



Geometry as the Common Ground of Structure and Architecture (Case Studies: Azadi Tower and Soltaniyeh Dome)

Esmail Eskandari ¹, Mohsen Vafamehr ^{*2}, Hassan Rezaei ³, AliKhaki ⁴

¹ Phd student of Architecture Department, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran. arc.esmail@gmail.com

^{*2} (Corresponding author) Professor of Architecture Department, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran. dr.vafamehr@gmail.com

³ Assistant Professor, Department of Architecture, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran. rezaei.h@mshdiau.ac.ir

⁴ Assistant Professor, Department of Architecture, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran. kh_spaceframe@yahoo.com

Article Info

Research Article

Issue 54

Volume 21

Page 53 to 73

Submission Date: 2022/10/15

Review Date: 2022/11/29

Acceptance Date: 2023/02/04

Publication Date: 2024/06/21

Keywords

Geometry,
Interaction,
Structure,
Architecture.

Cite this article

Eskandari,E. , Vafamehr,M. ,
Rezaei,H. and Khaki,A. (2024).
Geometry as the Common Ground of
Structure and Architecture (Case
Studies: Azadi Tower and Soltaniyeh
Dome). *Islamic Art Studies*, 21(54),
53-73.

 [dorl.net/dor/20.1001.1.
***** ***/](https://doi.org/10.22034/IAS.2023.376575.2116)

 [dx.doi.org/10.22034/IAS
.2023.376575.2116](https://doi.org/10.22034/IAS.2023.376575.2116)

ABSTRACT

The emergence of any architectural work rests upon fundamental pillars; form, function, geometry, and content can be considered the core elements of architecture. Each of these factors plays a role in the creation of the work: form relates to the shape, geometry, and aesthetics of the building; function refers to the efficiency and utilization of space; content pertains to the identity and theoretical foundations of the work. Since ancient times, architecture has sought to create spaces that, beyond beauty, functionality, and durability, can establish a connection with its users. Factors such as geometry and proportions have served as tools that assist architects in achieving this goal. This study aims to analyze the principles of geometry in the interaction between architecture and structure, along with their intellectual roots and theoretical bases, and to examine their manifestation in architecture. The research method is analytical-descriptive, employing library research and review of written documents. The findings indicate that understanding, perceiving, and spatially visualizing the static and dynamic forces within the load-bearing body of a building, with full awareness of the proportions and dimensions of its solid and void parts, precisely defines the application of geometry in the design of coverings, dimensions, and proportions of various building parts. This represents the functional application of geometry in architectural design.

Research Objectives:

- To identify the geometric principles in the interaction of architecture and structure and their intellectual and theoretical foundations.
- To examine the impact of geometry's participation in the interaction between structure and architecture.

Research Questions:

- What are the intellectual roots and theoretical foundations of applying geometric principles in architecture?
- How does geometry influence the interaction between structure and architecture?

This article is taken from the doctoral dissertation/thesis of "Ismail Eskandari" entitled "Recognizing the Interaction of Structure and Architecture Inspired by the Architecture of the Seljuk Period", which was submitted under the guidance of Dr. "Mohsen Vafamehr" and the consultation of Dr. "Ali Khaki" in 1401 at the "Islamic Azad University", Mashhad Branch.

Introduction

Architecture has always emphasized beauty. Throughout centuries, Iranians have consistently placed a high value on aesthetics, and geometry stands as a powerful tool in the hands of architects, enabling them to measure the proportions of the heavens and create balance, harmony, beauty, and order on Earth. Therefore, to the architect, geometry is both a science and an art. Geometry is one of the most significant influencing factors that can affect other elements, and this is quite evident in architecture and emphasized by artists and craftsmen. Thus, it can be stated that geometry has held a special place not only in Iranian architecture but throughout the world.

Based on the aforementioned content, it can be inferred that architecture and structure have never been in conflict or opposition; rather, the interactions between structure and architecture have undergone transformations, creating various forms. The type of decoration and structural covering itself is evidence that this mindset depends on the style and manner of the final design and is not related to the interaction of structure and architecture. It is the geometric conformity of structure and architecture that establishes the relationship between the two, not the display of structural elements in the facade, which further implies that structure and architecture are in conflict and that the structure has imposed itself on the architecture. For example, in the Centre Georges Pompidou, the display of structural elements is itself an architectural statement, not a structural function. The structure emphasizes the path of force flow, not ornamentation, whether classical, religious, or technological.

Utilizing geometry in harmonizing form, stability, and proportions has always been a prevailing principle in the interaction of structure and traditional Iranian architecture. The role of geometry as a binding agent between form and structure is undeniable

. Form is born from geometry, which embodies shape and proportions. Architecture uses geometry to depict its spatial properties, which arise from the specific attitude, emotions, and thoughts of an architectural style. The specific geometry of a space can evoke movement or stillness. In addition to shaping space visually and psychologically, geometry has played a unique role in the structural and infrastructural aspects of Iranian architecture of the past; it is said that even if a change is made in the size of one of the elements in the muqarnas of the porticos, its stability is threatened, and it may be destroyed. In short, traditional Iranian architecture owes its existence, both in terms of physical form and cognitive understanding, to geometry, and the Iranian architect has created the desired form through geometry. Utilizing geometry in achieving harmony

between form, stability, and proportions has always been a fundamental principle in the interaction of structure and architecture in Iran.

The design process of an architectural work depends on various parameters that are consciously or unconsciously influenced by the designer's thoughts on the work. However, several reasons can be mentioned as parameters that place an architectural work among the finest works, including the geometric conformity of structure and architecture. Geometry is the common language of architecture and structure. In structure, geometry originates from the force flow system throughout the entire structure, and in architecture, geometry follows the form of the building. With this in mind, if the geometry of the force flow system converges with the geometry of the building form, then it can be said that the design process has followed a desirable path. On the other hand, the common language of architecture and structure allows us not only to evaluate constructed buildings but also enables us to achieve a suitable design process.

The main objective of this research is to explore the interaction between structure and architecture based on geometry, with the central question being: How can the role of geometry in the interaction between architecture and structure be demonstrated? This study seeks to address the interaction between architecture and structure by elucidating the role of geometry across different historical periods of architecture.

Raeifard et al. (2020), in their study titled “The Relationship between Art and Geometry in Architecture and the Importance of Structural Systems in Design,” demonstrated that in structural systems, buildings must harmonize with their façades and with other buildings. This system assesses the building's performance by understanding the dimensions of the three-dimensional geometry of space and perceiving it through internal contextual relationships. A historical review of architectural styles reveals that the continuity between architecture and geometry is especially evident in the classical and historical periods of Europe. Nohi Bezenjani and Ghasemi (2020), in their research “An Analysis of the Concept of Geometry in Traditional Iranian Architecture and Its Application in Contemporary Architecture (Case Study: Darugheh House, Mashhad),” showed that geometry, as both a tool and a body of knowledge in creating space, induces connections among components, integration, and the creative emotions of the work.

Sediq Mohammadnia (2016), in the study “The Role of Geometry in Iranian Architecture,” found that the features of geometry in Iranian and Islamic architecture are not the result of coincidence. These features include the concept of multiplicity in unity, architectural aesthetics, the relationship between the plan and the façade, the design of arches and domes, accurate cost estimation of buildings using geometry,

evoking various spatial emotions, and ultimately, the durability and sustainability of buildings. Farshchi (2011), in the study “The Use of Geometric Knowledge in Architectural Art and Structure,” examined the historical background of geometry’s application in Iranian architecture. According to his findings, the use of proportional systems and modular design was common in Achaemenid and Sassanian architecture, and these proportions continued to be prevalent in post-Islamic architecture as well.

The present research employs an analytical-descriptive method. The research method and tools are based on library studies and the examination of written documents. Accordingly, in the theoretical section, through library research and consultation of available sources and references, as well as presenting various viewpoints, every possible aspect of the issue has been considered.

Conclusion

The use of geometric patterns in art and architecture has a long-standing history. Geometric motifs have been employed to define building dimensions and achieve desirable proportions. Historical analyses consistently highlight geometry as the determinant of architectural proportions. Geometry, as both a tool and a discipline in spatial creation, fosters connections among components, integration, and the emotional resonance of a work. Organizing space, establishing logical relationships between building elements, linking floor plans to facades, and designing arches and domes—all these achievements rely on precise geometric principles, enabling structures to embody grandeur. This is why buildings from Iran’s historical eras have succeeded in presenting remarkable and diverse architecture, both structurally and aesthetically.

The integration of geometry in Iranian art and architecture spans millennia. Iranian architects historically prioritized aesthetic principles, utilizing geometry to impose order on architectural compositions and consciously interrelate components. Geometric order in plans and facades, combined with hidden geometry and the use of geometric concepts to evoke spatial understanding, has been central to Iranian architecture. Additionally, the incorporation of archetypal motifs and traditional Iranian architectural patterns reflects this emphasis. In Iranian architecture, diverse proportional systems—such as the golden ratio—have been extensively applied in designing plans, sections, and architectural templates. This stems from the Iranian architect’s enduring focus on beauty, as well as the pursuit of proportions that harmonize Iran’s indigenous geometric traditions (e.g., the "Iranian golden proportions") with universal principles like the Fibonacci sequence. The result is architecture that exemplifies sound design methodologies and precise engineering.

References

- Ardalan, Nader; Bakhtiar, Laleh. (2012). *The Sense of Unity*. 2nd Edition, Tehran: Khak Publishing.
- Bamanian, Mohammad Reza; Akhavat, Hanieh; and Baghaei, Parham. (2011). *The Application of Geometry and Proportions in Architecture*. Tehran: Hele Publishing.
- Divandari, Javad; Ahmadian, Sohaila. (2017). "The Role and Application of Geometry as a Sustainable Value in Pre-Islamic Architecture and Its Manifestation in Contemporary Architecture (Case Study: Azadi Tower)." *International Conference on Architecture and Mathematics*, Kashan.
- Farbood, Farinaz; Tavousi, Mahmoud. (2002). "A Comparative Study of the Symbolic Concept of the Tree in Iran." *Modarres-e Honar Quarterly*, 1(2), 43–54.
- Faramarzi, Marjan; Alipour, Sara. (2017). "A Study of Geometry and the Golden Proportion in Traditional Architecture." *Second International Conference on Civil Engineering, Architecture, and Urban Design*, Bangkok.
- Farshchi, Hamidreza. (2011). "The Use of Geometric Knowledge in Architectural Art and Structure." *Second International Conference on Architecture and Structure*, Tehran.
- Hejazi, Mehrdad; Mahdizadeh Seraj, Fatemeh. (2015). "The Relationship between Meaning, Beauty, Form, and Structure in Islamic Era Architecture." *Islamic Architectural Studies*, 2(1), 2–19.
- Hejazi, Mehrdad. (2012). "Documenting the Relationship between Form, Meaning, Beauty, and Structure in Iranian Islamic Architecture." *Fine Arts Journal*, 12(30), 23–30.
- Kouhifard, Elnaz; Ali Taefi Nasrabadi, Abbas; Dehghan, Touran; and Poshti, Atefeh. (2014). "A Study of the Role of Geometric Principles in Iranian Architecture and Their Manifestation in Contemporary Iranian Architecture." *First National Conference on New Horizons in Empowerment and Sustainable Development of Architecture, Civil Engineering, Tourism, Energy, and Urban and Rural Environment*, Hamedan.
- Nohi Bezenjani, Mahbubeh; Ghasemi, Mohsen. (2020). "An Analysis of the Concept of Geometry in Traditional Iranian Architecture and Its Application in Contemporary Architecture (Case Study: Darugheh House, Mashhad)." *Iranian Architecture and Urbanism Journal*, 3(17), 165–175.

Omranipour, Ali. (2005). "Art and Islamic Architecture of Iran." In Memory of Professor Dr. Latif Abolghasemi, Organization for Urban Development and Revitalization, Tehran.

Omoumi, Mohammad. (2008). *Pattern and Order in Architecture*. Tehran: Khak Publishing.

Raeifard, Hossein; Yekeh, Abolfazl; and Heidari, Ahmad. (2020). "The Relationship between Art and Geometry in Architecture and the Importance of Structural Systems in Design." *Green Architecture Scientific Quarterly*, 3(21), 25–34.

Salvadory, M. (2008). *Structure in Architecture*. Translated by Mahmoud Golabchi, Tehran: University of Tehran Press.

Shaarbaf, Assem; Ansari, Mojtaba. (2017). "The Common Language of Architecture and Structural Engineering in Iranian Architecture: National Conference on Research and Development in Civil Engineering." *Modern Architecture and Urbanism*, December 2017, Tehran.

Silvaie, Sonia; Daneshjoo, Khosro; and Farmahini Farahani, Saeed. (2012). "Geometry in Pre-Islamic Iranian Architecture and Its Manifestation in Contemporary Iranian Architecture." *Naghsh-e Jahan Quarterly*, 3, 55–70.

Vafamehr, M. (2012). *Modern Materials and Advanced Construction Methods: For Engineers and Students of Project Management, Construction, Civil Engineering, and Architecture*. Tehran: Ketab-e Fekr-e No Publishing.

Zarkesh, A. (2015). "The Quality of Education and Professional Practice in Creating Harmony between Space and Structure in Contemporary Western Architecture." *Fine Arts Journal*, 10(23), 16–48.

Zandieh Vakili, Maryam; Mahmoud Kamelabad, Mehdi; and Hojjat, Isa. (2019). "Feasibility Study of Applying Geometry Used in Islamic Architectural Experiences in Contemporary Iranian Architecture for the Interaction of Form and Structure." PhD Dissertation in Islamic Architecture, Faculty of Architecture and Urbanism, University of Art, Isfahan.



هندسه فصل مشترک سازه و معماری

(مطالعات موردی: برج آزادی و گنبد سلطانیه) **

اسماعیل اسکندری^۱، محسن وفامهر^{۲*}، حسن رضایی^۳، علی خاکی^۴

^۱ دانشجوی دکتری گروه معماری، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران. Arc.esmail@gmail.com

^{۲*} (نویسنده مسئول) استاد گروه معماری، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران. Dr.vafamehr@gmail.com

^۳ استادیار گروه معماری، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران. rezaei.h@mshdiau.ac.ir

^۴ استادیار گروه معماری، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران. kh_spaceframe@yahoo.com

چکیده

پیدایش هر اثر معماری بر ارکانی استوار است؛ فرم، عملکرد، هندسه و محتوا را می‌توان از ارکان معماری محسوب کرد. هر یک از این عوامل در پیدایش اثر نقشی را ایفا می‌کنند؛ فرم را به شکل و هندسه و زیبایی بنا، عملکرد را به کارایی و بهره‌گیری از فضا، محتوا را به هویت و مبانی نظری اثر اطلاق می‌نمایند. معماری از دیرباز در پی خلق فضاهایی بوده است تا علاوه بر زیبایی، کارایی و استحکام، بتواند با کاربرانش ارتباط برقرار سازد. عواملی چون هندسه و تناسبات ابزاری بوده‌اند که معماران را در دستیابی به این مهم، یاری نمودند. پژوهش حاضر بر آن است تا ضمن شناخت اصول هندسی در تعامل معماری و سازه و ریشه‌های فکری و مبانی نظری آن، تجلی آن را در معماری مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. روش انجام این پژوهش به صورت تحلیلی-توصیفی است. روش و ابزار مورد استفاده تحقیق، روش کتابخانه‌ای و بررسی اسناد و مدارک مکتوب می‌باشد. در بیان نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان گفت شناخت، درک و تجسم فضایی نیروهای ساکن و جاری در کالبد باربر ساختمان، با اشراف کامل به تناسبات و ابعاد قسمت‌های پر و خالی آن، دقیقاً کاربرد هندسه را در طراحی پوشش‌ها، ابعاد و تناسب بخش‌های مختلف بنا مشخص می‌کند و این همان کاربرد نیارشی هندسه در طراحی معماری است.

اهداف پژوهش:

۱. شناخت اصول هندسی در تعامل معماری و سازه و ریشه‌های فکری و مبانی نظری آن.

۲. بررسی تأثیر مشارکت هندسه در تعامل سازه و معماری.

سؤالات پژوهش:

۱. ریشه‌های فکری و مبانی نظری آن کاربرد اصول هندسی در معماری چیست؟

۲. تأثیر هندسه بر تعامل سازه و معماری چگونه است؟

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره ۵۴

دوره ۲۱

صفحه ۵۳ الی ۷۳

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۲۳

تاریخ داوری: ۱۴۰۱/۰۹/۰۸

تاریخ صدور پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱

کلمات کلیدی

هندسه،
تعامل،
سازه،
معماری.

ارجاع به این مقاله

اسکندری، اسماعیل، وفامهر، محسن، رضایی، حسن، & خاکی، علی. (۱۴۰۳). هندسه فصل مشترک سازه و معماری (مطالعات موردی برج آزادی و گنبد سلطانیه). مطالعات هنر اسلامی، ۲۱(۵۴)، ۵۳-۷۳.



[dori.net/dor/20.1001.1.*
***** ***/](https://doi.org/10.22034/IAS.2023.276575.2116)



[dx.doi.org/10.22034/IAS
.2023.276575.2116](https://dx.doi.org/10.22034/IAS.2023.276575.2116)

این مقاله برگرفته از رساله دکتری / پایان‌نامه "اسماعیل اسکندری" با عنوان "بازشناسی تعامل سازه و معماری با الهام از معماری دوره سلجوقی" است که به راهنمایی دکتر "محسن وفامهر" و مشاوره دکتر "علی خاکی" در سال ۱۴۰۱ در دانشگاه "دانشگاه آزاد اسلامی" واحد "مشهد" ارائه شده است.

مقدمه

تأکید معماری همواره بر زیبایی است. ایرانیان در طول قرن‌های متمادی همواره ارزش والایی برای زیبایی قائل بودند و علم هندسه ابزار قدرتمندی در دست معماران است که با استفاده از آن می‌توانند تناسبات آسمان را اندازه‌گیری کند و تعادل، هماهنگی، زیبایی و نظم را روی زمین بیافرینند. از این‌رو، هندسه نزد معمار هم علم و هم هنر است. (حجازی و سراج، ۱۳۹۴: ۲-۱۹). هندسه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثری است که می‌تواند سایر عوامل را تحت‌تأثیر قرار دهد و این امر در معمار کاملاً مشهود و مورد تأکید هنرمندان و صنعت‌گران می‌باشد. از این‌رو می‌توان بیان کرد که هندسه جایگاه ویژه‌ای نه تنها در معماری ایران بلکه در تمام جهان داشته است. براساس مطالب یادشده در مقولات پیشین، چنین می‌توان استنباط نمود که معماری و سازه هیچ‌موقع در تضاد و تقابل قرار نداشته، بلکه تعاملات سازه و معماری دست‌خوش تحولاتی بوده است که اشکال مختلفی را ساخته است. نوع تزئین و پوشش سازه خود گواه این مطلب است که این طرز تفکر بستگی به سبک و سیاق طرح نهایی داشته و به تعامل سازه و معماری مربوط نمی‌گردد. این تطابق هندسی سازه و معماری است که ارتباط میان آن دو را رقم می‌زند، نه اینکه نمایش عناصر سازه‌ای در نما، مزید بر این علت باشد که سازه و معماری در تقابل بوده و سازه خود را بر معماری تحمیل نموده است. به‌عنوان مثال، در مرکز ژرژپمپیدو، نمایش عناصر سازه‌ای خود یک معماری است، نه عملکرد سازه‌ای. سازه به مسیر جریان نیرو تأکید می‌ورزد، نه تزئینات خواه کلاسیک، خواه مذهبی و خواه تکنولوژیک‌وار.

بهره‌گیری از هندسه در پیمایش همساز میان فرم، ایستایی و تناسبات، به‌عنوان اصلی جاری در تعامل سازه و معماری سنتی ایران همواره برقرار بوده است. نقش هندسه به‌عنوان عامل پیونددهنده فرم و سازه نقشی غیرقابل انکار است. فرم زاده هندسه است که در خود شکل و تناسبات را جای داده است. معماری با استفاده از هندسه خواص فضایی خود را که برخاسته از نگرش، احساسات و تفکرات خاص یک معماری است به تصویر می‌کشد. هندسه خاص یک فضا می‌تواند القاکننده حرکت یا سکون باشد. هندسه علاوه بر شکل‌دهی فضا از نظر بصری و روانی در زمینه‌های سازه‌ای و تأسیساتی در معماری گذشته ایران زمین نقشی بی‌بدیل را دارا بوده است، به‌صورتی که گفته می‌شود، حتی اگر در اندازه یکی از عناصر موجود در چفت‌آویز ایوان‌ها تغییری ایجاد شود. نیارش آن مورد تهدید قرار می‌گیرد و امکان تخریب آن وجود دارد. به‌طور خلاصه معماری سنتی ایران وجودش را چه از نظر کالبدی و چه از نظر شناختی از هندسه به‌دست‌آورده و معمار ایرانی به‌وسیله هندسه فرم مورد نظرش را خلق کرده است (خشنود و کریمی بروجنی، ۱۳۹۶). بهره‌گیری از هندسه در پیمایش هم‌ساز میان فرم، ایستایی و تناسبات، به‌عنوان اصلی جاری در تعامل سازه و معماری ایران همواره برقرار بوده است.

روند طراحی یک اثر معماری به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که آگاهانه و یا ناخودآگاه متأثر از تفکرات طراح نسبت به اثر می‌باشد. اما چندین دلیل را می‌توان به‌عنوان پارامترهایی یاد نمود که یک اثر معماری را در زمره آثار

فاخر قرار می‌دهد. از جمله آن انطباق هندسی سازه و معماری می‌باشد. هندسه، زبان مشترک معماری و سازه می‌باشد. در سازه هندسه منشاب از سیستم جریان نیرو در کل سازه می‌باشد و در معماری هندسه از فرم ساختمان تبعیت می‌کند. با این اوصاف، اگر هندسه سیستم جریان نیرو با هندسه فرم ساختمان به همگرایی برسد، در آن صورت می‌توان گفت که روند طراحی مسیر مطلوبی را طی نموده است. از طرفی، زبان مشترک معماری و سازه این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوانیم نه تنها به ارزیابی بناهای ساخته شده بپردازیم، بلکه ما را قادر می‌سازد تا فرآیند طراحی مناسبی را به دست آوریم.

هدف اصلی این پژوهش، تعامل سازه و معماری بر مبنای هندسه است و سؤال اصلی اینجاست که چگونه می‌توان نقش هندسه را در تعامل میان معماری و سازه نشان داد؟ این تحقیق در پی آن است تا با تبیین نقش هندسه در ادوار مختلف معماری به تعامل معماری و سازه بپردازد.

راعی فرد و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی با عنوان «ارتباط هنر و هندسه در معماری و اهمیت نظام سازه‌ای در طراحی» نشان دادند که در سیستم سازه‌ها، ساختمان‌ها بایستی با نمای خود و سایر ساختمان‌ها همخوانی داشته باشند. این سیستم عملکرد ساختمان را از طریق فهمیدن ابعاد هندسه سه بُعدی فضا و ادراک آن از طریق روابط درون متن مشاهده می‌کند. در بررسی تاریخی سبک‌های معماری، پیوستگی بین معماری و هندسه، در دوره‌های کلاسیک و تاریخی اروپا بسیار مشهود است. نوحی بزنجانی و قاسمی (۱۳۹۹) در پژوهشی با عنوان «واکاوی مفهوم هندسه در معماری سنتی ایران و کاربرد آن در معماری معاصر (نمونه موردی: خانه داروغه شهر مشهد» نشان دادند که هندسه همانندی که ابزار و دانش در ایجاد فضا، القاکننده ارتباطات اجزا با هم، یکپارچگی و احساسات خلق‌کننده اثر است.

صدیق محمدنیا (۱۳۹۵) در پژوهشی با عنوان «نقش هندسه در معماری ایرانی» نشان دادند، ویژگی‌های هندسه در معماری ایرانی و اسلامی به صورت تصادفی حاصل نگردیده است. این ویژگی‌ها عبارت‌اند از: مفهوم کثرت در وحدت، زیبایی‌شناسی معماری، ارتباط بین نقشه و نمای بنا، طراحی قوس و گنبد و ... با استفاده از هندسه، برآورد صحیح مخارج بنا، القاکننده احساسات مختلف در فضا و در نهایت بقا و پایداری بناها می‌باشد. فرشچی (۱۳۹۰) در پژوهشی تحت عنوان «استفاده از دانش هندسه در هنر معماری و سازه» به بررسی پیشینه کاربرد هندسه در معماری ایران پرداخته است. براساس یافته‌های او بهره‌گیری از دستگاه تناسب و پیمون‌بندی در آثار معماری هخامنشی و ساسانی مرسوم بوده است و این تناسب در معماری پس از اسلام نیز رواج یافتند.

در تحقیق حاضر از روش تحلیلی- توصیفی استفاده شده است. روش و ابزار مورد استفاده تحقیق، روش کتابخانه‌ای و بررسی اسناد و مدارک مکتوب می‌باشد. بدین منظور در بخش نظری با استفاده از

روش مطالعه کتابخانه‌ای و ضمن مراجعه به منابع و مأخذ موجود در دسترس و مطرح نمودن دیدگاه‌های مختلف، سعی شده تمام وجوه ممکن مسئله موردتوجه قرار گیرد.

۱. مبانی نظری پژوهش

هندسه شاخه‌ای از علم ریاضیات است که به شکل اجسام منفرد، ارتباطات فضایی میان اجسام مختلف و مشخصات فضای اطراف می‌پردازد. به عبارت دیگر، هندسه شاخه‌ای از ریاضیات است که در فضا و اشکال و اجسام موجود در این فضا مطالعه می‌کند (دهخدا، ۱۳۳۵). معماری ساماندهی فضا است. هندسه یکی از دانش‌هایی است که از دیرباز برای ساماندهی به اشکال و کالبد فضا و نیز انتظام حرکت نیروهای سازه‌ای در ساختمان مورد استفاده قرار گرفته است. هندسه دانشی است که به ویژگی‌ها و روابط میان اشکال، اندازه و مسیر حرکت مؤلفه‌های نیرو می‌پردازد. توجه به ریشه لغت هندسه که از واژگان اندازه و اندازه در زبان فارسی گرفته شده است، می‌رساند که مباحثی نظیر تناسب، اندازه و مقدار نیز بخشی از دانش هندسه به‌شمار می‌آیند؛ تناسب وجه کیفی و زیبایی را مقدار یا اندازه وجه کمی دانش هندسه مطرح می‌کند. این دانش با مفاهیم عدد، شکل، تناسب و مؤلفه‌های نیرو در ارتباط است و وابستگی تامی به دانش ریاضیات و فیزیک دارد و گاهی از آن به تعبیر ریاضیات شکل یا فیزیک برداری یاد می‌شود. بنابراین هندسه با ظرفیت دوجوهی خود کیفیت و کمیت می‌تواند عامل وحدت‌بخش مقولاتی نظیر معماری و سازه باشد (فرشچی، ۱۳۹۰).

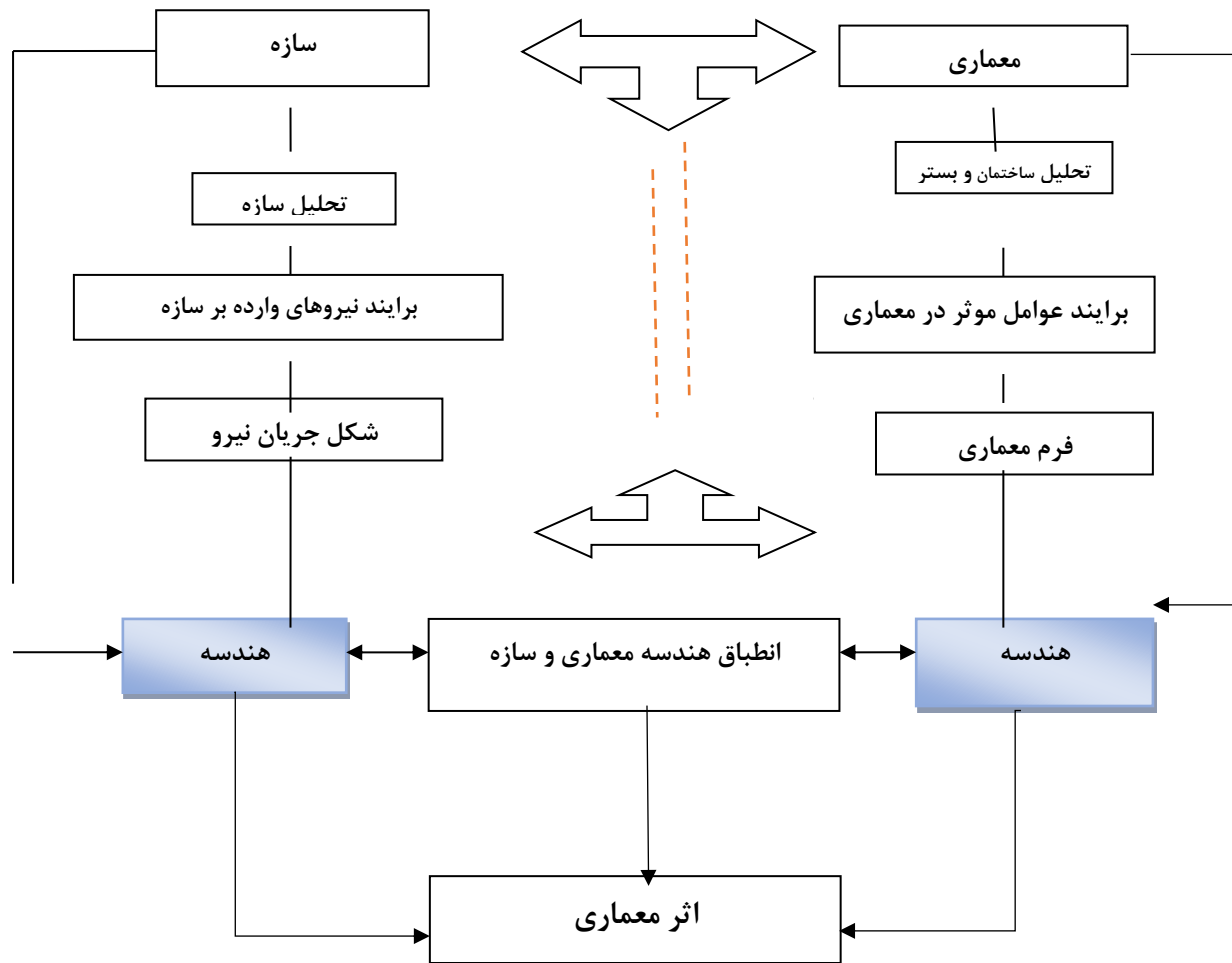
هم‌کنشی یا تعامل، عملی است که بین دو یا چند موجودیت، شیء، پدیده یا فرایند که اثر متقابل برهم دارند، رخ می‌دهد. اندیشه‌ای که اصل تعامل‌پذیری براساس آن شکل می‌گیرد این است که عمل یک موجود فقط برحسب برنامه‌ها و نیات او انجام نمی‌گیرد، بلکه برنامه‌ها و واکنش‌های احتمالی موجودات دیگر نیز موردتوجه قرار می‌گیرند. بر این اساس، تعامل میان معماری و سازه را می‌توان در تشکیل فرم یا سازه هم‌زمان با در نظر گرفتن نیازها و عملکرد یکدیگر تعریف کرد. به بیان دیگر، تعامل میان سازه و معماری در همسازشدن طرح معماری و ساختار بنا و پیدایش هم‌زمان آن‌ها به‌گونه‌ای اتفاق می‌افتد که امکان تفکیک میان سازه و فرم معماری به‌راحتی وجود نداشته باشد.

معمار ایرانی همواره بیشترین توجه را به جنبه‌های مثبت معماری (از قبیل منطق، اصول ایستایی، مسائل فنی و علمی بنا، مقیاس انسانی، استفاده از مصالح محلی، صرفه‌جویی و غیره) معطوف می‌کرده است. مبنای دستیابی به نوع و شکل صحیح پوشش‌ها و اندام‌های باربر و محل و ابعاد آن‌ها جانگذار بوده که معمار بر میزان و کم و کیف آن احاطه کامل داشته؛ محاسبات و هندسه چندان پراهمیت بوده که فقط معماران طراز اول و مقنی‌های دانشمند و نامی را مهندس می‌خواندند. بالاترین وظیفه معمار، شناخت، درک و تجسم فضایی نیروهای ساکن و جاری در کالبد باربر ساختمان بوده که با اشراف کامل به آن تناسب و ابعاد قسمت‌های پر و خالی را دقیقاً مشخص می‌کرد. در این امر، علاوه بر دانش و تجربیات معمار، کیاست و فراست او دخالت تام داشته (عمرانی‌پور، ۱۳۸۴: ۲۸). این نوع

کاربرد هندسه در طراحی پوشش‌ها و ابعاد و تناسب بخش‌های پر و خالی بنا، کاربرد نیارشی هندسه در طراحی معماری است. گاه نیز به‌منظور ایجاد هماهنگی و ایجاد تناسبات معقول در بنا، شاخص یا مأخذی تعیین و تمام ابعاد را تابع آن می‌کردند. پیمون در معماری ایرانی و مدول در معماری اروپایی چنین شاخصی بوده است. در این معماری پیمون با عنایت به جانگذار و فضاهای مقصود، وسیله تنظیم ابعاد و اندازه‌هاست، و هندسه راهنمای معماری در تأمین تناسبات و هماهنگی اصولی. البته در مطالعه کاربرد هندسه در معماری، چه معانی عرفانی آن مدنظر باشد، چه کاربرد نیارشی و چه اندازه‌های پیمون، تا زمانی که نتوان هندسه را در پلان و نما نشان داد، نمی‌توان ادعا کرد که چنین شناختی حاصل شده است. در مرحله‌های بالاتر، محقق باید بتواند با تکیه بر این دانش، دست به طراحی بزند. البته منظور از طراحی در اینجا تغییر و تبدیل بی‌حساب چند عنصر طرح نیست. این طراحی نیازمند شناسایی درست عناصر هندسی در سطوح مختلف و جایگاه هر عنصر در طرح، درک روابط بین آن‌ها، فنون ترکیب و معانی آن‌هاست. هرچند امروزه مبانی عرفانی، نیارشی و پیمونی هندسه با مبانی جدیدی جایگزین شده است، اما شناخت آن مبانی و کاربرد سنتی در مطالعه آثار معماری سنتی و به‌دست‌آوردن درک جامعی از طرح آن‌ها ضروری است.

سازه در مهندسی سازه عبارت است از یک عضو یا مجموعه‌ای از اعضا که به‌منظور تحمل و انتقال نیرو به‌کار می‌رود. مهم‌ترین این اهداف شامل تعادلی پایدار با حفظ شکل هندسی و الگوی از پیش تعیین شده است. از دیگر اهداف مهم که معمولاً در نظر گرفته می‌شود، شکل بهره‌برداری مطلوب آن است. تفاوت ساختار با سازه در آن است که ساختار یک فرم طبیعی دارد و می‌بایست کشف یا مشاهده گردد؛ حال آنکه سازه دارای طراحی انسانی و مخلوق دست بشر است. سازه را می‌توان قدرت ایجاد مقاومت در مصالح و مجموعه‌ای از عناصر ساختمانی به‌هم پیوسته نامید که در برابر بارهای مرده و زنده مقاومت نموده و آن‌ها را به زمین منتقل می‌کند. این عمل سازه توسط علم استاتیک مشخص می‌گردد. سازه، عضو پنهان ساختمان می‌باشد و زندگی بنا را تأمین می‌کند. سازه معماری، دارای مقیاسی بزرگ، ثابت و ساکن می‌باشد. از جمله الزامات سازه می‌توان به تعادل، مقاومت، پایداری، قاعده، توجه به خواص مصالح، تبعیت از مسیر نیرو و هندسه اشاره کرد (وفامهر، ۱۳۹۱؛ زرکش، ۱۳۹۴).

اندیشه‌ای که اصل تعامل‌پذیری براساس آن شکل می‌گیرد این است که عمل یک موجود فقط برحسب برنامه‌ها و نیات او انجام نمی‌گیرد بلکه برنامه‌ها و واکنش‌های احتمالی موجودات دیگر نیز مورد توجه قرار می‌گیرند. بر این اساس، تعامل میان فرم و سازه را می‌توان در تشکیل فرم یا سازه هم‌زمان با در نظر گرفتن نیازها و عملکرد یکدیگر تعریف کرد. به عبارت دیگر، فرم بنا علاوه بر تأمین نیازهای زیبایی‌شناسی معماری در جهت ارتقای پایداری ساختمان کمک می‌کند و سازه نیز ضمن فراهم کردن پایداری ساختمان نقش مؤثری در تأمین نیازهای فرم داشته باشد. در حقیقت تعامل میان سازه و فرم در همسازشدن طرح معماری و ساختار بنا و پیدایش همزمان آن‌ها به‌گونه‌ای اتفاق می‌افتد که امکان تفکیک میان سازه و فرم به‌راحتی وجود نداشته باشد (زندیه و کیلی و همکاران، ۱۳۹۸).



نمودار ۱. رابطه معماری و سازه

۲. یافته‌ها

۲.۱. وحدت سازه و معماری بر مبنای هندسه

معماری ادوار گذشته ایران همواره متهم از به‌کارگیری هندسه و شیوه‌های ترسیم غنی و دقیق بود. تا حدی که آگاهی از قواعد ریاضی و ترسیم و به‌کارگرفتن انواع خاص آن وظیفه هر معماری بوده و وجه‌تمایز معماران و رقابت آنان با یکدیگر نیز بر همین محور استوار بوده است. از این‌رو پیداست که هندسه در معماری ایرانی اهمیت داشته و فهم چگونگی شاخص مدنظر در معماری معاصر و گذشته با همدیگر، اهمیت و ضرورت پیدا می‌کند. شناخت و معرفی آثار و بقایای تمدن‌ها و فرهنگ‌های گذشته در کنار سودآوری‌های ظاهری اقتصادی، جنبه‌های هویتی و ملی را نیز شامل می‌شود و معادله ساده‌شده آن، که دانش و فنون فقط شامل نگهداری و حفاظت می‌شد، تبدیل به

معادله‌ای پیچیده شد که شناخت آن‌ها تا خصوصی‌ترین شئون زندگی فردی و اجتماعی وارد می‌شود و در خیلی از بی‌توجهی باعث شکل‌گیری تنش‌های اجتماعی و سیاسی می‌شود.

هندسه همواره در معماری ایران نقش مهمی را ایفا نموده است. اما کاربرد هندسه در معماری را می‌توان به دو بخش ملاحظات معماری و ملاحظات سازه‌ای تقسیم نمود. با توجه به مطالب مذکور می‌توان میزان انطباق‌پذیری هندسی معماری و سازه را در ادوار مختلف به صورت زیر بیان نمود.



نمودار ۲. میزان انطباق‌پذیری هندسی معماری و سازه در ادوار مختلف (منبع: شعرباف و انصاری، ۱۳۹۶).

بر اساس نمودار شماره ۲، در سبک آذری میزان انطباق هندسه در سازه و معماری، نسبت به دوره‌های قبل به میزان اوج خود رسیده بود، چراکه با تحول عظیمی در نحوه ساخت ساز و اجرای بناهای عظیم همراه بوده و همچنین میراث ارزشمندی از دوران رازی به ارث برده بود. اما پس از آن افت محسوسی در این امر شاهد گردیده‌ایم. از طرفی باید اذعان نمود که این امر، دلیل کافی بر زیبایی اثر معماری نمی‌باشد ولی می‌تواند دلیل لازمی شمرده شود. همان‌طور که می‌دانید، روند طراحی یک اثر معماری به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که آگاهانه و یا ناخودآگاه متأثر از تفکرات طراح نسبت به اثر می‌باشد اما چندین دلیل را می‌توان به عنوان پارامترهایی یاد نمود که یک اثر معماری را در زمره آثار فاخر قرار می‌دهد. از جمله آن انطباق هندسی سازه و معماری می‌باشد. همان‌طور که در نمودار بالا نشان داده شده است هندسه، زبان مشترک معماری و سازه می‌باشد. در سازه هندسه منشاب از سیستم جریان نیرو در کل سازه می‌باشد و در معماری هندسه از فرم ساختمان تبعیت می‌کند. با این اوصاف، اگر هندسه سیستم جریان نیرو با هندسه فرم ساختمان به هم‌گرایی برسد، در آن صورت می‌توان گفت که روند طراحی مسیر مطلوبی را طی نموده است. از طرفی، زبان مشترک معماری و سازه این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوانیم نه تنها به ارزیابی بناهای ساخته شده بپردازیم، بلکه ما را قادر می‌سازد تا فرآیند طراحی مناسبی را به دست آوریم.

۲.۲. جایگاه هندسه در معماری

نظم‌بخشیدن به فضا، برقراری روابط درست و منطقی بین اجزای بنا، ارتباط بین نقشه‌های بنا و نمای آن‌ها، طراحی انواع قوس و گنبد، همه و همه با بهره‌گیری از الگوهای درست هندسی میسر شده تا

در راه شکوه‌مهندسازی خود بتوانند گام بردارند و این‌چنین شده که بناهای ادوار گذشته ایران از لحاظ سازه و زیبایی‌شناسی موفق به عرضه معماری چشمگیر و متنوع شده‌اند (فرامزری و علیپور: ۱۳۹۶).

تنوع ساختمان‌های ایرانی از هر آنچه که در روستاها و خانه‌ها مشاهده می‌شود تا کاخ‌ها، کاروانسراها، میادین و بازارها، حمام‌های تاریخی، قلعه‌ها، مساجد و... به حدی است که نمی‌توان معمار ایران را همانند معماری بعضی کشورها چون یونان، در چند سطر خلاصه کرد؛ چراکه هر یک از ساختمان‌ها، معماری، اصول و هندسه مربوط به خود را داشته است و باتوجه‌به نیازمندی‌ها و اصول فکری و عرفانی مخصوص به خود طراحی و ساخته شده‌اند. به‌طور مثال، معماری خانه‌های ایرانی که باتوجه‌به فرهنگ و روابط زندگی مردم شکل گرفته و شامل عناصر زیادی همچون حیاط مرکزی، ایوان، پنج‌دری، هشتی و... است کاملاً متفاوت با کاروانسراها و مساجد است و از لحاظ هندسه در پلان و نما، الگوهای متفاوت را به‌جا گذاشته‌اند (کوهی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۳). از آنجاکه هدف معماری به تصرف درآوردن روح و عقل بود، هندسه ابزاری در دست معماران ایرانی شد تا به‌وسیله آن اشکالی از گیاهان و جانوران را که در ذات خود مقدس بودند توسعه بدهند (دیواندری و احمدیان، ۱۳۹۶). در بناهای تاریخی معماری تمام اندازه‌ها در کمال خود (ارتفاع، طول، عرض) و در اجزای ترکیب‌کننده آن (شامل الگوهای هندسی سطحی) وابسته به هم بوده و هرگز از هندسه جدا نبوده‌اند. به این شکل، هنر هندسه کلید اساسی برای ایجاد ارتباط میان ساختمان و انگاره‌هاست که سازنده در ذهن خود دارد. به عبارت دیگر، هندسه بخشی از تجلی مفهوم زیبایی در معماری ایرانی بوده است.

در قرآن و احادیث از کلمه «قدر» به‌جای هندسه استفاده شده که به معانی قدرت، تنگ‌گرفتن، تقدیر و شأن و منزلت به‌کاررفته است. از این میان تقدیر (طلاق 3 : قمر 49 : قمر 12) به اندازه و اندازه‌گیری تعبیر شده و پیوند تنگ‌انگی با علم هندسه به‌عنوان علم تعیین اندازه‌ها دارد و امام رضا در حدیثی در اصول کافی به یونس بن عبدالرحمن می‌فرماید: «قدر همان هندسه و مرزبندی است، اما مقدار بقا و زمان فنا» (بمانیان و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۶).

در معماری ایرانی اصول هندسی به‌کار برده شده، که می‌توان آن‌ها را به این‌گونه برشمرد:

- ✓ نظم هندسی پلان
- ✓ نظم هندسی نما
- ✓ درک هندسی از ایستایی
- ✓ تناسبات طلایی ایران
- ✓ مدول و پیمون

الف-نظم هندسی پلان: داشتن نظم هندسی مشخص باعث انسجام اجزای بنا با کل بنا می‌گردد. با رعایت هندسه‌ای منطقی در نقشه بنا می‌توان هیات و حجم کلی بنا را بهتر درک کرد. این هندسه

همواره شبکه‌ای ملموس و قابل‌رؤیت نبوده بلکه نظامی است که وظیفه تنظیم و کنترل فضاهای مختلف را در یک دستگاه واحد دارد، نظم هندسی پلان شامل تقسیمات متعددی است که با توضیحاتی مختصر در زیر ارائه می‌شود:

تقارن: قرینه‌سازی اوج یک تفکر استوار است که با احکام و دستورالعمل‌های روشن و با آهنگی منظم جلو می‌رود. نمونه‌های فراوانی از معماری بر پایه تقارن وجود دارد، برای نمونه می‌توان به ساختمان کعبه زرتشت و اشاره کرد که به شکل قرینه در محور طولی خود، بنا شده‌اند.

نظم هندسی مستطیل: یکی از انواع چندضلعی‌های هندسه که در معماری کاربرد ویژه‌ای دارد و بیشتر استفاده شده است، مستطیل می‌باشد.

نظم هندسی مربع: می‌توان گفت مربع، زیرمجموعه‌ای از مستطیل است که در بسیاری از بناها استفاده شده است.

نظم هندسی دایره: معماری سنتی را می‌توان به‌مثابه گسترش مایه بنیادی تبدیل دایره به مربع از طریق مثلث به‌شمار می‌رود. مربع منسجم‌ترین صورت خلقت، در حد زمین، نماینده کمیت است. حال آنکه دایره در حد آسمان نماینده کیفیت است و این دو از طریق مثلث که متضمن هر دو جنبه است اغم می‌شوند (اردلان و بختیار، ۱۳۹۱).

نظم هندسی نما: در طراحی نمای معماری تبعیت از نظم به‌دلیل ماهیت معماری معمولاً اتفاق می‌افتد ولی باید در نظر داشت تبعیت عالمانه از این نظم در مسیر دسترسی به تعادل بصری قرار گیرد. احساس تعادل زمانی برقرار می‌شود که بار احساسی شکل‌ها در دو طرف ترازو یکسان باشد. در نما، معماری گذشته اجزای عمده‌تاً قائم و افقی هستند؛ که طراحی و چیدمان اجزا به‌گونه‌ای است که تعادل بصری را ایجاد می‌کنند.

درک هندسی از ایستایی: در طبیعت فرم‌های سازه‌ای کارا اولویت بیشتری دارند، زیرا طبیعت می‌تواند بارهای وارده در یک ساختار را به روش حسی انتقال دهد. با کوشش در درک قوانین طبیعت و دیدن، احساس کردن، شنیدن و یا استشمام فرم‌های طبیعی شاید بتوان به زیبایی عملکردی و سازه‌ای دست یافت. در بین جالب‌ترین نمونه‌های سازه‌ای طبیعی می‌توان به سازه درخت اشاره کرد، وزن شاخه‌های فوقانی درخت به‌تدریج به سمت تنه درخت متمرکز شده و یک‌تنه با حجم و شکل مناسب را ایجاد می‌کند و این حس ایستایی درخت را تلقی می‌کند. در معماری ایرانی هم با نگاه به برخی از بناهای گذشته این احساس به‌خوبی القا می‌شود (سیلویاه و همکاران، ۱۳۹۱). در معماری پیش از

اسلام نقش سازه را همان دیوارهای باربر به‌عهده داشتند؛ بنابراین فضا عین سازه بود به‌گونه‌ای که خود بنا به نوعی نشانگر پایداری و ایستایی بود.

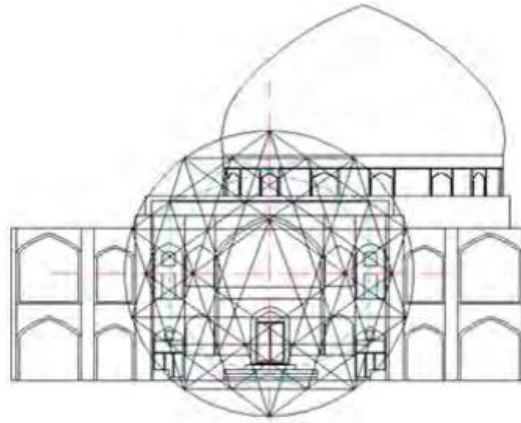
تناسبات طلایی ایران: تناسبات طلایی از موضوعاتی است که از دوران باستان تا هم‌اکنون در هنرهایی چون نقاشی، مجسمه‌سازی، معماری، عکاسی و ... دیده می‌شود. نسبت طلایی به چندین روش هندسی-ترسیمی قابل‌ساخت است. این تناسبات با توسعه در مجموعه متناسبی از اعداد صحیح تصاعدهای هماهنگ از قرار 1، 1، 2، 3، 5، 8، 13 و ... به‌دست می‌دهد؛ و ویژگی آن این است که مجموع هر دو عدد متوالی برابر عدد بعدی می‌باشد. این تناسب که در اندازه‌ها از قوانین مختص عدد طلایی پیروی می‌کند؛ بر این اساس تعریف می‌شود: در یک پاره، خط تقسیم شده به دو قسمت، نسبت قسمت بزرگ‌تر به کوچک‌تر، مثل قسمت بزرگ‌تر به کل می‌باشد. در کتب هنری، خواستگاه و ملجاء این نسبت، یونان و مکتب کلاسیک عنوان شده است. اما با تحقیقات صورت‌گرفته مشخص شده که در بسیاری از بناهای تاریخی ایران نیز به‌منظور دستیابی به زیبایی بصری بیشتر، در گذشته‌های دور از این تناسبات استفاده می‌شده است (فرامرزی و علیپور، ۱۳۹۶).

مدول و پیمون: پیمون در واقع همان مدول امروزی یا طراحی مدولار است، جهت سهولت کار و جهت‌دادن به تمامی اندازه‌ها. پیمون عاملی است جهت استفاده از یک اندازه و مقیاس مشخص که باتوجه به نوع بنا و کاربری آن متفاوت است و موجب تنوع می‌شود. پیمون عبارت است از کوچک‌ترین اندازه‌های بنا که مضربی از گز بوده و از طریق ترسیم هندسی و تقسیمات هندسی زمین به‌دست می‌آیند. در این روش، هیچ دو ساختمانی یکسان از کار در نمی‌آید و هر یک ویژگی خود را داشت، گرچه از یک پیمودن در آن‌ها پیروی شده بود. مضرب پیمودن برای عرض دیوار و نیز عرض در مورد توجه قرار دارد که مقدار آن عموماً بین 1 تا 3 برابر پیمودن است (فربود و طاووسی، ۱۳۸۱).

۲.۳. تحلیل هندسی بناهای تاریخی

با مشاهده هر بنا و اثر معماری، توسط جنبه‌های شکلی و فرمی و همین‌طور نقش اجتماعی و فرهنگی بنا، هویت و بیان خاصی از آن به مخاطب القا می‌شود و اینجاست که هندسه در طراحی و ساخت انواع بنا جهت ارائه فرمی خاص و مفاهیم فرهنگی و اجتماعی اهمیت می‌یابد. این‌که از چه هندسه‌ای جهت برقراری ارتباط اجزاء در پلان و نما با چه مدولی استفاده شود، در اختیار معماران بوده و خلاقیت و دانش در آن به‌نوعی مهارت و رقابت بین آنان بوده است. در تمامی بناهای تاریخی، تمام اندازه‌ها، اشکال، اجزا و الگوهای هندسی وابسته به هم بوده‌اند و زنجیروار تکمیل‌کننده یک هندسه کلی بوده‌اند. در واقع همچون کلیدی است در راستای برقراری ارتباط بین ساختمان و انگاره‌هایی که سازنده در ذهن خود دارد. آن زمان که به معیارهای زیبایی‌شناسی می‌اندیشیم، ناخودآگاه جهت ساختن و ایجاد یک اثر، به هندسه رجوع می‌کنیم و تمامی اجزا را در قالب یک هندسه یا کانسپت کلی منظم می‌کنیم و از الگوهای

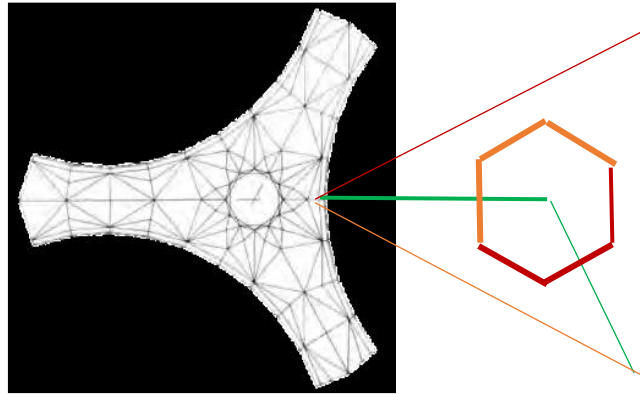
هندسی متنوعی در ترکیب با یکدیگر استفاده می‌کنیم که هر یک ویژگی‌ها و بیان خاصی دارند. به‌طور مثال، قرینه‌سازی یا تقارن، نظم و تفکری است که اجزا را در محور طولی یا عرضی سامان می‌دهد.



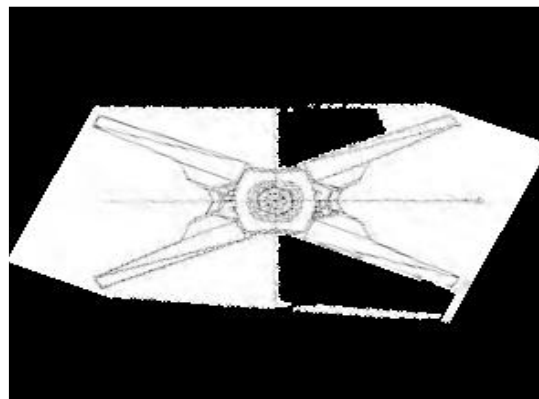
تصویر ۱: هندسه در گنبد سلطانیه

۲.۴. معرفی و تحلیل هندسی برج آزادی

میدان بزرگ آزادی با اقطار $۴۵۰ * ۵۵۰$ متر و همچنین وسعت حدود ۶۵۰۰۰ مترمربع در ورودی غربی شهر تهران قرار گرفته است. طراحی فضای میدان نیز همچون برج برگرفته از معماری اصیل ایرانی-اسلامی می‌باشد. هندسه سایت پلان در چشم‌اندازی که از بالای برج قابل مشاهده است، براساس هندسه و فرم نقوش زیر گنبد مسجد شیخ لطف‌الله و فرم آب‌نماهای داخل سایت با الگوبرداری از آب‌نماهای باغ فین کاشان طراحی شده است. فرم قرارگیری پیچ در مجموعه میدان به‌صورت مرکزگرا و عناصر شکل گرفته در اطراف آن به‌نحوی تحت‌تأثیر این مرکزیت تقارن یافته‌اند. پلان میدان نیز همچون تمامی فضاهای داخلی بنا فرم قرینه دارد. پلان برج (دید از آسمان به برج) یک فرم هشت‌ضلعی را نشان می‌دهد. درواقع پلان اصلی برج برگرفته از پلان چهارطاقی‌ها می‌باشد که از بناهای قدیمی معماری ایران باستان به‌شمار می‌آید. تصویر شماره ۲ میدان به‌وسیله گذرگاه زیرزمینی که در ضلع شرقی برج پیش‌بینی شده است، به معابر راه می‌یابد. طراحی این فضا با الهام از معماری سنتی و با توجه به هندسه و تاق بازارهای ایرانی صورت گرفته است. (تصویر ۳)

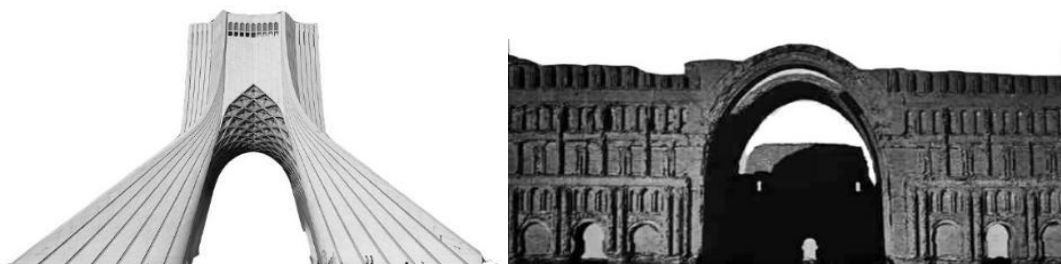


تصویر ۲. هندسه پلان پلان گذرگاه پیاده زیرزمین هندسه شش ضلعی و مثلث



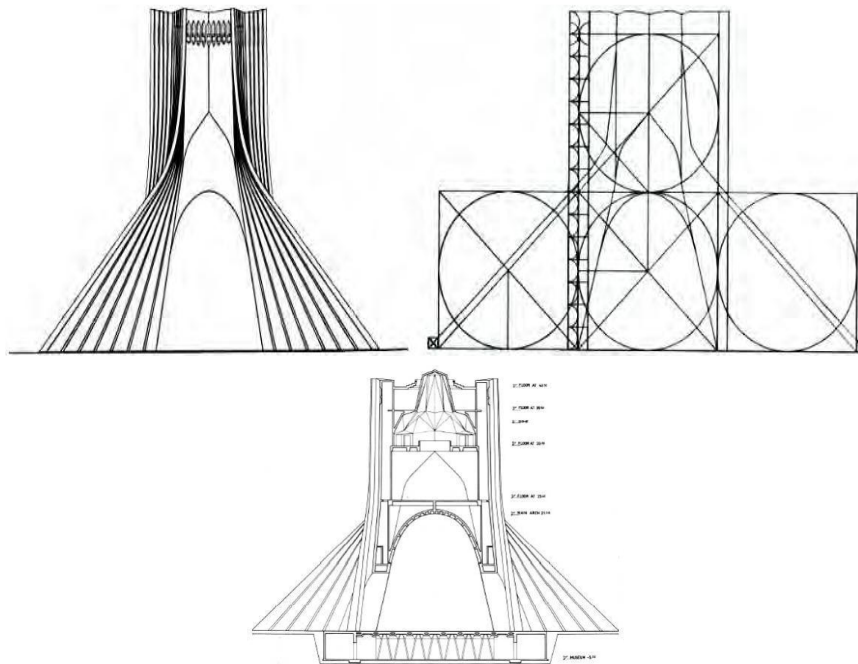
تصویر ۳. هندسه پلان برج آزادی تقارن نظم هندسه مربع مستطیل دایره و هشت ضلعی

معماری بنا تلفیقی از معماری باستانی (خصوصاً دوره ساسانی)، اسلامی و مدرن می باشد و بهره گیری از هندسه دوران ساسانی و اسلامی در حد اعتدالی خود به خوبی مشهود است. قوس بیضوی شکل اصلی نمای شرقی-غربی برج نمادی از قوس های عصر ساسانی همچون ایوان مدائن (طاق کسری) می باشد. (تصویر ۴)

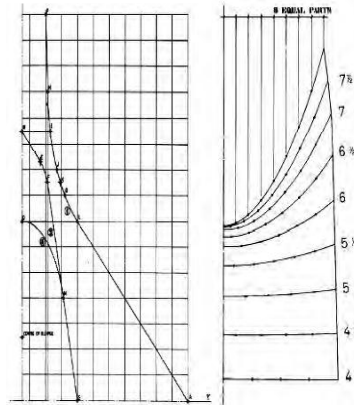


تصویر ۴. طاق کسری (راست) برج آزادی (چپ)

طراحی حجمی بنا براساس چهار مربع طراحی شده که مراکز و قطرهایشان تشکیل‌دهنده نقاط بهینه برج می‌باشد. بدین‌صورت که سه مربع در قاعده و یک مربع بالای مربع وسط قرار گرفته است. قطر مربع‌های کناری بر روی خطوط پایه‌ها و برگرفته از امتداد هذلولی‌هایی است که به ارتفاع ۴۵ متر می‌رسد. ضلع بالایی مربع وسط مماس بر قوس زیر طاق می‌باشد و مرکز مربع بالا، انتهای سهمیه‌های زیر طاق است. سطوح قوس اصلی از مجموعه سهمیه‌هایی به‌دست می‌آید که به‌طور عمود روی طاق اصلی حرکت می‌کنند و انحناهای آن‌ها دائماً به‌طور منظم تغییر می‌کند. در اندازه‌های مهم بنا اندازه سه متر در افق و ارتفاع تکرار می‌شود. این اندازه در استقرار حلقه‌های قطور بتنی که از داخل نگهدارنده پایه‌های چهارگانه بنا می‌باشد نیز رعایت شده است. قوس‌های اصلی بنا همه از نوع قوس‌های مخروطی است که معادلات ریاضی آن معین شده است. تصویر (۵). این معادلات امکان دارد تا مقاطع متعدد از حجم در ارتفاعات مختلف توسط ماشین‌های حساب الکترونیک تهیه شود و ساختن سطوح پیچیده آسان گردد. طول بنا ۶۳ و عرض آن ۴۲ است که $۱/۵ = ۴۲:۶۳$ و به عدد طلایی نزدیک است.



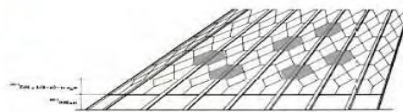
تصویر ۵. نظم هندسی در نما و مقطع برج آزادی



تصویر ۶. پیمون در هندسه و معادلات ریاضی تقسیمات مخروطی قوس اصلی



تصویر ۷. نظم هندسی در پلان معکوس سقف برج آزادی



تصویر ۸. هندسه پنج ضلعی در پوسته بنا

جدول ۱. بررسی هندسه در برج آزادی

بنا	نظم هندس یپلان	انضباط نما	مدول و پیمون	اعداد خاص	تناسب طلایی
برج آزادی	تقارن مربع، مستطیل، مثلث و دایره	تقارن مربع، مستطیل، مثلث و دایره	استفاده از پیمون در طراحی نما	سه، شش، هشت، چهار	دارای تناسب طلایی

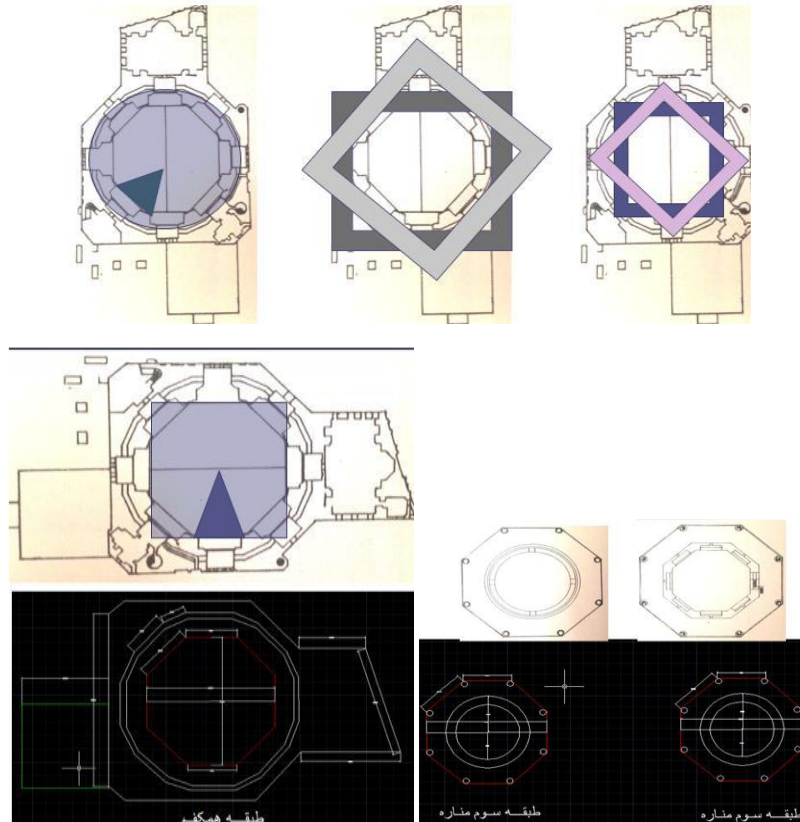
باتوجه به بررسی‌های صورت گرفته می‌توان گفت بن‌مایه‌های هندسه کهن ایرانی در جای‌جای بنای آزادی به کار گرفته شده است. چه در فضاها داخلی و چه در نمای بیرونی و سایت‌سازی این هندسه ایرانی کاملاً خودنمایی می‌کند. ساختار هندسی و قرینه‌های به‌کاررفته در فرم‌ها، توازن و تناسب خاصی را در کل اثر به‌جا گذاشته است؛ چراکه تناسب جزیی از حکمت هندسه کهن به حساب آمده و گسترش عجیب آن‌چنان در ذهنیت و ناخواه‌گاهی انسان ایرانی ریشه گرفته است. باتوجه به جدول بالا می‌توان بیان کرد که در برج آزادی به‌عنوان نمادی از معماری معاصر ایران از نظر نظم هندسی در پلان و نما باتوجه به اول هندسی معماری پیش از اسلام بهره گرفته شده است و در معماری نما از پیمون و معادلات ریاضی استفاده شده است و اعداد سه، چهار، پنج، شش و هشت به‌عنوان اعداد خاص به‌کاررفته است و تناسب طلایی ۰/۵ نیز در آن مورد استفاده قرار گرفته است و از کهن‌الگوی چهارطاقی و طاق کسری نیز به‌عنوان منابع الهام استفاده شده است.

۲.۵. تحلیل هندسی گنبد سلطانی

با نظر و دقت در بناهای مشهور و ارزشمند ایرانی این امر مشهود است که معماران از پیمون در هر مکانی باتوجه به اقلیم و مصالح محل ساخت بنا به‌عنوان وسیله‌ای برای جهت‌دادن به طرح نیارش بنا استفاده نموده‌اند و با بهره‌گیری از فرم‌های هندسی به‌دنبال القا مفاهیم نیز بوده‌اند.

در گنبد سلطانی که بنایی است تک‌گنبدی با مناره‌های استوانه‌ای که فهم واحد بودن را می‌رساند که واحد در حد خالق، با نقطه آغاز می‌شود. ارتباط خطی (قطر)‌های این هشت‌ضلعی که با دو نقطه خط ایجاد می‌شود و از دوران شعاع وارث، کره پدید می‌آید. فرم نیم‌دایره گنبد کره، نشان‌دهنده آشکارترین نماد توحید است و تقسیمش به چندضلعی‌های محاط منتظم اساس تمامی قوانین سنتی تناسب را تشکیل می‌دهد. تنها پنج‌گونه چندضلعی منتظم وجود دارد که می‌توان در کره محاط کرد. این چندضلعی‌ها که معروف به اجسام افلاطونی هستند توسط بیرونی چنین وصف شده‌اند: «و این پنج شکل را به روی تشبیه و مانند کرده‌اند به اصل عالم که فلک است (کره) و چهار طبع یکی مکعب است که گرد بر گرد او شش مربع است. و او را اراضی خواند با طبع زمینی، و دیگر از بیست مثلث متساوی‌الاضلاع است و او را هوایی خوانند و چهارم چون خسک از چهار مثلث متساوی‌الاضلاع است و او را ناری

خوانند با طبع آتشی و پنجم از دوازده محفص کرده است و او را فلکی خوانند؛ یعنی نماد عالم در حد یک کل «پایه‌ترین اشکال هندسی موجود در داین بنا شامل دوران مربع و تبدیل آن به هشت‌ضلعی و مثلث و همچنین دایره که از حرکت این فرم به استوانه نیز وجود دارد. (تصویر ۹)



تصویر ۹. پلان گنبد سلطانیه و اشکال غالب آن

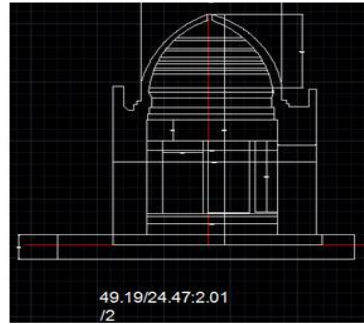
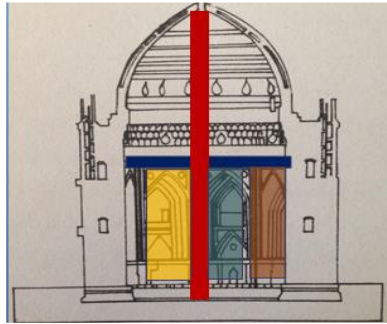
استوانه نسبت به محوری که به وسیله مراکز دو وجه دایره‌اش تعریف می‌شود، حال مرکزی دارد و به آسانی می‌تواند در امتداد این محور گسترش یابد. استوانه در صورتی تعادل دارد که بر یکی از وجوه دایره‌اش تکیه کرده باشد هنگامی که محور مرکزی‌اش به حالت مایل قرار گیرد، نامتعادل می‌گردد.

سیستم تنظیم تناسبات در معماری ایرانی که استفاده از تناسبات $\sqrt{2}=1,41$ $\sqrt{3}=1,731$

وجود تناسبات در فضای زیر گنبد خانه

$$15.21 \div 7.58 = 2.001 \rightarrow \sqrt{2} = 1.41$$

$$49.19 \div 24.47 = 2.01 \rightarrow 1.41$$

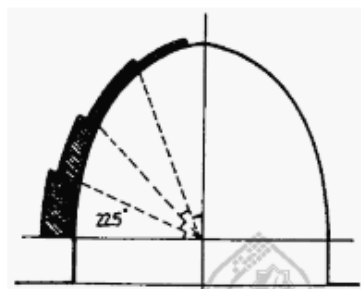


تصویر ۱۰. گنبد سلطانیه

مطابق با تناسبات زرین ایرانی ارتفاع گنبد سلطانیه ۴۸.۵ می‌باشد که دارای ۸ ایوان مرتفع، حدود ۵۰ اتاق و حجره می‌باشد، دارای گنبد دو جداره و قطر آن ۲۵ متر. این بنایی هشت‌ضلعی، قطر هر ضلع به‌طور تقریبی هشت متر و دارای منار در اطراف گنبد می‌باشد که این گنبد قدیمی‌ترین گنبد و جداره در ایران می‌باشد.

سلطانیه دارای سه بخش اصلی: ۱- ورودی؛ ۲- تربت خان؛ ۳- سردابه (دارای مقبره) که وجود پیمون ایرانی در قسمت ورودی مشهود است.

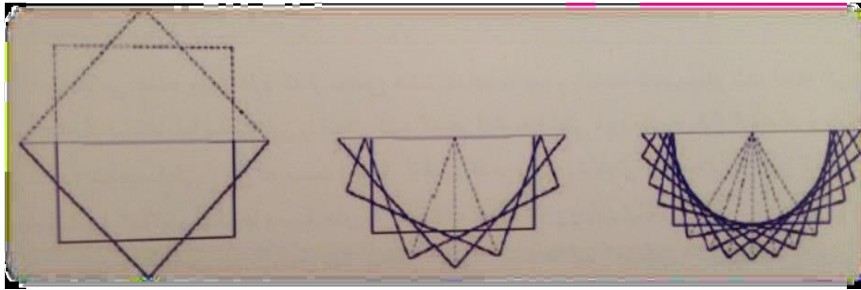
تناسبات گنبد سلطانیه: این گنبد دارای دهانه‌ای بیش از ۲۴ گز است که ضخامت گنبد (تیره) آن به نسبت ۱/۱۶ دهانه و به مقدار حدود ۱/۵ گز اختیار شده است. از پای گنبد (پاکار) تا زاویه ۲۲/۵ درجه نسبت به مرکز دهانه را شکرگاه گویند با همین ضخامت البته گنبد چیده‌اند. از انتهای شکرگاه تا زاویه ۴۵ درجه نسبت به مرکز دهانه که میان‌شان گویند یک خشت کم‌تر چیده است. پس از ایوارگاه تا نوک گنبد را با یک خشت کاستن از تیره ادامه داده و بدین شکل قسمت انتهایی گنبد را با نازک‌ترین ضخامت اجرا کرده‌اند، که این تناسب موجود در بنا از نوع تناسب ایرانی می‌باشد. (تصویر ۱۱)



تصویر ۱۱

در پلان بنای سلطانیه سقف گنبدی بر چهارپایه اتاق مربع قرار گرفته که با شگرد خاصی، در ابتدا با بستن سکنج مخروطی شکل بر چهارگوشه داخلی اتاق برای تبدیل آن به هشت‌گوش (مبدا) $\sqrt{2}$ و سپس شانزده گوش، تا در مرحله نهایی این انتقال چهارگوش اصلی مبدل به کثیرالاضلاعی با گوشه‌های بسیار نزدیک به شکل دایره می‌گردد.

(تصویر ۱۲)



تصویر ۱۲

همانند به وجود آمدن ۸ ضلعی فضای اصلی سلطانیه، تناسبات معماری ایرانی که تبدیل اتاق مربع به ۸ ضلعی می‌باشد بهره گرفته است.

در یک جمع‌بندی کلی به بررسی اشکال به صورت پایه که از پایه‌ترین شکل به صورت نقطه تا سیر حرکتی آن به دایره و مثلث محاط و مربع محاط در دایره به کار رفته در بنای سلطانیه دارای مفاهیم در عالم صغیر و در ریاضیات به دو فرم ایتسا و پویا را دارا می‌باشد که این اشکال شامل مربع-دایره-مثلث- استوانه است که هر یک دارای ویژگی فردی خود هستند. همچنین با بررسی ابعاد موجود در فضای داخلی پی به وجود تناسب زرین ایرانی $\sqrt{2}$ در فضای زیر گنبدخانه این مجموعه موجود می‌باشد و نیز به تداوم حرکت مربع در این تناسب این بنا نیز مشاهده می‌گردد. وجود تناسب ۱.۱۶ دهانه به مقدار حدود ۱.۵ گز اختیار شده است این تناسب موجود در گنبد از نوع تناسب ایرانی است.

نتیجه‌گیری

استفاده از ترسیمات هندسی در هنر و معماری سابقه‌ای طولانی دارد. طرح‌مایه‌های هندسی برای معین کردن اندازه‌های بنا و به دست آوردن تناسبات مطلوب مورد استفاده قرار گرفته است. در بررسی‌های تاریخی همیشه هندسه تناسبات ساختمان را مشخص می‌کند. هندسه همانند یک ابزار و دانش در ایجاد فضا، القاکننده ارتباطات اجزا با هم، یکپارچگی و احساسات خلق‌کننده اثر است. نظم‌بخشیدن به فضا، برقراری روابط درست و منطقی بین اجزای بنا، ارتباط بین نقشه‌های بنا و نمای آن‌ها، طراحی انواع قوس و گنبد، همه و همه با بهره‌گیری از الگوهای درست هندسی میسر شده تا در راه شکوهمندسازی خود بتوانند گام بردارند و این چنین شده که بناهای ادوار گذشته ایران از لحاظ سازه و زیبایی‌شناسی موفق به عرضه معماری چشمگیر و متنوع شده‌اند. استفاده از هندسه در هنر و معماری ایرانی سابقه طولانی دارد. از گذشته معماران ایرانی بر اصل زیبایی‌شناسی بنا توجه زیادی داشتند و هندسه را ابزاری مناسب جهت نظم‌بخشیدن به معماری و برای برقراری روابط آگاهانه میان اجزا با یکدیگر استفاده می‌کردند. استفاده از نظم هندسی در پلان و نما همراه با بهره‌گیری از هندسه پنهان و ایجاد درک هندسی با استفاده از مفاهیم هندسی در معماری ایرانی مورد توجه قرار گرفته است و علاوه بر این بهره‌گیری از کهن‌الگوها و نقش‌مایه‌های معماری ایرانی

بوده است. در معماری ایران از تناسبات مختلف نظیر تناسبات طلایی به صورت گسترده‌ای در طراحی پلان‌ها، مقاطع، الگوهای معماری استفاده شده است؛ چراکه معمار ایرانی همیشه بر زیبایی تأکید داشته و ایرانیان سعی کرده‌اند در ابعاد ساختمان تناسباتی را به کار گیرند که علاوه بر بهره‌گیری از هندسه و تناسبات زرین ایرانی، از اصول تناسبات طلایی فیبوناتچی نیز پیروی کند تا نهایتاً بنایی ساخته شود که حاکی از روش‌های طراحی درست و مهندسی صحیح باشد.

فهرست منابع و مآخذ:

کتاب‌ها

- اردلان، نادر؛ بختیار، لاله. (۱۳۹۱). حس وحدت. چاپ دوم، تهران: نشر خاک.
- بمانیان، محمدرضا؛ اخوت، هانیه و بقایی، پرهام. (۱۳۹۰). کاربرد هندسه و تناسب در معماری. تهران: نشر هله.
- سالوادری، م. (۱۳۸۷). سازه در معماری. ترجمه: محمود گلابچی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- وفامهر، م. (۱۳۹۱). مصالح نوین و روش‌های پیشرفته ساخت: ویژه مهندسان و دانشجویان مدیریت پروژه و ساخت، عمران و معماری، تهران: انتشارات کتاب فکر نو.

مقالات

- حجازی، مهرداد؛ مهدیزاده سراج، فاطمه. (۱۳۹۴). «رابطه معنا، زیبایی، شکل و سازه در معماری دوران اسلامی». پژوهش‌های معاری اسلامی، ۲(۱)، ۲-۱۹.
- حجازی، مهرداد. (۱۳۹۱). «مستندسازی رابطه شکل، معنا، زیبایی و سازه در معماری اسلامی ایران». نشریه‌های هنرهای زیبا، ۳۰(۱۲)، ۲۳-۳۰.
- دیواندری، جواد؛ احمدیان، سهیلا. (۱۳۹۶). «نقش و کاربرد هندسه به عنوان ارزش پایدار در معماری پیش از اسلام و تجلی آن در معماری معاصر (نمونه موردی: برج آزادی)». کنفرانس بین‌المللی معماری و ریاضیات، کاشان.
- راعی فرد، حسین؛ بکه، ابوالفضل و حیدری، احمد. (۱۳۹۹). «ارتباط هنر و هندسه در معماری و اهمیت نظام سازه‌های در طراحی». فصلنامه علمی تخصصی معماری سبز، ۳(۲۱)، ۲۵-۳۴.
- زرکش، ا. (۱۳۹۴). «کیفیت آموزش و کار حرفه‌ای در ایجاد همسازی بین فضا و سازه در معماری معاصر غرب، نشریه هنرهای زیبا، ۲۳(۱۰)، ۴۸-۱۶.
- سیلواویه، سونیا؛ دانشجو، خسرو و فرمهین فراهانی، سعید. (۱۳۹۱). «هندسه در معماری ایرانی پیش از اسلام و تجلی آن در معماری معاصر ایران». فصلنامه نقش جهان، ۳، ۷۰-۵۵.
- شعرباف، عاصم؛ انصاری، مجتبی. (۱۳۹۶). «زبان مشترک معماری و هنر مهندسی سازه در معماری ایران: کنفرانس ملی تحقیق و توسعه در مهندسی عمران». معماری و شهرسازی نوین، آذر ماه ۱۳۹۶، تهران.
- عمرانی‌پور، علی. (۱۳۸۴). «هنر و معماری اس المی ایران». یادنامه استاد دکتر لطیف ابوالقاسمی، سازمان عمران و بهسازی شهری، تهران.
- عمومی، محمد. (۱۳۸۷). معماری الگو نظم، تهران: نشر خاک.

فرامرزی، مرجان؛ علیپور، سارا. (۱۳۹۶). «بررسی هندسه و تناسبات طلایی در معماری سنتی». دومین کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و طراحی شهری، بانکوک.

فربود، فریناز؛ طاووسی. محمود. (۱۳۸۱). «بررسی تطبیقی مفهوم نمادین درخت در ایران». فصلنامه مدرس هنر، (۲)۱، ۴۳-۵۴.

فرشچی، حمیدرضا. (۱۳۹۰). «استفاده از دانش هندسه در هنر مهندسی معماری و سازه». دومین کنفرانس بین‌المللی معماری و سازه، تهران.

کوهی‌فرد، الناز؛ علی طایفی نصرآبادی، عباس؛ دهقان، توران و پشتی، عاطفه. (۱۳۹۳). «بررسی نقش اصول هندسی در معماری ایرانی و تجلی این اصول در معماری معاصر ایران». اولین همایش ملی افق‌های نوین در توانمندسازی و توسعه پایدار معماری، عمران، گردشگری، انرژی و محیط زیست شهری و روستایی، همدان.

نوحی بزنجانی، محبوبه؛ قاسمی، محسن. (۱۳۹۹). «واکاوی مفهوم هندسه در معماری سنتی ایران و کاربرد آن در معماری معاصر (نمونه موردی: خانه داروغه شهر مشهد)». نشریه اختصاصی معماری و شهرسازی ایران، ۳(۱۷)، ۱۷۵-۱۶۵.

پایان‌نامه‌ها

زندیه وکیلی، مریم؛ محمود کامل‌آباد، مهدی و حجت، عیسی. (۱۳۹۸). «امکان‌سنجی کاربست هندسه به‌کار رفته در تجارب معماری اسلامی در معماری امروز ایران در جهت تعامل فرم و سازه». رساله دکتری رشته معماری گرایش معماری اسلامی، دانشگاه هنر اصفهان: دانشکده معماری و شهرسازی.