walls (b) (Koduru 2018).

با علم بر این موضوع، معمار بنا کوشیده است تا با میان‌تهی ساختن بخش‌هایی از دیوارهای غربی و شرقی بنا، علاوه بر کاهش بار مردهٔ ساختمان، صرفه‌جویی در وقت، هزینه و نیروی انسانی، ضمن افزایش میزان انعطاف‌پذیریِ بنا، رفتار سازه‌ای آن را ارتقاء بخشد. مطابق شواهد معماری، در سطحِ فوقانی بنا راهرویی ایجاد شده است که ۳/۳۰ متر عرض داشته و جان‌پناهی به ارتفاع ۳/۵۴ متر دورتادور آن را در برمی‌گیرد. در طول

هرکدام از بازوهای شرقی و غربی تعداد ۱۲ فضای میان‌تهی ایجاد شده است که این فضاها در چهار محور عمودی و هر کدام شامل سه فضای متصل به یکدیگر در عمق و با طول و عرض همسان به طول ۲/۷۵ متر ترتیب یافته‌اند. بدین ترتیب، ارتفاع فضای اول در حدود ۲ متر و ارتفاع فضای دوم و سوم هرکدام ۵/۵۳ متر است و در مجموع ۱۳ متر از کل هر دیوار با این شیوه میان‌تهی اجرا شده است. پنجمین فضای میان‌تهی در محل اتصال بازوهای آجری به دیوار ضلع جنوبی است؛ با احتساب هر ردیفِ عمودی از فضاهای میان‌تهی به صورت یک حجم واحد، می‌توان گفت در حدود ٪۲۳ درصد از حجم کل هر دیوار به صورت میان‌تهی اجرا شده است. (تصویر ۸)



تصویر ۸- ابعاد و موقعیت فضاهای میان‌تهی (زرد) در ساختار دیوارِ شرقیِ بنا که عین آن در ضلع غربی نیز تکرار شده است؛ مقیاس: 1/50 (نگارندگان).

Figure 8. Dimensions and positions of the compartments (yellow) in the structure of the eastern wall of the Ark-e-Alishah, the exact copy of which has been repeated on the western side. Scale: 1/500 (Authors).

۷. محاسبهٔ موقعیت خط نیرو در تاق فرضیِ اجرا شده در بنای موسوم به ارک علیشاه

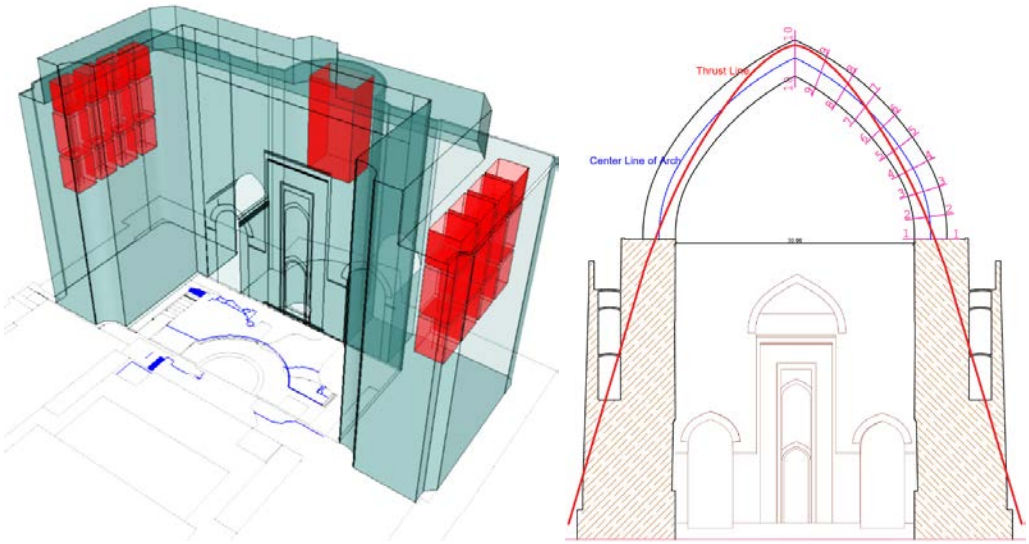
بدون توجه به رفتار سازه‌ای و مشخصات فنیِ بقایای امروزی بنای منسوب به علیشاه، پوشش گهواره‌ای از نوع قوس‌های متداول ساسانی، تنها مرجع علمیِ بدون استدلال پوشش دهانهٔ در بنای مزبور بوده است (منصوری و آجرلو ۱۳۸۴). ضمن بررسیِ قابلیت‌های استاتیکی بنا و تحلیل میزان پایداری آن در شرایط بارگذاری متفاوت ناشی از وجود هرگونه تاق، نخستین توضیحات فنی مبنی بر احتمال پوشش دهانه از نوع قوس تیزه‌دار توسط مرادی (۱۳۹۶) مطرح و جایگزین نظرات قبلی گردید تا اینکه کشف فضاهای مجوف در داخل دیوارهای باربر بنا و ضبط دقیق اطلاعات معماری آن توسط نگارندگان در سال ۱۳۹۸ فرضیهٔ پوشش تاق در این بنا را با ایرادات جدی مواجه ساخت. در راستای محاسبهٔ موقعیت خط نیروی ناشی از حضور هرگونه تاق فرضی در این بنا و به منظور کشف رابطهٔ آن با فضاهای مجوف از مدل رفتار خطی اِلمان محدود در نرم‌افزار انسیس

استفاده شده است که امکان ارجاع آن به کلیه سازه‌های تاریخی قبلاً به اثبات رسیده است (Mahesh 2010). مطابق با جدول ۲؛ و با توجه به مشخصات مصالح ساختمانی که در جدول ۱ بدان پرداخت شد، در صورتی که هندسهٔ قوس تیزه‌دار (مرادی ۱۳۹۶) مفروض از سطح S1 تا S10 به قسمت‌های برابر ترسیم و نسبت به خط مرکزی تاق مورد تحلیل قرار گیرد؛ موقعیت خط فشار در تاق مورد نظر به شرح زیر خواهد بود:

جدول شمارهٔ ۲- محاسبهٔ خط نیرو از مقطع ۱ تا ۱۰ در تاق تیزه‌دار مفروض در بنای منسوب به ارک علیشاه در تبریز (ANSYSY 2013).

Table 2. Thrust line calculation from section 1 to section 10 (ANSYS 2016)

Section	S1	S2	P	M	E	e/D
1	345189.00	-64525.00	-220159.00	52056.00	-0.38	-0.46
2	-211325.45	-266050.30	-204532.10	4462.18	-0.05	-0.06
3	-3658230.89	-5616.30	-212833.89	-24945.85	0.14	0.18
4	-420850.65	71096.21	-117754.32	-40295.30	0.30	0.35
5	-388089.32	60888.65	-80597.56	-19652.30	0.20	0.25
6	-199568.56	-604520.23	-75625.25	-9628.16	0.13	0.16
7	-865092.32	-90951.32	-62018.25	318.52	0.00	0.00
8	33221.59	-181338.62	-61652.82	8909.62	-0.17	-0.22
9	89489.78	-302392.45	-43905.80	15232.56	-0.35	-0.45
10	129600.00	-319000.00	-51362.00	18765.00	-0.43	-0.52



تصویر ۹- راست: محاسبهٔ خط فشار تاق با استفاده از روش تحلیل مقطعی تاق تیزه‌دار (ANSYS 2013)؛ چپ: موقعیت فضاهای خالی در دیوارهای باربر (نگارندگان).

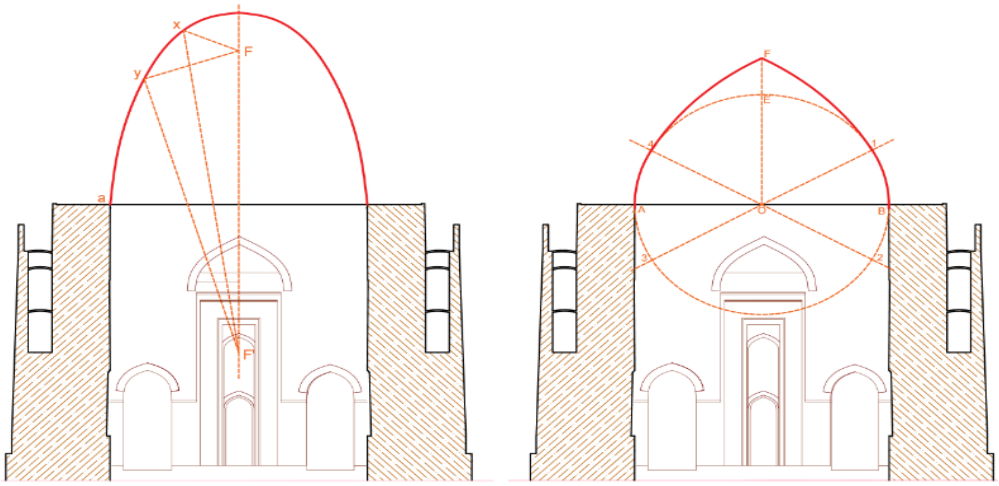
Figure 9. Right: thrust line for the Ark-e-Alisha; left: the position of the hollow cells embedded in brick arms and the half-tower connected to the southern wall (Authors).

مطابق با «تئوریِ ساختمان امن» در تحلیل‌های ایستایی، در صورتی که خط نیرو به طور پیوسته از تاق به فونداسیون بنا انتقال یابد، در این صورت می‌توان امنیت ایستایی قوس را تضمین کرد (Heyman 1969).

مطابق با تصویر ۹ آنچه در نگاه پر اهمیت می‌نماید، انقطاع خط نیرو به واسطهٔ وجود فضاهای خالی در دیوارهای باربر است؛ بدین ترتیب دانش سازه‌ای در بنای علیشاه فاقد هرگونه تدبیری جهت انتقال نیرو از طریق اعمال پشتیبان‌های جانبی بوده است. هرچند با ایجاد شبکه‌ای میان‌تهی از فضاهای به هم پیوسته و به موازات آن کاهش چشم‌گیر وزن سازه، تمایل به گسیختگی و رانش در بازوها کاهش یافته است؛ با این حال، بدون وجود هرگونه عنصر پشتیبان و با فرض بر وجود هرگونه تاق و قوس، خط نیرو شدیداً موقعیت فضاهای میان‌تهی را تحت تأثیر قرار خواهد داد (تصویر ۹- راست)؛ تا آنجا که مسئله شکست دیوارها غیرقابل اجتناب خواهد بود. هرچند چنین به نظر می‌رسد که گزارش ابن‌بطوطه مبنی بر وجود دو کاربریِ مدرسه و خانقاه جهت ترفیع مسئله نگهداری تاق در مسجد علیشاه بوده است، با این حال، مطابق با کاوش‌های صورت گرفته در اضلاع شرقی و غربیِ این بنا، هیچ نوع اثر معماری به دست نیامده است (سرفراز ۱۳۵۰).[۴]

۸. امکان‌سنجی مسئله اجرای تاق در سازهٔ موسوم به ارک علیشاه

درکِ تئوری قوس‌ها بدون درک باربرهای مناسب و پایه‌های آن به نتایج روشنی منجر نخواهد شد. بدون تردید ایجاد سازهٔ بزرگ‌تر نیازمند سیستم انتقال نیروی بهتری جهت تضمین ایستایی آن خواهد بود. هرچند ماهیت و ابعاد سازه جهت اجرای تاق همواره نسبتی از دهانه بوده است (Huerta 2010)؛ با این حال، هندسهٔ تاق نقش غیرقابل اجتنابی در تعریف ایستاییِ آن خواهد داشت. همان‌گونه که ذکر آن رفت، پوشش دهانه در سازهٔ منسوب به علیشاه در قالب دو فرضیهٔ قوس سهمی شکل دورهٔ ساسانی (منصوری و آجرلو ۱۳۸۲) و قوس تیزه‌دارِ چهارپرگاری (مرادی، ۱۳۹۶) مورد ارزیابی قرار گرفته است. (تصویر ۱۰)

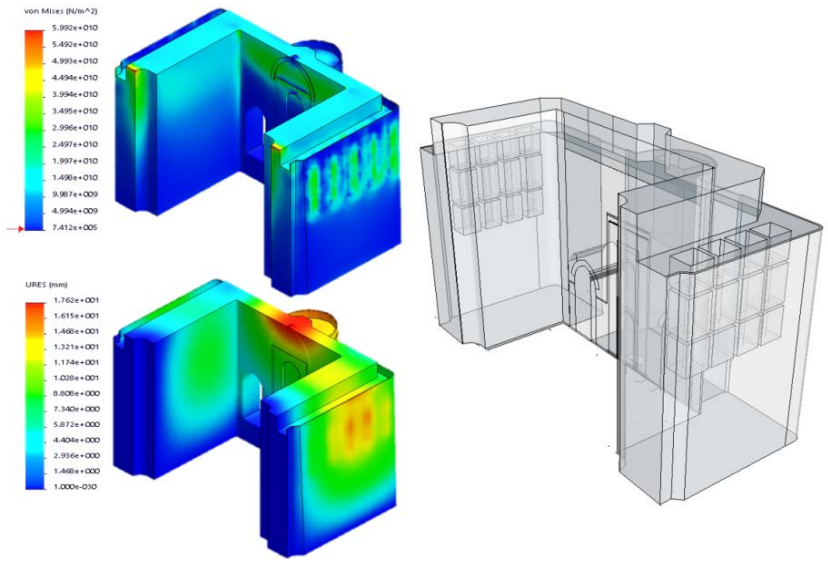


تصویر ۱۰- امکان اجرای انواع قوس در سازه منسوب به علیشاه با توجه به مطالعات پیشین و بدون توجه به فضاهای میان‌تهی در ساختار سازه؛ مقیاس: $\frac{1}{75}$ (نگارندگان).

Figure 10. The possibility of creating arches in the Ark-e-Alishah according to the previous studies and regardless of the cells in the structure of the building, scale: 1/75 (Authors).

با علم بر اینکه بقایای معماری مورد نظر از قسمت شمالی به حجم معماری دیگری الحاق شده است (سرفراز ۱۳۵۰)، اجرای حدفاصل بین دو دیوار در قسمت جنوبی و افزودن نیم‌برج در میانهٔ آن منجر به گیردار شدن پایه‌ها در دو قسمت شمالی و جنوبی خواهد شد. صرف‌نظر از اختلافات موجود پیرامون هندسه و نوع تاق، با

حذف قالبی که تاق آجریِ احتمالی بر روی آن اجرا شده است؛ تحت تأثیر وزن ناشی از خود سازه و انتقال آن به پایه‌ها، سطح بیرونیِ پایه‌ها– با توجه به عدم وجود هرگونه پشتیبان در طرفین- رفتاری کششی از خود نشان می‌دهد (Koduru 2018). بدون توجه به نتایج آماری، نتایج تحلیل استاتیکی و مقادیر ماکزیمم تنش‌های کششی و فشاری ایجادشده در بنا نشان‌دهنده این امر است که مقادیر تنش‌ها فراتر از تنش‌های مجاز مصالح است (تصویر ۱۱- چپ-بالا)؛ بنابراین در مناطقی با تنش کششی فراتر از مقادیر مجاز، ترک‌خوردگی اتفاق افتاده و جابجایی صورت خواهد داد (تصویر ۱۱- چپ، پائین). از این منظر، گسیختگی دیوارها مقدم بر رانش هر نوع تاق و قوس خواهد بود. لذا دیوار باربر با فضاهای میان‌تهی و بدون پشتیبان، در برابر وزن تاق کاملاً ناپایدار است. در همین راستا، با توجه به موقعیت فضاهای میان‌تهی می‌توان گفت که هندسهٔ معماریِ حجم آجری منسوب به علیشاه کیفیت سازه‌ای لازم را جهت حمل بارِ ناشی از هیچ‌گونه تاق و قوس را ندارد. مطابق تحلیل‌های رایانه‌ای، در صورتی که ساختار کلیِ عناصر باربر به صورت حجم آجریِ یکپارچه در نظر گرفته شود، تحت تأثیر نیروی حاصل از وزن سازه و با صرف‌نظر از هرگونه عامل خارجی از جمله زلزله و ارتعاش، بین محدوده ۱۶ تا ۱۷ متری از تراز کف، دیوار شدیداً رفتار رانشی از خود نشان می‌دهد و تمایل به خمشِ خارج از صفحه و گسیختگی در آن مشهود است.



تصویر ۱۱– راست: موقعیت فضاهای میان‌تهی در بنای موسوم به ارک علیشاه در تبریز؛ چپ، بالا: ماکزیمم تنش‌های ایجادشده در سازه؛ پائین: بیشترین میزان جابجایی صورت گرفته در سازه در صورت اجرای تاق و اعمال نیرو به آن (نگارندگان).

Figure 11. Right: The position of the void cells in Ark-e-Alishah in Tabriz; upper left: the maximum created stresses in the structure; lower left: the maximum displacement of the structure in case of creating the arch without considering any applied forces (Authors).

۹. بحث پیرامون امکان اجرای تاق در سازهٔ منسوب به علیشاه در تبریز

مطابق با تصویری که قبل از تخریب بقایای دیوار بخش جنوبی موجود است (تصویر ۱۲)، همچنین اختلاف ابعاد آجرها در بخش شمالی (۲۵×۲۵×۵ سانتی‌متر) و جنوبی (۲۱×۲۱×۴ سانتی‌متر) حداقل دو فاز متفاوت معماری در این بنا قابل تشخیص است. بخش اول که فرسایش مصالح ساختمانی در آن نسبت به بخش جدید مشهودتر است، شامل تزئیناتی در قسمت‌های فوقانی دیوار است و چنین به نظر می‌رسد که زمانی کاربری‌های جانبیِ دیگری در این بخش بدان افزوده شده بود.

تصویر ۱۲- بقایای معماری بخش قدیمی‌تر که مطابق با نتایج مطالعات صورت گرفته بخش جدید را بدان افزوده‌اند (منبع: آرشیو سازمان میراث فرهنگی استان آذربایجان‌شرقی).

Figure 12. Present remains of the post-Ilkhanid structure in connection with the older northern part before 1981. (Digital collection of Cultural Heritage and Tourism Organization; Iran).

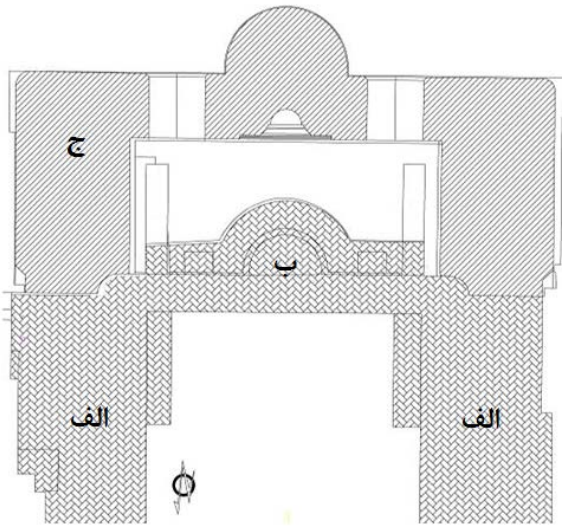
بر خلاف سایر بناهای دورهٔ ایلخانی تا قاجار در شمال‌غرب ایران که تماماً بر روی ازاره‌ای سنگی اجرا شده‌اند (مرادی ۱۳۹۶)، همچنین عدم چفت‌وبست مناسب معماری بین دو بخش شمالی و جنوبی می‌توان توسعهٔ معماری در این بنا را به شرح زیر توضیح داد:

الف: دیوارهای بنای ایلخانی (احتمالاً مسجد علیشاه) پس از سقوط تاق به صورت یک فضای روباز مورد استفاده بوده است به نحوی که تاجر ایتالیایی به شرح این فضا پرداخته است (ویلبر ۱۳۶۵: ۱۵۸). این فضا احتمالاً همان بنایی است که شاردن در گراور خود به تصویر کشیده است. از طرفی، بقایای معماری امروزی حاکی از آن است که در نمای مقابل بنای قدیمی، دو حجم استوانه‌ای بلند که احتمالاً همان مناره‌های مسجد علیشاه بوده است وجود داشته است. با توجه به شواهد معماری می‌توان گفت که دو کاربری جانبی در پیرامون این فضا قرار داشته است؛ بدین ترتیب توضیحات ابن‌بطوطه در رابطه با مسجد و خانقاه در پیرامون مسجد علیشاه صحت خواهد داشت. (تصویر ۱۳-الف)

ب: با توجه به عدم مرغوبیت مصالح و ملات استفاده شده در این بخش، چنین به نظر می‌رسد که اولین مرحله از توسعهٔ فضایی بقایای برجای‌مانده از مسجد ایلخانی در این بخش صورت گرفته است. از طرفی، این بخش به عنوان حد واسط بین توسعه نهایی و فاز اولیهٔ معماری مدنظر بوده است. احتمالاً با مسدود کردم بخش جنوبی بقایای قدیم زمینه برای احداث بخش جدیدتر فراهم گشته است.

ج: بقایای امروزی (تصویر ۱۳- ج) شامل آخرین فاز از توسعهٔ معماری بقایای معماری دورهٔ ایلخانی بوده است که در آن با اضافه کردن یک بخش U شکل فضای محصورِ قبلی را توسعه داده‌اند.

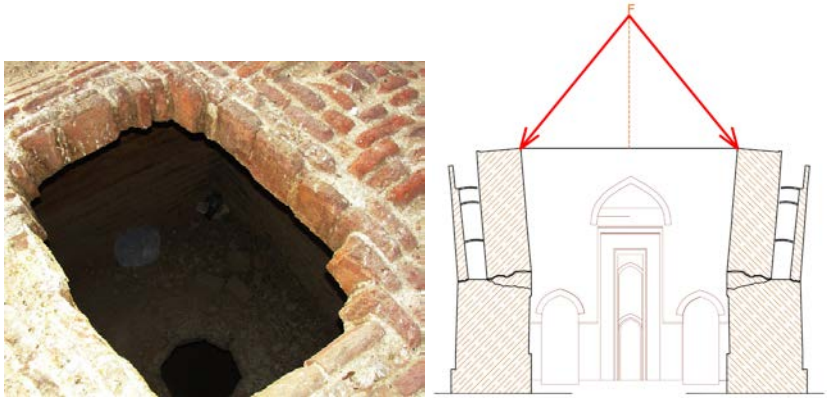
بر همین اساس چنین به نظر می‌رسد که انتساب نام علیشاه به بخش جدید صحیح نبوده و تنها به دلیل اتصال آن به نمای جنوبی مسجد تخریب‌شده علیشاه این عنوان به آن اطلاق شده است.



تصویر ۱۳- مراحل توسعهٔ بنای موسوم به ارک علیشاه در تبریز (نگارندگان).

Figure 13. Development process of the so-called Ark-e-Alishah in Tabriz (Authors).

تحقیق پیرامون فضاهای میان‌تهی در ساختار اضلاع غربی و شرقیِ سازهٔ منسوب به ارک علیشاه در تبریز نکته‌ای بود که برای اولین بار در مطالعات مربوط به ساختار معماری بنا توسط نگارندگان لحاظ شد. اهمیت مطالعهٔ این فضاها تا آنجا پیش رفت که منطق ایستایی بزرگ‌ترین تاق آجری جهان را مورد تردید قرار داد. مطابق آنچه بدان پرداخته شد و با فرض بر وجود هر نوع پوششی اعم از قوس سهمی شکل و یا قوس تیزه‌دار و با توجه به موقعیت فضاهای میان‌تهی و عدم وجود هر نوع پشتیبان جهت انتقال نیرو، تنش‌های مکانیکی ناشی از بارگذاری وزن سازه در ارتفاع ۱۷ تا ۲۲ متری به بیشترین حد امکان رسیده و منجر به گسیختگی و شکست دیوار خواهد شد. از این دیدگاه و با علم بر اینکه هیچ‌گونه تمهیدات معماری خاصی برای حل مسئله رانش در طرفین این سازه وجود نداشته است (سرفراز ۱۳۵۰)، می‌توان گفت مسئله مسقف شدن سازه مزبور تحت هیچ شرایطی امکان پذیر نبوده است (تصویر ۱۴).



تصویر ۱۴- راست: رفتار سازه‌ای بنای منسوب به علیشاه و شکست ایجادشده در پایه‌ها در اثر اجرای هرگونه تاق و قوس با توجه به وزن سازه و عدم وجود هرگونه پشتیبان؛ مقیاس: $\frac{1}{75}$؛ چپ: موقعیت فضاهای خالی در دیوارهای باربر شرقی و غربی (نگارندگان).

Figure 14. Right: structural behavior of the Ark-e-Alishah showing how fracture would be caused in the loadbearing units by the creation of any arch or vault; left: hollow cells in the walls, scle: 1/75 (Authors).

هرچند تصویر ارائه‌شده توسط شاردن (۱۶۵۲ م.) (تصویر ۲) از موقعیت آنچه وی آن را مسجد علیشاه معرفی کرده است، جهت انتساب وجود نوعی پوشش در این بنا بسیار تحریک‌کننده است؛ با این حال، وضعیت و ساختار کنونی بنای موسوم به ارک علیشاه تبریز هرگز با توصیف مورخان و سیاحانی که مسجد علیشاه را دیده و توصیف کرده‌اند همخوانی و هماهنگی ندارد (آجرلو ۱۳۸۱). بدین ترتیب و در خصوص قیاس دست آوردهای پژوهش حاضر با مطالعات پیشین باید گفت که مسئله برهم‌کنش سازه‌ای فضاهای میان‌تهی و ایستایی بنا، موضوعی بوده است که هیچ‌گاه موردمطالعه علمی قرار نگرفته و بررسی رفتار سازه‌ای بنا با فرض بر یکپارچه بودن پایه‌ها همواره گمراه‌کننده و منجر به درک ناصحیح بنای مزبور شده بود.

۱۰. نتیجه

بدون توجه به فرضیات پیرامون کاربری بنا و مسائل مربوط به آن، منطق ایستایی ساختمان و امکاناتِ سازه‌ای بقایای امروزیِ منسوب به علیشاه جیلانی در تبریز بسیار ضعیف‌تر از آن است تا بتوان دهانه‌ی ۲۹/۷۳ متری آن را پوشیده از هر نوع تاق و قوس دانست. پیرو مطالعات پیشین، همواره مسئله شکست تاق و فروریختن آن پیرامون این بنا مطرح شده است؛ در صورتی که پس از بارگذاری سازه، در اولین مرحله خود پایه‌ها دچار جابجایی، شکست و آسیب‌دیدگی خواهد شد. از این دیدگاه و با توجه به نبود هرگونه ترک در بخش‌های پرتنش سازه، چنین به نظر می‌رسد که بقایای برجای‌مانده هیچ‌گاه تحت تأثیر نیرو و بار ناشی از اجرای تاق و قوس نبوده است. صرف‌نظر از انتساب هرگونه تاریخ پیشنهادی برای بنا و با توجه به ترفیع مسئله رانش عناصر باربر از طریق ایجاد پشتیبان در سازه‌های بزرگ‌مقیاس موجود در جغرافیای نه چندان دور از جمله سلطانیه و تأیید شواهد باستان‌شناسی مبنی بر عدم وجود هرگونه پشتیبان در طرفین سازه جهت مهار رانش دیوارها در این بنا، می‌توان گفت دانش معماری در بنای مورد نظر با چالش مهار تاق مواجه نبوده است. مطابق آنچه بدان پرداخته شد، مسئله پوشش حدفاصل بین دو بازوی شرقی و غربی در بقایای امروزی منسوب به علیشاه منتفی بوده و در هیچ بازه زمانی، هیچ‌گونه تاقی در آن اجرا نشده است. از این دیدگاه، هیچ ارتباطی میان بقایای امروزی منسوب به علیشاه و آنچه محققان از آن به عنوان مسجد علیشاه، شامل بزرگ‌ترین تاق آجری جهان یاد کرده‌اند وجود ندارد. به نظر می‌رسد که گراور ارائه‌شده توسط شاردن بیانگر تصویر دقیقی از بنای علیشاه قبل از الحاق بخش جدید جنوبی بدان باشد. چراکه موقعیت دو مناره بلند فروریخته، به نحوی که قسمت فوقانی آن را مسطح کرده‌اند و مهم‌تر از آن بقایای ایوان تاق‌دار در آن قابل مشاهده است. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که اتصال بخش جنوبی پس از اوایل قرن هفدهم میلادی (سال ترسیم این گراور) صورت گرفته است. تاریخ‌گذاری دقیق بنای مورد نظر با استفاده از روش ترمولومینسانس و همچنین آنالیز نمونه‌های مختلف ملاط به روش XRF و مقایسه آن با نمونه بناهای مختلف گام بعدی تحقیق پیش‌رو بوده است که نتایج آن به جهت تعیین کاربری دقیق بنای مورد نظر در دست انتشار است.

پی‌نوشت‌ها

1.Synthetic.

۲. به منظور مستندنگاری بنای مورد نظر از دستگاه اسکن فتولیز FARO-FOCUS با برد کوتاه استفاده شده است.

۳. بر خلاف مطالعات پیشین که فاصله میان دو بازو را ۲۸/۴ متر نوشته‌اند (منصوری و آجرلو، ۱۳۸۲)؛ مطابق داده‌های لیزر اسکن و اندازه‌گیری آنها این فاصله در بالاترین ارتفاع ممکن ۲۹/۷۳ متر است.

۴.کاوش باستان‌شناسی صورت گرفته در سال‌های اخیر در این بنا متمرکز در ضلع شمال‌غربی مجموعه بوده که در آن بررسی مشخصات فنی بنا از جمله سازه و قابلیت‌های ایستایی بنا مطرح نبوده است (آجرلو، ۱۳۹۷).

منابع

ابن‌بطوطه، محمد، (۱۳۷۰)، *سفرنامه ابن‌بطوطه*، ترجمهٔ محمدعلی موحد، تهران، آگاه.

آجرلو، بهرام، (۱۳۹۷)، گزارش باستان‌شناسی کاوش در ایوان علیشاه تبریز، تهران، مرکز اسناد پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری.

حجازی، مهرداد و دیگران، (۱۳۹۵)، شکل بهینه، بار شکست و بار کمانش گنبدهای تاریخی آجری ایرانی، *نشریه مسکن و محیط روستا*، ۳۵ (۱۵۵): ۶۱-۷۶.

حسینی، محمود و دیگران، (۱۳۹۵)، ارزیابی ایمنی لرزه‌ای بنای تاریخی ارگ علیشاه تبریز با استفاده از آنالیز اجزای محدود و آنالیز حد جنبشی ساده‌شده، *مجله علمی پژوهشی عمران مدرس*، ۱۶ (۲): ۹۱-۱۰۲.

دیولافوآ، مادام، (۱۳۸۴)، *سفرنامه دیولافوآ*، ترجمهٔ همایون سابق، تهران، خیام.

ذکاء، یحیی، (۱۳۶۸)، *زمین‌لرزه‌های تبریز*، تبریز، شایسته.

سرفراز، علی‌اکبر، (۱۳۵۰)، گزارش کاوش در محوطه مسجد جامع علیشاه در تبریز، تهران، آرشیو سازمان میراث فرهنگی کشور.

کربلایی تبریزی، حافظ حسین، (۱۳۴۴)، روضات الجنان و جنات الجنان، به تصحیح جعفر سلطان القرائی، ۲ ج، تهران، سروش دانش.

کریمی، امیرحسن و دیگران، (۱۳۹۶)، بررسی آزمایشگاهی و مدل‌سازی عددی رفتار غیرخطی دیوارهای مصالح بنایی تحت بار چرخه‌ای داخل صفحه با در نظر گرفتن اثر چیدمان آجرچینی، *نشریه علمی پژوهشی مهندسی سازه و ساخت*، ۴ (۲): ۱۸-۳۲.

مرادی، امین، (۱۳۹۶)، *بزرگ‌مقیاس سازی در معماری شمال‌غرب ایران طی گذار از دورهٔ سلجوقی به ایلخانی و تقارن آن با تحولات معماری اروپا در گذار از معماری رمانسک به گوتیک*، رساله دورهٔ دکتری در رشته باستان‌شناسی، گرایش دوران اسلامی، دانشگاه مازندران، بابلسر.

مطراقچی، نصوح، (۱۳۷۹)، بیان منازل، ترجمهٔ رحیم رئیس نیا، تهران، سازمان میراث فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری.

منصوری، سید امیر و آجرلو، بهرام، ۱۳۸۲، بازشناسی ارک علیشاه تبریز و کاربرد اصلی آن، *نشریه هنرهای زیبا*، ۱۶ (۱۶): ۵۷-۶۸.

نادرمیرزا، (۱۳۵۱)، *تاریخ و جغرافیای دارالسلطنه تبریز*، تهران، اقبال.

نوری‌فرد، آزاده و دیگران، (۱۳۹۵)، ارزیابی مفهومی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای غیر سازه‌ای در ساختمان‌های میان مرتبه‌ای متعارف، *فصلنامه علمی پژوهشی نقش‌جهان*، ۶ (۳): ۵۱-۳۸.

ویلبر، دونالد نیوتن، (۱۳۴۶)، *معماری اسلامی ایران در دورهٔ ایلخانان*، ترجمهٔ عبدالله فریار، تهران، بنیاد ترجمه و نشر کتاب.

آجرلو، بهرام، (۱۳۸۱)، ایوان تبریز، *باستان‌پژوهی*، ۴(۱۰): ۱۲-۱۶.

Ajorlo. B. 2002. Ivan of Tabriz. Journal of Bastan Pajhuhi (Historical Investigation). 4(10): 12-16. [in Persian].

Ajorlo.B. 2018. Archaeological Research of Ark-e-Alishah. Tehran: Cultural Heritage Organization. [in Persian].

Amer. O. 2017. Finite Element Analysis for Seismic Performance Assessment of Historical Masonry Buildings: The Case of Omar Toson Palace (Cairo, Egypt). Mediterranean Archaeology and Archaeomety, 17(3): 13-26.

Anthoine. A. Magonette, G. Magenes, G.1994. Compression testing and analysis of brick masonry walls. Proceedings of the tenth European conference on earthquake engineering. Vienna: Austria.

Betti. M. and Galano. L. 2012. Seismic Analysis of Historic Masonry Buildings: The Vicarious Place in Pescia (Italy). Buildings, 2: 63-82.

Block. P. and Ochsendorf, J. 2007. Thrust network analysis: A new methodology for three dimensional equilibria. Journal of the IASS, 48(3): 167–17.

Brambilla.Marco. 1980. La communita ed il cimitero Armeno di Sultaniya. Studi e Restauri di Architettura, Ital- ia-Iran, Roma, 87–93.

Chardin. J. 1986. Journal du voyage du chevalier Chardin en Perse et aux Indes Orientales par la Mer Noire et par la Colchide. Paris: Daniel Horthemels.

Charleson. A. 2017. Seismic Design for Architects Outwitting the Quake. Translated by Golabchi, M., and Sorooshnia, E. 2nd Edition, Tehran: University of Tehran Press.

Dieulafoy. J. 2005. *The itinerary of Dieulafoy*. Translated by H. Sabeg. Tehran: Khayam. [in Persian].

Farshchi. D. Motavalli, M. Schumacher. A. Marefat, M. S. 2007. Nonlinear FE modeling of in-plane behavior of plain masonry walls and investigation effects of post-tensioning as a parametric study. 5th International conference on seismology and earthquake engineering. Tehran: Iran. pp158-168.

Fraternali, F. 2009. A thrust network approach to the equilibrium problem of unreinforced masonry vaults via polyhedral stress functions. Journal of Mechanics Research Communications. 37(2): 198–204.

Gupta. A.V.Yadav. V. A.Sawant and R. Agarwal. 2018. Effects of wall inclination on dynamic active thrust for cohesive soil backfill. Journal of Civil Engineering, Science and Technology, 9(2): 127-135.

Heyman, J. 1969. The Safety of Masonry Arches. International Journal of Solids and Structure, 11: 363-385.

Hosseini, Mohammad. M. Pouraminian and A. Sadeghi. 2017. Seismic Safety Evaluation of Tabriz Alishah Historic Citadel Using Finite Element and Simplified Kinematic Limit Analyses. Modarres Civil Engineering Journal.16(2): 91-102. [in Persian].

Huerta.S. 2008. The analyses of masonry architecture: A historical approach. Architectural science review. 51(4): 297-328.

Huerta. S. 2010. The safety of masonry buttresses. Journal of Engineering History and Heritage, 3(163): 3-24.

Ibn Battūta, Shams al-Dīnʾ Abū ʾAbd al-Lā h Muhammad ibn ʾAbd al-Lāh I-Lawātī. 1953. *Rihla*, edited by H. Gibb, England: Routledge and Kegan.

Karbalai. H. H. 1965. Rozat al-Jinan va Janat al-Jinan. Vol 2. Tehran. [in Persian].

Karimi. A. and others. 2018. Experimental assessment and numerical modeling of the nonlinear behavior of the masonry shear walls under in-plane cyclic loading considering the brickwork-setting effect. Journal of Structural and Construction Engineering. 4(2): 18-32. [in Persian].

Koduru. S. D. 2018. Probability Distribution for Strain Demand on Pipeline Due to Liquefaction-Induced Lateral Spreading. International Society of Offshore and Polar Engineers, 28(4): 1-9.

Mahesh. V. 2010. Thrust Line Using Linear Elastic Finite Element Analysis for Masonry Structures. Advanced Material Research, 134: 503-508.

Mansoori. S.A. and Ajorloo, B. 2004. Recognizing the Alishah Arg and its main uses. Fine Arts Journal. 16(16): 57-68. [in Persian].

Matragchi. N. 2000. *Bayan-e-Manazil*. Translated by E. Raisniya. Tehran: Research Center for Cultural Heritage. [in Persian].

Moradi. A. and Omrani. B. 2018. The Review of Ilkhanid Architecture in Northwest Iran. Tehran: Publication for the Research Center of Cultural Heritage Organization. [in Persian].

Moradi. A. 2018. Large-Scale Architecture in Northwest Iran During Transition from Seljuqs to Ilkhanid architecture and its's Accordance with Architectural Revolutions from Romanesque to Gothic Architecture. Ph.D. Dissertation in Archeology. Mazandaran: Babolsar University. [in Persian].

Moradi. A. and Omrani, B. 2018. The Review of Ilkhanid Architecture in Northwest Iran. Tehran: Publication for the Research Center of Cultural Heritage Organization.

Naermirza.1972. The history and geography of Tabriz. Tehran: Egbal. [in Persian].

Nourifard. A. 2016. Conceptual evaluation of seismic performance of non-structural walls in conventional mezzanine buildings (based on past earthquake experiences). *Nagsh-e-Jahan* 6 (3): 38-51. [in Persian].

NTC. 2008.Norme Techniche per le Costruzioni, D.M. 14/01/08.

Ozhan. H. B. and Cagatay. I. H. 2014. Mechanical Behavior of Brick Masonry Panels Under Uniaxial Compression. Journal of Mechanics of Materials and Structures, 9(4): 385- 395.

Pope. A. U. 1967. The fourteenth century: Ghazankhan & the transition period. A survey of Persian art from prehistoric times to the present. London & New York, Oxford University Press.

Pope. A. U. 1965. *Persian Architecture: The Triumph of Form and Color*. New York: George Braziller.

Qiyasi. J. 1997. Memar Xaca Alishah Tabrizi: Dovru & Yaradiciliqi. Baki: Azerbaijan.

Qiyasi. J. 1997. *Me'mar XacəƏlişah Təbrizi: Dövrü & Yaradiciliği*. Baku: Azerbaijan National Academy of Sciences.

Sarfaraz. A. 1972. Archaeological Reports of Alishah Jame Mosque. Tehran: Cultural Heritage Organization. [in Persian].

Tabeshpour. M. 2015. Unfilled Frames. Tehran: Fadak Issatis Publisher.

Taligedik.A. 2016. Damage Mitigation Strategies of Non-Structural Infill Walls: Concept and Numerical – Experimental Validation Program. Proceedings of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering Building an Earthquake – Resilient Society 16-14 April. Auckland: New Zealand.

Wilber. D. N. 1955. *The Architecture of Islamic Iran: The IlKhanid Period*. New York: Greenwood Press.

Zeilinska. M. and Misiewicz. J. 2016. Analysis of Historic Brick Wall’s Strengthening Methods. World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium. Prague: Czech Republic.

Zoka. Y.1990. The Earthquakes of Tabriz. Tabriz: Shayeste Publication. [in Persian].