

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## صفه، فصلنامه علمی معماری و شهرسازی

سال سی و پنجم، پاییز ۱۴۰۴، شماره ۳، پیاپی: ۱۱۰

شاپا: X ۸۷۰-۱۶۸۳

صاحب امتیاز: دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی

مدیر مسئول: دکتر محمدرضا حافظی

سردبیر: دکتر حمید ندیمی

معاون سردبیر و مدیر داخلی: دکتر مرجان السادات نعمتی مهر

ویراستار فارسی: شهاب قیومی بیدهندی

ویراستار انگلیسی: دکتر سید حسین (ایرج) معینی

بازطراحی گرافیک (برپایه طرح پیشین: کاوه صابر): سیدپارسا بهشتی

شیرازی، ۱۳۸۷

بازآرایی طرح و امور هنری: نشر ایران نگار، ۱۳۸۸، ۱۳۹۷، ۱۴۰۲

اجرای جلد و صفحه آرایی: په گاد مهربخش، مسیحا آریافر

مجری طرح و تولید: گنجینه نقش جهان، مهران غلامی،

تلفن ۰۷۴۲۸۶۶۹ (۰۲۱)

نشانی: اوین، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده معماری و شهرسازی

تلفن: ۰۲۸۴۳۰۲۹۹ (۰۲۱)، دورنگار: ۲۲۴۳۱۶۴۲ (۰۲۱)

وبگاه: <http://soffeh.sbu.ac.ir>

رایانامه: [j-soffeh@sbu.ac.ir](mailto:j-soffeh@sbu.ac.ir)

[j.soffeh@gmail.com](mailto:j.soffeh@gmail.com)

## گروه دبیران صفه

دکتر شهرام پوردیپهیمی، دانشگاه شهید بهشتی، استاد گروه معماری دانشکده معماری و شهرسازی

دکتر اکبر حاجی ابراهیم زرگر، دانشگاه شهید بهشتی، استاد گروه معماری دانشکده معماری و شهرسازی

دکتر عیسی حجت، دانشگاه تهران، استاد دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا

دکتر شاهین حیدری، دانشگاه تهران، استاد دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا

دکتر سیمین داودی، استاد دانشکده معماری، برنامه ریزی، و منظر، دانشگاه نیوکاسل

دکتر محمود رازجویان، دانشگاه شهید بهشتی، استاد گروه معماری دانشکده معماری و شهرسازی

دکتر نیکاس سالینگاروس، استاد دانشگاه تگزاس در سن آنتونیو

دکتر ایوب شریفی، دانشگاه هیروشیما، استاد دانشکده تحصیلات تکمیلی نوآوری و عمل برای جامعه هوشمند

دکتر علی عسگری، دانشگاه یورک، استاد مدیریت سوانح

دکتر توران علیزاده، دانشیار دانشگاه سیدنی (استرالیا)

دکتر علی غفاری، دانشگاه شهید بهشتی، استاد گروه شهرسازی دانشکده معماری و شهرسازی

دکتر محسن فیضی، دانشگاه علم و صنعت ایران، استاد دانشکده معماری و شهرسازی

دکتر علی کاوه، دانشگاه علم و صنعت ایران، استاد گروه سازه دانشکده مهندسی عمران

دکتر کورش گلکار، دانشگاه شهید بهشتی، استاد گروه شهرسازی دانشکده معماری و شهرسازی

دکتر علی مدنی پور، دانشگاه نیوکاسل، استاد دانشکده معماری، برنامه ریزی، و منظر

دکتر اصغر محمد مرادی، دانشگاه علم و صنعت ایران، استاد دانشکده معماری و شهرسازی

دکتر حمید ندیمی، دانشگاه شهید بهشتی، استاد گروه معماری دانشکده معماری و شهرسازی

دکتر هادی ندیمی، دانشگاه شهید بهشتی، استاد گروه معماری دانشکده معماری و شهرسازی

## صفه پذیرای مقاله با شرایط زیر است:

مقاله پژوهشی و نتیجه تحقیق اصیل مؤلف یا مؤلفان باشد.

به طرح و فهم و یافتن پاسخ پرسش‌ها و مسائل بنیادین معماری و شهرسازی کمک کند.

به مبانی نظری و رویدادهای مرتبط با گذشته و حال معماری و شهرسازی ایران و جهان بپردازد.

پیش‌تر در نشریات علمی-پژوهشی چاپ نشده باشد یا هم‌زمان برای ارزیابی به آن‌ها سپرده نشده باشد.

مطابق ضوابط و شیوه‌نامه صفه تهیه شده باشد.

### چند نکته مهم:

هیئت تحریریه در رد و قبول و ویرایش مقاله‌ها آزاد است.

صفه مقاله‌ها را عودت نمی‌دهد.

ضوابط و شیوه‌نامه صفه در وبگاه صفه و به صورت ادواری در خود مجله در دسترس است.

تصویر روی جلد: طرح‌هایی از انواع طاق ... (چپ به راست): طاق‌های کژاوه، خوانچه‌پوش، طاق با باریکه‌طاق، مربوط به مقاله

«چارچوبی نوین برای دسته‌بندی طاق‌ها در معماری تاریخی ایران»: هادی صفائی پور؛ مأخذ: معماریان، معماری ایرانی نیارش،



## فصلنامه علمی معماری و شهرسازی

دانشکده معماری و شهرسازی،

دانشگاه شهید بهشتی

سال سی و پنجم، پاییز ۱۴۰۴،

شماره ۳، پیاپی: ۱۱۰

شاپا: ۸۷۰ X-۱۶۸۳

علیرضا مستغنی، فائزه تفرشی | ۲۴-۵

♦ تقویت وجوه اجتماعی در برنامه آموزشی معماری؛

بررسی دوره آموزشی کارشناسی معماری در ایران

از منظر برنامه علم/ فناوری/ جامعه

فاطمه اخلاقی نژاد، هادی باقری سبزواری | ۵۴-۲۵

♦ کاهش مصرف انرژی و بهبود آسایش حرارتی و بصری در خانه‌ها با سناریوهای کنترل

سایه‌بان: تحلیل پارامتریک و بهینه‌سازی با یادگیری ماشین

در بندرعباس، یزد، ساری، و تبریز

سیدامیر محمد ربانی جلالی، محمد رجاییان هونجانی، محمد

♦ بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در مراحل اولیه طراحی؛

نمونه موردی: تخمین اولیه ابعاد عناصر سازه‌ای در ساختمان‌های

متداول مسکونی شهر تهران

تحصیل‌دوست، رهام افغانی خراسکانی | ۷۴-۵۵

مهدی نعمت‌اله‌زاده، بهنود برمایه‌ور، محمدحسین محمودی ساری

♦ ارزیابی مبادله زمان - هزینه به مثابه معیار تصمیم‌گیری به کارگیری سیستم‌های

احداث صنعتی در پروژه‌های ساختمانی

| ۹۲-۷۵

زهره فتحی نژاد، پروین پرتوی | ۱۱۸-۹۳

♦ محلات شهری سلامت‌افزا: الگویی جدید در طراحی و برنامه‌ریزی محلات سالم؛

نمونه موردی: محله سعدی شیراز

هادی صفائی‌پور | ۱۳۹-۱۱۹

♦ چارچوبی نوین برای دسته‌بندی طاق‌ها در معماری تاریخی ایران

This page is intentionally rendered without text.

این صفحه آگاهانه بدون متن ارائه شده است.

# Reinforcing Social Aspects of Architecture Education: An Examination of the Iranian B-Arch Curriculum in Terms of the *Science, Technology, Society* (STS) Programme

**Alireza Mostaghni, PhD.\*** 

Associate Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Art, Tehran, Iran

**Faezeh Tafreshi**

Ph.D. Candidate, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Art, Tehran, Iran

Received: August 25, 2023

Accepted: September 14, 2024

(Pages: 5-24)

**Alireza Mostaghni, Faezeh Tafreshi, 2025.** Reinforcing Social Aspects of Architecture Education: An Examination of the Iranian B-Arch Curriculum in Terms of the *Science, Technology, Society* (STS) Programme. *Soffeh* 35 (3): 5-24.

**DOI:** [10.48308/SOFFEH.2025.232890.1283](https://doi.org/10.48308/SOFFEH.2025.232890.1283)

## Abstract:

**Background and objectives:** Architecture is closely linked to society, and architectural education plays a crucial role in raising awareness and understanding of social issues among architects. The 'Science/Technology/Society' (STS) programme is gaining popularity in many leading universities worldwide as a complementary educational programme. Its objective is to educate professionals in various fields about the socio-technological aspects of their knowledge. Studies in this field highlight how a deeper understanding of various sciences and society is essential for teaching students in the technological age. Next-generation students here are expected to examine information,

## Keywords:

The social, Science/Technology/Society programme, STS, Architectural education.



SOFFEH

*Soffeh Journal*, Shahid Beheshti University, Vol. 35, Issue 3, No. 110, 2025



ISSN: 1683-870X

\*. Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

\*. Corresponding Author Email Address: [mostaghni@art.ac.ir](mailto:mostaghni@art.ac.ir)

<http://dx.doi.org/10.48308/SOFFEH.2025.232890.1283>

understand the connection between sciences in their daily lives, and recognise that scientific endeavours are actually guided by social values. This study aims, therefore, to examine STS mechanisms whilst also investigating how social aspects are taught in Iran's architectural undergraduate programme and identify the available opportunities in STS.

**Materials and Methods:** Stanford University and Massachusetts Institute of Technology (MIT) were chosen for this study by virtue of their more comprehensive programmes and the availability of their detailed course descriptions. The STS at Stanford adopts a social-oriented approach, whilst MIT's follows a socio-historical one. Reviewing these two programmes, efforts are made here to analyse the STS mechanisms and contemplate on how the social is taught in Iran's undergraduate architectural education, whilst opportunities available in Stanford and MIT programmes are also identified.

**Results and Conclusion:** The findings of this research demonstrate that of the three categories identifiable in these universities' programmes, namely knowledge, environmental perception, and application, STS places greater emphasis on the first two, and that this can be utilised to strengthen social concepts in Iran's architectural education by focusing on the third. In response, the aim here is to enhance the knowledge and perception stages based on STS concepts, and thereby offering the knowledge-perception-application process a more precise definition in the Iranian context. Based on concepts derived from the STS programme, more socially-oriented objectives and topics have been suggested for a series of courses in the Iranian curriculum, including Humans, Nature and Architecture, World Architecture, Islamic Architecture II, Design Studio II, III and V, as well as Final Design Studio.

# تقویت وجوه اجتماعی در برنامه آموزشی معماری؛ بررسی دوره آموزشی کارشناسی معماری در ایران از منظر برنامه علم / فناوری / جامعه (STS)

 علیرضا مستغنی<sup>۱</sup>

دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران

دریافت: ۳ شهریور ۱۴۰۲

پذیرش: ۲۴ شهریور ۱۴۰۳

(صفحه ۵ - ۲۴)

## فائزه تفرشی<sup>۲</sup>

علیرضا مستغنی، فائزه تفرشی. ۱۴۰۴. تقویت وجوه اجتماعی در برنامه آموزشی معماری؛ بررسی دوره آموزشی کارشناسی معماری در ایران  
از منظر برنامه علم / فناوری / جامعه (STS). فصلنامه علمی معماری و شهرسازی صفحه ۳۵ (۳): ۲۴-۵

کلیدواژگان: آموزش معماری، وجوه اجتماعی، برنامه علم / فناوری / جامعه، STS.

## چکیده

**مواد و روش‌ها:** برنامه STS در دو دانشگاه استنفورد و انستیتو فناوری ماساچوست، به دلیل جامع‌تری، دسترسی داشتن به شرح درس برنامه یادشده در آنها، همچنین داشتن جزئیاتی قابل قبول، برای مطالعه انتخاب شده‌اند. برنامه آموزشی علم / فناوری / جامعه در دانشگاه استنفورد رویکرد اجتماعی و در انستیتو فناوری ماساچوست رویکرد تاریخی و تاریخ اجتماعی دارد. در پژوهش حاضر، با مرور برنامه این دو دانشگاه، تلاش می‌شود تا ضمن بررسی سازوکار دروس در برنامه STS، نحوه آموزش وجوه اجتماعی در برنامه دوره آموزشی کارشناسی معماری در ایران نیز بررسی شود و فرصت‌های موجود در برنامه علم / فناوری / جامعه در دانشگاه استنفورد و انستیتو فناوری ماساچوست (MIT) شناسایی شود.

**اهداف و پیشینه:** وجه اجتماعی از وجوه انکارناپذیر و بسیار مهم معماری است؛ دوره آموزش معماری نیز یکی از مؤثرترین و مهم‌ترین بسترها برای توسعه آگاهی و شناخت موضوعات اجتماعی نزد معماران محسوب می‌شود. برنامه «علم / فناوری / جامعه» (STS) برنامه آموزشی مکملی است که به منظور آشنایی متخصصان حوزه‌های مختلف با چگونگی تأثیر مؤلفه‌هایی همچون اجتماع و فناوری بر دانش آنها، در بسیاری از دانشگاه‌های مطرح جهان عرضه می‌شود. در مطالعات پیشینه، شناخت درست‌تر نسبت علوم مختلف و اجتماع، از ضرورت‌های آموزش این برنامه برای دانشجویان در عصر فناوری قلمداد می‌شود و بر اساس این برنامه انتظار می‌رود دانشجویان، در جایگاه نسل بعدی، بتوانند اطلاعات را تجزیه و تحلیل کنند، ارتباط علوم را در زندگی روزمره خود درک کنند، و دریابند که تلاش‌های علمی تحت ارزش‌های اجتماعی هدایت می‌شوند. بر این اساس، تلاش می‌شود تا ضمن بررسی سازوکار دروس در برنامه STS، نحوه آموزش وجوه اجتماعی در برنامه دوره آموزشی کارشناسی معماری در ایران نیز بررسی و فرصت‌های موجود در برنامه علم / فناوری / جامعه شناسایی شود.

**نتایج و جمع‌بندی:** بنابر نتایج این پژوهش، با تقسیم‌بندی مفاهیم عرضه‌شده در این دانشگاه‌ها در سه زیرگروه شناخت، برداشت از محیط، و کاربری آن، برنامه علم / فناوری / جامعه، بیشتر بر دو مرحله شناخت و برداشت متمرکز است و می‌تواند برای تقویت مفاهیم اجتماعی در برنامه آموزش معماری در ایران با تمرکز بر مرحله سوم (کاربرد این مفاهیم) استفاده شود. بر این اساس، در این پژوهش تلاش می‌شود تا با هدف تقویت دو مرحله شناخت و برداشت در برنامه آموزشی کارشناسی، پیشنهادهایی برای دروس مرتبط بر مبنای مفاهیم STS بیان گردد تا سیر

۱. نویسنده مسئول

mostaghni@art.ac.ir

۲. دانشجوی دوره دکتری معماری،

دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه

هنر ایران

f.tafreshi4@gmail.com



## پرسش‌های پژوهش

۱. برنامه علم/ فناوری/ جامعه چه مفاهیم اجتماعی را در بر می‌گیرد؟
۲. چگونه می‌توان مفاهیم اجتماعی را در برنامه آموزش معماری ایران به کمک مفاهیم برنامه علم/ فناوری/ جامعه تقویت کرد؟

3. Science / Technology / Society

4. Lawson, *How Designers Think* (Architectural Press, 2015), 22-24

۵. عبدالرضا آزاد و وحید احمدی، «بازنگری دروس دوره کارشناسی مهندسی معماری با استفاده از تجارت سه دانشگاه مطرح اروپا»، هنر مدیریت سبز، دوره ۲، ش. ۱۰ (بهار ۱۴۰۳): ۷-۲۰.

۶. سیدمحسن موسوی و کیمیاالسادات طیب‌زاده، «بررسی امکان بازنگری برنامه دروس کارشناسی معماری با نگاه بومی؛ بررسی موردی: دانشگاه‌های مازندران»، نامه معماری و شهرسازی، سال ۱۵، ش. ۳۹ (تابستان ۱۴۰۲): ۱۲۳-۱۴۳.

شناخت - برداشت - کاربست در آموزش معماری ایران دقیق‌تر شود. بر مبنای مفاهیم مستخرج از برنامه STS، اهداف و موضوعاتی برای هر درس مرتبط و درگیر با موضوعات اجتماعی در برنامه آموزشی معماری ایران عرضه شده است. این اهداف برای دروس انسان‌طبیعت‌معماری، معماری جهان، معماری اسلامی<sup>۲</sup>، طراحی معماری<sup>۲</sup>، طراحی معماری<sup>۳</sup>، طراحی معماری<sup>۵</sup>، و طرح نهایی، که به‌صورت مستقیم در شرح این دروس به موضوعات اجتماعی اشاره شده، مورد نظر بوده است.

## مقدمه

از دهه ۱۹۷۰، به اهمیت و جایگاه مفاهیم اجتماعی در آموزش علوم مختلف توجه شد و برنامه علم/ فناوری/ جامعه<sup>۳</sup> با هدف مطالعه تأثیر وجوه اجتماعی بر علم و فناوری شکل گرفت. این برنامه پاسخ به دو پرسش اساسی است: الف) علم و فناوری به‌مثابه فعالیت‌هایی انسانی چگونه تکامل یافته‌اند؟ ب) چگونه با نمودهای تمدنی بزرگ‌تر ارتباط دارند؟ این برنامه از سال ۱۹۹۸ در برخی دانشگاه‌ها همچون انستیتو فناوری ماساچوست، استنفورد، و دانشگاه واشنگتن طرح شده و به‌صورت برنامه‌ای هدفمند وارد رشته‌های مختلف تحصیلی، از جمله معماری، گردیده است. از سوی دیگر، طراحی معماری فرایندی پیچیده و متأثر از مؤلفه‌های مختلف است. معماری می‌تواند مکان‌هایی را خلق کند که تأثیر عمده‌ای روی زندگی بسیاری از افراد داشته باشد و طراحی خوب می‌تواند دلیلی برای غنا بخشیدن به زندگی باشد.<sup>۴</sup> معماری پاسخی طولانی‌مدت برای مسائل در یک بستر اجتماعی و فرهنگی است و همواره از اجتماع اثر می‌گیرد و نیز می‌تواند بر آن اثر بگذارد. بنابراین ضرورت حضور پررنگ وجوه اجتماعی در آموزش معماری، بدیهی و گریزناپذیر است. از آنجاکه دانشکده‌های معماری و دروس مرتبط با مفاهیم اجتماعی در این دانشکده‌ها بستر مناسبی برای ترویج و توسعه این مفاهیم بوده و هستند، در این پژوهش تلاش خواهد شد تا ابتدا آرموده‌های برخی دانشگاه‌های معتبر جهان در قالب چنین رویکردی مطالعه و سپس از برنامه عرضه‌شده مرتبط با آنها برای تقویت شرح دروس مرتبط در برنامه دوره آموزشی کارشناسی معماری استفاده شود. بر اساس این روند و شناخت حاصل از آن، تلاش خواهد شد تا جایگاه این مفاهیم در آموزش معماری ایران تبیین شود و با بیان پیشنهادهایی امکان تقویت آن نیز جستجو گردد.

## ۱. پیشینه پژوهش

در مطالعات بسیاری اهمیت و نقش پررنگ آموزش معماری تبیین و برای تقویت آن پیشنهادهایی بیان شده است. در پژوهشی با مطالعه برنامه آموزشی در سه کشور آلمان، ایتالیا، و فرانسه، تلاش شده است تا برنامه آموزشی در دروس فنی و تخصصی در ایران بازنگری شود. محققان در این پژوهش استدلال می‌کنند که در دانشگاه‌های بررسی‌شده در خارج از کشور نسبت به برنامه آموزشی ایران، تأکید بیشتری بر دروس کارگاهی و عملی می‌شود.<sup>۵</sup> در تحقیقی با انتخاب دانشگاه‌های مازندران برای نمونه موردی تلاش می‌شود تا با هدف تقویت رویکرد بومی در آموزش معماری، چهار مقوله اصلی فرم متناسب با اقلیم، شناخت معماری بومی، شناخت مصالح بومی، و توسعه پژوهش‌های مرتبط بدین‌منظور پیشنهاد شود.<sup>۶</sup> غریب‌پور در مقاله‌اش، با استدلالی منطقی، تلاش می‌کند تا ضمن تبیین اهمیت مسائل فرهنگی، به ارزش تقویت این موضوع در دروس پایه بپردازد.<sup>۷</sup> در مطالعه‌ای دیگر، نویسندگان معماری را یکی از عوامل اثرگذار در فرایند فرهنگی جوامع بشری دانسته و تلاش کرده‌اند تا با مطالعه سه دانشگاه شهید بهشتی، تهران، و علم و صنعت، جایگاه و نسبت خلاقیت در دروس نظری و عملی را روشن‌تر کنند.<sup>۸</sup> در مطالعه‌ای، با در نظر گرفتن اینکه با آموزش میان نظر، عمل، و عملکرد اجتماعی و شغلی ارتباط خوبی برقرار نمی‌شود، «آموزش کاربردی»، «آموزش استاد - شاگردی»، «آموزش تجربه‌ای»، و «آموزش مشاهده‌ای» از این منظر بررسی و رتبه‌بندی شده‌اند.<sup>۹</sup> از سوی دیگر، در چند سال اخیر پژوهش‌های مختلفی درباره تأثیر یا اهمیت برنامه آموزشی علم/ فناوری/ جامعه انجام شده است. در یک مطالعه با هدف بررسی تأثیر آموزش STS، نشان داده‌اند که دانشجویانی که با منطق STS آموزش دیده‌اند، در مقایسه با گروه کنترل، درک درست‌تری از جایگاه خود و

نسبت میان مفاهیم مختلف اجتماعی، علمی، و فناوری دارند.<sup>۱۰</sup> محققانی در تورنتو نیز با همکاری مدرسان برنامه علم/ فناوری/ جامعه به تبیین یک الگوی ارزیابی پنج مرحله‌ای با در نظرگیری ۱۱۴ مؤلفه مختلف برای ارزیابی آموخته‌های دانشجویان پرداختند که به مدرسان و اساتید برای ارزیابی آموخته‌های دانشجویان و چگونگی ادامه آموزش کمک و راهنمایی کند.<sup>۱۱</sup> پژوهشگران در مطالعه دیگری برنامه علم/ فناوری/ جامعه، را ابزاری برای شناخت نسبت میان علم و جامعه معرفی می‌کنند و در تبیین ضرورت این منطق آموزشی، معتقدند علم در شرایط خلأ ایجاد نمی‌شود. آنها با بررسی رخدادهای تاریخی مرتبط با علم نشان می‌دهند که مؤلفه‌های اجتماعی، فرهنگی، و فناوری در هر بازه زمانی چگونه می‌توانند در خلق مفاهیم علمی مؤثر باشند.<sup>۱۲</sup> در مطالعه‌ای دیگر، مؤلف با منطقی مشابه در بیان ضرورت آموزش، در شبکه‌ای از مؤلفه‌های اجتماعی و فرهنگی، برنامه علم/ فناوری/ جامعه را راهی مناسب برای زندگی هوشمندانه در دنیای معاصر بیان می‌کند.<sup>۱۳</sup> مطالعه‌ای در یک آکادمی آموزشی، با هدف بررسی رضایت دانشجویان از آموزش بر مبنای برنامه علم/ فناوری/ جامعه انجام شد. این پژوهش با تقسیم دوره آموزشی دانشجویان به دو بازه زمانی مشابه، فرصت تجربه آموزش بر مبنای مفاهیم علم/ فناوری/ جامعه و آموزش معمول را برای دانشجویان فراهم کرد و تلاش شد تا با پرسش‌نامه‌ای تشریحی، دیدگاه‌ها و نظرات دانشجویان در مورد این دو تجربه ارزیابی شود. نتایج این پژوهش نیز نشان می‌دهد که دانشجویان به دلیل آگاه‌تر شدن نسبت به مسائل اجتماعی و یافتن درگیری ذهنی بیشتر، از آموزش بر مبنای برنامه علم/ فناوری/ جامعه راضی‌تر هستند و اهمیت تصمیم‌گیری‌های خود را درک می‌کنند.<sup>۱۴</sup>

۷. افرا غریب‌پور، «سنجش امکان توجه به مؤلفه‌های فرهنگی در آموزش دوره پایه طراحی معماری»، هویت شهر، سال ۱۳، ش. ۳۸ (تابستان ۱۳۹۸): ۵-۲۰.

۸. محمدعلی کاظم‌زاده رائف و همکاران، «راپردهای مواد درسی با توجه به فرایند خلاقیت در آموزش معماری؛ مطالعه موردی: دانشگاه‌های تهران، شهید بهشتی، و علم و صنعت»، مطالعات هنر/اسلامی، سال ۱۹، ش. ۴۹ (بهار ۱۴۰۲): ۶۵۰-۶۶۹.

۹. مجید یزدانی و همکاران، «سنجش تأثیر مؤلفه‌های آموزش عملگر بر ارتقای برنامه درسی در دوره کارشناسی معماری در ایران»، نامه معماری و شهرسازی، سال ۱۶، ش. ۴۰ (پاییز ۱۴۰۲): ۶۵-۸۹.

10. B. Akcay and H. Akcay, "Effectiveness of Science-Technology-Society (STS) Instruction on Student Understanding of the Nature of Science and Attitudes toward Science", *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 3(1) (2015): 37-45.

11. G.S. Aikenhead and A.G. Ryan, "The Development of a New Instrument: 'Views on Science / Technology / Society' (VOSTS)", *Science Education*, 76(5) (1992): 477-491.

## ۲. چهارچوب مفهومی پژوهش، برنامه درسی STS

– استفاده از منابع محلی برای حل مشکلات و پاسخ‌گویی به آنها؛

– تشویق و تقویت دانشجویان برای جستجوی اطلاعاتی که می‌توانند در حل مسائل بستر مؤثر باشند؛

– گسترش و تشویق یادگیری فراتر از حوزه کلاس؛

– توجه به تأثیر دانش و فناوری بر هر دانشجو: تغییر نگرش در مفهوم علم (علم آن چیزی نیست که دانشجویان پس از کسب نمره قبولی در یک آزمون به آن دست می‌یابند)؛

– عدم تأکید بر مهارت‌ها و توانایی‌هایی که صرفاً توسط متخصصان به نام هر رشته و یا به سبب جو موجود در یک رشته حاکم می‌شود؛

– تأکید و تقویت آگاهی شغلی در هر رشته؛

– تشویق نگرشی که به دانشجویان کمک می‌کند تا به مسائل موجود در جامعه از جایگاه یک شهروند بنگرند و پاسخ دهند؛

– مطالعه و شناخت تأثیری که علم و فناوری بر آینده خواهد گذاشت؛

– توجه به استقلال فردی در فرایند آموزش.<sup>۲۲</sup>

اولین بار این مفهوم در دانشگاه هاروارد و در رشته کارشناسی ارشد مدیریت بازرگانی شکل گرفت و هدف آن پژوهش تحقیق در مورد تأثیر تغییر فناوری بر اقتصاد، سیاست‌های عمومی، شخصیت جامعه، و همچنین تأثیرات متقابل پیشرفت اجتماعی بر ماهیت، ابعاد، و جهت‌گیری‌های تحولات علمی و فناوری بود.<sup>۲۳</sup> از سال ۱۹۸۸، در دانشگاه‌های بسیاری همچون دانشگاه واشنگتن<sup>۲۴</sup>، دانشگاه کارولینای شمالی<sup>۲۵</sup>، دانشگاه پنسیلوانیا<sup>۲۶</sup>، استنفورد<sup>۲۷</sup> و انستیتو فناوری ماساچوست<sup>۲۸</sup> به مرور زمینه پژوهش‌های مرتبط با برنامه علم/ فناوری/ جامعه شکل گرفت.<sup>۲۹</sup> این برنامه بر روش‌هایی متمرکز شده است که می‌تواند عوامل مختلف علمی، فناورانه، و اجتماعی را برای شکل دادن به زندگی مدرن به تعامل برساند و تأکیدی بر ارتباط رشته‌های

از اواسط دهه ۱۹۶۰ با درک کامل‌تر از زمینه‌های اجتماعی علم و فناوری، چالش‌های مرتبط با علم، فناوری، و جامعه شکل جدیدی یافت. توماس کوهن در سال ۱۹۶۲ با کتاب *ساختار انقلاب‌های علمی*<sup>۱۵</sup> به ایجاد رویکرد جدید در مطالعات تاریخی و اجتماعی کمک بسیاری کرد. در این دوره و پس از دگرگونی‌های گسترده اجتماعی، این سؤال‌ها طرح شد که آیا علم و فناوری موهبت‌های بی‌آلایشی هستند که جامعه آن را پذیرفته است، و گسترش علم و فناوری چه اثراتی بر جامعه و بر محیط پیرامون خواهد گذاشت؟<sup>۱۶</sup> پاسخ به این پرسش‌ها، شکل‌گیری «آژانس حفاظت از محیط زیست» در سال ۱۹۶۹، «قوانین آب‌وهوای پاک» در سال ۱۹۷۰، «دفتر ارزیابی فناوری» در سال ۱۹۷۲، و ... را به همراه داشت.<sup>۱۷</sup> به موازات این رویکردها در آمریکا، اروپا نیز به اهمیت آن پی برد و در سال ۱۹۶۵ مطالعاتی با عنوان «وظایف مدنی در علوم»<sup>۱۸</sup> شکل گرفت.<sup>۱۹</sup> این تحولات توجه جوامع را به پیچیدگی‌های علم و فناوری در جامعه معاصر جلب کرد و تلاش شد تا هم مزایای آشکار فناوری علمی و هم اثرات منفی و نادیده‌اش مطالعه و بررسی شود.<sup>۲۰</sup> پس از درک ضرورت این موارد و بر اساس تفکیک رشته‌ها و پررنگ شدن تخصص‌ها، مفهوم STS در قالب یک برنامه مدون آموزشی طرح شد. بر اساس این برنامه انتظار می‌رفت دانشجویان، در جایگاه نسل بعدی، بتوانند اطلاعات را تجزیه و تحلیل و ارتباط علوم را در زندگی روزمره خود درک کنند و دریابند که تلاش‌های علمی در واقع تحت ارزش‌های اجتماعی اداره می‌شود.<sup>۲۱</sup>

اصول اولیه این برنامه را انجمن اساتید علوم شکل داد که عبارتند از:

– آشنایی دانشجویان با مشکلات و قابلیت‌های موجود در بستر؛

12. B.E. Seabrook, et al., "Teaching Sts to Engineers: A Comparative Study of Embedded Sts Programs", Paper presented at the 2020 ASEE virtual annual conference content access, 2020

13. C. Mitcham, "Why Science, Technology, and Society Studies?", *Bulletin of Science, Technology & Society*, 19(2) (1999): 128-134.

14. Stuckey, et al., "The Meaning of 'Relevance' in Science Education and Its Implications for the Science Curriculum", *Studies in Science Education*, 49(1) (2013): 1-34.

15. T. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions* (University of Chicago Press, 1962).

16. G. Aikenhead, "STS Education: A Rose by any other Name", In R. Cross (Ed.), *A Vision for Science Education: Responding to the Work of Peter J. Fensham* (London, Routledge, 2003), 59-75.

17. S.H. Cutcliffe, "The Historical Emergence of STS as an Academic field in the United States", *Argumentos de Razón Técnica*, 5 (2002): 281-292.

جدول ۱. بررسی هدف‌ها و مفاهیم رویکرد علم/ فناوری/ جامعه بر اساس دیدگاه صاحب‌نظران مختلف، تدوین: نگارندگان.

| هدف‌ها و مفاهیم STS                                                           | صاحب‌نظران این حوزه                   |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| ادراک علوم در زندگی روزمره                                                    | Mansour, 2009                         |
| تجزیه و تحلیل اطلاعات                                                         |                                       |
| ادراک جایگاه ارزش‌های اجتماعی در شکل‌دهی به سایر علوم                         |                                       |
| تفکر نقاد درباره مسائل جاری                                                   |                                       |
| چگونگی دستیابی به جایگاه کنونی علم                                            |                                       |
| آگاهی‌بخشی درباره منابع محلی                                                  | Akcaý and Yager, 2010                 |
| یادگیری فراتر از کلاس                                                         |                                       |
| تفسیر نگرش در مفهوم علم                                                       |                                       |
| آگاهی شغلی                                                                    |                                       |
| آگاهی‌بخشی به فرد در نقش یک شهروند                                            |                                       |
| تقویت استقلال فردی                                                            |                                       |
| درک تأثیر علم و فناوری بر سایر حوزه‌ها و ارتباط آنها باهم                     |                                       |
| ایجاد تعامل میان علم و فناوری و جامعه برای شکل‌دهی به زندگی مدرن              | Pfotenhauer and Jasanoff, 2017        |
| عبور از مرز هر رشته                                                           | Douglas, 2012                         |
| ادراک اهمیت نقش عامل انسانی                                                   |                                       |
| ضرورت آگاهی هر فرد از مسئولیت شهروند بودن                                     |                                       |
| یادگیری بر اساس تجربه‌های واقعی                                               | Dickson, 1979                         |
| ادراک مسائل اجتماعی و فناورانه                                                |                                       |
| ادراک و آگاهی از تأثیر دانش و فناوری مدرن بر اجتماع، نهادها، و ارزش‌های جامعه | Bhattacharya, 2020                    |
| تأثیر ارزش‌های مدرن بر علم و فناوری                                           | Carayannis, et al. 2022; Prasad, 2022 |
| ادراک اثر یافته‌های علمی بر زندگی مردم                                        |                                       |
| درک پیوستگی مشکلات علمی، پزشکی، و فناوری با مسائل اجتماعی و سایر علوم         |                                       |
| چگونگی تأثیر علم بر اعتماد و یا بی‌اعتمادی مردم                               |                                       |
| ادراک چگونگی ارتباط میان علوم حوزه‌های مختلف                                  |                                       |
| چگونگی جذب مشارکت عمومی در تصمیم‌گیری‌های علمی و فناوری                       |                                       |
| چگونگی آگاهی‌بخشی عمومی                                                       |                                       |

مختلف و عبور از مرز هر رشته گردد.<sup>۳۰</sup> دانشجویان در این دوره تأثیرپذیری از زمینه‌های اجتماعی و زیرساختی و نقش عامل انسانی را می‌آموزند. باور بر این است که درک این موارد از دغدغهٔ خلاقیت و نوآوری در آموزش مهم‌تر و امری ضروری برای یک دانش‌آموخته در مقام شهروندی اثرگذار در جامعه است.<sup>۳۱</sup> در این برنامه در حیطهٔ یادگیری، رویکردی یکپارچه بین علم، فناوری، و جامعه جستجو می‌شود. توجه به مسائل اجتماعی و فناورانه از ویژگی‌های کلیدی این رویکرد است. با رویکرد یادگیری علم/ فناوری/ جامعه، دانشجویان علم را بر اساس تجربه‌های واقعی می‌آموزند و زمینه‌های اجتماعی و پیامدهای علم و فناوری را بررسی می‌کنند. دانشجویان در رشته‌های مختلف با این رویکرد یاد می‌گیرند که به‌طور انتقادی در مورد سوالاتی مانند «چگونه علم در جایگاه کنونی قرار گرفته است» بیندیشند.<sup>۳۲</sup> درواقع هدف از این رویکرد، درک این موضوع است که دانش و فناوری مدرن چگونه بر اجتماع، نهادها، و ارزش‌های جامعه اثر می‌گذارند و برعکس، چگونه ارزش‌های مدرن بر علم و فناوری اثر می‌گذارد؟ بنابراین ضروری است که محققان و دانشجویان درک درست و دقیقی از این حلقه داشته باشند.<sup>۳۳</sup> درواقع می‌توان گفت در برنامهٔ STS علم و فناوری با ابزارهای فلسفه، تاریخ، جامعه‌شناسی، انسان‌شناسی، و مطالعات فرهنگی بررسی می‌شود. در این برنامه، دانشجویان درمی‌یابند که چگونه یافته‌های علمی بر مردم مختلف تأثیر می‌گذارد.<sup>۳۴</sup> با STS این سؤال را در نظر می‌آید که چه چیزی علم به حساب می‌آید و چگونه علم با سایر اشکال شناخت متفاوت است؟<sup>۳۵</sup> همان‌طور که همه‌گیری کووید ۱۹ نشان داد، هیچ راهی برای بررسی مشکلات علمی، پزشکی، و فناوری جدا از مسائل اجتماعی و درگیری علوم مختلف وجود ندارد. درواقع، اینکه عموم مردم به علم اعتماد کنند یا بی‌اعتماد شوند، می‌تواند فرصت‌ها و تهدیدهایی را به‌همراه داشته باشد. تحت برنامهٔ STS، با رویکرد

18. Social Responsibility in Science
19. Derek J. De Solla Price, *Little Science, Big Science* (Columbia University Press, 1963), 89-93.
20. R.E. Sclove, et al., *Community-based research in the United States* (Amherst, MA: The Loka Institute, 1998), 23-24.
21. N. Mansour, "Science / Technology / Society (STS) a New Paradigm in Science Education", *Bulletin of Science, Technology & Society*, vol. 29, no. 4 (2009): 287-297.
22. H. Akcay, and R.E. Yager, "The Impact of a Science / Technology / Society Teaching Approach on Student Learning in Five Domains", *Journal of Science Education and Technology*, 19 (2010): 602-611.
23. Cutcliffe, "The Historical Emergence of STS as an Academic field in the United States", 281-292
24. Washington university
25. NC State University
26. Penn arts and science
27. Stanford University
28. MIT
29. www.mit.edu

با توجه به اهمیت مفاهیم اجتماعی و جایگاه آنها در رشته معماری، تلاش شده است تا درس‌های مرتبط با رشته معماری و دارای رویکرد اجتماعی در برنامه STS انتخاب گردد و شرح آنها در دو دانشگاه استنفورد و انستیتو فناوری ماساچوست مطالعه و بررسی شود. این دو دانشگاه در این زمینه، برنامه جامع‌تری دارند و جزئیات هریک از درس‌ها با جزئیات قابل قبول در دسترس است. آموزش بر مبنای علم/ فناوری/ جامعه در هریک از دانشگاه‌های استنفورد و انستیتو فناوری ماساچوست یک برنامه آموزشی مکمل است. بر اساس رویکرد این دو دانشگاه در برنامه علم/ فناوری/ جامعه و همچنین دروس عرضه شده و تمرکز محتوا و اهداف آنها، می‌توان گفت رویکرد دانشگاه استنفورد رویکردی اجتماعی و رویکرد انستیتو فناوری ماساچوست تاریخی و تاریخ اجتماعی است. در عناوین و شرح دروس دانشگاه استنفورد تمرکز و تعدد عبارت‌هایی همچون «اجتماع»<sup>۳۸</sup>، «جامعه»<sup>۳۹</sup>، «ریشه‌های اجتماعی»<sup>۴۰</sup>، و «جامعه انسانی»<sup>۴۱</sup> و در عناوین و شرح دروس انستیتو فناوری ماساچوست: «ریشه‌های باستانی»<sup>۴۲</sup>، «تاریخ جوامع ...»<sup>۴۳</sup>، «تاریخ ...»<sup>۴۴</sup>، و «ظهور ...»<sup>۴۵</sup> قابل توجه و بررسی است. این برنامه در چند حوزه مجزا عرضه می‌شود و برای دانشجویان رشته‌های مختلف، زیربرنامه‌های متفاوتی دارد.

## ۲.۱. برنامه علم/ فناوری/ جامعه دانشگاه استنفورد

آموزش این برنامه در دانشگاه استنفورد از سال ۱۹۷۱ آغاز و به دانشجویان هنر و علوم پیشنهاد گردید. بر این اساس از دانشجویان خواسته می‌شود تا بر اساس نیاز رشته خود، یک یا دو حوزه اصلی از برنامه آموزشی علم/ فناوری/ جامعه را انتخاب کنند. دانشجویان در این دوره، با نحوه ارتباط علم و فناوری و چگونگی تأثیر علم و فناوری بر ارتباطات، اجتماع، و آموزش

آشنا می‌شوند.<sup>۴۶</sup> برنامه STS در این دانشگاه در حوزه‌های حوادث و راه حل‌ها، ارتباطات و رسانه، فناوری و سازمان‌دهی، زندگی و سلامت، سیاست، فعالیت‌های اجتماعی، و مفاهیم آن است و به صورت برنامه‌ای انتخابی و ترکیبی<sup>۴۷</sup> نیز به دانشجویان عرضه می‌شود.<sup>۴۸</sup> از میان دروس در حوزه‌های مختلف برنامه علم/ فناوری/ جامعه، از دانشجویان خواسته می‌شود تا ۲۴ واحد مرتبط را بر اساس علایق خود و در ارتباط با رشته تحصیلی خود بگذرانند.<sup>۴۹</sup> در حوزه‌های اصلی برنامه STS تلاش و تمرکز بر آشنا کردن دانشجویان با شیوه‌های مختلف نگرش و تفکر درباره ساختارهای اجتماعی، اخلاق، قانون اساسی، تاریخ، و سیاست است. در این دوره تلاش می‌شود شرایط و ابزارهایی فراهم گردد تا دانشجویان با نگاهی انتقادی با دانش و مهارت‌هایی که پیش از این آموخته‌اند، روبه‌رو شوند. در پژوهش حاضر، در «جدول ۲» فهرست درس‌های مرتبط با مفاهیم اجتماعی در برنامه یادشده در این دانشگاه انتخاب گردیده که از شرح درس‌های موجود در تارنمای این دانشگاه در جولای ۲۰۲۳ مستخرج شده است. از میان واحدهای موجود در برنامه علم/ فناوری/ جامعه این دانشگاه، با تمرکز بر شرح درس‌های موجود، دروسی انتخاب شدند که به صورت مستقیم نسبت مفاهیم اجتماعی، ریشه‌های تاریخی این مفاهیم، و بروز آنها بر دانش روز موجود، فناوری‌های موجود، و رسیدن به جایگاه کنونی را نشان دهند. با نگرش تخصصی واحدهای آموزشی در ایران و با توجه به تنوع دروس برای جذب سلاقی مختلف دانشجویان رشته‌های مختلف، با عنوان برنامه مکمل آموزشی در این دانشگاه، شرط مهم‌تر انتخاب این دروس ارتباط با دانش معماری و حوزه‌های وابسته است؛ به طور نمونه در برنامه این دانشگاه دروسی با اهداف شناسایی و مدیریت نیازهای ویژه به هنگام وقوع بحران‌ها عرضه می‌شود که برای این موضوعات و موارد مشابه دیگر، ارتباط مستقیم آنها با معماری قابل شناسایی نیست.

30. S. Pfotenhauer and S. Jasanoff, "Panacea or Diagnosis? Imaginaries of Innovation and the 'MIT model' in Three Political Cultures", *Social Studies of Science*, vol. 47, no. 6 (2017): 783-810

جدول ۲. شرح درس‌های مرتبط با معماری و مفاهیم اجتماع در دانشگاه استنفورد، تدوین و ترجمه: نگارندگان بر اساس برنامه دانشگاه استنفورد <https://sts.stanford.edu>

| عنوان دروس عرضه‌شده                                              | عنوان فارسی در نظر گرفته‌شده                        | تعداد واحد | اصلی‌ترین اهداف                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Design Theory                                                    | نظریه‌های طراحی                                     | ۴          | چگونه برخی مفاهیم نظری و نظریه‌ها پایدار می‌مانند یا تغییر می‌کنند؟ چگونه می‌توان آنها را براساس تأثیرات بستر مطالعه کرد.                                                                                                                  |
| Ten Things: An Archaeology of Design                             | ده‌گانه باستانی طراحی                               | ۳          | ارتباط بین علم، فناوری، جامعه و ارزش‌های جامعه با مطالعه چگونگی شکل‌گیری اهرام مصر، شیشه‌ی عطر یونان باستان، قلعه قرون وسطایی، لامپ برق ادیسون، و ... با دیدگاه‌های میان‌رشته‌ای شامل باستان‌شناسی، انسان‌شناسی، تاریخ، جامعه‌شناسی، و ... |
| Design of Cities                                                 | طراحی شهرها                                         | ۳          | شهرها محل‌های نوآوری، تغییر، و کنون‌های اجتماعی هستند. شهرها از طریق رشد، توسعه صنعتی، و مصرف کالا، چالش‌های بزرگی را به وجود می‌آورند. چنین موضوعاتی با بررسی تاریخی کیفیت زندگی در شهرهای باستانی خاورمیانه، یونان، و روم بررسی می‌شود.  |
| History and Ethics of Design                                     | تاریخ و اصول طراحی                                  | ۴          | به بررسی تاریخ طراحی، چالش‌هایی که طراحان در مقاطع مختلف تاریخی با آن روبه‌رو بوده‌اند و شرایط اجتماعی و سؤالات اخلاقی ناشی از این انتخاب‌ها پرداخته می‌شود. در این درس با دیدگاهی متفاوت فرایند طراحی بررسی می‌شود.                       |
| Introduction to Social Networks                                  | شناخت ساختارهای اجتماعی                             | ۳          | تأثیر ساختارهای اجتماعی بر افراد و گروه‌ها در بسترهای مختلف مانند جامعه، محله، خانواده، و ...                                                                                                                                              |
| Foundations of Social Research                                   | مبانی تحقیقات اجتماعی                               | ۴          | بررسی نمونه‌ها، تدوین معیارهای معتبر، روش‌های جمع‌آوری داده‌ها، معیارهای ارزیابی کیفیت پژوهش‌های اجتماعی، و چگونگی انجام تحقیقات اجتماعی                                                                                                   |
| Environment and Society                                          | محیط و اجتماع                                       | ۴          | بررسی رابطه بشر و محیط زیست، با تمرکز بر نقش علم و فناوری پرداخته می‌شود، شامل مباحث: صنعتی شدن و مدرنیسم، عدالت و نابرابری‌های زیست‌محیطی، آب‌وهوا، تنش‌های جهانی و محلی، فناوری هسته‌ای و محیط زیست.                                     |
| Perspectives in Assistive Technology                             | نگرش‌ها به فناوری                                   | ۳          | بررسی چالش‌های پزشکی، اجتماعی، اخلاقی، و فنی درخصوص طراحی و توسعه. در این درس استفاده از فناوری‌هایی بررسی می‌شود که زندگی افراد به‌ویژه معلولان و افراد مسن را بهبود می‌بخشد.                                                             |
| Human Society and Environmental Change                           | جامعه انسانی و تغییر در علم                         | ۴          | با رویکردی میان‌رشته‌ای تعاملات انسان و محیط با تمرکز بر اقتصاد، سیاست، فرهنگ، معماری، تاریخ، و نقش دولت بررسی می‌شود.                                                                                                                     |
| Environmental Humanities: Finding Our Place on a Changing Planet | محیط‌های انسانی: جایگاه انسان در سیاره در حال تغییر | ۳          | چه چالش‌های فلسفی و اخلاقی زمینه‌ساز جدایی بشر از طبیعت و تسریع تخریب محیط زیست شده است؟ پارادایم‌های فرهنگی متضاد درخصوص روابط انسان و طبیعت بررسی می‌شود.                                                                                |
| Sociology of Science                                             | ساختار اجتماعی دانش                                 | ۳          | بررسی ساختار اجتماعی دانش از دیدگاه‌های مختلف - با نگرش محققان مختلف، توصیف چگونگی ساختار اجتماعی                                                                                                                                          |
| BioSecurity and Pandemic Resilience                              | امنیت زیستی                                         | ۲          | بررسی مسائل امنیت زیستی با تمرکز بر همه‌گیری کووید ۱۹ - بررسی راه‌های افزایش امنیت زیستی و تاب‌آوری و تأثیر الگوی شهرها، پتانسیل شهرها، معماری، و کنترل‌های اداری و مهندسی در افزایش تاب‌آوری به‌صورت انتقادی                              |

## ۲.۲. برنامه علم/ فناوری/ جامعه‌انستیتو فناوری ماساچوست

آموزش بر مبنای مفاهیم STS به‌صورت رسمی از سال ۱۹۸۸ در این دانشگاه شکل گرفت. در این دانشگاه از دانشجویان کارشناسی انتظار می‌رود که به درک درستی از زمینه‌های اجتماعی، تاریخی، و پیامدهای کار حرفه‌ای خود دست یابند. این برنامه برای آشنا کردن دانشجویان با دیدگاه‌های اجتماعی و فکری گسترده در زمینه‌های علوم و مهندسی عرضه می‌شود. در برنامه علم/ فناوری/ جامعه این دانشگاه، موضوعات تخصصی‌تری درباره تاریخ علم و فناوری و زمینه‌های اجتماعی فناوری عرضه می‌شود. برنامه آموزشی یادشده در انستیتو فناوری ماساچوست برای مقاطع کارشناسی و تحصیلات

31. D.G. Douglas, Deborah G. *The Social Construction of Technological Systems*. anniversary edition: New Directions in the Sociology and History of Technology (MIT press, 2012), 18-24

جدول ۳. شرح درس‌های مرتبط با معماری و مفاهیم اجتماع در دانشگاه MIT، تدوین و ترجمه: نگارندگان بر اساس برنامه انستیتو فناوری ماساچوست.

و عملی، تجدیدنظر در محتوای دروس عمومی، تنوع‌پذیری، افزایش واحدهای اختیاری، و همسویی با آموزش بین‌المللی بازبینی شده و از مهرماه ۱۳۹۶ لازم‌الاجراست. تحصیل در این دوره در ۹ نیم‌سال تحصیلی تعریف شده که ۲۷ واحد پایه، ۸۷ واحد اصلی، و ۸ واحد اختیاری تعریف شده است.<sup>۵۱</sup> دروس آموزش معماری ایران را می‌توان در گروه‌های دروس طراحی، دروس مرتبط با تاریخ/ نظریه‌ها، و دروس فن ساختمان دسته‌بندی کرد. از میان اینها به‌نظر می‌رسد مفاهیم اجتماعی با درس‌های طراحی و درس‌های تاریخی ارتباط مستقیمی خواهند داشت. در «جدول ۴» دروس مرتبط با مفاهیم اجتماعی ارائه شده است.

بر اساس برنامه آموزش معماری ایران می‌توان گفت مفاهیم اجتماعی در حداقل ۶۷ واحد به‌صورت مستقیم اثرگذار هستند و نیاز به بحث و بررسی دارند. اما میزان توجه به مفاهیم

جایگاه کنونی را نشان دهند. در برنامه این دانشگاه با تمرکز بر تاریخ و تجربیات آن، نگاه متفاوت به جایگاه کنونی هر پدیده بیان می‌شود. با نگرش تخصصی واحدهای آموزشی در ایران و با توجه به تنوع دروس برای جذب سلاقی مختلف دانشجویان رشته‌های مختلف، با عنوان برنامه مکمل آموزشی در این دانشگاه، شرط مهم‌تر انتخاب این دروس ارتباط با دانش معماری و حوزه‌های وابسته است؛ به‌طور نمونه در برنامه این دانشگاه دروسی با اهداف چگونگی حفظ حریم شخصی در عصر اطلاعات عرضه می‌شود که برای این موضوعات و موارد مشابه دیگر ارتباط مستقیم آنها با معماری قابل‌شناسایی نیست.

## ۳.۲. برنامه آموزشی دانشگاه‌های ایران

بر اساس آخرین مصوبه وزارت علوم در سال ۱۳۹۵، آموزش در رشته معماری ایران با هدف افزایش ارتباط میان دروس نظری

| عنوان دروس ارائه‌شده                                               | عنوان فارسی در نظر گرفته‌شده                | تعداد واحد | اصلی‌ترین اهداف                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ancient Greeks to Modern Geeks: A History of Science               | یونان باستان تا مدرن                        | ۳          | چگونگی اثر ساختارهای اجتماعی بر عملکردهای علمی، ساختارهای شهری، و ارتباطات انسانی                                                                                                                                                                                                                                      |
| Intersections: Science, Technology, and the World                  | هم‌پوشانی علم، فناوری، و جهان               | ۳          | آشنا شدن دانشجویان با رویکردی میان‌رشته‌ای با درگیری‌های حقوقی، سیاسی، هنر، رسانه‌های ارتباطی، و مفاهیم اجتماعی. درواقع تلاش برای بیان روشن اینکه هر شاخه دانش، در نسبت و ارتباط با سایر علوم قرار دارد.                                                                                                               |
| Data and Society                                                   | داده‌ها و اجتماع                            | ۳          | آشنا شدن دانشجویان با جنبه‌های اجتماعی، سیاسی و اخلاقی داده و اطلاعات آشنا. هدف تقویت نگرش انتقادی در چگونگی جمع‌آوری، تجمع و تجزیه و تحلیل داده‌ها به هر روش مطالعاتی.                                                                                                                                                |
| History of Technology and Experience                               | تاریخ فناوری و تجربه                        | ۳          | «تاریخ درونی» فناوری را معرفی می‌کند: چگونه بر تجربه انسان از دیدگاه‌های جامعه‌شناختی، روان‌شناختی، و انسان‌شناختی تأثیر می‌گذارد؛ به‌طور نمونه چگونه اینترنت تجربه ما از مکان، شهر، حریم خصوصی و تعامل اجتماعی را تغییر می‌دهد. چگونه فناوری به کمک تلاش‌های اخلاقی، تاریخی، فرهنگی، اجتماعی، و سیاسی خاص گسترش یافت؟ |
| Science in Action: Technologies and Controversies in Everyday Life | علوم عملی: فناوری‌ها و دانش در زندگی روزمره | ۳          | بررسی نظرات مختلف درخصوص نقش فناوری، ماهیت تحقیقات علمی با نیازهای جامعه در علوم مختلف                                                                                                                                                                                                                                 |
| Seven Wonders of the Engineering World                             | عجایب در دنیای مهندسی                       | ۳          | بررسی ماهیت و ریشه‌های مهندسی به‌عنوان منبع تولید / کاربرد دانش، چگونگی بازتاب ویژگی‌های اجتماعی در آن، چگونگی تغییر علوم با ورود به محیط‌های اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی مختلف.                                                                                                                                         |
| Science Communication: A Practical Guide                           | ارتباط‌های علمی و عملی                      | ۳          | چگونه مرتبط شدن دانش و علم هر فرد با مؤلفه‌های محیطی و اجتماعی                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Social and Political Implications of Technology                    | پیامدهای اجتماعی و سیاسی فناوری             | ۳          | مطالعه تاریخی برای کشف تعامل فناوری با ارزش‌های اجتماعی و سیاسی. نحوه تأثیرگذاری دستگاه‌ها، ساختارها، و سیستم‌های فناوری بر سازمان جامعه و رفتار اعضای آن. بررسی نمونه‌هایی از فناوری‌های جنگ، حمل‌ونقل، ارتباطات، طراحی، شهرسازی، و تولید و بازتولید.                                                                 |
| Technocracy                                                        | فن‌سالاری                                   | ۳          | بررسی تاریخی تلاش برای به‌کارگیری روش‌های علمی و ابزارهای فناوری برای حل مشکلات اجتماعی و سیاسی، شامل برنامه‌ریزی شهری و شهرسازی، معماری، مدیریت منابع طبیعی، آموزش عمومی، توسعه اقتصادی، کمی‌سازی و مدل‌سازی در علوم اجتماعی، انتقال فناوری، و ...                                                                    |

32. Mansour, "Science / Technology / Society (STS) a New Paradigm in Science Education", 287-297.

33. S. Bhattacharya, "Science and Innovation in the 21st Century: New Paradigms and Challenges for Policy Design", *Current Science*, vol. 118, no. 3 (2020): 348-349.

34. M. Decuypere, "STS in/as Education: Where Do We Stand and What Is There (still) to Gain? Some Outlines for a Future Research Agenda", *Discourse: Studies in the Cultural Politics of Education*, vol. 40, no. 1 (2019): 136-145.

جدول ۴ (بالا). درس‌های عرضه‌شده مرتبط با مفاهیم اجتماع در مقطع کارشناسی معماری ایران، تدوین: نگارندگان بر اساس طرح شورای عالی برنامه‌ریزی آموزشی: شورای عالی برنامه‌ریزی آموزشی، سرفصل دروس دوره کارشناسی معماری، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، ۱۳۹۵.

جدول ۵. (پایین). دروس منتخب و مرتبط با مفاهیم اجتماع در مقطع کارشناسی معماری ایران، تدوین: نگارندگان بر اساس مصوبه شورای عالی برنامه‌ریزی: همان.

سطح دانشجویان و دانشگاه، دانش و تسلط استاد، گستردگی مباحث هر درس، و ... متفاوت خواهد بود. بنابراین می‌توان بر اساس شرح درس موجود، دروسی را که در آنها به‌صورت مستقیم به اهمیت مفاهیم اجتماعی اشاره شده است، تحلیل و بررسی کرد. دروس در «جدول ۵» بر این اساس انتخاب شده‌اند. در این جدول با توجه به شرح درس‌های مرتبط با مفاهیم اجتماعی در برنامه آموزشی مقطع کارشناسی معماری تهیه و تلاش شده است تا اصلی‌ترین اهداف بیان شود.

### ۳. تحلیل و یافته‌ها

با توجه به شرح درس‌های عرضه‌شده، در اینجا تلاش می‌شود تا تناسبات میان اهداف هر دانشگاه در بیان مفاهیم اجتماعی شناسایی شود. در مطالعه شرح درس‌ها، اهداف و نتایج مورد انتظار هر درس، عبارت‌ها و توصیفات مشترکی را می‌توان در منطق و نحوه بیان آنها یافت. این تعبیر و اصطلاحات در «جدول ۶» قابل‌مشاهده است. بر اساس این جدول، مفاهیم و اهداف اصلی درس‌ها در سه گروه تقسیم‌بندی می‌شوند: گروه

اجتماعی در کلاس‌های مختلف، بسته به شرایطی همچون

| گروه                      | عنوان دروس                    | تعداد واحدها | مجموع |
|---------------------------|-------------------------------|--------------|-------|
| دروس طراحی                | مقدمات معماری ۱               | ۵            | ۴۱    |
|                           | مقدمات معماری ۲               | ۵            |       |
|                           | طرح معماری ۱                  | ۵            |       |
|                           | طرح معماری ۲                  | ۵            |       |
|                           | طرح معماری ۳                  | ۵            |       |
|                           | طرح معماری ۴                  | ۵            |       |
|                           | طرح معماری ۵                  | ۵            |       |
|                           | طرح نهایی                     | ۶            |       |
| درس‌های تاریخی و نظریه‌ها | مبانی نظری معماری             | ۲            | ۲۶    |
|                           | معماری جهان                   | ۲            |       |
|                           | معماری اسلامی ۱               | ۲            |       |
|                           | معماری اسلامی ۲               | ۲            |       |
|                           | معماری معاصر ۱                | ۲            |       |
|                           | معماری معاصر ۲                | ۲            |       |
|                           | فرایند طراحی در معماری        | ۲            |       |
|                           | تحلیل و طراحی روستا           | ۳            |       |
|                           | مبانی برنامه‌ریزی فضاهای شهری | ۲            |       |
|                           | طراحی فضاهای شهری             | ۳            |       |
|                           | آشنایی با اصول حفاظت و مرمت   | ۳            |       |
|                           | انسان، طبیعت، معماری          | ۲            |       |

| عنوان              | تعداد واحد | اصلی‌ترین اهداف                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| انسان‌طبیعت‌معماری | ۲          | آشنایی با ارتباط میان طبیعت و معماری و توجه به نقش انسان در خلق معماری، اندیشیدن به راهکارهایی با الهام از طبیعت برای پاسخ‌گویی، بررسی، و مطالعه ارتباط میان معماری و فرهنگ.                                                                                         |
| معماری جهان        | ۲          | شناخت عوامل شکل‌دهنده معماری و ویژگی‌های سبکی دوره‌های مختلف در عین تحلیل ضمنی ریشه‌های فکری و مؤلفه‌های اجتماعی، فرهنگی، و اعتقادی تأثیرگذار بر گونه‌گونی آثار                                                                                                      |
| معماری اسلامی ۲    | ۲          | معماری برخاسته از شرایط مسلط اجتماعی، اقتصادی، مذهبی، و اقلیمی است و تا تغییر این شرایط معماری براساس الگوهای پیشین خود جلو خواهد رفت. دیگر اهداف این درس: آشنایی با معماری ایران و میزان تأثیر و تأثر از هنر و معماری سایر کشورها.                                  |
| طراحی معماری ۲     | ۵          | طراحی با هدف تطبیق با شرایط محیطی، تطبیق با اقتصاد و مسائل اعتقادی، اجتماعی، انطباقی فضاها با رفتارها، توجه به کیفیت فضاها و طراحی معمارانه با توجه به هویت اجتماعی                                                                                                  |
| طراحی معماری ۳     | ۵          | شکل و کالبد بنا باید آرمان‌ها و ارزش‌های جامعه و معانی نهفته در کارکرد آن را جلوه دهد. روح فرهنگی جاری در بنا، ساختمان را از بُعد صرفاً مادی و کالبدی خارج می‌کند و در زمینه مفاهیم اجتماعی و تداوم ارزش‌های دیرینه و پایدار، بنا را به‌سوی اثری ماندگار ارتقا بخشد. |
| طراحی معماری ۵     | ۵          | حصول آگاهی لازم در راستای طراحی مجموعه‌های مسکونی در مقیاس خرد و کلان با در نظر گرفتن عوامل مؤثر مانند شرایط محیطی / اقلیمی، شرایط اجتماعی / فرهنگی و ویژگی‌های اقتصادی                                                                                              |
| طراحی نهایی        | ۵          | تمرین طراحی در مواجهه با عوامل محیطی، اقلیمی، اجتماعی و اقتصادی، و تنظیم شرایط محیطی در مقیاس واحدها و مجموعه‌های مسکونی توجه به وحدت و انسجام طرح و تألیف درست همه عوامل محیطی، هنری، و فنی تأثیرگذار بر طرح از ضروریات این طرح است.                                |

35. G.S. Aikenhead, "Research into STS Science Education". *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, vol. 9, no. 1 (2009): 1-12.
36. A. Prasad, "Anti-science Misinformation and Conspiracies: COVID-19, Post-truth, and Science & Technology Studies (STS)". *Science, Technology and Society*, vol. 27, no. 1 (2022): 88-112.
37. E.G. Carayannis, et al., "Known Unknowns in an Era of Technological and Viral Disruptions—implications for Theory, Policy, and Practice". *Journal of the Knowledge Economy*, (2021): 1-24.

جدول ۶ ادبیات استفاده شده در توصیف اهداف درس‌های برنامه STS، تدوین: نگارندگان.

اول را می‌توان درس‌هایی دانست که متمرکز بر شناخت مفاهیم و یادگیری هستند. در این دروس، تمرکز بر ریشه‌ها، نمونه‌ها و ساختارهاست. گروه دوم درس‌هایی با هدف تقویت ادراک محیط و برداشت اطلاعات از محیط هستند. در این دروس، هدف فهم چگونگی ارتباط‌ها، تأثیرات، و چگونگی ارزیابی است. در گروه سوم شرح درس‌های عرضه‌شده، چگونگی استفاده از این مفاهیم در فرایند طراحی را بیان می‌کنند. در این دروس، هدف چگونگی حل مسائل، دنبال کردن نتایج، و مدیریت شرایط برای تصمیم‌گیری است.

بر اساس الگوی مستخرج برای تقسیم و گروه‌بندی دروس، تلاش می‌شود تا درس‌های مرتبط با مفاهیم اجتماعی در برنامه علم/ فناوری/ جامعه دانشگاه استنفورد، انستیتو فناوری ماساچوست، و برنامه آموزش معماری دانشگاه‌های ایران (جدول ۲، ۳، و ۵) بر اساس سه گروه شناخت، برداشت، و کاربری تفکیک و نسبت هریک در هر برنامه آموزشی تبیین شود. در «ت ۱» بررسی و مقایسه این مفاهیم مشاهده می‌شود. بر اساس «ت ۱» و تفکیک دروس این سه دانشگاه در گروه شناخت، برداشت، و کاربری می‌توان گفت در مفاهیم برنامه آموزشی علم/ فناوری/ جامعه، هدف تقویت شناخت و آگاهی دانشجویان از مسائل اجتماعی و افزایش توانمندی آنان در استخراج موضوعات مرتبط از بستر و آگاهی از تأثیرات آن خواهد بود. در آموزش معماری دانشگاه‌های ایران، بیش از یادگیری و برداشت، تمرکز بر کاربری این موضوعات و ظهور و بروز آنها در معماری است و اشاره‌هایی که با منطق‌های شناخت و برداشت وجود دارد، پراکنده، بدون توجه به سیر زمانی فرایند شناخت - برداشت - کاربری هستند و تکمیل‌کننده و فراهم‌کننده زمینه‌های این سیر نیستند. شاید بتوان این تمایز را در نوع نگرش و نگاه برنامه STS به‌مثابه برنامه‌ای مکمل و برنامه آموزش معماری ایران به‌مثابه برنامه‌ای اختصاصی دانست؛ اما منطقی است اگر انتظار رود همچون برنامه علم/ فناوری/ جامعه، ابتدا دانشجویان مفاهیم مرتبط اجتماعی را فراگیرند و ریشه‌ها، نمونه‌ها، و ساختارهای مرتبط را بشناسند و سپس در مرحله بعد و دروس بعدی، بتوانند ارتباط‌ها، تأثیرات، و چگونگی ارزیابی را بیاموزند تا در مرحله آخر و واحدهای پایانی، چگونگی استفاده و کاربری صحیح این مطالب را فراگیرند.

از یک‌سو، فارغ‌التحصیلان معماری، در جایگاه معماران آینده، می‌توانند تأثیری گسترده بر جنبه‌های مختلف محیطی و محیط اجتماعی داشته باشند و معماری را می‌توان یکی از رشته‌هایی دانست که نسبت آن با مؤلفه‌هایی، همچون ساختارهای اجتماعی، به‌قدری پررنگ است که به‌راحتی می‌تواند تأثیر بگذارد و یا بپذیرد و این امر ضرورت آگاهی از پیامدهای اجتماعی هر اثر معماری را به‌دنبال دارد. از سوی دیگر، امکان

| ردیف | گروه‌بندی                   | ادبیات استفاده‌شده برای بیان اهداف درس                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | شناخت مفاهیم و یادگیری      | Treats the emergence of ..., the rise of ..., and addresses subject matter in Society ..., gain professional perspective through ..., Emphasizes how the technical and social processes are produced, present and future of social sciences from perspective of ..., exploring meanings of science and technology from traditions, experiences, and literatures of regions.                                                                                                                 |
| ۲    | ادراک محیط و برداشت اطلاعات | Views technology as part of ..., as a process consisting of ..., chosen or rejected according to social criteria of the time, Surveys research on..., how to consider issues of scientific, technological, and social concern, ... reflects tensions between societal needs, how to examine the development of..., Examines the past, how to focus on science and technology and cultural and political context..., explore the interaction of technology with social and political values. |
| ۳    | چگونگی و کاربری مفاهیم      | To pursue special projects at ..., in professional internship experiences..., how to apply scientific methods and technological tools to solve social and political problems, considering the history and legacy of cold war/internet and etc., on a decision.                                                                                                                                                                                                                              |

38. Community  
39. Society  
40. Social Roots  
41. Human Society  
42. Ancient Roots  
43. History of societies in...  
44. History of...  
45. The Emergence of...  
46. <http://www.stanford.edu>  
47. Catastrophic Risks and Solutions, Communication and Media, Innovation and Organization, Life Sciences and Health, Politics and Policy, Social Dynamics of Data and Information, Self-Designed Concentration.  
48. <http://www.sts.stanford.edu>  
49. <http://www.majors.stanford.edu-July2023>  
50. <http://www.mit.edu>

۵۱. شورای عالی برنامه‌ریزی آموزشی، سرفصل دروس دوره کارشناسی معماری، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، ۱۳۹۵.

ت ۱. مقایسه مفاهیم مرتبط با اجتماع در برنامه STS دانشگاه‌های استنفورد، MIT، و درس‌های مرتبط آموزش معماری در ایران، تدوین و پژوهش: نگارندگان.

بر اساس: الف) تناسب اهداف، نتایج مورد انتظار، و شرح درس موجود؛ ب) سیر زمانی مطلوب یادگیری شناخت - برداشت - کاربست؛ پ) ترتیب زمانی عرضه دروس در آموزش معماری ایران، از اهداف و برنامه‌های موجود در برنامه علم/ فناوری/ جامعه برای تکمیل و تقویت برنامه آموزشی معماری ایران بر اساس سیر شناخت - برداشت - کاربست استفاده گردد. در «ت ۲» تناسبات زمانی میان سیر شناخت - برداشت - کاربست با ترتیب زمانی عرضه دروس در آموزش معماری ایران نشان داده شده است. با توجه به تمرکز این پژوهش بر مفاهیم اجتماعی، از میان درس‌های اختصاصی آموزش معماری ایران و بر مبنای شرح درس موجود، درس‌های انسان طبیعت معماری،

تغییر در محتوا و نگرش درس‌های مکمل (درس‌های آموزشی عمومی) در ایران وجود ندارد و به نظر می‌رسد باید به نحوی برای تکمیل سیر شناخت - برداشت - کاربست، بخشی از این خلل را به کمک آموزش در برنامه اختصاصی و توجه به مباحثی موجود در برنامه علم/ فناوری/ جامعه جبران کرد.

بر اساس تقسیم دروس سه دانشگاه در گروه‌های شناخت، برداشت، و کاربست و با توجه به تمرکز بیشتر برنامه آموزش معماری ایران بر کاربست، به نظر می‌رسد می‌توان از مفاهیم موجود در برنامه علم/ فناوری/ جامعه دو دانشگاه استنفورد و انستیتو ماساچوست برای تقویت شناخت و برداشت در آموزش معماری ایران استفاده کرد. بر این اساس، تلاش می‌شود تا

| تمرکز مفاهیم دروس                                                                                                                                                                                                                | دانشگاه استنفورد                                                                                                                                                                                                                             | دانشگاه MIT                                                                                                                                                                                                                                             | دانشگاه‌های ایران                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| مفاهیم مرتبط با یادگیری و شناخت مفاهیم اجتماعی                                                                                                                                                                                   | امنیت زیستی<br>ساختار اجتماعی دانش<br>فناوری و کیفیت زندگی<br>ارتباط بشر با محیط زیست<br>تأثیر شبکه‌های اجتماعی بر نهادها<br>ارتباط میان جامعه با فناوری<br>تأثیر بستر بر ماندگاری نظریه‌های معماری<br>چالش‌های اجتماعی در بهبود کیفیت زندگی | جنبه‌های اجتماعی علم<br>تأثیر جنگ بر تغییر معماری<br>ارتباط علم با پویایی اجتماعی و...<br>تأثیر علم در تغییر دیدگاه اجتماعی<br>تأثیر زمینه اجتماعی بر عملکرد علمی<br>تعامل علم و فناوری با ارزش‌های اجتماعی<br>درگیری هنر، رسانه و... با مفاهیم اجتماعی | ارتباط میان اجتماع و معماری<br>ریشه‌های اجتماعی شکل‌دهنده معماری                                                                           |
| مفاهیم مرتبط با چگونگی برداشت و دریافت اطلاعات مرتبط با مفاهیم اجتماعی از محیط                                                                                                                                                   | پارادایم‌های اجتماعی متضاد<br>نوع تعاملات انسان و محیط<br>چگونگی انجام پژوهش‌های اجتماعی                                                                                                                                                     | ارتباط دانش هر شخص با اجتماع<br>چگونگی بازتاب علم در اجتماع، فرهنگ و...                                                                                                                                                                                 | شناخت اصول اجتماعی در ادراک بنا<br>توانایی استخراج مولفه‌های محیطی در طراحی                                                                |
| مفاهیم مرتبط با چگونگی کاربست اطلاعات مرتبط با مفاهیم اجتماعی از محیط                                                                                                                                                            | تأثیر اجتماع در تصمیم‌گیری‌ها                                                                                                                                                                                                                | روش‌های علمی موثر در حل مشکلات اجتماعی                                                                                                                                                                                                                  | تأثیر شرایط مسلط اجتماعی در معماری<br>تأثیر شرایط اجتماعی در طراحی<br>ظهور آرمان‌های اجتماعی در کالبد<br>تطبیق اقتصاد اجتماع و... در طراحی |
| <div> <div>اهداف مرتبط با مفاهیم اجتماعی بر اساس برنامه STS دانشگاه استنفورد</div> <div>اهداف مرتبط با مفاهیم اجتماعی بر اساس برنامه STS دانشگاه MIT</div> <div>اهداف مرتبط با مفاهیم اجتماعی در آموزش معماری ایران</div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                            |

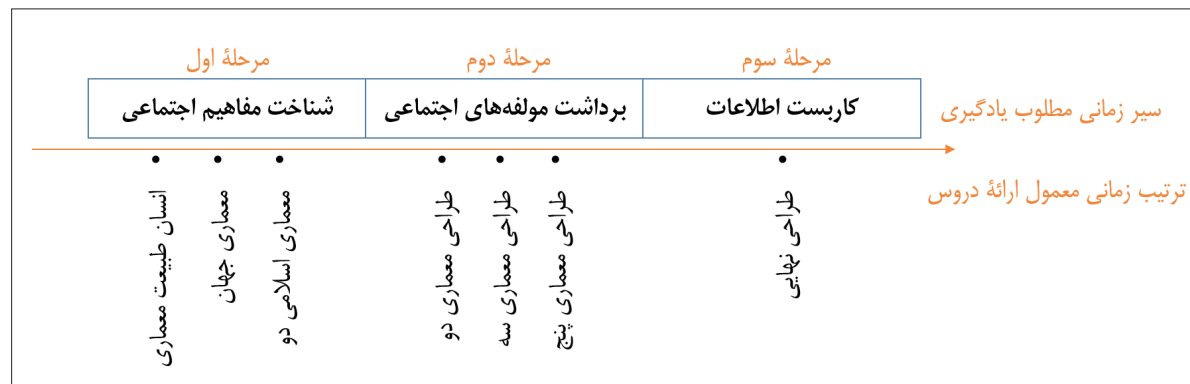
سلامت و بقای جوامع و اکوسیستم‌ها را در سراسر جهان تهدید می‌کند. کدام چالش‌های فلسفی و اخلاقی زمینه‌ساز جدایی بشر از طبیعت و تسریع تخریب بی‌سابقه محیط زیست است؟ همه‌گیری کووید ۱۹ اهمیت امنیت زیستی و جایگاه زیست‌بوم را به‌خوبی نشان داده است؛ پس ضروری است با توجه به این تجربه، در فرایند طراحی به پیامدهای هر تصمیمی آگاه بود و برای تقویت حوزه‌های تاب‌آوری مؤثر از معماری تلاش کرد.

برای بهبود اهداف درس معماری جهان می‌توان از شرح درس «یونان باستان تا مدرن»<sup>۵۵</sup> و «ارتباط‌های علمی و عملی»<sup>۵۶</sup> از برنامه دانشگاه استنفورد (جدول ۲) و «ساختارهای اجتماعی»<sup>۵۷</sup> از برنامه انستیتو فناوری ماساچوست (جدول ۳) برای تقویت حوزه‌های مرتبط با این درس بهره برد. بنابراین اهداف این درس را با تمرکز بر مرحله شناخت می‌توان این‌گونه توصیف کرد تا اهداف تقویت‌کننده مرحله شناخت مفاهیم اجتماعی روشن‌تر عرضه شود: شناخت عوامل شکل‌دهنده معماری و ویژگی‌های سبکی دوره‌های مختلف تاریخی و جغرافیایی همراه با تحلیل ریشه‌های فکری و مؤلفه‌های اجتماعی و اعتقادی تأثیرگذار؛ بررسی تأثیر خرد جمعی و گسترش فضاهای تقویت‌کننده ارتباطات جمعی در گسترش معماری و به‌عکس نقش معماری در تقویت ارتباطات جمعی و

معماری جهان، معماری اسلامی<sup>۲</sup>، طراحی معماری<sup>۳</sup>، طراحی معماری<sup>۵</sup>، و طرح‌نمایی که به‌صورت مستقیم به مفاهیم اجتماعی اشاره شده است، انتخاب می‌گردد و بر اساس سه شرط گفته‌شده تلاش می‌شود تا با اضافه شدن مفاهیم مستخرج از برنامه علم/ فناوری/ جامعه، پیشنهادهایی به این اهداف و شرح دروس اضافه گردد.

در درس انسان‌طبیعت‌معماری به‌نظر می‌رسد بر اساس ارتباط میان مفاهیم، از شرح درس سه عنوان «محیط و اجتماع»<sup>۵۲</sup>، «امنیت زیستی»<sup>۵۳</sup>، و «انسان و محیط زیست»<sup>۵۴</sup> از برنامه آموزشی علم/ فناوری/ جامعه دانشگاه استنفورد (جدول ۲) می‌توان استفاده کرد و می‌توان اهداف درس انسان‌طبیعت‌معماری را با تمرکز بر مرحله شناخت، این‌گونه بیان کرد تا اهداف مرحله شناخت مفاهیم اجتماعی تقویت شود: هدف اصلی این درس آشنایی دانشجویان با ارتباط معماری و طبیعت و توجه به نقش انسان در ارتباطی است که میان خود و طبیعت برقرار می‌کند. بشر در طول تاریخ جهان را تغییر داده و اکنون با درک پیامدهای اعمال خود، موظف است از طبیعت حفاظتی دائمی داشته باشد. این درک نگرش انسان را تنها برای طبیعت تغییر نمی‌دهد، بلکه در شناخت او از مفهوم عدالت و نگرش‌های سیاسی نیز مؤثر است. تخریب سریع زمین

- 52. Environment and Society
- 53. BioSecurity and Pandemic Resilience
- 54. Environmental Humanities: Finding Our Place on a Changing Planet
- 55. Ancient Greeks to Modern Geeks: A History of Science
- 56. Science Communication: A Practical Guide
- 57. Introduction to Social Networks



ت ۲. تناسبات زمانی میان سیر یادگیری شناخت - برداشت - کاربرد و ترتیب زمانی عرضه دروس در برنامه آموزش معماری ایران.

نمود آن در معماری دوره‌های مختلف تاریخی همچون یونان و روم؛ بررسی و مطالعه نیازهای جمعی و تغییر نگرش جمعی در خلق الگوهای جدید خانه، محله، و ...؛ پیدایش نیازهای جدید معماری با تغییر رویکردهای اجتماعی.

برای تقویت اهداف درس معماری اسلامی<sup>۲</sup>، شرح درس «نظریه‌های طراحی»<sup>۵۸</sup> از برنامه دانشگاه استنفورد (جدول ۲) و «فناوری و تجربه»<sup>۵۹</sup> و «پیامدهای اجتماعی و سیاسی فناوری»<sup>۶۰</sup> از برنامه انستیتو فناوری ماساچوست (جدول ۳) قابل بررسی هستند. شاید بتوان اهداف درس معماری اسلامی<sup>۲</sup> را با تمرکز بر مرحله شناخت این گونه تکمیل کرد تا اهداف تقویت‌کننده مرحله شناخت مفاهیم اجتماعی بهتر بیان شود: معماری برخاسته از شرایط مسلط اجتماعی، اقتصادی، و مذهبی و متأثر از شرایط اقلیمی است. بنابراین تا تغییر شرایط فوق، هنر و معماری بر روند تبعیت از اصول گذشته‌اش ادامه می‌دهد. بررسی اندیشه‌های معمار و نظریه‌های معماری به درک وقایع و اتفاقات کمک خواهد کرد و تلاش خواهد شد وقایع را نه به صورت زمانی که به صورت موضوعی با سنجش همه عوامل مؤثر بر آن مطالعه و ارزیابی شود. در این درس تلاش خواهد شد تا حوزه‌های دیگر که باعث تغییر هویت افراد و نگرش آنها و به دنبال آن تغییر بافت زندگی و معماری آنها شده است، بررسی شود؛ به طور نمونه می‌توان این موضوع را طرح کرد که آیا تغییر در پوشش ایرانیان به پیروی تغییر مفاهیم ارتباطی میان انسان‌ها پس از اسلام در تفاوت و تمایز در سبک و سیاق بناها و معماری آنها مؤثر بوده است؟ چگونه ارزش‌های اجتماعی در تغییر اولویت نیازهای مردم نقش ایفا می‌کنند و چگونه علم و دانش در راستای ارزش‌های اجتماعی گام برمی‌دارد؟

برای بهبود اهداف طرح معماری<sup>۲</sup>، شرح درس «ساختار اجتماعی دانش»<sup>۶۱</sup> و «تاریخ و اصول طراحی»<sup>۶۲</sup> از برنامه

دانشگاه استنفورد (جدول ۲) و «علم در عمل: فناوری و تضاد»<sup>۶۳</sup> از برنامه انستیتو فناوری ماساچوست (جدول ۳) راهکارهایی برای تقویت حوزه‌های مرتبط با هم را پیش رو خواهند گذاشت. بر این اساس، اهداف این درس می‌تواند این گونه با تمرکز بر مرحله برداشت تکمیل شود تا اهداف تقویت‌کننده مرحله برداشت روشن‌تر عرضه گردد: تطبیق با اقتصاد و مسائل اعتقادی، اجتماعی مانند تعیین عرصه‌های خصوصی و عمومی، انطباق فضاها با رفتارها، توجه به شرایط سنی و روحی افراد ساکن و غیرساکن از جمله اهداف این درس است. با توجه به اینکه این درس اولین درس عملی است که حاوی عناوین اجتماعی، به صورت مستقیم، است، به نظر می‌رسد فرصت مناسبی برای تقویت توانایی افراد در کسب اطلاعات اجتماعی از بستر طراحی است. بنابراین در این درس انتظار می‌رود آگاهی دانشجویان برای درک تأثیر اجتماع بر علم معماری و چگونگی شکل‌گیری پاسخ‌ها بر اساس مفاهیم اجتماعی تقویت شود. همچنین دانشجویان در یک کار عملی با یافتن پاسخ برای خواسته‌ها و نیازهایی متضاد که ممکن است در طراحی با آن مواجه شوند آشنا می‌شوند. در این درس درک دانشجویان بر تأثیری که می‌تواند طراحی آنها بر بافت یک محله داشته باشد، تقویت خواهد شد.

در ادامه، برای تقویت اهداف طرح معماری<sup>۳</sup> از شرح درس «جامعه انسانی و تغییر در علم»<sup>۶۴</sup> و «عجایب در دنیای مهندسی»<sup>۶۵</sup> و «ده‌گانه باستانی طراحی»<sup>۶۶</sup> (مستخرج از جداول ۲ و ۳) استفاده شده است. اهداف این درس را می‌توان این گونه با تمرکز بر مرحله برداشت تکمیل کرد تا اهداف تقویت‌کننده مرحله برداشت تبیین شود. به نظر می‌رسد مطالعه و طراحی در بستر یک طرح باید با درک درستی از چگونگی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری از بستر همراه باشد. مطالعه عملکردهای موجود در محدوده بستر و چگونگی شکل‌گیری تعاملات اجتماعی

58. Design Theory
59. Technology and Experience
60. Social and Political Implications of Technology
61. Sociology of Science
62. History and Ethics of Design
63. Science in Action: Technologies and Controversies in Everyday Life
64. Human Society and Environmental Change
65. Seven Wonders of the Engineering World
66. Ten Things: An Archaeology of Design

و تلاش برای بهبود و تقویت تعاملات می‌تواند کمک‌کننده باشد. نوع دانش و میزان آگاهی افراد در خلق فضاها برای تقویت تعاملات اجتماعی نقش مؤثری خواهد داشت. از سوی دیگر، باید از پتانسیل موجود در فناوری‌های روز برای خدمت به جامعه استفاده شود و باید توجه داشت که فناوری همیشه محاسن و معایب را به‌صورت هم‌زمان دارد و لازم است با مرور تجربیات مختلف به این سؤال فکر شود که چگونه می‌توان اثرات منفی را به حداقل و محاسن را به حداکثر رساند؟

برای بهبود اهداف طرح معماری<sup>۶۵</sup>، نگاهی بر شرح درس «داده‌ها و اجتماع»<sup>۶۷</sup> و «مبانی تحقیقات اجتماعی»<sup>۶۸</sup> و «هم‌پوشانی علم، فناوری، و جهان»<sup>۶۹</sup> (مستخرج از جدول‌های ۲ و ۳) مفید خواهد بود. در این درس پیشنهاد می‌شود تا دانشجویان متمرکز بر مرحله برداشت اطلاعات باشند، اما بتوانند زیر نظر اساتید چگونگی تبدیل این اطلاعات به اطلاعاتی قابل‌کاربرد در طراحی را نیز دریابند و بر اساس شرح درس موجود، اهداف این درس را با تمرکز بر مرحله برداشت، این‌گونه تکمیل کنند تا بتوانند اهداف مرحله برداشت اطلاعات برای تبدیل به منطقی برای کاربرست مفاهیم اجتماعی را بهتر بیان کنند؛ با در نظر گرفتن جامعیت و بین‌رشته‌ای بودن معماری، هدف این درس تلاش برای تألیف نظام‌های عملکردی، سازه‌ای، و تأسیساتی در قالب یک طرح است. در این دوره پیشنهاد می‌شود یک پژوهش کوچک درباره موضوعات اجتماعی در بستر طراحی انجام شود تا دانشجویان با چگونگی و نحوه انجام پژوهش‌های اجتماعی به‌درستی آشنا شوند. در دروس پیش، چگونگی همسویی طرح با مفاهیم اجتماعی تمرین شد؛ در این درس تلاش می‌شود تا چگونگی معرفی طرح به جامعه و تلاش برای پیش‌بینی واکنش مخاطبان و جامعه انجام شود. در انتها، برای ارتقای اهداف طرح نهایی از شرح درس «نگرش‌ها به فناوری»<sup>۷۰</sup> و «فن‌سالاری»<sup>۷۱</sup> (مستخرج از جداول

67. Data and Society

68. Foundations of Social Research

69. Intersections: Science, Technology, and the World

70. Perspectives in Assistive Technology

71. Technocracy

۲ و ۳) برای بهبود اهداف این درس استفاده شده است. بر اساس شرح درس موجود، پیشنهاد می‌شود اهداف این درس با تمرکز بر مرحله کاربرست این‌گونه بیان شود تا اهداف مرحله شناخت مفاهیم اجتماعی تقویت گردد: در این درس از دانشجویان انتظار می‌رود که بدانند سیاق اجتماعی چه تأثیری در کار آنان دارد و با آگاهی از این موضوع تصمیم بگیرند. همچنین با تجربه‌ای که از دروس پیشین در حوزه اجتماع آموخته‌اند، بتوانند روش‌های مؤثر در حل مشکلات طرح را با توجه به دانش شخصی و نیازهای پروژه، به‌صورتی همسو با سیاق اجتماعی، پیش برند. طبعاً با توجه به نهایی بودن این طرح، می‌توان توانایی کاربرست دانش و آموخته‌های پیشین در انجام یک پروژه جامع را از دانشجویان انتظار داشت.

#### ۴. جمع‌بندی

بر مبنای اصول STS، ضرورت آگاهی از جایگاه اجتماعی و توانایی تجزیه و تحلیل رخدادهای بیان شد. اجرای برنامه علم/فناوری/جامعه یعنی تلاش برای آنکه میان دانشجویان، به‌منزله اعضای یک جامعه، تصمیم‌های آنها، تخصص‌های علمی آنها، و جامعه ارتباط برقرار شود. بر اساس این برنامه آموزشی تلاش می‌شود تا با بررسی ساختار اجتماعی و شرایط فناوری در دوره‌های تاریخی مختلف، اهمیت تصمیم‌گیری‌ها و تئیدگی این موضوعات با یکدیگر برای دانشجویان تبیین شود تا بتوانند در آینده در تصمیم‌گیری‌هایشان، شهروندی مسلط بر امور جامعه باشند. بر اساس منطق این برنامه دانشجویان درک می‌کنند که هر علمی در شرایط خلأ و آزمایشگاهی شکل نگرفته است، بلکه هرکدام ریشه‌های اجتماعی و فناورانه خود را داشته‌اند. برنامه علم/فناوری/جامعه این ضرورت را بیان می‌کند که هر جامعه، علاوه بر متخصصانی توانمند، به شهروندانی نیاز دارد که بدانند جایگاه تخصصشان در خلق



استنفورد و انستیتو ماساچوست متمرکز بر آموزش چگونگی شناخت و کاربست مفاهیم اجتماعی است که در کنار تمرکز بیشتری که آموزش معماری ایران با توجه به تخصصی بودن آن بر مرحله کاربست مفاهیم دارد، می‌تواند مکمل خوبی برای تکمیل فرایند شناخت - برداشت - کاربست باشد. بر این مبنای در «ت ۳» مفاهیم مستخرج از STS (مستخرج از جدول‌های ۲ و ۳)، بر مبنای اهداف موجود در شرح برنامه درس‌های مختلف آموزش معماری ایران (مستخرج از جدول ۴) قرار گرفته است. این چیدمان بر مبنای سه شرط ذکر شده، یعنی تناسب محتوا، سیر زمانی شناخت - برداشت - کاربست، و ترتیب زمانی عرضه واحدهای منتخب انجام شده است.

## ۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ابتدا برنامه علم/ فناوری/ جامعه معرفی و ریشه‌های تاریخی شکل‌گیری آن بیان و با مطالعه پژوهش‌های موجود، تلاش شد اهمیت و اهداف این برنامه تبیین شود. با توجه به کاستی برنامه‌های مکمل در آموزش ایران، به بررسی برنامه آموزشی علم/ فناوری/ جامعه و بروز آن در دو دانشگاه استنفورد و انستیتو فناوری ماساچوست پرداخته شد و با توجه به اهداف و ادبیاتی که در شرح درس‌های مرتبط در برنامه علم/ فناوری/ جامعه این دو دانشگاه استفاده شده است، سیری از شناخت مفاهیم اجتماعی، برداشت اطلاعات مرتبط از بسترهای اجتماعی، و کاربست مفاهیم مرتبط در حوزه‌های تخصصی قابل‌شناسایی است. درس‌هایی که رویکردشان شناخت است، مبتنی بر مطالعه مفاهیم و یادگیری ریشه‌ها، نمونه‌ها، و ساختارها هستند. در درس‌های با هدف تقویت ادراک محیط و برداشت اطلاعات از محیط، هدف فهم چگونگی ارتباطها، تأثیرات، و چگونگی ارزیابی است. در گروه سوم، چگونگی استفاده از این مفاهیم در فرایند طراحی بیان می‌شود. مطالعه

ساختارهای اجتماعی چیست و این ساختارها چگونه شکل می‌گیرند؟ با این هدف، برنامه علم/ فناوری/ جامعه در دو دانشگاه استنفورد و انستیتو فناوری ماساچوست مطالعه و تلاش شد تا از مفاهیم موجود در این برنامه برای تقویت مفاهیم اجتماعی در آموزش معماری ایران استفاده گردد.

با مطالعه برنامه علم/ فناوری/ جامعه در دو دانشگاه یادشده دو رویکرد اجتماعی و رویکرد تاریخی مشخص می‌شود که آموزش وقایع تاریخی و بررسی‌های اجتماعی می‌توانند به گونه‌ای هدفمند انتخاب شود که دانشجویان بتوانند نسبت خود و تخصصشان را با مؤلفه‌هایی همچون اجتماع، فرهنگ، و پیدایش فناوری‌ها بیابند. فرایند آموزشی این برنامه سیری قابل‌شناسایی دارد که در مرحله اول تلاش در آموزش ساختارها و مفاهیم مرتبط اجتماعی به فراگیران است، سپس چگونگی استخراج این مفاهیم را از محیطها و بسترهای اجتماعی بیان می‌شود، و در آخر تحلیل چگونگی کاربست این مفاهیم در هر حوزه تخصصی است. درس‌های متمرکز بر مرحله شناخت، مطالعه مفاهیم، و یادگیری ریشه‌ها و نمونه‌ها و ساختارهاست. در درس‌های متمرکز بر مرحله برداشت اطلاعات از محیط، هدف فهم چگونگی ارتباطها، تأثیرات، و چگونگی ارزیابی است. در مرحله سوم و دروس متمرکز بر آنها، به چگونگی استفاده از این مفاهیم در فرایند طراحی پرداخته می‌شود. بر این اساس، تلاش شد تا مفاهیم مستخرج از شرح دروس در برنامه علم/ فناوری/ جامعه دو دانشگاه منتخب، بر اساس الف) تناسب اهداف، نتایج مورد انتظار، و الگوهای موجود؛ ب) سیر زمانی مطلوب یادگیری شناخت - برداشت - کاربست؛ و پ) ترتیب زمانی عرضه دروس در آموزش معماری ایران، برای تقویت مفاهیم اجتماعی در آموزش معماری ایران، بر اساس سیر ذکر شده، استفاده شوند. مطالعه تفکیک‌شده دروس در این سه گروه نشان داد که برنامه علم/ فناوری/ جامعه دو دانشگاه

ت ۳. چیدمان مفاهیم مرتبط با برنامه آموزشی علم/ فناوری/ جامعه بر اساس مفاهیم مرتبط با هر درس در آموزش معماری ایران، تدوین و پژوهش: نگارندگان.

برنامه‌های آموزشی در این گروه‌بندی نشان می‌دهد که برنامه آموزشی STS متمرکز بر دو گام اول یعنی شناخت و برداشت است و در کنار محتوای تخصصی آموزش معماری ایران که تمرکز بر کاربست این مفاهیم دارد، می‌تواند مکمل بسیار خوبی باشد. بنابراین و بر مبنای مفاهیم مستخرج از برنامه STS، تلاش شد تا با در نظر گرفتن سه شرط الف) تناسب اهداف، نتایج مورد انتظار، و شرح درس موجود؛ ب) سیر زمانی مطلوب یادگیری شناخت - برداشت - کاربست؛ و پ) ترتیب زمانی عرضه درس در آموزش معماری ایران، پیشنهادهایی برای تقویت مؤلفه‌های اجتماعی در اهداف و شرح درس هرکدام

از دروس مرتبط در برنامه آموزشی معماری ایران بیان شود. به‌درستی، انتظار می‌رود همچون برنامه علم/ فناوری/ جامعه، ابتدا دانشجویان مفاهیم مرتبط اجتماعی را فراگیرند و ریشه‌ها، نمونه‌ها، و ساختارهای مرتبط را بشناسند، و سپس در مرحله بعد و دروس بعدی، بتوانند ارتباط‌ها، تأثیرات، و چگونگی ارزیابی را یاد گیرند تا در مرحله آخر و واحدهای پایانی، چگونگی استفاده و کاربست صحیح این مطالب را بیاموزند. این اهداف برای دروس انسان‌طبیعت‌معماری، معماری جهان، معماری اسلامی<sup>۲</sup>، طراحی معماری<sup>۲</sup>، طراحی معماری<sup>۳</sup>، طراحی معماری<sup>۵</sup>، و طرح نهایی که به‌صورت مستقیم در شرح

| عنوان درس                  | نیم سال ارائه | مفاهیم کلیدی موجود در آموزش ایران        | مفاهیم کلیدی مستخرج از STS                                                        | تمرکز بر     |
|----------------------------|---------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| انسان طبیعت معماری         | ۳ یا ۴        | ارتباط میان اجتماع و معماری              | امنیت زیستی<br>ارتباط میان جامعه با فناوری                                        | مرحله شناخت  |
| معماری جهان                | ۳ یا ۴        | ریشه‌های اجتماعی شکل‌دهنده معماری        | تأثیر زمینه اجتماعی بر عملکرد علمی<br>تأثیر علم در تغییر دیدگاه اجتماعی           | مرحله شناخت  |
| معماری اسلامی <sup>۲</sup> | ۵ یا ۶        | تأثیر شرایط مسلط اجتماعی در معماری       | تعامل علم و فناوری با ارزش‌های اجتماعی<br>تأثیر بستر بر ماندگاری نظریه‌های معماری | مرحله شناخت  |
| طراحی معماری <sup>۲</sup>  | ۵             | تطبیق اقتصاد و اجتماع و.. در طراحی       | ساختار اجتماعی دانش<br>پارادایم‌های اجتماعی متضاد                                 | مرحله برداشت |
| طراحی معماری <sup>۳</sup>  | ۶             | ظهور آرمان‌های اجتماعی در کالبد          | نوع تعاملات انسان و بستر<br>ارتباط دانش هر شخص با اجتماع                          | مرحله برداشت |
| طراحی معماری <sup>۵</sup>  | ۸             | توانایی استخراج مولفه‌های محیطی در طراحی | چگونگی انجام پژوهش‌های اجتماعی<br>چگونگی بازتاب علم در اجتماع، فرهنگ و...         | مرحله برداشت |
| طراحی نهایی                | ۸ یا ۹        | تأثیر شرایط اجتماعی در طراحی             | تأثیر اجتماع در تصمیم‌گیری‌ها<br>روش‌های علمی موثر در حل مشکلات اجتماعی           | کاربست       |

اهداف مرتبط با مفاهیم اجتماعی بر
اهداف مرتبط با مفاهیم اجتماعی
اهداف مرتبط با مفاهیم اجتماعی

اساس برنامه STS دانشگاه استنفورد

براساس برنامه STS دانشگاه MIT

در آموزش معماری ایران



طرح معماری<sup>۳</sup>، و طرح معماری<sup>۵</sup>، به نظر می‌رسد فرصت مناسبی است تا دانشجویان تمرکز بیشتری بر پارادایم‌های اجتماعی متضاد موجود در جامعه، ارتباط هر فرد با اجتماع و کیفیت‌های زندگی او، بازتاب علم در اجتماع، و چگونگی انجام پژوهش‌های اجتماعی داشته باشند. در این سه درس، در پیشنهاد‌های مطروحه تلاش می‌کنند تا تجربه‌ای از مرحله دوم فراگیری مفاهیم اجتماعی یعنی برداشت داشته باشند که به سبب نیازهای این دروس به مطالعات میدانی، می‌تواند فرصت مناسبی برای تجربه این مرحله باشد. به سبب کم‌رنگ بودن این دو مرحله و تأکید بر مرحله کاربردی در آموزش معماری ایران، تمرکز واحدهای موجود بر این دو مرحله قرار گرفت. برای مرحله سوم یعنی کاربردی، در طرح نهایی پیشنهاد گردید تا بر روش‌های علمی حل مشکلات اجتماعی و تأثیر اجتماع بر تصمیم‌گیری‌ها نیز تمرکز شود. در این مرحله و آخرین تجربه دانشجوی در مقطع کارشناسی، انتظار می‌رود بتواند آموخته‌های خود از دو مرحله شناخت و برداشت را برای کاربردی و عرضه یک طرح مرتبط نشان دهد.<sup>۷۲</sup>

## References

- Aikenhead, Glen S., and Alan G. Ryan. "The Development of a New Instrument: 'Views on Science / Technology / Society' (VOSTS)". *Science Education*, 76(5) (1992): 477-491.
- Akçay, Hakan, and Robert E. Yager. "The Impact of a Science / Technology / Society Teaching Approach on Student Learning in Five Domains". *Journal of Science Education and Technology*, 19 (2010): 602-611.
- Akçay, Behiye, and Hakan Akçay. "Effectiveness of Science / Technology / Society (STS) Instruction on Student Understanding of the Nature of Science and Attitudes toward Science". *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 3(1) (2015): 37-45.
- Aikenhead, G. "STS Education: A Rose by any other Name". In R. Cross (Ed.), *A Vision for Science Education: Responding to the Work of Peter J. Fensham*, London, Routledge, 2003.

درس موجود به موضوعات اجتماعی اشاره داشت، عرضه شد. با تمرکز بر شباهت محتوای سیر زمانی شناخت - برداشت - کاربردی و ترتیب زمانی عرضه دروس منتخب برای درس انسان‌طبیعت معماری با هدف تبیین دقیق‌تر اهمیت امنیت زیستی با مرور تجربیاتی همچون همه‌گیری کوید ۱۹ و اهمیت بهبود کیفیت زندگی، پیشنهاد‌هایی برای تقویت مرحله شناخت عرضه گردید. در درس معماری جهان با تمرکز بر مرحله شناخت، پیشنهاد می‌شود تا اهمیت زمینه‌های اجتماعی بر عملکردهای علمی، تغییر دیدگاه‌های اجتماعی، و الگوهای معماری بر اساس وقایع تاریخی بیان شوند. در درس معماری اسلامی، تلاش شد تا بر تعامل علم و فناوری با زمینه‌های اجتماعی تأکید شود. در این سه درس (انسان‌طبیعت معماری، معماری جهان، و معماری اسلامی) تمرکز بر مرحله شناخت است که در دو درس معماری جهان و معماری اسلامی به خوبی می‌توان نمونه‌های مؤثر و مرتبط پیشین را مطالعه کرد و تجلی مفاهیم اجتماعی را در عرصه تخصصی آینده‌شان (معماری) دریافت. با توجه به ماهیت عملی درس‌های طرح معماری<sup>۲</sup>،

Aikenhead, Glen S. "Research into STS Science Education". *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, vol. 9, no. 1 (2009): 1-12.

Azad, A. and V. Ahmadi. "Revision of Undergraduate Courses in Architectural Engineering Using the Business of Three Prominent European Universities". *Art of Green Management*, vol. 2, no. 1 (2023): 7-20. (In Persian)

Bhattacharya, Sujit. "Science and Innovation in the 21st Century: New Paradigms and Challenges for Policy Design". *Current Science*, vol. 118, no. 3 (2020): 348-349.

Carayannis, Elias G., Klitos Christodoulou, Panayiotis Christodoulou, Savvas A. Chatzichristofis, and Zinon Zinonos. "Known Unknowns in an Era of Technological and Viral Disruptions—implications for Theory, Policy, and Practice". *Journal of the Knowledge Economy*, (2021): 1-24.

۷۲. شرح کامل دروس و محتوای آن‌ها در دانشگاه استنفورد و انستیتو فناوری ماساچوست با جست‌وجوی عبارت STS و نام دانشگاه در جست‌وجوگر گوگل قابل دسترسی است. همچنین جست‌وجوی عبارت STS در سایت رسمی این دو دانشگاه نیز، توضیحات و محتوای لازم را در اختیار علاقه‌مندان قرار می‌دهد. تعداد بالای عناوین درسی و محتوای آن‌ها امکان ارائه به صورت پیوست را ندارد. لینک دسترسی به محتوای این دروس در هر نیمسال در دانشگاه استنفورد <https://sts.stanford.edu> است. پس از ورود به این لینک و انتخاب تب Concentrations پنج حوزه‌ای که در معرفی دروس این دانشگاه بیان شد قابل مشاهده است. با ورود به هر یک از این حوزه‌ها، فهرست دروس و شرح درس‌ها به تفکیک مقطع تحصیلی قابل مشاهده است. برای انستیتو فناوری ماساچوست <https://sts-program.mit.edu> است. در این لینک نیز، با انتخاب مقطع تحصیلی، فهرست دروس و شرح درس‌ها در هر نیمسال در اختیاران قرار خواهد گرفت. ممکن است دسترسی به سایت انستیتو فناوری ماساچوست با IP ایران میسر نباشد. این پژوهش بر اساس دروس عرضه‌شده در این دانشگاه‌ها در سال ۲۰۲۲-۲۰۲۳ انجام شده است.

Cutcliffe, Stephen H. "The Historical Emergence of STS as an Academicfeld in the United States". *Argumentos de Razón Técnica*, 5 (2002): 281-292.

Decuyper, Mathias. "STS in/as Education: Where Do We Stand and What Is There (still) to Gain? Some Outlines for a Future Research Agenda". *Discourse: Studies in the Cultural Politics of Education*, vol. 40, no. 1 (2019): 136-145.

De Solla Price, Derek J. *Little Science, Big Science*. Columbia University Press, 1963.

Douglas, Deborah G. *The Social Construction of Technological Systems*. anniversary edition: New Directions in the Sociology and History of Technology, MIT press, 2012.

Gharibpour, A. "Assessing the Possibility of Paying Attention to the Cultural Component in the Basic Architectural Design Course". *Hoviat Shahr*, vol. 13, no. 38 (2019): 5-20. (In Persian)

Humanities, Stanford School. *STS Concentrations*. Stanford University, 2023.

Kazemzadeh Raef, MA., M. Masoudinejad, and B. Vasigh. "Curriculum Strategies with Regard to the Creativity Process in Architecture Education (Case Study of Tehran, Shahid Beheshti and Science and Technology Universities)". *Islamic Art Studies*, vol. 19, no. 49 (2023): 650-669. (In Persian)

Kuhn, Thomas. *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, 1962.

Lawson, Bryan. *How Designers Think, The Design Process Demystified*. Architectural Press, 2015.

Lumpe, Andrew T., Jodi J. Haney, and Charlene M. Czerniak. "Science Teacher Beliefs and Intentions to Implement Science / Technology / Society (STS) in the Classroom". *Journal of Science Teacher Education*, vol. 9, no. 1 (1998): 1-24.

Mansour, Nasser. "Science / Technology / Society (STS) a New Paradigm in Science Education". *Bulletin of Science, Technology & Society*, vol. 29, no. 4 (2009): 287-297.

Mitcham, Carl. "Why Science, Technology, and Society Studies?". *Bulletin of Science, Technology & Society*, 19(2) (1999): 128-134.

MIT. *Science, Technology, and Society*. <http://catalog.mit.edu/schools/humanities-arts-social-sciences/science-technology-society/>.

Moosavi, SM. and KS. Tabibzadeh. "Investigating the Possibility of Revising the Curriculum of Bachelor of Architecture Courses with a Local Perspective Case Study: Universities of Mazandaran". *Journal of Architecture and Urban Planning*, vol. 15, no. 39 (2023): 123-143. (In Persian)

Pfotenhauer, Sebastian, and Sheila Jasanoff. "Panacea or Diagnosis? Imaginaries of Innovation and the 'MIT model' in Three Political Cultures". *Social Studies of Science*, vol. 47, no. 6 (2017): 783-810.

Prasad, Amit. "Anti-science Misinformation and Conspiracies: COVID-19, Post-truth, and Science & Technology Studies (STS)". *Science, Technology and Society*, vol. 27, no. 1 (2022): 88-112.

Sclove, Richard E., Madeleine L. Scammell, and Breena Holland. *Community-based research in the United States*. Amherst, MA: The Loka Institute, 1998.

Seabrook, Bryn Elizabeth, Kathryn A. Neeley, Kari Zacharias, and Brandiff Robert Caron. "Teaching Sts to Engineers: A Comparative Study of Embedded Sts Programs". Paper presented at the 2020 ASEE virtual annual conference content access, 2020.

Stanforduniversity. *Major Requirements and Policies*. <https://sts.stanford.edu/academics/major-requirements>, 2023.

Stuckey, Marc, et al. "The Meaning of 'Relevance' in Science Education and Its Implications for the Science Curriculum". *Studies in Science Education*, 49(1) (2013): 1-34.

Supreme Council for Educational Planning. *Curriculum for the Bachelor of Architecture Degree*. Ministry of Science, Research and Technology, 2016. (In Persian)

'STS topics'. <https://sts.stanford.edu/academics/concentrations>. (May, 2023)

'What is the Study of STS'. <https://sts.stanford.edu/about/what-study-sts>. (April, 2023)

Yazdani, Majid, A. Rezvani, M. Vafamehr, and MH. Khademzade. "Assessing the Effect of Pragmatic Pedagogy Components on the Promotion of the Bachelor of Architecture Curriculum in Iran". *Journal of Architecture and Urban Planning*, vol. 16, no. 40 (2023): 65-89. (In Persian)

<https://sts.stanford.edu/about/about-our-sts-program>.

<https://sts-program.mit.edu/>. (May 2023)

# Optimising Energy Performance and Thermal Comfort with Shading Control Scenarios in Bandar Abbas, Yazd, Sari, and Tabriz Using Parametric Analysis and Machine-Learning

**Fateme Akhlaghinezhad**

PhD Candidate, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

**Hadi Bagheri Sabzevar, PhD.** \* 

Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Received: November 19, 2023

Accepted: May 15, 2024

(Pages: 25-54)

**Fateme Akhlaghinezhad, Hadi Bagheri Sabzevar, 2025.** Optimising Energy Performance and Thermal Comfort with Shading Control Scenarios in Bandar Abbas, Yazd, Sari, and Tabriz Using Parametric Analysis and Machine-Learning. *Soffeh* 35 (3): 25-54.

**DOI:** [10.48308/SOFFEH.2025.233623.1300](https://doi.org/10.48308/SOFFEH.2025.233623.1300)

## Abstract:

**Background and objectives:** The growing demand for energy efficiency in buildings has become a central objective for sustainable development, as the building sector is expected to significantly raise its share of global energy consumption by 2040. Shading systems can therefore play a crucial role by controlling solar heat gain, and thus reducing the cooling and heating loads. This study aims to identify optimal shading control strategies by considering variables such as shading position, building orientation, and climate conditions. EnergyPlus and jEPlus are employed here for parametric modelling and optimisation of various shading

## Keywords:

Shading control, Energy consumption, Thermal and visual comfort, EnergyPlus, Random Forest machine learning, SHAP algorithm.



SOFFEH

*Soffeh Journal*, Shahid Beheshti University, Vol. 35, Issue 3, No. 110, 2025

 ISSN: 1683-870X

\*. Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

\*. Corresponding Author Email Address: [h.bagheri@hsu.ac.ir](mailto:h.bagheri@hsu.ac.ir)

<http://dx.doi.org/10.48308/SOFFEH.2025.233623.1300>

scenarios across four Iranian cities: Bandar Abbas, Yazd, Sari, and Tabriz. The primary objective is to reduce energy consumption and enhance both thermal and visual comfort for occupants, with a specific focus on assessing the impact of appropriate shading control strategies in achieving these goals.

**Materials and Methods:** This study utilises a standard residential room model similar to Test Case 600, as outlined in the ANSI/ASHRAE 140-2017 standard. A total of 19 different shading control scenarios were analysed, incorporating varieties in shading position (internal or external), building orientation, shading control strategies, activation thresholds, and climate conditions. The predictive variables considered include cooling load, heating load, electrical lighting load, total energy consumption, and the number of hours of thermal discomfort (PPD index) and visual discomfort (DGI index) experienced by the occupants. Energy modelling was performed using EnergyPlus, while parametric design optimisation is conducted with jEPlus. To predict energy consumption and assess the influence of various parameters, a Random Forest machine learning model was employed. Additionally, the SHAP (SHapley Additive exPlanations) algorithm was used to interpret the model's predictions, providing a detailed understanding of the contribution of each input variable.

**Results and conclusion:** The results demonstrate that optimised shading control strategies can significantly reduce energy consumption. In the summer, total energy use decreased by 18.8% in Bandar Abbas, 35.2% in Yazd, 37.8% in Sari, and 45.5% in Tabriz. In winter, reductions ranged from 0.8% in Yazd to 4.3% in Bandar Abbas. Additionally, optimised shading design and control led to a substantial reduction in both thermal and visual discomfort. For instance, in Tabriz, thermal discomfort decreased by 64.2%, while visual discomfort was reduced by up to 100% across all cities. The study concludes that selecting the appropriate shading control strategy and activation threshold not only reduces energy consumption but also enhances both thermal and visual comfort for building occupants. Specifically in the summer, external shading with outdoor temperature control in Bandar Abbas, and external shading with indoor temperature control in Yazd and Tabriz, were identified as the most effective strategies for reducing energy consumption and improving comfort. In winter, the most effective strategy involves controls based on outdoor temperature, with varying activation thresholds tailored to each climate. Overall, the study emphasises the critical importance of climate-adapted control strategies in designing energy-efficient and comfortable residential buildings, thereby contributing to the advancement of sustainable architecture across diverse climatic regions.

# کاهش مصرف انرژی و بهبود آسایش حرارتی و بصری در خانه‌ها با سناریوهای کنترل سایه‌بان:

## تحلیل پارامتریک و بهینه‌سازی با یادگیری ماشین در بندرعباس، یزد، ساری، و تبریز

فاطمه اخلاقی نژاد<sup>۱</sup>



هادی باقری سبزواری<sup>۲</sup>

استادیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

دریافت: ۲۸ آبان ۱۴۰۲

پذیرش: ۲۶ اردیبهشت ۱۴۰۳

(صفحه ۲۵-۵۴)

فاطمه اخلاقی نژاد، هادی باقری سبزواری. ۱۴۰۴. کاهش مصرف انرژی و بهبود آسایش حرارتی و بصری در خانه‌ها با سناریوهای کنترل سایه‌بان: تحلیل پارامتریک و بهینه‌سازی با یادگیری ماشین در بندرعباس، یزد، ساری، و تبریز. فصلنامه علمی معماری و شهرسازی صفة ۳۵ (۳): ۲۵-۵۴.

کلیدواژگان: کنترل سایه‌بان، مصرف انرژی، آسایش حرارتی و بصری، انرژی پلاس، یادگیری ماشین، جنگل تصادفی، الگوریتم SHAP.

### چکیده

**اهداف و پیشینه:** پیش‌بینی می‌شود که با افزایش چشمگیر مصرف انرژی در بخش ساختمان‌ها تا سال ۲۰۴۰، بهینه‌سازی مصرف انرژی در این بخش یکی از اهداف اصلی در زمینه توسعه پایدار گردد. در این زمینه، طراحی سیستم‌های سایه‌بان، که ابزاری است برای کنترل تابش خورشیدی و کاهش بارهای سرمایشی و گرمایشی، نقشی حیاتی در ارتقای کارایی انرژی دارد. هدف اصلی در این مطالعه، شناسایی استراتژی‌های کنترلی بهینه سایه‌بان‌ها با در نظر گرفتن عوامل مختلف مانند موقعیت سایه‌بان، جهت‌گیری ساختمان، و شرایط اقلیمی است. در این تحقیق، با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای انرژی پلاس و جی‌پلاس، سناریوهای مختلف طراحی سایه‌بان به‌صورت پارامتریک در چهار شهر با اقلیم‌های متفاوت (بندرعباس، یزد، ساری، و تبریز) مدل‌سازی و بهینه‌سازی شده‌اند. هدف نهایی در این پژوهش، یافتن سناریویی برای کاهش مصرف انرژی و ارتقای آسایش حرارتی و بصری کاربران است و تمرکز اصلی بر ارزیابی تأثیر انتخاب استراتژی کنترلی مناسب سایه‌بان‌ها در دستیابی به اهداف است.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق از مدل استاندارد اتاق مسکونی مشابه نمونه ۶۰۰ مطابق با استاندارد ANSI/ASHRAE 140-2017 استفاده شده است. در این مطالعه، ۱۹ سناریوی مختلف برای کنترل سایه‌بان‌ها بررسی گردیده که ترکیبی از موقعیت سایه‌بان (داخلی و خارجی)، جهت‌گیری ساختمان، استراتژی‌های کنترلی سایه‌بان، نقاط تنظیم، و شرایط اقلیمی هستند. متغیرهای خروجی شامل بار سرمایشی، بار گرمایشی، بار الکتریکی روشنایی، مصرف کل انرژی، و ساعات نارضایتی حرارتی و بصری ساکنان می‌شوند. مدل‌سازی انرژی با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس انجام شده و برای تحلیل و بهینه‌سازی طراحی، از ابزار جی‌پلاس استفاده شده است. برای پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان و ارزیابی تأثیر متغیرهای مختلف، مدل یادگیری ماشین جنگل تصادفی به کار رفته است و برای تفسیر نتایج و تعیین میزان اهمیت هر ویژگی در پیش‌بینی‌های مدل، از الگوریتم SHAP استفاده شده است.

**نتایج و جمع‌بندی:** بنابر نتایج این تحقیق، استفاده از استراتژی‌های کنترلی بهینه برای سایه‌بان‌ها می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی مصرف انرژی را کاهش دهد. در تابستان، کاهش مصرف انرژی در شهرهای بندرعباس، یزد، ساری، و تبریز به ترتیب ۱۸/۸، ۳۵/۲، ۳۷/۸، و ۴۵/۵٪ بود و در زمستان نیز کاهش مصرف انرژی

۱. دانشجوی دوره دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران  
fakhlaghi1377@gmail.com

۲. نویسنده مسئول  
h.bagheri@hsu.ac.ir



## پرسش‌های پژوهش

۱. بهترین سناریوهای کنترلی سایه‌بان برای افزایش کارایی انرژی ساختمان کدامند؟
۲. تأثیر این سناریوها بر آسایش حرارتی و بصری ساکنین چگونه است؟
۳. نقش متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بر مصرف انرژی ساختمان چیست؟

## مقدمه

به‌ترتیب ۴/۳، ۸/۰، ۷/۲ و ۵/۱٪ ثبت شد. همچنین، طراحی بهینه سایه‌بان‌ها باعث کاهش قابل‌توجه ناراضایتی حرارتی و بصری ساکنان می‌گردد؛ به‌طور نمونه، در تابستان زمان مطالعه، ناراضایتی حرارتی در تبریز تا ۶۴/۲٪ و ناراضایتی بصری در همه شهرها تا ۱۰۰٪ کاهش داشت. طبق این یافته‌ها، انتخاب استراتژی کنترلی مناسب و آستانه‌های فعال‌سازی مؤثر می‌تواند مصرف انرژی را کاهش دهد و آسایش حرارتی و بصری ساکنان را بهبود بخشد. در تابستان، سایه‌بان‌های خارجی با کنترل دمای بیرون در بندرعباس و سایه‌بان‌های خارجی با کنترل دمای داخل در یزد و تبریز بهترین گزینه‌ها از نظر کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش ساکنان شناخته شدند. در زمستان نیز بهترین سناریوها شامل کنترل‌کننده‌های مبتنی بر دمای بیرون با تنظیم‌کنندگی متناسب برای هر اقلیم بودند، نتایج این تحقیق نشان‌دهنده اهمیت انتخاب استراتژی کنترلی متناسب با شرایط اقلیمی و نیازهای خاص هر منطقه است که می‌تواند در طراحی پایداری و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی استفاده شود.

به پیش‌بینی آژانس بین‌المللی انرژی، مصرف انرژی در بخش ساختمان تا سال ۲۰۴۰، ۲۰٪ افزایش خواهد یافت.<sup>۳</sup> این افزایش لزوم اجرای طرح‌های مؤثر برای کاهش مصرف انرژی و بهبود شرایط محیطی در ساختمان‌ها را می‌رساند. از عوامل اصلی در بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان، طراحی پوسته ساختمان است، که نقش کلیدی در کنترل انتقال حرارت بین محیط‌های داخلی و خارجی دارد. با طراحی مناسب می‌توان از انرژی خورشیدی استفاده بهینه کرد؛ چراکه به کاهش تقاضای انرژی و بهبود آسایش حرارتی و بصری ساکنین کمک می‌کند.<sup>۴</sup>

در طراحی ساختمان‌ها، تأمین آسایش حرارتی و بصری برای ساکنین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آسایش حرارتی با رضایت‌مندی از شرایط دما و رطوبت<sup>۵</sup> و آسایش بصری با شرایط رضایت‌بخش از نور و روشنایی<sup>۶</sup> روی می‌دهد. یک سیستم سایه‌بان خورشیدی کارآمد، با طراحی مناسب، می‌تواند نیازهای حرارتی داخلی را کاهش دهد، شرایط نور طبیعی را بهبود بخشد، و در نتیجه بهره‌وری انرژی را افزایش دهد و محیطی راحت‌تر را فراهم آورد.<sup>۷</sup> مجموعه‌ای از سیستم‌های سایه‌بان، از جمله سایه‌بان‌های خارجی، داخلی، و بین‌شیشه‌ای، با انواع ثابت یا متحرک، امکانات مختلفی را برای بهینه‌سازی شرایط بصری و حرارتی فراهم می‌کنند.<sup>۸</sup>

با نصب و مدیریت درست سیستم‌های سایه‌بان خورشیدی، می‌توان نیازهای

3. N. Zhou et al., "A Roadmap for China to Peak Carbon Dioxide Emissions and Achieve a 20% Share of Non-Fossil Fuels in Primary Energy by 2030", *Applied Energy*, 239 (2019): 793-819.

4. F. Akhlaghinezhad, et al., "Deterministic and Probabilistic Occupant-centric Control's Impacts on the Indoor Environment in Free-running Households", *Smart and Sustainable Built Environment*, no. ahead-of-print (2024), <https://doi.org/10.1108/sasbe-10-2023-0316>.

5. ASHRAE Standing Standard Project Committee 55. *Cognizant TC: 2.1, Physiology, and Human Environment. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Ashrae, 2023.

6. Light, CEN. "Lighting—Basic Terms and Criteria for Specifying Lighting Requirements". *European Standard EN 12665*, 2011.

7. M.C. Pinto, et al., "Combining Energy Dynamic Simulation and Multi-criteria Analysis for Supporting Investment Decisions on Smart Shading Devices in Office Buildings". *Applied Energy*, 332 (2023): 120470.

8. A. Tabadkani, et al.,



- "A Review of Occupant-centric Control Strategies for Adaptive Facades", *Automation in Construction* 122 (2021): 103464.
9. W. Bustamante, et al., "An integrated thermal and lighting simulation tool to support the design process of complex fenestration systems for office buildings," *Applied energy* 198 (2017).
10. Dayan de Loyola Ramos Garcia and Fernando Oscar Ruttkay Pereira, "Method Application and Analyses of Visual and Thermal-Energy Performance Prediction in Offices Buildings with Internal Shading Devices", *Building and Environment*, 198 (2021): 107912.
11. DGP: Daylight Glare Probability
12. SHGC: Solar Heat Gain Coefficient
13. A.Tabadkani, et al., "Analysis of the Impact of Automatic Shading Control Scenarios on Occupant's Comfort and Energy Load", *Applied Energy*, 294 (2021): 116904.

داخل ساختمان، به کاهش نیازهای سرمایشی کمک می‌کنند.<sup>۱۶</sup> در تحقیقات مختلف از آزمایش‌های میدانی، آزمایشگاهی، و شبیه‌سازی برای بررسی اثربخشی سایه‌بان‌های داخلی و خارجی استفاده شده که از هریک نتایج متفاوتی به‌دست آمده است.

نیوشام و همکاران<sup>۱۷</sup> به بررسی اثر روش‌های کنترل سایه‌بان بر بار سرمایشی سالانه پرداخته و نتیجه گرفته‌اند که فقدان مکانیزم‌های کنترلی مناسب موجب افزایش مصرف انرژی می‌شود. وایملنبرگ<sup>۱۸</sup> نشان داد که حدود ۳۰٪ از تنظیمات زاویه پره‌های کرکره‌ها با تابش خورشید صورت می‌گیرد، اگرچه این تغییرات معمولاً جزئی هستند. همچنین، لیتلفیر<sup>۱۹</sup> به این نتیجه رسید که هیچ ارتباطی بین دمای داخلی فضاهای اداری و تغییرات در وضعیت کرکره‌ها وجود ندارد.

اوه و همکاران<sup>۲۰</sup> با هدف یافتن روشی برای تنظیم میزان بازتاب نور و کاهش ناراحتی بصری ناشی از خیرگی نور، راهکارهایی را برای بهینه‌سازی کرکره‌ها معرفی کردند. نتایج شبیه‌سازی آنها نشان داد که آن راهکارها منجر به کاهش معنادار مصرف انرژی و ناراحتی بصری شدند. همچنین، شن و همکاران<sup>۲۱</sup>، با بررسی سناریوهای مختلف برای کرکره‌های داخلی و خارجی در سه اقلیم مختلف، نشان دادند که روش‌های کنترل یکپارچه کنترل نور و روشنایی می‌توانند بهبودهای قابل‌توجهی در عملکرد انرژی و آسایش بصری ایجاد کنند. شونگ و همکاران<sup>۲۲</sup> نیز نماهای خودکار و سیستم‌های کنترل روشنایی و سایه‌بان را برای افزایش آسایش بصری و کاهش مصرف انرژی روشنایی به کار گرفتند. در «جدول ۱» خلاصه‌ای از نتایج مطالعات مختلف با رویکردها و پارامترهای متفاوت سایه‌بان‌ها ارائه شده است.

اگرچه تحقیقات پیشین عمدتاً بر کنترل‌های سایه‌بان متمرکز بوده‌اند، اما بهینه‌سازی انتخاب موقعیت، جهت‌گیری، و

گرمایش و سرمایش را کاهش داد. این سیستم‌ها با بهره‌برداری بیشتر از تابش خورشیدی در زمستان و کاهش تابش دریافتی در تابستان، منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شوند.<sup>۹</sup> استفاده از سایه‌بان‌های خورشیدی خودکار می‌تواند آسایش حرارتی و بصری ساکنین را بهبود بخشد؛ به‌طور مثال، گارسی و پیرا<sup>۱۱</sup> روشی برای ارزیابی عملکرد ساختمان‌های اداری با سایه‌بان‌های قابل‌تنظیم عرضه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که سایه‌بان‌های غلظتی شفاف، نسبت به پرده‌های پارچه‌ای و کرکره‌ها، مؤثرتر هستند و یک وابستگی قوی بین روشنایی و تابش خورشیدی و همچنین بین احتمال خیرگی نور روز<sup>۱۱</sup> و بهره‌وری گرمایی خورشیدی پنجره<sup>۱۲</sup> وجود دارد. همچنین، بنابر تحقیقات تبادکانی و همکاران<sup>۱۳</sup>، استفاده از سایه‌بان‌ها و سیستم‌های روشنایی خودکار در طراحی نماهای ساختمانی، به بهبود قابل‌توجهی در عملکرد انرژی، آسایش حرارتی، و بصری کاربران، به‌ویژه در شرایط آب‌وهوایی مختلف منجر می‌شود. آنها معتقدند که سایه‌بان خودکار می‌تواند به کاهش متوسط انسداد دید و مصرف انرژی روشنایی بیانجامد.

اسکارزینگ و همکاران<sup>۱۴</sup> به بررسی تأثیر سایه‌بان‌های خودکار بر گرمای بیش از حد در ساختمان‌های مسکونی پرداخته‌اند. این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از این سیستم‌ها می‌تواند راحتی حرارتی را تا ۱۵٪ بهبود بخشد. همچنین در تحقیق دیگر نویسندگان مقاله پیش رو<sup>۱۵</sup> بر نقش مهم شرایط آب‌وهوایی در کارایی سایه‌بان‌ها تأکید می‌شود، و بنابرین طراحی سیستم‌های سایه‌بان باید با توجه به شرایط خاص آب‌وهوایی مکان صورت گیرد تا آسایش حرارتی و بصری بهبود و مصرف انرژی کاهش یابد.

سایه‌بان‌های خارجی، به‌دلیل کارایی بالا در کاهش مصرف انرژی سرمایشی، مورد توجه گسترده محققان است. این سیستم‌ها با مسدود کردن تابش خورشیدی قبل از ورود آن به



تنظیمات سایه‌بان‌ها با توجه به شرایط اقلیمی مختلف در فصول سرد و گرم، برای کاهش مصرف انرژی و بهبود آسایش ساکنان، اهمیت بالایی دارد. مدل‌سازی آماری، به دلیل سادگی، قابلیت خودکارسازی، و کاهش هزینه‌ها، گزینه‌ای مؤثر برای ارزیابی عملکرد حرارتی و بصری ساختمان‌ها محسوب می‌شود.<sup>۲۳</sup>

جدول ۱.

خلاصه‌ای از تحقیقات با رویکردها و ویژگی‌ها و پارامترهای مختلف سایه‌بان، تدوین: نگارندگان.

| نتایج                                                                                                                                                                                             | پارامترهای در نظر گرفته شده |                                            |                                                        | دوره زمانی  | نوع ساختمان           | موضوع                                                                        | منبع                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                   | آسایش حرارتی                | مصرف انرژی                                 | شاخص بصری                                              |             |                       |                                                                              |                                                                                                                                                                                              |
| کاهش بار الکتریکی روشنایی و انسداد کمتر دید به بیرون به دلیل کاهش استفاده از پرده                                                                                                                 | -                           | بار الکتریکی                               | روشنایی میز کار (Illuminance)                          | سالیانه     | آموزشی / آمریکا       | بررسی تأثیر سایه‌بان داخلی                                                   | Sanati and Utzinger, "The Effect of Window Shading Design ...", <i>Building and Environment</i> , 64 (2013): 67-76.                                                                          |
| کاهش مصرف انرژی سالانه از طریق ترکیبی از سایه‌بان عمودی و افقی و مصالح چوبی تا ۱۳/۶۲٪                                                                                                             | -                           | مصرف کل انرژی                              | -                                                      | سالیانه     | مسکونی / آمریکا       | بررسی اثر هم‌زمان پنجره، مصالح، و تنظیمات سایه‌بان                           | Haghighi, et al., "The Effect of Shading Design and Materials ...", International Construction Specialty Conference of the Canadian Society, 2015.                                           |
| استفاده از سایه‌بان خودکار با الگوریتم‌های کنترلی پیشنهادی می‌تواند انرژی سایت را در محدوده ۱۱/۶ تا ۱۳/۰٪ کاهش دهد.                                                                               | -                           | مصرف کل انرژی                              | -                                                      | سالیانه     | مسکونی / آمریکا       | ارزیابی الگوریتم‌های کنترلی مختلف برای سایه‌بان‌های خودکار پنجره‌ها          | Firlag, et al., "Control Algorithms for Dynamic Windows ...", <i>Energy and Buildings</i> , 109 (2015): 157-173.                                                                             |
| تأثیر بیشتر سایه‌بان‌های افقی نسبت به سایه‌بان‌های عمودی                                                                                                                                          | -                           | -                                          | تابش مستقیم خورشید                                     | ۱۲ روز مرجع | برزیل                 | بررسی هفت مدل سایه‌بان افقی و عمودی ساده در یک مطالعه تابستانی با ۸ جهت‌گیری | Santos, et al., "Method for Determining the Efficiency of Shading Devices", paper presented at the 50 <sup>th</sup> International Conference of the Architectural Science Association, 2016. |
| تأثیر بیشتر سایه‌بان افقی بر شرایط آسایش                                                                                                                                                          | -                           | بار سرمایشی<br>بار گرمایشی<br>بار الکتریکی | نرخ روشنایی روز (Daylight Factor DF) / روشنایی میز کار | سالیانه     | آموزشی / ایران        | ارزیابی انواع سایه‌بان‌ها شامل سایه‌بان افقی، قفسه نوری، سایه‌بان کرکره‌ای   | Balador, et al., "Evaluation of Different Shading Devices ...", paper presented at the PLEA Conf, 2017.                                                                                      |
| سایه‌بان خودکار با استراتژی کنترلی دما و تابش‌محور (دمای بیرون بالای ۱۸ درجه و ۳۰۰ وات بر متر مربع تابش) تأثیر چندانی در مصرف انرژی و روشنایی ندارد و بهتر است از پوشش کنترل خورشیدی استفاده شود. | تطبیقی با دمای عامل         | بار گرمایشی                                | خودمختاری نور روز (Daylight Autonomy) (DA)             | سالیانه     | مسکونی / رم و دانمارک | بررسی انتقادی سایه‌بان خودکار در مقایسه با جایگزین‌های دائمی                 | Skarning, et al., "The Effect of Dynamic Solar Shading on Energy, ...", <i>Energy and Buildings</i> , 135 (2017): 302-311.                                                                   |
| کنترل پنجره پیش‌بینی‌کننده و سایه‌بان کرکره‌ای غلتکی ۵۵٪ انرژی سرمایشی را نسبت به خانه‌هایی با پنجره‌های بسته و سایه‌بان‌های غلتکی باز کاهش می‌دهد.                                               | -                           | بار سرمایشی                                | -                                                      | ۱ هفته      | مسکونی / ژاپن         | بررسی ۷ کنترل مختلف پنجره و سایه‌بان                                         | Zhong, et al., "Comprehensive Evaluation of Energy and Indoor-PM2. ...", <i>Energy and Buildings</i> , 223 (2020): 110206.                                                                   |
| کاهش چشمگیر بار سرمایشی                                                                                                                                                                           | -                           | بار سرمایشی<br>بار گرمایشی                 | خودمختاری نور روز / نرخ روشنایی روز / روشنایی میز کار  | سالیانه     | اداری / الجزایر       | بررسی تأثیر سایه‌بان‌های خارجی ثابت                                          | Magri Elouadjri, et al., "Evaluating the Effect of External Horizontal Fixed Shading Devices' Geometry ...", <i>Buildings</i> , vol. 11, no. 8 (2021): 348.                                  |



ادامه جدول ۱.  
خلاصه‌ای از تحقیقات با رویکردها  
و ویژگی‌ها و پارامترهای مختلف  
سایه‌بان، تدوین: نگارندگان.

آسایش به کار رفته‌اند؛ به‌طور مثال، آریا و همکاران<sup>۲۷</sup> از جنگل  
تصادفی برای تشخیص ناهنجاری در مصرف انرژی ساختمان،  
همچنین احمد و همکاران<sup>۲۸</sup> از این الگوریتم برای پیش‌بینی  
مصرف انرژی سیستم تهویه مطبوع ساعتی استفاده کرده‌اند.  
الگوریتم‌های درختی، نظیر جنگل تصادفی و درخت  
رگرسیون، معمولاً برای پیش‌بینی بار انرژی ساختمان به کار

یادگیری ماشین<sup>۲۴</sup> یکی از روش‌های مدل‌سازی آماری است  
که توانایی پیش‌بینی رفتار سیستم بدون نیاز به برنامه‌ریزی  
صریح، همچنین سازگاری با شرایط متغیر محیطی را دارد. از  
دهه ۱۹۹۰ تاکنون، کاربرد این روش در تحلیل انرژی ساختمان  
رو به گسترش بوده است.<sup>۲۵</sup> در سال‌های اخیر الگوریتم‌هایی  
مانند جنگل تصادفی<sup>۲۶</sup> برای پیش‌بینی مصرف انرژی و بهبود

| نتایج                                                                                                                                                                                     | پارامترهای در نظر گرفته‌شده                                                  |                                             |                                                                                                  | دوره زمانی | نوع ساختمان                   | موضوع                                                                                                                                             | منبع                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                           | آسایش حرارتی                                                                 | مصرف انرژی                                  | شاخص بصری                                                                                        |            |                               |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                          |
| تأثیر بیشتر ترکیب سایه‌بان و تهویه نسبت به استفاده مجزا از هر کدام در آسایش حرارتی                                                                                                        | دمای عامل رطوبت نسبی                                                         | -                                           | -                                                                                                | ۳۰ سال     | غیرمسکونی / ایرلند و مجارستان | تعیین انعطاف‌پذیری سناریوهای مختلف کنترل سرمایش غیرفعال مانند تهویه روزانه، تهویه شبانه، و سایه‌بان خودکار؛ با تغییر نقاط تنظیم                   | O'Donovan, et al., "Passive Control Strategies for Cooling a Non-residential Nearly Zero Energy Office: ...", <i>Energy and Buildings</i> , 231 (2021).                  |
| سایه‌بان‌های خارجی خودکار بهترین عملکرد را دارند.                                                                                                                                         | تطبیقی با دمای عامل                                                          | -                                           | -                                                                                                | تابستان    | مسکونی / اسپانیا              | شناسایی بهترین راهبردهای تهویه طبیعی و سایه‌بان برای کاهش مسائل گرمایی بیش از حد در طول دوره گرما                                                 | Figueroa-Lopez, et al., "Evaluation of Passive Strategies, Natural Ventilation and Shading Systems, to ...", <i>Journal of Building Engineering</i> , 43 (2021): 102607. |
| تنظیم پارامترهای کلیدی پرده‌های وینز، صرفه‌جویی در انرژی سرمایشی می‌تواند به ۴۴٪ و صرفه‌جویی در انرژی گرمایشی تا ۶۵٪ برسد.                                                                | -                                                                            | بار سرمایشی<br>بار گرمایشی<br>مصرف کل انرژی | احتمال خیرگی نور روز (Daylight Glare Probability DGP)                                            | سالیانه    | مسکونی / آمریکا               | شناسایی تأثیرگذارترین پارامترها (زاویه، موقعیت سایه‌بان نسبت به پنجره) برای بهینه‌سازی طراحی سایه‌بان و ارزیابی پتانسیل صرفه‌جویی انرژی توسط آنها | Tan, et al., "Parametric Study of Venetian Blinds for Energy Performance Evaluation ...", <i>Energy</i> , 239 (2022): 122266.                                            |
| سایه‌بان ساده بتنی با عمق ۱ متر و قفسه نوری با مصالح چوبی بهترین عملکرد را دارند و تا ۷۲/۲۶٪ مصرف انرژی را کاهش می‌دهند.                                                                  | -                                                                            | بار سرمایشی<br>بار گرمایشی<br>مصرف کل انرژی | خودمختاری نور روز / روشنایی مفید نورروز (Useful Daylight Illuminance UDI) / احتمال خیرگی نور روز | سالیانه    | آموزشی / ایران                | انتخاب سایه‌بان بهینه در چرخه حیات یک ساختمان آموزشی بر اساس ارزیابی سه عامل مصرف انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، و هزینه                         | Dokhanian, et al., "Shading Design Optimization in a Semi-arid Region: ...", <i>Journal of Cleaner Production</i> , 428 (2023): 139293.                                  |
| روش بهینه‌سازی پیشنهادی منجر به کاهش ۲/۸-۴۷/۸ درصدی در کل انرژی مصرفی ساختمان، ۱۵/۵-۶۹/۹٪ و ۸/۵-۵۶/۳٪ کاهش به‌ترتیب در شاخص‌های DGI و PPD در مقایسه با طراحی اولیه به طور هم‌زمان می‌شود. | درصد پیش‌بینی‌شده نارضایتی حرارتی (Predicted Percentage of Dissatisfied PPD) | مصرف کل انرژی                               | شاخص خیرگی نور روز (Daylight Glare Index) (DGI)                                                  | سالیانه    | اداری / ایران                 | اجرای سناریوهای کنترلی سایه‌بان و بهینه‌سازی هم‌زمان جهت‌گیری، ابعاد، زاویه، مصالح، و ...                                                         | Naderi, et al., "Multi-Objective Simulation-Based Optimization of Controlled ...", <i>Building and Environment</i> , 169 (2020): 106570.                                 |

14. G.C.J. Skarning, et al., "The Effect of Dynamic Solar Shading on Energy, Daylighting and Thermal Comfort in a Nearly Zero-Energy Loft Room in Rome and Copenhagen", *Energy and Buildings*, 135 (2017): 302-311.

15. F. Akhlaghinezhad and H Bagheri Sabzevar, "The Effect of Probabilistic Window Opening Behavior of Occupants on Adaptive Thermal Comfort (the Case of Courtyard House in Yazd, Bandar Abbas, and Tabriz)", *Iranica Journal of Energy & Environment*, vol. 14, no. 3 (2023): 252-262.

16. Dongsu Kim, et al., "Comparative Investigation on Building Energy Performance of Double Skin Façade (Dsf) with Interior or Exterior Slat Blinds", *Journal of Building Engineering*, 20 (2018): 411-423.

ت ۱. هندسه مدل مورد نظر در حالت پایه، مأخذ: Ashrae، طرح و ترسیم: نگارندگان.

می‌روند. این روش‌ها، با تجمع نتایج پیش‌بینی، دقت بیشتری دارند و می‌توانند تطبیق بیش از حد مدل را کاهش دهند.

مرحله اول این تحقیق، بهینه‌سازی سناریوهای کنترلی مهم برای کاهش مصرف انرژی و بهبود آسایش حرارتی و بصری را در بر می‌گیرد. این سناریوها شامل موقعیت سایه‌بان‌ها، جهت‌گیری ساختمان، و ویژگی‌های کنترلی مربوطه هستند. بهینه‌سازی بر اساس شاخص‌های بار سرمایشی و گرمایشی، بار الکتریکی روشنایی، کل مصرف انرژی ساختمان، و نارضایتی حرارتی و بصری ساکنان در دو دوره گرم و سرد سال انجام می‌شود. از این شاخص‌ها، با عنوان «توابع هدف»، برای دستیابی به بهترین بهره‌برداری از ساختمان استفاده شده است. برای مدل‌سازی انرژی از نرم‌افزار انرژی پلاس، برای طراحی پارامتریک از جی‌پلاس، و برای بهینه‌سازی از روش brute-force با بیش از ۴۵۶۰۰ تکرار شبیه‌سازی استفاده شده است. در مرحله دوم، پیش‌بینی کل مصرف انرژی ساختمان با استفاده از داده‌های آموزشی و مدل جنگل تصادفی انجام می‌شود. تفسیر پیش‌بینی‌ها با استفاده از

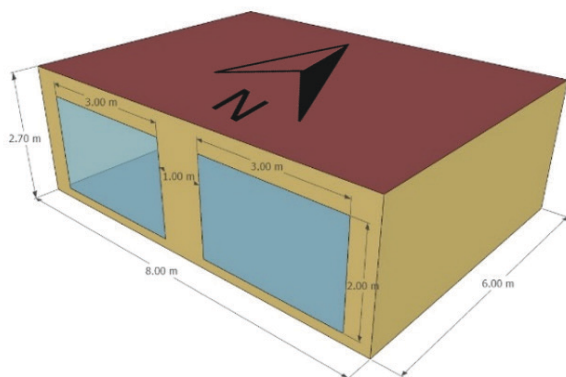
الگوریتم SHAP<sup>۲۹</sup> صورت می‌گیرد تا تأثیر متغیرهای مختلف مؤثر بر پیش‌بینی بر مصرف کل انرژی مشخص شود. SHAP به‌منزله ابزاری برای تفسیر مدل‌ها و درک نقش ویژگی‌ها در پیش‌بینی‌های مدل عمل می‌کند و به درک عمیق‌تر از فرایندهای تصمیم‌گیری مدل‌های یادگیری ماشین کمک می‌کند.<sup>۳۰</sup> این رویکرد به شفاف‌سازی نحوه اثرگذاری متغیرهای مختلف بر مصرف انرژی و کمک به انتخاب سناریوهای بهینه‌تر می‌پردازد.

## ۱. روش تحقیق

در این تحقیق، از نمونه ۶۰۰ استاندارد ۱۴۰ اشری<sup>۳۱</sup> استفاده می‌شود.<sup>۳۲</sup> بر مبنای استاندارد ۱۴۰، تقاضای انرژی

شبیه‌سازی‌شده یک زون حرارتی با استفاده از ابزارهای مختلف شبیه‌سازی انرژی ساختمان مستند می‌شود. در مطالعه پیش رو نیز از نمونه ۶۰۰ برای انجام شبیه‌سازی‌ها با کاربری مسکونی استفاده می‌شود که شامل یک زون مکعبی با ابعاد  $۸ \times ۶ \times ۲$  متر و دو پنجره (هرکدام  $۳ \times ۲$  متر) در دیوار جنوبی است (جهت‌گیری مبنا = ۰) (ت ۱).

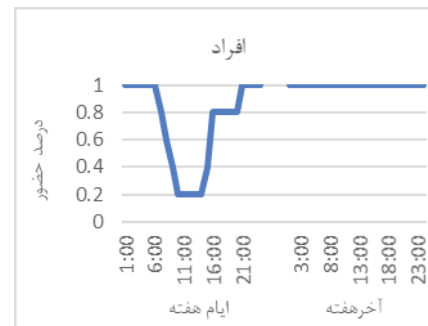
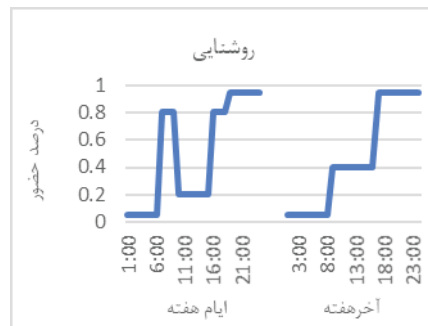
در این مقاله، پارامترهای مرتبط با سایه‌بان در یک واحد مسکونی بهینه‌سازی شده‌اند. با توجه به شکاف پژوهشی موجود در کاربری مسکونی، به‌دلیل مسئله حریمیت، انتخاب این کاربری منطقی به نظر می‌رسد. مقادیر ضریب انتقال حرارت<sup>۳۳</sup> برای عناصر پوسته ساختمان بر اساس «جدول ۲» تعیین شده‌اند. فرض بر این است که مدل یک ساختمان مسکونی ویلایی شبیه‌سازی می‌شود و همه جداره‌ها در معرض هوای آزاد هستند. برنامه زمان‌بندی حضور ساکنان، روشنایی و دمای تنظیم‌شده برای گرمایش (۲۰ درجه سانتی‌گراد) و سرمایش (۲۸ درجه برای شهرهای یزد، ساری، و تبریز و ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای بندرعباس) در نظر گرفته شده است.<sup>۳۴</sup> همچنین فرض شده که بازای هر  $۴۲/۵$  متر مربع فضا، یک نفر با سطح فعالیت ۱۲۰ وات بر نفر حضور دارد و سطح لباس این افراد در بازه ۱-۰/۴۵ clo، بر اساس مدل پویای لباس



17. GR Newsham, "Manual Control of Window Blinds and Electric Lighting: Implications for Comfort and Energy Consumption", *Indoor Environment*, vol. 3, no. 3 (1994): 135-144.
18. Kevin Van Den Wymelenberg, "Patterns of Occupant Interaction with Window Blinds: A Literature Review", *Energy and Buildings*, 51 (2012): 165-176.
19. PJ Littlefair, *Control of Solar Shading* (BRE, 2002).
20. M.H. Oh, et al., "Automated Control Strategies of inside Slat-Type Blind Considering Visual Comfort and Building Energy Performance", *Energy and Buildings*, 55 (2012): 728-737.
21. Eric Shen, et al., "Comparison of Energy and Visual Comfort Performance of Independent and Integrated Lighting and Daylight Controls Strategies", Paper presented at the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, 2013.

جدول ۲. جزئیات فرضیات ثابت در شبیه‌سازی، تدوین: نگارندگان.

| پارامتر                   | مقادیر                                                                      |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| کاربری                    | مسکونی                                                                      |
| شرایط مرزی جداره‌ها       | در معرض هوای آزاد                                                           |
| مشخصات سقف / کف / دیوارها | موقعیت                                                                      |
|                           | ضریب انتقال حرارت ( $U\_W/m^2K$ )                                           |
|                           | دیوار                                                                       |
|                           | سقف                                                                         |
|                           | کف                                                                          |
|                           | بندرعباس ۲/۳                                                                |
| مشخصات پنجره‌ها           | یزد ۱/۵                                                                     |
|                           | ساری ۱/۲                                                                    |
|                           | تبریز ۲/۳                                                                   |
|                           | موقعیت                                                                      |
|                           | ضریب انتقال حرارت ( $U\_W/m^2K$ )                                           |
|                           | ضریب بهره گرمایی خورشیدی (SHGC)                                             |
| بارهای داخلی              | بندرعباس ۳/۱                                                                |
|                           | یزد ۳/۱                                                                     |
|                           | ساری ۳/۱                                                                    |
|                           | تبریز ۳/۱                                                                   |
|                           | مساحت/تعداد افراد: ۴۲/۵ متر مربع / نفر                                      |
|                           | نرخ تأمین هوای تازه: ۱ متر مکعب در ساعت                                     |
|                           | بار روشنایی: ۲۰۰ وات                                                        |
| مشخصات افراد              | سطح فعالیت: ۱۲۰۰ وات بر نفر                                                 |
|                           | سطح لباس: ۰/۴۵-۱ clo                                                        |
| تهویه طبیعی               | اعمال نشده است.                                                             |
| تهویه مطبوع               | سیستم مکانیکی ایدئال                                                        |
| نقطه تنظیم گرمایشی        | ۲۰ درجه سانتی‌گراد                                                          |
| نقطه تنظیم سرمایشی        | ۲۸ درجه سانتی‌گراد برای یزد، ساری و تبریز؛ ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای بندرعباس |
| نقطه تنظیم روشنایی        | ۵۰۰ لوکس                                                                    |
| نقطه تنظیم خیرگی (DGI)    | ۲۲                                                                          |
| توزیع خورشیدی             | FullInteriorAndExteriorWithReflections                                      |
| ارتفاع زون                | ۲/۷ متر                                                                     |
| ابعاد زون                 | ۶/۸ متر                                                                     |



22. J. Xiong and A. Tzempelikos, "Model-Based Shading and Lighting Controls Considering Visual Comfort and Energy Use", *Solar Energy*, 134 (2016): 416-428.

جدول ۳. مشخصات سناریوهای کنترلی سایه‌بان، تدوین: نگارندگان.

گرفته می‌شود. مشخصات سایه‌بان‌ها مطابق با استانداردهای ASHRAE 2020 انرژی پلاس شامل پره‌هایی با عرض و فاصله ۲۵ میلیمتری و انعکاس متوسط ۰/۵ است. این پارامترها به‌منظور عرضه مدلی قابل اجرا و مطابق با استانداردهای روز صنعت ساختمان تعریف شده‌اند.

با افزایش پیچیدگی طراحی ساختمان‌های مدرن و پیشرفت‌های مهم نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی، استفاده از این ابزارها به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. در نرم‌افزار انرژی پلاس که از سوی DOE آمریکا در سال ۲۰۰۱ توسعه یافته، از مفهوم تعادل حرارتی برای محاسبه رفتار حرارتی ساختمان‌ها استفاده می‌شود.<sup>۳۸</sup> با وجود قابلیت‌های گسترده‌ی انرژی پلاس، برای بهینه‌سازی نیاز به نرم‌افزار ثانویه مانند

محاسبه می‌شود.<sup>۳۵</sup> نرخ هوای تازه واردشده به اتاق طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، برای هر ساعت ۱ متر مکعب در نظر گرفته شده است. روشنایی مصنوعی در زون مورد بررسی فقط زمانی فعال می‌شود که سطح روشنایی طبیعی در ارتفاع ۸۰ سانتی‌متری از سطح میز کار کمتر از ۵۰۰ لوکس باشد. در این تحقیق، بار الکتریکی فقط به بار ناشی از روشنایی محدود می‌شود و برای سادگی محاسبات، از سیستم گرمایش و سرمایش مکانیکی ایدئال<sup>۳۶</sup> با بازدهی ۱۰۰٪ استفاده شده است (جدول ۲).

در این مطالعه به تحلیل کرکره‌ها، یکی از رایج‌ترین سایه‌بان‌ها، پرداخته می‌شود.<sup>۳۷</sup> برای سادگی محاسبات، زاویه پره‌ها فقط در دو حالت بسته (۰ درجه) یا باز (۹۰ درجه) در نظر

| گام تغییر | محدوده تغییر نقطه تنظیم | واحد نقطه تنظیم | کنترل‌های دوره گرم سال (تابستانی)                                                           | گام تغییر | محدوده تغییر نقطه تنظیم | واحد نقطه تنظیم | کنترل‌های دوره سرد سال (زمستانی)                         | گام تغییر | محدوده تغییر نقطه تنظیم | واحد نقطه تنظیم |
|-----------|-------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------|-----------|-------------------------|-----------------|
|           |                         |                 | Always Off                                                                                  | مینا      |                         |                 | Always Off                                               | مینا      |                         |                 |
|           |                         |                 | * Always On                                                                                 | S1        |                         |                 | * Always On                                              | S1        |                         |                 |
| -         | ۲۲                      | -               | * On If High Glare                                                                          | S2        |                         |                 | * On If High Glare                                       | S2        |                         |                 |
|           | ۳۰-۱۵                   |                 | On Night If Low Out door Temp And Off Day                                                   | S3        |                         |                 | On If High Outdoor Air Temperature                       | S3        |                         |                 |
|           | ۲۸-۲۰ **                | ۰/۵             | On Night If Low Inside Temp And Off Day                                                     | S4        |                         |                 | On If High Zone Air Temperature                          | S4        |                         |                 |
|           | ۳۰-۱۵                   |                 | * On Night If Low Out door Temp And On Day If Cooling ow Outdoor Temp And On Day If Cooling | S5        |                         |                 | * On Night If Low Outdoor Temp And On Day If Cooling     | S5        |                         |                 |
|           | ۲۵۰۰-۱۰۰                | ۱۰۰             | On Night If Heating And Off Day                                                             | S6        |                         |                 | On If High Zone Cooling                                  | S6        |                         |                 |
|           |                         |                 | * On Night If Heating And On Day If Cooling                                                 | S7        |                         |                 | * On Night If Heating And On Day If Cooling              | S7        |                         |                 |
|           |                         |                 |                                                                                             | S8        |                         |                 | On If High Solar On Window                               | S8        |                         |                 |
|           |                         |                 |                                                                                             | S9        |                         |                 | On If High Horizontal Solar                              | S9        |                         |                 |
|           |                         |                 |                                                                                             | S10       |                         |                 | Off Night And On Day If Cooling And High Solar On Window | S10       |                         |                 |
|           |                         |                 |                                                                                             | S11       |                         |                 | On Night And On Day If Cooling And High Solar On Window  | S11       |                         |                 |
|           |                         |                 |                                                                                             | S12       |                         |                 | On If High Outdoor Air Temp And High Solar On Window     | S12       |                         |                 |
|           |                         |                 |                                                                                             | S13       |                         |                 | On If High Out door Air Temp And High Horizontal Solar   | S13       |                         |                 |
|           |                         |                 |                                                                                             | S14       |                         |                 | On If High Zone Air Temp And High Solar On Window        | S14       |                         |                 |
|           |                         |                 |                                                                                             | S15       |                         |                 | On If High Zone Air Temp And High Horizont al Solar      | S15       |                         |                 |

\*. کنترل‌های عمومی که در هر دو بازه زمانی تابستان و زمستان استفاده می‌شود (USDOE 2019).  
 \*\*. به جز در اقلیم بندرعباس که به جای ۲۵/۲۸ در نظر گرفته شده است.

23. Liang Zhang, et al., "A Review of Machine Learning in Building Load Prediction". *Applied Energy*, 285 (2021): 116452.

جدول ۴ (پایین). مشخصات آبوهوایی اقلیم‌های مورد مطالعه، تدوین: نگارندگان.

ت ۲ (بالا). تعریف دوره‌های گرم و سرد سال، مأخذ:

Firlag, et al., "Control Algorithms for Dynamic Windows for Residential Buildings".

ایران، انتخاب شده است. مطابق با مطالعه فیرلگ و همکاران<sup>۴۵</sup>، دوره‌های گرم (تابستانی) و سرد (زمستانی) در شهرهای یزد، ساری، و تبریز بر اساس میانگین هفتگی دمای داخلی زون و میانگین نقاط تنظیم ترموستات (۲۰ و ۲۸ درجه سانتی‌گراد) تعیین می‌شود. به این صورت که اگر میانگین هفتگی دمای داخلی بیش از ۲۴ درجه باشد، زون در دوره گرم سال قرار دارد و از سناریوهای تابستانی استفاده می‌شود. در غیر این صورت، زون در دوره سرد سال قرار می‌گیرد و سناریوهای زمستانی به کار می‌آیند. برای شهر بندرعباس، با در نظر گرفتن تفاوت در نقاط تنظیم ترموستات (۲۰ و ۲۵ درجه)، دمای ۲۲/۵ درجه به منزله معیار دوره‌های گرمایی و سرمایی در نظر گرفته شده است (ت ۲).

بنابراین، تعداد روزهای گرم و سرد سال در هر اقلیم متفاوت است که این اختلاف‌ها در «جدول ۳» آمده است. شبیه‌سازی کنترل‌های تابستانی و زمستانی سایه‌بان‌ها نیز بر اساس مدت دوره شبیه‌سازی در هر شهر متفاوت خواهد بود. فایل‌های

جی‌پلاس است که ژانگ و کرولیجا<sup>۴۹</sup> در سال ۲۰۰۹ آن را ابداع کردند. این نرم‌افزار به کاربران امکان می‌دهد تا مطالعات پارامتریک را با استفاده از انرژی پلاس انجام دهند. در تحقیق پیش رو به بهینه‌سازی موقعیت سایه‌بان‌ها (داخلی/خارجی)، جهت‌گیری ساختمان (۰ = پنجره رو به جنوب، ۹۰ = پنجره رو به غرب، ۱۸۰ = پنجره رو به شمال و ۲۷۰ = پنجره رو به شرق)، و سناریوهای کنترلی سایه‌بان‌ها «جدول ۳» پرداخته می‌شود. هدف اصلی در این تحقیق، انتخاب استراتژی کنترلی مناسب برای سایه‌بان‌ها در دو دوره گرم و سرد سال در چهار اقلیم مختلف ایران است. این بررسی شامل تحلیل اثرات مختلف ۱۹ استراتژی کنترلی بر بار سرمایشی، گرمایشی، بار الکتریکی روشنایی، کل مصرف انرژی ساختمان، و همچنین آسایش حرارتی و بصری ساکنان بر اساس شاخص‌های PPD<sup>۴۰</sup> و DGI<sup>۴۰</sup> است. مدل مبنا در این تحقیق، بدون سایه‌بان است (Always Off) و نتایج با آن مقایسه می‌شوند. در ادامه تحقیق، از مدل یادگیری ماشین جنگل تصادفی برای پیش‌بینی و بررسی تأثیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده با الگوریتم SHAP استفاده خواهد شد. حسگر شاخص خیرگی (DGI) در مرکز زون و در ارتفاع ۰/۸ متری از کف (ارتفاع میزکار) قرار گرفته و مقدار آن طبق فرمول تعریف‌شده در انرژی پلاس محاسبه می‌شود.<sup>۴۲</sup> بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کپن<sup>۴۳</sup>، ایران دارای چهار منطقه اقلیمی اصلی است<sup>۴۴</sup> که در «جدول ۴» بررسی شده‌اند. برای هریک از این اقلیم‌ها، یک شهر بزرگ، مرکز یکی از استان‌های



| شهر       | منطقه اقلیمی  | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع | میانگین دمای سالانه [C] | میانگین رطوبت نسبی [%] | حداقل میانگین دمای روزانه [C] | حداکثر میانگین دمای روزانه [C] | تعداد روزهای سرد سال | تعداد روزهای گرم و سرد (اعتدالین) | تعداد روزهای گرم سال |
|-----------|---------------|---------------|---------------|--------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| بندر عباس | گرم و مرطوب   | ۵۶/۲          | ۲۷/۱          | ۹      | ۲۶/۸                    | ۶۵/۲                   | ۱۲/۰                          | ۳۶/۹                           | ۵۰                   | ۳۵                                | ۲۸۰                  |
| یزد       | گرم و خشک     | ۵۴/۳          | ۳۱/۹          | ۱۲۳۷   | ۱۹/۲                    | ۲۹/۲                   | ۱/۰                           | ۳۵/۳                           | ۱۷۶                  | ۴۲                                | ۱۴۷                  |
| ساری      | معتدل و مرطوب | ۵۳/۲          | ۳۶/۶          | ۱۰     | ۱۷/۳                    | ۷۸/۹                   | ۴/۶                           | ۳۰/۱                           | ۱۹۷                  | ۴۲                                | ۱۲۶                  |
| تبریز     | سرد           | ۴۶/۲          | ۳۸/۰          | ۱۳۶۱   | ۱۲/۰                    | ۵۳/۵                   | -۱۰/۶                         | ۳۰/۷                           | ۲۱۸                  | ۴۲                                | ۱۰۵                  |

اقلیمی شهرهای بندرعباس، یزد، و تبریز از پایگاه داده انرژی پلاس و شهر ساری از پایگاه داده OneBuilding جمع‌آوری شده‌اند که هریک حاوی عوامل محیطی ساعتی است. داده‌ها به‌صورت فایل‌های epw وارد ابزارهای شبیه‌سازی ساختمان می‌شوند.

## ۲. نتایج

تابش خورشیدی واردشده به داخل اتاق تأثیر قابل‌توجهی بر میزان مصرف انرژی حرارتی ساختمان در فصول تابستان و زمستان دارد. سایه‌بان، ابزار کنترل‌کننده تابش خورشیدی، نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی دارد. در نرم‌افزار انرژی پلاس سناریوهای مختلف کنترل سایه‌بان در سه دسته تابستانی، زمستانی، و سالیانه تقسیم‌بندی شده‌اند تا به‌ترتیب، بار سرمایشی و بار گرمایشی و هردو آنها را کاهش دهند. در این مقاله، سناریوهای سالیانه هم در دسته کنترل‌های تابستانی و هم زمستانی بررسی شده‌اند تا امکان مقایسه با سایر سناریوها فراهم باشد. بنابراین، سناریوها به دو گروه کنترل‌های تابستانی و زمستانی قابل‌تقسیم هستند. مقایسه در هردو گروه بر اساس سناریوی بدون سایه‌بان (AlwaysOff) انجام شده و نتایج به‌صورت درصد تغییر در متغیرهای هدف، نسبت به حالت مبنا، در نمودارها به‌صورت افزایش (+) یا کاهش (-) نمایش داده شده است.

### ۲.۱. مقایسه سناریوهای کنترلی تابستانی

در این بخش سناریوهای تابستانی و سالیانه بررسی می‌شود، این سناریوها فقط در دوره‌های گرم سال و بر اساس شرایط آب‌وهوایی هر شهر اجرا می‌شوند. ارزیابی‌ها ابتدا بر اساس بار سرمایشی و بار الکتریکی روشنایی، و سپس بر اساس مصرف کل انرژی ساختمان صورت می‌گیرد و نتایج آنها در

24. Machine Learning
25. A. Bassi, et al., "Building Energy Consumption Forecasting: A Comparison of Gradient Boosting Models", Paper presented at the Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Advances in Information Technology, 2021.
26. Random Forest
27. D.B. Araya, et al., "An Ensemble Learning Framework for Anomaly Detection in Building Energy Consumption", *Energy and Buildings*, 144 (2017): 191-206.
28. Muhammad Waseem Ahmad, et al., "Trees vs Neurons: Comparison between Random Forest and Ann for High-Resolution Prediction of Building Energy Consumption", *Energy and Buildings*, 147 (2017): 77-89.
29. SHapley Additive exPlanations
30. E. Winter, "The Shapley Value", *Handbook of Game Theory with Economic Applications*, 3 (2002): 2025-2054.
31. Ashrae

قالب نمودارهای باکس چارت ارائه می‌شوند؛ در این نمودارها تغییرات بارها موقعیت سایه‌بان‌ها مورد نظر هستند. سناریوهایی که بیشترین کاهش در مصرف انرژی را دارند، بر اساس تعداد ساعات ناراضایتی حرارتی و بصری ارزیابی می‌شوند. در این دوره، به‌دلیل ناچیز بودن مصرف انرژی گرمایشی، این مصرف بررسی نمی‌شود. این مجموعه سناریو ۱۵ عضو دارد که در «ت ۳» تا «ت ۵»، تغییرات درصدی در بار سرمایشی، بار الکتریکی روشنایی، و مصرف کل انرژی، در مقایسه با حالت بدون سایه‌بان (سناریوی مبنا) نشان داده شده است.

### ۲.۱.۱. بار سرمایشی

استفاده از کنترل‌های تابستانی سایه‌بان در کاهش بار سرمایشی ساختمان‌ها در همه شهرها مؤثر است (ت ۳)، اما میزان کاهش بستگی به نوع کنترل، جهت‌گیری پنجره‌ها، موقعیت سایه‌بان، و نوع اقلیم دارد. این کارایی به‌ترتیب در بندرعباس (۱۰/۹٪)، یزد (۲۷/۴٪)، ساری (۳۱/۴٪)، و تبریز (۵۵/۶٪) افزایش می‌یابد، که نشان می‌دهد در اقلیم‌های سردتر، کارایی سایه‌بان در کاهش بار سرمایشی بیشتر است. این امر به این دلیل است که در اقلیم‌های سرد، افزایش بار حرارتی ساختمان تنها ناشی از تابش خورشیدی است که می‌توان آن را با کنترل سایه‌بان کاهش داد.

همچنین، نصب سایه‌بان‌ها در جهت‌های شرقی و غربی تأثیر بیشتری نسبت به جهت‌های شمالی و جنوبی دارد. در شهرهای بندرعباس، یزد، تبریز، و ساری به‌ترتیب ۳۳/۵، ۳۹/۵، ۲۷/۱، و ۰/۶٪ افزایش تأثیر مشاهده شده است. این تفاوت به‌دلیل تابش بیشتر خورشیدی روی سطوح شرقی و غربی در تابستان نسبت به سطوح شمالی و جنوبی است. در همه اقلیم‌ها، بیشترین اثر سایه‌بان زمانی است که پنجره‌ها رو به غرب باشد، و کمترین اثر آن در ساختمان‌هایی با پنجره‌های رو



ت ۳ (بالا). تأثیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بر بار سرمایشی ساختمان در کنترل‌های تابستانی، تدوین: نگارندگان.

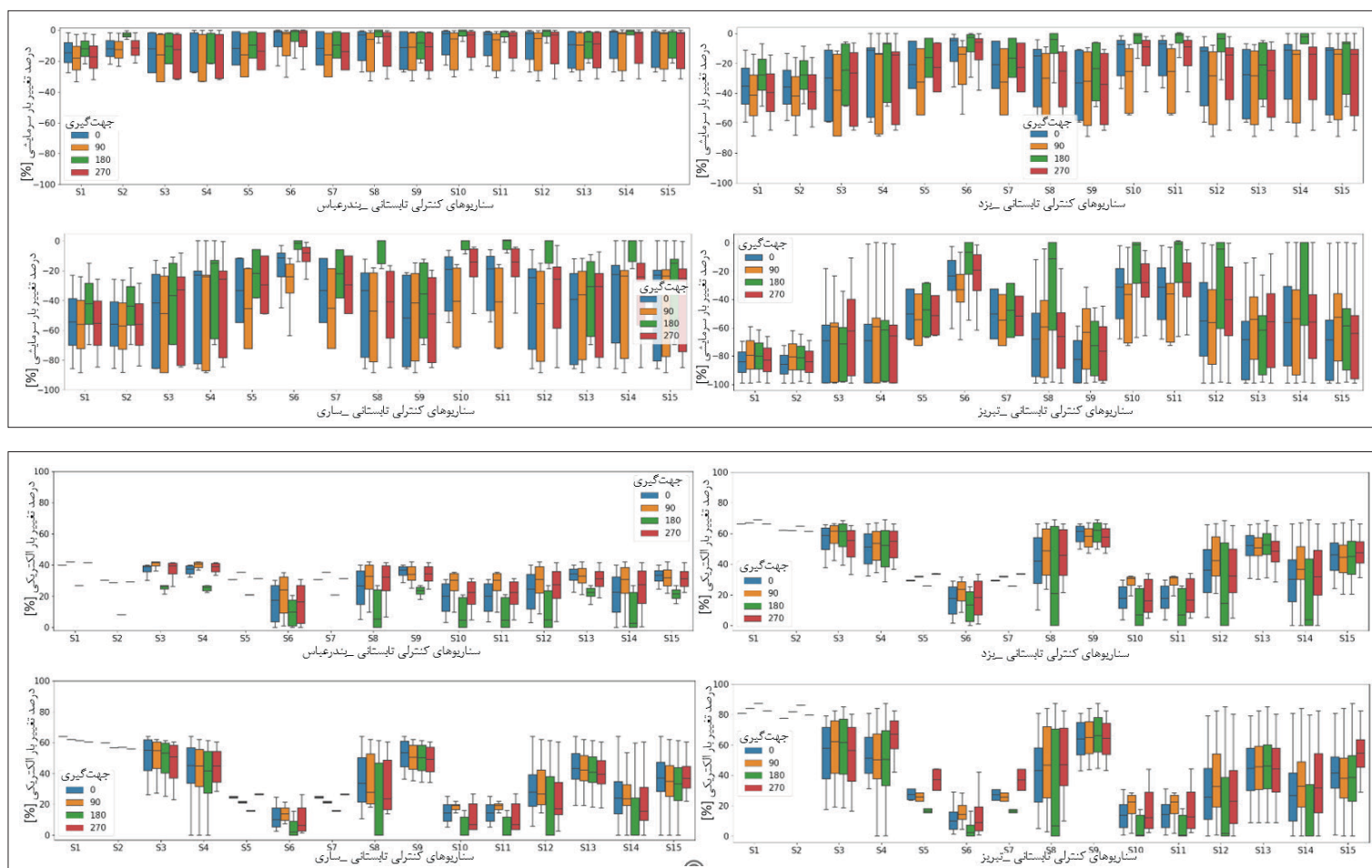
ت ۴ (پایین). تأثیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بر بار الکتریکی روشنایی ساختمان در کنترل‌های تابستانی، تدوین: نگارندگان.

به اقلیم منطقه بستگی دارد (ت ۴). در بندرعباس، ساری، تبریز، و یزد این افزایش به‌ترتیب  $۰/۲۵/۹\%$ ،  $۰/۳۱/۴\%$ ،  $۰/۳۵/۹\%$ ، و  $۰/۴۰/۳\%$  است. این نتایج نشان می‌دهند که بستن سایه‌بان‌ها برای خنک کردن محیط در تابستان به کاهش نور طبیعی و افزایش نیاز به روشنایی مصنوعی منجر می‌شود. بنابراین، انتخاب سناریوهای کنترلی باید به‌گونه‌ای باشد که تعادلی میان بار سرمایشی و بار الکتریکی روشنایی ایجاد کند.

به شمال است. در بندرعباس این مقدار بین  $۷/۳$  تا  $۰/۱۳/۶\%$ ، در یزد بین  $۱۷/۹$  تا  $۰/۳۴/۷\%$ ، در ساری بین  $۲۴/۹$  تا  $۰/۴۸/۱\%$ ، و در تبریز بین  $۳۹/۴$  تا  $۰/۶۱/۵\%$  (به‌طور استثنای در جبهه جنوبی) است.

## ۲.۱.۲. بار الکتریکی روشنایی

استفاده از کنترل‌های تابستانی سایه‌بان در همه شهرها منجر به افزایش بار الکتریکی روشنایی می‌شود که میزان این افزایش



32. J. Neymark, et al., *Update of Ashrae Standard 140 Section 5.2 and Related Sections (Bestest Building Thermal Fabric Test Cases)*. Argonne National Lab. (ANL), Argonne, IL (United States), 2020.

33. U-Value

34. National Building Regulations of Iran. Chapter 19: Energy Conservation. Tehran, Iran: Iranian National Building Regulations, 2020.

ت ۵. تأثیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بر مصرف کل انرژی ساختمان در کنترل‌های تابستانی، تدوین: نگارندگان.

سناریوهای ۶، ۱۰ و ۱۱ در همه شهرها کمترین افزایش در بار الکتریکی روشنایی را داشته‌اند. در سناریو ۶، این افزایش در بندرعباس، یزد، ساری، و تبریز به ترتیب ۱۵/۳، ۱۷/۱، ۱۰/۰ و ۱۰/۸٪ است. همچنین برای این سناریوها کمترین کاهش بار سرمایشی به ترتیب ۵/۶، ۱۳/۲، ۱۶/۵ و ۲۳/۲٪ ثبت شده است. چراکه در این سناریوها، سایه‌بان‌ها تا رسیدن به حد نقاط تنظیم سرمایش باز می‌مانند و تأثیری بر محدودیت نور ندارند، که این باعث کاهش کمتری در مصرف انرژی سرمایش می‌شود.

### ۳.۱.۲. مصرف کل انرژی در تابستان

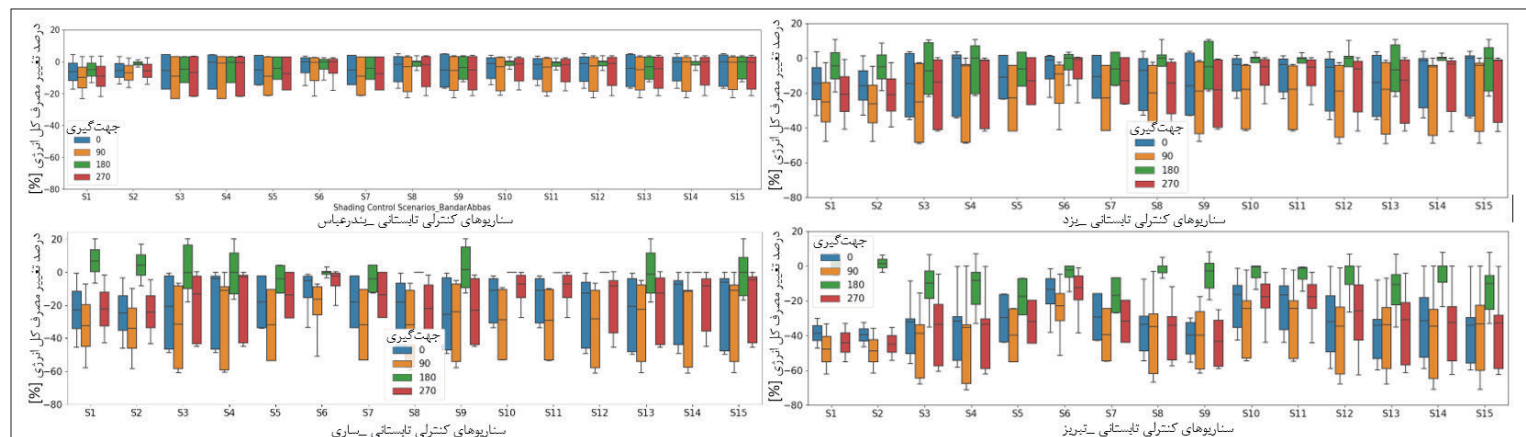
در «ت ۵» مصرف کل انرژی در تابستان، شامل انرژی‌های سرمایشی و روشنایی، مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه سایه‌بان‌ها در تابستان می‌توانند بار سرمایشی را کاهش دهند و احتمالاً بار الکتریکی روشنایی را افزایش دهند، مصرف کل انرژی در سناریوها و شرایط مختلف متغیر است. همچنین، در این تصویر کارایی سایه‌بان‌ها در کاهش مصرف کل انرژی را نشان می‌دهد که به اقلیم وابسته است. در شهرهایی مانند تبریز و ساری با تابستان‌های معتدل‌تر، تأثیر سایه‌بان‌ها بیشتر است، در حالی که در شهرهای گرم‌تری مانند یزد و بندرعباس

تأثیر آنها کمتر است. این به دلیل تأثیر بیشتر تابش خورشیدی در دماهای پایین‌تر است. همچنین، کاهش درصدی مصرف انرژی با استفاده از سایه‌بان‌ها در جبهه‌های شرقی و غربی بیشتر از جبهه‌های شمالی و جنوبی است، که اهمیت نصب سایه‌بان‌ها روی این سطوح را نشان می‌دهد.

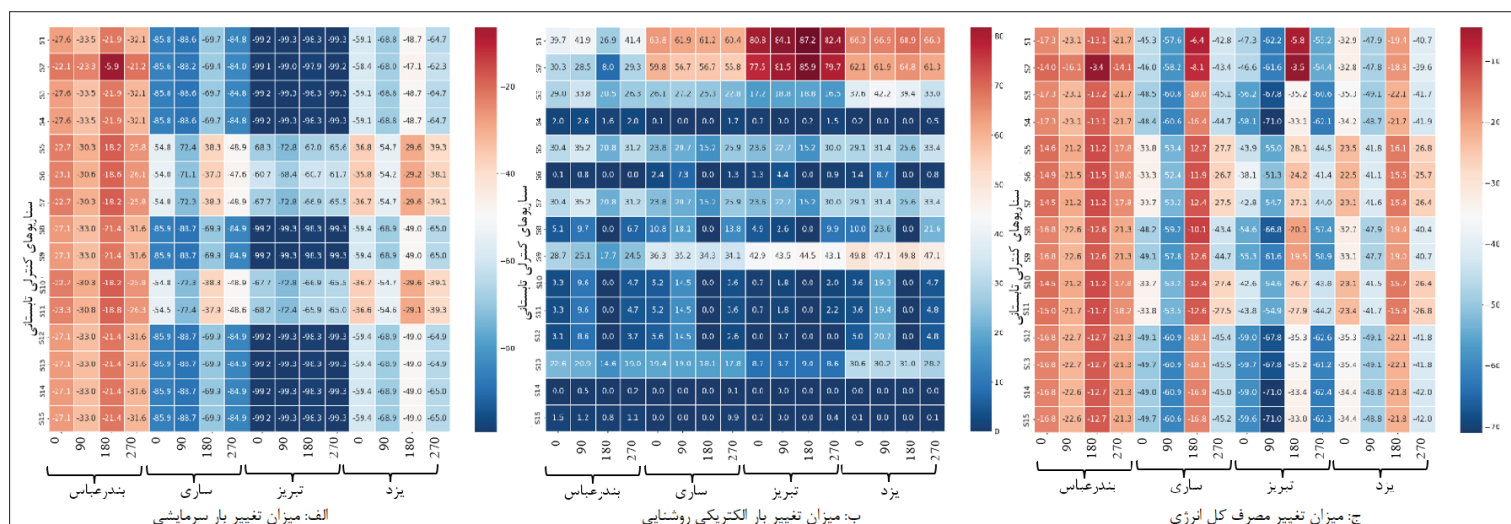
سناریوهای ۶، ۱۰ و ۱۱ در کاهش مصرف کل انرژی کمترین تأثیر را داشته‌اند؛ زیرا سایه‌بان‌ها در این سناریوها تا رسیدن به حداکثر دما باز نگه داشته می‌شوند، که تأثیر آنها را در کاهش مصرف انرژی محدود می‌کند. کاهش مصرف انرژی در بندرعباس، یزد، تبریز، و ساری به ترتیب ۳/۳، ۷/۶، ۹/۴ و ۱۴/۵٪ است. بیشترین کاهش مصرف انرژی در این شهرها مربوط به سناریوهای ۳، ۲، ۸ و ۴ است، با کاهش‌های به ترتیب ۷/۵، ۱۷/۰، ۱۹/۸ و ۳۵/۱٪. اثربخشی هر سناریو و بهینه‌ترین حالت آن در بخش بعدی بررسی خواهد شد.

### ۴.۱.۲. انتخاب بهینه‌ترین سناریو از منظر بار سرمایشی، بار الکتریکی روشنایی، و مصرف کل انرژی در تابستان

در انتخاب سناریوهای کنترلی تابستانی، آستانه فعال‌سازی بر اساس محرک‌های کنترلی نظیر دما، تابش، و بار حرارتی



ت ع تأثیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بر بار سرمایشی، بار الکتریکی روشنایی، و مصرف کل انرژی ساختمان در بهینه‌ترین حالت کنترل‌های تابستانی (محور افقی): جهت‌گیری‌های مختلف در شهرهای مورد بررسی، محور عمودی: سناریوهای کنترلی تابستانی، رنگ‌های سرد، بیشترین کاهش بار سرمایشی، کمترین افزایش بار الکتریکی روشنایی، و بیشترین کاهش مصرف کل انرژی را نسبت به حالت مبنا نشان می‌دهد. اعداد داخل هر خانه بیانگر مقدار کاهش است، تدوین: نگارندگان.



یک متغیر کلیدی است. این انتخاب به تعیین سناریوهای که بیشترین آسایش بصری و حرارتی را بروز می‌دهند، کمک می‌کند. در «ت ع الف» مشاهده می‌شود که سناریوهای ۸، ۹، ۱۲، ۱۳، ۱۴، و ۱۵ در کاهش بار سرمایشی در همه شهرها عملکرد بهتری دارند. سناریوهای ۱، ۲، ۳، و ۴ در بیشتر شهرها عملکرد متوسطی داشته‌اند، درحالی‌که سناریوهای ۵، ۶، ۷، ۱۰، و ۱۱ از نظر حرارتی عملکردشان ضعیف بوده است. سناریوهای مبتنی بر تابش خورشیدی (مانند سناریوهای ۸ و ۹) و ترکیب محرک‌های دمایی با تابش (مانند سناریوهای ۱۲ تا ۱۵) در مقایسه با سناریوهای که فقط به دما وابسته هستند (مانند سناریوهای ۳ و ۴)، عملکرد بهتری دارند. بنابراین، سناریوهای ۸ و ۹ می‌توانند گزینه‌های اولیه برای کاهش بار سرمایشی در نظر گرفته شوند.

در بهترین حالت هر سناریوی کنترلی، بر اساس بار الکتریکی روشنایی که در «ت ع ب» نشان داده شده است، سناریوهای ۴، ۱۴، و ۱۵ کمترین افزایش بار الکتریکی روشنایی را در همه شهرها داشته‌اند. این نتایج با توجه به حساسیت سناریوها نسبت

به دمای داخلی و محدوده دمایی سیستم مکانیکی قابل توجه است.

در «ت ع ج» کارایی سناریوهای کنترلی را از نظر کاهش مصرف کل انرژی می‌توان دید. سناریوها به سه دسته تقسیم می‌شوند: اول، سناریوهای با کمترین کارایی (سناریوهای ۵، ۷، ۱۰، ۱۱، و ۱۶)؛ دوم، سناریوهای با کارایی متوسط (سناریوهای ۸، ۹، ۱، و ۲)؛ و سوم، سناریوهای با بهترین کارایی (سناریوهای ۱۵، ۱۴، ۱۲، ۱۳، ۴، و ۳). این تقسیم‌بندی بر اساس عملکرد سناریوها در کاهش مصرف کل انرژی است. سناریوهای برتر در همه شهرها و جهات عملکردشان ثابت شده و عامل مشترک بین آنها دمای داخل و بیرون است. سناریوهای که فاقد این دو کنترل هستند، عملکرد ضعیف‌تری دارند. بنابراین، مهم‌ترین محرک‌های کاهش‌دهنده مصرف انرژی، دمای داخل و بیرون هستند که در سناریوهای ۳ و ۴ به‌تنهایی و در سناریوهای ۱۲ تا ۱۵ در ترکیب با تابش خورشیدی استفاده می‌شوند. در ترکیب این دو عامل با تابش خورشیدی عملکرد بهتری را در برخی شهرها و جهات شاهدیم.

35. ASHRAE Standing Standard Project Committee 55. *Cognizant TC: 2.1, Physiology, and Human Environment. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (Ashrae, 2023).

36. Ideal Air Load

37. A. Tabadkani, et al., "A Review of Automatic Control Strategies Based on Simulations for Adaptive Facades", *Building and Environment*, 175 (2020): 106801.

ت ۷. تاثیر متغیرهای پیش‌بینی کننده بر تعداد ساعات ناراضیاتی حرارتی و بصری ساکنان در بهینه‌ترین حالت کنترل‌های تابستانی، تدوین: نگارندگان.

طبق نتایج، سناریوهای مختلف می‌توانند در تابستان بار سرمایشی را بین ۵/۹ تا ۹۹/۳٪ کاهش دهند، بار الکتریکی روشنایی را تا ۸۷/۲٪ افزایش دهند، و مصرف کل انرژی را بین ۳/۴ تا ۷۱٪ کاهش دهند.

## ۵.۱.۲. ناراضیاتی حرارتی و بصری

این پژوهش با هدف شناسایی سناریوهای بهینه بر اساس دو معیار کلیدی کاهش مصرف کل انرژی و کمینه‌سازی ساعات ناراضیاتی حرارتی و بصری انجام شده است. در این بخش، سناریوها از نظر کاهش ساعات ناراضیاتی حرارتی و بصری مقایسه و بهترین سناریوها شناسایی می‌شوند.

در «ت ۷. الف» کاهش ناراضیاتی حرارتی را در بهترین حالت‌های انتخابی شاهدیم، که شامل سناریوهای ۱۵، ۱۴، ۱۲، ۱۳، ۴، و ۳ است. این سناریوها از نظر کاهش مصرف کل انرژی برتر شناخته شده‌اند. تفاوت‌های جزئی کمتر از ۱٪ در برخی شهرها به جهت‌گیری ساختمان بستگی دارد. به‌منظور سادگی، میانگین درصد کاهش ناراضیاتی حرارتی در چهار جهت‌گیری مختلف مقایسه شده است. به‌طور مثال، در شهرهای یزد و تبریز سناریوی ۴، در ساری سناریوهای ۱۲ و ۱۳، و در بندرعباس سناریوهای ۳ و ۴ بهترین عملکرد را دارند. بنابر نتایج، طراحی و کنترل بهینه سایه‌بان می‌تواند ناراضیاتی

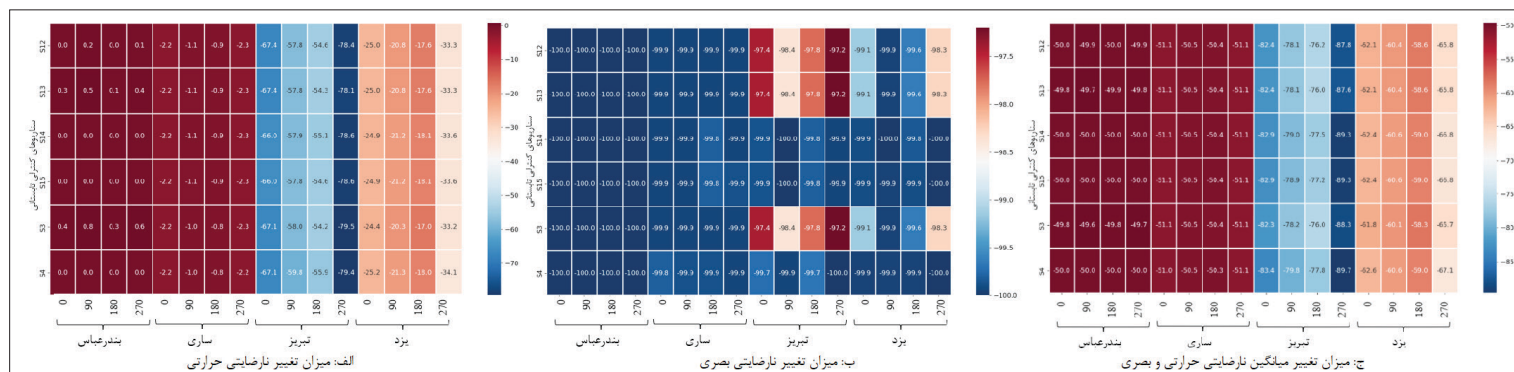
حرارتی را در تابستان تا ۷۹/۵٪ در تبریز کاهش دهد.

«ت ۷. ب» نیز نمایانگر کاهش ناراضیاتی بصری در بهترین حالت‌های انتخابی است. سناریوهای ۴، ۱۴، و ۱۵ برای تبریز و یزد و سناریوهای ۳، ۱۲، و ۱۳ برای بندرعباس و ساری بهترین گزینه‌ها از نظر آسایش بصری هستند. در این حالت‌های بهینه، ناراضیاتی بصری در تابستان بین ۹۷/۲ تا ۱۰۰٪ کاهش یافته است که به معنای تقریباً صفر شدن ساعات ناراضیاتی بصری است.

عملکرد هر سناریو در کاهش ناراضیاتی حرارتی و بصری، بسته به کنترل‌های اعمال‌شده، متفاوت است، و شاید برخی سناریوها در یک جنبه بهتر عمل کنند. درنهایت، تصمیم‌گیری بر اساس میانگین تغییرات در ساعات ناراضیاتی حرارتی و بصری انجام می‌شود (ت ۷. ج).

## ۶.۱.۲. انتخاب بهینه‌ترین آستانه فعال‌سازی سناریوی کنترلی از منظر مصرف انرژی و آسایش حرارتی و بصری در تابستان

پس از استخراج بهترین حالت هر سناریوی کنترلی از نظر آسایش حرارتی و بصری، بهترین سناریو معرفی می‌شود که نه تنها مصرف انرژی کل، بلکه آستانه فعال‌سازی آن نیز تعداد ساعات ناراضیاتی بصری و حرارتی را به حداقل می‌رساند. در «جدول ۵» بهینه‌ترین



| درصد تغییرات ساعات<br>ناراضایتی بصری (%) | درصد تغییرات ساعات<br>ناراضایتی حرارتی (%) | درصد تغییرات مصرف<br>انرژی کل (%) | نقطه تنظیم<br>دمایی (°C) | نقطه تنظیم<br>تابشی (W) | موقعیت سایه بان | سناریو کنترلی تابستانی | اقلیم    |
|------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|----------|
| ۱۰۰                                      | ۹,۶                                        | ۱۸,۸                              | ۱۵                       | -                       | خارجی           | S3                     | بندرعباس |
| ۹۹,۹                                     | ۲۱,۸                                       | ۳۵,۲                              | ۲۰                       | -                       | خارجی           | S4                     | یزد      |
| ۹۹,۹                                     | ۱,۵                                        | ۳۷,۸                              | ۱۵                       | ۰                       | خارجی           | S12<br>S13             | ساری     |
| ۹۲,۱                                     | ۶۴,۲                                       | ۴۵,۵                              | ۲۰,۵                     | -                       | خارجی           | S4                     | تبریز    |

38. EnergyPlus LBNL, "Energy Plus Documentation: Getting Started with Energyplus". EnergyPlus Engineering Reference, Input and Output Reference, 2010.

جدول ۵ (بالا). بهینه‌ترین آستانه فعال‌سازی سناریوی کنترلی از منظر مصرف انرژی و آسایش حرارتی و بصری در تابستان، تدوین: نگارندگان.

ت ۸ (پایین). تاثیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بر بار گرمایشی ساختمان در کنترل‌های زمستانی، تدوین: نگارندگان.

## ۲.۲.۱. بار گرمایشی

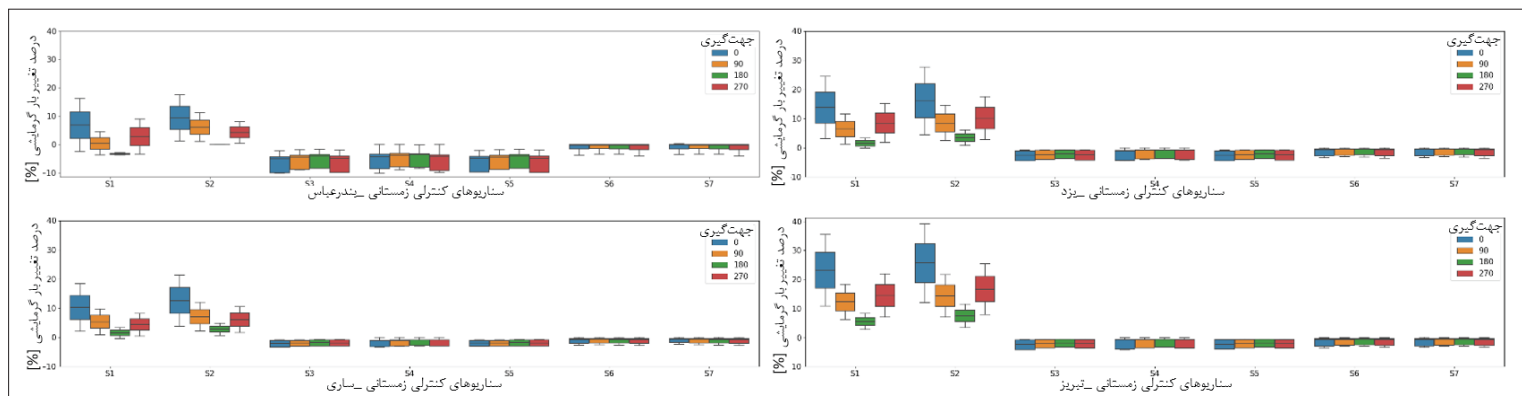
مطابق «ت ۸»، کنترل‌های زمستانی سایه‌بان در بیشتر شهرها تأثیر کمی بر کاهش بار گرمایشی دارند و گاهی در سناریوهای ۱ و ۲، حتی باعث افزایش بار می‌شوند. این تغییرات به نوع کنترل، جهت پنجره، موقعیت سایه‌بان، و اقلیم شهر بستگی دارد. اثربخشی سایه‌بان‌ها در کاهش بار گرمایشی با توجه به اقلیم متفاوت است؛ در اقلیم‌های سرد، مانند تبریز و یزد، کارایی کمتری دارند، درحالی‌که در اقلیم‌های خنک مانند بندرعباس مؤثرترند. این ممکن است به تأثیر بیشتر رسانش گرما از دیوارها نسبت به تابش از پنجره‌ها اشاره داشته باشد.

بنابر «ت ۸»، سناریوهای کنترل زمستانی به سه گروه تقسیم می‌شوند: گروه اول شامل سناریوهای ۱ و ۲ است که تابش خورشیدی را دائماً (S1) یا برای جلوگیری از خیرگی (S2) مسدود می‌کنند، که ممکن است بار گرمایشی را افزایش دهند.

آستانه فعال‌سازی سناریوی برتر همراه با تغییرات مصرف انرژی و ساعات ناراضایتی حرارتی و بصری مشاهده می‌شود.

## ۲.۲.۲. مقایسه سناریوهای کنترلی زمستانی

این گروه شامل سناریوهای ویژه زمستان و سالانه است که فقط در دوره سرد و برای شهر خاصی مقایسه می‌شود. ابتدا سناریوها بر اساس بار گرمایی و بار روشنایی الکتریکی، و سپس بر اساس کل مصرف انرژی ارزیابی می‌شوند. سناریوهای برتر از نظر کاهش ناراضایتی حرارتی و بصری انتخاب می‌شوند. در این دوره، مصرف انرژی سرمایشی نادیده گرفته شده است. گروه شامل ۷ سناریوست که در «ت ۸» تا «ت ۱۰»، تغییرات درصدی بار گرمایی، بار الکتریکی روشنایی، و کل مصرف انرژی در مقایسه با حالت بدون سایه‌بان (سناریوی مبنا) نشان داده شده است.



ت ۹ (بالا). تأثیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بر بار الکتریکی روشنایی ساختمان در کنترل‌های زمستانی، تدوین: نگارندگان.

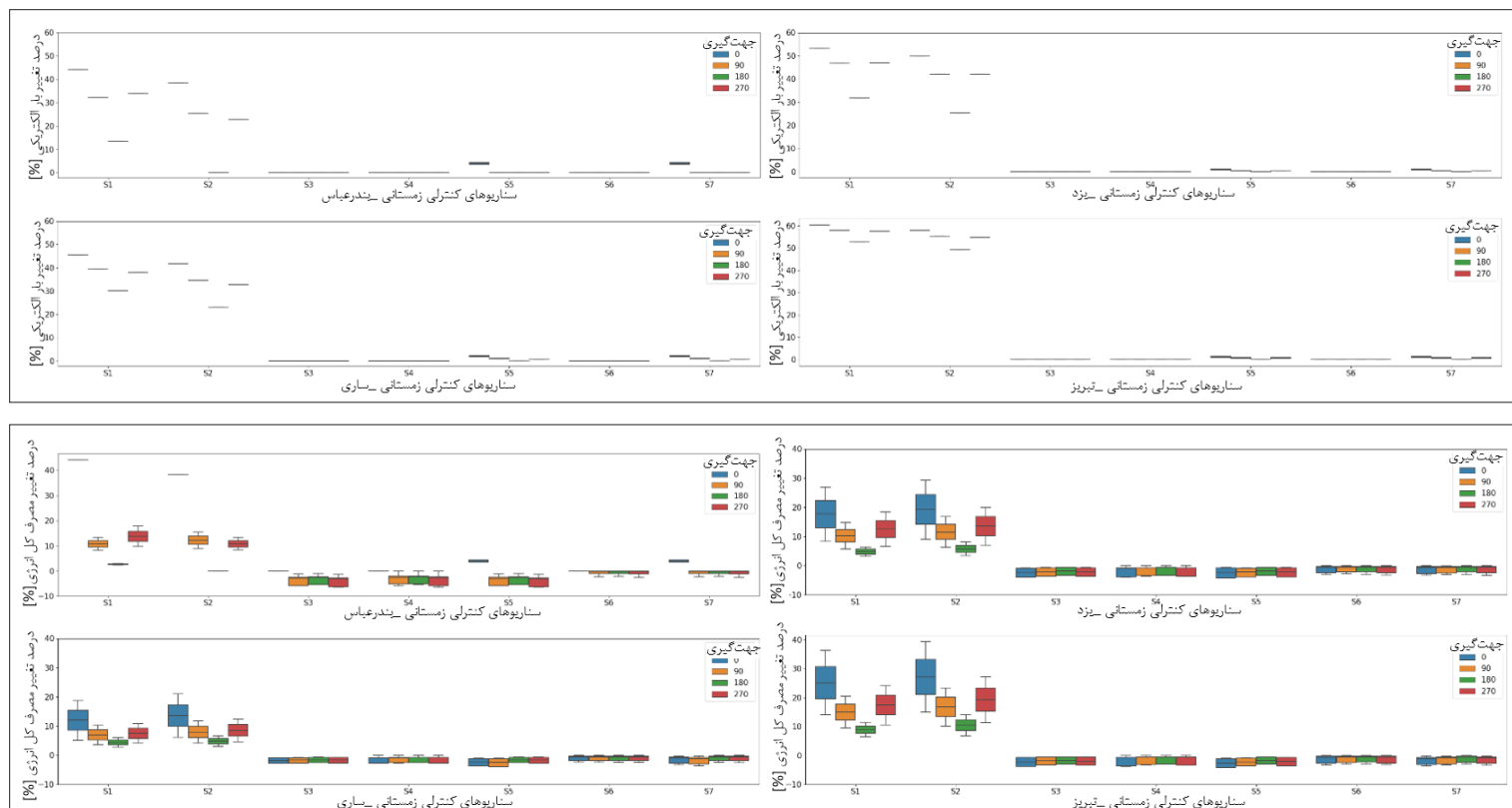
ت ۱۰ (پایین). تأثیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بر مصرف کل انرژی ساختمان در کنترل‌های زمستانی، تدوین: نگارندگان.

این سناریوها با چرخش ساختمان به ۱۸۰ درجه و پنجره‌های شمالی کمترین تأثیر منفی دارند. گروه دوم شامل سناریوهای ۶ و ۷ است که با کارایی حرارتی بهتر ۲/۵ تا ۵/۸٪ کاهش بار گرمایشی دارند. گروه سوم شامل سناریوهای ۴، ۳، و ۵ است که به‌طور مؤثر بار سرمایشی را ۲/۹ تا ۱۱/۳٪ کاهش می‌دهند. بررسی سناریوهای برتر نشان می‌دهد که بسته شدن سایه‌بان‌ها بر اساس دمای بیرونی یا داخلی شب‌ها نسبت به بسته شدن آنها برای فعال‌سازی سیستم گرمایش اهمیت بیشتری دارد. در سناریوهای با کارایی متوسط و بالا، سایه‌بان‌های نصب‌شده روی جبهه جنوبی تأثیر کمتری بر کاهش بار گرمایشی دارند. در سناریوهای با کارایی پایین، تأثیر تابش خورشید بر ساختمان‌های

با پنجره‌های جنوبی در زمستان قابل توجه است و مسدود کردن تابش موجب افزایش محسوس بار گرمایشی می‌شود.

## ۲.۲.۲. بار الکتریکی روشنایی

اجرای سناریوهای ۱ و ۲ منجر به افزایش بار الکتریکی روشنایی می‌شود (ت ۹). در سناریوی ۱، سایه‌بان‌ها همیشه فعال هستند و در سناریوی ۲، به‌دلیل زاویه پایین تابش خورشید در زمستان و خطر خیرگی، سایه‌بان‌ها غالباً فعال می‌شوند که این به افزایش مصرف انرژی الکتریکی برای روشنایی منجر می‌گردد. در مقابل، سناریوهای ۴، ۳، و ۶ که در آنها سایه‌بان‌ها در طول روز باز هستند، هیچ افزایشی در مصرف انرژی نشان نمی‌دهند. همچنین، در



39. Yi Zhang and Ivan Korolija, "Performing Complex Parametric Simulations with Jeplus", In: 9th International Conference on Sustainable Energy Technologies, SET 2010. Shanghai Jiao Tong University: Shanghai, China, 2010.

40. P.O. Fanger, *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering* (Danish Technical Press, 1970).

ت ۱۱. تأثیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بر بار گرمایشی، بار الکتریکی روشنایی، و مصرف کل انرژی ساختمان در بهینه‌ترین حالت کنترل‌های زمستانی، تدوین: نگارندگان.

## ۴.۲.۲. انتخاب بهینه‌ترین سناریو از منظر بار گرمایشی، بار الکتریکی روشنایی و مصرف کل انرژی در زمستان

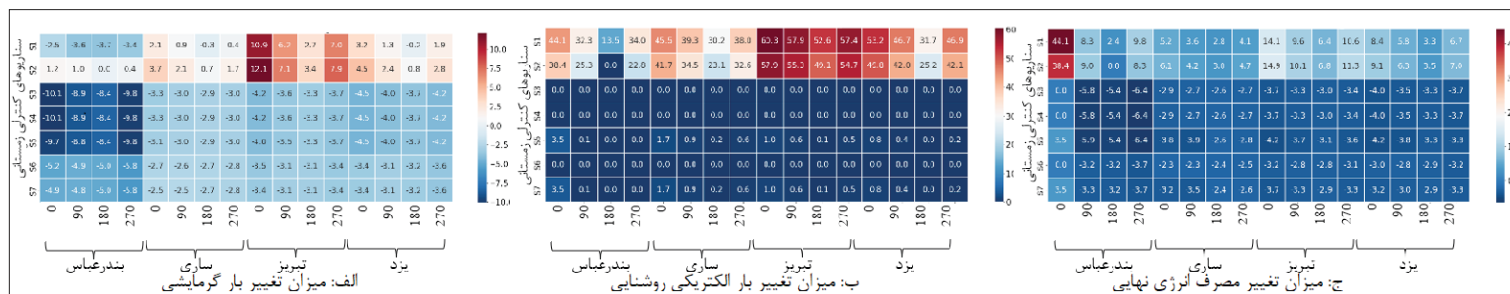
یکی از عوامل تعیین‌کننده در پیش‌بینی عملکرد سناریوهای کنترلی زمستانی، آستانه فعال‌سازی بر اساس نوع محرک کنترلی (دمای داخلی/ خارجی و بار حرارتی) است، بنابراین، بررسی و مقایسه بهینه‌ترین حالت هر کنترل با حالت مبنا اهمیت دارد. این تحلیل به انتخاب بهترین سناریوها برای آسایش بصری و حرارتی کمک می‌کند. بر اساس «ت ۱۱. الف»، سناریوهای ۳، ۴، و ۵ در بهینه‌ترین وضعیتشان در همه شهرها از نظر بار گرمایشی عملکرد بهتری دارند. این نتایج نشان‌دهنده عملکرد بهتر سناریوهای مبتنی بر دما در مقایسه با سناریوهای مبتنی بر بار حرارتی است.

از آنجا که سناریوهای ۳، ۴، و ۶ طول روز باز می‌مانند، هیچ افزایشی در بار الکتریکی روشنایی در مقایسه با حالت مبنا مشاهده نمی‌شود. در مقابل، سناریوی ۱ که سایه‌بان‌ها دائماً بسته هستند و سناریوی ۲ که به خیرگی حساس است، افزایش قابل‌توجهی در بار روشنایی ایجاد می‌کند، این وضعیت در «ت ۱۱. ب» قابل‌مشاهده است. به‌طور استثنای در بندرعباس در جهت ساختمان با پنجره شمالی، بار روشنایی افزایش می‌یابد که ناشی از عرض جغرافیایی پایین این شهر است. بنابراین، سناریوهای کنترلی در این مورد تأثیری بر بار روشنایی ندارند. در سناریوهای ۵ و ۷ نیز، بسته شدن سایه‌بان‌ها، به دلیل تأثیر

سناریوهای ۵ و ۷ که بسته شدن سایه‌بان‌ها به سیستم سرمایش وابسته است (در زمستان کم رخ می‌دهد)، افزایش چشمگیری در مصرف انرژی الکتریکی روشنایی مشاهده نمی‌شود.

## ۳.۲.۲. مصرف کل انرژی در زمستان

در «ت ۱۰» مصرف انرژی شامل انرژی گرمایشی و الکتریکی روشنایی در شهرهای مختلف مشاهده می‌شود و به افزایش مصرف انرژی با نصب سایبان در زمستان اشاره دارد. سناریوهای ۱ و ۲ با افزایش قابل‌توجه در مصرف انرژی گرمایشی و الکتریکی، بیشترین مصرف کل انرژی را دارند. سایر سناریوها، بدون افزایش چشمگیر در مصرف انرژی الکتریکی، به دو گروه تقسیم می‌شوند: گروهی با کارایی متوسط (سناریوهای ۶ و ۷) و گروهی با کارایی برتر (سناریوهای ۳ و ۴ و ۵). تفاوت‌ها بین این دو گروه در اقلیم بندرعباس بیشتر نمایان است. در سناریوهای برتر، ساختمان‌ها با پنجره‌های شمالی، به دلیل دمای پایین‌تر نسبت به سایر جهت‌گیری‌ها، بار گرمایشی بیشتری دارند. درحالی‌که سناریوهای ضعیف در کاهش مصرف کل انرژی (۱ و ۲)، با جهت‌گیری ۱۸۰ درجه، کمترین افزایش در مصرف کل انرژی را نشان می‌دهند؛ چراکه پنجره‌های شمالی تنها در ساعات محدودی در معرض خیرگی قرار دارند و مصرف انرژی در حالت مبنا بالاست. این نشان‌دهنده تأثیر بیشتر سایه‌بان‌ها در سایر جهت‌گیری‌هاست.



41. R.G. Hopkinson, "Glare from Daylighting in Buildings", *Applied Ergonomics*, vol. 3, no. 4 (1972): 206-215.
42. U.S. Department of Energy. *Energyplus Engineering Reference*. U.S. Department of Energy, 2022.
43. M.C. Peel, et al., "Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification", *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 11, no. 5 (2007): 1633-1644.

ت ۱۲ (بالا). تأثیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بر تعداد ساعات ناراضی‌های حرارتی و بصری ساکنان در بهینه‌ترین حالت کنترل‌های زمستانی، تدوین: نگارندگان.

جدول ۶ (پایین). بهینه‌ترین آستانه فعال‌سازی سناریوی کنترلی از منظر مصرف انرژی و آسایش حرارتی و بصری در زمستان، تدوین: نگارندگان.

حرارتی، تأثیری بر بار روشنایی نمی‌گذارد.

همان‌طور که در «ت ۱۱. ج» مشاهده می‌شود، بهینه‌ترین حالت‌های سناریوها بر اساس مصرف کل انرژی به سه دسته تقسیم می‌شود: سناریوهای ۱ و ۲ با کارایی ضعیف در کاهش مصرف کل انرژی، سناریوهای ۶ و ۷ با کارایی متوسط، و سناریوهای ۳، ۴، و ۵ که بهترین عملکرد را نشان می‌دهند و در همه شهرها و جهت‌گیری‌ها برتری خاصشان را دارند. با توجه به اختلاف کم بین بهترین حالت‌های سناریوهای ۳، ۴، و ۵، انتخاب برترین سناریو به کاهش ساعات ناراضی‌های حرارتی و بصری وابسته است.

## ۵.۲.۲. ناراضی‌های حرارتی و بصری

در این مطالعه، پژوهشگران به دنبال یافتن بهترین سناریو با هدف اصلی کاهش مصرف کل انرژی و سپس کاهش ساعات ناراضی‌های حرارتی و بصری هستند. بر این اساس، سناریوها بر پایه کاهش میانگین ساعات ناراضی‌های حرارتی و بصری ارزیابی و مقایسه می‌شوند. در «ت ۱۲. الف» مشاهده می‌شود که در اقلیم‌های بندرعباس و ساری، سناریوی ۵ برای ساختمان‌های با پنجره جنوبی بهتر از سناریوهای ۳ و ۴ عمل می‌کند. در اقلیم

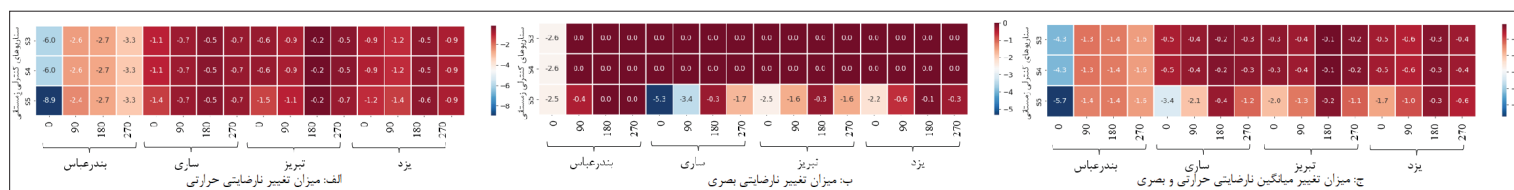
تبریز این تفاوت برای همه جهت‌گیری‌ها به جز پنجره‌های شمالی قابل ملاحظه است و در یزد، به جز پنجره‌های شرقی، سناریوی ۵ بهترین عملکرد را دارد. به‌طور کلی، یافته‌ها نشان می‌دهند که سناریوی ۵ در کاهش ناراضی‌های حرارتی از سناریوهای ۳ و ۴ برتر است، و بهینه‌سازی طراحی سایه‌بان‌ها می‌تواند ناراضی‌های حرارتی را در زمستان بین ۰/۲ تا ۰/۸٪ کاهش دهد.

«ت ۱۲. ب» می‌بینیم که سناریوی ۵ در کاهش ناراضی‌های بصری نسبت به سناریوهای ۳ و ۴ برتر است. طراحی و کنترل بهینه سایه‌بان‌ها می‌تواند ناراضی‌های بصری را ۰ تا ۰/۳٪ کاهش دهد. همچنین، سناریوی ۵ قابلیت بیشتری در کاهش هم ناراضی‌های حرارتی و هم بصری دارد، که آن را به گزینه‌ای برتر برای انتخاب تبدیل می‌کند. تصمیم‌گیری نهایی بر اساس میانگین تغییرات در این دو عامل صورت می‌پذیرد (ت ۱۲. ج).

## ۶.۲.۲. انتخاب بهینه‌ترین آستانه فعال‌سازی سناریوی کنترلی از منظر مصرف انرژی و آسایش حرارتی و بصری در زمستان

پس از شناسایی بهینه‌ترین وضعیت هر سناریوی کنترلی از نظر

| درصد تغییرات ساعات ناراضی بصری (%) | درصد تغییرات ساعات ناراضی حرارتی (%) | درصد تغییرات مصرف انرژی کل (%) | نقطه تنظیم دمایی (°C) | موقعیت سایه‌بان | سناریو کنترلی زمستانی | اقلیم    |
|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|----------|
| ۰/۶                                | ۴/۳                                  | ۳/۵                            | ۶۲                    | خارجی           | S5                    | بندرعباس |
| ۰/۸                                | ۰/۸                                  | ۰/۸                            | ۶۲                    | داخلی           | S5                    | یزد      |
| ۱/۷                                | ۲/۷                                  | ۲/۷                            | ۱۷/۵                  | داخلی           | S5                    | ساری     |
| ۱/۰                                | ۱/۵                                  | ۱/۵                            | ۵/۱۲                  | داخلی           | S5                    | تبریز    |



جدول ۷. مقداردهی اولیه  
متغیرهای پیش‌بینی‌کننده (فیچر)  
برای الگوریتم SHAP. تدوین:  
نگارندگان.

انرژی مشخص شود. ارزش Shapley نشان می‌دهد که تأثیر هر ویژگی نسبت به سایر ویژگی‌ها در کجا قرار دارد و چگونه تغییرات در هر ویژگی، متغیر هدف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای این منظور، ابتدا مقادیر اولیه هر ویژگی تعیین می‌شود که در «جدول ۷» قابل مشاهده است.

کمبود داده‌های آموزشی می‌تواند به تخمین ناقص از رابطه ورودی / خروجی منجر شود. برای مقابله با این مشکل، اعتبارسنجی متقاطع K برابری (K-Fold-CV) روشی مرسوم

آسایش حرارتی و بصری، سناریویی که نه تنها بیانگر کاهش مصرف کل انرژی در روزهای سرد سال است، بلکه با آستانه فعال‌سازی مناسب، میانگین ساعات ناراضیتی بصری و حرارتی را به حداقل می‌رساند، بهترین انتخاب قلمداد می‌شود. داده‌ها در «جدول ۶» نشان‌دهنده توانایی این سناریو در تأمین هردو جنبه آسایش و کارایی انرژی هستند.

## ۳.۲. مدل یادگیری ماشین جنگل تصادفی و الگوریتم SHAP

یادگیری ماشین پتانسیل قابل‌توجهی در بهبود عملکرد محصولات، فرایندها، و خدمات دارد. در این فرایند، داده‌ها ورودی به الگوریتم‌ها هستند و خروجی مورد نظر تولید می‌شود. یکی از چالش‌های اصلی این است که در بسیاری از الگوریتم‌ها توضیح روشنی درباره نحوه انجام پیش‌بینی‌ها وجود ندارد؛ موضوعی که می‌تواند مانع پذیرش گسترده آنها در کاربردهای واقعی شود، در چنین شرایطی، مدل‌های قابل تفسیر یادگیری ماشین اهمیت می‌یابند. تفسیرپذیری در یادگیری ماشین امکان درک سازوکار تصمیم‌گیری مدل را فراهم می‌کند. در این راستا، الگوریتم SHAP به کار می‌رود،<sup>۴۶</sup> که یکی از روش‌های شناخته‌شده برای تفسیر خروجی مدل‌هاست. این الگوریتم بر پایه مفهوم ارزش Shapley در نظریه بازی‌ها توسعه یافته است و سهم نسبی هر ویژگی را در تولید خروجی مدل تعیین می‌کند. با مقایسه عملکرد مدل در بود و نبود هر ویژگی، SHAP میزان تأثیر و اهمیت هر ویژگی را در پیش‌بینی مشخص می‌کند.

در این پژوهش، ابتدا با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی، مصرف کل انرژی بر اساس داده‌های آموزشی پیش‌بینی می‌شود. سپس، با استفاده از الگوریتم SHAP، پیش‌بینی‌ها تفسیر می‌شوند تا تأثیر هر متغیر پیش‌بینی‌کننده بر مصرف

| نوع متغیر پیش‌بینی‌کننده |                 | متغیر پیش‌بینی‌کننده:                         | مقداردهی برای الگوریتم SHAP |
|--------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| کنترل سایه‌بان           | دما محور        | OnIfHighOutdoorAirTemperature                 | ۱                           |
|                          |                 | OnNightIfLowOutdoorTempAndOnDayIfCooling      | ۲                           |
|                          |                 | OnNightIfLowOutdoorTempAndOffDay              | ۳                           |
|                          |                 | OnNightIfLowInsideTempAndOffDay               | ۴                           |
|                          |                 | OnIfHighZoneAirTemperature                    | ۵                           |
|                          | بار محور        | OnNightIfHeatingAndOnDayIfCooling             | ۱                           |
|                          |                 | OnNightIfHeatingAndOffDay                     | ۲                           |
|                          |                 | OnIfHighZoneCooling                           | ۳                           |
|                          | دما و تابش محور | OnIfHighZoneAirTempAndHighSolarOnWindow       | ۱                           |
|                          |                 | OnIfHighZoneAirTempAndHighHorizontalSolar     | ۲                           |
|                          |                 | OnIfHighOutdoorAirTempAndHighSolarOnWindow    | ۳                           |
|                          |                 | OnIfHighOutdoorAirTempAndHighHorizontalSolar  | ۴                           |
|                          | تابش محور       | OnIfHighSolarOnWindow                         | ۱                           |
|                          |                 | OnIfHighHorizontalSolar                       | ۲                           |
|                          |                 | OffNightAndOnDayIfCoolingAndHighSolarOnWindow | ۳                           |
|                          |                 | OnNightAndOnDayIfCoolingAndHighSolarOnWindow  | ۴                           |
| زمستانه - تابستانه       | AlwaysOn        | ۱                                             |                             |
|                          | AlwaysOff       | ۲                                             |                             |
|                          | OnIfHighGlare   | ۳                                             |                             |
| اقلیم                    | بندرعباس        | ۱                                             |                             |
|                          | یزد             | ۲                                             |                             |
|                          | ساری            | ۳                                             |                             |
|                          | تبریز           | ۴                                             |                             |
| موقعیت سایه‌بان          | داخلی           | ۱                                             |                             |
|                          | خارجی           | ۲                                             |                             |
| نوع کنترل                | تابستانی        | ۱                                             |                             |
|                          | زمستانی         | ۲                                             |                             |
|                          | سالیانه         | ۳                                             |                             |

44. F. Soflaei, et al., "Investigation of Iranian Traditional Courtyard as Passive Cooling Strategy (a Field Study on Bs Climate)", *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 5, no. 1 (2016): 99-113.

45. S. Firlag, et al., "Control Algorithms for Dynamic Windows for Residential Buildings", *Energy and Buildings*, 109 (2015): 157-73.

46. S.M. Lundberg and Su-In Lee, "A Unified Approach to Interpreting Model Predictions", *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30 (2017).

47. B. Raton, *Handbook of Quantile Regression* (CRC Press: FL, USA, 2017).

جدول ۸. دقت پیش‌بینی مدل یادگیری ماشین (جنگل تصادفی) و هایپرپارامترهای بهینه آن، تدوین: نگارندگان.

است که در آن داده‌ها به K گروه تقسیم و هر گروه به‌نوبت و با عنوان داده آموزشی و آزمایشی استفاده می‌شود.<sup>۴۷</sup> معمولاً K برابر با ۵ یا ۱۰ انتخاب می‌شود.<sup>۴۸</sup> در پژوهش حاضر از اعتبارسنجی متقاطع ۱۰ برابری استفاده شده است. هایپرپارامترها که ساختار و نحوه آموزش الگوریتم را تعیین می‌کنند، پیش از آموزش تنظیم می‌شوند.<sup>۴۹</sup> در الگوریتم جنگل تصادفی، هایپرپارامترها شامل عمق درخت و تعداد یادگیرندگان پایه (درخت تصمیم) هستند. در حالت پیش‌فرض از ۱۰۰ درخت تصمیم، بدون محدودیت عمق، استفاده می‌شود. با پارامتریک‌سازی، تعداد یادگیرندگان ضعیف در بازه [۵-۵۰۰] با گام ۵ و عمق درخت در بازه [۱-۱۰] با گام ۱ تغییر یافته است. بالاترین دقت پیش‌بینی (ضریب  $R^2$ ) با توجه به این هایپرپارامترها به‌دست آمده است (جدول ۸).

### ۲.۳.۱. نمودار خلاصه SHAP

نمودارهای خلاصه SHAP ترکیبی از اهمیت و تأثیر هر ویژگی (فیچر) بر پیش‌بینی‌های مدل را نشان می‌دهند. هر نقطه در این نمودار نمایانگر یک مقدار Shapley برای یک ویژگی در موقعیت خاص است. موقعیت نقاط بر محور عمودی (y) نمایانگر ویژگی و بر محور افقی (x) نمایانگر مقدار Shapley است. رنگ هر نقطه نشان‌دهنده مقدار ویژگی است، به‌طوری‌که قرمز مقادیر بالا و آبی مقادیر پایین را می‌نمایانند. نقاط هم‌پوشان در امتداد محور عمودی حرکت می‌کنند تا توزیع مقادیر Shapley برای هر ویژگی را نمایش دهند. ویژگی‌ها بر اساس اهمیتشان

به‌ترتیب نزولی مرتب شده‌اند. این نمودار با استفاده از ۷۰٪ داده‌های آموزشی ساخته شده و اطلاعات زیر را فراهم می‌کند: اهمیت ویژگی: ویژگی‌ها بر اساس اهمیتشان به‌ترتیب نزولی رتبه‌بندی می‌شوند.

تأثیر بر متغیر هدف: محور افقی نشان می‌دهد که تأثیر هر ویژگی بر متغیر هدف، پیش‌بینی‌های بالاتر (مثبت) یا پایین‌تر (منفی) را مرتبط می‌کند.

مقدار اصلی ویژگی: رنگ نقاط نشان‌دهنده مقدار ویژگی است: قرمز برای مقادیر بالا و آبی برای مقادیر پایین.

همبستگی: در مورد کنترل‌های عمومی، نوع کنترل (تابستانی، زمستانی، سالیانه) همبستگی مثبت و تأثیر بالایی بر مصرف انرژی ساختمان دارد. به‌گونه‌ای که با افزایش مقدار Shapley در محور X (پیش‌بینی افزایش متغیر هدف)، مقدار ویژگی (نوع کنترل) نیز با رنگ قرمز افزایش می‌یابد. همه ویژگی‌ها با اعداد ۱، ۲، ۳، و غیره مقداردهی شده‌اند.

در کنترل‌های سالیانه، نوع کنترل (تابستانی یا زمستانی) بیشترین تأثیر را بر مصرف انرژی ساختمان دارد (با قرارگیری در بالاترین جایگاه نمودار در «ت ۱۳»). کنترل‌های تابستانی (نشان داده‌شده با ۱ به رنگ آبی) باعث کاهش مصرف انرژی می‌شوند (مقادیر پایین‌تر SHAPLY در محور X).

دومین عامل مؤثر، اقلیم است. در کنترل‌های دما (و تابش) محور، در اقلیم‌های سردتر مانند ساری (۳) و تبریز (۴) با رنگ مایل به قرمز، مصرف انرژی کمتری مشاهده می‌شود. درحالی‌که در سایر کنترل‌ها، در اقلیم‌های گرم‌تر مانند بندرعباس و یزد (۱) و ۲ با رنگ مایل به آبی) مصرف انرژی کاهش می‌یابد.

موقعیت سایه‌بان و جهت‌گیری ساختمان نیز از عوامل مؤثر دیگر هستند. در کنترل‌های غیرعمومی و بارمحور، موقعیت سایه‌بان اهمیت بیشتری نسبت به جهت‌گیری دارد. سایه‌بان‌های خارجی (نشان داده‌شده با رنگ قرمز) به کاهش

| عمق درخت (max_depth) | تعداد تکرار (n_estimator) | ضریب $R^2$                       |                 |
|----------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------|
|                      |                           | پس از بهینه‌سازی هایپر پارامترها | در حالت پیش‌فرض |
| ۱۰                   | ۲۰                        | ۰.۹۹۹                            | ۰.۹۹۶           |
| ۱۰                   | ۳۵                        | ۰.۹۳۹                            | ۰.۸۹۵           |
| ۵                    | ۲۵                        | ۰.۹۲۵                            | ۰.۹۰۱           |
| ۱۰                   | ۱۰                        | ۰.۹۴۲                            | ۰.۹۳۸           |
| ۱۰                   | ۱۱۰                       | ۰.۹۲۲                            | ۰.۹۲۱           |

مثال در «ت ۱۴ (۱.د)» یک رابطه تقریباً خطی و مثبت بین نقطه تنظیم تابشی و مصرف انرژی نشان داده شده است. این نمودار همچنین نشان می‌دهد که نقطه تنظیم تابشی اغلب با موقعیت سایه‌بان تعامل دارد. وقتی نقطه تنظیم تابشی بیشتر از ۲۰۰ وات بر متر مربع باشد، سایه‌بان‌های داخلی (نشان داده شده با رنگ آبی) در کاهش مصرف انرژی مؤثرند. اما وقتی نقطه تنظیم تابشی کمتر از ۲۰۰ وات بر متر مربع باشد، سایه‌بان‌های خارجی مؤثرتر هستند.

با تجزیه و تحلیل «ت ۱۴ (۱.الف)» تا «ت ۱۴ (۱.ه)» درمی‌یابیم که نقطه تنظیم دمایی کمتر از ۲۸ درجه سانتی‌گراد به کاهش مصرف انرژی کمک می‌کند. به‌ویژه در بازه دمایی ۲۳ تا ۲۶ درجه، کاهش قابل توجهی در مصرف انرژی مشاهده می‌شود. این تأثیر در کنترل‌های مبتنی بر دما و تابش در بازه ۲۲/۵ تا ۲۵ درجه بیشتر نمایان است. همچنین، تنظیم هم‌زمان نقطه تنظیم تابشی بین ۰ تا ۲۰۰ وات بر متر مربع در کنترل سایه‌بان‌ها به کاهش مصرف انرژی کمک می‌کند. در کنترل‌های مبتنی بر تابش، این موضوع صدق می‌کند. در کنترل‌های مبتنی بر بار، تعیین نقطه تنظیم برای بار سرمایشی یا گرمایشی تا ۷۰۰ وات تأثیر بیشتری دارد، درحالی‌که تأثیر بین ۷۰۰ تا ۱۱۰۰ وات متوسط و بیش از ۱۱۰۰ وات کم است. «ت ۱۴ (۱.ب)» مشاهده می‌شود که در دماهای بالاتر، سایه‌بان‌های داخلی ترجیح داده می‌شوند.

مصرف انرژی کمک می‌کند. تأثیر جهت‌گیری ساختمان نیاز به تحلیل دقیق‌تری دارد که در بخش بعدی بررسی خواهد شد. آستانه‌های تابشی و دمایی نیز تأثیر قابل توجهی دارند. با افزایش آستانه‌های دما و تابش، مصرف انرژی ساختمان افزایش می‌یابد. این نتیجه در کنترل‌های دما و تابش محور قابل تعمیم است. در مقابل، تأثیر آستانه‌های بار سرمایشی یا گرمایشی بر مصرف انرژی ناچیز و قابل چشم‌پوشی است. نکته پایانی: در کنترل‌های دما (و تابش) محور، کنترل‌هایی که بر مبنای دمای بیرونی (۳ و ۴ با رنگ مایل به قرمز) عمل می‌کنند، مصرف انرژی بیشتری را کاهش می‌دهند. در کنترل‌های تابش محور، کنترل‌هایی که تنها تابش را در نظر می‌گیرند (کنترل‌های ۸ و ۹) و نه شب و روز یا بار سرمایشی (کنترل‌های ۱۰ و ۱۱)، به کاهش بیشتر مصرف انرژی کمک می‌کنند.

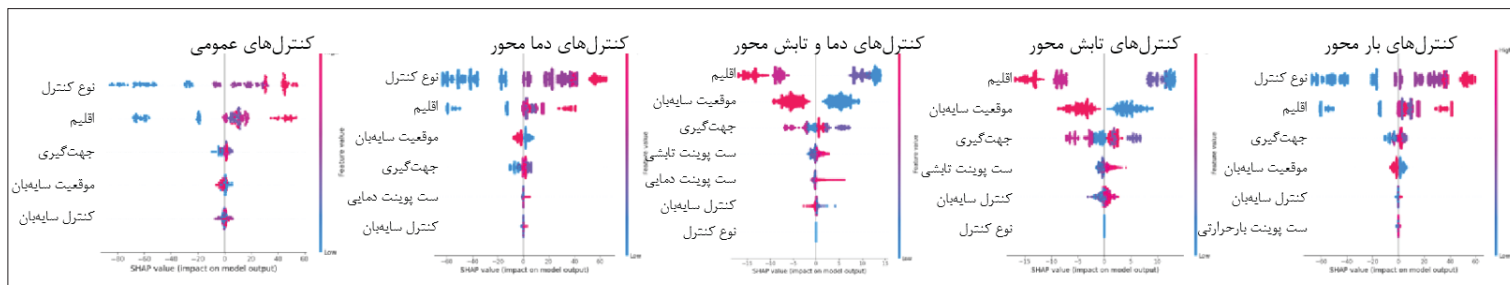
## ۲.۳.۲. نمودار وابستگی SHAP

نمودار وابستگی SHAP تأثیر یک یا دو ویژگی (فیچر) بر پیش‌بینی‌های مدل‌های یادگیری ماشین را نشان می‌دهد. این نمودار مشخص می‌کند که آیا رابطه بین متغیر هدف و فیچر خطی، یکنواخت، یا پیچیده است و آیا این رابطه مثبت یا منفی است. همچنین این نمودار فیچری که بیشترین تعامل را با فیچر انتخابی دارد، اضافه می‌کند. این تعامل از طریق رنگ آمیزی در محور عمودی نمودار نمایان می‌شود. به‌طور

48. S. Touzani, et al., "Gradient Boosting Machine for Modeling the Energy Consumption of Commercial Buildings". *Energy and Buildings*, 158 (2018): 1533-1543.

49. Bassi et al., "Building Energy Consumption Forecasting: A Comparison of Gradient Boosting Models".

ت ۱۳. جهت و میزان تاثیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده (فیچر) بر متغیر هدف (مصرف کل انرژی) در نمودار خلاصه SHAP، تدوین: نگارندگان.



در «ت ۱۴ (۲. الف)» تا «ت ۱۴ (۲. ه)» درمی‌یابیم که سایه‌بان‌های خارجی در کاهش مصرف انرژی مؤثرتر از سایه‌بان‌های داخلی هستند. در کنترل‌هایی که موقعیت سایه‌بان‌ها به اقلیم وابسته است، در اقلیم‌های گرم، سایه‌بان‌های خارجی عملکرد بهتری دارند، درحالی‌که در اقلیم‌های سرد، سایه‌بان‌های داخلی مؤثرتر هستند.

در «ت ۱۴ (۳. الف)» تا «ت ۱۴ (۳. ه)»، می‌بینیم که در سیستم‌های کنترلی مبتنی بر تابش و تابش - دما، زون‌های دارای پنجره‌های شمالی کمترین مصرف انرژی را دارند. در مقابل، زون‌های دارای پنجره‌های جنوبی در سایر سیستم‌های کنترلی دارای کمترین مصرف انرژی هستند. زون‌های دارای پنجره‌های غربی در همهٔ موارد بیشترین مصرف انرژی را دارند. «ت ۱۴ (۳. الف)»، «ت ۱۴ (۳. ب)» و «ت ۱۴ (۳. ه)» نمایانگر آن هستند که زون‌های دارای پنجره‌های شمالی در تابستان و زون‌های دارای پنجره‌های جنوبی در زمستان کمترین مصرف انرژی را دارند که این به دلیل میزان دریافت تابش خورشید است. در «ت ۱۴ (۳. ج)» و «ت (۳. د)» می‌بینیم که استفاده از سایه‌بان‌های داخلی برای پنجره‌های شمالی و سایه‌بان‌های خارجی برای پنجره‌های غربی در کاهش مصرف انرژی بهترین عملکرد را دارد.

بر اساس «ت ۱۴ (۴. الف)» تا «ت ۱۴ (۴. ه)»، در کنترل‌های مبتنی بر تابش و تابش - دما، مصرف انرژی در اقلیم‌های سردتر مانند تبریز و ساری کاهش می‌یابد، درحالی‌که در سایر کنترل‌ها در اقلیم‌های گرم‌تر مانند بندرعباس و یزد نیز مصرف انرژی کمتر می‌شود. بنابراین بهتر است که سایه‌بان‌ها در آب‌وهوای گرم با استفاده از آستانه‌های دمایی یا بار گرمایشی / سرمایشی کنترل شوند، و در آب‌وهوای سرد با استفاده از آستانه‌های تابشی کنترل شوند تا بهترین نتیجه در کاهش مصرف انرژی حاصل گردد.

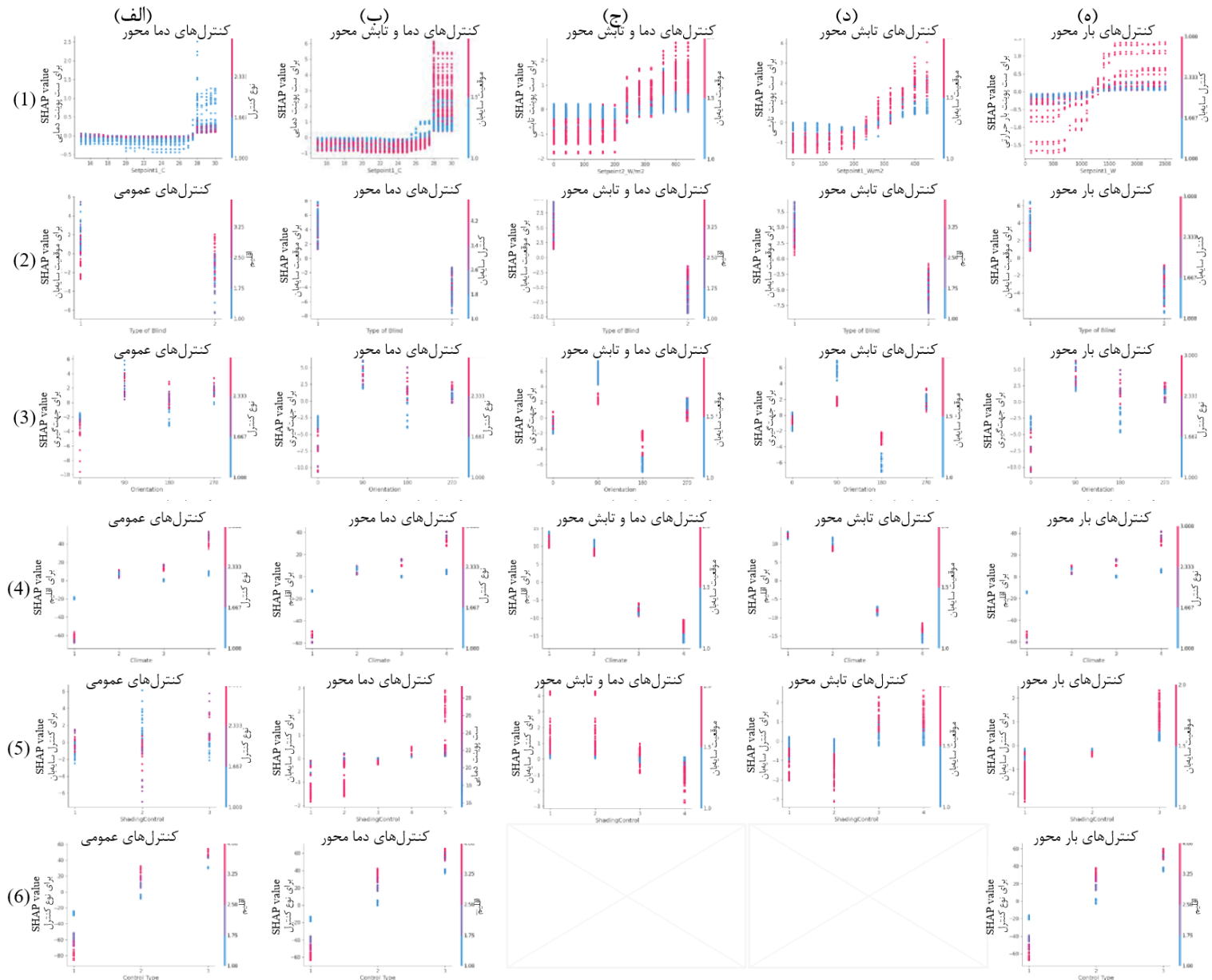
بنابر «ت ۱۴ (۵. الف)»، در سیستم‌های کنترلی عمومی که بدون نقطهٔ تنظیم کنترلی هستند و به صورت دوحالتی (یا همیشه فعال یا همیشه غیرفعال، یا فعال بر اساس نقطهٔ تنظیم خیرگی) عمل می‌کنند، نمی‌توان به نتیجهٔ قطعی رسید؛ چراکه این سیستم‌ها به شرایط مختلف وابسته‌اند. با این حال، سایه‌بان‌های همیشه فعال کمترین مصرف انرژی را دارند و این مصرف بیشتر تحت تأثیر زمان استفاده از سیستم در تابستان، زمستان، یا تمام طول سال قرار دارد. در تابستان، استفاده از سایه‌بان‌های دائماً فعال منجر به کاهش بیشتر مصرف انرژی می‌شود، درحالی‌که سایه‌بان‌های دائماً غیرفعال بیشترین مصرف انرژی را در تابستان دارند.

طبق «ت ۱۴ (۵. ب)»، در سیستم‌های کنترل دما محور، کنترل‌های S3 (تابستانه) و S5 (عمومی) بهترین تأثیر را در کاهش مصرف انرژی دارند. درحالی‌که کنترل‌های S3 (زمستانه) و S4 (زمستانه) اثر متوسطی دارند و کنترل S4 (تابستانه) کمترین تأثیر را به دنبال دارند. این نتایج نشان می‌دهند که سیستم‌های کنترلی با تحریک دمای خارجی تأثیر بیشتری در کاهش مصرف انرژی نسبت به سیستم‌های با تحریک دمای داخلی دارند. همچنین، نقاط تنظیم دمایی بالاتر برای سیستم‌های با تحریک دمای خارجی و نقاط تنظیم دمایی پایین‌تر برای سیستم‌های با تحریک دمای داخلی بهترین عملکرد را دارند.

بر اساس اطلاعات موجود در «ت ۱۴ (۵. ج)»، در سیستم‌های کنترلی که بر اساس هم دما و هم تابش عمل می‌کنند، سیستم‌های کنترلی با محرک دمای خارجی S12 (زمستانه) و S13 (زمستانه) نسبت به سیستم‌هایی که با محرک دمای داخلی S15 (زمستانه) و S14 (زمستانه) کار می‌کنند، به کاهش بیشتر مصرف انرژی کمک می‌کنند. همچنین، تابش افقی نسبت به تابش مستقیم خورشیدی به پنجره‌ها تأثیر

ت ۱۴. جهت و میزان تاثیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده (فیچر) بر متغیر هدف (مصرف کل انرژی) در نمودار وابستگی SHAP، تدوین: نگارندگان.

بیشتری در کاهش مصرف انرژی دارد.



طبق «ت ۱۴ (۵. د)»، در سیستم‌های کنترلی که مبتنی بر تابش محور هستند، کنترل‌های S9 (زمستانه) و S8 (زمستانه) تأثیر قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی دارند، این با دو نوع دیگر کنترل‌ها که شامل کنترل‌های شب و روز یا بار سرمایشی می‌شوند، قابل مقایسه است. مشاهده می‌شود که، تابش افقی در کاهش مصرف انرژی مؤثرتر از تابش مستقیم خورشید به پنجره‌ها است.

در «ت ۱۴ (۵. ه)» مشاهده می‌گردد که کنترل‌های بارمحور سایه‌بان، بارهای گرمایشی و سرمایشی و تفکیک شب و روز S7 (زمستانه)، بیشترین تأثیر را در کاهش مصرف انرژی دارند؛ توصیه می‌شود که آستانه‌ای بیش از ۱۱۰۰ وات در نظر گرفته شود. کنترل S6 (زمستانه) که مبتنی بر تفکیک شب و روز و بار گرمایشی است، تأثیر متوسطی دارد، ولی کنترل S6 (تابستانه) که فقط در بار سرمایشی کار می‌کند، کمترین تأثیر را بر کاهش مصرف انرژی دارد.

بر اساس «ت ۱۴ (۶ الف)»، «ت ۱۴ (۶ ب)» و «ت ۱۴ (۶. ه)»، استفاده از کنترل‌های عمومی، دما محور، و بارمحور به ترتیب در تابستان، زمستان، و کل سال، میزان مصرف انرژی را بیشتر کاهش می‌دهد. کنترل‌های تابستانی در اقلیم‌های سردتر و کنترل‌های زمستانی و سالیانه در اقلیم‌های گرم‌تر کاهش چشمگیری در مصرف انرژی دارند. این به دلیل نزدیک بودن دمای هوا به محدوده آسایش در زمستان در شهرهای گرم و در تابستان در شهرهای سرد است، بنابراین استفاده از سایه‌بان‌ها در این شرایط منطقی‌تر به نظر می‌رسد.

### ۳. تحلیل

برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار در صنعت ساختمان، بررسی جامع اجزای مختلف ساختمان در مرحله طراحی، با در نظر گرفتن کاربرد آنها، ضروری است. اینجا یک دیدگاه کل نگر

50. Akhlaghinezhad and Bagheri Sabzevar, "The Effect of Probabilistic Window Opening Behavior of Occupants on Adaptive Thermal Comfort (the Case of Courtyard House in Yazd, Bandar Abbas, and Tabriz)", 252-262.

51. Eh. Naderi, "Multi-Objective Simulation-Based Optimization of Controlled Blind Specifications to Reduce Energy Consumption, and Thermal and Visual Discomfort: Case Studies in Iran", *Building and Environment*, 169 (2020): 106570.

52. A. Figueroa-Lopez, et al., "Evaluation of Passive Strategies, Natural Ventilation and Shading Systems, to Reduce Overheating Risk in a Passive House Tower in the North of Spain During the Warm Season". *Journal of Building Engineering*, 43 (2021): 102607.

53. Tabadkani, et al., "Analysis of the Impact of Automatic Shading Control Scenarios on Occupant's Comfort and Energy Load", 116904.

نیاز است که شامل عواملی مانند آسایش بصری، حرارتی، و کاهش مصرف انرژی می‌شود. این مطالعه بر بهینه‌سازی اجزای غیرفعال در ساختمان‌ها، شامل فاکتورهای طراحی و کنترل سایه‌بان‌ها، هم‌راستا با اهداف توسعه پایدار، متمرکز است.

در تابستان، در بندرعباس و ساری، دمای خارجی و در یزد و تبریز، دمای داخلی اهمیت بیشتری دارد. در زمستان، کنترل سایه‌بان بهتر است بر اساس دمای خارجی باشد. این یافته‌ها نتایج تحقیق پیشین نگارندگان<sup>۵۰</sup> در این باره را تأیید می‌کند که دماهای داخلی و خارجی به ترتیب متغیرهای اصلی برای باز شدن پنجره‌ها در فصول مختلف هستند. پیش‌بینی مصرف انرژی و تحلیل متغیرهای تأثیرگذار نشان می‌دهد که نوع کنترل و شرایط اقلیمی عواملی کلیدی در پیش‌بینی مصرف انرژی هستند که با مطالعات نادری و همکاران<sup>۵۱</sup> همخوانی دارد. با در نظر گرفتن موقعیت داخلی و خارجی سایه‌بان‌ها، در اکثر موارد، سایه‌بان‌های خارجی مصرف انرژی را بیشتر کاهش می‌دهند که با یافته‌های فیگوروا و همکاران<sup>۵۲</sup> مطابقت دارد. جهت‌گیری ساختمان نیز یک عامل مهم است؛ زون‌های دارای پنجره‌های شمالی در تابستان و پنجره‌های جنوبی در زمستان کمترین مصرف انرژی را دارند، که با مطالعه تبادکانی و همکاران<sup>۵۳</sup> تأیید می‌شود.

این یافته‌ها تأکیدی است بر اهمیت در نظر گرفتن موقعیت سایه‌بان، جهت‌گیری ساختمان، و انتخاب استراتژی کنترلی مناسب. نتایج مطالعه پیش رو برای دیگر مناطق مشابه در ایران نیز قابل تعمیم است. این تحلیل‌ها می‌توانند به‌طور عملی در وضع قوانین ساخت‌وساز و بهینه‌سازی ساختمان‌های هوشمند استفاده شوند. صرفه‌جویی انرژی ممکن است باعث تغییر در الزامات انرژی و تشویق کاربران به نصب سایه‌بان‌های هوشمند شود که به توزیع‌کنندگان انرژی یا شرکت‌های خرده‌فروش

انرژی در کاهش مصرف انرژی کمک می‌کند.

پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که عملکرد سایه‌بان‌های خودکار از لحاظ انرژی و نور روز مؤثرتر از نوع دستی است. این پژوهش با بررسی ۱۹ استراتژی کنترلی خودکار، کاربرد زیادی دارد. با این حال، محدودیت‌های تحقیق حاضر، از جمله آزادی عمل ساکنان در کنترل سایه‌بان‌ها، که در برخی شرایط می‌تواند آزاردهنده باشد و به نارضایتی آنها منجر شود، قابل توجه است. همچنین، مبحث حریمیت در کاربری مسکونی در ایران اهمیت زیادی دارد که می‌تواند تأثیر سایر پارامترها را کاهش دهد. تفاوت‌های احتمالی بین داده‌های اقلیمی واقعی و داده‌های آبهوایی انرژی پلاس نیز ممکن است به اختلاف نتایج شبیه‌سازی با واقعیت منجر شود. علاوه بر این، محدودیت‌های کنترل پره‌های سایه‌بان به صورت ۰ یا ۹۰ درجه و مدل‌سازی سیستم تهویه مکانیکی ایدئال در این پژوهش، نیاز به بهبود در تحقیقات آینده دارد.

## نتیجه‌گیری

در این مقاله بر سناریوهای کنترلی سایه‌بان، موقعیت، و جهت‌گیری آن تمرکز شده است. به منظور بهینه‌سازی و طراحی پارامتریک، از نرم‌افزار انرژی پلاس به همراه جی‌پلاس استفاده شده است. متغیرهای پیش‌بینی‌کننده شامل موقعیت سایه‌بان (داخلی یا خارجی)، جهت‌گیری ساختمان، استراتژی کنترلی، نقطه تنظیم، و اقلیم هستند. همچنین، توابع هدف شامل بار سرمایشی، گرمایشی، بار الکتریکی روشنایی، مصرف کل انرژی، و تعداد ساعات نارضایتی حرارتی و بصری ساکنان هستند.

نتایج نشان دادند که با استفاده از استراتژی کنترلی مناسب و انتخاب آستانه فعال‌سازی صحیح در طراحی و کنترل سایه‌بان‌ها، می‌توان شرایط آسایش حرارتی و بصری

را بهبود بخشید و مصرف انرژی را کاهش داد. در تابستان، مصرف انرژی در شهرهای بندرعباس، یزد، ساری، و تبریز به ترتیب ۱۸/۸، ۳۵/۲، ۳۷/۸، و ۴۵/۵٪ کاهش می‌یابد و در زمستان به ترتیب ۴/۳، ۰/۸، ۲/۷، و ۱/۵٪ کاهش نشان می‌دهد. همچنین، طراحی و کنترل بهینه سایه‌بان‌ها نارضایتی حرارتی را به ترتیب در تابستان ۹/۶، ۲۱/۸، ۱/۵، و ۶۴/۲٪ و در زمستان به ترتیب ۳/۵، ۰/۸، ۲/۷، و ۱/۵٪ کاهش می‌دهد. نارضایتی بصری نیز به ترتیب در تابستان ۱۰۰، ۹۹/۹، ۹۹/۹، و ۹۲/۱٪ و در زمستان ۰/۶، ۰/۸، ۱/۷، و ۱/۰٪ کاهش می‌یابد. استفاده از استراتژی کنترلی مناسب و انتخاب آستانه فعال‌سازی مناسب نه تنها به کاهش مصرف انرژی می‌انجامد، بلکه آسایش حرارتی و بصری ساکنان را نیز افزایش می‌دهد. در نهایت، از مدل یادگیری ماشین جنگل تصادفی و الگوریتم SHAP برای بررسی تأثیر هر متغیر پیش‌بینی‌کننده بر مصرف انرژی ساختمان استفاده شده است. خلاصه نتایج به شرح زیر است:

۱. سناریوهای تابش‌محور و تابش - دما محور در کاهش بار سرمایشی و سناریوهای دما محور در کاهش مصرف کل انرژی ساختمان در تابستان عملکرد بهتری دارند.
۲. سناریوهای دما محور در کاهش بار گرمایشی و مصرف کل انرژی در زمستان عملکرد بهتری دارند.
۳. در تابستان، در اقلیم بندرعباس، سایه‌بان‌های خارجی با کنترل دمای بیرون (S3) و آستانه فعال‌سازی ۱۵ درجه سانتی‌گراد، در اقلیم‌های یزد و تبریز، سایه‌بان‌های خارجی با کنترل دمای داخل (S4) و آستانه‌های ۲۰ و ۲۰/۵ درجه سانتی‌گراد، و در اقلیم ساری، سایه‌بان‌های خارجی با کنترل دمای بیرون و تابش خورشیدی (S12، S13) و آستانه‌های فعال‌سازی ۱۵ درجه سانتی‌گراد و صفر وات بر متر مربع برای تابش خورشیدی بهترین عملکرد را از نظر مصرف کل انرژی،

آسایش حرارتی، و بصری دارند.

۴. در زمستان، در همهٔ اقلیم‌ها، سناریوی کنترلی (S5) با کنترل دمای بیرون و آستانه‌های فعال‌سازی ۲۶، ۲۶، ۱۷/۵، و ۲۱/۵ برای اقلیم‌های بندرعباس، یزد، ساری، و تبریز، بهترین عملکرد را در مصرف انرژی، آسایش حرارتی، و بصری نشان می‌دهد.

۵. موقعیت بهینهٔ سایه‌بان در اقلیم بندرعباس برای زمستان خارجی و در سایر اقلیم‌ها داخلی است.

۶. تأثیر طراحی و کنترل سایه‌بان بر مصرف انرژی، آسایش حرارتی، و بصری ساکنان در زمستان نسبت به تابستان کمتر است.

۷. کنترل سایه‌بان‌ها برای کاهش بار سرمایشی در تابستان ممکن است منجر به افزایش بار الکتریکی روشنایی شود، درحالی‌که در زمستان بار گرمایشی و الکتریکی روشنایی همسو عمل می‌کنند.

۸. نوع کنترل و شرایط اقلیمی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در پیش‌بینی مصرف انرژی هستند.

۹. در بیشتر تکرارهای شبیه‌سازی، سایه‌بان‌های خارجی در کاهش مصرف انرژی مؤثرتر هستند.

۱۰. برای پنجره‌های شمالی، استفاده از سایه‌بان داخلی و برای پنجره‌های غربی، استفاده از سایه‌بان خارجی توصیه می‌شود.

۱۱. در اقلیم‌های گرم، سایه‌بان‌های خارجی و در اقلیم‌های سرد، سایه‌بان‌های داخلی عملکرد بهتری دارند.

۱۲. آستانهٔ تابشی نسبت به آستانهٔ دمایی در کنترل‌های تابش و دما محور اهمیت بیشتری دارد.

۱۳. با افزایش آستانهٔ تابشی بیشتر از ۲۰۰ وات و آستانهٔ دمایی بیش از ۲۶ درجه، مصرف انرژی افزایش می‌یابد.

۱۴. کنترل‌های مبتنی بر دمای خارجی به‌طور کلی نسبت به کنترل‌های مبتنی بر دمای داخلی عملکرد بهتری دارند.

۱۵. کنترل‌های مبتنی بر تابش افقی نسبت به کنترل‌های

54. Probabilistic

55. Deterministic

تابش برخوردی بر پنجره‌ها عملکرد بهتری دارند.

۱۶. آستانهٔ بار گرمایشی یا سرمایشی بین ۰ تا ۱۱۰۰ وات بیشترین تأثیر را بر مصرف انرژی دارد.

۱۷. استفاده از کنترل‌های تابش محور برای سایه‌بان‌های پنجرهٔ شمالی توصیه می‌شود.

۱۸. زون‌های دارای پنجرهٔ شمالی در تابستان و پنجرهٔ جنوبی در زمستان مصرف انرژی کمتری دارند. بنابراین، با جابه‌جایی فصلی می‌توان شاهد کاهش مصرف انرژی در طول سال بود.

۱۹. در اقلیم‌های گرم، کنترل سایه‌بان‌ها باید بر اساس آستانه‌های دمایی یا بار گرمایشی و سرمایشی باشد، درحالی‌که در اقلیم‌های سرد، کنترل بر اساس آستانهٔ تابشی، جهت کاهش مصرف انرژی مناسب‌تر است.

۲۰. برای کنترل‌های مبتنی بر دمای خارجی، آستانه‌های دمایی بالاتر مناسب‌تر هستند، درحالی‌که برای کنترل‌های مبتنی بر دمای داخلی، آستانه‌های دمایی پایین‌تر ترجیح داده می‌شوند.

۲۱. در اقلیم‌های سرد، کنترل‌های تابستانی و در اقلیم‌های گرم، کنترل‌های زمستانی و سالیانه تأثیر بیشتری در کاهش مصرف انرژی دارند.

در پژوهش‌های آینده لازم است روند تحقیقاتی حاضر در ساختمان‌های غیرفعال (با شرایط آسایش حرارتی تطبیقی و بدون استفاده از سیستم تهویه مطبوع) نیز بررسی شود؛ به‌ویژه، تقسیم سایه‌بان‌ها به قسمت‌های مختلف برای کنترل‌های مجزا و بررسی تأثیر زاویه‌های میانی می‌تواند نتایج مقایسه‌ای مفیدی را موجب شود. همچنین، مطالعات بیشتر در زمینهٔ الگوریتم‌های کنترلی سایه‌بان می‌تواند به پیاده‌سازی راه‌حل‌های هوشمند جدید مانند پنجره‌های خودکار و تهویهٔ طبیعی منجر شود. بررسی نتایج این پژوهش با سیستم‌های تهویهٔ مطبوع رایج در کاربری مسکونی نیز ضروری است. در پژوهش‌های مشابه که کنترل‌های احتمالی<sup>۵۴</sup> به‌همراه در نظر گرفتن رفتار ساکنان



## References

- Ahmad, Muhammad Waseem, Monjur Mourshed, and Yacine Rezgui. "Trees vs Neurons: Comparison between Random Forest and Ann for High-Resolution Prediction of Building Energy Consumption". *Energy and Buildings*, 147 (2017): 77-89.
- Akhlaghinezhad, F. and H. Bagheri Sabzevar. "The Effect of Probabilistic Window Opening Behavior of Occupants on Adaptive Thermal Comfort (the Case of Courtyard House in Yazd, Bandar Abbas, and Tabriz)". *Iranica Journal of Energy & Environment*, vol. 14, no. 3 (2023): 252-262.
- Akhlaghinezhad, Fateme, Amir Tabadkani, Hadi Bagheri Sabzevar, Nastaran Seyed Shafavi, and Arman Nikkhah Dehnavi. "Deterministic and Probabilistic Occupant-Centric Control's Impacts on the Indoor Environment in Free-Running Households". *Smart and Sustainable Built Environment*, no. ahead-of-print (2024). <https://doi.org/10.1108/sasbe-10-2023-0316>.
- Araya, Daniel B, Katarina Grolinger, Hany F. ElYamany, Miriam A.M. Capretz, and Girma Bitsuamlak. "An Ensemble Learning Framework for Anomaly Detection in Building Energy Consumption". *Energy and Buildings*, 144 (2017): 191-206.
- ASHRAE Standing Standard Project Committee 55. *Cognizant TC: 2.1, Physiology, and Human Environment. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Ashrae, 2023.
- Balador, Zahra, Fatemeh Imani, and Morten Gjerde. "Evaluation of Different Shading Devices for a Tehran Primary School Classroom". Paper presented at the PLEA Conf, 2017.
- Bassi, Abnash, Anika Shenoy, Arjun Sharma, Hanna Sigurdson, Connor Glossop, and Jonathan H. Chan. "Building Energy Consumption Forecasting: A Comparison of Gradient Boosting Models". Paper presented at the Proceedings of the 12th International Conference on Advances in Information Technology, 2021.
- Bustamante, Waldo, Daniel Uribe, Sergio Vera, and Germán Molina. "An Integrated Thermal and Lighting Simulation Tool to Support the Design Process of Complex Fenestration Systems for Office Buildings". *Applied Energy*, 198 (2017): 36-48.
- Dokhanian, Fahimeh, Mostafa Mohajerani, Hassan Estaji, and Morteza Nikravan. "Shading Design Optimization in a Semi-Arid Region: Considering Energy Consumption, Greenhouse Gas Emissions, and Cost". *Journal of Cleaner Production*, 428 (2023): 139293.
- Fanger, Poul O. *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Danish Technical Press, 1970.
- Figuroa-Lopez, Anna, Alba Arias, Xabat Oregi, and Iñigo Rodríguez. "Evaluation of Passive Strategies, Natural Ventilation and Shading Systems, to Reduce Overheating Risk in a Passive House Tower in the North of Spain During the Warm Season". *Journal of Building Engineering*, 43 (2021): 102607.
- Firląg, Szymon, Mehrangiz Yazdani, Charlie Curcija, Christian Kohler, Simon Vidanovic, Robert Hart, and Stephen Czarnecki. "Control Algorithms for Dynamic Windows for Residential Buildings". *Energy and Buildings*, 109 (2015): 157-173.
- Garcia, Dayan de Loyola Ramos and Fernando Oscar Ruttkay Pereira. "Method Application and Analyses of Visual and Thermal-Energy Performance Prediction in Offices Buildings with Internal Shading Devices". *Building and Environment*, 198 (2021): 107912.
- Haghighi, Nasim, Somayeh Asadi, and Hamed Babaizadeh. "The Effect of Shading Design and Materials on Building Energy Demand". International Construction Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering (ICSC), 2015.
- Hopkinson, Ralph Galbraith. "Glare from Daylighting in Buildings". *Applied Ergonomics*, vol. 3, no. 4 (1972): 206-215.
- Kim, Dongsu, Sam J. Cox, Heejin Cho, and Jongho Yoon. "Comparative Investigation on Building Energy Performance of Double Skin Façade (Dsf) with Interior or Exterior Slat Blinds". *Journal of Building Engineering*, 20 (2018): 411-423.
- LBNL, EnergyPlus. "Energy Plus Documentation: Getting Started with Energyplus". *EnergyPlus Engineering Reference, Input and Output Reference*, 2010.
- Light, CEN. "Lighting—Basic Terms and Criteria for Specifying Lighting Requirements". *European Standard EN 12665*, 2011.
- Littlefair, P.J. *Control of Solar Shading*. BRE, 2002.
- Lundberg, Scott M. and Su-In Lee. "A Unified Approach to Interpreting Model Predictions". *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30 (2017).
- Magri Elouadjeri, Sahar, Aicha Boussoualim, and Hassan Ait Haddou. "Evaluating the Effect of External Horizontal Fixed Shading Devices' Geometry on Internal Air Temperature, Daylighting and Energy Demand in Hot Dry Climate; Case Study of Ghardaia, Algeria". *Buildings*, vol. 11, no. 8 (2021): 348.
- Naderi, Ehsan, Behrang Sajadi, Mohammadali Akhavan Behabadi, and Erfan Naderi. "Multi-Objective Simulation-Based Optimization of Controlled Blind Specifications to Reduce Energy Consumption, and Thermal and Visual Discomfort: Case Studies in Iran". *Building and Environment*,

169 (2020): 106570.

National Building Regulations of Iran. Chapter 19: Energy Conservation. *Tehran, Iran: Iranian National Building Regulations*, 2020.

Newsham, GR. "Manual Control of Window Blinds and Electric Lighting: Implications for Comfort and Energy Consumption". *Indoor Environment*, vol. 3, no. 3 (1994): 135-144.

Neymark, J., R. Judkoff, M. Kummert, R. Muehleisen, A. Johannsen, N. Kruis, Jason Glazer, et al. *Update of ASHRAE Standard 140 Section 5.2 and Related Sections (Bestest Building Thermal Fabric Test Cases)*. Argonne National Lab. (ANL), Argonne, IL (United States), 2020.

O'Donovan, Adam, Michael D Murphy, and Paul D O'Sullivan. "Passive Control Strategies for Cooling a Non-Residential Nearly Zero Energy Office: Simulated Comfort Resilience Now and in the Future". *Energy and Buildings*, 231 (2021): 110607.

Oh, Myung Hwan, Kwang Ho Lee, and Jong Ho Yoon. "Automated Control Strategies of inside Slat-Type Blind Considering Visual Comfort and Building Energy Performance". *Energy and Buildings*, 55 (2012): 728-737.

Peel, Murray C., Brian L. Finlayson, and Thomas A. McMahon. "Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification". *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 11, no. 5 (2007): 1633-1644.

Pinto, Maria Cristina, Giulia Crespi, Federico Dell'Anna, and Cristina Becchio. "Combining Energy Dynamic Simulation and Multi-Criteria Analysis for Supporting Investment Decisions on Smart Shading Devices in Office Buildings". *Applied Energy*, 332 (2023): 120470.

Raton, Boca. *Handbook of Quantile Regression*. CRC Press: FL, USA, 2017.

Sanati, Leyla, and Michael Utzinger. "The Effect of Window Shading Design on Occupant Use of Blinds and Electric Lighting". *Building and Environment*, 64 (2013): 67-76.

Santos, Matheus Tonelli, Maria Akutsu, and Adriana Camargo de Brito. "Method for Determining the Efficiency of Shading Devices". Paper presented at the 50th International Conference of the Architectural Science Association, 2016.

Shen, Eric, Maulin Patel, and Jia Hu. "Comparison of Energy and Visual Comfort Performance of Independent and Integrated Lighting and Daylight Controls Strategies". Paper presented at the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, 2013.

Skarning, Gunnlaug Cecilie Jensen, Christian Anker Hviid, and Svend Svendsen. "The Effect of Dynamic Solar Shading on Energy, Daylighting and Thermal Comfort in a Nearly Zero-Energy Loft Room in Rome and Copenhagen". *Energy and Buildings*, 135 (2017): 302-311.

Soflaei, Farzaneh, Mehdi Shokouhian, and Seyed Majid Mofidi Shemirani. "Investigation of Iranian Traditional Courtyard as Passive Cooling Strategy (a Field Study on Bs Climate)".

*International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 5, no. 1 (2016): 99-113.

Tabadkani, Amir, Astrid Roetzel, Hong Xian Li, and Aris Tsangrassoulis. "A Review of Automatic Control Strategies Based on Simulations for Adaptive Facades". *Building and Environment*, 175 (2020): 106801.

Tabadkani, Amir, Astrid Roetzel, Hong Xian Li, and Aris Tsangrassoulis. "A Review of Occupant-Centric Control Strategies for Adaptive Facades". *Automation in Construction*, 122 (2021): 103464.

Tabadkani, Amir, Astrid Roetzel, Hong Xian Li, Aris Tsangrassoulis, and Shady Attia. "Analysis of the Impact of Automatic Shading Control Scenarios on Occupant's Comfort and Energy Load". *Applied Energy*, 294 (2021): 116904.

Tan, Yutong, Jinqing Peng, Yimo Luo, Jing Gao, Zhengyi Luo, Meng Wang, and Dragan C. Curcija. "Parametric Study of Venetian Blinds for Energy Performance Evaluation and Classification in Residential Buildings". *Energy*, 239 (2022): 122266.

Touzani, Samir, Jessica Granderson, and Samuel Fernandes. "Gradient Boosting Machine for Modeling the Energy Consumption of Commercial Buildings". *Energy and Buildings*, 158 (2018): 1533-1543.

U.S. Department of Energy. *Energyplus Engineering Reference*. U.S. Department of Energy, 2022. URL: <https://energyplus.net>.

Van Den Wymelenberg, Kevin. "Patterns of Occupant Interaction with Window Blinds: A Literature Review". *Energy and Buildings*, 51 (2012): 165-176.

Winter, Eyal. "The Shapley Value". *Handbook of Game Theory with Economic Applications*, 3 (2002): 2025-2054.

Xiong, Jie and Athanasios Tzempelikos. "Model-Based Shading and Lighting Controls Considering Visual Comfort and Energy Use". *Solar Energy*, 134 (2016): 416-428.

Zhang, Liang, Jin Wen, Yanfei Li, Jianli Chen, Yunyang Ye, Yangyang Fu, and William Livingood. "A Review of Machine Learning in Building Load Prediction". *Applied Energy*, 285 (2021): 116452.

Zhang, Yi, and Ivan Korolija. "Performing Complex Parametric Simulations with Jeplus". In: 9th International Conference on Sustainable Energy Technologies, SET 2010. Shanghai Jiao Tong University: Shanghai, China, 2010.

Zhong, Xuyang, Zhiang Zhang, Wei Wu, and Ian Ridley. "Comprehensive Evaluation of Energy and Indoor-Pm2.5-Exposure Performance of Residential Window and Roller Blind Control Strategies". *Energy and Buildings*, 223 (2020): 110206.

Zhou, Nan, Lynn Price, Dai Yande, Jon Creyts, Nina Khanna, David Fridley, Hongyou Lu, et al. "A Roadmap for China to Peak Carbon Dioxide Emissions and Achieve a 20% Share of Non-Fossil Fuels in Primary Energy by 2030". *Applied Energy*, 239 (2019): 793-819.

# Using Machine Learning Algorithms in the Early Stages of Design, in Initial Estimations for Structural Elements' Sizes in Conventional Residential Buildings in Tehran

**Seyed Amir Mohammad Rabbani Jalali**

MSc. Architecture Technology, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

**Mohammad Rajaian Hoonejani**

PhD Candidate, Michigan State University East Lansing, United States

**Mohammad Tahsildoost, PhD.\*** 

Associate Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

**Roham Afghani Khoraskani, PhD.**

Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: February 05, 2023

Accepted: May 28, 2023

(Pages: 55-74)

## Keywords:

The early stages of design, structural sizes estimation, Machine learning, Artificial neural network, support vector machine.

**Seyed Amir Mohammad Rabbani Jalali, Mohammad Rajaian Hoonejani, Mohammad Tahsildoost, Roham Afghani Khoraskani, 2025.** Using Machine Learning Algorithms in the Early Stages of Design, in Initial Estimations for Structural Elements' Sizes in Conventional Residential Buildings in Tehran. *Soffeh* 35 (3): 55-74

**DOI:** [10.48308/SOFFEH.2025.230563.1240](https://doi.org/10.48308/SOFFEH.2025.230563.1240)

## Abstract:

**Background and objectives:** Estimating and determining the sizes of structural components in the early stages of design is always one of the important



SOFFEH

*Soffeh Journal*, Shahid Beheshti University, Vol. 35, Issue 3, No. 110, 2025

 ISSN: 1683-870X

\*. Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

\*. Corresponding Author Email Address: [m\\_tahsildoost@sbu.ac.ir](mailto:m_tahsildoost@sbu.ac.ir)  
<http://dx.doi.org/10.48308/SOFFEH.2025.230563.1240>

issues architectural designers are involved with. It is largely based on personal experience carried out by people without engineering background. This is highly erratic and inefficient, forcing designers to rely on assumptions. This, in turn, can result in reworkings and increased costs. On the other hand, whilst a large variety of analyses and design methods are used to determine sizes, there is no decision-making method for early design stages. It is not possible, therefore, to consider options that require precision at this stage. The main goal of this research is to obtain a method and a tool to estimate the approximate sizes of structural components without the need to use time-consuming and complex formulas or the use of simulation software: a tool that can reduce the decision-making gap between the designer and the structural engineer and prevent any possible subsequent lawsuits.

**Materials and methods:** In general, structural decision-making and design involve many variables such as choosing the type of structural system, choosing the type of materials, appropriate structural profile, applicable regulations, and occasionally other considerations. Attempts were made in this study to include some of these important considerations in a rather limited framework to achieve a decision-making tool that will bring the architect and the structural engineer closer to each other. To start, a set of simulated structures in different states was created, followed by creation of machine learning models with Artificial Neural Network and Support Vector Machine. Consequently, it became clear that the Artificial Neural Network is better than the Support Vector Machine when it comes to predictions for steel structures, with average  $R^2$  score of 0.93 and average MAPE of 0.05. In concrete buildings, the Support Vector Machine algorithm performed better with  $R^2$  score of 0.93 and average MAPE of 0.06.

**Results and conclusion:** For about 50 years, there have been various rough diagrams to guide the user, providing very simple and practical information on the initial estimation of sizes based on experience and some analysis. While it is important to know the theories behind these elements, it is also important to be able to quickly assess the consequences of choosing a particular span, column arrangement, or loading. With the aim of helping engineers, and especially architectural designers, this study introduced a tool, that can efficiently be used to take inputs such as land dimensions, span dimensions, number of stories, and type of materials used to produce an initial estimate that is close to what is achieved by structural analysis and design tools. The methodology used in this study can be expanded to include variables such as different materials used in the construction industry, examining complex architectural forms and structures with irregular arrangements of structural members, increasing the number of floors, and examining roofs with different structures.

# بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در مراحل اولیه طراحی؛ نمونه موردی: تخمین اولیه ابعاد عناصر سازه‌ای در ساختمان‌های متداول

مسکونی شهر تهران<sup>۱</sup>

محمد تحصیلدوست<sup>۴</sup>

سیدامیر محمد ربانی جلالی<sup>۲</sup>

دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

محمد رجاییان هونجانی<sup>۳</sup>

رهام افغانی خراسکانی<sup>۵</sup>

استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

دریافت: ۱۶ بهمن ۱۴۰۱

پذیرش: ۷ خرداد ۱۴۰۲

(صفحه ۵۵-۷۴)

۱. این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول و دوم است با عنوان‌های تدوین روش تخمین ابعاد اجزای سازه‌ای؛ نمونه موردی: ساختمان‌های متداول مسکونی قاب خمشی فولادی شهر تهران، و تدوین روش تخمین ابعاد اجزای سازه‌ای؛ نمونه موردی: ساختمان‌های متداول مسکونی قاب خمشی بتنی شهر تهران که با راهنمایی نگارندگان سوم و چهارم در دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی تیرماه سال ۱۴۰۰ دفاع شده‌اند.

۲. کارشناسی ارشد رشته فناوری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی  
s.rabbanijalali@mail.sbu.ac.ir

۳. دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه ایالتی میشیگان، ایست لنسینگ، ایالات متحده  
m.rajaianhoonejani@mail.sbu.ac.ir

۴. نویسنده مسئول  
m\_tahsildoost@sbu.ac.ir  
5. r\_afghani@sbu.ac.ir

سیدامیر محمد ربانی جلالی، محمد رجاییان هونجانی، محمد تحصیلدوست، رهام افغانی خراسکانی. ۱۴۰۴. بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در مراحل اولیه طراحی؛ نمونه موردی: تخمین اولیه ابعاد عناصر سازه‌ای در ساختمان‌های متداول مسکونی شهر تهران. فصلنامه علمی معماری و شهرسازی صفحه ۳۵ (۳): ۷۴-۵۵.

کلیدواژه‌گان: مراحل اولیه طراحی، تخمین ابعاد سازه، یادگیری ماشین، شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان.

## چکیده

سازه‌ای بین طراح و محاسب سازه را بکاهد و از بسیاری از دعاوی در زمان ساخت جلوگیری کند.

**مواد و روش‌ها:** به‌طور کلی، فرایند تصمیم‌گیری و طراحی سازه‌ای شامل متغیرهای متعدد و متنوعی نظیر انتخاب نوع سیستم سازه‌ای، انتخاب نوع مصالح، انتخاب مقاطع مناسب سازه‌ای، انتخاب آیین‌نامه‌های مناسب هر منطقه، و سایر عواملی است که این فرایند را پیچیده‌تر و انتخاب پاسخ بهینه و مناسب را دشوارتر می‌کند. در پژوهش حاضر تلاش شده است تا برخی از این پارامترهای مهم در قالب چارچوبی نسبتاً محدود گنجانده شود تا ابزاری تصمیم‌یار عرضه گردد که بتواند فاصله میان معمار و مهندس سازه را از منظر دیدگاه مشترک بکاهد. در گام نخست، یک مجموعه داده از سازه‌های شبیه‌سازی شده در حالت‌های مختلف ایجاد گردید و در گام بعد، چندین مدل یادگیری ماشین با استفاده از دو الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان توسعه داده شد. نتایج حاکی از آن است که در ساختمان‌های فولادی، الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی نسبت به الگوریتم ماشین بردار پشتیبان عملکرد بهتری دارد و میانگین ضریب تعیین ( $R^2$ ) برابر با ۰/۹۳ و میانگین درصد خطای مطلق (MAPE) برابر با ۰/۰۵ حاصل شده است. درحالی‌که در ساختمان‌های بتنی، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان عملکرد مطلوب‌تری نشان

**اهداف و پیشینه:** تخمین و تعیین ابعاد اجزای سازه در مراحل اولیه طراحی همیشه از مسائل مهمی است که طراحان معمار با آن درگیر هستند. این موضوع تا حد زیادی بر اساس تجربه شخصی و در اکثر موارد از سوی افراد دارای اندک پشتوانه علمی صورت می‌پذیرد. این روش دارای خطای زیاد و بازدهی بسیار پایین است که طراحان را وامی‌دارد تا با زمان محاسبه ابعاد دقیق اجزای سازه، متکی بر مفروضات خود، طراحی و ساخت را پیش ببرند. تخمین اشتباه می‌تواند منجر به دوباره‌کاری و افزایش هزینه‌های پروژه شود. از طرف دیگر، اگرچه امروزه برای تعیین ابعاد سازه‌ها از ابزارهای تحلیل و طراحی سازه با تنوع و گستردگی بسیار بالا استفاده می‌شود، اما برای تصمیم‌گیری در مراحل اولیه طراحی، روش و ابزار خاصی وجود ندارد. در نتیجه امکان مقایسه گزینه‌های مختلف که لازمه طراحی دقیق و کارآمد است، در این مرحله ممکن نیست. هدف اصلی در اینجا دستیابی به روش و ابزاری برای تخمین ابعاد حدودی اجزای سازه‌ای (در این پژوهش سازه‌های قاب خمشی فولادی و بتنی)، بدون نیاز به استفاده از فرمول‌های زمان‌بر و پیچیده یا استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی است؛ ابزاری که بتواند فاصله تصمیم‌گیری در مورد اجزای

فصلنامه علمی معماری و شهرسازی؛ سال سی‌وپنجم، پاییز ۱۴۰۴، شماره ۳، پیاپی: ۱۱۰

\*. Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

\*. Corresponding Author Email Address: m\_tahsildoost@sbu.ac.ir  
<http://dx.doi.org/10.48308/SOFFEH.2025.230563.1240>



## پرسش‌های پژوهش

۱. چگونه می‌توان به الگوریتمی سریع، دقیق، و قابل اطمینان به منظور تخمین بهینه ابعاد اجزای سازه‌ای دست یافت؟
۲. کدام الگوریتم یادگیری ماشین برای فرایند تخمین ابعاد ساختمان‌های فولادی و بتنی متداول مسکونی خطای کمتری دارد؟

داده و ضریب تعیین  $0.93$  و میانگین درصد خطای مطلق  $0.06$  را کسب کرده است.

نتایج و جمع‌بندی: در حدود پنجاه سال گذشته، نمودارهای تقریبی مختلفی برای راهنمایی کاربران عرضه شده است که اطلاعات بسیار ساده و کاربردی را برای برآورد اولیه ابعاد بر اساس تجربه و برخی تحلیل‌ها در اختیار قرار می‌دهد. اگرچه آگاهی از مبانی نظری این اجزا اهمیت دارد، توانایی ارزیابی سریع پیامدهای انتخاب یک دهانه خاص، آرایش ستون‌ها، یا بارگذاری مشخص نیز بسیار حایز اهمیت است.

در این پژوهش با هدف کمک به جامعه مهندسی، به‌ویژه طراحان معماری، ابزاری معرفی شده است. ابزاری که با دریافت ورودی‌هایی نظیر ابعاد زمین، ابعاد دهانه‌ها، تعداد طبقات، و نوع مصالح مورد استفاده، می‌تواند برآورد اولیه‌ای عرضه کند که به نتایج حاصل از تحلیل و طراحی سازه‌ای بسیار نزدیک باشد، اما زمان و هزینه کمتری نیاز دارد. متدولوژی به‌کاررفته در این مطالعه قابلیت گسترش دارد و می‌توان با افزودن متغیرهایی نظیر انواع مختلف مصالح مورد استفاده در صنعت ساخت‌وساز، بررسی فرم‌ها و سازه‌های معماری پیچیده با آرایش‌های نامنظم اعضای سازه‌ای، افزایش تعداد طبقات مورد بررسی، و همچنین با بررسی سقف‌هایی با سیستم‌های متفاوت، دامنه کاربری آن را توسعه داد.

## مقدمه

در طراحی سازه‌ای، روش‌شناختی برای رسیدن به پایداری، مقاومت، و استحکام سازه بررسی می‌شود. هدف اصلی در تحلیل و طراحی سازه‌ای رسیدن به سازه‌ای است که در طول عمرش در برابر همه نیروهای وارده، بدون خرابی، مقاوم باشد. سازه باید بتواند بارها را یا منتقل و یا تحمل کند و یا به‌طور هم‌زمان هردو کار را انجام دهد. اگر سازه به‌طرز نادرست طراحی شده باشد، یا اگر بارهای واردشونده بر سازه فراتر از مشخصات طراحی باشند، عملکرد سازه مورد انتظار نخواهد بود و عواقب جدی در پی دارد. سازه‌ای که درست طراحی شود، احتمال خرابی‌های پرهزینه را کاهش می‌دهد.<sup>۶</sup>

روند طراحی در قدم اول با طراحی اولیه، شامل انتخاب مصالح مناسب سازه‌ای و سیستم‌های مناسب برای مقابله با بارهای ثقلی و جانبی و همچنین ایجاد شکل و فرم اولیه برای سیستم سازه‌ای می‌گردد. تعیین اندازه اولیه اعضای مثل تیرها و ستون‌ها نیز در این مرحله صورت می‌گیرد. در این مرحله، ابتدا چند گزینه سازه‌ای انتخاب و عملکرد و هزینه همه آنها با هم مقایسه می‌شود. این مرحله می‌تواند مهم‌ترین قدم مؤثر بر کارایی و نتیجه نهایی باشد. بعد از انتخاب سیستم سازه‌ای مناسب و ابعاد تخمینی و مصالح مورد

6. N. Anwar and F.A. Najam, "Structures and Structural Design", in *Structural Cross Sections*, 2017.

7. Ibid.

8. D. Haber and S. Karshenas, "An Expert System for Conceptual Design of Buildings", *Proceedings of the 4th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*, November 2017.

9. S. Barg, et al., "An Analytical Method to Estimate the Total Installed Cost of Structural Steel Building Frames during Early Design", *Journal of Building Engineering*, 15 (2018): 41-50.

10. H. Mote and S. R. Satish Kumar, "Use of Artificial Neural Network for Initial Design of Steel Structures", in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 660 (1) (2019).

11. Y. Jung and M. Joo, "Building Information Modelling (BIM) Framework for Practical Implementation". *Automation in Construction*, 20(2) (2011): 126-133.

12. Barg, et al., "An Analytical Method to Estimate the Total Installed Cost of Structural Steel Building Frames during Early Design", 41-50.

13. C. Málaga-Chuquitaype, "Machine Learning in Structural Design: An Opinionated Review", *Frontiers in Built Environment*, 8 (February 2022): 1-12.

14. F. Tong and Xila Liu, "Samples Selection for Artificial Neural Network Training in Preliminary Structural Design", *Tsinghua Science and Technology*, 10(2) (2005): 233-239.

15. Barg, et al., "An Analytical Method to Estimate the Total Installed Cost of Structural Steel Building Frames during Early Design", 41-50.

شخصی افراد در این مرحله برای رسیدن به پاسخ نهایی، یک روش معمول است. رسیدن به راه حل مناسب در زمانی کمتر و یک تخمین اولیه خوب به طرز مؤثری می تواند یاری کننده باشد.<sup>۱۰</sup>

در ابتدای فرایند طراحی سازه، مهندسان معمولاً هندسه کلی را از طریق مدل سازی اطلاعات ساختمان<sup>۱۱</sup> فراهم می کنند و وظیفه آنها عرضه مشخصات آرایش و توزیع عناصر سازه ای، از جمله اجزاء، مصالح، و مقاطع آنهاست. طبعاً هرچه ایده اولیه در این مرحله به طرح بهینه نزدیک تر باشد، تغییرات بعدی کمتر و بهینه سازی طرح با سرعت و کارایی بالاتری انجام خواهد شد. فرایند طراحی سازه های ساختمانی در چارچوب بهینه سازی سازه، معمولاً به سه گام / بخش تقسیم می شود: (۱) توپولوژی که تصمیم گیری در مورد تعداد و نحوه اتصال اعضاست؛ (۲) شکل، که شامل موقعیت و چینش / آرایش اعضا می شود؛ (۳) ابعاد، که تعریف مقاطع مناسب برای اعضای متناسب با بارگذاری را شامل است.<sup>۱۲</sup> معمولاً به دلیل ملاحظات معماری، هم از ابعاد کمتر و هم از تعداد کمتر اجزای سازه ای بیشتر استقبال می شود، و به همین دلیل حالات مختلف چیدمان، به خاطر ملاحظات اولیه طراحی، نادیده گرفته می شوند.<sup>۱۳</sup>

اگر در مرحله ای از فرایند طراحی تصمیم اشتباهی گرفته شود، اصلاح آن تصمیم در مرحله بعد علاوه بر افزایش هزینه منجر به افزایش زمان فرایند طراحی نیز می گردد.<sup>۱۴</sup> در فرایند طراحی سنتی عموماً عدم امکان تخمین بهینه و همچنین عدم قطعیت در اطلاعات وجود دارد و برای رسیدن به یک جواب مناسب باید زحمت فراوانی کشیده شود. استفاده از الگوریتم های هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، و یادگیری عمیق می تواند در این قسمت کاربرد و تأثیر قابل توجهی داشته باشد.<sup>۱۵</sup> همان طور که اشاره شد، طراحی سازه، چه فولادی و چه بتنی، در مراحل اولیه طراحی بیشتر مبتنی بر تجربه شخصی

نظر در مرحله پیشین، مرحله بعد تعیین پاسخ مورد انتظار سازه در برابر بارهای احتمالی است. استفاده از ابعاد تخمینی (که در مرحله اولیه طراحی به دست می آید) و یک مدل سازی بی نقص در نرم افزارهای طراحی، لازمه شروع فرایند طراحی است. مرحله آخر شامل جزئیات و طراحی اتصال با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل است. اطلاعات طراحی به شکلی مناسب برای ساخت واقعی آماده می شوند. نقشه ها و برنامه کامل برای ارسال به مهندسان سایت برای اجرای مناسب در محل آماده می شود. بدیهی است که مصالح، ابعاد، و خصوصیات سطح مقطع اعضا، جوهره کل فرایند طراحی است.<sup>۷</sup>

عمده فعالیت های طراحی سازه صرف جزئیاتی مانند تعیین ابعاد تیرها و ستون ها می شود. در بسیاری از مواقع بخش بسیار کمتری از طراحی در مرحله اول، یعنی مرحله طراحی اولیه، اجرا می شود، در حالی که عملکرد سازه، هم از منظر عملکردی و هم اقتصادی، عمدتاً در مرحله طراحی اولیه تعیین می شود، و تصمیم گیری در مراحل بعد طراحی بیشتر مربوط به پرداختن به جزئیات است. مرحله طراحی اولیه را به طور کلی می توان این گونه توصیف کرد: «در مرحله ای که همه داده های مربوطه جمع آوری و ارزیابی می شوند، هدف پروژه مشخص و پیگیری سیستم های اصلی پروژه تعیین می شود». هدف نهایی طراحی اولیه، بهینه سازی اهداف تعیین شده برای عملکرد بهینه است؛<sup>۸</sup> به طور مثال فرایند طراحی در قاب های فلزی را می توان طراحی اولیه، توسعه طراحی، و جزئیات اتصال معرفی کرد.<sup>۹</sup> فرایند طراحی سازه به طور معمول کاری پیچیده و زمان بر و دارای مشخصه های ثابت و متغیری است. شروع این فرایند عموماً با حدس و گمان و عرضه راه حل های عموماً متکی بر تجربه همراه است. رسیدن به پاسخ نهایی با مدون کردن راه های اولیه و فیلتر کردن این راه ها به صورت مکرر تا رسیدن به بهینه ترین پاسخ ممکن ادامه می یابد. استفاده از علم و تجربه

تغییرات طراحی دیرتر در فرایند معرفی شوند، هزینه‌شان افزایش می‌یابد.<sup>۲۱</sup>

با توجه به مطالب پیش‌گفته، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از قواعد سرانگشتی یک منبع مهم و حیاتی برای طراح در مراحل اولیه طراحی به‌شمار می‌رود؛ چراکه طراح لازم است ابزاری هوشمند برای تصمیم‌گیری در مراحل اولیه داشته باشد و از او این انتظار می‌رود که، با آگاهی از این موضوع که تصمیمات گرفته‌شده در مراحل مختلف ممکن است در اتخاذ تصمیمات آتی و یا حتی تصمیمات قبلی مؤثر باشد، بتواند بدون حتی حداقل بهره‌گیری از نرم‌افزارهای رایانه‌ای، به راه حلی مناسب در مراحل اولیه دست یابد.<sup>۲۲</sup>

امروزه ابزارهای متعدد این امکان را به طراحان معمار و سازه داده است که حتی در مسائل چندهدفه<sup>۲۳</sup> با استفاده از تنظیمات از قبل تعیین‌شده و چند کلیک به یک راه حل برسند. بر اساس مطالعات دانشگاه کمپیناس<sup>۲۴</sup>، مقایسه زبان‌های برنامه‌نویسی متنی<sup>۲۵</sup> و بصری نشان داد که زبان برنامه‌نویسی بصری می‌تواند نتایج بهتری را برای معماری به‌همراه داشته باشد.<sup>۲۶</sup> در نتیجه انتظار می‌رود ابزارهایی که برای طراحی در

افراد و روش آزمون و خطاست.<sup>۱۶</sup> با توجه به اینکه در طول سالیان گذشته در مورد طراحی سازه‌های فولادی و بتنی مطالعه بسیاری شده است، اگر اندازه مقاطع در مراحل اول با تخمین مناسبی انتخاب نگردد، فرایند طراحی زمان بیشتری را خواهد گرفت. در «ت ۱» تأثیرات تغییرات و تصمیمات مهندسی در مراحل مختلف فرایند توسعه و ساخت مشاهده می‌شود.<sup>۱۷</sup>

تصمیمات گرفته‌شده در مراحل اولیه طراحی، در مقایسه با تصمیمات بعدی، اثر قابل توجهی در هزینه طراحی پروژه دارد. همان‌طور که در «ت ۲» مشاهده می‌شود، در طول طراحی مراحل اولیه سازه فلزی، ۳۷٪ از کل هزینه پروژه برآورد می‌شود و هزینه‌های باقی‌مانده برای مراحل بعدی در نظر گرفته می‌شود.<sup>۱۸</sup>

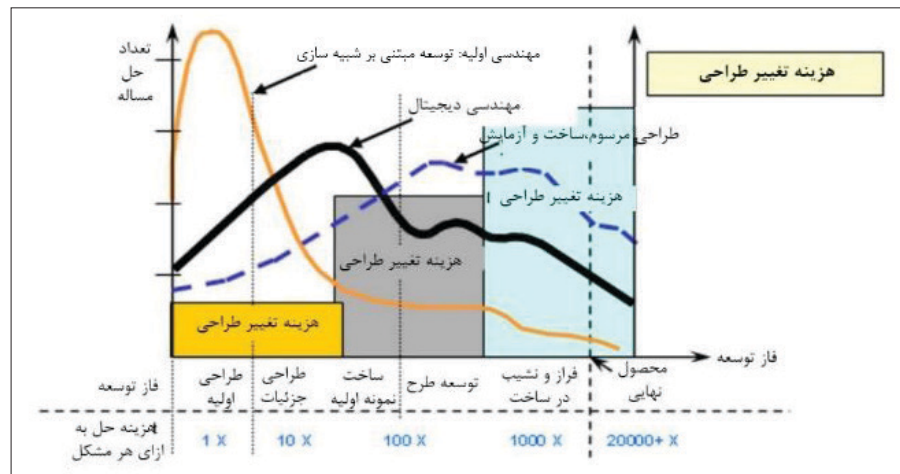
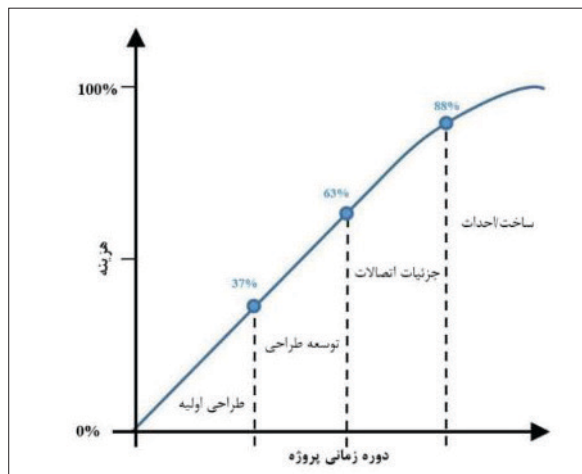
بر اساس یک تحقیق در سال ۲۰۰۹، نقاط اصلی اختلافات بین مهندس سازه و معمار، درک محدود سازه از سوی معماران و دخالت دیر هنگام مهندسان سازه در پروژه‌هاست.<sup>۱۹</sup> از سوی دیگر، تغییر طراحی باعث افزایش هزینه و زمان طراحی و ساخت و گاهی اوقات تا بخش قابل توجهی از مبلغ و مدت قرارداد می‌شود.<sup>۲۰</sup> در منابعی دیگر ثابت شده است که هر قدر

ت ۱ (راست). تأثیرات تغییرات و تصمیمات مهندسی در مراحل مختلف فرایند توسعه و ساخت، مأخذ:

Haapio, Feature-Based Costing Method for Skeletal Steel Structures Based on the Process Approach.

ت ۲ (چپ). هزینه‌های قاب فولادی در فازهای مختلف پروژه، مأخذ:

Barg, et al., "An Analytical Method to Estimate the Total Installed Cost of Structural Steel Building Frames during Early Design".



16. Of Inistry, Tudy of, Cheme In, Esign of, and Flood Protection. "S Ultanate of O Man M Inistry of R Egiolal P Art B: P Reliminary D Esign of Flood Protection Dams a Ppendix : P Reliminary D Esign D Rawings". July 2009, 184-192.
17. J. Haapio, *Feature-Based Costing Method for Skeletal Steel Structures Based on the Process Approach* (Tampere University of Technology, 2012).
18. R. F. M. H. G. A. Evers. 2000. "Cost Based Engineering and Production of Steel Constructions", in *Steel Design Codes-Fourth International Workshop on Connections in Steel Structurese*, 2000.
19. A.W. Charleson and S. Pirie, "An Investigation of Structural Engineer-Architect Collaboration", *SESOC Journal*, 22 (1) (2009): 97-104.
20. K. Ehrlenspiel, et al., *Cost-Efficient Design*. Ed. Mahendra S. Hundal (Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007).
21. A.S.T. Chang, et al., "Reasons and Costs for Design Change during Production", *Journal of Engineering Design*, 22(4) (2011): 275-289.

همچنین به روش‌های بهینه‌سازی و طراحی پارامتریک تلاش شد معیارهای نزدیک به آنچه معماران در مراحل اولیه طراحی طلب می‌کنند، عرضه شود.<sup>۲۵</sup>

اخیراً حمیدای و همکاران<sup>۲۶</sup> سیستمی را پیشنهاد کردند که در آن از انواع بهینه‌سازی سازه و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان برای بهبود همکاری معماران و مهندسان سازه استفاده می‌شود. اما در عمل، بهینه‌سازی و شبیه‌سازی‌های عملکردی که در این سیستم بر آن تکیه می‌شود، اغلب زمان‌برتر از آن هستند که در مراحل اولیه طراحی به کار گرفته شوند. تزانیدیس و همکاران<sup>۲۷</sup> از مدل‌های جانشین (ساروگیت)<sup>۲۸</sup> برای بهبود سرعت مدل‌سازی استفاده کردند. آنها شش نوع مدل جانشین را بر اساس دقت و زمان توسعه و الگوریتم‌های تقریب برای طراحی مفهومی سازه و بهینه‌سازی مقایسه کردند.

در سال‌های اخیر، روش‌های یادگیری ماشین در مهندسی سازه بیشتر امتحان شده‌اند. محمد ای. حق<sup>۲۹</sup> با ورودی‌هایی مانند میزان فولاد تقویتی، نوع ستون، میزان مقاومت ستون، مقدار بار محوری، و مقدار ممان یک مدل شبکه عصبی پس انتشار<sup>۳۰</sup> پرسپترون چندلایه<sup>۳۱</sup> را برای طراحی ستون و تیر بتنی مسلح‌شده معرفی کرد. او در پژوهش خود استفاده از یک مدل شبکه عصبی محاسبات گسترده در طول بهینه‌سازی فولاد، به‌ویژه برای ستون‌های با خمش دوماحوری<sup>۳۲</sup>، را به حداقل رساند. مت و کومار<sup>۳۳</sup> نیز دو مدل شبکه عصبی مصنوعی به‌صورت رگرسیونی و کلاسه‌بندی با هدف طراحی اولیه بهینه سازه فلزی را با استفاده از نبشی<sup>۳۴</sup> متناسب با استانداردهای طراحی سازه در هند عرضه کردند که مدل رگرسیونی دارای تابع هزینه کمتر و خطای کمتر هم برای ضخامت و هم برای عرض بال بود.

کانیلماز و همکاران<sup>۳۵</sup> یک ابزار طراحی اولیه چندمعیاره را با کمک الگوریتم ژنتیک با استفاده از الگوریتم «NSGAI»<sup>۳۶</sup>

مراحل اولیه استفاده می‌شود، ابزارهای منعطف و ساده و بصری باشند تا کاربر بتواند به‌آسانی، متناسب با مرحله‌ای که طراحی در آن هست، نتیجه دلخواه را به‌دست آورد.<sup>۳۷</sup> اگرچه ابزارهای شبیه‌سازی جوابی با جزئیات و دقیق به کاربر می‌دهد، اما این ابزارها ورودی‌های زیاد و دقیق نیز دریافت می‌کنند. دستیابی به ابزارهای منعطف هوش مصنوعی (AI)<sup>۳۸</sup> که ترکیبی از الگوریتم، ریاضی، خلاقیت، و نتیجه تلفیق روش‌های مختلف است، نقش مهمی در چندین حوزه کاربردی دارد.<sup>۳۹</sup> ظهور قابلیت‌های جمع‌آوری و پردازش کم‌هزینه داده‌ها انگیزه‌ای جدید و درجه‌ای از فراگیر شدن را به راه حل‌های مهندسی مبتنی بر هوش مصنوعی بخشیده است.<sup>۴۰</sup> برخی ابزارها که بر پایه هوش مصنوعی ساخته شده‌اند، ورودی‌های کمتر دریافت می‌کنند و با محدود کردن برخی ویژگی‌ها، خروجی قابل توجهی را می‌دهند. برخی از این ابزارها پاسخ‌های دقیق به اندازه ابزارهای شبیه‌سازی می‌دهند.<sup>۴۱</sup> همین مقدار دقت خروجی می‌تواند باعث درک بهتر سازه و مقادیر سازه‌ای از طرف مهندس معمار و کم کردن شکاف بین مهندس معمار و مهندس سازه شود، که قبلاً اشاره شد.

## ۱. مبانی نظری

پژوهشگران مختلفی با استفاده از هوش مصنوعی فرایند طراحی سازه را در تصمیم‌گیری‌های نهایی ارتقا داده‌اند.<sup>۴۲</sup> اما در زمینه طراحی مفهومی در فازهای اولیه طراحی، همچنان وجود این‌گونه ابزارها بیش از پیش احساس می‌شود، با معرفی هوش مصنوعی در زمینه مهندسی،<sup>۴۳</sup> تعدادی ابزار در میانه دهه ۱۹۸۰ بر پایه سیستم‌های خبره<sup>۴۴</sup> توسعه یافت. اگرچه در آن زمان موفقیت و قابلیت‌های سیستم‌های خبره اثبات شد، اما وابستگی این سیستم‌ها به دانش تهیه‌شده انسان و همچنین مشکلات در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه، نقش آنها را کمرنگ‌تر کرد.

22. J.L. Ruddy and S.A. Ioannides, "Rules of Thumb for Steel Design". *Proceedings of the 2004 Structures Congress - Building on the Past: Securing the Future*, February 2004, 1683-1689.
23. multi objective
24. University of Campinas
25. textile
26. G. Celani and Carlos Eduardo Verzola Vaz, "CAD Scripting and Visual Programming Languages for Implementing Computational Design Concepts: A Comparison from a Pedagogical Point of View". *International Journal of Architectural Computing*, 10(1) (2012): 121-137.
27. N.C. Brown and C.T. Mueller, "Automated Performance-Based Design Space Simplification for Parametric Structural Design", *Proceedings of the IASS Annual Symposium*, 2017.
28. Artificial Intelligence
29. M. Jalal, et al., "Application of Genetic Programming (GP) and ANFIS for Strength Enhancement Modeling of CFRP-Retrofitted Concrete Cylinders", *Neural Computing and Applications*, 23(2) (2013): 455-470.

برای بهینه‌سازی معیارهای طراحی مختلف با در نظر گرفتن الزامات مهندسی، معماری، و محیط به‌طور هم‌زمان، در یک فرایند یکپارچه ایجاد کرده‌اند. ورودی‌های ابزار ابعاد هندسه مانند ابعاد ساختمان در طول و عرض، مصالح، بارگذاری، و وضعیت زمین هستند. مصالح اصلی برای پیشنهادات انتهایی، سازه فلزی و بتنی مسلح شده است که همه این متغیرها بر اساس هزینه و میزان انتشار کربن دی‌اکسید بهینه‌یابی می‌شود. آنها در انتها یک نمودار از جواب‌های متناسب با ورودی‌ها را عرضه می‌کنند که کاربر بتواند با کلیک کردن بر روی هر کدام از پیشنهادات، سازه ترسیم شده توسط کتابخانه‌های مصورسازی پایتون را مشاهده کند.

از دیگر کارهایی که در این حوزه و برای طراحی در مراحل اولیه با استفاده از یادگیری عمیق انجام شده است، پژوهش آمپانوس و همکاران<sup>۴۷</sup> است که در آن ابزار «The Approximate Framer»، با استفاده از شبکه عصبی پیچشی، محل قرارگیری و نوع ستون (ستون‌های تکی، ستون‌های گوشه، و ستون‌های درون دیوار) را بر روی اسکیس اولیه از کاربر نشان می‌دهد. یکی از ویژگی‌های این سیستم این است که هدف آن تخمین کامل سازه در همان شروع کار نیست، بلکه استفاده از یک رویکرد تکرارشونده است که در آن شبکه عصبی به‌تدریج راه حل را در صورت لزوم گسترش می‌دهد. به این ترتیب، شبکه عصبی تغییرات بهتری در شناسایی الگوها در یک منطقه کوچک ساختمان در هر مرحله دارد؛ با این حال، این رویکرد همچنین مستعد تجمع خطا برای سازه‌های بزرگ است، اگرچه این خطا به اندازه مجموعه داده یادگیری<sup>۴۸</sup> بستگی دارد. سازه پیشنهادی در این ابزار قاب خمشی فولادی در زوایای راست گوشه است. محدودیت‌های اصلی این کار مربوط به عدم پیشنهاد ابعاد سازه و همچنین مغشوش بودن محل قرارگیری ستون در سازه‌های بزرگ است.

یکی دیگر از کارهای جذاب در این حیطه را چانگ و چنگ<sup>۴۹</sup> انجام داده‌اند، آنها قاب ساختمان را یک گراف باز تعریف کرده‌اند و با استفاده از گراف شبکه عصبی که توسط نتایج شبیه‌سازی‌های قبلی شکل یافته است، ستون و تیر بهینه را پیشنهاد می‌دهند. این تحقیق یکی از اولین تحقیق‌ها در استفاده از شبکه عصبی گراف<sup>۵۰</sup> در حوزه بهینه‌سازی ساختمان است. در این تحقیق نتایج با خروجی‌های بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک مقایسه می‌شود و سرعت زیاد این مدل چشمگیر است. محدودیت‌های اصلی این کار مربوط به فقدان اثرات پیوستگی دال و برخورد با اسکلت ساختمان به‌منزله ورودی است.

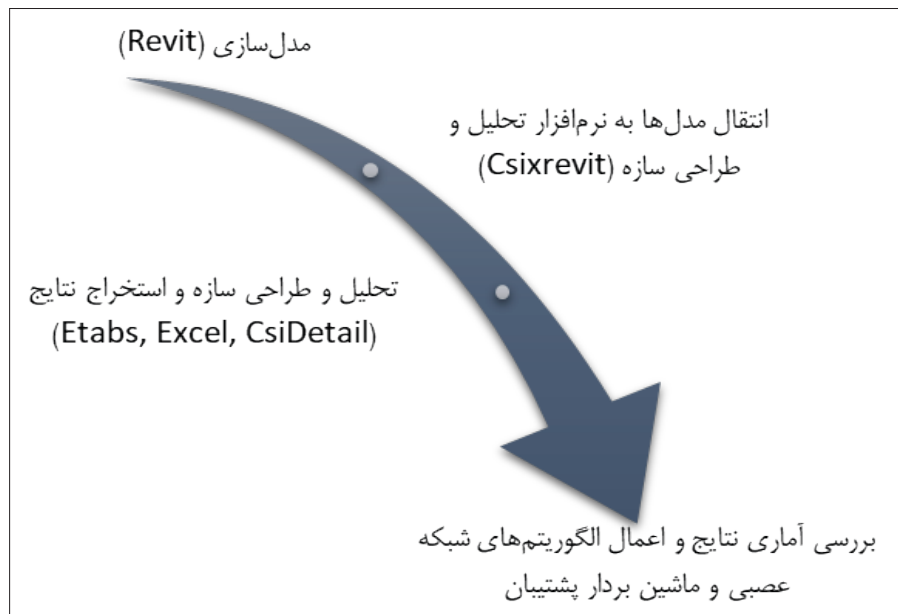
## ۲. موضوع و هدف تحقیق

همان‌طور که در ادبیات تحقیق مشاهده شد، با پررنگ‌تر شدن حضور الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین، ابزارهای مختلفی در فازهای مختلف طراحی و تصمیم‌گیری در حوزه ساخت‌وساز معرفی شده‌اند. همان‌گونه که اشاره شد، حجم عمده‌ای از این ابزارها برای ارتقای تصمیم‌گیری و آشکارسازی جزئیات بیشتر در مراحل نهایی طراحی استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر سعی بر آن است که ابزاری جهت تصمیم‌گیری در مرحله اول طراحی معرفی شود که کاربران به جای شروع از مرحله صفر و «صفحه خالی»، به یک ارزیابی سریع در مورد تصمیم خود در مورد انتخاب سازه، هزینه، میزان مصالح مورد نیاز، و همچنین توصیه‌های مختلف طراحی بر اساس پارامترهای ورودی برسند و بنابراین امکان انتخاب بهینه‌ترین حالت از بین گزینه‌های مختلف ایجاد شود. این ابزار ابعاد اولیه مقاطع سازه‌ای در سازه‌های فولادی و بتنی با قاب خمشی و میزان مصالح مصرفی (مثل وزن و حجم بتن، وزن فولاد، وزن میلگرد) را فراهم می‌کند. همچنین نتایج این پژوهش خواهد توانست به کارهای بعدی پژوهشگران در حوزه معماری، سازه، و

30. Málaga-Chuquitaype, "Machine Learning in Structural Design: An Opinionated Review", 1-12.

31. N. Forouzandeh, et al., "A Review of Web-Based Building Energy Analysis Applications", *Journal of Cleaner Production*, 306 (2021):127251.

ت ۳. روش انجام پژوهش.



که منجر به کم شدن فاصله معمار و مهندس سازه از یکدیگر شود.

دامنه هدف در این پژوهش در بخش سیستم های ساختمانی بر روی سیستم قاب خمشی هم در سازه های فولادی و هم در سازه های بتنی است. دامنه تغییرات دهانه ها از ۳ متر تا ۷/۵ متر و دامنه تعداد طبقات از ۳ طبقه تا ۷ طبقه گزیده شده اند. تخمین در مورد اندازه اولیه عناصر سازه ای از بین مقاطع سازه ای همچون مقاطع مربعی برای ستون های سازه فلزی و مقاطع [شکل با ضخامت ورق های متنوع برای تیرها صورت گرفته است. در بخش سازه های بتنی همچنین سعی شده است که با بهره گیری از جای گذاری حداکثر میلگرد در مقاطع و همچنین انجام شبیه سازی ها با دو نوع بتن متفاوت، دامنه بررسی و همچنین انتخاب گزینه های متنوع افزایش یابد. فاصله بین دهانه ها از ۳ متر تا ۷/۵ متر با گام های ۰/۵ متری و مساحت زمین با توجه به تغییرات فاصله بین دهانه ها از ۱۳۲ تا

ساختمانی در جهت توسعه ابزارهای بهینه سازی تصمیم گیری پیشرفته تر در مراحل اولیه طراحی کمک کند. در این مقاله به جزئیات ابزار یادشده پرداخته می شود، که شامل معرفی لایه زیرین آن است، که همان الگوریتم های استفاده شده در آن، ورودی ها، و خروجی ها، و متغیرهای مستقل و وابسته هستند.

### ۳. روش پژوهش

ابزاری که در این پژوهش دنبال می شود، باید تسهیلگر عرضه اطلاعات کاربردی به جامعه هدف پژوهش در مرحله تصمیم گیری در قدم های اولیه فرایند طراحی و ساخت و ساز باشد. در «ت ۳» روند انجام این کار تشریح شده است. کاربران در ابتدا اطلاعات مربوط به ساختمان خود را وارد می کنند که این اطلاعات شامل طول و عرض زمین، نوع مصالح مد نظر، تعداد طبقات، ارتفاع کف تا کف طبقات، ضخامت ورق ستون و تیر در سازه های فولادی، و رده مقاومتی بتن در سازه بتنی است. خروجی ابزار شامل ابعاد اولیه تیر و ستون ها در هر طبقه، وزن سازه، حجم بتن، متراژ فولاد مصرفی، و در نهایت تخمین اولیه بهینه شده ای از هزینه سازه است که در انتخاب بهینه ترین حالت ممکن به کاربران کمک می رساند.

### ۳.۱. دامنه

به طور کلی تصمیم گیری و طراحی سازه شامل متغیرهای فراوانی همچون انتخاب نوع سیستم سازه ای، انتخاب نوع مصالح، انتخاب مقاطع سازه ای مناسب، انتخاب آیین نامه های مناسب هر منطقه، و دیگر احتمالاتی است که تصمیم گیری در این حوزه را پیچیده تر و انتخاب پاسخ بهینه و مناسب را سخت تر می کنند. در این تحقیق سعی شده است که پژوهشگر با دخیل کردن برخی از این پارامترهای مهم در یک چارچوب اندکی محدودشده، بتواند به یک ابزار تصمیم گیری دست یابد

### ۲.۳. مجموعه داده‌ها

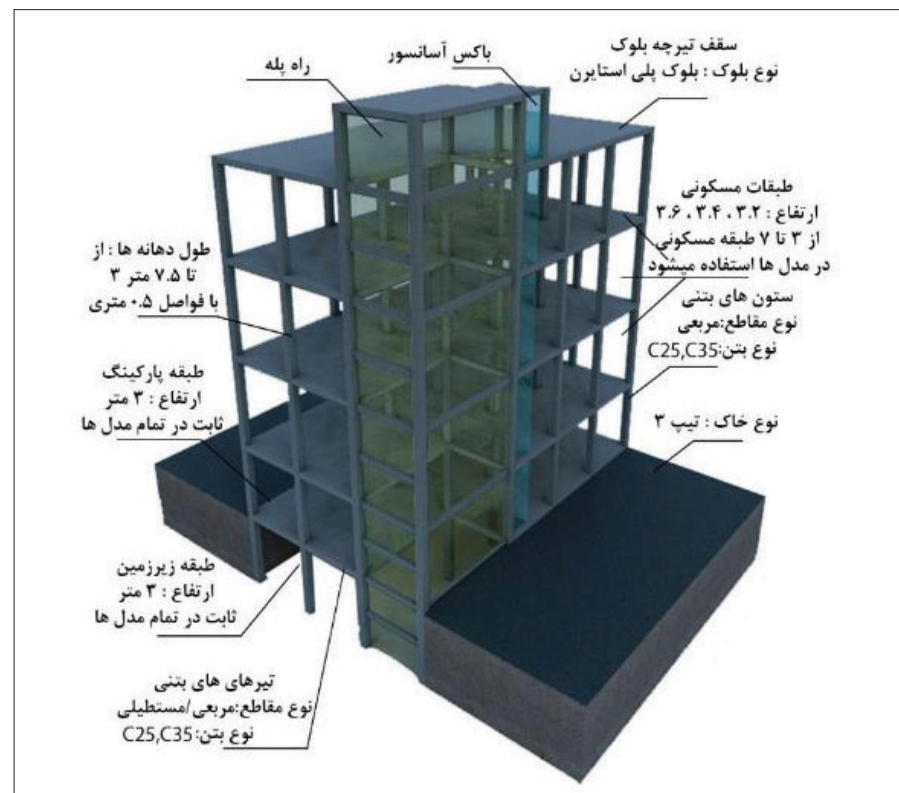
از آنجاکه هدف در پژوهش پیش رو بررسی ویژگی‌های سازه‌ای ساختمان‌های متداول مسکونی است، سعی شده است یک بانک داده‌ای مناسب، با توجه به متغیرهایی که در طراحی این نوع از ساختمان‌ها اثر می‌گذارند، ایجاد گردد. در بخش سازه‌های فلزی ۸۲۵ مدل و در بخش سازه‌های بتنی ۱۶۵۰ مدل ساخته شده است، مدل‌های سازه‌ای ابتدا در نرم‌افزار «Revit» ساخته شده و بعد از آن برای انجام شبیه‌سازی‌های سازه‌ای به نرم‌افزار «ETABS» انتقال داده شده‌اند. گریدبندی‌ها به صورت منظم و عمود بر هم فرض شده‌اند، همه سازه‌ها برای شرایط لرزه‌خیزی بسیار زیاد شبیه‌سازی شده‌اند و سازه بررسی شده در همه مدل‌ها قاب خمشی بوده است. به همه مدل‌های ساخته شده بار مرده، بار زنده، بارهای لرزه‌ای، که به نسبت ارتفاع و تعداد طبقات در هر مدل متفاوت هستند، و دیگر بارهایی که بر سازه‌ها وارد می‌شود، اعمال شده است. نوع سقف در سازه‌های فولادی سقف کامپوزیت و در سازه‌های بتنی سقف تیرچه بلوک بوده است (جدول ۱).

### ۳.۳. یادگیری

برای دستیابی به نتیجه دلخواه در ابعاد سازه، باید مدل یادگیری ماشین چندین بار اجرا شود. به این صورت که با توجه به حساسیت این مدل نسبت به یکی از متغیرها، در هر طبقه، آن متغیر تغییر می‌کند و مدل دوباره راه‌اندازی می‌شود؛ به طور مثال ارتفاع متغیری است که در هر طبقه تغییر می‌کند، پس با کم کردن میزان ارتفاع کف یا سقف یک طبقه، محاسبات برای طبقه بالایی انجام می‌شود. حال در این پژوهش، برای دستیابی به مدل با دقت بالا و دریافت چگونگی کارکرد مدل، از دو الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی که در پژوهش‌های پیشین بسیار از آن و همچنین ماشین بردار پشتیبان استفاده شده است.

۴۹۲ متر مربع بوده است. ارتفاع طبقات پارکینگ و زیرزمین ۳ متر و ارتفاع طبقات مسکونی از ۳ متر تا ۳/۶ متر با گام‌های ۰/۲ متری در نظر گرفته شده است. ۲۹ مقطع I شکل برای تیرهای فولادی و نیز ۲۶ مقطع باکس برای ستون‌ها در نرم‌افزار سازه‌ای تعریف گشته‌اند، ضخامت ورق تیرها و ستون‌ها از ۰/۸ تا ۲/۵ سانتیمتر متغیر است. در سازه‌های بتنی ۱۳ مقطع مربعی به نحوی که حداکثر میزان میلگردهای طولی به میزان ۴٪ در آنها رعایت شده باشد، تولید شده است. و همچنین ۱۷ مقطع مستطیلی تعریف گشته است. نوع فولاد مصرفی در سازه‌های فولادی ST37 و در سازه‌های بتنی با استفاده از دو نوع بتن C25 و C35 شبیه‌سازی‌ها انجام شده است (ت ۴ و ۵).

ت ۴. ورودی‌ها و ویژگی‌های ثابت متغیری که در ساختمان‌های بتنی اعمال گشته‌اند. پدیدآورنده: سید امیرمحمد ربانی جلالی.



32. H. Salehi and R. Burgueño, "Emerging Artificial Intelligence Methods in Structural Engineering," *Engineering Structures*, 171 (May 2018): 170-89.

33. Y. Pan and L. Zhang, "Roles of Artificial Intelligence in Construction Engineering and Management: A Critical Review and Future Trends," *Automation in Construction*, 122 (December 2020): 103517.

34. Knowledge-Based Expert Systems

35. E. Bradner, et al., "Parameters Tell the Design Story: Ideation and Abstraction in Design Optimization," *Simulation Series*, 46(7) (2014): 172-197.

36. T. Hamidavi, et al., "Towards Intelligent Structural Design of Buildings: A BIM-Based Solution," *Journal of Building Engineering*, 32 (November 2020): 101685.

37. S. Tseranidis, et al.,

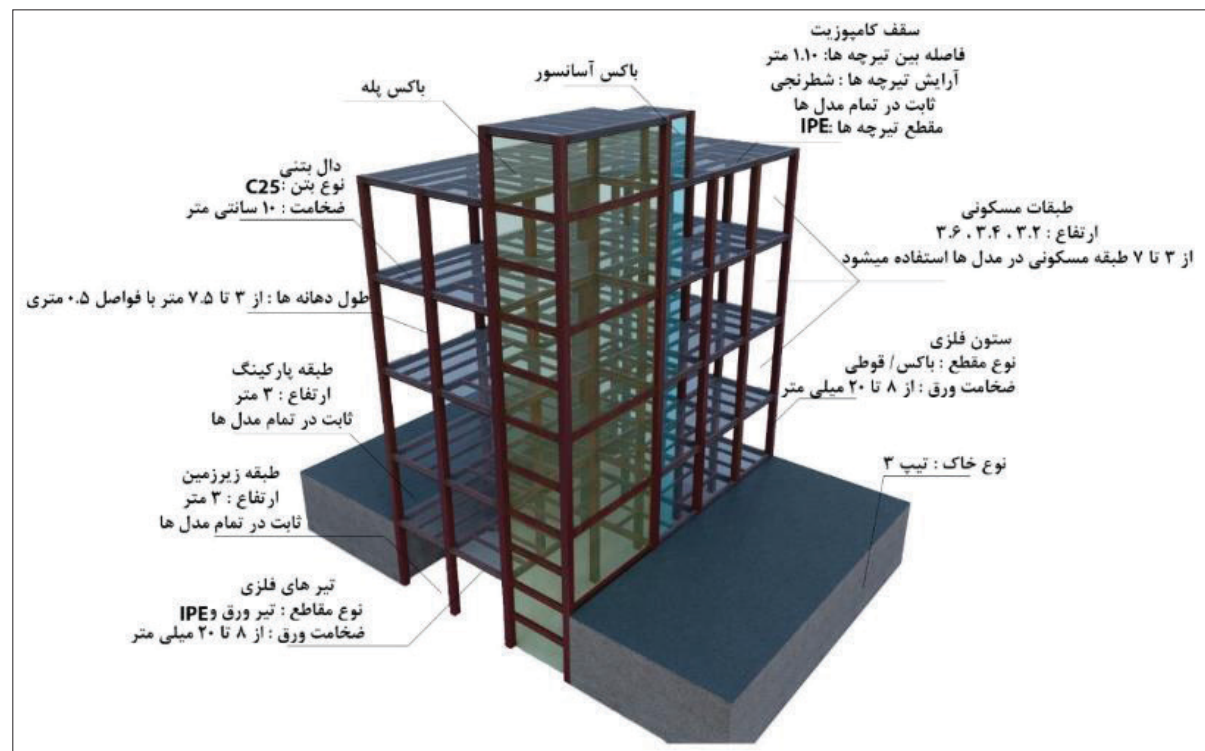
ت ۵. ورودی‌ها و ویژگی‌های ثابت متغیری که در ساختمان‌های فولادی اعمال گشته‌اند. پدیدآورنده: س.ا.م. ربانی جلالی.

انجام‌شده، برچسب‌های جدید را پیش‌بینی کنند. یک ANN بر مجموعه‌ای از واحدهای متصل یا گره، به نام نورون‌های مصنوعی، مبتنی است (مشابه نورون‌های زیستی در مغز حیوان). هر اتصال (سیناپس) میان نورون‌ها می‌تواند سیگنالی را از یک نورون به نورون دیگر انتقال دهد. نورون دریافت‌کننده (پست سیناپتیک) می‌تواند سیگنال (ها) و سپس نورون‌های سیگنالی متصل به آن را پردازش کند. در پیاده‌سازی‌های معمول ANN، سیگنال سیناپس یک عدد حقیقی است، و خروجی هر نورون توسط تابعی غیرخطی از ورودی‌های آن محاسبه می‌شود. نورون‌ها و سیناپس‌ها معمولاً دارای وزن هستند که توأم با پیشرفت یادگیری، تنظیم می‌شود. این وزن قدرت سیگنالی را که به سیناپس می‌فرستد افزایش یا کاهش می‌دهد. نورون‌ها

در ادامه به‌طور مختصر به شرح الگوریتم‌های استفاده‌شده و هاپیرپارامترهای هریک از مدل‌ها می‌پردازیم.

### ۱.۳.۳ شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و به عبارت دیگر سیستم‌های اتصالگر، سیستم‌های محاسبه‌کننده‌ای هستند که در ساخت آنها از شبکه‌های عصبی زیستی الهام گرفته شده است. این سیستم‌ها، با بررسی مثال‌ها، فعالیت‌ها را یادگیری می‌کنند (به بیان دیگر عملکردشان در انجام فعالیت‌ها به‌مرور بهبود می‌یابند) و عموماً این اتفاق بدون هیچ برنامه‌نویسی مختص به فعالیت انجام می‌شود؛ به‌طور مثال، در شناسایی شکل، این شبکه‌ها می‌توانند، با استفاده از برچسب‌گذاری‌های



"Data-Driven Approximation Algorithms for Rapid Performance Evaluation and Optimization of Civil Structures", *Automation in Construction*, 72 (2016): 279-293.

38. surrogate model

جدول ۱. شرایط در نظر گرفته شده برای سازه‌های مختلف که در این پژوهش در ابزار شبیه‌ساز وارد گشته‌اند. تدوین و پژوهش: س.ا.م. ربانی جلالی.

می‌توانند آستانه‌ای داشته باشند که تنها اگر سیگنال مجموع از آن آستانه عبور کند، سیگنال فرستاده شود. معمولاً نورون‌ها در لایه‌ها سازماندهی می‌شوند. لایه‌های مختلف ممکن است تبدیلات مختلفی روی ورودی خود اعمال کنند. سیگنال‌ها از اولین لایه (ورودی) به آخرین لایه (خروجی) گذر می‌کنند، و در این بین ممکن است لایه‌هایی را چند بار طی کنند. یک شبکه عصبی (مصنوعی) شبکه‌ای است از عناصر ساده به نام نورون که ورودی را دریافت می‌کند، وضعیت درونی آن را مطابق با همان ورودی تغییر می‌دهد (فعال‌سازی)، و خروجی را، مطابق با ورودی و فعال‌سازی، تولید می‌کند. این شبکه از اتصال خروجی برخی نورون‌ها به ورودی برخی نورون‌های دیگر تشکیل می‌شود و گرافی جهت‌دار و وزن‌دار را شکل می‌دهد. وزن‌ها و نیز توابعی که فعال‌سازی را محاسبه می‌کنند، تحت فرایندی به نام یادگیری که با یک قاعده یادگیری مدیریت می‌شود، قابل اصلاح هستند.<sup>۵۱</sup>

در پژوهش حاضر برای اجرای شبکه عصبی از کتابخانه

متن باز تنسورفلو<sup>۵۲</sup>ی توسعه داده شده توسط تیم گوگل استفاده شده است. یکی از مقدمات وارد کردن ویژگی‌ها و برچسب‌ها در این مدل، پیش‌پردازش داده و استاندارد کردن داده است، برای این کار از روش مقیاس استاندارد<sup>۵۳</sup> کتابخانه سایکیت لرن<sup>۵۴</sup> استفاده شده است. در ادامه داده‌ها به دو دسته یادگیری و آزمایش تقسیم و مدل‌سازی آغاز می‌شود. در همه مدل‌ها سهم داده‌های یادگیری ۸۰ و سهم داده‌های آزمایش ۲۰٪ از کل داده‌هاست. شبکه تشکیل شده در این پژوهش دارای ۴ لایه پنهان است، تابع فعال‌ساز رلو<sup>۵۵</sup> در سه لایه ابتدایی و تابع فعال‌ساز سافت مکس<sup>۵۶</sup> در لایه انتهایی است. همچنین برای برگردان کردن مدل از بهینه‌ساز آدام<sup>۵۷</sup> با نرخ یادگیری ۰/۰۰۱ و تابع زیان میانگین خطای مربع استفاده شده است. میانگین مربعات خطا با عنوان میانگین اختلاف مجذور بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی محاسبه می‌شود. نتیجه همیشه بدون توجه به علامت مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی مثبت است و بهترین مقدار برابر ۰/۰ است. مجذور کردن به این دلیل است که اشتباهات بزرگ‌تر منجر به خطای بیشتری نسبت به اشتباهات کوچک‌تر می‌شود؛ به این معنی که مدل برای اشتباهات بزرگ‌تر مجازات می‌شود.

### ۳.۳.۲. ماشین بردار پشتیبان

«ماشین بردار پشتیبان» (SVM)<sup>۵۸</sup> یک الگوریتم نظارت‌شده یادگیری ماشین است که برای هم مسائل طبقه‌بندی و هم مسائل رگرسیون قابل استفاده است؛ با این حال از آن بیشتر در مسائل طبقه‌بندی استفاده می‌شود. در الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، برای هر نمونه داده یک نقطه در فضای n بعدی روی نمودار پراکندگی داده‌ها ترسیم می‌شود (n تعداد ویژگی‌هایی است که یک نمونه داده دارد) و مقدار هر ویژگی مربوط به داده‌ها، یکی از مؤلفه‌های مختصات نقطه روی نمودار را

| آیین‌نامه             | فولادی                                        | بتنی                                          |
|-----------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| مقاطع تیرها و ستون‌ها | AISC 360-05                                   | ACI 318-14                                    |
| رده فولاد             | St37                                          | S400 / S340                                   |
| نوع سقف               | کامپوزیت                                      | تیرچه بلوک پلی استایرن                        |
| رده مقاومت بتن        | C25                                           | C25 / C35                                     |
| نوع خاک               | ۳                                             | ۳                                             |
| نوع دیافراگم طبقات    | صلب                                           | صلب                                           |
| ترکیب بارها           | بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان           | بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان           |
| طیف پاسخ              | بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ و نوع خاک              | بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ و نوع خاک              |
| ضریب C                | بر اساس ارتفاع ساختمان در هر مدل تعیین می‌شود | بر اساس ارتفاع ساختمان در هر مدل تعیین می‌شود |
| ضریب K                | بر اساس ارتفاع ساختمان در هر مدل تعیین می‌شود | بر اساس ارتفاع ساختمان در هر مدل تعیین می‌شود |

39. M.E. Haque, "An Artificial Neural Network Model for Preliminary Design of Reinforced Concrete Beam-Column", In *ASCE Annual Conference Proceedings*, 2002, 1705-1712.

40. ANN back-propagation mode

۴۱. شبکه عصبی پرسپترون یک الگوریتم طبقه‌بندی باینری یادگیری تحت نظارت است. پرسپترون یکی از اولین و ابتدایی‌ترین مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی است و یک نورون مصنوعی یا یک واحد شبکه عصبی است که محاسبات خاصی را برای تشخیص قابلیت‌های داده ورودی یا هوش تجاری انجام می‌دهد.

42. biaxial bending

43. H. Mote and S. R. Satish Kumar, "Use of Artificial Neural Network for Initial Design of Steel Structures".

ت ۶ (راست). ترسیم داده‌ها در فضای n بعدی در الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، مأخذ:

Kubat, *An Introduction to Machine Learning*.

جدول ۲ (چپ). فرمول‌های محاسبه خطا و ضریب تعیین. تدوین و پژوهش: محمد رجاییان هونجانی.

### ۴.۳. ارزیابی

مقادیر پیش‌بینی‌شده و واقعی با استفاده از میانگین درصد خطای مطلق (MAPE)<sup>۶۴</sup> و ضریب تعیین ( $R^2$ ) ارزیابی می‌شوند. MAPE و  $R^2$  طبق «جدول ۲» با استفاده از معادلات زیر محاسبه می‌شوند. لازم به ذکر است هرچه درصد خطای مطلق کمتر و ضریب تعیین بیشتر باشد، صحت نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌ها نیز بالاتر می‌رود.

### ۴. یافته‌ها

نتایج هفت برجسب ستون، تیر، ممان ستون، ممان تیر، مقدار فولاد، وزن فولاد، و وزن کل ساختمان در سازه‌های فولادی و هشت برجسب ستون، تیر، وزن تیر و ستون، وزن بتن، میلگرد تیرها، حجم بتن تیر، میلگرد ستون‌ها، و حجم بتن ستون در سازه‌های بتنی با استفاده از ویژگی‌های دهانه در طول ساختمان، دهانه در عرض، ضخامت ورق و ارتفاع ساختمان با استفاده از شبیه‌سازی ۸۵۰ ساختمان و ۲۲۰۰ ردیف داده محاسبه شده است. نتایج به‌دست‌آمده از خطای هریک از مدل‌ها در نمودارهای میله‌ای مقایسه عملکرد SVR و ANN مشاهده می‌شود (ت ۷ تا ۱۲). برای تحکیم این نتایج، فقط به خطای گرفته‌شده از مدل اکتفا نشده و پیش‌بینی هریک از مدل‌ها با مقادیر واقعی در دسته تست با استفاده از ضریب تعیین  $R^2$  نیز اندازه‌گیری شده است.

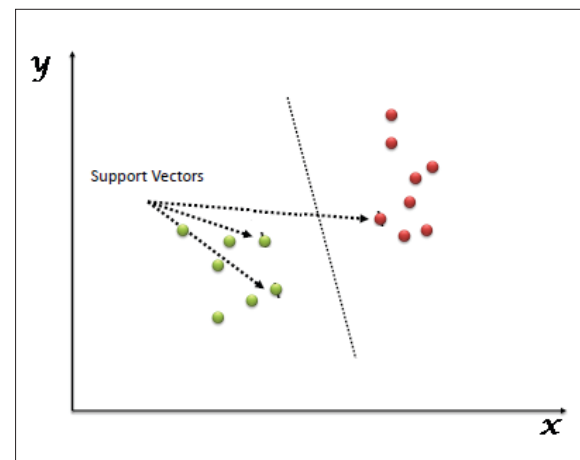
در مدل‌های ساخته‌شده برای ساختمان‌های فولادی اختلاف میان ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی اندک است

| $R^2$                                               | MAPE                                                                  |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| $R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS}$                         | $M = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left  \frac{A_t - F_t}{A_t} \right $   |
| RSS = مجموع مربعات باقی‌مانده<br>TSS = مجموع مربعات | n = تعداد داده<br>$A_t$ = مقادیر واقعی<br>$F_t$ = مقادیر پیش‌بینی‌شده |

مشخص می‌کند. سپس، با ترسیم یک خط راست، داده‌های مختلف و متمایز از یکدیگر دسته‌بندی می‌شوند.<sup>۵۹</sup>

از مزایای ماشین بردار پشتیبان می‌توان به حاشیه جداسازی کاملاً واضح برای دسته‌های مختلف، کارایی بیشتر در فضاهای با ابعاد بالاتر، و کارایی در شرایطی که تعداد ابعاد بیش از تعداد نمونه‌ها باشد، اشاره کرد. همچنین یکی از معایب آن عملکرد بد آن در هنگامی است که مجموعه داده‌ها بسیار بزرگ باشد؛ زیرا نیازمند زمان آموزش بسیار زیاد است و هنگامی که مجموعه داده نوفه (نویز) زیادی داشته باشد، عملکرد خوبی ندارد و طبقه‌بندی‌های هدف دچار هم‌پوشانی می‌شوند.

برای اجرای ماشین بردار پشتیبان رگرسیونی از متد ماشین بردار رگرسیونی<sup>۶۰</sup> از کتابخانه سایکیت لرن. اس‌وی‌ام<sup>۶۱</sup> برای اعتبار سنجی از متد کراس ولیدیشن<sup>۶۲</sup> از کتابخانه سایکیت لرن. مدل سلکشن<sup>۶۳</sup> استفاده شده است. الگوریتم‌های SVR با دو کرنل خطی و تابع پایه شعاعی اجرا می‌شود که در الگوریتم خطی C (پارامتر منظم‌سازی) عدد ۱ و در الگوریتم با هسته RBF گاما (ضریب‌های معادله) بر روی عدد صفر برای هر دو کرنل تنظیم شده است.



44. Angle Section  
45. A. Kanyilmaz, et al., "A Genetic Algorithm Tool for Conceptual Structural Design with Cost and Embodied Carbon Optimization", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 112 (September 2021): 104711.

ت ۷ (راست). مقایسه ضریب تعیین در سازه‌های فولادی با الگوریتم‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان.  
ت ۸ (چپ). مقایسه خطای MAPE در سازه‌های فولادی با الگوریتم‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان. پدیدآورنده ت ۷ و ۸: محمد رجاییان هونجانی.

و شبکه عصبی بیشتر شده است و ماشین بردار پشتیبان برای ساختمان‌های بتنی با بتن C35 در حوزه مطالعاتی این پژوهش عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهد.<sup>۶۵</sup>

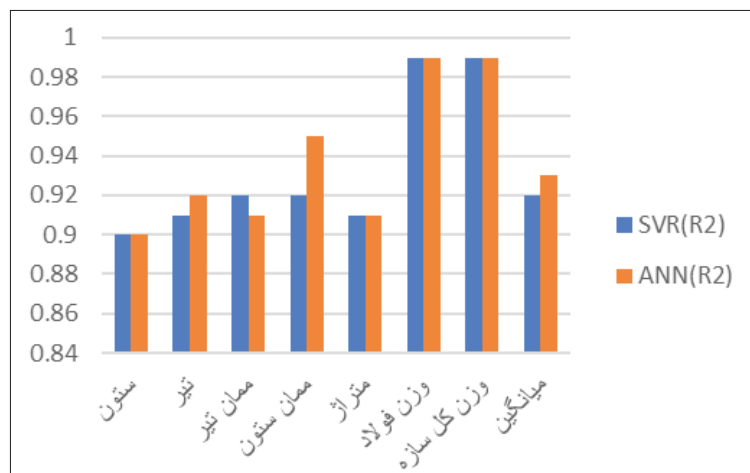
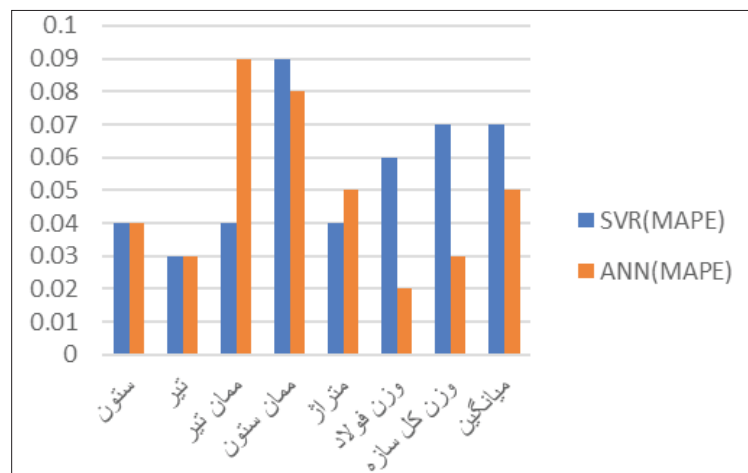
## تحلیل و نتیجه‌گیری

در طول فرایند طراحی، و به‌خصوص در گام‌های ابتدایی آن، معماران و مهندسان اغلب می‌خواهند نتیجه کیفی و کمی تصمیماتشان در مورد ابعاد، جانمایی، هندسه، و ... سازه را بلافاصله و در حین تصمیم‌گیری بدانند و بی‌آنکه وارد جزئیات محاسبات شوند، دورنمایی از ایده کلی مشخصات اجزای سازه‌ای ساختمان و گزینه‌های مصالح برای موقعیت‌های مختلف را داشته باشند. اطلاع از عملکرد سیستم انتخابی و نیز حدود ابعادی اجزا در این مرحله برای آنها لازم و درعین‌حال بدون راه حل ساده و سریع و ارزان است.<sup>۶۶</sup> برای حدود ۵۰ سال، کتابچه‌هایی با نمودارهای تقریبی مختلف برای راهنمایی کاربر وجود داشته است که حاوی اطلاعات بسیار ساده و کاربردی در مورد تخمین اولیه ابعاد بر اساس تجربه و برخی تحلیل‌ها بوده است؛ درحالی‌که دانستن تئوری پشت این عناصر

و خروجی‌های ضریب تعیین ( $R^2$ ) بیانگر این مورد هستند که شبکه عصبی برای سازه‌های فولادی مورد بررسی در این پژوهش عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهد. در بخش خطای MAPE نیز شبکه عصبی با اختلاف اندکی به نسبت ماشین بردار پشتیبان امتیاز بهتری به‌دست می‌دهد.

در مدل‌های ساخته‌شده برای ساختمان‌های بتنی با بتن با رده مقاومتی C25، ماشین بردار پشتیبان (رگرسیون با کرنل خطی) ضریب تعیین بالاتری به‌صورت میانگین به نسبت شبکه عصبی به‌دست داده است. در خطای MAPE، این موضوع مشاهده می‌شود که اختلاف بین ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی بیشتر شده است و ماشین بردار پشتیبان برای ساختمان‌های بتنی با بتن C35 در حوزه مطالعاتی این پژوهش عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهد.

در مدل‌های ساخته‌شده برای ساختمان‌های بتنی با بتن با رده مقاومتی C35 نیز ماشین بردار پشتیبان (رگرسیون با کرنل خطی) ضریب تعیین بالاتری به‌صورت میانگین به نسبت شبکه عصبی به‌دست داده است. در خطای MAPE این موضوع مشاهده می‌شود که اختلاف بین ماشین بردار پشتیبان



نزدیک به آنچه توسط ابزارهای تحلیل و طراحی سازه‌ها دست یافت، با زمان و هزینه‌ای کمتر. در «ت ۱۳» نحوه کار و «ت

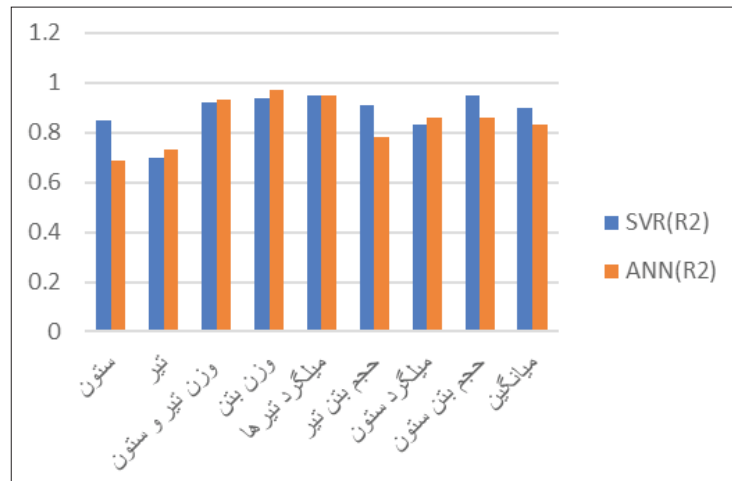
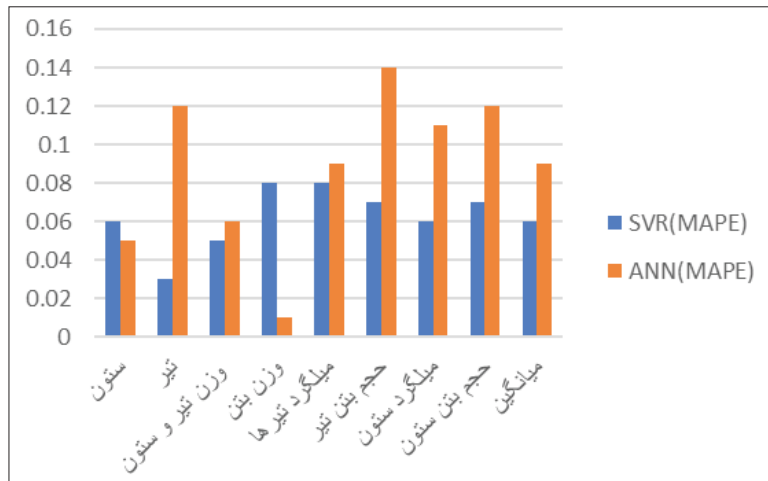
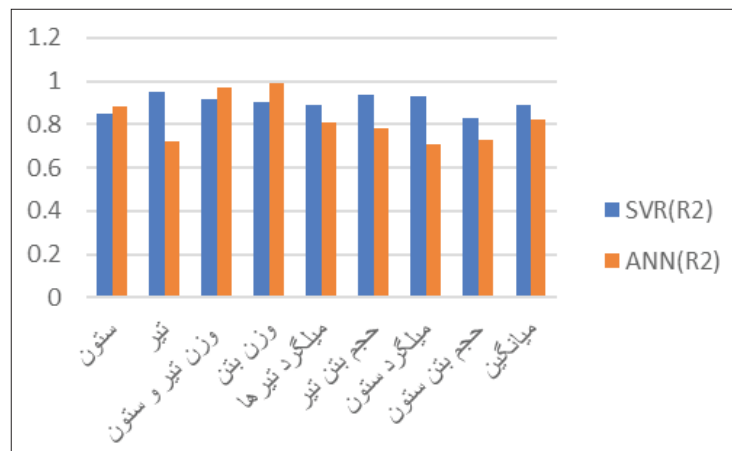
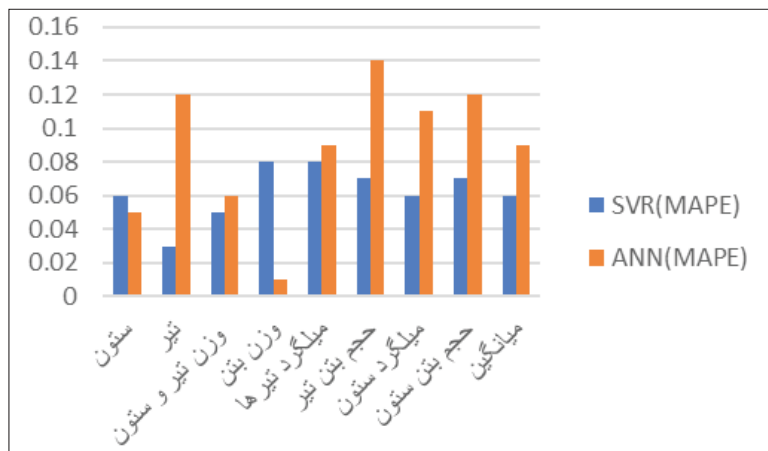
مهم است. همچنین مهم است که بتوانیم به سرعت ارزیابی کنیم که پیامدهای انتخاب یک دهانه، آرایش ستون‌گذاری، یا بارگذاری خاص ممکن است چه باشد. با هدف کمک کردن به جامعه مهندسی و بالاخص طراحان معماری در این پژوهش یک ابزار معرفی گردید. ابزاری که می‌توان به کمک آن و با وارد کردن ورودی‌هایی همچون ابعاد زمین، ابعاد دهانه‌ها، تعداد طبقات، و نوع مصالح مصرفی به یک تخمین اولیه و

ت ۱۱ (پایین، راست). مقایسه ضریب تعیین در سازه‌های بتنی با بتن با رده مقاومتی C35 با الگوریتم‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان.

ت ۱۲ (پایین، چپ). مقایسه خطای MAPE در سازه‌های بتنی با بتن با رده مقاومتی C35 با الگوریتم‌های شبکه عصبی و ماشین. پدیدآورنده ت ۹ تا ت ۱۱: م. رجاییان هونجانی.

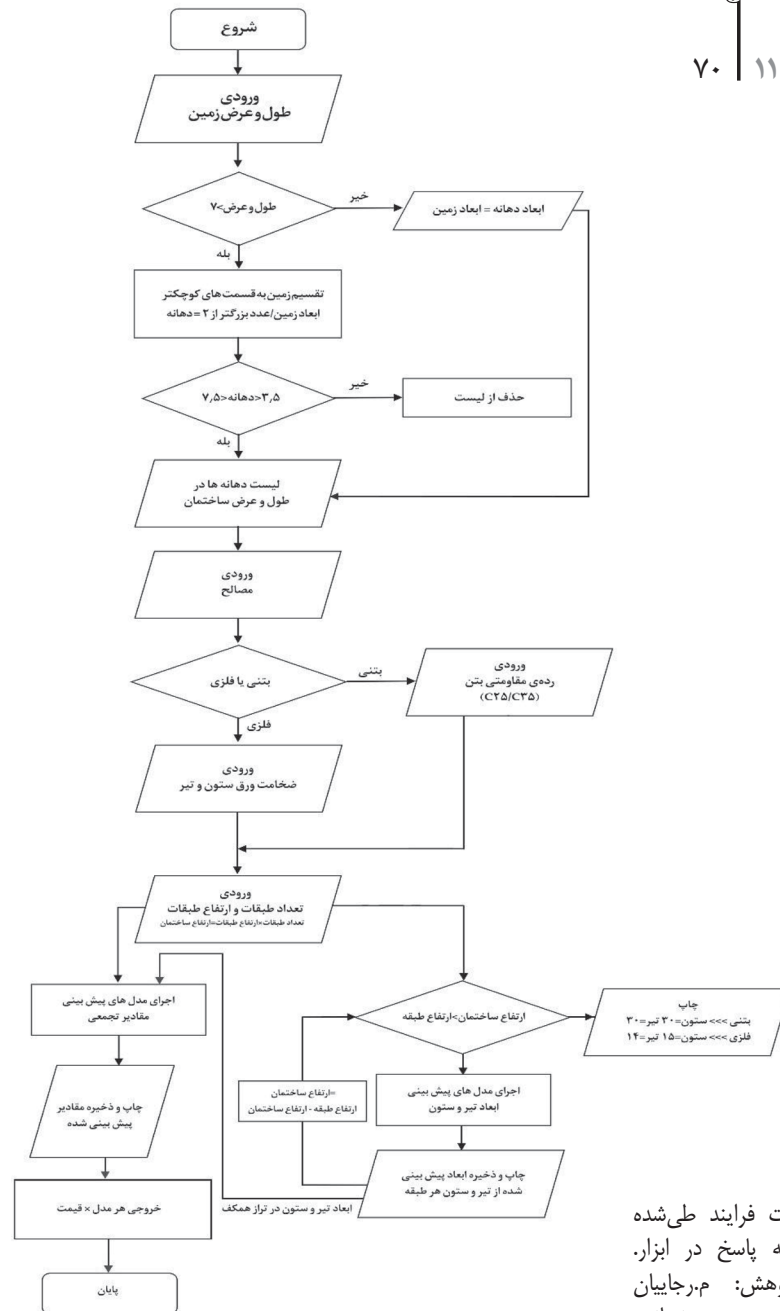
ت ۹ (بالا، راست). مقایسه ضریب تعیین در سازه‌های بتنی با بتن با رده مقاومتی C25 با الگوریتم‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان.

ت ۱۰ (بالا، چپ). مقایسه خطای MAPE در سازه‌های بتنی با بتن با رده مقاومتی C25 با الگوریتم‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان.



۱۴ و ۱۵» محیط کاربری اولیه ابزار شرح داده شده است. این فرایند در قدم اول با وارد کردن ابعاد زمین شروع می‌شود. در این مرحله زمین وارد شده به قسمت‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شود. همان‌گونه که در قسمت‌های قبل اشاره شد، ورودی مدل‌های شبکه عصبی ابعاد دهانه در طول و عرض ساختمان است. بنابراین ابعاد زمین وارد شده باید به شکل ورودی مورد انتظار مدل درآید. برای این مهم، اگر ابعاد وارد شده بیشتر از ۷ متر باشد، طول و عرض ساختمان به اعداد بیشتر از ۲ تقسیم می‌شوند (یعنی حداقل ۲ دهانه در عرض و طول داریم). این تقسیم تا زمانی ادامه می‌یابد که خارج قسمت تقسیم از عدد  $\frac{3}{5}$  بزرگ‌تر باشد (یعنی تقسیم زمین به دهانه‌های کوچک‌تر از  $\frac{3}{5}$  متر مجاز نیست). اگر ابعاد وارد شده ۷ متر باشد، با یک دهانه ادامه می‌یابد.

در گام بعد نوبت به وارد کردن نوع مصالح سازه می‌رسد، در صورت انتخاب سازه بتنی، کاربر باید بین دو رده بتن پرمصرف ساختمانی C25 یا C35 یکی را انتخاب کند و فرایند به مرحله بعدی برود. همچنین در صورت انتخاب سازه فلزی، کاربر با وارد کردن ورق‌های فلزی ضخیم مورد استفاده در تیرها و ستون‌ها وارد مرحله بعد می‌شود. در قسمت بعد نوبت به وارد کردن تعداد طبقات ساختمان و همچنین ارتفاع طبقات می‌رسد. در این مرحله مدل‌های یادگیری ماشین اجرا می‌شوند. محاسبه ابعاد ستون و تیر در هر طبقه نیازمند اجرای یک لوپ با مقادیر مختلف ارتفاع است؛ زیرا تنها متغیر در هر طبقه میزان بار طبقات بالایی است. لوپ اجرا شده از نوع for loop با میزان تکرار به مقدار تعداد طبقات و یک شرط است. اگر ارتفاع باقی‌مانده از ارتفاع طبقه کمتر شود، لوپ break می‌شود و پایان می‌یابد. به‌طور پیش‌فرض، مقادیری برای خرپشته در نظر گرفته شده است که پس از break پرینت و در هر مرحله از لوپ، ارتفاع ساختمان به میزان ارتفاع طبقات کم می‌شود.



ت ۱۳. فلوجارت فرایند طی شده برای رسیدن به پاسخ در ابزار. ترسیم و پژوهش: م. رجاییان هونجانی.

تارگت ضرب می‌شود و کاربر می‌تواند بین دهانه با ابعاد مختلف مقایسه‌ای سرانگشتی داشته باشد.

همان‌گونه که در بخش یادگیری اشاره شد، در این پژوهش از دو الگوریتم شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان استفاده

به این ترتیب خروجی هر رفت و برگشت ابعاد ستون و تیر برای هریک از مقادیر مجموعه ابعاد است. خروجی اولین تیر و ستون (تراز همکف) به منزله دو ورودی دیگر به مدل‌های تجمعی اضافه می‌شود. خروجی مدل‌های تجمعی در قیمت واحد هر

|           | Beam Height dim. | Column dim. |
|-----------|------------------|-------------|
| Base      | 30cm             | 30cm        |
| 1st floor | 30cm             | 25cm        |
| 2nd floor | 25cm             | 20cm        |

54. Scikit-learn
55. ReLu
56. softmax
57. Adam
58. Support Vector Machines
59. M. Kubat, *An Introduction to Machine Learning* (Springer, 2017).
60. SVR: Support Vector Regression
61. sklearn.svm
62. cross\_val\_score
63. sklearn.model\_selection
64. Mean Absolute Percentage Error
65. N.C. Brown, et al., "Implementing Data-Driven Parametric Building Design with a Flexible Toolbox", *Automation in Construction*, 118 (October 2020):103252.

ت ۱۴ (بالا). پلتفورم تخمین ابعاد اجزای سازه‌ای.  
ت ۱۵ (پایین). پلتفورم تخمین ابعاد اجزای سازه‌ای.

های فولادی و هم در ساختمان های بتنی به صورت تصادفی انتخاب گشته و در نرم افزار تحلیل و طراحی سازه (ایتبس) به روش معمول بررسی می شود و سپس خروجی های به دست آمده را با خروجی های الگوریتم های هوش مصنوعی در شاخص های اصلی مؤثر در هزینه طراحی و اجرا مقایسه می گردد. نتایج تطبیق خروجی های مدل هوش مصنوعی با خروجی های نرم افزار به شرح زیر است:

- در سازه های فولادی و بتنی در ابعاد ستون ۹۰٪
- ابعاد تیر در سازه های فولادی ۹۲٪ و در سازه های بتنی ۹۵٪
- وزن سازه در سازه های فولادی و بتنی ۹۸٪
- در سازه های بتنی وزن بتن ۹۰٪
- در سازه های فولادی متراژ فولاد ۹۰٪
- در سازه های بتنی حجم بتن تیر ۹۴٪ و حجم بتن ستون ۹۰٪
- استفاده از مدل های هوش مصنوعی در بستر یک پل تفرم می تواند در زمانی بسیار کمتر (کمتر از ۵ دقیقه) به نسبت روش سنتی (حداقل ۶۰ دقیقه) و با صرف هزینه کمتر منجر به یک انتخاب بهینه در مرحله اولیه طراحی شود.
- روش شناسی استفاده شده در این تحقیق برای اضافه شدن متغیرهایی از جمله مصالح مختلفی که در صنعت ساختمان کاربرد دارند، بررسی فرم های پیچیده معماری و سازه هایی که در چپنش اعضای سازه ای شان بی نظمی دارند، افزایش طبقات مورد بررسی و همچنین بررسی سقف های با ساختارهای مختلف قابلیت بسط و گسترش دارند.

شده است که در نهایت الگوریتم شبکه عصبی در سازه های فولادی و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در سازه های بتنی عملکرد بهتری را از خود بروز می دهند. خلاصه ای از نتایج به دست آمده به شرح ذیل است (شاخص های سنجش دقت):

- برای ساختمان های فلزی میانگین ضریب تعیین بین داده های واقعی و پیش بینی شده در مدل شبکه عصبی ۰/۹۳ و برای ماشین بردار پشتیبان ۰/۹۲ است.
- برای ساختمان های بتنی میانگین ضریب تعیین بین داده های واقعی و پیش بینی شده در مدل شبکه عصبی ۰/۹۲ و برای ماشین بردار پشتیبان ۰/۹۳ است.
- میزان خطای MAPE در سازه های فولادی برای شبکه عصبی به میزان ۰/۰۲ از ماشین بردار پشتیبان کمتر است که بیانگر عملکرد بهتر این الگوریتم است.
- میزان خطای MAPE در سازه های بتنی با بتن های C25 و C35 برای شبکه عصبی به میزان ۰/۰۳ از ماشین بردار پشتیبان بیشتر است که بیانگر عملکرد ضعیف شبکه عصبی به نسبت ماشین بردار پشتیبان است.
- در همه مدل ها تأثیر ویژگی ها بر روی هدف مستقیم است، به جز ضخامت ورق فولادی که تأثیر معکوس بر خروجی دارد.
- علاوه بر شاخص های سنجش دقت، که در بخش قبل به آنها اشاره شد، در فرایندی که با هدف بررسی صحت عملکرد ابزار و مدل های به دست آمده از الگوریتم های هوش مصنوعی و همچنین به منظور درک بهتر مخاطب از درجه دقت خروجی پژوهش صورت گرفته است، تعدادی سازه هم در ساختمان

## References

Ampanavos, Spyridon, Mehdi Nourbakhsh, and Chin-Yi Cheng. "Structural Design Recommendations in the Early Design Phase Using Machine Learning". *Communications in Computer and Information Science*, 2021, 1-14.

Anwar, Naveed and Fawad Ahmed Najam. "Structures and Structural Design". in *Structural Cross Sections*, 2017. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804443-8.00001-4>

Barg, Steve, Forest Flager, and Martin Fischer. "An Analytical



Method to Estimate the Total Installed Cost of Structural Steel Building Frames during Early Design". *Journal of Building Engineering*, 15 (2018): 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.10.010>.

Bradner, Erin, Francesco Iorio, and Mark Davis. "Parameters Tell the Design Story: Ideation and Abstraction in Design Optimization". *Simulation Series*, 46(7) (2014): 172-197.

Brown, Nathan C. and Caitlin T. Mueller. "Automated Performance-Based Design Space Simplification for Parametric Structural Design". *Proceedings of the IASS Annual Symposium*, 2017.

Brown, Nathan C., Violetta Jusiega, and Caitlin T. Mueller. "Implementing Data-Driven Parametric Building Design with a Flexible Toolbox". *Automation in Construction*, 118 (October 2020): 103252. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103252>.

Buscema, Paolo Massimo, Giulia Massini, Marco Breda, Weldon A. Lodwick, Francis Newman, and Masoud Asadi-Zeydabadi. "Artificial Neural Networks". In *Studies in Systems, Decision and Control*, 131 (2018): 11-35. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-75049-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75049-1_2)

Celani, Gabriela, and Carlos Eduardo Verzola Vaz. "CAD Scripting and Visual Programming Languages for Implementing Computational Design Concepts: A Comparison from a Pedagogical Point of View". *International Journal of Architectural Computing*, 10(1) (2012): 121-137. <https://doi.org/10.1260/1478-0771.10.1.121>

Chang, A.S.T., J. S. Shih, and Y.S. Choo. "Reasons and Costs for Design Change during Production". *Journal of Engineering Design*, 22(4) (2011): 275-289. <https://doi.org/10.1080/09544820903425218>.

Chang, Kai Hung, and Chin Yi Cheng. "Learning to Simulate and Design for Structural Engineering". in *37th International Conference on Machine Learning, ICML, 2020, Part F16814:1403-1413*.

Charleson, A.W. and S. Pirie. "An Investigation of Structural Engineer-Architect Collaboration". *SESOC Journal*, 22 (1) (2009): 97-104.

Ehrlenspiel, Klaus, Alfons Kiewert, Udo Lindemann. *Cost-Efficient Design*. Ed. Mahendra S. Hundal. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-34648-7>

Evers, R.F.M.H.G.A. "Cost Based Engineering and Production of Steel Constructions". in *Steel Design Codes-Fourth International Workshop on Connections in Steel Structures*, 2000.

Forouzandeh, Nima, Mohammad Tahsildoost, and ZahraSadat Zomorodian. "A Review of Web-Based Building Energy Analysis Applications". *Journal of Cleaner Production* 306 (2021): 127251. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127251>

Haapio, J. *Feature-Based Costing Method for Skeletal Steel Structures Based on the Process Approach*. Tampere University of Technology, 2012.

Haber, David and Saeed Karshenas. "An Expert System for Conceptual Design of Buildings". *Proceedings of the 4th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*, November 2017. <https://doi.org/10.22260/isarc1987/0051>

Hamidavi, Tofigh, Sepehr Abrishami, and M.Reza Hosseini. "Towards Intelligent Structural Design of Buildings: A BIM-Based Solution". *Journal of Building Engineering*, 32 (November 2020): 101685. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101685>

Haque, Mohammed E. "An Artificial Neural Network Model for Preliminary Design of Reinforced Concrete Beam-Column". In *ASEE Annual Conference Proceedings*, 2002, 1705-1712.

Jalal, Mostafa, Ali A. Ramezaniapour, Ali R. Pouladkhan, and Payman Tedro. "Application of Genetic Programming (GP) and ANFIS for Strength Enhancement Modeling of CFRP-Retrofitted Concrete Cylinders". *Neural Computing and Applications*, 23(2) (2013): 455-470. <https://doi.org/10.1007/s00521-012-0941-2>

Jung, Youngsoo, and Mihee Joo. "Building Information Modelling (BIM) Framework for Practical Implementation". *Automation in Construction*, 20(2) (2011): 126-133. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.010>

Kanyilmaz, Alper, Patricia Raquel Navarro Tichell, and Daniele Loiacono. "A Genetic Algorithm Tool for Conceptual Structural Design with Cost and Embodied Carbon Optimization". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 112 (September 2022): 104711. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104711>

Kubat, Miroslav. *An Introduction to Machine Learning*. Springer, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-63913-0>

Málaga-Chuquitaype, Christian. "Machine Learning in Structural Design: An Opinionated Review". *Frontiers in Built Environment*, 8 (February 2022): 1-12. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.815717>

Mote, H. and S.R. Satish Kumar. "Use of Artificial Neural Network for Initial Design of Steel Structures". in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 660 (1) (2019). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/660/1/012064>.

Of Inistry, Tudy of, Cheme In, Esign of, and Flood Protection. "S Ultanate of O Man M Inistry of R Egional P Art B: P Reliminary D Esign of Flood Protection Dams a Ppendix : P Reliminary D Esign D Rawings". July 2009, 184-192.

Pan, Yue and Limao Zhang. "Roles of Artificial Intelligence in Construction Engineering and Management: A Critical Review and Future Trends". *Automation in Construction*, 122 (December 2020): 103517. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103517>

Ruddy, John L. and Socrates A. Ioannides. "Rules of Thumb for Steel Design". *Proceedings of the 2004 Structures Congress - Building on the Past: Securing the Future*, February 2004, 1683-1689.

Salehi, Hadi and Rigoberto Burgueño. "Emerging Artificial Intelligence Methods in Structural Engineering". *Engineering Structures*, 171 (May 2018): 170-189. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.05.084>.

Tong, Fei and Xila Liu. "Samples Selection for Artificial Neural Network Training in Preliminary Structural Design". *Tsinghua Science and Technology*, 10(2) (2005): 233-239. [https://doi.org/10.1016/S1007-0214\(05\)70060-2](https://doi.org/10.1016/S1007-0214(05)70060-2)

org/10.1016/S1007-0214(05)70060-2

Tseranidis, Stavros, Nathan C. Brown, and Caitlin T. Mueller. "Data-Driven Approximation Algorithms for Rapid Performance Evaluation and Optimization of Civil Structures". *Automation in Construction*, 72 (2016):279-293. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.02.002>

# Evaluating the Time-Cost Trade-off as A Decision-Making Criterion in Implementing Industrialised Construction Systems in Building Projects

**Mehdi Nematollah-Zadeh**

PhD Candidate, Project & Construction Management, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Art, Tehran, Iran

**Behnod Barmayehvar, PhD.** 

Associate Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Art, Tehran, Iran

**Mohammad Hossein Mahmoudi Sari, PhD.**

Associate Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Art, Tehran, Iran

Received: November 16, 2023

Accepted: February 23, 2024

(Pages: 75-92)

**Mehdi Nematollah-Zadeh, Behnod Barmayehvar, Mohammad Hossein Mahmoudi Sari, 2025.** Evaluating the Time-Cost Trade-off as A Decision-Making Criterion in Implementing Industrialised Construction Systems in Building Projects. *Soffeh* 35 (3): 75-92

**DOI:** [10.48308/SOFFEH.2025.233795.1299](https://doi.org/10.48308/SOFFEH.2025.233795.1299)

## Keywords:

Construction systems, Industrialisation, Productivity, Time-cost trade-off, Construction project management.

## Abstract:

**Background and objectives:** The construction industry has long struggled with maintaining high productivity levels compared to other sectors, hindered by inherent complexity, supply chain fragmentation, and reliance on traditional practices. Industrialisation, through systematic implementation of principles like prefabrication and automation, is proposed to address



SOFFEH

*Soffeh Journal*, Shahid Beheshti University, Vol. 35, Issue 3, No. 110, 2025



ISSN: 1683-870X

\*. Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

\*. Corresponding Author Email Address: [b.barmayehvar@art.ac.ir](mailto:b.barmayehvar@art.ac.ir)

<http://dx.doi.org/10.48308/SOFFEH.2025.233795.1299>

this. However, significant obstacles, particularly implementation costs, have impeded the widespread adoption of industrial construction systems. Various terms such as off-site construction, prefabrication, and dimensional classifications are used, often inconsistently, to describe aspects of these systems. This study investigates the time-cost implications associated with construction systems exhibiting varying levels of industrialisation. The core objective here is to develop a robust decision-making criterion to support the selection and application of these systems in specific construction project contexts.

**Materials and Methods:** The study first establishes a framework by carefully extracting and distinguishing the definitions of key industrial construction concepts (off-site construction, prefabrication, formwork/repetition, and construction dimensions) from the literature, treating them as characteristics rather than distinct systems. Subsequently, differences between industrial and conventional construction systems were explored to define a list of variables affecting the time-cost trade-off of construction projects that are influenced by the construction system employed. The impact mechanism of these variables on the time-cost trade-off, with respect to the defined industrialisation characteristics, is then analysed using a causal network to identify the fundamental variables of the problem.

**Results and conclusion:** The findings indicate that improving productivity stands out as the most significant advantage of industrial construction systems in affecting the time-cost trade-off of construction projects. Based on this central result and the relationship between direct/indirect project costs and project completion time, an approach is developed to compare industrial and conventional construction systems from the perspective of their time-cost trade-off, serving as a decision-making criterion. While industrial systems demonstrate strong potential for increased productivity and reduced project duration, the analysis suggests that cost remains a substantial challenge to their development. It appears that the maturity of the construction supply chain is a fundamental factor influencing this challenge and the overall adoption of construction industrialisation.

# ارزیابی مبادلهٔ زمان - هزینه به مثابه معیار تصمیم‌گیری به کارگیری سیستم‌های احداث صنعتی در پروژه‌های ساختمانی<sup>۱</sup>

محمدحسین محمودی ساری<sup>۴</sup>

دانشیار دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر ایران،  
تهران، ایران

مهدی نعمت‌الله‌زاده<sup>۲</sup>



بهنود برمایه‌ور<sup>۳</sup>

دانشیار دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران

دریافت: ۲۵ آبان ۱۴۰۲

پذیرش: ۴ اسفند ۱۴۰۲

(صفحه ۷۵ - ۹۲)

مهدی نعمت‌الله‌زاده، بهنود برمایه‌ور، محمدحسین محمودی ساری. ۱۴۰۴. ارزیابی مبادلهٔ زمان - هزینه به مثابه معیار تصمیم‌گیری به کارگیری سیستم‌های احداث صنعتی در پروژه‌های ساختمانی. فصلنامه علمی معماری و شهرسازی ص ۳۵ (۳): ۷۵-۹۲. کلیدواژگان: سیستم‌های ساخت‌وساز، صنعتی‌سازی، بهره‌وری، توازن زمان - هزینه، مدیریت پروژه ساخت.

## چکیده

**اهداف و پیشینه:** صنعت ساخت‌وساز دهه‌هاست با چالش‌هایی در حفظ سطوح بالای بهره‌وری، که عاملی حیاتی در رشد اقتصادی است و بر عملکرد و رقابت‌پذیری این حوزه در مقایسه با سایر صنایع تأثیر می‌گذارد، روبه‌روست و با ویژگی‌هایی مانند پیچیدگی، فقدان یکپارچگی زنجیره تأمین، و وابستگی به روش‌های متداول مشخص می‌شود. پیاده‌سازی سیستماتیک اصول تولید، مانند پیش‌ساختگی، استانداردسازی، و اتوماسیون، راه حل پیشنهادی است برای مشکل صنعتی‌سازی ساخت‌وساز. با این حال، موانعی مانند هزینه‌های پیاده‌سازی در مسیر استفاده از سیستم‌های ساخت‌وساز صنعتی، توسعه این راه حل را کند کرده است. سیستم‌های ساخت‌وساز صنعتی اغلب با مفاهیم و اصطلاحاتی مانند احداث برون کارگاهی، احداث پیش‌ساخته، و احداث پودمان یک‌بعدی، دوبعدی، و سه‌بعدی شناخته می‌شوند که به‌طور متناقض استفاده می‌شوند و نیاز به چارچوبی شفاف‌تر بر اساس این مشخصه‌ها و تأثیر آنها بر عملکرد پروژه احساس می‌شود. این مطالعه به بررسی پیامدهای زمان - هزینه مرتبط با سیستم‌های ساخت‌وساز، که نمایانگر سطوح متفاوتی از صنعتی‌سازی هستند، اختصاص دارد. در پژوهش حاضر هدف اصلی، توسعه یک معیار

تصمیم‌گیری قوی برای پشتیبانی از انتخاب و به کارگیری این سیستم‌ها در بستر پروژه‌های ساختمانی است.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه ابتدا با استخراج تعاریف مفاهیم کلیدی ساخت‌وساز صنعتی (احداث برون کارگاهی، احداث پیش‌ساخته، و احداث پودمان یک‌بعدی، دوبعدی، و سه‌بعدی) و ایجاد تمایز دقیق این مفاهیم از ادبیات، چارچوبی مبتنی بر این مشخصه‌ها و نه سیستم‌های مجزا، ایجاد می‌شود. در مرحله بعد، با بررسی تفاوت‌های بین سیستم‌های ساخت‌وساز صنعتی و متداول در ادبیات، فهرستی از متغیرهای مؤثر بر مبادلهٔ زمان - هزینهٔ پروژه‌های ساختمانی که تحت تأثیر تغییر در سیستم ساخت‌وساز قرار می‌گیرند، تعریف می‌شود. سپس، با تحلیل مکانیسم تأثیر این متغیرها بر مبادلهٔ زمان - هزینهٔ پروژه، با توجه به مشخصه‌های صنعتی‌سازی یادشده، در یک شبکه علیت، متغیرهای بنیادی مسئله شناسایی می‌شوند.

**نتایج و جمع‌بندی:** نتایج نشان می‌دهند که بهبود بهره‌وری مهم‌ترین مزیت سیستم‌های ساخت‌وساز صنعتی در تأثیر بر مبادلهٔ زمان - هزینهٔ پروژه‌های ساختمانی برجسته است. بر اساس این نتیجه‌محوری و رابطه بین هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم پروژه با زمان تکمیل پروژه، رویکردی برای مقایسه

۱. این مقاله برخاسته از پروژه پژوهشی کلاسی نویسنده نخست است در درس فناوری‌های نوین ساختمانی (دورهٔ دکتر رشته مدیریت پروژه و ساخت) در دانشکدهٔ معماری و شهرسازی دانشگاه هنر ایران که به راهنمایی نویسندگان دوم و سوم در نیم‌سال دوم تحصیلی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجام شده است.

۲. دانشجوی دکتر تخصصی مدیریت پروژه و ساخت، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران

m\_nematollah@outlook.com

۳. نویسنده مسئول

b.barmayehvar@art.ac.ir

4. mahmoudi@art.ac.ir



۱۱۰ شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴، Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

فصلنامه علمی معماری و شهرسازی؛ سال سی‌ونهم، پاییز ۱۴۰۴، شماره ۳، پاییز ۱۱۰  
\* Corresponding Author Email Address: b.barmayehvar@art.ac.ir  
<http://dx.doi.org/10.48308/SOFFEH.2025.233795.1299>

## پرسش‌های تحقیق

پرسش اصلی:

– با چه رویکردی می‌توان سیستم‌های احداث پروژه‌های ساختمانی را از منظر صنعتی‌سازی، بر مبنای مبادلهٔ زمان – هزینه، برای دستیابی به یک معیار تصمیم‌گیری بررسی کرد؟

پرسش‌های فرعی:

۱. سیستم‌های احداث مختلف بر اساس کدام مشخصه‌ها و معیارهای صنعتی‌سازی طبقه‌بندی می‌شوند؟

۲. مشخصه‌های صنعتی‌سازی سیستم‌های احداث مختلف چگونه بر مدت‌زمان و هزینهٔ تکمیل پروژه‌های ساختمانی اثر می‌گذارند؟

۳. نحوهٔ رابطهٔ زمان – هزینه و عناصر اصلی آن در پروژه‌های ساختمانی کدامند؟

۴. سازوکار تمایز مبادلهٔ زمان – هزینهٔ سیستم‌های احداث متداول و صنعتی بر مبنای عناصر اصلی مشخص شده چگونه است؟

5. A. Tavares, et al., "Construction Systems", in *Structural Rehabilitation of Old Buildings*, Springer Berlin Heidelberg, 2013, 1-35.
6. T. Schmid, et al., *Systems Building: An International Survey of Methods* (London: Pall Mall Press, 1969).
7. A. Warzawski, "System Building - Education and Research", *Proceedings of 7 CIB Congress*, 1977, 113-125.
8. G. Sebestyén, "System in Construction", *Proceedings of 8Q Congress of CIB, Building Research World Wide*, CIB/ Norwegian Building Research Institute, 1980, 773-776.
9. Ibid.

سیستم‌های ساخت‌وساز صنعتی و متداول از منظر مبادلهٔ زمان – هزینه، به‌منزلهٔ یک معیار تصمیم‌گیری، تعریف می‌شود. درحالی‌که سیستم‌های صنعتی پتانسیل بالایی برای افزایش بهره‌وری و کاهش مدت زمان پروژه دارند، از تحلیل سیستم‌های یادشده چنین برمی‌آید که هزینه به‌منزلهٔ یک چالش قابل‌توجه در توسعهٔ آنها باقی خواهد ماند. به‌نظر می‌رسد که بلوغ زنجیرهٔ تأمین ساخت‌وساز یک عامل بنیادی مؤثر بر این چالش و پذیرش کلی صنعتی‌سازی ساخت‌وساز است. مقیاس پروژه نیز عامل مهمی در ارزیابی امکان‌سنجی اقتصادی در استفاده از سیستم‌های ساخت‌وساز صنعتی قلمداد می‌شود.

## مقدمه

تکامل سیستم‌های احداث نتیجهٔ قرن‌ها انطباق آنها با اقلیم، موقعیت جغرافیایی، و شرایط خاک و همچنین تحت تأثیر پیشینهٔ فرهنگی، ملاحظات اقتصادی، سلیقه، و مد است. با این حال، صنعتی‌سازی فزایندهٔ روش‌های ساخت‌وساز و نیاز روزافزون جامعه به کنترل‌های کیفی، اطمینان در عملکرد ساخت‌وساز، و قوانین ساختمانی موجب افزایش کنترل بر ویژگی‌های مصالح و اجزای مورد استفاده و عملکرد ساختاری و محیطی ساختمان شده است.<sup>۵</sup>

مفهوم سیستم احداث به‌تدریج با تعریف فرایند صنعتی پیوند نزدیک‌تری یافته است. ابتدا شمید و همکارانش سیستم احداث را ترکیبی از ساختارهایی شامل سازماندهی، فناوری، و فرایند طراحی معرفی کردند.<sup>۶</sup> بعد ورشوزکی آن را به‌صورت ترکیبی از فناوری‌های تولید، طراحی قطعات، و سازماندهی ساخت‌وساز تعریف کرد.<sup>۷</sup> سپس سیبستین کاربرد مفهوم سیستم احداث را تنها در مورد فرایندهای صنعتی پیشرفته ساخت‌وساز ممکن دانست و سیستم‌های احداث را در سه وجه (۱) فرایند طراحی و روش‌های مدیریت و کنترل ساخت؛ (۲) زیرسیستم‌های فنی مانند سازه، سقف، دیوارها، و غیره؛ (۳) مجموعهٔ کاملی از فعالیت‌های مربوط به تولید، ساخت، و نگهداری همهٔ اجزای خاص، طبقه‌بندی کرد.<sup>۸</sup> این تعریف بیانگر این فرض اساسی است که ساخت‌وساز تنها در صورتی می‌تواند یک سیستم در نظر گرفته شوند که عملکرد پیش‌بینی‌شدهٔ هریک از مواد و اجزای آن، از یک فرایند مستمر ارزیابی و کنترل، حین برنامه‌ریزی تا طراحی و مراحل ساخت و درنهایت بهره‌برداری، پیروی کند.<sup>۹</sup>

احداث صنعتی‌شده شکل جدیدی از تولید و مدیریت است که با پذیرش نوآوری‌های ساخت‌وساز، مهندسی صنایع، و مدیریت منفرد (اما مرتبط) هدایت



ت ۱ (راست).

الف) مبادلهٔ زمان - هزینه - بهره‌وری،  
مأخذ:

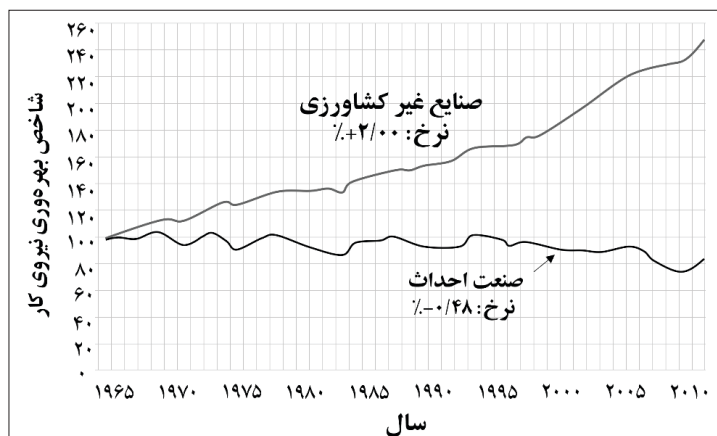
L.F. Copertari, *Time, Cost and Performance Tradeoffs in Project Management* (McMaster University, 2002).

ب) مثلث محدودیت‌های پروژه،  
مأخذ:

H. Kerzner, *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. Hoboken (New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2017).

ت ۲ (چپ). شاخص بهره‌وری نیروی انسانی در صنعت احداث و صنایع غیرکشاورزی ایالات متحده،  
مأخذ:

Teicholz, "Labor-Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies - AECbytes Viewpoint". Apr. 2004, 14.



اثر بخشی و کارایی نیز دانست. اثر بخشی مستقیماً به نتیجهٔ نهایی و کاربرد آن به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر مربوط می‌شود. از سوی دیگر، کارایی نتیجهٔ اندازه‌گیری عملکرد کار بر حسب هزینه یا زمان، بر اساس یک روش معین است. بنابراین حاصل ضرب پیش‌گفته منجر به شاخص بهره‌وری می‌شود.<sup>۱۴</sup> در «ت ۱» مبادلهٔ زمان، هزینه، و بهره‌وری (عملکرد) در یک پروژه مشاهده می‌شود.

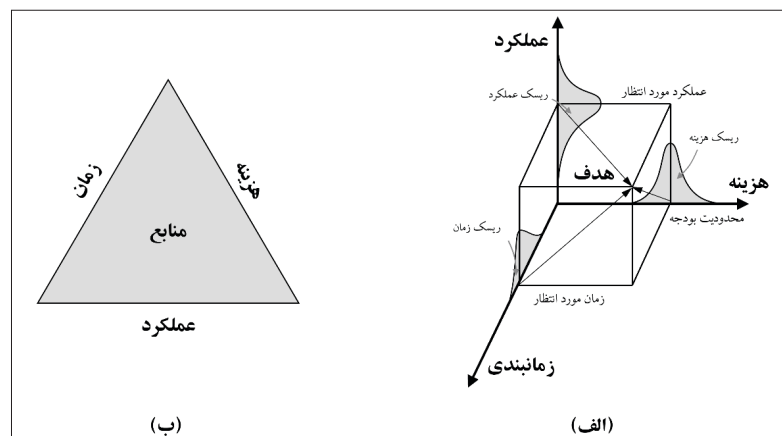
مانند بسیاری از صنایع دیگر، صنعت احداث نیز برای ارتقای بهره‌وری، کاهش هزینه، و به حداقل رساندن ضایعات در عملیات، تحت فشار دائمی است. در حالی که بهره‌وری در صنعت تولید در قرن گذشته ۴۰۰٪ ارتقا یافته است، بهره‌وری صنعت ساخت‌وساز در بهترین حالت ثابت باقی مانده است<sup>۱۵</sup> (ت ۲).

بهبود عملکرد پروژه مستلزم سرمایه‌گذاری بیشتر منابع است که باعث افزایش هزینه و افزایش زمان در صورت محدود بودن این منابع می‌شود. اما اگر منابع بیشتری سرمایه‌گذاری شود و تکمیل پروژه بیشتر طول بکشد یا هزینه بیشتری داشته باشد، نرخ بازده داخلی (IRR)<sup>۱۶</sup> پروژه، که سودآوری آن را می‌سنجد، کاهش می‌یابد. در نتیجه، باید یک مبادلهٔ

می‌شود که هدف از آن بهبود بهره‌وری و توسعهٔ پایدار در صنعت ساخت‌وساز است.<sup>۱۷</sup> لیو و همکاران استدلال کرده‌اند که بزرگ‌ترین تفاوت بین احداث پیش‌ساخته و احداث درون‌کارگاهی متداول این است که فرایند و دامنهٔ مدیریت ساخت به سمت تولید گسترش می‌یابد.<sup>۱۸</sup>

در نهایت می‌توان در تعریف صنعتی‌سازی احداث به اهداف و مقاصد هنگام اجرای فرایند آن اشاره داشت. تحول مؤثر صنعتی‌سازی احداث دارای پتانسیل کمک به صنعت است تا با حفظ ویژگی‌های سبز، سازگار با محیط زیست، صرفه‌جویی در انرژی، و عرضهٔ سطح لازم از رضایت مشتری، با چالش بهره‌وری مواجه گردد.<sup>۱۹</sup>

بهره‌وری در اقتصاد به منزلهٔ نسبتی بین حجم خروجی و حجم ورودی‌ها تعریف می‌شود. به بیان دیگر، میزان کارآمدی نهاده‌های تولید، مانند نیروی کار و سرمایه، را در یک اقتصاد برای تولید سطح معینی از خروجی می‌سنجد.<sup>۲۰</sup> به همین ترتیب، بهره‌وری در کار پروژه با مشاهدهٔ رابطهٔ بین نتایج نهایی و هزینه یا زمان تعیین می‌شود. این نسبت اگر به‌طور مداوم در فواصل زمانی منظم اندازه‌گیری شود، سندی از سابقهٔ روند بهره‌وری را نشان خواهد داد. بهره‌وری را می‌توان حاصل ضرب



10. S. Costa, et al., "A Systematic Literature Review and Conceptual Framework of Construction Industrialization", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 149, no. 2 (February 2023).

جدول ۱ (چپ، بالا)، واژه‌شناسی سیستم‌های احداث، مأخذ:

Pan, A *Decision Support Tool for Optimising the Use of Offsite Technologies in Housebuilding* (Repository: lboro.ac.uk, 1 Jan. 2006).

جدول ۲ (پایین)، تمایز احداث و تولید از سه جنبه محصول، فرایند و زنجیره تأمین، مأخذ:

Lee, et al., "Classification of Modular Building Construction Projects Based on Schedule-Driven Approach", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 145, no. 5 (May 2019): 04019031.

زمان - هزینه بهینه وجود داشته باشد که عملکرد بهینه پروژه را همان‌طور که با IRR سنجیده می‌شود، به‌همراه داشته باشد.<sup>۱۷</sup> یک فرایند تحلیل مبادله زمان - هزینه برای تعیین مجموعه بهینه گزینه‌های زمان - هزینه به‌منظور افزایش سود کلی پروژه ساخت‌وساز به کار می‌رود.

با توجه به این موضوع که هدف صنعتی‌سازی احداث، ارتقای بهره‌وری را کد یا رو به کاهش در صنعت ساخت است و سطح و نوع صنعتی‌سازی در سیستم‌های احداث مختلف متفاوت است، تا کنون رویکردی که بتواند با بررسی مبادله زمان - هزینه، معیار معینی را برای پشتیبانی تصمیم عرضه کند، تعریف نشده است.

## ۱. سیستم‌های احداث صنعتی

پن با گردآوری روش‌های مختلف طبقه‌بندی سیستم‌های احداث، واژه‌شناسی خود را مطابق با «جدول ۱» طرح کرد.<sup>۱۸</sup>

اما، همان‌طور که پیش‌تر طرح شد، اغلب سیستم‌های احداث صنعتی به سمت تولید تمایل یافته‌اند. بنابراین، بررسی تمایز تولید و احداث در جوانب مختلف می‌تواند به بینش بهتری نسبت به امر طبقه‌بندی سیستم‌های احداث از منظر صنعتی‌سازی بیانجامد. لی و همکاران با در نظر گرفتن سیستم احداث پودمانی در میانه طیف تولید تا احداث، به وجه تمایز آنها در سه جنبه محصول، فرایند، و زنجیره تأمین پرداخته‌اند<sup>۱۹</sup> (جدول ۲).

بر اساس پیشینه طبقه‌بندی سیستم‌های احداث، می‌توان به این نتیجه رسید که تمایز طبقه‌بندی‌های مختلف در هدف و مقصود آن طبقه‌بندی نهفته است. با توجه به این موضوع که مقصود در این پژوهش، بررسی سیستم‌های احداث در افق جامع و از منظر صنعتی‌سازی است، معیار طبقه‌بندی، مشخصه‌های صنعتی‌سازی است و وجود، سطح، و ترکیب این مشخصه‌ها با یکدیگر است که می‌تواند یک سیستم احداث را از منظر صنعتی‌سازی توصیف کند (ت ۳). در ادامه تعاریف این مشخصه‌ها تشریح شده است.

احداث برون‌کارگاهی<sup>۲۰</sup> به ساخت، برنامه‌ریزی، طراحی، مونتاژ عناصر ساختمان در مکانی غیر از محل نصب نهایی آنها (کارگاه) برای پشتیبانی از ساخت سریع و کارآمد یک سازه دائمی اشاره دارد.<sup>۲۱</sup> درحالی‌که احداث پیش‌ساخته<sup>۲۲</sup> به‌منزله فرایند تولید و پیش‌مونتاژ تعداد معینی از اجزای ساختمان، پودمان‌ها، و عناصر، قبل از ارسال و نصب آنها در کارگاه ساختمانی توصیف

| Terminology | Category Term                                                                                                    | واژه نوع                                                                                         |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OS          | Offsite Production (OSP)<br>Offsite manufacturing (OSM)<br>Offsite Fabrication (OSF)<br>Offsite Construction     | ساخت (تولید محصول) برون‌کارگاهی<br>ساخت (تولید صنعتی) برون‌کارگاهی<br>ساخت (مونتاژ) برون‌کارگاهی |
| PRE         | Pre-assembly<br>Prefabrication<br>Prefab                                                                         | پیش‌مونتاژ<br>پیش‌ساخت‌سازی<br>پیش‌ساخته                                                         |
| MM          | Modern Methods of Construction (MMC)<br>Modern Methods of House Construction<br>Modern Methods of House Building | روش‌های نوین احداث<br>روش‌های نوین احداث خانه<br>روش‌های نوین خانه‌سازی                          |
| Building    | System Building<br>Non-traditional Building<br>Industrialized Building                                           | ساخت سیستمی<br>ساخت نامتداول<br>ساخت صنعتی                                                       |

| جنبه         | تولید                                                                                            | احداث                                                                                            |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| محصول        | اجزا نقشی محوری در تعریف معماری محصول دارند.                                                     | در ساختمان‌ها اجزا و حفره‌های فضایی ترکیب می‌شوند که مهم‌ترین عملکردهای محصول از آنهاست.         |
| فرایند       | تأمین‌کنندگان پودمان‌های پیچیده‌ای را تحویل می‌دهند که به‌سادگی توسط سازنده اصلی مونتاژ می‌شوند. | بیشتر کارها اغلب با استفاده از فناوری‌های سنتی در محل انجام می‌شود.                              |
| زنجیره تأمین | زنجیره تأمین در طراحی و تولید پودمان‌ها در تعداد زیادی از محصولات مشارکت دارد.                   | زنجیره‌های تأمین موقت معمولاً انگیزه محدودی برای تولید همان پودمان برای تعداد زیادی پروژه دارند. |

11. Y. Liu, et al., "A Conceptual Development Framework for Prefabricated Construction Supply Chain Management: An Integrated Overview", *Sustainability*, vol. 12, no. 5 (March 2020): 1878.

12. Costa, et al., "A Systematic Literature Review and Conceptual Framework of Construction Industrialization".

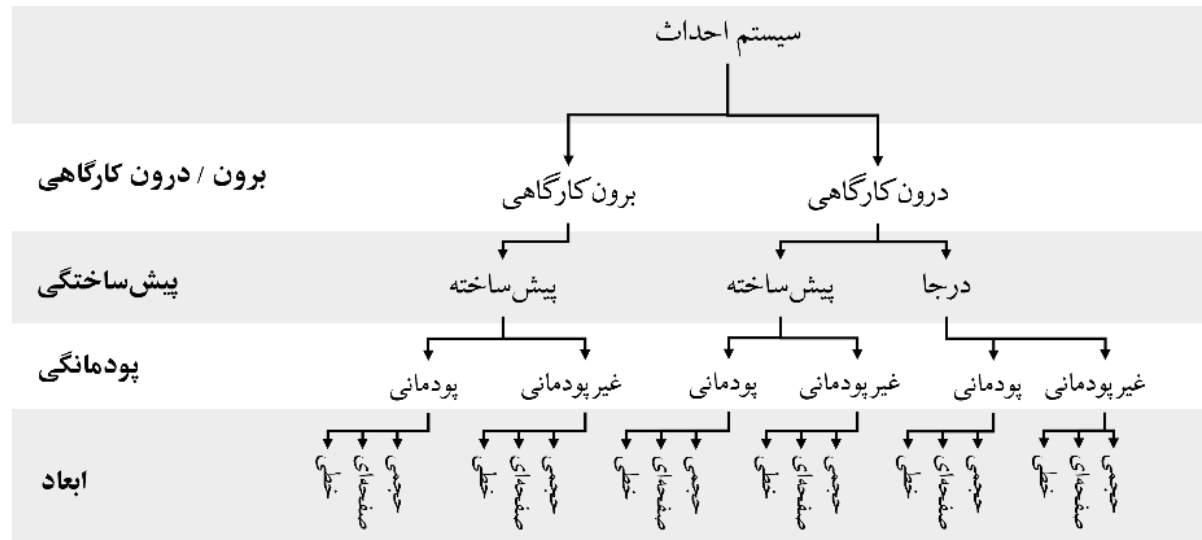
13. P. Krugman, *Defining and Measuring Productivity* (OECD, 1994).

14. P.C. Dinsmore, "Boosting Productivity on Projects: Building up from the Basics", *PM Network*, vol. 3, no. 7 (1989): 23-25.

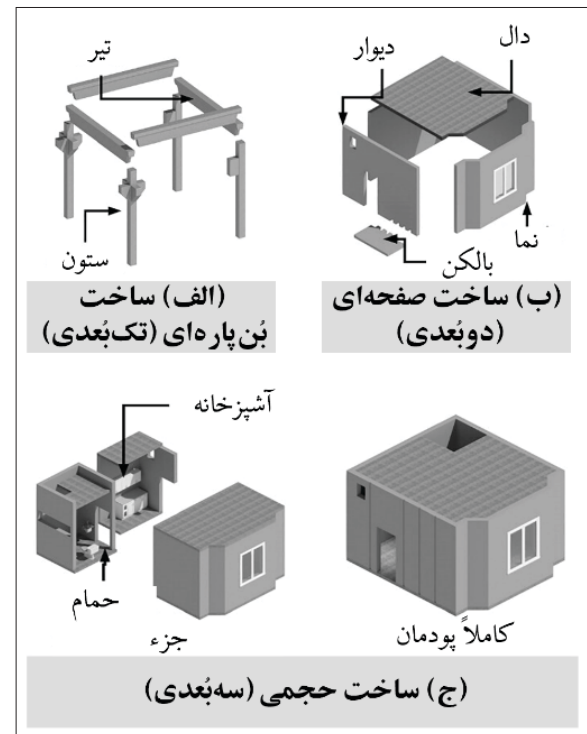
ت ۳ (بالا). چارچوب مشخصه‌های صنعتی‌سازی و مراتب شکل‌گیری سیستم‌های احداث با ترکیب این مشخصه‌ها، تدوین: نگارندگان.

ت ۴ (پایین). ابعاد سیستم‌های احداث، مأخذ:

Lim, et al., "A Preliminary Design Tool for Volumetric Buildings", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 31, no. 13 (May 2022).



شده است.<sup>۲۳</sup> در مورد احداث پودمانی<sup>۲۴</sup>، پودمان در یک سیستم، واحد عملکردی اساسی و مستقل نسبت به محصولی است که بخشی از آن است. این پودمان، نسبت به تعریف سیستم، دارای واسطها و تعاملات استاندارد شده‌ای است که ترکیب محصولات را با اجماع امکان‌پذیر می‌کند.<sup>۲۵</sup> یک پودمان در صنعت احداث از نظر فیزیکی به مثابه یک واحد احداث و بخشی از یک مجموعه گسترده‌تر شامل همه اجزاست که می‌توانند از طریق رابط‌های از پیش برنامه‌ریزی شده یکپارچه شوند. اجزا ممکن است در سطوح سلسله‌مراتبی مختلف در معماری کلی محصول در نظر گرفته شوند، ممکن است در داخل یا خارج از کارگاه تولید شوند، و می‌توانند حجمی، صفحه‌ای، یا خطی باشند.<sup>۲۶</sup> مشخصه دیگر سیستم‌های احداث، ابعاد احداث است (ت ۴). یک ساختمان بن‌پاره‌ای، از اعضای پیش‌ساخته خطی یک‌بعدی مانند تیرها و ستون‌ها شکل می‌گیرد، درحالی‌که یک ساختمان مسطح از دیافراگم‌های دوبعدی مانند دیوارها و دال‌ها ساخته می‌شود. در پژوهش‌های مختلف، برتری پذیرش حجمی (یا ساخت‌وساز پودمانی) از نظر سرعت ساخت‌وساز،



15. S.C. Vereen, et al., Development and Comparative Analysis of Construction Industry Labor Productivity Metrics", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 142, no. 7 (July 2016): 04016020.

16. Internal Rate of Return

17. Dinsmore, "Boosting Productivity on Projects: Building up from the Basics", 23-25.

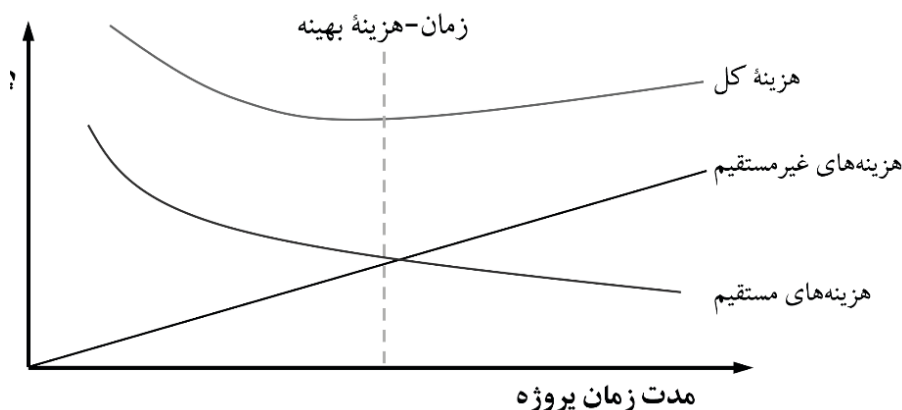
ت ۵. نمودار زمان - هزینه پروژه بر اساس تفکیک هزینه‌های پروژه به هزینه‌های مستقیم و هزینه‌های غیرمستقیم، تدوین: نگارندگان.

مقرون به صرفه بودن، و پایداری اثبات شده است.<sup>۲۷</sup> همان‌طور که در این تحقیق طرح شد، یک سیستم احداث می‌تواند با ترکیبی از مشخصه‌های فوق توصیف شود. در ضمن در ترکیب مشخصه‌های سیستم‌های احداث محدودیت‌هایی وجود دارد.

## ۲. مبادله زمان - هزینه در پروژه‌های ساختمانی

به‌طور کلی دو رویکرد را می‌توان برای تعیین ارتباط عوامل زمان و هزینه به کار برد. رویکردی که در سطح کل پروژه این ارتباط را با تفکیک عوامل هزینه پروژه به هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم نشان می‌دهد. در «ت ۵» نحوه ارتباط هزینه و زمان بر اساس این دو نوع هزینه مشاهده می‌شود.

هزینه‌های مستقیم به‌طور مستقیم به یک موضوع نسبت داده می‌شود. در ساخت‌وساز، هزینه‌های مواد، نیروی کار، تجهیزات، و غیره، و همه تلاش‌ها یا مصارفی که به‌طور مستقیم درگیر با موضوع مورد هزینه باشند، هزینه‌های مستقیم هستند. کرزنر در بخش تحلیل مبادلات در محیط پروژه، بیان می‌کند که شیب نمودار مبادله زمان - هزینه پروژه وابسته به عملکردی است که در تحلیل ثابت فرض می‌شود.<sup>۲۸</sup> پس



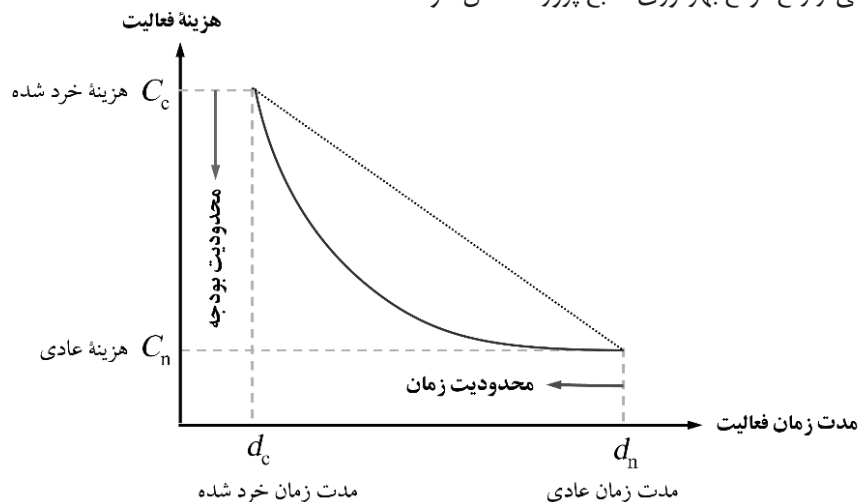
افزایش بهره‌وری پروژه به‌واسطه عواملی غیر از زمان و هزینه تکمیل پروژه، موجب کاهش شیب نمودار هزینه‌های مستقیم در مبادله زمان - هزینه می‌شود.

هزینه‌های غیرمستقیم، اما نه لزوماً، مستقیماً به یک موضوع هزینه نسبت داده نمی‌شوند. انجام کار مورد نظر باید از نظر مالی با هزینه مستقیم غیرممکن باشد. هزینه‌های غیرمستقیم معمولاً بر اساس برخی از موارد به یک موضوع هزینه اختصاص می‌یابند. در ساخت‌وساز، کل هزینه‌ای که برای تکمیل ساخت مورد نیاز است، ولی مستقیماً قابل‌انساب به موضوع هزینه نیست، غیرمستقیم است، مانند بالاسری.

رویکرد دوم را که به‌منظور تعیین ارتباط عوامل هزینه و زمان می‌توان به کار برد، در سطح فعالیت‌های پروژه است. سه روش برای فشرده‌سازی زمان یا تسریع زمان‌بندی پروژه وجود دارد که عبارتند از خرد کردن، هم‌پوشانی یا زمان‌کاهی، و جایگزینی. خرد کردن فعالیت‌ها با تخصیص منابع بیشتر به فعالیت مدت زمان فعالیت را کاهش می‌دهد. اما به‌علت محدودیت‌های دسترسی منابع و هماهنگی آنها، محدودیت‌های فیزیکی کارگاه و تجهیزات، کاهش کارایی و ریسک‌های دوباره‌کاری، و کاهش کیفیت هزینه بیشتری را به پروژه تحمیل خواهند کرد (ت ۶). روش زمان‌کاهی نیز با هم‌پوشانی اجرای فعالیت‌ها، مدت‌زمان کلی پروژه را کاهش می‌دهد که البته همراه با ریسک دوباره‌کاری یا تغییر است که ممکن است منجر به افزایش هزینه شود. همچنین امکان فشرده‌سازی مدت‌زمان پروژه با استفاده از این روش، فراتر از یک‌چهارم مدت‌زمان اولیه پروژه امکان‌پذیر نیست.<sup>۲۹</sup> سیستم‌های احداث مختلف با تغییر نحوه اجرای فعالیت‌ها و دستیابی به اجزای تحویل‌شدنی به‌وسیله روش‌های متفاوت، امکان به‌کارگیری روش جایگزینی را به‌منظور کاهش مدت‌زمان کلی پروژه یا فعالیت‌ها را فراهم می‌آورند.

18. W. Pan, A Decision Support Tool for Optimising the Use of Offsite Technologies in Housebuilding. Repository: lboro.ac.uk, 1 Jan. 2006.

ت ۶ رابطهٔ زمان - هزینه در مورد یک فعالیت در حالت عادی و در حالت زمانبندی فشرده، تدوین: نگارندگان.



امروزه اغلب در پروژه‌های ساخت، به دلیل محدودیت‌های فیزیکی در محل کارگاه که از موانع بهره‌وری نیروی کار به‌شمار می‌آیند،<sup>۳۱</sup> ساخت همه یا بخشی از عناصر را به خارج از کارگاه منتقل می‌کنند. همچنین یکی از مزیت‌های احداث برون کارگاهی امکان ساخت و مونتاژ اجزای ساختمان در فضایی سربسته است، به نحوی که تأثیر عوامل آب‌وهوایی که در احداث درون کارگاهی موجب اختلال در فرایند احداث و کاهش بهره‌وری و افزایش مدت زمان اتمام پروژه می‌شود، برطرف شود.<sup>۳۲</sup>

از سوی دیگر، باید به این نکته توجه داشت که ساخت و مونتاژ برون کارگاهی، فعالیت‌هایی را به فرایند احداث اضافه می‌کند که این فعالیت‌ها هزینه و مدت زمان معینی را شامل می‌شوند. حمل و نقل، انبارداری، و نصب عناصر ساختمانی که در محل خارج از کارگاه ساخته و مونتاژ شده‌اند از جمله این فعالیت‌ها هستند.<sup>۳۳</sup> همچنین ساخت عناصر ساختمانی خارج از کارگاه، شامل هزینه‌های اولیه‌ای است به منظور تأمین تسهیلات برون کارگاهی.<sup>۳۴</sup> بنابراین هزینه‌های اضافی ساخت برون کارگاهی باید با صرفه‌جویی‌های ناشی از رفع موانع بهره‌وری منابع پروژه متعادل شود.

در پژوهش پیش رو با مقایسهٔ این عوامل در مورد سیستم‌های احداث صنعتی و متداول و در نظر گرفتن فرآیندهای مختلف، دیدگاه واضح‌تری در مورد تصمیم به کارگیری سیستم‌های احداث صنعتی عرضه می‌شود.

برترم و همکاران<sup>۳۵</sup> به منظور مقایسهٔ مدت زمان و هزینهٔ پروژه‌های ساختمانی در سیستم‌های احداث پودمانی و متداول، عوامل مؤثر را به هشت مورد تفکیک کرده‌اند: طراحی، بالاسری، مواد، نیروی کار، حمل و نقل، دوباره کاری، تأمین مالی، و هزینه‌های کارخانه.

### ۳. تأثیر سیستم‌های احداث صنعتی بر مبادلهٔ زمان - هزینه

در این پژوهش چارچوبی به منظور تعیین ماهیت سیستم‌های احداث بر اساس مشخصه‌های برون کارگاهی، پیش ساخته‌سازی، پودمانگی، و ابعاد احداث معرفی شده است. به بیان دیگر، یک سیستم احداث بر مبنای سطح هریک از این مشخصه‌ها و ترکیب این مشخصه‌ها با یکدیگر تعریف می‌شود.

#### ۳.۱. بررسی تأثیر در چارچوب مشخصه‌ها

در ادامه، تأثیر هر کدام از مشخصه‌های سیستم‌های احداث صنعتی بر زمان و هزینهٔ پروژه‌های ساختمانی در ادبیات موضوع بررسی می‌شود.

##### ۳.۱.۱. احداث برون کارگاهی

این مشخصهٔ سیستم‌های احداث با محل ساخت و مونتاژ عناصر ساختمانی ارتباط دارد، به نحوی که در سیستم‌های احداث متداول، محل ساخت همان محل نصب عنصر ساختمانی (کارگاه) است. در صورتی که اجرای عناصر ساختمانی در محلی غیر از محل نصب نهایی آنها باشد، آن سیستم احداث دارای مشخصهٔ احداث برون کارگاهی است.

### ۳.۱.۲. احداث پیش ساخته

در ساخت عناصر ساختمانی به صورت پیش ساخته بر زمان فرایند تولید و مونتاژ اجزای ساختمانی تأکید می شود و ممکن است به صورت برون کارگاهی یا در داخل کارگاه انجام شود. در مقابل پیش ساخته سازی، ساخت در جای عناصر به معنی ساخت عناصر ساختمانی در محل قرارگیری نهایی آنها و هم زمان با نصب آن عناصر است.

مهم ترین ظرفیت پیش ساخته سازی به منزله مشخصه یک سیستم احداث، امکان تولید، و مونتاژ عناصر ساختمان به صورت هم زمان است که این موضوع می تواند مدت زمان تکمیل پروژه را به میزان قابل توجهی (تا ۵۰٪ مدت زمان احداث متداول) کاهش دهد؛<sup>۳۵</sup> به طور مثال، در احداث ساختمان های بتنی، عناصر طبقات وابسته به تکمیل و به مقاومت رسیدن اجزای باربر طبقه پایین هستند. در حالی که این وابستگی در احداث پیش ساخته تنها محدود به فعالیت نصب اجزا می شود.

مزیت اقتصادی اولیه این موضوع، تسریع فرایند ساخت و ساز است، اما ارزش اقتصادی تکمیل زود هنگام به عملیات تجاری خاص و پتانسیل کاهش جریان نقدی و درآمد اضافی بستگی دارد. این موضوع را می توان به آسانی برای یک هتل زنجیره ای یا یک عملیات با محدودیت زمانی، مانند یک دانشگاه یا مدرسه، سنجید، اما ممکن است برای یک سازنده خانه خصوصی که در یک بازار سوداگرانه فعالیت می کند، این موضوع کمتر آشکار باشد. در صورتی که احداث پیش ساخته به صورت برون کارگاهی انجام شود، یکی از مزایای اقتصادی دیگر آن، کاهش مصرف و پیشگیری از اتلاف مصالح است؛ چراکه فرایندهای تولید در کارخانه منجر به سفارش انبوه مواد کارآمدتر در اندازه های صحیح برای پروژه خاص می شود. تعداد کل پرسنل کارگاه به حدود نیمی از پرسنل مورد نیاز برای ساخت و ساز درون کارگاهی کاهش می یابد و پرسنل کارگاه عمدتاً برای کارهای

19. J. Lee, et al., "Classification of Modular Building Construction Projects Based on Schedule-Driven Approach". In *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 145, no. 5, (May 2019): 04019031.

20. Off-site Construction

21. R.E. Smith and J.D. Quale, *Offsite Architecture: Constructing the Future* (London, New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2017).

22. Prefabricated Construction

ت ۷. رابطه میانگین برآورد هزینه ساختمان بر حسب واحد سطح و مقیاس آن بر حسب فوت مربع و ارتفاع، مأخذ:

Eriksen and Orlando, "Returns to Scale in Residential Construction: The Marginal Impact of Building Height", *Real Estate Economics*, (Aug. 2021).

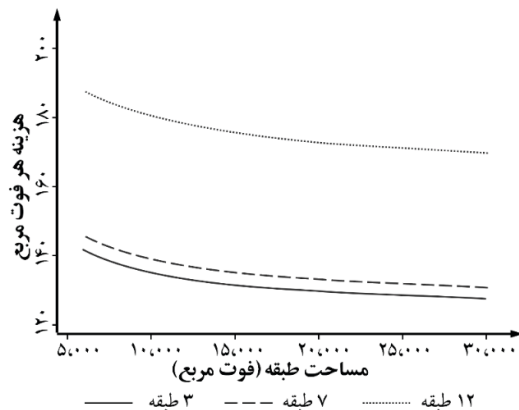
فونداسیون و پوشش (نما) ساختمان مورد نیاز هستند.<sup>۳۶</sup>

در مقابل، تولید عناصر ساختمانی به صورت پیش ساخته مستلزم وجود یک کارخانه تولید عناصر ساختمانی است که توسط یک تأمین کننده راه اندازی می شود یا در پروژه های بزرگ به صورت کارخانه موقت توسط عوامل پروژه راه اندازی شده است. تولید عناصر ساختمانی در کارخانه به معنی تبدیل شدن فرایند ساخت به فرایند تولید است.

### ۳.۱.۳. احداث پودمانی

ساخت پودمانی را می توان در جهت تسهیل گرایش صنعت ساخت به سمت تولید عناصر ساختمانی به منظور افزایش بهره وری توضیح داد. به بیان دیگر، احداث پودمانی با فراهم آوردن سطح مناسبی از تکرار در عناصر ساختمانی و تسهیل اجماع و مونتاژ اجزا در کنار یکدیگر فرایند ساخت را بیشتر به سمت تولید متمایل کرده است.

عموماً احداث پودمانی به مثابه نوعی احداث پیش ساخته شناخته می شود که در آن تجمیع و اتصال اکثر عناصر ساختمانی در مرحله طراحی و برنامه ریزی قابل پیش بینی است و سطح بالای تکرار در تولید این عناصر، امکان انتفاع از ظرفیت های تولید انبوه از جمله منحنی یادگیری را فراهم می آورد تا حدی





23. C. Goodier and A. Gibb, "Future Opportunities for Offsite in the UK", *Construction Management and Economics*, vol. 25, no. 6 (June 2007): 585-595.

24. Modular Construction

25. T.D. Miller and P.E.E. Pedersen, "Defining Modules, Modularity and Modularization: Evolution of the Concept in a Historical Perspective", In *Proc., 13th IPS Conf. Design for Integration in Manufacturing*, 1998.

جدول ۳. معیارهای تصمیم‌گیری مرتبط با زمان و هزینه در مورد به کارگیری سیستم‌های احداث صنعتی، مأخذ:

AbdulNabi and El-adaway, "Modular Construction: Determining Decision-Making Factors and Future Research Needs", *Journal of Management in Engineering*, vol. 36, no. 6 (Nov. 2020): 04020085

آن، عناصر حجمی سه‌بعدی افزایش داد. با افزایش مقیاس واحد (ابعاد) احداث، ضمن تأمین یکپارچگی بیشتر بین اجزای ساختمان، از میزان کار در داخل کارگاه نیز کاسته می‌شود؛ اگرچه حمل‌ونقل و نصب عناصر ساختمانی بزرگ‌تر نیازمند تجهیزات سنگین‌تری است.<sup>۴۰</sup>

### ۲.۳. متغیرهای تأثیر

بررسی اثرات مشخصه‌های سیستم‌های احداث صنعتی بر عوامل زمان و هزینه در ادبیات حاکی از آن است که برخی متغیرهای اساسی که در ادبیات بیشتر، تحت عنوان معیارهای تصمیم‌گیری در مورد به کارگیری سیستم‌های احداث صنعتی در پروژه‌های ساختمانی مطرح هستند، نقش تعیین‌کننده‌ای در ارزیابی مبادله زمان - هزینه دارند، بنابراین به منظور بررسی سازوکار تأثیر مشخصه‌های سیستم‌های احداث صنعتی بر مبادله زمان - هزینه در پروژه‌های ساختمانی، ابتدا به تشریح این متغیرها پرداخته‌ایم. عبدالنبی و الادوی با تحلیل و مرور سیستماتیک مطالعات احداث پودمانی از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹، فهرستی از معیارهای تصمیم‌گیری به کارگیری سیستم‌های احداث صنعتی را معرفی کرده‌اند.<sup>۴۱</sup> در «جدول ۳» معیارهای مرتبط با عوامل زمان و هزینه مشخص شده است.

|       |                                          |
|-------|------------------------------------------|
| هزینه | نیروی کار                                |
|       | بالاسری                                  |
|       | حمل‌ونقل و انبارداری                     |
|       | طراحی و مهندسی                           |
|       | مصالص و مواد اولیه                       |
|       | تأمین مالی و سرمایه‌گذاری اولیه          |
| زمان  | دوباره‌کاری                              |
|       | توالی فعالیت‌ها                          |
|       | اختلال ناشی از محدودیت‌های فیزیکی کارگاه |
|       | وابستگی به شرایط جوی                     |
|       | دوباره‌کاری                              |

که ۷۰ تا ۹۵٪ ساختمان در کارخانه تولید می‌شود (ت ۷).<sup>۳۷</sup> درواقع، صرفه‌جویی در مقیاس تولید ازجمله مزیت‌های اقتصادی احداث پودمانی به‌شمار می‌رود.<sup>۳۸</sup> هرچند این موضوع در مورد هزینه احداث ساختمان‌ها با سیستم احداث متداول نیز بررسی شده است (ت ۷). منظور از مقیاس در این موضوع، ابعاد و اندازه کل پروژه احداث است.

بنابراین احداث پودمانی مستلزم بهره‌برداری از کارخانه تولید به‌مراتب مجهزتر و صنعتی‌تر است. کارخانه‌های خودکار مدرن برای تولید واحدهای پودمانی نیاز به سرمایه‌گذاری برای راه‌اندازی دارند و این هزینه‌ها باید طی یک دوره بازپرداخت معین با خروجی پیش‌بینی‌شده تعداد واحد در سال مستهلک شوند. تنوع راه حل‌های پودمانی مشخص‌شده از طرف مشتریان و بازار ساختمانی متغیر، بر پیچیدگی دستیابی به مقیاس اقتصادی در تولید می‌افزاید. در مقابل این هزینه‌های سرمایه ثابت در فرایندهای ساخت پیشرفته‌تر پودمان‌ها، بهبود قابل‌توجهی در بهره‌وری و صرفه‌جویی در جابه‌جایی، استفاده، و اتلاف مواد در مقایسه با ساخت‌وساز درون کارگاهی ایجاد می‌شود. بهبود کیفی واحدهای تولیدی همچنین باعث صرفه‌جویی در بازرسی و دوباره‌کاری می‌گردد. تخمین زده می‌شود که برای تولید متوسط ۱۰۰ پودمان در یک پروژه معین، بهره‌وری کار در شرایط کارخانه با ضریب دوبرابر برای فعالیت مشابه در کارگاه ساختمان‌سازی افزایش یابد. برای پروژه‌های بزرگ‌تر، بهره‌وری ممکن است تا سه‌برابر افزایش یابد.<sup>۳۹</sup>

### ۳.۱.۴. ابعاد احداث

مشخصه دیگر سیستم‌های احداث مبتنی بر ابعاد احداث است که می‌توان آن را با مفهوم مقیاس واحد احداث مرتبط دانست. درواقع با به کارگیری تجهیزات جدید می‌توان مقیاس واحد احداث را از عناصر خطی به عناصر صفحه‌ای، فراتر از

### ۱.۲.۳. طراحی

فرایند طراحی مستلزم هماهنگی کامل بین معماران، پیمانکاران، و تأمین کنندگان است که ممکن است منجر به طولانی شدن مدت طراحی شود. هزینه طراحی از هزینه‌های غیرمستقیم پروژه محسوب می‌شود و اغلب هزینه‌های بیشتری، به دلیل فقدان تجربه در طراحی پودمانی یا احتمال طراحی مجدد در صورتی که طراحی اولیه با هدف رویکرد احداث متداول باشد، اعمال می‌شود. اما از آنجا که صنعت با ایجاد طرح‌های تکرارپذیری که می‌توانند چندین بار مورد استفاده و تطبیق قرار گیرند، سازگار می‌شود، این هزینه احتمالاً کاهش می‌یابد؛ توسعه ابزارهای دیجیتال مانند طراحی خودکار به این موضوع کمک خواهد کرد.<sup>۴۲</sup>

### ۲.۲.۳. بالاسری

کاهش مدت زمان ساخت به منزله یکی از کلیدی‌ترین عوامل انتخاب سیستم‌های احداث صنعتی طرح شده است،<sup>۴۳</sup> که این خود یکی از عواملی است که هزینه‌های بالاسری و مدیریت ساخت را کاهش می‌دهد.

### ۳.۲.۳. مواد و مصالح

در مورد مواد و مصالح، هزینه نهایی به شرایط و عوامل متعددی وابسته است و نمی‌توان در مورد بیشتر یا کمتر بودن هزینه نسبت به سیستم‌های احداث متداول قضاوت کرد. افزایش بهره‌وری تولید قطعات ساختمانی در کارخانه منجر به کاهش مصرف مواد و مصالح نسبت به سیستم‌های احداث متداول می‌شود. از طرفی، ضوابط و معیارهای ساخت و تولید در سیستم‌های احداث صنعتی ممکن است بر میزان یا سطح کیفیت مواد و مصالح به کاررفته تأثیر بگذارد و موجب افزایش هزینه مواد و مصالح کل پروژه شود.<sup>۴۴</sup>

### ۴.۲.۳. نیروی کار

در یک ساختمان پودمانی تا ۸۰٪ از فعالیت‌های متداول کارگری می‌تواند خارج از کارگاه و به تأسیسات تولیدی منتقل شود. برخی از مهارت‌محورترین و گران‌ترین انواع کار (از جمله کارهای مکانیکی، برقی، و لوله‌کشی) را می‌توان به کارگران تولیدی کم‌هزینه محول کرد که این امر باعث کاهش صورت‌حساب دستمزد می‌شود. مهم‌تر اینکه، محیط عملیاتی استاندارد، خودکار، و کنترل‌شده‌تر یک کارخانه می‌تواند بهره‌وری را بیش از آنچه با ساخت‌های متداول به دست می‌آید، دوبرابر کند و مقدار زیادی از زمان توقف درون کارگاهی را بکاهد و این موضوع باید پیش از در نظر گرفتن مزایای بهره‌وری ناشی از ایجاد فرایندهای ساده، تکراری، یا تجهیزات اتوماسیون پیشرفته در نظر باشد. مونتاژ پودمان‌های درون کارگاهی نیز به نیروی کار با مهارت کمتر و در نتیجه کم‌هزینه نیاز دارد و یک تولیدکننده تخمین می‌زند که ۲۵٪ از زمان صرف‌شده درون کارگاه صرف ایجاد ارزش می‌شود، در حالی که ۷۵٪ از زمانی که در خارج از کارگاه صرف می‌شود، ارزش ایجاد می‌کند. به‌طور کلی، ما انتظار داریم که انتقال به تولید خارج از کارگاه هزینه‌های نیروی کار در یک پروژه را تا ۲۵٪ کاهش دهد. صرفه‌جویی زمانی قابل‌توجه‌تر است که بیشتر فعالیت‌های بارزش مانند نصب برق، لوله‌کشی، و تهویه مطبوع را بتوان به خارج از کارگاه انتقال داد.<sup>۴۵</sup>

### ۵.۲.۳. حمل‌ونقل

سیستم‌های احداث صنعتی نیازمند برنامه‌ریزی و هماهنگی دقیق برای اطمینان از تحویل کارآمد و به‌موقع اجزا به محل ساخت‌وساز است. این موضوع می‌تواند شامل قوانین حمل‌ونقل، محافظت از اجزا در طول حمل‌ونقل، و مدیریت ترتیبات و تعهدات سازمانی باشد.<sup>۴۶</sup> درواقع موضوع حمل‌ونقل

26. J. Gosling, et al., "Defining and Categorizing Modules in Building Projects: An International Perspective", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 142, no. 11 (November 2016): 04016062.

27. R.Z.C. Lim, et al., "A Preliminary Design Tool for Volumetric Buildings", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 31, no. 13 (May 2022).

28. H. Kerzner, *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2017).

29. P. Ballesteros-Pérez, "Modelling the Boundaries of Project Fast-Tracking", *Automation in Construction*, vol. 84 (December 2017): 231-241.

30. N. Bertram, et al., *Modular Construction: From Projects to Products* (McKinsey & Company, 2019).

31. P.F. Kaming, et al., "Factors Influencing Craftsmen's Productivity in Indonesia", *International Journal of Project Management*, vol. 15, no. 1 (February 1997): 21-30.

32. M. Arashpour, et al., "Optimization of Process Integration and Multi - Skilled Resource Utilization in Off-site Construction", *Automation in Construction*, vol. 50 (February 2015): 72-80.

33. N. Blismas, et al., "Benefit Evaluation for Off-Site Production in Construction", *Construction Management and Economics*, vol. 24, no. 2 (Feb. 2006): 121-130; T. Si, et al., "A Dynamic Just-In-Time Component Delivery Framework for Off-Site Construction", *Advances in Civil Engineering*, vol. 2021, no. 15 (June 2021): 1-19.

34. W. Pan and R. Sidwell, "Demystifying the Cost Barriers to Offsite Construction in the UK", *Construction Management and Economics*, vol. 29, no. 11, (November 2011): 1081-1099.

35. T. Gunawardena and P. Mendis, "Prefabricated Building Systems—Design and Construction", *Encyclopedia*, vol. 2, no. 1 (January 2022): 70-95; R. Lawson, et al., "Application of Modular Construction in High-Rise Buildings", *Journal of Architectural Engineering*, vol. 18, no. 2 (June 2012): 148-154.

از نکات حایز توجه این است که در احداث برون کارگاهی پرداخت‌های اولیه معمولاً بالاتر است. در یک پروژه ساختمانی متداول دوساله، کارفرما ممکن است نیمی از بهای زمین را پیشاپیش بپردازد و نیمی دیگر را در طول دو سال احداث تقسیم کند. در یک اجرای پودمانی با مدت فشرده شده به یک سال، کل پرداخت می‌تواند از قبل پرداخت شود، اما تأمین مالی تنها برای یک سال به جای دو سال مورد نیاز است. با فرض ۱۰٪ هزینه سرمایه در دو سال، در این مثال، هزینه‌های تأمین مالی حدود ۵٪ از کل هزینه پروژه کاهش می‌یابد.<sup>۴۹</sup>

### ۳.۲.۸. هزینه‌های کارخانه

هزینه ساخت کارخانه باید در مقابل صرفه‌جویی در هزینه متعادل شود. بازپرداخت سرمایه و هزینه‌های عملیاتی مستمر اداره کارخانه باید لحاظ شود. تعریف یک محدوده معمولی از هزینه سرمایه‌گذاری دشوار است؛ زیرا به اندازه تسهیلات و سطح اتوماسیون در حال اجرا بستگی دارد. با ایجاد یک سند کسب‌وکار برای خود کارخانه و با فرض نرخ بازده در تسهیلات، استهلاک سرمایه، و همچنین هزینه‌های عملیاتی و جایگزینی ماشین‌آلات معقول باشند، می‌توانیم تأثیر هزینه را بر هر پروژه تخمین بزنیم. بسته به راه‌اندازی، هزینه تخصیص یافته کارخانه می‌تواند بین ۵ تا ۱۵٪ از کل هزینه‌های یک پروژه ساخت‌وساز را تشکیل دهد.<sup>۵۰</sup>

### ۴. نتایج

در این پژوهش به منظور ارزیابی مبادله زمان - هزینه به‌منزله یک معیار تصمیم‌گیری در به‌کارگیری سیستم‌های احداث صنعتی، با بررسی وجوه تمایز سیستم‌های احداث صنعتی و متداول، فهرستی از متغیرهای مؤثر بر مبادله زمان - هزینه پروژه‌های ساختمانی که تحت تأثیر تغییر سیستم احداث

یکی از چالش‌های به‌کارگیری سیستم‌های احداث صنعتی به‌شمار می‌آید و پژوهش‌های متعددی به‌منظور بهینه‌سازی حمل‌ونقل اجزای پیش‌ساخته صورت گرفته است.<sup>۴۷</sup>

### ۳.۲.۶. دوباره‌کاری

درحالی‌که یکی از بارزترین مزایای سیستم‌های احداث صنعتی، تحویل سریع‌تر پروژه نسبت به سیستم‌های احداث متداول است، اما دوباره‌کاری ممکن است تأثیر شدیدتری در این سیستم‌های احداث نسبت به سیستم‌های احداث متداول داشته باشد؛ چراکه نیاز به تثبیت طرح‌های پودمانی در مراحل اولیه، چالش‌های متعددی را برای متخصصان طراحی ایجاد می‌کند. هنگامی که طرحی نهایی شد، به‌دلیل ابعاد استاندارد واحدهای پودمانی و انعطاف‌پذیری محدود، اجرای تغییرات می‌تواند دشوار و پرهزینه باشد. علاوه‌براین، محدودیت‌های حمل‌ونقل و محدودیت‌های چیدمان کارگاه ممکن است فرایند طراحی را محدود و چالش‌های آن را پیچیده‌تر کند.<sup>۴۸</sup>

### ۳.۲.۷. تأمین مالی

زنجیره‌های تأمین کنونی توسعه‌نیافته و پراکنده هستند؛ به این معنی که استانداردسازی بین متصدی‌های مختلف وجود ندارد. این فقدان قابلیت همکاری در بازاری با متصدی‌های کوچک و سابقه محدود، خطر ورشکستگی را تقویت می‌کند. امروزه نرخ‌های وام برای پروژه‌هایی که از احداث برون کارگاهی استفاده می‌کنند، بیشتر است؛ چراکه این یک مفهوم نسبتاً جدید است و همیشه به‌طور کامل از سوی صنعت تأمین مالی درک نمی‌شود. اما با تحقیق و توسعه بیشتر، توسعه سوابق و دستیابی به مقیاس، این موضوع در طول زمان تغییر خواهد کرد. مهم‌تر آنکه، چون زمان برابر است با پول، توانایی تسریع در پروژه‌ها می‌تواند هزینه‌ها را کاهش دهد. با این حال، یکی

36. M. Lawson, et al., *Design in Modular Construction* (Boca Ratón, Crc Press, 2014).

37. Z. Yang and W. Lu, "Facility Layout Design for Modular Construction Manufacturing: A Comparison Based on Simulation and Optimization", *Automation in Construction*, vol. 147 (Mar. 2023): 104713; Huu-Tai Thai, et al., "A Review on Modular Construction for High-Rise Buildings", *Structures*, vol. 28, (December 2020): 1265-1290.

38. Lawson, et al., "Application of Modular Construction in High-Rise Buildings", 148-154.

39. Lawson, et al., *Design in Modular Construction*.

40. Lim, et al., "A Preliminary Design Tool for Volumetric Buildings

جدول ۴ تأثیر متغیرها به تفکیک مشخصه‌های سیستم‌های احداث صنعتی، تدوین: نگارندگان.

هستند، مبنای تحلیل سازوکار تأثیر مشخصه‌های سیستم‌های احداث صنعتی بر مبادله زمان - هزینه قرار گرفت.

به این ترتیب، محدودیت‌های فیزیکی کارگاه، دسترسی به نیروی کار، شرایط نامساعد جوی، و مقیاس (ظرفیت) کم ساخت، محدودیت‌هایی هستند که با به کارگیری سیستم احداث برون کارگاهی مرتفع می‌شوند. محدودیت‌های فیزیکی مستقیماً بر بهره‌وری فرایند ساخت تأثیر می‌گذارند. در مقابل، کاهش دسترسی به نیروی کار در مناطق دورافتاده نیز می‌تواند موجب شود که فعالیت‌های ساخت با تعداد نیروی کار حداقل اجرا شوند؛ این موضوع به این معناست که در سیستم‌های احداث متداول همواره تعداد نیروی کار در فرایند ساخت تحت تأثیر بازه دسترسی به نیروی کار و محدودیت‌های فیزیکی کارگاه قرار دارد. در حالی که احداث برون کارگاهی با فراهم آوردن فضای فیزیکی بزرگ‌تر در کارخانه و همچنین قرارگیری در منطقه مناسب، موجب افزایش بهره‌وری فرایند ساخت می‌شود. شرایط نامساعد جوی به مثابه عاملی شناخته شده است که در مرحله اول موجب تأخیر در فرایند ساخت می‌شود، که اختلال ناشی از آن موجب کاهش بهره‌وری می‌گردد.

اگرچه احداث پیش ساخته و برون کارگاهی هزینه‌های تولید یا تجهیز کارخانه و انبارداری و حمل و نقل را به هزینه‌های پروژه اضافه می‌کنند، مقیاس ساخت یا تولید می‌تواند به منزله یک عامل اقتصادی بر هزینه تولید و مستقیماً بهره‌وری اثر بگذارد. این عامل همچنین با به کارگیری مشخصه احداث پیش ساخته تقویت می‌شود؛ چراکه با صنعتی سازی فرایند ساخت، امکان بهره‌گیری از ماشین آلات بیشتر می‌شود.

وابستگی میان فعالیت‌ها از جمله اثرگذارترین عوامل بر مدت زمان پروژه‌های ساختمانی به شمار می‌رود و روش‌های تسریع پروژه، شامل خرد کردن یا هم پوشانی فعالیت‌ها اغلب موجب افزایش هزینه و احتمال ریسک‌های دوباره کاری پروژه

می‌شوند. احداث پیش ساخته به مثابه یک روش جایگزینی فعالیت‌ها، می‌تواند با رفع وابستگی‌های ماهوی فعالیت‌های ساخت، بر مدت زمان فرایند ساخت تأثیر چشمگیری بگذارد و بر بهره‌وری بیفزاید.

با صنعتی سازی فرایند احداث و تبدیل آن از ساخت به تولید، می‌توان از ظرفیت‌های تولید صنعتی، از جمله تکرارپذیری، بهره برد. این موضوع با طراحی و تولید پودمانی اجزای ساختمان امکان پذیر می‌شود و می‌تواند مستقیماً بر بهره‌وری تأثیر مثبت بگذارد. اما، در عین حال، احداث پودمانی موجب کاهش انعطاف پذیری طرح می‌گردد و در صورت بروز تغییر طرح یا خطای طراحی و تولید می‌تواند بر بهره‌وری اثرات منفی داشته باشد.

ابعاد احداث به واسطه سه مشخصه بر مبادله زمان - هزینه پروژه‌های ساختمانی اثر می‌گذارد: برون کارگاهی، پیش ساخته سازی، پودمانی. احداث سه بعدی به معنی کاهش نیاز به مونتاژ اجزا در محل کارگاه است، اما، در عین حال موجب افزایش حجم و وزن واحدهای حمل و نقل و انبارداری می‌شود. همچنین طرح پودمان‌های سه بعدی انعطاف پذیری کمتری را به همراه دارند.

هدف از تحلیل سازوکار تأثیر، تعیین عوامل و متغیرهای

| مشخصه              | متغیر                           | تأثیر متغیر     |
|--------------------|---------------------------------|-----------------|
| احداث برون کارگاهی | محدودیت‌های فیزیکی کارگاه (-)   | بهره‌وری (-)    |
|                    | تأثیر شرایط نامساعد جوی (-)     | مدت زمان (+)    |
| احداث پیش ساخته    | هزینه حمل و نقل و انبارداری (+) | هزینه (+)       |
|                    | وابستگی فعالیت‌ها (-)           | مدت زمان (-)    |
| احداث پودمانی      | هزینه تولید و تأمین (+)         | هزینه (+)       |
|                    | تکرارپذیری (+)                  | بهره‌وری (+)    |
| ابعاد احداث        | انعطاف طرح (-)                  | دوباره کاری (-) |
|                    | وابستگی فعالیت‌ها (-)           | مدت زمان (-)    |
|                    | هزینه حمل و نقل و انبارداری (+) | هزینه (+)       |
|                    | فعالیت‌های مونتاژ (-)           | بهره‌وری (+)    |

رابطه علیت زمان - هزینه در پروژه‌های ساختمانی بررسی گردید، به نحوی که تأثیر مشخصه‌های صنعتی‌سازی بر مبادله زمان - هزینه پروژه‌های ساختمانی به شکل واضحی تبیین شود (ت ۸).

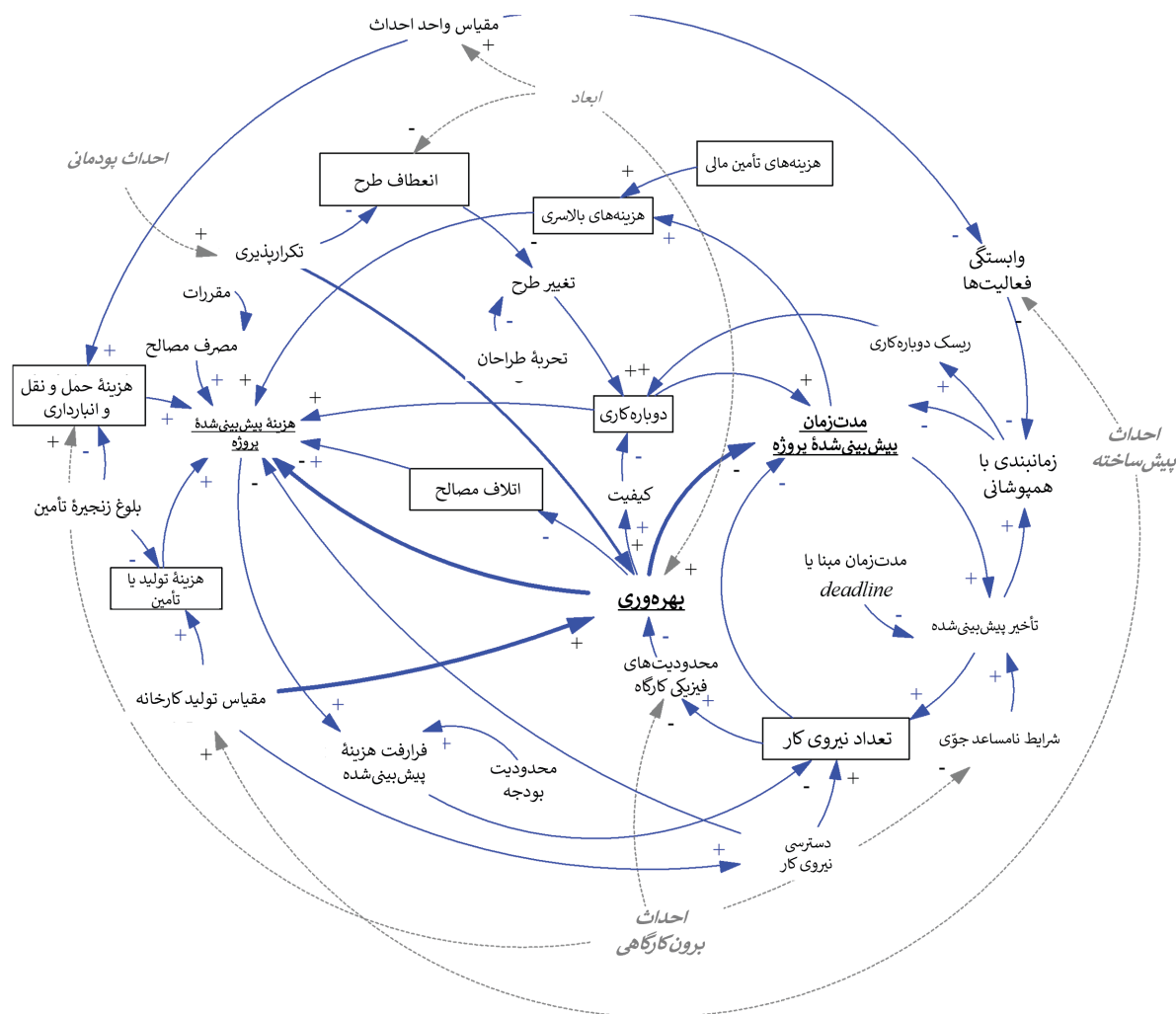
اساسی در مورد مسئله است. در این پژوهش پس از شناسایی متغیرهای تأثیر، به منظور تبیین سازوکار تأثیر مشخصه‌های سیستم‌های احداث صنعتی بر مبادله زمان - هزینه، ابتدا تأثیر هر کدام از متغیرها بر مبنای ادبیات بر هر کدام از متغیرهای تأثیر مشخص شد (جدول ۴). سپس تعامل این عوامل با

41. M. AbdulNabi and I.H. El-adaway, "Modular Construction: Determining Decision-Making Factors and Future Research Needs", *Journal of Management in Engineering*, vol. 36, no. 6 (Nov. 2020): 04020085.

42. W. Zhang, et al., "The Hindrance to Using Prefabrication in Hong Kong's Building Industry". *Journal of Cleaner Production*, vol. 204 (Dec. 2018): 70-81; Bertram, et al., *Modular Construction: From Projects to Products*.

43. N. Thurairajah, et al., "Unexpected Challenges in the Modular Construction Implementation: Are UK Contractors Ready?", *Sustainability*, vol. 15, no. 10 (2023): 8105.

ت ۸. شبکه علیت سازوکار تعامل عناصر مؤثر بر مبادله زمان - هزینه پروژه‌های ساختمانی و نحوه تأثیر مشخصه‌های سیستم‌های احداث صنعتی، تدوین: نگارندگان.



## تحلیل و نتیجه گیری

این شبکه علّیت نشان می‌دهد که مهم‌ترین امتیاز سیستم‌های احداث صنعتی در پروژه‌های ساختمانی، با ارتقای بهره‌وری حاصل می‌شود. با استفاده از این شبکه علّیت و مدل‌سازی پویایی سیستم می‌توان تأثیر سیستم‌های احداث صنعتی‌سازی بر مبادله زمان - هزینه پروژه‌های ساختمانی را سنجید. اما این امر مستلزم داشتن اطلاعات گسترده کمی در مورد متغیرهای این شبکه علّیت است، که به‌منزله یکی از محدودیت‌ها، در چارچوب این پژوهش نمی‌گنجد و می‌تواند موضوع یکی از پژوهش‌های آتی باشد. با این حال، با در نظر گرفتن بهره‌وری به‌منزله مهم‌ترین عامل اثرگذار سیستم‌های احداث صنعتی بر مبادله زمان - هزینه پروژه‌های ساختمانی و رابطه هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم با مدت زمان کل پروژه می‌توان نتایج احتمالی این تحلیل را تخمین زد.

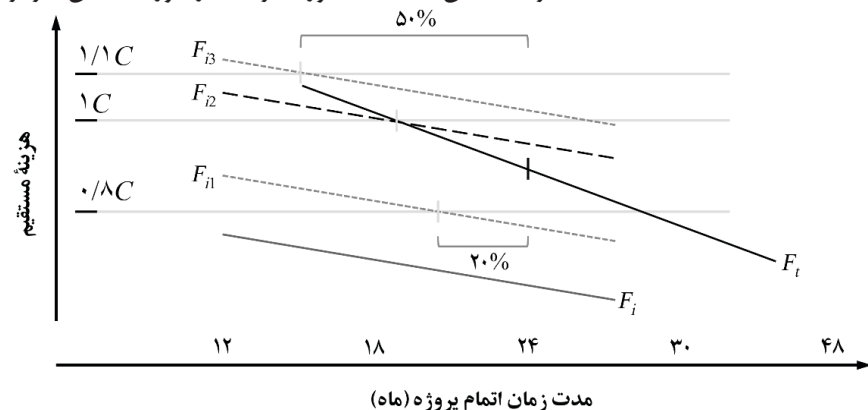
با توجه به «ت ۹» که مدلی فرضی از مبادله زمان - هزینه پروژه‌های ساختمانی است، در صورتی که رابطه هزینه‌های مستقیم یک پروژه با سیستم احداث متداول (غیرصنعتی) با مدت زمان پروژه به صورت خطی  $F_t$  در نظر گرفته شود، شیب این رابطه در مورد سیستم‌های احداث صنعتی با فرض بهره‌وری بیشتر، که طبق مطالعات صورت گرفته، در صورت تحقق، فراتر

44. S. Wang, et al., "Cost Analysis between Prefabricated Buildings and Traditional Buildings", In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 768, no. 31 (Mar. 2020): 052090.

45. Bertram, et al., *Modular Construction: From Projects to Products*.

ت ۹. مقایسه رابطه زمان - هزینه احتمالی پروژه‌های ساختمانی مبتنی بر سیستم‌های احداث متداول و صنعتی، تدوین: نگارندگان؛ مأخذ اعداد و درصدها:

Bertram, et al., *Modular Construction: From Projects to Products* (McKinsey & Company, 2019).



از ظرفیت سیستم‌های احداث متداول خواهد بود، کمتر است ( $F_i$ ) در «ت ۹». اما با وجود این موضوع، به کارگیری سیستم‌های احداث صنعتی، هزینه‌های دیگری را بر پروژه اعمال می‌کند که موجب افزایش متغیر هزینه در رابطه خطی فرضی خواهد شد. با این استدلال سه حالت ممکن وجود خواهد داشت؛ (۱) رابطه زمان - هزینه پروژه با سیستم احداث صنعتی در قسمت پایین ( $F_{i1}$ ) رابطه زمان - هزینه پروژه ساختمانی با سیستم احداث متداول قرار می‌گیرد که به این معناست که سیستم احداث صنعتی به لحاظ مدت زمان تکمیل و هزینه تکمیل، انتخاب بهینه خواهد بود. (۲) این دو رابطه در یک نقطه تقاطع باشند ( $F_{i2}$ )، که به این معناست که در صورتی که اولویت پروژه هزینه تکمیل باشد، سیستم احداث متداول در مدت زمان‌های تکمیل طولانی‌تر، انتخاب بهینه خواهد بود؛ اما در مدت زمان‌های کوتاه‌تر، سیستم احداث صنعتی هزینه تکمیل کمتری خواهد داشت. (۳) رابطه زمان - هزینه پروژه با سیستم احداث صنعتی در همه مدت زمان‌های تکمیل پروژه، هزینه بیشتری ( $F_{i3}$ ) نسبت به احداث با استفاده از سیستم احداث متداول خواهد داشت.

سیستم‌های احداث صنعتی ظرفیت بالایی در ارتقای بهره‌وری و کاهش مدت زمان تکمیل پروژه‌های ساختمانی دارند. اما متغیر هزینه، یکی از موانع جدی به کارگیری این سیستم‌ها در احداث پروژه‌های ساختمانی به شمار می‌آید. در این پژوهش بر اساس مرور مطالعات صورت گرفته، به نظر می‌رسد که عامل اساسی بلوغ زنجیره تأمین می‌تواند به رفع این مانع کمک کند. همچنین مقیاس پروژه ساختمانی می‌تواند مهم‌ترین معیار در امکان‌سنجی اقتصادی به کارگیری سیستم‌های احداث صنعتی در نظر گرفته شود. به نحوی که پروژه‌های ساختمانی با مقیاس بزرگ‌تر می‌تواند گام‌های نخستین توسعه به کارگیری و بلوغ زنجیره تأمین سیستم‌های احداث صنعتی قلمداد شود.



## References

- AbdulNabi, Mohamad and Islam H. El-adaway. "Modular Construction: Determining Decision-Making Factors and Future Research Needs". *Journal of Management in Engineering*, vol. 36, no. 6 (Nov. 2020): 04020085. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000859](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000859).
- Arashpour, Mehrdad, Ron Wakefield, Nick Blismas, and James Minas. "Optimization of Process Integration and Multi - Skilled Resource Utilization in Off-Site Construction". *Automation in Construction*, vol. 50 (February 2015): 72-80.
- Ballesteros-Pérez, Pablo. "Modelling the Boundaries of Project Fast-Tracking". *Automation in Construction*, vol. 84 (December 2017): 231-241.
- Bertram, Nick. et al. *Modular Construction: From Projects to Products*. McKinsey & Company, 2019.
- Blismas, Nick, Christine Pasquire, and Alistair Gibb. "Benefit Evaluation for Off-Site Production in Construction". *Construction Management and Economics*, vol. 24, no. 2 (Feb. 2006): 121-130.
- Copertari, Luis F. *Time, Cost and Performance Tradeoffs in Project Management*. McMaster University, 2002.
- Costa, Sara, Maria Sameiro Carvalho, Carina Pimentel, and Claudia Duarte. "A Systematic Literature Review and Conceptual Framework of Construction Industrialization". *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 149, no. 2 (February 2023).
- Dinsmore, Paul C. "Boosting Productivity on Projects: Building up from the Basics". *PM Network*, vol. 3, no. 7 (1989): 23-25.
- Eriksen, Michael D. and Anthony W. Orlando. "Returns to Scale in Residential Construction: The Marginal Impact of Building Height". *Real Estate Economics*, (Aug. 2021).
- Goodier, Chris and Alistair Gibb. "Future Opportunities for Offsite in the UK". *Construction Management and Economics*, vol. 25, no. 6 (June 2007): 585-595.
- Gosling, Jonathan, Margherita Pero, Manuel Schoenwitz, Denis Towill, Roberto Cigolini. "Defining and Categorizing Modules in Building Projects: An International Perspective". *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 142, no. 11 (November 2016): 04016062.
- Gunawardena, Tharaka and Priyan Mendis. "Prefabricated Building Systems—Design and Construction". *Encyclopedia*, vol. 2, no. 1 (January 2022): 70-95.
- Kaming, Peter F., Paul O. Olomolaiye, Gary D. Holt and Frank C. Harris. "Factors Influencing Craftsmen's Productivity in Indonesia". *International Journal of Project Management*, vol. 15, no. 1 (February 1997): 21-30.
- Kerzner, Harold. *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2017.
- Krugman, Paul. *Defining and Measuring Productivity*. OECD, 1994.
- Lawson, Mark, Ray Ogden, and Chris Goodier. *Design in Modular Construction*. Boca Ratón, Crc Press, 2014.
- Lawson, R. Mark, Ray G. Ogden, and Rory Bergin. "Application of Modular Construction in High-Rise Buildings". *Journal of Architectural Engineering*, vol. 18, no. 2 (June 2012): 148-154.
- Lee, Jeonghoon, Moonseo Park, Hyun-Soo Lee, and Hosang Hyun. "Classification of Modular Building Construction Projects Based on Schedule-Driven Approach". *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 145, no. 5 (May 2019): 04019031.
- Lim, Robert Z.C., Daniel T.W. Looi, Hing-Ho Tsang, John L. Wilson. "A Preliminary Design Tool for Volumetric Buildings". *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 31, no. 13 (May 2022).
- Liu, Yang, Jianjun Dong, and Ling Shen. "A Conceptual Development Framework for Prefabricated Construction Supply Chain Management: An Integrated Overview". *Sustainability*, vol. 12, no. 5 (March 2020): 1878.
- Mao, Chao, Qiping Shen, Wei Pan, and Kunhui Ye. "Major Barriers to Off-Site Construction: The Developer's Perspective in China". *Journal of Management in Engineering*, vol. 31, no. 3 (May 2015): 04014043.
- Mashaqbeh, Mohammad and Khaled El-Rayes. "Minimizing Transportation Cost of Prefabricated Modules in Modular Construction Projects". *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 29, no 10 (2022): 3847-3867.
- Miller, T.D. and P.E.E. Pedersen. "Defining Modules, Modularity and Modularization: Evolution of the Concept in a Historical Perspective". In *Proc., 13th IPS Conf. Design for Integration in Manufacturing*, 1998.
- Pan, Wei. *A Decision Support Tool for Optimising the Use of Offsite Technologies in Housebuilding*. Repository: lboro.ac.uk, 1 Jan. 2006.
- Pan, Wei and Robert Sidwell. "Demystifying the Cost Barriers to Offsite Construction in the UK". *Construction Management and Economics*, vol. 29, no. 11, (November 2011): 1081-1099.
- Schmid, Thomas, Carlo Testa, and Henry A. Frey. *Systems Building: An International Survey of Methods*. London: Pall Mall Press, 1969.
- Sebestyén, G. "System in Construction". *Proceedings of 8Q Congress of CIB, Building Research World Wide*, CIB/Norwegian Building Research Institute, 1980, 773-776.
- Si, Tongguang, Hong Xian Li, Zhen Lei, Hexu Liu, and SangHyeok Han. "A Dynamic Just-In-Time Component Delivery Framework for Off-Site Construction". *Advances in Civil Engineering*, vol. 2021, no. 15 (June 2021): 1-19.
46. C. Mao, et al., "Major Barriers to Off-Site Construction: The Developer's Perspective in China", *Journal of Management in Engineering*, vol. 31, no. 3 (May 2015): 04014043.
47. M. Almashaqbeh and Khaled El-Rayes, "Minimizing Transportation Cost of Prefabricated Modules in Modular Construction Projects". *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 29, no 10 (2022): 3847-3867.
48. Zhang, et al., "The Hindrance to Using Prefabrication in Hong Kong's Building Industry", 70-81.
49. Bertram, et al., *Modular Construction: From Projects to Products*.
50. Lawson, et al., *Design in Modular Construction*

- Smith, Ryan E. and John D. Quale. *Offsite Architecture: Constructing the Future*. London, New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2017.
- Tavares, Alice, Dina D'Ayala, Anibal Costa, and Humberto Varum. "Construction Systems", in *Structural Rehabilitation of Old Buildings*, Springer Berlin Heidelberg, 2013, 1-35.
- Teicholz, Paul. "Labor-Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies -- AECbytes Viewpoint". Apr. 2004, 14. [www.aecbytes.com/viewpoint/2004/issue\\_4.html](http://www.aecbytes.com/viewpoint/2004/issue_4.html).
- Thai, Huu-Tai, Tuan Ngo, and Brian Uy. "A Review on Modular Construction for High-Rise Buildings". *Structures*, vol. 28, (December 2020): 1265-1290.
- Thurairajah, Niraj, Akila Rathnasinghe, Mehvish Ali, and Shashwat Shashwat. "Unexpected Challenges in the Modular Construction Implementation: Are UK Contractors Ready?". *Sustainability*, vol. 15, no. 10 (2023): 8105.
- Vereen, Stephanie C., William Rasdorf, and Joseph E. Hummer. "Development and Comparative Analysis of Construction Industry Labor Productivity Metrics". *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 142, no. 7 (July 2016): 04016020.
- Wang, Guangbin, Huan Liu, Heng Li, Xiaochun Luo, and Jiaxi Liu. "A Building Project-Based Industrialized Construction Maturity Model Involving Organizational Enablers: A Multi-Case Study in China". *Sustainability*, vol. 12, no. 10 (May 2020): 4029.
- Wang, Shu, Hengchun Zhang, Chan Wang, and Yuanyuan Wu. "Cost Analysis between Prefabricated Buildings and Traditional Buildings". In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 768, no. 31 (Mar. 2020): 052090.
- Warzawski, A. "System Building - Education and Research". *Proceedings of 7 CIB Congress*, 1977, 113-125.
- Yang, Zhongze and Weisheng Lu. "Facility Layout Design for Modular Construction Manufacturing: A Comparison Based on Simulation and Optimization". *Automation in Construction*, vol. 147 (Mar. 2023): 104713.
- Zhang, Wei, Ming Wai Lee, Lara Jaillon, and Chi-Sun Poon. "The Hindrance to Using Prefabrication in Hong Kong's Building Industry". *Journal of Cleaner Production*, vol. 204 (Dec. 2018): 70-81.

# Health-Boosting Urban Neighbourhoods: A New Model in Designing and Planning Healthy Neighbourhoods; The Case of Sa'adi Neighbourhood, Shiraz

**Zohreh Fathinejad\*** 

MA, Urban Design, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran  
University of Art, Tehran, Iran

**Parvin Partovi, PhD.**

Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of  
Art, Tehran, Iran

Received: October 17, 2021

Accepted: May 12, 2024

(Pages: 93-118)

**Zohreh Fathinejad, Parvin Partovi, 2025.** Health-Boosting Urban  
Neighbourhoods: A New Model in Designing and Planning Healthy  
Neighbourhoods; The Case of Sa'adi Neighbourhood, Shiraz. *Soffeh* 35 (3): 93-  
118

**DOI:** [10.48308/SOFFEH.2025.224199.1097](https://doi.org/10.48308/SOFFEH.2025.224199.1097)

## Abstract:

**Background and objectives:** Population growth and uncontrolled urbanisation in the 20th century drew attention to the concept of health, which depends on a healthy environment and suitable social, economic, environmental, and other contexts, with citizens forming the foundation of this city. Under identified design and planning strategies, actions, and policies for improving public health and welfare, the relationship between morphological and functional characteristics of urban fabrics and public health in cities is emphasised, which is considered an important and vital topic in contemporary cities and

## Keywords:

Community health,  
Salutogenic approach,  
Sa'adi Neighbourhood,  
Shiraz.



SOFFEH

*Soffeh Journal*, Shahid Beheshti University, Vol. 35, Issue 3, No. 110, 2025



ISSN: 1683-870X

\*. Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication  
under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY)  
license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

\*. Corresponding Author Email Address: [Zohrefathinejad@gmail.com](mailto:Zohrefathinejad@gmail.com)  
<http://dx.doi.org/10.48308/SOFFEH.2025.224199.1097>

societies. In this regard, various approaches have been defined for designing healthy and suitable neighbourhoods for people to live in. Today, developed countries use the 'salutogenic' approach – an approach focused on human health and social well-being – to increase the ability of individuals, communities, and populations to maintain the health and well-being of citizens, as well as to offer a clear vision regarding the positive aspects of life. Based on this approach, and to achieve social, physical, and mental health of residents, urban neighbourhoods are designed to be self-sufficient, aiming to improve their quality of life.

The aim of this research is to develop a new model for designing and planning healthy neighbourhoods, relying on the salutogenic approach, suitable for the morphological and functional characteristics of the urban environment in Shiraz, which can play an effective role in promoting the health and well-being of citizens. Finding design and planning solutions for urban neighbourhoods with a salutogenic approach is also intended in this regard.

**Materials and Methods:** Whilst being applied research in terms of purpose, the method used here is mixed otherwise. Considering the salutogenic approach, the dependent variables are urban environments, including social health, mental health, and physical health of residents. The independent variables are the scope of urban neighbourhood planning, which are influenced by the dependent variables:

- For measuring and valuing 'objective components', the expert observation method (researcher's objective observation) is used.
- For measuring the quality of 'subjective and social components', the resident- and local official-oriented evaluation method, and in some cases, a mixture of both is employed.
- The method of conducting and collecting information includes library studies, observation, and field surveys.
- In the data analysis section, both 'descriptive statistical and inferential analysis methods' are utilised.

**Results and conclusion:** The relationship between research dimensions and social health indicates that the functional, socio-cultural, managerial, environmental, and economic dimensions are related to the social health of residents. Furthermore, the managerial dimensions, accessibility, physical, aesthetic, socio-cultural, and environmental dimensions influence physical symptoms, stress, anxiety, function, and ultimately the physical and mental health of neighbourhood residents. As a result, it can be stated that improving these environmental qualities will lead to higher levels of public health in individuals and residents of that environment, and ultimately to healthier communities.

# محلات شهری سلامت افزا: الگوی جدید در طراحی و برنامه‌ریزی محلات سالم؛ نمونه موردی: محله سعدی شیراز<sup>۱</sup>

زهرة فتحی نژاد<sup>۲</sup> 

پروین پرتوی<sup>۳</sup>

استاد دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران

دریافت: ۲۵ مهر ۱۴۰۰

پذیرش: ۲۳ اردیبهشت ۱۴۰۳

(صفحه ۹۳ - ۱۱۸)

زهرة فتحی نژاد، پروین پرتوی. ۱۴۰۴. محلات شهری سلامت افزا: الگوی جدید در طراحی و برنامه‌ریزی محلات سالم؛ نمونه موردی: محله سعدی شیراز. فصلنامه علمی پژوهشی معماری و شهرسازی صفحه ۳۵ (۳): ۹۳-۱۱۸. کلیدواژگان: اجتماعات محلی، سلامت، رویکرد سلامت افزا، محله سعدی، شیراز.

## چکیده

**اهداف و پیشینه:** رشد جمعیت و گسترش بی‌رویه شهرنشینی در قرن بیستم موجب توجه به مقوله سلامت گردید. سلامت شهر در گرو داشتن محیط سالم و بسترهای مناسب اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی، و ... است و شهروندان پایه و اساس این شهر هستند. بر اساس استراتژی‌های طراحی و برنامه‌ریزی، سیاست‌های شناسایی شده، به‌منظور بهبود سلامت و رفاه عمومی، حول ارتباط بین ویژگی‌های مرفولوژیکی و عملکردی بافت‌های شهری و سلامت عمومی در شهرها شکل می‌گیرند و این امر از جمله موضوعات مهم و حیاتی برای شهرهای معاصر و جوامع امروزی است. در این خصوص، رویکردهای مختلفی به‌منظور طراحی محلات سالم و مناسب برای سکونت افراد طرح شده است. امروزه در کشورهای توسعه‌یافته برای افزایش توانایی افراد، جوامع، و جمعیت‌ها و حفظ سلامت و رفاه شهروندان، همچنین عرضه چشم‌اندازی روشن نسبت به جنبه‌های مثبت زندگی، از رویکرد سلامت افزا (رویکردی متمرکز بر سلامت و رفاه اجتماعی انسان) استفاده می‌شود. بر اساس این رویکرد و برای تحقق سلامت اجتماعی، جسمانی، و روانی ساکنان و بهبود کیفیت زندگی آنها، محلات شهری به‌صورت خودکفا طراحی می‌شود.

در این پژوهش هدف تدوین الگوی جدید در طراحی و برنامه‌ریزی محلات سالم، با اتکا به رویکرد سلامت افزاست. روشن است که در این طراحی، توجه به مسائل، مشکلات، و پتانسیل‌های موجود، می‌تواند نقش مؤثری در ارتقای سلامت افراد داشته باشد و در این زمینه، یافتن راهکارهای طراحی و برنامه‌ریزی محلات شهری با رویکرد سلامت افزا نیز باید مورد نظر باشد.

**مواد و روش‌ها:** شیوه تحقیق در این پژوهش به‌لحاظ هدف کاربردی و به‌لحاظ روش آمیخته است. متغیرهای وابسته در این پژوهش، با توجه به رویکرد سلامت‌افزایی محیط‌های شهری، شامل سلامت اجتماعی، سلامت روان، و سلامت جسمی ساکنان می‌شود، اما متغیرهای مستقل ابعاد طراحی و برنامه‌ریزی محلات شهری هستند، که از متغیرهای وابسته اثر می‌پذیرند.

همچنین به‌منظور ارزش‌گذاری مؤلفه‌های عینی، از روش مشاهده کارشناسی (مشاهده عینی محققان) و برای سنجش میزان کیفیت مؤلفه‌های ذهنی و مؤلفه‌های اجتماعی از روش ارزیابی اثرمحور ساکنان و مسئولین محلی و در مواردی از هردو روش استفاده شده است. روش انجام و جمع‌آوری اطلاعات نیز شامل مطالعات کتابخانه‌ای، مشاهده، و برداشت میدانی است که در بخش تجزیه و تحلیل داده‌ها از دو روش آماری توصیفی و تحلیل استنباطی استفاده شده است.

۱. این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده نخست است با عنوان تبیین راهکارهای طراحی و برنامه‌ریزی محلات شهری با تأکید بر رویکرد سالتوئرنز (مورد پژوهی: محله سعدی شیراز) که در رشته طراحی شهری به راهنمایی نویسنده دوم در دانشگاه هنر تهران در بهمن ۱۳۹۹ دفاع شده است.

۲. نویسنده مسئول؛ کارشناسی ارشد طراحی شهری، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران

Zohrefathinejad@gmail.com

3. Partovi@art.ac.ir



## پرسش‌های تحقیق

۱. اصول و شاخص‌های رویکرد سلامت‌افزا چیست و آیا می‌توان آنها را به‌منظور طراحی و برنامه‌ریزی محلات سالم به کار برد؟

۲. آیا بین کیفیت محیطی در بافت شهری با سلامت (جسمی، روانی، و اجتماعی) ساکنان رابطه‌ی معناداری هست؟

۳. آیا استفاده از رویکرد سلامت‌افزا در طراحی و برنامه‌ریزی محلات شهری بر بهبود سلامت فیزیکی، روانی، و اجتماعی آنها اثر می‌گذارد؟

۴. راهکارهای طراحی و برنامه‌ریزی برای دستیابی به محلات شهری سلامت‌افزا به‌طور کلی و خصوصاً در محدوده‌ی مورد مطالعه چیستند؟

4. World Health Organisation

5. WHO, 1948

نتایج و جمع‌بندی: ارتباط ابعاد پژوهش با سلامت اجتماعی نشان از آن دارد که ابعاد عملکردی، اجتماعی - فرهنگی، مدیریتی، زیست‌محیطی، و اقتصادی با سلامت اجتماعی ساکنان مرتبط هستند. همچنین ابعاد مدیریتی، دسترسی، کالبدی، زیبایی‌شناسی، اجتماعی - فرهنگی، و زیست‌محیطی بر علائم جسمانی، استرس، اضطراب، کارکرد، و نهایتاً بر میزان سلامت جسم و روان ساکنان محله نیز اثر می‌گذارند. در نتیجه می‌توان انتظار داشت بهبود سطح کیفی مؤلفه‌های ابعاد محیطی ذکر شده به سطح سلامت عمومی بالاتری در افراد و ساکنان آن محیط و در نهایت جوامع سالم‌تری منجر شود.

## مقدمه

شهری شدن مدرن که با آغاز عصر صنعت شکل گرفت، بر دامنه‌ی مشکلات و مسائل شهرها و شیوه‌ی زندگی اثر گذارد. همه‌ی گروه‌ها، طبقات، و اقشار اجتماعی را در بر گرفت. مشکلاتی از نوع انواع آلودگی‌ها در شهرها، مشکلات ناشی از تراکم جمعیتی، فعالیت‌های اجتماعی، دسترسی و ارتباطات شهری، و غیره، دولت‌های ملی و محلی را به چالش طلبیده و مورد بحث شهرسازان و معماران قرار گرفته است. رشد سریع شهرنشینی و توجه به مفاهیم فیزیکی و کالبدی و غفلت از اهداف اجتماعی در طرح‌های توسعه‌ی شهری، شهرها را با چرخه‌ی نامطلوبی از فقدان تعادل‌های اجتماعی - اقتصادی و زیست‌محیطی مواجه کرده است که این خود در شرایط زندگی امروزه، از یک‌سو باعث افزایش انواع بیماری‌های جسمی، افزایش میزان استرس‌های محیطی، افسردگی، انزوای اجتماعی، و مشکلات مختلف مربوط به سلامت روحی و جسمی افراد می‌گردد و از سوی دیگر، موجب بی‌توجهی به تعاملات اجتماعی، ترویج زندگی اتومبیل‌مدار، بی‌توجهی به تقویت روابط اجتماعی، و غیره می‌شود که منجر به اختلال در سلامت و تضعیف سرزندگی و نشاط اجتماعی جامعه‌ی امروزی شده است.

از دیدگاه جهانی سازمان بهداشت جهانی (WHO)<sup>۴</sup>، سلامت یکی از حقوق جامعه‌ی انسانی برای تأمین، حفظ، و ارتقای شرایط اجتماعی، اقتصادی، و محیط فیزیکی هر فرد ساکن در آن است. نابراین انسان‌ها برای دست یافتن به سلامت فردی و جامعه‌ای سالم، می‌باید به منابع مرتبط با سلامت دسترسی کافی داشته باشند.<sup>۵</sup> همچنین سلامتی یک امر چندبعدی است و باید توجه داشت که ابعاد مختلف سلامتی یا بیماری بر یکدیگر اثر می‌گذارند و از یکدیگر اثر می‌پذیرند.



شدن نقش محلات در زندگی روزمره افراد شده است.<sup>۷</sup> در حوزه شهرسازی تحلیل، طراحی و برنامه‌ریزی محلات سالم و پایدار از اهمیت بسیاری برخوردار است. هدف اصلی، طراحی محلات سالم بهبود کیفیت زندگی ساکنان و تحقق سلامت جسمی و روانی آنهاست. در این خصوص، از رویکردهای مختلفی در طراحی محلات سالم استفاده شده است. در این پژوهش، به بررسی رویکرد سلامت‌افزا (سالتوژنیک)<sup>۸</sup>، مترادف الگوی سلامت همه‌جانبه (جسمی روانی و اجتماعی) در طراحی و برنامه‌ریزی محلات سالم پرداخته می‌شود. به همین منظور امروزه در کشورهای توسعه‌یافته، به منظور افزایش توانایی افراد، جوامع، و جمعیت‌ها، در حفظ سلامت و رفاه شهروندان، همچنین عرضه چشم‌اندازی روشن نسبت به جنبه‌های مثبت زندگی (منابع، سلامت، رفاه، کیفیت زندگی) در مطالعات به رویکرد سلامت‌افزا (سالتوژن)<sup>۹</sup> توجه شده است. رویکرد سلامت‌افزا رویکردی متمرکز بر عوامل مؤثر بر سلامت و رفاه اجتماعی و رویکردی کل‌نگر و همه‌جانبه به مقوله سلامت است که در حوزه‌های مختلف بررسی می‌شود. در تحقیقی رابطه سلامت افراد (سلامت جسمی، روانی، و اجتماعی) با مؤلفه‌های رویکرد سلامت‌افزا شامل منابع مقاومت عمومی و احساس انسجام اجتماعی در افراد سالمند بالای ۶۵ ساله بررسی شده است و یافته‌های تحقیق نشان از آن دارد که به‌طور کلی، احساس انسجام اجتماعی قوی در میان افراد سالمند همیشه همبستگی بالایی با سلامت جسمی، روانی، و اجتماعی داشته است. همچنین منابع مقاومت عمومی، مانند قدرت ارزیابی، استراتژی‌های مقابله، و حمایت اجتماعی با احساس سلامتی، بهداشت عمومی، و کیفیت زندگی ساکنان همبستگی بالایی دارند. افراد سالمندی که به‌خاطر دسترسی به منابع مقاومت عمومی در شرایط بهتری هستند، احتمالاً احساس انسجام بالاتری نیز دارند و در نتیجه از سلامت جسمی،

سلامت روان فرد و جامعه در گرو مناسبات اجتماعی سالم است و عوامل تعیین‌کننده سلامت یک جامعه، شاخص‌هایی هستند که سلامت اجتماعی شناخته می‌شوند. سلامت اجتماعی یکی از ابعاد مهم سلامتی انسان است و نقش بسیار مهمی در تعادل زندگی اجتماعی او دارد و پوشش فراگیر آن در جامعه می‌تواند موجب توسعه اجتماعی گردد. در این باره، سازمان بهداشت جهانی نیز سلامت را نه فقط نبود بیماری یا معلولیت، بلکه به معنای رفاه کامل جسمی، روانی، و اجتماعی تعریف می‌کند. در این تعریف آن سازمان، برای اولین بار بر بعد اجتماعی سلامت نیز تأکید می‌شود، در صورتی که پیش از این بیشتر بعد جسمی آن مورد نظر بود و متولیان سلامت و حاکمان کشورها دو بعد روانی و اجتماعی سلامت را تا حد زیادی نادیده می‌گرفتند، که کشور ما نیز از این قاعده مستثنی نبوده است. از حدود دو دهه پیش WHO نسبت به این بی‌توجهی هشدار داده و به نقش ۸۵ درصدی عوامل روانی - اجتماعی اثرگذار بر سلامت اشاره کرده است. بعد اجتماعی سلامت شاخص‌های یکسانی ندارد و متناسب با هر منطقه شاخص‌های آن تعریف می‌گردد، اما در حالت کلی شامل مهارت، عملکرد، و توانایی هر فرد در جامعه و محیط زندگی‌اش در مواجهه با شرایط اجتماعی، اقتصادی، و کیفی زندگی اجتماعی اوست.<sup>۱۰</sup> محله‌ها و واحدهای همسایگی که بخشی از شبکه اجتماعی و زیستی انسان‌ها هستند، نقش بسیار عمیقی بر سلامت جسمانی، روانی، و اجتماعی آنها دارند. امروزه در بسیاری از محله‌های شهری در ایران، محدودیت‌های موجود، مانند کمبود سرانه فضای سبز و باز و دیگر فضاهای عمومی، محدودیت‌های کمی و کیفی خانه‌های مسکونی، کیفیت پایین محیط شهری، آلودگی هوا و مدیریت نامناسب، ضایعات شهری، آلودگی صوتی، و دیگر مشکلات محیطی، عوامل تهدیدکننده سلامت شهرنشینان هستند. علاوه بر این سبک جدید زندگی و تغییرات اقتصادی نیز منجر به کم‌رنگ

6. Ibid.

۷. اسماعیل شیعه و همکاران، «بررسی و تبیین مفهوم محله سالم در محلات سنتی ایران؛ مطالعه موردی: محله امام زاده یحیی تهران»، در مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال ۵، ش. ۱۷ (تابستان ۱۳۹۲): ۱-۲۰.

8. Salutogenic

9. Salutogenesis

روانی، و اجتماعی نسبتاً خوب و کیفیت زندگی قابل قبولی نیز برخوردارند.<sup>۱۰</sup>

پیوند میان منابع محیطی مکان و مؤلفه‌های رویکرد سلامت‌افزا، با توجه به منابع موجود در محیط‌های شهری، با پیامدهای مطلوب سلامتی مرتبط است. بیشتر مزایای سلامتی با افزایش فعالیت بدنی و ارتباط اجتماعی و محلی و یا کاهش نابرابری‌های بهداشتی مرتبط هستند. بنابر شواهد، ایجاد یک حس انسجام قوی ممکن است به فرایندهای مرتبط با برنامه‌ریزی و نگهداری و همچنین کیفیت منابع انسجام‌یافته وابسته باشد.<sup>۱۱</sup> همچنین از این رویکرد می‌توان به‌منظور کاهش آسیب در مناطق یا جمعیت‌های در معرض خطر، همچنین بهبود شرایط سلامت با توجه به ظرفیت محلات شهری با ایجاد و نگهداری منابع و مشارکت افراد در فرایندهای تصمیم‌گیری استفاده کرد.

با توجه به بررسی رویکردهای مرتبط با سلامت مشخص گردید که هریک از این رویکردها در تحقق اهداف خاص خودش مناسب و مورد استفاده است و به‌لحاظ هدف با رویکرد سلامت‌افزایی متفاوت هستند. هدف بسیاری از رویکردهای سلامت‌محور حمایت و تسهیل فرایند درمان هست که ممکن است استفاده از آنها برای طراحی و برنامه‌ریزی محلات شهری مناسب نباشد. با این حال، رویکرد سلامت‌افزا یک الگوی سلامت همه‌جانبه و یک راه حل نوین در طراحی و برنامه‌ریزی محلات سالم در حوزه شهرسازی است. در این رویکرد، هدف اصلی طراحی، بهبود کیفیت زندگی ساکنان و تحقق سلامت جسمی، روانی، و اجتماعی آنهاست. برای دستیابی به این هدف، نکته شایان توجه این است که ابعاد مختلف سلامت با یکدیگر مرتبطند و سلامت جسمی و روانی افراد به‌شدت به فضاهای زندگی آنها وابسته است. رویکرد سلامت‌افزا با تأکید بر ارتباطات اجتماعی، فضاهای عمومی، تنوع فرهنگی، و غیره

10. T. Khon-kiat et al., "Integrative Review: Salutogenesis and Health in Older People over 65 Years old", *Journal of Advanced Nursing*, 70(3) (2014): 497-510.

11. T. Bull, et al., "Assets for Well-being for Women Living in Deep Poverty: Through a Salutogenic Looking-Glass", *Critical Public Health*, 23(2) (2014): 160-173; R. Maass, et al., "Exploring the Relationships between Perceptions of Neighbourhood-resources, Sense of Coherence and Health in Different Groups in a Norwegian Neighbourhood", *Journal of Public Health Research*, 3(1) (2014): 11-20.

12. Charles Turner Thackrah (1795-1833)

13. A. Dannenberg, et al., "Economic and Environmental Costs of Obesity: the Impact on Airlines", *American Journal of Preventive Medicine*, 28(1) (2005), 145: 10.

14. Benjamin Ward Richardson (1828-1896)

موجب بهبود کیفیت زندگی ساکنان و ارتقای سلامت عمومی می‌گردد، به این رویکرد ارجح و نوین در پژوهش حاضر توجه شده است. ایجاد محیط‌های سالم و رسیدن به عدالت اجتماعی و زیست‌محیطی نیز از دیگر اهداف مهم این رویکرد است. در نتیجه می‌توان نابرابری‌های داخل و خارج شهرها را، که یکی از جنبه‌های بی‌عدالتی اجتماعی در سلامت است، با در نظر گرفتن اصول و شاخص‌های رویکرد سلامت‌افزا از میان برد.

محله قدیمی و باهویت سعدی در شهر شیراز، از حیث عناصر تاریخی، فرهنگی، و طبیعی و با توجه به پیشینه تاریخی آن، از اهمیت زیادی در سطح شهر برخوردار است. تأثیر عوامل مختلف درونی و بیرونی و برنامه‌ریزی و طراحی غلط و ناکارآمد، این محله را به محدوده‌ای با امنیت ولی به‌لحاظ زیست‌محیطی، اجتماعی، کالبدی، اقتصادی، و غیره با سطح پایین‌تری نسبت به دیگر محلات شهر تبدیل کرده است. بنابراین با توجه به مسائل، مشکلات، و پتانسیل‌های موجود در محلات شهری امروزی، رویکرد سلامت‌افزا می‌تواند نقش مؤثری در طراحی و برنامه‌ریزی بافت‌های شهری داشته باشد. از این رو بررسی ارتباط مؤلفه‌های کالبدی، اجتماعی، اقتصادی، و زیست‌محیطی محله با سلامت ساکنان و دست یافتن به راهکارهای طراحی و برنامه‌ریزی محلات سالم و سلامت‌افزا از ضرورت‌های مورد توجه در این تحقیق است.

**اهداف پژوهش:** این اهداف در دو دسته کلی و جزئی تقسیم می‌شوند:

**هدف کلان:** تدوین الگویی جدید در طراحی و برنامه‌ریزی محلات سالم با تأکید بر رویکرد سلامت‌افزا.

**اهداف خرد:** (۱) بررسی مفاهیم و اصول رویکرد سلامت‌افزا به‌منظور کاربست آن در طراحی محلات شهری سالم؛ (۲) بررسی نقش سلامت جسمی، سلامت روان، و سلامت اجتماعی در طراحی و برنامه‌ریزی محلات شهری سلامت‌افزا؛





۳) ارزیابی اثربخشی رویکرد سلامت‌افزا در ارتقای سلامت فیزیکی، روانی، و اجتماعی ساکنان محلات شهری؛  
۴) عرضه راهکارهای مناسب شهرسازانه به‌منظور تحقق سلامت شهروندان در محلات شهری.

## ۱. پیشینه تحقیق

چارلز تومر تاکرا<sup>۱۲</sup>، پزشک انگلیسی، اولین فردی بود که به‌صورت تخصصی نخستین نظریه‌اش را در مورد سلامت افراد چنین بیان کرد: «شرایط فیزیکی محیط زندگی افراد تعیین‌کننده سلامت آنهاست»؛ در آن زمان، این نظریه یک انقلاب محسوب می‌شد.<sup>۱۳</sup> نظریه بنجامین وارد ریچاردسون<sup>۱۴</sup> یکی از اولین نمونه‌های نظریات در مورد شهر سلامت بود که در سال ۱۸۷۶ چاپ شد. شهر خیالی او بر اساس استراتژی‌های محیطی و رفتاری طرح‌ریزی شده بود.<sup>۱۵</sup>

لیندستروم و اریکسون در مقاله «از محیط سالم به سمت جوامع سالم پایدار: رویکرد سلامت‌افزا به‌منظور برنامه‌ریزی و ارتقای سلامت»، زندگی سالم و به‌دست آوردن رفاه و کیفیت زندگی را در مشارکت و فعالیت دانسته‌اند. هدف اصلی آنها توانمندسازی جوامع در ارتقای سلامت و ایجاد شهرهایی بود که به ساکنانش اجازه زندگی فعال را می‌دهد. آنها به این نتیجه رسیدند که این عمل باعث افزایش فرصت‌های اجتماعی می‌شود.<sup>۱۶</sup>

آپرز و همکاران در مقاله‌ای با عنوان «تئوری سلامت‌افزایی آنتونوفسکی»<sup>۱۷</sup> به‌منظور ارتقای کیفیت زندگی: تحقیقی کیفی در مورد تجربیات جوانان مبتلا به بیماری‌های قلبی مادرزادی» بیان می‌کنند که آنتونوفسکی مفهوم تئوری سلامت‌افزا را بر ریشه‌های رفاه و حس یکپارچگی متمرکز می‌داند. آنها در این تحقیق به تجربیات بیماران قلبی مادرزادی نسبت به منابع و حوادث و رویدادهای اجتماعی زندگی با روشی کیفی و روش

تجزیه و تحلیل تطبیقی پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که محیط اجتماعی، فعالیت روزانه، رویدادهای زندگی، و استرس‌زا و کسالت‌آور نبودن محیط از عوامل مؤثر بر کیفیت زندگی این گروه شناخته می‌شود.<sup>۱۸</sup>

ماس و همکاران در مقاله‌ای با عنوان «کاربرد رویکرد سلامت‌افزا در شهرها» نشان می‌دهند که چگونه شهرها می‌توانند از طریق برنامه‌ریزی، طراحی، و سازماندهی شهری و همچنین همکاری بین بخش‌های مختلف، سلامت را در جامعه افزایش دهند. آنها امور مربوط به برنامه‌ریزی و نگهداری زیرساخت‌های سیستم‌های حمل‌ونقل، فضاهای سبز، و امکان پیاده‌روی را بر مقوله‌های مربوط به عدالت محیطی متمرکز می‌دانند و این نتایج را با مطالعات رویکرد سلامت‌افزا بررسی می‌کنند و با نتایج سلامت محیطی و اجتماعی پیوند می‌دهند.<sup>۱۹</sup> لیندرن و همکاران در مقاله «بازسازی محیط: یک مفهوم تکمیلی برای مطالعات رویکرد سلامت‌افزا» به بررسی این موضوع پرداختند که چگونه می‌توان با استفاده از مطالعات این رویکرد، با توجه به پویایی و تجدید منابع مورد نیاز، برای بازسازی محیط در جهت حفظ و ارتقای سلامت و رفاه در محیط‌های فیزیکی و اجتماعی، تلاش کرد.<sup>۲۰</sup>

کاپولونگ و همکاران در مقاله خود به استراتژی‌ها و اقدامات برنامه‌ریزی و طراحی شهری به‌منظور دستیابی به شهرهای سلامت‌افزا پرداخته‌اند. هدف اصلی آنها تعیین اهداف استراتژیک جدید برای دستیابی به آن نوع از شهرهاست. آنها ده نکته اساسی را در دستیابی به این هدف مؤثر می‌دانند: ۱- تغییرات آب‌وهوایی و مدیریت نامساعد آب‌وهوا؛ ۲- تاب‌آوری شهرها؛ ۳- آسایش و ایمنی؛ ۴- مصرف زمین و پراکندگی شهرها (کوچک شدن شهرها)؛ ۵- مناطق سبز و زیرساخت‌های شهری؛ ۶- مدیریت پسماندهای جامد شهری؛ ۷- مسائل و مشکلات مسکن در ارتباط با تغییرات اجتماعی، اقتصادی،

15. Ibid.

16. B. Lindstrom and M. Eriksson, "From Healthy Settings to Sustainable Healthy Societies: The Salutogenic Approach to Planning and Health Promotion", *World Health Design*, 4(2) (2011): 66-75.

17. Aaron Antonovsky (1923-1994)

18. S. Apers, et al., "Bringing Antonovsky's Salutogenic Theory to Life: A Qualitative into the Experiences of Young People with Congenital Heart Disease", *International Journal of Qualitative Studies on Health and Well-being*, 11 (29346) (2016): 1-11.

19. R. Maass, et al., "The Application of Salutogenesis in Cities and Towns", *Journal of Public Health Research*, 3(1) (2017): 171-179.

20. E. Lindern, et al., "The Restorative Environment: A Complementary Concept for Salutogenesis Studies", *Journal of Public Health Research*, 3(1) (2017).

و محیطی؛ ۸- برنامه‌ریزی زیست‌محیطی و کارایی انرژی؛  
 ۹- رفاه اجتماعی؛ و ۱۰- سبک جدید زندگی. نتایج تحقیق  
 آنها نشان می‌دهد، ارتباط بین ویژگی‌های مورفولوژیکی و  
 جدول ۱. بررسی روش انجام پژوهش‌های مرتبط با رویکرد سلامت‌افزا و نتایج مربوطه، تدوین: نگارندگان.

| نویسندگان           | سال انتشار | عنوان                                                                                                                         | روش تحقیق                   | نتایج تحقیق                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| چارلز تومر تاکرا    | ۱۸۳۳-۱۷۹۵  | نظریه‌های نخستین درباره تأثیر شرایط فیزیکی محیط بر سلامت                                                                      | نظریه‌پردازی تخصصی          | شرایط فیزیکی محیط زندگی افراد تعیین‌کننده سلامت آنهاست و این نظریه در زمان خود یک انقلاب محسوب می‌شد.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| کاپولونگ و همکاران  | ۲۰۱۸       | استراتژی‌ها و اقدامات برنامه‌ریزی و طراحی شهری به‌منظور دستیابی به شهرهای سالوژنیک                                            | تحلیلی                      | در این تحقیق اهداف استراتژیک جدید برای شهرهای سالم تعیین گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد ارتباط بین ویژگی‌های مورفولوژیکی و عملکردی ساخت شهر و سلامت عمومی برای شهرهای معاصر و جوامع مدرن بسیار مهم است.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| جانی و همکاران      | ۲۰۱۸       | طراحی سلامت‌افزا در تعامل با سلامت کودکان                                                                                     | روش قیاسی و استقرایی (کیفی) | در این تحقیق ویژگی‌هایی از طراحی فضای مراقبت‌های بهداشتی و سلامت کودکان که باید در نظر گرفته شوند تا رفتار کودکان در آن فضا تسهیل شود و روند بهبودی آنها با سرعت بیشتر و کیفیت بهتری انجام شود، بیان شده است.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| آبرز و همکاران      | ۲۰۱۶       | تئوری سلامت‌افزا آنتونوفسکی به‌منظور ارتقای کیفیت زندگی: تحقیقی کیفی در مورد تجربیات جوانان مبتلا به بیماری‌های قلبی مادرزادی | توصیفی (کیفی)               | نتیجه این تحقیق به این‌صورت است که محیط اجتماعی، فعالیت روزانه، رویدادهای زندگی، استرس و عدم کسالت‌آور بودن محیط، از عوامل مؤثر بر کیفیت زندگی این گروه شناخته شده است.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| بول و همکاران       | ۲۰۱۳       | ارتقای کیفیت زندگی زنانی که در فقر زندگی می‌کنند از طریق سلامت‌افزا                                                           | توصیفی (کیفی)               | به این نتیجه می‌رسند که با تمرکز بر دارایی و ظرفیت مردم و محیط و همچنین مشارکت در فرایندهای تصمیم‌گیری می‌توان به حس مکان، حس یکپارچگی، و عدالت اجتماعی دست یافت.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| لیندستروم و اریکسون | ۲۰۰۵       | سالتوژنسیس                                                                                                                    | توصیفی (کیفی)               | در این پژوهش چارچوبی نظری به‌منظور ارتقای سلامت و دستیابی به اصول سلامت عرضه می‌شود.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| ماس و همکاران       | ۲۰۱۷       | بررسی منابع محلات به‌منظور ارتقای SOC (حس انسجام و هماهنگی) و نحوه کارکرد این منابع: رویکرد تئوری پایه                        | توصیفی (کیفی)               | به این نتیجه رسیدند که مشارکت فعال باعث افزایش فرایندهای اجتماعی و افزایش استفاده از منابع و ظرفیت‌های موجود در محیط می‌شود.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| لیندستروم و اریکسون | ۲۰۱۱       | از محیط سالم به سمت جوامع سالم پایدار: رویکرد سلامت‌افزا به‌منظور برنامه‌ریزی و ارتقای سلامت                                  | توصیفی (کیفی)               | زندگی سالم و به‌دست آوردن رفاه و کیفیت زندگی را در مشارکت و فعالیت دانسته‌اند و هدف اصلی آنها توانمندسازی جوامع برای ارتقای سلامت و ایجاد شهرهایی است که به ساکنانش اجازه زندگی فعال را می‌دهد. آنها به این نتیجه رسیدند که این عمل باعث افزایش فرصت‌های اجتماعی می‌شود.                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| لیندرن و همکاران    | ۲۰۱۷       | بازسازی محیط: یک مفهوم تکمیلی برای مطالعات رویکرد سلامت‌افزا                                                                  | توصیفی (کیفی)               | می‌توان با استفاده از مطالعات رویکرد سلامت‌افزا (سالتوژن) با توجه به بویایی و تجدید منابع مورد نیاز به‌منظور حفظ و ارتقای سلامت و رفاه در محیط‌های فیزیکی و اجتماعی به بازسازی محیط پرداخت.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| ماس و همکاران       | ۲۰۱۷       | کاربرد سالتوژنسیس در شهرها                                                                                                    | توصیفی (کیفی)               | این پژوهش به بررسی عملکرد شهرها از طریق برنامه‌ریزی شهری، طراحی و سازماندهی، و همکاری در بخش‌ها در راستای ارتقای سلامت اختصاص دارد. در این پژوهش نتیجه‌گیری می‌شود که نحوه سازماندهی شهرها یکی از جنبه‌های تعیین‌کننده اجتماعی سلامت است و می‌تواند چندین جنبه از بی‌عدالتی اجتماعی را آشکار یا متعادل کند.                                                                                                                                                                                                                                                   |
| زیگلر               | ۲۰۱۴       | استفاده از یک مدل طراحی سلامت‌افزا در معماری مسکن افراد کم‌درآمد                                                              | اکتشافی (کمی)               | در این تحقیق نتیجه‌گیری شد که (۱) هنگام تدوین یک اصل یا دستورالعمل در پروژه، (۲) در حین طراحی، و (۳) هنگام ارزیابی یک پروژه، باید انطباق با رویکرد سلامت‌افزا بررسی شود.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| واندراگر و کندی     | ۲۰۱۷       | کاربرد سالتوژنسیس در جوامع و محلات                                                                                            | توصیفی (کیفی)               | در این پژوهش ابعادی از رویکرد سلامت‌افزا که باید در طراحی محلات مد نظر قرار گیرند، بررسی شده است. این ابعاد عبارتند از: (۱) توجه به طراحی سبز جاده‌ها و مسیرهای حمل‌ونقل؛ (۲) فراهم کردن طیف وسیعی از فضاهای باز برای استفاده مردم مانند: بوستان‌ها، باغ‌ها، تراس‌ها، میادین، آبراه‌ها، و رودخانه‌ها، نه تنها در فضاهای مسکونی بلکه در محیط اطراف مشاغل؛ (۳) متعادل کردن سطوح نرم و پوشش رویشی برای بهداشت هوا و کنترل دما؛ (۴) تهیه درختان برای سایه و سرپناه، جاذبه بصری، و طبیعت اطراف؛ (۵) استفاده از طبیعت به‌مثابه یک عنصر یکپارچه در برنامه‌ریزی محیط. |

## ۲. مبانی نظری

### ۱.۲. رویکرد سلامت‌افزا در طراحی فضا، محله، و شهر

در حال حاضر محیط شهری و شهرهای مدرن با «پارادوکس بهداشت عمومی» مواجه هستند. در این پارادوکس، از یک سو، در مناطق شهری باید به ایجاد سرپناه و حفاظت از مردم و ارتقا و حمایت از سلامت جمعی آنها توجه شود و از سوی دیگر، این مناطق به مصرف انرژی بالایی احتیاج دارند که با استفاده از پارادوکس بهداشت عمومی به این مسائل پاسخ می‌دهند.<sup>۲۳</sup> همچنین محیط ساخته‌شده تأثیر زیادی بر سلامتی و کیفیت زندگی دارد و شواهد نشان می‌دهد که محیط ساخته‌شده بر زندگی فعال، سلامت جسمی، سلامت روحی، و سلامت اجتماعی ساکنان در محیط‌های شهری اثر مستقیم و غیرمستقیمی می‌گذارد.<sup>۲۴</sup> اقدامات فردی برای بهبود شیوه زندگی و وضعیت سلامتی احتمالاً تحت تأثیر محیط اجتماعی و اقتصادی نیز هست که در فضاهای ساخته‌شده اتفاق می‌افتد. محیط‌های ساخته‌شده بر شرایط داخلی و خارجی<sup>۲۵</sup> و همچنین محیط اجتماعی<sup>۲۶</sup> و متعاقباً بر سلامتی و کیفیت زندگی تأثیر می‌گذارند. بنابراین یک روش جدید برای بررسی نحوه طراحی محیط‌های ساخته‌شده به منظور ارتقای سلامت و رفاه مورد نیاز است که رویکرد طراحی سلامت‌افزا به همین منظور پدید آمده است.<sup>۲۷</sup> در سال‌های اخیر، اصطلاح سلامت‌افزا (سالتورنیک)، با در نظر گرفتن سلامت و مراقبت‌های بهداشتی، برای توصیف الگویی از تأثیرات اجتماعی - محیطی بر سلامتی ابداع شده است. طراحی‌های سلامت‌افزا شامل طراحی زمین‌های متعلق به بوستان‌های شهری، مناطق مرتفع، منظره‌های قابل مشاهده در آسمان، یا حتی نمایش تصویری، و ... است.<sup>۲۸</sup> رویکرد سلامت‌افزا مفهومی است که، جامعه‌شناس پزشکی، آرون آنتونوفسکی در اواخر دهه ۱۹۷۰ ابداع کرده است. این

رویکرد بیشتر بر آنچه باعث ایجاد بیماری می‌شود، تمرکز دارد. آنتونوفسکی سلامتی را با توانایی درک، مدیریت، و معنا بخشیدن به اضطراب پیوند می‌دهد. این توانایی را حس انسجام می‌نامند. هرچه حس انسجام بیشتر باشد، تأثیر استرس بر سلامت روانی و جسمی کمتر خواهد بود.<sup>۲۹</sup> استراتژی‌های سلامت‌افزایی شامل تلاش برای ایجاد و تقویت بهداشت جسمی، روحی، اجتماعی، و حرکت به سمت بهزیستی بهینه است.<sup>۳۰</sup>

استفاده از رویکرد سلامت‌افزا در بافت شهر به ما امکان تجربه منابع در سطوح مختلف را می‌دهد تا آنها را از طریق مفاهیم منابع مقاومت عمومی و حس انسجام، به نتایج سلامت پیوند دهیم. همچنین از طریق تقویت منابع در محلات و بافت‌های شهری می‌توان حس انسجام را نیز تقویت کرد. تجربه سلامتی به تعامل بین منابع محیطی و احساس انسجام فردی و چگونگی استفاده از منابع به حس انسجام بستگی دارد، این درحالی است که احساس انسجام قوی‌تر ممکن است باعث ارتقای سلامتی در جوامع محلی گردد؛ حتی در یک محیطی که از لحاظ منابع و دارایی در فقر به سر می‌برد. اما منابعی که به راحتی قابل شناسایی و استفاده باشند، ممکن است به خاطر استفاده برای ارتقای سلامتی، اهمیت بیشتری بیابند. این امر موجب انسجام اجتماعی افراد دارای روابط اجتماعی ضعیف‌تر نیز و همین‌طور ارتقای سلامت افراد در جوامع محلی می‌شود. بالین‌حال، رضایت زیاد از کیفیت منابع ممکن است به تعادل بین نقاط ضعف و احساس انسجام اجتماعی ضعیف‌تر کمک کند. تمرکز بر توسعه منابع ممکن است یک راهکار مفید برای کاهش نابرابری از حیث سلامت باشد.<sup>۳۱</sup>

### ۲.۲. اهداف و راهبردهای کلیدی رویکرد سلامت‌افزا

اهداف و راهبردهای کلیدی مورد نظر در این رویکرد، در سه

21. S. Capolongo, et al., "Healthy Design and Urban Planning Strategies, Actions, and Policy to Achieve Salutogenic Cities", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(12) (2018): 26-98.  
22. Ibid.  
23. K. Villanueva, et al., "The Impact of the Built Environment on Health across the Life Course: Design of a Cross-sectional Data Linkage Study", *BMJ Open*, 3(1) (2013): e002482.

۲۴. به‌طور مثال: شرایط آب‌وهوایی و کیفیت هوای داخلی و خارجی

۲۵. به‌طور مثال: مشارکت اجتماعی، پذیرش اجتماعی، و سرمایه‌گذاری اجتماعی

26. S. Srinivasan, et al., "Creating Healthy Communities, Healthy Homes, Healthy People: Initiating a research agenda on the built environment and public health. *Am J Public Health*, 93(9) (2013): 1446-1450.

27. J.A. Golembiewski, "Salutogenic Architecture in Healthcare Settings", in *The Handbook of Salutogenesis*, 2017, 267-276.



| طراحی سالم و سلامت افزا و استراتژی‌ها، اقدامات، و برنامه‌ریزی شهری                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| الف) پایداری زیست‌محیطی و اجتماعی                                                                                                                                                                     | ب) انطباق با تغییرات آب‌وهوا                                                                                                                                    | ج) پاسخ‌های جدید به نیازهای جمعیت                                                                                                                                     |
| ۱- استفاده مناسب از زمین، بهینه‌سازی پراکندگی و کاهش وسعت شهرها<br>۲- مدیریت پسماندهای جامد شهری<br>۳- ابعاد انرژی و برنامه‌ریزی زیست‌محیطی در مقیاس شهری<br>۴- شبکه کمک و رفاه اجتماعی در مقیاس شهری | ۵- تغییر آب‌وهوا و مدیریت حوادث به‌علت شرایط نامساعد جوی<br>۶- شهرنشینی تاکتیکی و تاب‌آوری شهری<br>۷- الزام‌های خانگی به‌خاطر تغییرات اجتماعی، اقتصادی، و محیطی | ۸- اشکال جدید زندگی، آگاهی از الگوهای مشارکت و آگاهی از به اشتراک گذاشتن اهداف کیفی<br>۹- آسایش، ایمنی، و درک شهری<br>۱۰- نقاط قوت و ضعف مناطق سبز و زیرساخت‌های شهری |

جدول ۲ (بالا). اهداف و نکات کلیدی برای استراتژی‌های طراحی و برنامه‌ریزی شهری مطابق با رویکرد سلامت‌افزا، مأخذ: Capolongo, et al., "Healthy Design and Urban Planning Strategies, ...", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(12) (2018): 26-98.

جدول ۳ (پایین و صفحه روبه‌رو). استراتژی‌های عملی اهداف و راهبردهای کلیدی رویکرد سالتوژنز، مأخذ: Ibid.

دسته طبقه‌بندی شده‌اند: پایداری زیست‌محیطی و اجتماعی، انطباق با تغییرات آب‌وهوا، و پاسخ‌های جدید به نیازهای جمعیت (جدول ۲).

| اهداف و راهبردهای کلیدی رویکرد سلامت‌افزا | ۱- مدیریت تغییرات آب‌وهوایی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ۲- مدیریت پسماندهای جامد شهری                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ۳- ابعاد انرژی و برنامه‌ریزی زیست‌محیطی در مقیاس شهری                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ۴- شبکه کمک و رفاه اجتماعی در مقیاس شهری                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ۵- تغییر آب‌وهوا و مدیریت حوادث به‌علت شرایط نامساعد جوی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| استراتژی‌های عملی                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- راهبردهای مداخله برای کاهش مرگ‌ومیر ناشی از تغییرات اقلیمی، خصوصاً اثرات گرم‌ا.</li> <li>- بهبود کیفی و عملکردی ابزار کاهش ذرات خاکی از طریق حفظ گیاهان سبز و استفاده از ابزار چوبی.</li> <li>- ترویج اقدامات کاهش خطرات شامل رسیدگی به دسترسی به مواد غذایی و تدوین برنامه‌های اقدامات تاب‌آوری به‌خصوص در مناطق آسیب‌پذیر.</li> <li>- به‌منظور مقابله با دلایل اصلی تغییرات آب‌وهوایی، افزایش سلامت عمومی با توجه به محیط‌های سالم و حمایت از تحولات مرتبط با سلامتی به‌منظور کاهش بیماری و ارتقای سلامت افراد.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- سیاست‌گذاری مؤثر مستلزم درک صحیحی از وضعیت محیط و وضعیت فعلی تغییرات محیطی است. نظارت بر محیط زیست، مستندسازی شرایط محیطی، و شناسایی و درک بهتر از تغییرات می‌تواند بسیار مفید باشد.</li> <li>- شاخص پراکندگی زمین و ویژگی‌های ذکرشده می‌تواند به برنامه‌ریزان کاربری زمین کمک کند تا برنامه‌های پیش‌بینی‌شده را به‌طور جدی ارزیابی و پراکندگی شهری و پیامدهای منفی آن را کنترل کنند.</li> <li>- در نظر گرفتن یک شاخص پراکندگی که چندین متغیر اقتصادی و اجتماعی را در بر می‌گیرد، یعنی اطلاعات مربوط به زیرساخت‌های حمل‌ونقل (تراکم جاده و تراکم راه‌آهن)، جمعیتی (تراکم جمعیت و ساختار سنی)، وضعیت اقتصادی (تولید ناخالص داخلی و نسبت اشتغال)، اثربخشی دولت و تغییر در سبک زندگی (به‌طور مثال: اندازه خانوار و مالکیت خودرو) که محرک‌های مؤثر در گسترش شهرها هستند.</li> <li>- شاخص پراکندگی متناسب زمین مستلزم بررسی استراتژی‌های کاهش توسعه ازجمله ارتقای حمل‌ونقل فعال (به‌طور مثال: وسایل نقلیه، سوخت‌ها، و غیره) است.</li> <li>- نظارت بر برنامه‌ریزی پراکندگی شهری در قوانین محیط زیست، به‌منظور طراحی فضاهای سبز برای ارتقای سلامت محیطی در همه ابعاد سلامتی (مانند: افزایش فعالیت بدنی، کاهش قرار گرفتن در معرض آلودگی هوا) در بهبود سلامت روان مفید خواهد بود.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- حرکت از رویکرد تاکتیکی، متمرکز بر واکنش سریع آن رویداد، با تمرکز بر مدیریت بلندمدت.</li> <li>- آماده‌سازی برای حوادث به‌منظور اطمینان از واکنش‌های بعد از آن.</li> <li>- شیوه‌های «ساختن بهتر» در زمینه بهبود، توان‌بخشی و بازسازی.</li> <li>- بهبود مقاومت در برابر زیرساخت‌های بهداشتی، میراث فرهنگی، و مکان‌های کار و فعالیت.</li> <li>- به‌منظور رفع خطرات قریب‌الوقوع مؤثر بر سلامتی، ناشی از شرایط نامساعد زندگی و نبود دسترسی به خدمات اساسی. این امر به ساکنان اجازه می‌دهد فراتر از آسیب‌پذیری‌های اساسی بیندیشند و شروع به تدوین راهبردهای مقابله با اختلالات احتمالی کنند.</li> <li>- ارتقای تاب‌آوری اجتماعی با هدف همراهی فرایند نوآوری واقعی سیاست‌های متعارف.</li> <li>- افزایش آگاهی در بین سیاست‌گذاران در ایجاد تمایز بین برنامه‌ریزی و اجرای برنامه.</li> <li>- تشویق فرصت‌های آموزشی برای طراحان، با هدف دستیابی به مهارت‌های لازم برای مقابله با تنش موجود بین نیاز به مشارکت ساکنان در فرایند بازطراحی فضاها و لزوم به‌دست آوردن راه‌حلی با کیفیتی استاندارد.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- تدوین ممیزی‌های زیست‌محیطی در فضاهای عمومی.</li> <li>- طراحی استراتژی‌های تقویت روابط همسایگی برای تقویت انسجام جامعه.</li> <li>- ارتقای ابتکارات عدالت در جامعه برای بهبود رفتار با مجرمان و افزایش رضایت قربانیان از سیستم دادگستری.</li> <li>- در نظر گرفتن استراتژی‌هایی که موجب کاهش خشونت و آزار و اذیت به زنان و بهبود دسترسی به خدمات برای ایشان می‌شود.</li> <li>- افزایش آگاهی عمومی از هرگونه کاهش در میزان جرم یا عوامل خطر مرتبط با وقوع جرم.</li> <li>- افزایش نقش پلیس در امنیت جامعه.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- نگهداری و توسعه مناطق سبز.</li> <li>- توسعه فضاهای سبز با توجه به شرایط اقلیمی و بومی (مثلاً گیاهانی که ظرفیت بیشتری برای جذب CO<sub>2</sub> دارند).</li> <li>- افزایش ایمنی فضای سبز از نظر کاربرد، تجهیزات، و امنیت اجتماعی (مثلاً از طریق روشنایی مناسب و ادغام خدمات).</li> <li>- تدوین استراتژی‌هایی برای تأمین دسترسی همه کاربران به فضاهای سبز، هم از حیث دسترسی (مانند نزدیکی به مناطق سبز، دید مطلوب به فضاهای سبز، و غیره) و هم قابلیت استفاده (مانند دسترسی فیزیکی از مسیرهای پیاده، و غیره).</li> <li>- استفاده از تجهیزات و مبلمان شهری مطابق با ملزومات قابلیت استفاده، لذت، و کیفیت در طی زمان.</li> <li>- در نظر گرفتن استراتژی‌هایی که مشارکت جامعه محلی را در طراحی مناطق سبز ترغیب می‌کند.</li> </ul> |



28. E. Ziegler, *Application of a Salutogenic Design Model to the Architecture of Low-income Housing*, Doctoral Dissertation, University of British Colum, 2014.

ادامهٔ جدول ۳.  
استراتژی‌های عملی اهداف  
و راهبردهای کلیدی رویکرد  
سالتوژنز، مأخذ: Ibid.

| اهداف و راهبردهای<br>کلیدی رویکرد<br>سلامت افزا | ۶- شهرنشینی تاکتیکی و تاب‌آوری شهری                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ۷- اورژانس‌های خانگی در رابطه<br>با تغییرات اجتماعی، اقتصادی و<br>محیطی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ۸- اشکال جدید زندگی، آگاهی از الگوهای<br>مشارکت و آگاهی از به اشتراک گذاشتن<br>اهداف کیفی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | ۹- آسایش، ایمنی و<br>درک شهری                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | ۱۰- نقاط قوت و<br>ضعف مناطق سبز و<br>زیرساخت‌های شهری                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| استراتژی‌های عملی                               | <p>– آشنا کردن افراد با شیوه‌های جمع‌آوری زباله و نظارت مستمر بر صحت جمع‌آوری زباله‌ها.</p> <p>– برنامه‌نویسی دستگاه‌های دیجیتالی و هوشمند نوآورانه، مانند برنامهٔ تلفن‌های هوشمند، قادر به تسهیل در جمع‌آوری زباله‌های متمایز و فعال ساختن شهروندان در پروسه‌های گزارش از موقعیت‌های غیرعادی و کنترل آن در کل شهر.</p> <p>– انتشار شیوهٔ «برگشت‌پذیر» مانند میلان و استکهلم که امکان کاهش فوری و چشمگیر زباله‌ها را فراهم می‌کنند.</p> <p>– تعویض سطوح معمولی با سطوح‌های هوشمند که می‌توانند نظارت دقیق و مستمر در جمع‌آوری زباله‌ها را به‌ویژه در اماکن عمومی فراهم کنند.</p> <p>– افزایش «سیستم جمع‌آوری زباله‌های اتوماتیک» (اسلو و استکهلم) که جایگزین کامیون‌های زباله می‌شوند (انتشار آلاینده‌ها و احتقان جاده کاهش می‌یابد) و جمع‌آوری منظم زباله‌ها.</p> | <p>– به روزرسانی مقررات ساختمان و هماهنگی آنها با مسائل بهداشتی، به‌ویژه مسائل مربوط به مسکن.</p> <p>– در هنگام انتخاب سایت برای مسکن موقت، در نظر گرفتن تأمین آب سالم ضروری است.</p> <p>سطح کافی سیستم‌های انرژی گرمایی، زهکشی طبیعی، امنیت روانی – اجتماعی، اقتصادی، جسمی، و سیاسی، و دسترسی به مسیرهای ارتباطی، تأمین مواد غذایی ایمن.</p> <p>– رعایت حداقل الزامات بهداشتی در محلات و جوامع: دفع مناسب زباله و فاضلاب، تأمین آب سالم، محافظت در برابر بیماری‌های عفونی، جلوگیری از ازدحام بیش از حد، به حداقل رساندن جنبه‌های روانی – اجتماعی جابه‌جایی.</p> | <p>– به حداقل رساندن مصرف انرژی ساختمان‌ها از طریق جهت‌گیری مناسب مسیرها و بلوک‌ها نسبت به انرژی خورشیدی و بادهای غالب.</p> <p>– به حداکثر رساندن بهره‌وری از فناوری‌های تبدیل انرژی.</p> <p>– بهینه‌سازی چرخهٔ آب با نظارت صحیح (جمع‌آوری، رسوب‌گذاری، سیستم‌های ذخیره‌سازی و تحویل) و ارتقای سیستم‌های زهکشی پایدار شهری (سقف‌های سبز، روکش‌های متخلخل، و غیره).</p> <p>– ذخیره‌سازی گرما و بازتاب اشعهٔ خورشیدی.</p> <p>– طراحی درست جریان‌های هوایی و مسیرهای بادی (هندسهٔ شهری دره و نفوذ باد در منطقهٔ ساخته‌شده) با استفاده از نسیم، ساختمان‌های کم‌ارتفاع و پارک‌های خطی، تهویهٔ مناسب در زمستان و تابستان نیز بسیار مهم خواهد بود.</p> | <p>– بهبود ارتباط با محله‌های دیگر، به‌ویژه در مورد مکان و زمان خدمات، به‌ویژه خدمات مراقبت‌های اولیه.</p> <p>– به رسمیت شناختن ساختارها که به‌لحاظ کالبدی از ویژگی‌های داخلی و خارجی دل‌پذیر و جذابی برخوردار باشد.</p> <p>– فراهم آوردن امکانات تعاملی با بافت شهری اطراف، به‌ویژه در مورد محله‌های محروم اجتماعی.</p> <p>– تسهیل در ادغام بین نهادها، به‌ویژه مجاورت با بافت اجتماعی و اجتماعی محلی.</p> | <p>– تعریف استانداردهای مسکن که ضریب بهره‌وری انرژی، سلامتی و قابلیت زندگی را تضمین می‌کند.</p> <p>– تمرکز بر اجرای مداخلات مؤثر و پایدار مسکن اجتماعی از طریق بهینه‌سازی نسبت کیفیت پایین، کم‌هزینه، و راحتی بالا برای زندگی.</p> <p>– بهبود وضعیت مسکن، ترویج اشکال جدید زندگی.</p> <p>– ارتقای آموزش برای به اشتراک گذاشتن فضا و مدیریت مشترک خدمات با هدف معاشرت و بهبود وضعیت اقتصادی.</p> |

عملی، می‌توان نتیجه گرفت که از منظر سلامتی، محیط‌های غنی برای یادگیری و زمینه‌های معنی‌دار نقش مهمی در سطح جامعه دارند.

از آنجاکه بسیاری از برنامه‌های جامعهٔ سلامت‌افزا ممکن است تحت تأثیر سایر عوامل ساختاری، یعنی فقر، بیکاری و بحران اقتصادی، گسترده‌تر باشد، سرمایه‌گذاری در جوامع باید با برنامه‌ریزی‌های ساختاری گسترده‌تر همراه باشد.<sup>۳۲</sup> از آنجاکه نظریهٔ سلامت‌افزا از سطح اعتبار بالایی برخوردار است، مداخلات خاصی برای طراحی در بر دارد که پایه‌ای است برای تصمیم‌گیری آگاهانه؛ حتی در صورت فقدان دانش خاص در این حوزه، راه‌حل‌های آسانی را فراهم می‌کند که مناسب شرایط بسیار پیچیده باشند.<sup>۳۳</sup>

نمی‌توان ادعا کرد که نظریهٔ سالتوژنیک الگوی کاملی است، اما به‌رحال یک تئوری دارای چشم‌انداز است، و روش‌های دیگر در درک موضوعات سلامت در طراحی از این مزیت بی‌بهره هستند.<sup>۳۱</sup> نکات کلیدی که در طراحی شهری به‌منظور توسعهٔ سلامت باید به کار گرفته شوند، در «جدول ۴» مشاهده می‌شود.

آنتونوفسکی، طراح مدل سلامت‌افزا، لزوم درک تقاضای دوجانبه یا متقابل این مدل را، به‌طور اصولی، نیازمند هم احساس انسجام (حس سازگاری و هماهنگی) و هم تعامل با منابع مقاومت عمومی می‌داند؛ این امر در تحقیقات در حوزهٔ رویکرد سلامت‌افزا این بار، بعد از گذشت زمان، نه‌تنها در محله، بلکه در هر جامعه‌ای که در آن اتصال اجتماعی نمونهٔ بارز منابع مقاومت عمومی است، مشاهده می‌شود. از نظر

## ۳.۲. منابع مقاومت عمومی (GRRS)<sup>۳۴</sup>

29. R. Mazuch, "Salutogenic and Biophilic Design as Therapeutic Approaches to Sustainable Architecture", *Architectural Design*, 87(2) (2017): 42-47.

30. R. Maass, et al., "Exploring the Relationships between Perceptions of Neighbourhood-resources, Sense of Coherence and Health in Different Groups in a Norwegian Neighbourhood", *Journal of Public Health Research*, 3(1) (2014): 11-20.

جدول ۴. نکات کلیدی طراحی شهری سالم بر اساس رویکرد سالتوژن، مأخذ: Ibid.

| ردیف | راهبردهای پیشگیری از بیماری و ارتقاء سلامت در مناطق شهری بر اساس رویکرد سالتوژن                                  |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | ترویج مداخلات برنامه‌ریزی شهری که شهروندان را به سمت رفتارهای سالم سوق می‌دهد.                                   |
| ۲    | بهبود شرایط زندگی در بافت شهری.                                                                                  |
| ۳    | ساختن یک شهر در دسترس و فراگیر، با توجه به جمعیت سالمند.                                                         |
| ۴    | تشویق به ایجاد زیرساخت تاب‌آور در مناطق شهری.                                                                    |
| ۵    | حمایت از توسعه اقتصادی به روش‌های جدید و اشتغال از طریق مداخلات نوسازی شهری.                                     |
| ۶    | مقابله با نابرابری‌های اجتماعی.                                                                                  |
| ۷    | بهبود آگاهی ذی‌نفعان از عوامل مؤثر در بهداشت عمومی در شهرها.                                                     |
| ۸    | حصول اطمینان از مشارکت همگانی در مدیریت شهری.                                                                    |
| ۹    | معرفی ابزارهای عملکردی کیفی و کمی، قادر به سنجش نگرش شهر در جهت ارتقای شیوه زندگی سالم و پایش وضعیت سلامت جمعیت. |
| ۱۰   | تشویق به اشتراک‌گذاری دانش و دسترسی به اطلاعات.                                                                  |

کمک کند که در مقابله با استرس، با اطمینان به خود بیشتر و بهتر قادر به مقابله با استرس باشند.

– **مهارت‌های مقابله:** داشتن راهبردهای مقابله مؤثر، مانند روش‌های حل مسئله یا روش‌های احساس آرامش، به افراد کمک می‌کند تا استرس را مدیریت و با آن مقابله کنند.

– **مقاومت:** افراد مقاوم قادر به بازگشت از سختی‌ها هستند و حس امید بیشتری نسبت به زندگی و خود دارند.

مثال‌هایی از منابع مقاومت عمومی خارجی نیز عبارتند از: – **حمایت اجتماعی:** داشتن شبکه‌ای از دوستان، اعضای خانواده، یا همکاران حامی می‌تواند به لحاظ روانی و عملی در زمان مواجهه با استرس بسیار کمک‌کننده باشد.

– **منابع مالی:** دسترسی به منابع مالی، مانند پس‌انداز یا بیمه، به افراد در مقابله با هزینه‌های غیرمنتظره یا از دست دادن شغل کمک می‌کند.

– **دسترسی به خدمات بهداشتی:** این دسترسی کمک می‌کند تا افراد مشکلات جسمی و روانی خود را مدیریت کنند.

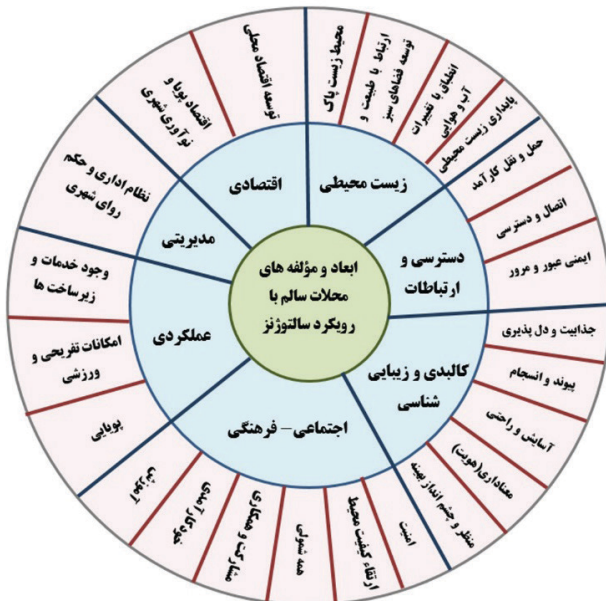
به‌طور کلی، منابع مقاومت عمومی به‌منظور ترویج مقاومت و کمک به افراد در مقابله با استرس و سختی‌ها بسیار حایز اهمیت هستند. همچنین با شناسایی و تقویت این منابع، افراد می‌توانند توانایی مدیریت وضعیت‌های چالش‌برانگیز را بهبود بخشند و سلامت خود را حفظ کنند.

همه این منابع از پیش‌نیازهای زندگی معنادار و منسجم هستند که مقابله و مدیریت عوامل تنش‌زا را تسهیل می‌کنند و فقدان این منابع می‌تواند عوامل استرس‌زا را تشدید کند. منابع مقاومت عمومی منجر به تجربه زندگی موفق و تقویت انسجام می‌شود. از نظر آنتونوفسکی بین منابع مقاومت عمومی و احساس انسجام رابطه معناداری هست و منابع مقاومت عمومی نقش اساسی در ایجاد حس سازگاری و هماهنگی دارند.<sup>۳۵</sup>

31. Golembiewski,  
"Salutogenic Architecture in  
Healthcare Settings", 267-276.

ت ۱ (راست). رابطه بهزیستی و  
سلامتی با احساس انسجام، مأخذ:  
Joseph, Stephen., Sagy, Shifra.  
(2017). Positive Psychology in  
the Context of Salutogenesis.  
The Handbook of Salutogenesis,  
Journal of Public Health  
Research, 87

ت ۲ (چپ). ابعاد و مؤلفه‌های محلات  
سالم با رویکرد سلامت‌افزا، تدوین:  
نگارندگان.



روش آمیخته است.

از آنجا که مبحث سلامت محیطی خصوصاً سلامت اجتماعی یک مفهوم چندبعدی است و شاخص‌های مورد بحث در آن از نوع شاخص‌های کمی و کیفی یا به عبارتی ذهنی و عینی هستند، به‌منظور سنجش هریک از انواع شاخص‌ها، دو روش قابل‌بیان است: روش‌هایی که مبتنی بر سنجش مشاهده مبنا هستند؛ این روش‌ها به‌طور کلی برای سنجش شاخص‌های عینی به کار می‌روند. روش یا روش‌های دیگر مبتنی بر پیامد دارای ارتباطات معنایی قوی‌تری هستند و به‌منظور ارزیابی معیارهای ذهنی محیط از طریق سنجش میزان رضایتمندی و یا نارضایتی ساکنان از محله‌شان استفاده می‌شوند.<sup>۳۸</sup> در این مطالعه هم مسائل کیفی شامل ارزش‌های کالبدی - فضایی و جنبه‌های زیست‌محیطی، زیبایی‌شناسی و ادراکی - ذهنی محله و هم سنجش‌های کمی و عددی پژوهش مدنظر هستند. حساس‌ترین مرحله این تحقیق چگونگی سنجش

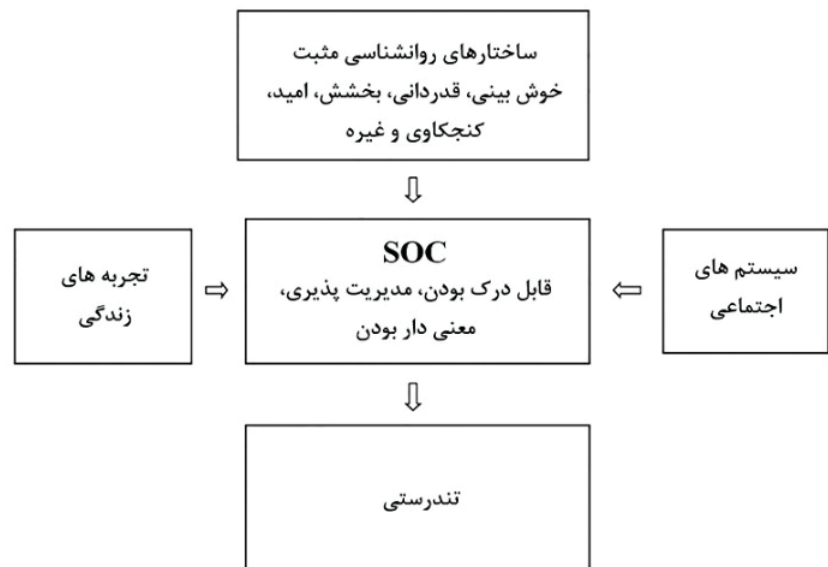
## ۴.۲. احساس انسجام (سازگاری و هماهنگی) (SOC)<sup>۳۶</sup>

حس انسجام بیانگر دیدگاه فرد در مورد زندگی و ظرفیت پاسخ‌گویی به موقعیت‌های استرس‌زاست. آنتونوفسکی احساس انسجام فرد را توانایی درک وضعیتی که او در آن است و استفاده از منابع داخلی و خارجی برای مقابله با اتفاقاتی که بعد از این وضعیت رخ می‌دهد، تعریف می‌کند.

احساس انسجام توسط سه عامل اساسی تعیین می‌شود: قابل‌درک بودن، مدیریت، و معنی‌دار بودن<sup>۳۷</sup> (ت ۱ تا ۳).

## ۳. روش تحقیق

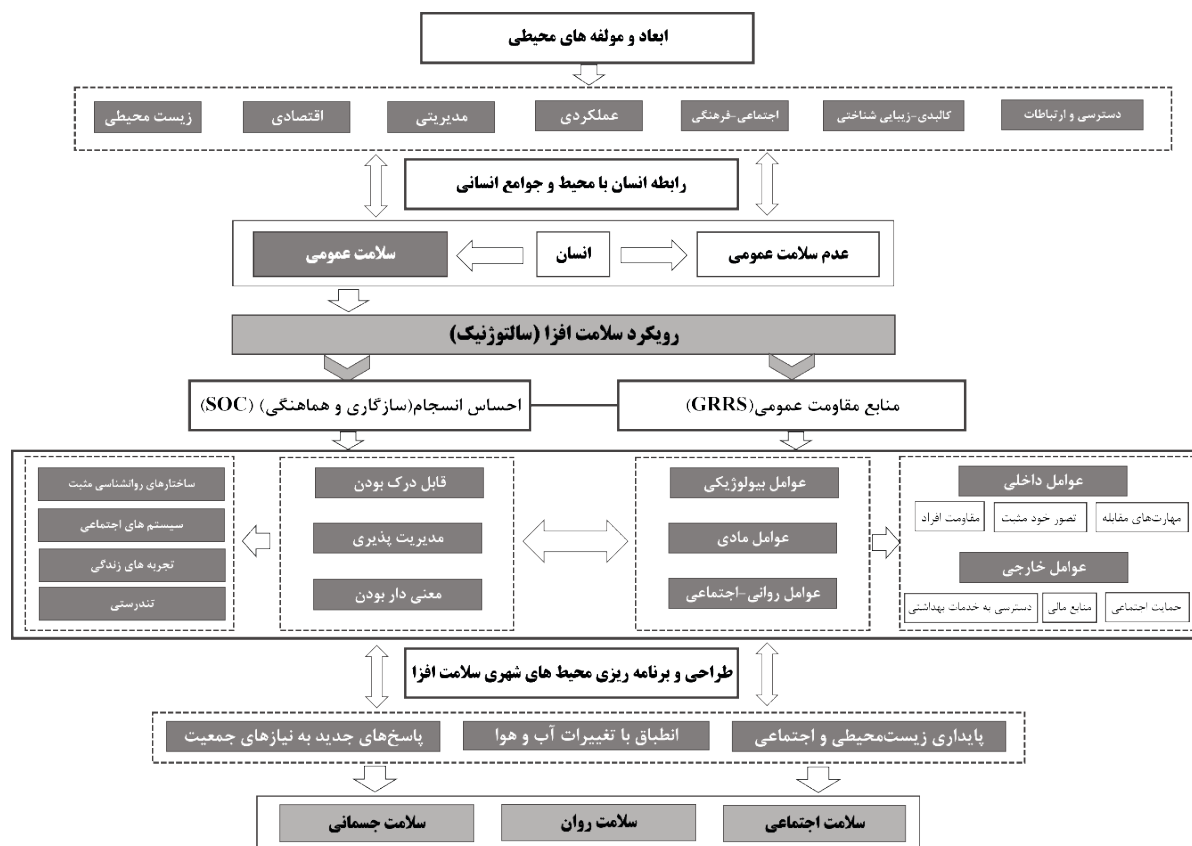
از میان انواع تحقیق (از جمله تحقیق بنیادی، نظری، کاربردی، و علمی)، تحقیق حاضر از نوع کاربردی است و روش این تحقیق به‌منظور دستیابی به داده‌های مورد نیاز، با توجه به هدف مورد نظر، که استخراج شاخص‌های محلات سلامت‌افزا، از نوع



این رویکرد، متغیرهای وابسته سلامت اجتماعی، سلامت روان، و سلامت جسمی ساکنان هستند که بر ابعاد طراحی و برنامه‌ریزی محلات شهری، با عنوان متغیر مستقل، اثر می‌گذارند. همچنین متغیرهای مداخله‌گر در این پژوهش سن، جنسیت، شرایط محیطی، شرایط بیماری‌های همه‌گیر (مثل کرونا) هستند که بر وضعیت سلامت جسمی، روانی، و اجتماعی ساکنان اثر می‌گذارند.

### ۳.۱. نحوه گردآوری و سنجش داده‌ها

در پژوهش حاضر روش انجام و جمع‌آوری اطلاعات شامل مطالعات کتابخانه‌ای، مشاهده، و برداشت میدانی است؛



32. S. Szreter and M. Woolcock, "Health by Association? Social Capital, Social Theory, and the Political Economy of Public Health", *International Journal of Epidemiology*, 33(44) (2004): 650-667.

33. Golembiewski, "Salutogenic Architecture in Healthcare Settings", 267-276.

34. Generalised Resistance Resources

35. M. Eriksson and B. Lindstrom, "Antonovsky's Sense of Coherence Scale and the Relation with Health: A Systematic Review", *J Epidemiol Community Health*, 60(5) (2006): 376-381.

36. Sense of Coherence

ت ۳. مدل مفهومی پژوهش.



بدین ترتیب که در بخش مبانی نظری و پیشینه تحقیق از روش کتابخانه‌ای و در بخش بررسی میدانی نیز از روش مشاهده، پرسش‌نامه‌های استاندارد در قالب پرسش‌نامه استاندارد سلامت عمومی (GHQ)<sup>۳۹</sup> و پرسش‌نامه سلامت اجتماعی کبیز (۱۹۹۸) و پرسش‌نامه محقق‌ساخته شامل پرسش‌نامه سلامت عمومی مبتنی بر ابعاد و شاخص‌های تحقیق، و همچنین مصاحبه با اهالی و کسبه محل استفاده شده است. به‌منظور «گردآوری داده‌های مربوط به ابعاد و کیفیت محله» نیز از داده‌های آماری موجود (اخذ از سازمان‌ها و نهادهای)، مطالعات و اسناد فرادست و برداشت‌های میدانی استفاده شده است.

### ۲.۳. روش نمونه‌گیری و تعیین حجم نمونه

در روش نمونه‌گیری تعدادی از واحدها از جامعه بزرگ‌تر برگزیده می‌شوند، طبعاً آن واحدها معرف آن جامعه هستند.<sup>۴۰</sup> در نمونه‌گیری تصادفی ساده به هریک از افراد جامعه احتمال مساوی داده می‌شود تا در نمونه انتخاب شود. به بیان دیگر، اگر حجم افراد جامعه N و حجم نمونه را n فرض کنیم، احتمال انتخاب هر فرد جامعه در نمونه مساوی با  $n/N$  است.<sup>۴۱</sup> روش نمونه‌گیری در این پژوهش به‌صورت تصادفی ساده و به‌گونه‌ای بود که همه افراد محله از فرصتی برابر برای انتخاب شدن داشتند. این نمونه‌گیری از میان افراد جوان و بزرگسال مرد و زن، کسبه، و ساکنان محله سعدی شیراز انجام شده است.

«حجم نمونه» بر اساس جمعیت محله سعدی و از طریق فرمول کوکران برآورد شده است. با توجه به جامعه آماری ۵۵۰۰۰ نفری (جمعیت محله)، مقدار خطای در نظر گرفته‌شده ۰٫۰۵ از حجم نمونه و برابر تعداد ۳۸۱ نفر به‌دست آمده است. با توجه به شیوع ویروس کرونا و شرایط پیش‌آمده در دنیا و ایران، حجم نمونه به ۲۲۱ نفر کاهش یافت و تعداد ۲۲۱ پرسش‌نامه در محله سعدی شیراز توزیع و اطلاعات مربوطه جمع‌آوری گردیده

است. اما سعی شده است که کاهش تعداد پرسش‌نامه با انجام مصاحبه‌های تلفنی و آن‌لاین از اهالی و کسبه محله جبران گردد.

### ۳.۳. روش و ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها

در تجزیه و تحلیل داده‌ها در تحقیق حاضر از دو روش آماری توصیفی و تحلیل استنباطی بهره برده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌های ابعاد و مؤلفه‌های محیطی از نرم‌افزارهای تحلیلی مانند GIS و تحلیل یکپارچه SWOT استفاده شده است. همچنین به‌منظور ارزیابی و دستیابی به داده‌های مرتبط با سلامت ساکنان، با توجه به نوع پرسش و اهداف پژوهش، روش تحلیل آماری مناسب با آن انتخاب و از ابزار Spss و Excel استفاده شده است. در بخش آمارهای توصیفی به‌منظور دستیابی به میزان پراکندگی و میزان فراوانی داده‌ها، از میانگین و انحراف معیار و درصد فراوانی بهره‌برداری شده است. در نهایت در بخش آمار استنباطی به‌منظور «تعیین اولویت‌بندی ابعاد مؤثر بر پژوهش در محله مورد مطالعه» از رگرسیون گام‌به‌گام و برای «سنجش روابط بین متغیرهای پژوهش و تعیین روابط همبستگی» از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شده است.

در روش رگرسیون گام‌به‌گام، متغیرها یک‌به‌یک وارد مدل می‌شوند؛ یعنی ابتدا متغیری که بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته دارد، انتخاب می‌شود. دومین متغیری که وارد تحلیل می‌شود، متغیری است که پس از تفکیک متغیر مقدم بر آن، موجب بیشترین افزایش در مقدار ضریب تعیین ( $R^2$ ) می‌گردد. در این روش، ورود متغیرها به مدل را یک‌به‌یک و تا زمانی انجام می‌دهیم که معنی‌داری متغیر به ۹۵٪ برسد؛ یعنی سطح خطا ۵٪ گردد. سپس عملیات متوقف می‌شود. ضریب همبستگی پیرسون نیز یک روش آماری است که برای اندازه‌گیری رابطه خطی بین دو متغیر پیوسته به کار می‌رود و میزان همبستگی بین دو متغیر را در بازه مشخصی اندازه‌گیری می‌کند.<sup>۴۲</sup>

37. E. Karaca, "Salutogenic Approach for Designing Restorthe Environments", *The Journal of Academic Social Sciences Yil*, 6, (2018): 116-131.

38. R. Van Poll, *The Perceived Quality of the Urban Residential Environment: A Multi-Attribute Evaluation*, S. n, University of Groningen (APA), 1997, 11.

39. General Health Questionnaire

۴۰. پریسا قاسم‌زاده شانجانی، راهنمای طراحی شهری محلات با هدف افزایش سلامت جسمانی ساکنین؛ نمونه موردی: محله جنت‌آباد شمالی و محله امامزاده یحیی در شهر تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه هنر تهران، ۱۳۹۵.

۴۱. زهره سرمد و همکاران، روش‌های تحقیق در علوم رفتاری (تهران: آگاه، ۱۳۹۶).

۴۲. خلیل کلاتری، پردازش و تحلیل داده‌ها در تحقیقات اجتماعی - اقتصادی با استفاده از نرم‌افزار SPSS (تهران: نور علم، ۱۳۹۱)؛ هاتف میزان و همکاران، «تجزیه و تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام متغیرهای مستقل در آزمایش بررسی برخی صفات زراعی هشت رقم و لاین جدید گلرنگ دیم در استان زنجان»، در مجموعه مقالات اولین همایش ملی یافته‌های نوین در تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳۹۴.

## ۴. مطالعات و بررسی‌ها، معرفی محدوده مورد مطالعه

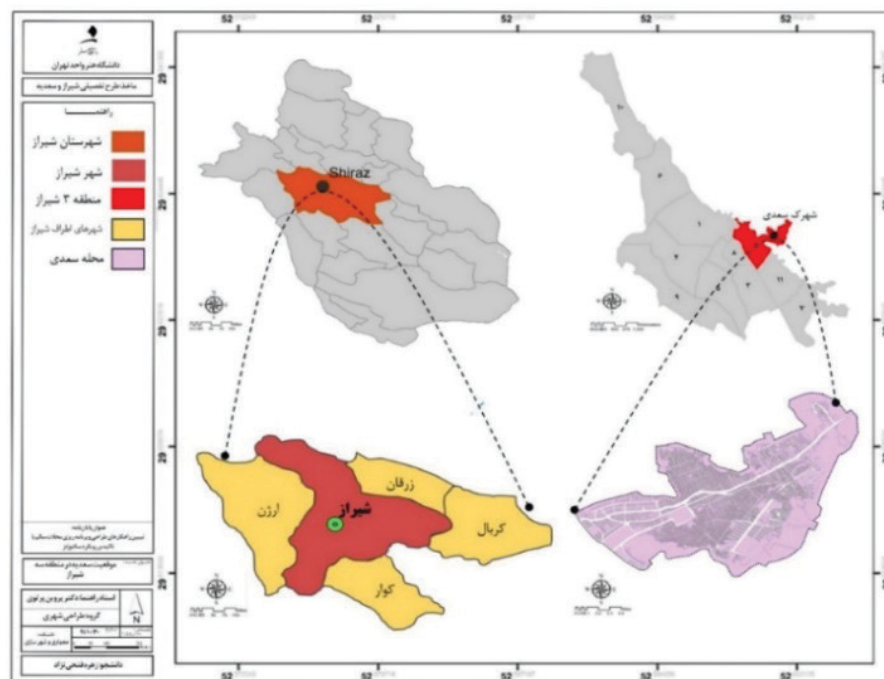
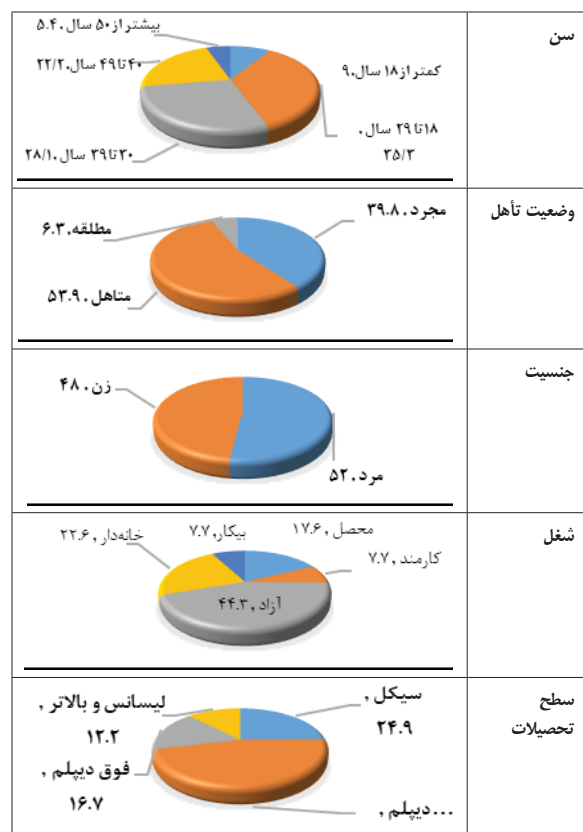
موقعیت شهرک سعدی: شهرک سعدی واقع در منطقه سه شهر شیراز با مساحتی حدود ۴۱۶ هکتار در شمال شرقی این شهر قرار دارد و ۲/۳٪ از کل شهر را تشکیل می‌دهد. شهرک سعدی در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه و ۱۱ ثانیه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۷ دقیقه و ۱۹ ثانیه و با ارتفاع حدود ۱۵۶۰ متری از سطح دریا قرار دارد. این شهرک از سمت شرق به کوه فهندژ با ارتفاع ۱۹۰۰ متر و از غرب به امتداد کوه چهل‌مقام با ارتفاع ۱۷۴۰ متر و در جهت شمال شرقی به محدوده بوستان ملی بوم متصل است و دارای الگوی توسعه پیوسته است که در کنار کلان‌شهر شیراز گسترش یافته است (ت ۴)

۴۳. طرح تفصیلی سعدیه، ۱۳۹۳.

ت ۴ (راست). موقعیت محله سعدی در شیراز. جدول ۵ (چپ). مشخصات جمعیت‌شناسی محدوده مورد مطالعه.

بررسی ویژگی جمعیت‌شناختی: در این بخش آمار توصیفی به‌دست‌آمده از جامعه آماری برای ارزیابی کیفی و کمی ابعاد، مؤلفه‌ها، و شاخص‌های پژوهش حاضر ارائه شده است (جدول ۵).

ارزیابی شاخص‌های سلامت (بعد اجتماعی، جسمی، و روانی) در محله سعدی: کبیز در سال ۱۹۹۸ سلامت اجتماعی را در پنج بعد انسجام، همبستگی، پذیرش، مشارکت، و شکوفایی بررسی کرد. در پژوهش حاضر نیز ما به بررسی و ارزیابی این ابعاد در محله سعدی مطابق با شاخص‌های تأثیرگذار بر آنها پرداخته‌ایم.



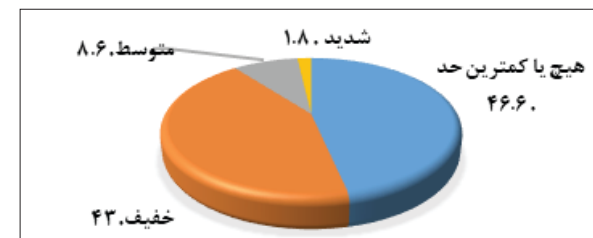
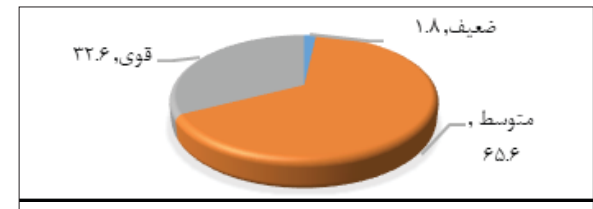
مقیاس علائم اضطرابی و اختلال خواب، مقیاس کارکرد اجتماعی، مقیاس علائم افسردگی.

بررسی سلامت جسم و روان ساکنان محله سعدی نشان از آن دارد که ۴۶٪ از پاسخ‌گویان کمترین حد از مشکلات، ۴۳٪ از پاسخ‌گویان مشکلات خفیف، ۸٪ مشکلات متوسط، و تنها ۱٪ مشکلات شدید در این زمینه داشته‌اند. این بخش از مطالعات زیر نظر روان‌شناسان و متخصصان ذی‌ربط انجام شده است که میزان اعتبار سؤالات و نتایج را تأیید کرده‌اند (ت ۶). بر اساس «جدول ۶» و امتیاز میانگین و انحراف معیار به‌دست‌آمده از سؤالات پرسش‌نامه، ابعاد طراحی و برنامه‌ریزی محلات سلامت‌افزا و مؤلفه‌های سلامت اجتماعی، جسمی، و روان رتبه‌بندی شده است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در محله سعدی، بعد مدیریتی از اهمیت بالایی برخوردار است و ساکنان محله انتظار دارند

بررسی پاسخ‌های پاسخ‌گویان نشان از آن دارد که میزان انسجام اجتماعی ۶۸٪ از پاسخ‌گویان در سطح متوسط و ۲۴٪ بسیار خوب گزارش شده است. همچنین میزان مشارکت اجتماعی ۱۸٪ از پاسخ‌گویان در سطح متوسط و ۸۱٪ از آنها نیز میزان مشارکت اجتماعی‌شان بسیار خوب است. بررسی میزان همبستگی اجتماعی در محله سعدی نیز نشان می‌دهد که میزان همبستگی اجتماعی ۵۶٪ از پاسخ‌گویان در سطح متوسط و ۳۹٪ در سطح بسیار خوب هست. همچنین میزان شکوفایی اجتماعی ۵۵٪ از آنها بسیار خوب گزارش شده است. در نهایت میزان پذیرش اجتماعی ساکنان محله سعدی نیز نشان از آن دارد که بیش از نیمی از پاسخ‌گویان یعنی ۵۳٪ در این میزان در سطح متوسط و ۳۹٪ از آنها در سطح ضعیف هستند. در نتیجه میزان سلامت اجتماعی در محله سعدی مطابق «ت ۵» است.

ابزاری که برای اندازه‌گیری سلامت عمومی استفاده می‌شود، پرسش‌نامه سلامت عمومی (GHQ-28) است. این پرسش‌نامه را، که گلدبرگ و هیلر در سال ۱۹۷۹ ابداع کردند، دارای ۴ مقیاس به این شرح است: مقیاس علائم جسمانی،



ت ۵ (راست، بالا). درصد فراوانی وضعیت سلامت اجتماعی پاسخ‌گویان.

ت ۶ (راست، پایین). درصد فراوانی سلامت روان پاسخ‌گویان.

جدول ۶ (چپ). رتبه‌بندی ابعاد محلات سالم با رویکرد سلامت‌افزا، سلامت روان، و سلامت اجتماعی (امتیازدهی میانگین در بازه ۱ تا ۵ توسط ساکنان محله).

| رتبه | انحراف معیار | امتیاز میانگین | ابعاد                       |
|------|--------------|----------------|-----------------------------|
| ۱    | ۰.۴۵۸        | ۴.۷۸           | بعد مدیریتی                 |
| ۲    | ۰.۵۶۵        | ۴.۲۶           | بعد زیست‌محیطی              |
| ۳    | ۰.۴۵۶        | ۴.۰۴           | بعد اجتماعی - فرهنگی        |
| ۴    | ۰.۳۶۰        | ۳.۹۲           | بعد عملکردی                 |
| ۵    | ۰.۵۵۷        | ۲.۷۸           | بعد دسترسی                  |
| ۶    | ۰.۴۷۷        | ۲.۷۸           | بعد کالبدی - زیبایی‌شناختی  |
| ۷    | ۰.۵۲۶        | ۲.۶۷           | بعد اقتصادی                 |
| ۱    | ۰.۴۷۱        | ۱.۸۲           | کارکرد اجتماعی              |
| ۲    | ۰.۸۷۰        | ۱.۸۱           | علائم اضطرابی و اختلال خواب |
| ۳    | ۰.۶۴۷        | ۱.۴۳           | علائم جسمانی                |
| ۴    | ۰.۷۹۹        | ۱.۳۹           | علائم افسردگی               |
| ۱    | ۰.۳۸۶        | ۲.۸۲           | مشارکت اجتماعی              |
| ۲    | ۰.۵۸۵        | ۲.۵۱           | شکوفایی اجتماعی             |
| ۳    | ۰.۵۵۲        | ۲.۳۶           | همبستگی اجتماعی             |
| ۴    | ۰.۵۳۴        | ۲.۱۷           | انسجام اجتماعی              |
| ۵    | ۰.۶۰۴        | ۱.۶۸           | پذیرش اجتماعی               |

سلامت اجتماعی پی به اهمیت بالای رابطه بین سلامت روان و سلامت اجتماعی بردند. سلامت روان و سلامت اجتماعی دو مفهوم مهم در علوم رفتاری و بهداشت هستند که هم به طور مستقل و هم در عین حال با یکدیگر نیز مرتبط هستند. بر اساس پژوهش‌های انجام شده، رابطه مثبت و معناداری بین سلامت روان و سلامت اجتماعی هست و بهبود یکی از آنها می‌تواند بهبود دیگری را نیز به دنبال داشته باشد.

به منظور دستیابی به رابطه بین کیفیت‌های محیطی محله سعدی با سلامت اجتماعی و سلامت روان ساکنان، که از مؤلفه‌های مهم در مباحث رویکرد سلامت‌افزا هستند، و دستیابی بهتر به اهداف و پاسخ‌های سؤالات تحقیق، به بررسی روابط همبستگی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بین ابعاد تأثیرگذار بر پژوهش، با بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS، پرداخته شده است.

– بررسی رابطه بین ابعاد تأثیرگذار بر سلامت با توجه به رویکرد سالتوژن و سلامت جسمی شهروندان (جدول ۷)  
نتایج تحلیل همبستگی نشان می‌دهد که رابطه میان بعد مدیریتی محلات سالم با رویکرد سالتوژن و علائم جسمانی، بعد اقتصادی محلات سالم با رویکرد سالتوژن و علائم جسمانی معنادار نیست.

بنابر نتایج تحلیل، بین متغیر سلامت جسمانی با ابعاد عملکردی، دسترسی، کالبدی – زیبایی‌شناختی، اجتماعی – فرهنگی، و زیست‌محیطی رابطه معنادار و مستقیم وجود دارد. سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ این ادعا را تأیید می‌کند؛ یعنی با در نظر گرفتن تمهیداتی برای ارتقای سطح کیفی و فضاسازی‌های متنوع در حوزه مؤلفه‌های ابعاد ذکر شده می‌توان سطح سلامت جسمانی را نیز در سطح محله سعدی بهبود بخشید.

– بررسی رابطه بین سلامت روان شهروندان محله سعدی با

مدیریت شهری و نهادهای مدیریتی بیش از پیش به محله سعدی، در مرتبه محله‌ای با هویت و دارای سابقه تاریخی فرهنگی، توجه داشته باشند. همچنین مدیریت شهری در زمینه ابعاد دیگر طراحی بر اساس اولویت‌بندی ساکنان می‌تواند موجب افزایش کیفیت محیطی و ارتقای سطح سلامت جسمی و روانی و اجتماعی افراد شود.

## ۵. یافته‌های تحقیق

جامعه‌شناسان بر این باورند که سلامتی و بیماری روانی، صرفاً واقعیاتی زیست‌شناختی و یا روان‌شناختی نیستند، بلکه به طور هم‌زمان، دارای ابعاد و ماهیت اجتماعی نیز هستند. عوامل اجتماعی، همان‌گونه که می‌توانند نقش مهمی در ایجاد، حفظ، و ارتقای سلامتی داشته باشند، در بروز، شیوع، و تداوم بیماری نیز دارای سهمی اساسی هستند. به دیگر سخن، گرچه تردیدی نیست که افراد در میزان آسیب‌پذیری نسبت به بیماری‌های روانی با یکدیگر تفاوت‌های زیستی و فردی دارند، اما مسئله این است که میزان این تفاوت‌ها تحت تأثیر موقعیت اجتماعی و حتی مهم‌تر از آن، برداشت افراد از آن موقعیت، به مراتب بیشتر می‌شود.<sup>۴۴</sup>

پژوهشگران مختلف در بررسی رابطه بین سلامت روان و

۴۴. محمد اسماعیل ریاحی و همکاران، «بررسی رابطه بین حمایت اجتماعی و سلامت روان»، *رفاه اجتماعی*، دوره ۱۰، ش. ۳۹ (زمستان ۱۳۸۹): ۸۵-۱۲۲.

جدول ۷. بررسی رابطه همبستگی میان ابعاد ۷ گانه محلات سالم با رویکرد سالتوژن و سلامت جسمی شهروندان.

| متغیرها                                                                 | سطح معنی‌داری | میزان همبستگی | جهت  |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|------|
| بعد عملکردی محلات سالم با رویکرد سالتوژن و علائم جسمانی*                | ۰/۰۱۲         | ۰/۲۱۲         | مثبت |
| بعد دسترسی محلات سالم با رویکرد سالتوژن و علائم جسمانی*                 | ۰/۰۰۳         | ۰/۱۱۳         | مثبت |
| بعد کالبدی – زیبایی‌شناختی محلات سالم با رویکرد سالتوژن و علائم جسمانی* | ۰/۰۳۷         | ۰/۱۰۹         | مثبت |
| بعد اجتماعی – فرهنگی محلات سالم با رویکرد سالتوژن و علائم جسمانی**      | ۰/۰۰۹         | ۰/۱۷۵         | مثبت |
| بعد مدیریتی محلات سالم با رویکرد سالتوژن و علائم جسمانی                 | ۰/۰۸۱         | ۰/۱۱۸         | –    |
| بعد زیست‌محیطی محلات سالم با رویکرد سالتوژن و علائم جسمانی*             | ۰/۰۴۴         | ۰/۱۳۵         | مثبت |
| بعد اقتصادی محلات سالم با رویکرد سالتوژن و علائم جسمانی                 | ۰/۴۱۲         | ۰/۰۵۵         | –    |

\*\* همبستگی در سطح ۹۹٪ اطمینان (۰/۰۱٪ خطا)

\* همبستگی در سطح ۹۵٪ درصد اطمینان (۰/۰۵٪ خطا)

اجتماعی - فرهنگی، بعد مدیریتی و بعد زیست‌محیطی محلات سالم با رویکرد سلامت‌افزا رابطه‌ای معنادار و مستقیم وجود دارد؛ یعنی با بهبود سطح کیفی مؤلفه‌ها و شاخص‌های ابعاد

| متغیرها                                          | سطح معنی‌داری | میزان همبستگی | جهت  |
|--------------------------------------------------|---------------|---------------|------|
| سلامت اجتماعی و سلامت روان **                    | ۰/۰۰۰         | ۰/۴۷۶         | مثبت |
| انسجام اجتماعی و علائم اضطرابی و اختلال خواب**   | ۰/۰۰۰         | -۰/۳۰۳        | منفی |
| انسجام اجتماعی و کارکرد اجتماعی *                | ۰/۰۳۹         | ۰/۱۳۹         | مثبت |
| انسجام اجتماعی و علائم افسردگی **                | ۰/۰۰۰         | -۰/۲۷۹        | منفی |
| همبستگی اجتماعی و علائم اضطرابی و اختلال خواب ** | ۰/۰۰۰         | -۰/۲۵۸        | منفی |
| همبستگی اجتماعی و کارکرد اجتماعی                 | ۰/۱۶۹         | ۰/۰۹۳         | -    |
| همبستگی اجتماعی و علائم افسردگی **               | ۰/۰۰۰         | -۰/۲۴۵        | منفی |
| مشارکت اجتماعی و علائم اضطرابی و اختلال خواب **  | ۰/۰۰۰         | -۰/۳۱۷        | منفی |
| مشارکت اجتماعی و کارکرد اجتماعی *                | ۰/۰۱۸         | ۰/۱۵۸         | مثبت |
| مشارکت اجتماعی و علائم افسردگی **                | ۰/۰۰۰         | -۰/۴۳۲        | منفی |
| شکوفایی اجتماعی و علائم اضطرابی و اختلال خواب ** | ۰/۰۰۰         | -۰/۲۸۴        | منفی |
| شکوفایی اجتماعی و کارکرد اجتماعی                 | ۰/۶۱۱         | ۰/۰۳۴         | -    |
| شکوفایی اجتماعی و علائم افسردگی **               | ۰/۰۰۰         | -۰/۲۸۶        | منفی |
| پذیرش اجتماعی و علائم اضطرابی و اختلال خواب **   | ۰/۰۰۰         | -۰/۳۴۴        | منفی |
| پذیرش اجتماعی و کارکرد اجتماعی **                | ۰/۰۰۵         | ۰/۱۸۸         | مثبت |
| پذیرش اجتماعی و علائم افسردگی **                 | ۰/۰۰۰         | -۰/۳۹۴        | منفی |

\*\* همبستگی در سطح ۹۹٪ اطمینان (۰/۰۱٪ خطا)

\* همبستگی در سطح ۹۵٪ اطمینان (۰/۰۵٪ خطا)

جدول ۸ (بالا). بررسی رابطه همبستگی میان متغیر سلامت روان و ابعاد آن با متغیر سلامت اجتماعی و ابعاد آن.

جدول ۹ (پایین). بررسی رابطه همبستگی میان ابعاد ۷ گانه محلات سالم با رویکرد سلامت‌افزا و سلامت روان.

| متغیرها                                    | سطح معنی‌داری | میزان همبستگی | جهت  |
|--------------------------------------------|---------------|---------------|------|
| بعد عملکردی و سلامت روان                   | ۰/۱۰۰         | ۰/۱۱۱         | -    |
| بعد دسترسی و سلامت روان **                 | ۰/۰۰۷         | ۰/۱۸۱         | مثبت |
| بعد کالبدی - زیبایی‌شناختی و سلامت روان ** | ۰/۰۰۰         | ۰/۲۴۰         | مثبت |
| بعد اجتماعی - فرهنگی و سلامت روان **       | ۰/۰۰۷         | ۰/۱۸۱         | مثبت |
| بعد مدیریتی و سلامت روان **                | ۰/۰۰۰         | ۰/۲۵۴         | مثبت |
| بعد زیست‌محیطی و سلامت روان *              | ۰/۰۱۱         | ۰/۱۷۰         | مثبت |
| بعد اقتصادی و سلامت روان                   | ۰/۵۱۰         | ۰/۰۴۵         | -    |

\*\* همبستگی در سطح ۹۹٪ اطمینان (۰/۰۱٪ خطا)

\* همبستگی در سطح ۹۵٪ اطمینان (۰/۰۵٪ خطا)

## سلامت اجتماعی آنها (جدول ۸)

بنابر نتایج تحلیل همبستگی رابطه میان متغیرهای همبستگی اجتماعی و کارکرد اجتماعی، شکوفایی اجتماعی و کارکرد اجتماعی معنادار نیست. همچنین نتایج تحلیل همبستگی نشان از آن دارد که بین متغیر سلامت اجتماعی و سلامت روان، متغیر انسجام اجتماعی و کارکرد اجتماعی، متغیر مشارکت اجتماعی و کارکرد اجتماعی و پذیرش اجتماعی و کارکرد اجتماعی رابطه معنادار هست؛ یعنی دو متغیر با هم رابطه‌ای معنادار و مثبت دارند و با افزایش یکی دیگری نیز افزایش می‌یابد. همچنین نتایج تحلیل نشان می‌دهد که رابطه بین متغیرهای انسجام اجتماعی و علائم اضطرابی و اختلال خواب، بین متغیر انسجام اجتماعی و علائم افسردگی، بین متغیر همبستگی اجتماعی و علائم اضطرابی و اختلال خواب، بین متغیر همبستگی اجتماعی و علائم افسردگی، بین متغیر مشارکت اجتماعی و علائم اضطرابی و اختلال خواب، بین متغیر مشارکت اجتماعی و علائم افسردگی، بین متغیر شکوفایی اجتماعی و علائم اضطرابی و اختلال خواب، بین متغیر شکوفایی اجتماعی و علائم افسردگی، بین متغیر پذیرش اجتماعی و علائم اضطرابی و اختلال خواب، بین متغیر پذیرش اجتماعی و علائم افسردگی منفی و معکوس است؛ یعنی با افزایش یکی دیگری کاهش می‌یابد. همچنین مطابق جداول، میزان همبستگی اگر بالاتر از ۰/۶ باشد، همبستگی قوی است، اگر میزان همبستگی بین ۰/۳ و ۰/۶ باشد، دو متغیر با هم همبستگی متوسط دارند، و اگر کمتر از ۰/۳ باشد، همبستگی ضعیف دارند.

- بررسی رابطه بین ابعاد تأثیرگذار بر سلامت با توجه به رویکرد سلامت‌افزا و سلامت روان (جدول ۹)

نتایج تحلیل همبستگی حاکی از آن است که بین متغیر سلامت روان با بعد دسترسی، بعد کالبدی - زیبایی‌شناختی، بعد

پژوهش می‌توان موجب ارتقای سلامت روان ساکنان محلهٔ سعدی شد. از آنجاکه میزان همبستگی‌های به‌دست‌آمده در بازهٔ کمتر از ۰/۳ قرار دارد، نشان‌دهندهٔ همبستگی ضعیف میان متغیرهای مورد بررسی است.

– بررسی رابطهٔ بین ابعاد تأثیرگذار بر سلامت با توجه به رویکرد سلامت‌افزا و سلامت اجتماعی شهروندان (جدول ۱۰)

نتایج تحلیل همبستگی حاکی از آن است که بین متغیر سلامت اجتماعی و ابعاد عملکردی، اجتماعی – فرهنگی، مدیریتی، زیست‌محیطی، و اقتصادی رابطهٔ معنادار وجود دارد و سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ اثبات‌کنندهٔ این ادعا است. ضمناً بر اساس میزان همبستگی به‌دست‌آمده بین متغیر سلامت اجتماعی با ابعاد ذکرشده رابطهٔ مثبت و مستقیم هست؛ یعنی با افزایش سطح کیفی مؤلفه‌های ابعاد ذکرشده، سلامت اجتماعی نیز در سطح محلهٔ سعدی افزایش می‌یابد.

| متغیرها ۱۰                                 | سطح معنی‌داری | میزان همبستگی | جهت  |
|--------------------------------------------|---------------|---------------|------|
| بعد عملکردی و سلامت اجتماعی                | ۰/۰۱۵         | ۰/۱۰۶         | مثبت |
| بعد دسترسی و سلامت اجتماعی                 | ۰/۰۶۷         | ۰/۱۲۴         | –    |
| بعد کالبدی – زیبایی‌شناختی و سلامت اجتماعی | ۰/۷۸۱         | ۰/۰۱۹         | –    |
| بعد اجتماعی – فرهنگی و سلامت اجتماعی **    | ۰/۰۰۰         | ۰/۴۳۴         | مثبت |
| بعد مدیریتی و سلامت اجتماعی **             | ۰/۰۰۰         | ۰/۳۷۶         | مثبت |
| بعد زیست‌محیطی و سلامت اجتماعی             | ۰/۰۱۸         | ۰/۴۴۴         | مثبت |
| بعد اقتصادی و سلامت اجتماعی **             | ۰/۰۰۵         | ۰/۱۹۰         | مثبت |

\*\* همبستگی در سطح ۹۹٪ اطمینان (۰/۰۱٪ خطا)

جدول ۱۰ (بالا).  
بررسی رابطهٔ  
همبستگی میان ابعاد  
۷گانهٔ محلات سالم با  
رویکرد سلامت‌افزا و  
سلامت اجتماعی.

همچنین به‌منظور بررسی تأثیر ابعاد پژوهش بر سلامت شهروندان و اولویت‌بندی آنها در جهت عرضهٔ راهکارهای برنامه‌ریزی و طراحی محلهٔ سالم با رویکرد سلامت‌افزا از روش رگرسیون گام‌به‌گام و برای بررسی این بخش از آزمون رگرسیون به روش stepwise استفاده شده است:

– بررسی تأثیر ابعاد هفت‌گانهٔ محلات سلامت‌افزا بر سلامت روان و سلامت جسمی شهروندان (جدول ۱۱).

بر اساس «جدول ۱۱» و مدل رگرسیونی آن می‌توان گفت متغیرهای مدیریتی، زیست‌محیطی، اجتماعی – فرهنگی، دسترسی، و کالبدی – زیبایی‌شناختی بر میزان سلامت روان و سلامت جسمی افراد اثر می‌گذارند. بیشترین سهم از آن بعد مدیریتی و کمترین سهم از آن بعد کالبدی – زیبایی‌شناختی است، به‌طوری‌که این متغیرها ۰/۱۹۳٪ از واریانس سلامت روان و سلامت جسمی را تبیین کرده‌اند. نتایج تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام حاکی از آن است که پنج بعد بر روی سلامت روان و سلامت جسمی افراد مؤثرند: (۱) بعد مدیریتی، (۲) بعد زیست‌محیطی، (۳) بعد اجتماعی – فرهنگی، (۴) بعد دسترسی، (۵) بعد کالبدی – زیبایی‌شناختی. ابعاد اقتصادی و عملکردی در اولویت‌های بعدی هستند.

– بررسی تأثیر ابعاد هفت‌گانهٔ محلات سالم با رویکرد سلامت‌افزا بر سلامت اجتماعی شهروندان (جدول ۱۲).

| گام ۱۱                           | نام متغیر                  | R     | R <sup>2</sup> | F      | T      | sig   | B      | Beta   |
|----------------------------------|----------------------------|-------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| گام اول                          | بعد مدیریتی                | ۰/۲۵۴ | ۰/۰۶۵          | ۱۵/۱۲۰ | ۲/۵۱۲  | ۰/۰۱۳ | ۱/۴۴۶  | ۰/۱۷۲  |
| گام دوم                          | بعد زیست‌محیطی             | ۰/۳۳۶ | ۰/۱۱۳          | ۱۳/۸۴۸ | –۱/۸۲۹ | ۰/۰۶۹ | –۱/۰۲۶ | –۰/۱۳۳ |
| گام سوم                          | بعد اجتماعی – فرهنگی       | ۰/۳۷۲ | ۰/۱۳۹          | ۱۱/۶۳۰ | ۴/۰۴۵  | ۰/۰۰۰ | ۰/۹۵۶  | ۰/۳۰۳  |
| گام چهارم                        | بعد دسترسی                 | ۰/۴۲۲ | ۰/۱۷۸          | ۱۱/۶۷۹ | ۲/۳۷۱  | ۰/۰۱۹ | ۰/۷۵۲  | ۰/۱۹۱  |
| گام پنجم                         | بعد کالبدی – زیبایی‌شناختی | ۰/۴۳۹ | ۰/۱۹۳          | ۱۰/۲۹۱ | ۲/۰۱۹  | ۰/۰۴۵ | ۰/۸۷۹  | ۰/۱۵۷  |
| مقدار T: ۲/۷۵۴ – مقدار B: ۳۸/۹۳۹ |                            |       |                |        |        |       |        |        |

جدول ۱۱ (پایین). تأثیر ابعاد  
هفت‌گانهٔ محلات سلامت‌افزا بر  
سلامت روان و سلامت جسمی  
شهروندان با مدل رگرسیون  
چندمتغیره.

محلی، نهادهای عمومی، سیاست‌گذاران، و همه متخصصان مفید واقع شود.

در این سیاست‌ها، استراتژی‌های طراحی و سیاست‌های بهداشت و سلامت شناسایی شده است و بر ارتباط بین ویژگی‌های مورفولوژیکی و عملکردی بافت شهری و سلامت عمومی برای شهرهای معاصر و جوامع مدرن تأکید می‌شود. شهرنشینی و شکل‌گیری شهرها فرصت‌های قابل‌توجهی را برای ارتقا و حفظ سلامت عمومی فراهم می‌کند، اما می‌تواند به منبع خطراتی نیز تبدیل گردد که نگرانی اصلی سیستم‌های بهداشت ملی را با توجه به بخش بزرگی از جمعیت که به‌طور بالقوه درگیر هستند، نشان می‌دهد؛ به‌طور مثال، تراکم جمعیتی که تعیین‌کننده نواحی شهری است، هم از نظر مسئله و هم از نظر راه حل‌های ممکن، دیدگاه‌های بهداشت عمومی را تغییر می‌دهد. از زمان منشور اتاوا و استراتژی‌های «سلامت در همه سیاست‌ها»، محیط و فضای زندگی یک موجودیت جهانی، اجتماعی، و سیاسی محسوب می‌شود که به‌شدت بر وضعیت سلامت جمعیت تأثیرگذار هستند.

اما محققان و متخصصان، هم از لحاظ فنی و هم از لحاظ پزشکی، نیاز به یک رویکرد میان‌رشته‌ای و فرارشته‌ای را به‌منظور رفع مشکلات اصلی بهداشت شهری و جامعه معاصر در پاسخ به چالش‌های عصر حاضر شناسایی کرده‌اند. بنابراین باید سلامت و پایداری شهری را از مراحل اولیه برنامه‌ریزی

بر اساس «جدول ۱۲» و مدل رگرسیونی آن می‌توان گفت که متغیرهای اجتماعی - فرهنگی، مدیریتی، زیست‌محیطی، اقتصادی و عملکردی بر میزان سلامت اجتماعی اثر می‌گذارند. بیشترین سهم از پیش‌بینی سلامت اجتماعی از آن بعد اجتماعی - فرهنگی و کمترین سهم از آن بعد عملکردی است. به‌طوری‌که این متغیرها ۳۲۵٪ از واریانس سلامت اجتماعی را تبیین کرده‌اند. نتایج تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام حاکی از آن است که این پنج بعد بر روی سلامت اجتماعی تأثیرگذار هستند: (۱) بعد اجتماعی - فرهنگی، (۲) بعد مدیریتی، (۳) بعد زیست‌محیطی، (۴) بعد اقتصادی، (۵) بعد عملکردی. ابعاد کالبدی - زیبایی‌شناختی و دسترسی در اولویت‌های بعدی پیش‌بینی سلامت اجتماعی قرار می‌گیرند.

## تحلیل و نتیجه‌گیری

با توجه به «اعلامیه بهداشت سلامت شهری رم»، در دسامبر ۲۰۱۷ در نشست اروپایی با عنوان «G7 Health»، اعضا به جنبه‌های استراتژیک و اجرایی مربوط به بهبود سلامت در شهرها از طریق یک رویکرد جامع و چندبخشی برای ارتقای سلامت عمومی، با توجه به اهمیت آن، پرداختند. در آن اجلاس، با وضع سیاست‌های درون بافت شهری، تلاش شد تا ترکیبی جدید از اهداف استراتژیک را برای دستیابی به «شهر سالم و سلامت‌افزا» تعریف گردد که برای طراحان، دولت‌های

| گام ۱۲                           | نام متغیر            | R     | R <sup>2</sup> | F      | T      | sig   | B      | Beta   |
|----------------------------------|----------------------|-------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| گام اول                          | بعد اجتماعی - فرهنگی | ۰٫۴۳۴ | ۰٫۱۱۸          | ۵۰٫۷۴۲ | -۶۹۰۸  | ۰٫۰۰۰ | -۱۴۵۷  | -۰٫۴۶۸ |
| گام دوم                          | بعد مدیریتی          | ۰٫۵۰۲ | ۰٫۲۵۲          | ۳۶٫۷۴۱ | -۴٫۴۵۸ | ۰٫۰۰۰ | -۲٫۲۲۰ | -۰٫۲۶۷ |
| گام سوم                          | بعد زیست‌محیطی       | ۰٫۵۳۸ | ۰٫۲۹۰          | ۲۹٫۵۰۴ | ۲٫۴۸۱  | ۰٫۰۱۴ | ۱٫۱۸۶  | ۰٫۱۵۵  |
| گام چهارم                        | بعد اقتصادی          | ۰٫۵۵۳ | ۰٫۳۰۶          | ۲۳٫۷۹۵ | ۲٫۹۱۶  | ۰٫۰۰۴ | ۱٫۶۷۰  | ۰٫۱۷۵  |
| گام پنجم                         | بعد عملکردی          | ۰٫۵۷۰ | ۰٫۳۲۵          | ۲۰٫۶۷۵ | ۲٫۴۴۸  | ۰٫۰۱۵ | ۰٫۸۲۸  | ۰٫۱۸۰  |
| مقدار T: ۱۲٫۲۵۷ مقدار B: ۱۳۱٫۹۹۳ |                      |       |                |        |        |       |        |        |

جدول ۱۲. تأثیر ابعاد هفت‌گانه محلات سالم با رویکرد سلامت‌افزا بر سلامت اجتماعی شهروندان با مدل رگرسیون چندمتغیره.

شهری در نظر گرفت و توجه به قابلیت برنامه‌ریزی شهری به‌مثابه عملی پیشگیرانه و اقدام اولیه در ارتقای سلامت، ضرورت به کار بردن یک رویکرد کل‌نگر به ساخت‌وساز شهری را برجسته می‌کند.

دست‌آورد پژوهش‌های مشابه در این خصوص منجر به عرضه اصول، استراتژی، و اقدامات مؤثر در این زمینه شده است. در پژوهشی به بررسی عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامتی و نقش تعیین‌کننده سلامت اجتماعی تأکید و در انتها راهکارهای ممکن برای مداخله در بافت‌های شهری بیان شده است.<sup>۴۵</sup>

پژوهشگران با بررسی مبانی نظری رویکرد سلامت‌افزا، به اهمیت این رویکرد در فرایندهای برنامه‌ریزی محیط‌های شهری توجه کرده‌اند.<sup>۴۶</sup> همچنین محققان در پژوهش دیگری نیز مکانیسم‌های موجود در رابطه بین مؤلفه‌های محیط‌های شهری و سلامت و رفاه را بررسی کرده و به راهکارهای طراحانه در حوزه دسترسی به طبیعت، فضای سبز، همکاری بین‌بخشی، و غیره در دستیابی به سلامت همه‌جانبه در محیط‌های شهری دست یافته‌اند.<sup>۴۷</sup>

در پژوهش حاضر با تأکید بر رویکرد کل‌نگر و همه‌جانبه

| ابعاد                 | راهکارها                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| زیست‌محیطی            | - روسته بودن کانال‌های فاضلاب و توجه به شیب در طراحی مناسب دفع آب‌های سطحی در معابر فرعی محله سعدی<br>- مدیریت کاهش تخریب زمین، منابع طبیعی، و زیستگاه‌ها مانند جنگل‌ها در اطراف محله سعدی<br>- مدیریت پسماندهای جامد شهری<br>- تأمین آب شرب سالم و سیستم آبرسانی استاندارد<br>- استفاده از دستگاه‌های دیجیتالی و هوشمند و نوآورانه مانند برنامه‌های تلفن هوشمند، قادر به تسهیل در جمع‌آوری زباله‌های متمایز، به‌دلیل وجود زباله و پسماند زیاد در کتج‌ها و زمین‌های بایر و همچنین در سطح محله سعدی<br>- تعبیه سطل‌های هوشمند که می‌تواند نظارت دقیق و مستمر در جمع‌آوری زباله‌ها، به‌ویژه در اماکن عمومی را فراهم کند.<br>- طراحی بام سبز و مناطق سبز به‌منظور کنترل حرارت، ذخیره‌سازی گرما و بازتاب اشعه خورشیدی<br>- ایجاد فضاهای سبز چندعملکردی با استفاده از زمین‌های بایر موجود در اطراف آرامگاه سعدی و در اتصال با باغ‌های موجود مانند باغ دلگشا، باغ فاتح، و غیره                         |
| اجتماعی - فرهنگی      | - طراحی فضاهای اجتماعات شبانه در خیابان‌های اصلی با توجه به وجود راسته‌های تجاری فعال در خیابان‌های بیست متری سعدی، بوستان، و نیستان با هدف افزایش حیات شبانه و امنیت محله<br>- ادغام خدمات در فضاهای سبز به‌منظور افزایش امنیت، ایمنی، و مناسب‌سازی تجهیزات<br>- توجه به حذف کتج‌های تاریک و ساختمان‌های متروک به‌منظور کاهش جرم و جنایت و سلامت روانی ساکنان در زمین‌های بایر حاشیه محله سعدی و کتج‌های ناشی از وجود شیب در سطح معابر فرعی<br>- توزیع متناسب فضاهای سبز به‌منظور برقراری عدالت محیطی در سطح محله با توجه به وجود باغ دلگشا، باغ طاووسیه، آرامگاه سعدی، و پارک بوستان در بخش غربی و نوساز محله و کمبود زیاد فضای سبز در بخش‌های دیگر محله سعدی<br>- حفظ افراد قدیمی محله سعدی و مشاغل قدیمی به‌منظور حفظ منابع موجود، مانند حفظ بستی‌فروشی معروف به بستی سعدی<br>- طراحی باغ اجتماعی از طریق استفاده از فضاهای باغ طاووسیه و اتصال با پارک بوستان و باغ دلگشا                   |
| کالبدی - زیبایی‌شناسی | - مراکز کاهش استرس و مراکز درمانی متناسب با سلامت روان افراد با استفاده از طراحی با عنصر آب و پوشش گیاهی از طریق طراحی با فضای سبز، استفاده از عنصر آب و طراحی با رنگ در درمانگاه‌ها و بیمارستان موجود در محله سعدی<br>- طراحی فضاهای فرهنگی، مانند خانه شعر و ادب پارسی و کتابخانه در اتصال با آرامگاه سعدی<br>- استفاده از آشبار پله‌ای و فضا‌سازی در اطراف چشمه مرتاض علی و کوه‌های اطراف محله سعدی<br>- افزایش چراغ‌های خیابانی و نورپردازی‌های هوشمند و جذاب با استفاده از نورهای رنگی و موزیکال در فضاهای باز و بر جداره‌های اطراف آرامگاه سعدی<br>- محوطه‌سازی در اطراف باغ‌های موجود<br>- طراحی انسان‌محور (رعایت مقیاس انسانی در طراحی معابر و فضاهای مختلف)<br>- تقویت لبه‌های سبز در لبه محوره‌های اصلی و تداوم لبه سبز و طبیعی بلوار بوستان<br>- قرار دادن نشانه‌ها و یادمان‌های شهری که نشان از هویت و تاریخ محله دارد، از خیابان‌های اطراف تا آرامگاه سعدی به‌منظور خلق هیجان بصری |

45. M. Marmot and J. Allen, "Social Determinants of Health Equity", *American Journal of Public Health*, 103(Suppl 1) (2013): S7-S14.

46. B. Lindstrom and M. Eriksson, "From Healthy Settings to Sustainable Healthy Societies: The Salutogenic Approach to Planning and Health Promotion", *World Health Design*, 4(2) (2011): 66-75.

47. H. Kruijze, et al., "Exploring Mechanisms Underlying the Relationship between the Urban Environment and Health and Well-being: The HELIX Project", in *Environmental Health Perspectives*, 122(12) (2014): 1257-1265.

جدول ۱۳. راهکارهای طراحی و برنامه‌ریزی محله سعدی شیراز به‌منظور دستیابی به محله سلامت‌افزا.

جسمی، و اجتماعی با ابعاد و مؤلفه‌های محیطی به‌دست می‌آید، بنابراین با تعیین این روابط می‌توان با بیان راهکارهای برنامه‌ریزی و طراحی محلات شهری به ارتقای سلامت ساکنان کمک کرد.

رویکرد سلامت‌افزا بر اساس مؤلفه‌های موثر بر آن، که احساس انسجام و منابع مقاومت عمومی هستند، ارتباط مستقیمی با ابعاد محیطی دارد؛ به‌طور مثال محیط‌های شهری و فضاهای عمومی می‌توانند با طراحی و اجرای درست فضاهای سبز، دسترسی به حمل‌ونقل عمومی، محل‌های ورزشی، مکان‌های تفریحی، و در کل با تشویق افراد به انجام فعالیت‌های

سلامت‌افزا، به حوزه سلامت محیطی در همه ابعاد آن پرداخته شده است؛ با توجه به اکثر پژوهش‌های مشابه در این حوزه، این رویکرد در ایران و جهان در بافت‌های شهری و در سطح محله و شهر در مرحله تحقیقاتی و پژوهشی قرار دارد و نیاز به تجربیات عملی با توجه به عملکرد و کارکرد این رویکرد احساس می‌شود. همچنین در این پژوهش دستیابی به سلامت همه‌جانبه در بافت‌های قدیمی و هویت شهر در جایگاه سرمایه شهرهای امروزی با توجه به مسائل و مشکلات موجود دنبال می‌شود و از این مسیر، با توجه به انجام نگرفتن پروژه‌های سلامت‌محور در محله سعدی شیراز، روابط سلامت روان،

| ابعاد             | راهکارها                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| اقتصادی           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ایجاد اشتغال متنوع در حین حفظ و نگهداری مشاغل قدیمی و پررونق موجود در محله</li> <li>- ایجاد فرصت‌های شغلی برابر</li> <li>- تقویت فعالیت‌های اقتصادی موجود و ایجاد فعالیت‌های اقتصادی جدید</li> <li>- عرضه بیمه بیکاری</li> <li>- عرضه خدمات رفاهی</li> <li>- سرمایه‌گذاری در چند فعالیت اقتصادی متنوع به جای یک فعالیت اقتصادی به‌منظور ایجاد پویایی اقتصادی</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| مدیریتی           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- توسعه مهارت‌های فردی در زمینه بهداشت عمومی از طریق برگزاری کلاس‌های آموزشی در خانه بهداشت محلی و درمانگاه موجود در محله سعدی</li> <li>- تشکیل سازمان‌های محلی با توجه به روابط همسایگی قوی در سطح محله سعدی</li> <li>- برنامه‌ریزی از پایین به بالا با تشکیل شوراهای محلی در سطح محله سعدی</li> <li>- همکاری افراد و ساکنان محلی به درون سیستم‌های دولتی</li> <li>- تشکیل جلسات مشورت با ساکنان در مورد پروژه‌های تعریف‌شده و قرار دادن ساکنان و شهروندان در جریان پروژه‌های شهری</li> <li>- ساخت اپلیکیشن‌هایی جهت سهولت مشورت، نظرسنجی‌های مردمی، و شناخت مضلات و مشکلات محله</li> </ul>                                                                                                                                                                                        |
| دسترسی و ارتباطات | <ul style="list-style-type: none"> <li>- طراحی مسیرهای پیاده‌روی متنوع در اتصال با فضاهای متنوع تاریخی موجود در محله سعدی</li> <li>- استفاده از وسایل حمل‌ونقلی که علاوه بر کاهش انتشار عناصر آلاینده هوا موجب تخریب محیط زیست نیز نگردد</li> <li>- تعبیه ایستگاه‌های اتوبوس و تاکسی در محل‌های مناسب و مورد نیاز در مجاورت با مسیرها و دسترسی‌های پیاده و پارکینگ‌های عمومی</li> <li>- جانمایی مناسب ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی به‌منظور کانون پخش و جذب سفر و مکان‌یابی و استقرار هم‌جوار عملکردهای متناسب و فعالیت‌های جاذب جمعیت مانند کافه‌ها، فروشگاه‌ها، و غیره</li> <li>- برقراری ارتباط بین مکان‌های موجود با طراحی مسیر سلامت و پیاده‌محور از باغ دلگشا تا آرامگاه سعدی</li> <li>- روان‌سازی حرکت پیاده و سواره با جداسازی مسیرهای سواره و پیاده با استفاده از علائم، چراغ‌های راهنما، خط‌کشی، و غیره</li> </ul> |
| عملکردی           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- طراحی مکان‌هایی به‌منظور اجتماع و مشارکت اجتماعی بزرگسالان و سالمندان با دسترسی مناسب به منابع اصلی محلی</li> <li>- طراحی متناسب با زندگی فعال کودکان و نوجوانان با در نظر گرفتن سن، جنسیت، انسجام، و روابط همسایگی در اتصال با پارک‌های محلی و باغ‌های موجود در محله سعدی</li> <li>- طراحی فضاهای تعاملات و مشارکت بالای اجتماعی در نزدیکی محل کار</li> <li>- طراحی مدارس سالم از طریق ادغام با فضاهای سبز و طراحی با پوشش گیاهی و استفاده از رنگ و نور در طراحی فضای داخلی آن</li> <li>- ایجاد فروشگاه‌های مواد غذایی قابل‌دسترس و مقرون‌به‌صرفه و توزیع متناسب آنها در سطح محله</li> <li>- ساخت تصفیه‌خانه آب سالم</li> </ul>                                                                                                                                                  |

ادامه جدول ۱۳.

راهکارهای طراحی و برنامه‌ریزی محله سعدی شیراز به‌منظور دستیابی به محله سلامت‌افزا.

سالم و توانمندسازی به‌مثابه منابع مقاومتی و تجربه سلامت و رفاه عمل کنند.

محله سعدی یکی از محلات با هویت و قدیمی شهر شیراز است که مردمان آن از دیرباز از روابط همبستگی و انسجام اجتماعی قوی برخوردارند و همین موضوع یکی از دلایلی بود که این محله برای نمونه موردی پژوهش حاضر انتخاب شد، اما در طول زمان و سالیان طولانی به محله‌ای در حاشیه شهر شیراز تبدیل شده است و به لحاظ محیطی، اجتماعی، و اقتصادی در سطح ضعیف و نازلی قرار دارد. در خصوص مسائل و مشکلات محله و ارتباط بین مؤلفه‌های رویکرد سلامت‌افزا و ابعاد محیطی، برای دستیابی به شاخصه‌های سلامت با رویکرد سلامت‌افزا می‌توان اظهار داشت که امکان برنامه‌ریزی و طراحی در محله سعدی به‌منظور نیل به سلامت در همه ابعاد آن وجود دارد و مدیریت آگاه و پاسخ‌گو در ابتدا می‌تواند با تعریف طرح‌ها و پروژه‌های سلامت‌محور موجب توسعه و ارتقای سطح سلامت اجتماعی، سلامت روان، و سلامت جسمانی ساکنان محله گردد. همچنین شوراهای محلی با مشارکت و همکاری در تصمیمات طراحی و برنامه‌ریزی شهری و همکاری نهادهای دولتی و خصوصی می‌توانند موجب ارتقای سطح کیفی مؤلفه‌های محیطی به‌منظور افزایش سلامت ساکنان و بالا رفتن جایگاه اجتماعی شهروندان محله سعدی شوند. همچنین رویکرد سلامت‌افزا از طریق ارتقای حس انسجام اجتماعی و استفاده از منابع مقاومت عمومی می‌تواند افراد را به محیط زندگی اجتماعی و روانی سالم برساند. به‌منظور نیل به راهکارهای طراحی و برنامه‌ریزی محلات سالم با رویکرد سلامت‌افزا، به بررسی روابط ابعاد پژوهش و میزان تأثیرگذاری بر سلامت جسمی، روان، و سلامت اجتماعی در سطح محله سعدی شیراز، با استفاده از تحلیل روابط همبستگی متغیرهای مستقل و وابسته، پرداخته شده است. خلاصه

یافته‌های پژوهش و همین‌طور پاسخ به سؤالات پژوهش بدین‌صورت است که از بین هفت بعد مورد بررسی در پژوهش حاضر، پنج بعد اجتماعی - فرهنگی، مدیریتی، زیست‌محیطی، اقتصادی، و عملکردی بر میزان و پیش‌بینی سلامت اجتماعی در محله یادشده تأثیر دارند. در این راستا، با بهبود سطح کیفی شاخص‌ها و معیارهای ابعاد تأثیرگذار می‌توان سلامت اجتماعی ساکنان این محله را بهبود بخشید. همچنین پنج بعد مدیریتی، اجتماعی - فرهنگی، زیست‌محیطی، دسترسی و ارتباطات، و کالبدی و زیبایی‌شناسی در تعیین سطح سلامت جسمی و سلامت روان ساکنان نیز مؤثرند. با توجه به رویکرد سلامت‌افزا که بر مدیریت استرس، حس انسجام اجتماعی، حفظ و نگهداری از منابع محیطی، معناداری، تاب‌آوری، و غیره تأکید می‌کند، انتظار می‌رود با ارتقای سطح سلامت جسمی، سلامت روان، کاهش افسردگی و اضطراب ساکنان، و همچنین بهبود شرایط محیطی از طریق حفظ و نگهداری منابع موجود در جهت ارتقای شرایط اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی - فرهنگی و غیره، موجب تقویت انسجام فردی و در پی آن تقویت انسجام اجتماعی و افزایش سلامت اجتماعی در سطح محله سعدی شیراز گردد.

در پژوهش حاضر رابطه ابعاد و مؤلفه‌های محیطی در محله سعدی شیراز که مستخرج از رویکرد سلامت‌افزایی است و رابطه آنها با سلامت جسمی، روان، و اجتماعی نشان از همبستگی بالای مؤلفه‌های طراحی و برنامه‌ریزی محلات شهری با ابعاد سلامت در محله فوق دارد. در نتیجه با توجه به توضیحات گفته‌شده، بین ابعاد کیفیات محیطی و ابعاد سلامت ساکنان در محله سعدی رابطه معنادار وجود دارد و با در نظر گرفتن رویکرد سلامت‌افزا در فرایند برنامه‌ریزی و طراحی محیط‌های شهری و عرضه راهکارهای برنامه‌ریزی و طراحی شهری می‌تواند موجب ارتقای سلامت (سلامت جسمی، روانی،

## References

- Apers, S., K. Luyckx, J. Rassart, and L. Oris. "Bringing Antonovsky's Salutogenic Theory to Life: A Qualitative into the Experiences of Young People with Congenital Heart Disease". *International Journal of Qualitative Studies on Health and Well-being*, 11(29346) (2016): 1-11.
- Bull, T., M. Mittelmark, and N.E. Kanyeka. "Assets for Well-being for Women Living in Deep Poverty: Through a Salutogenic Looking-glass". *Critical Public Health*, 23(2) (2013): 160-173.
- Capolongo, S., A. Rebecchi, M. Dettori, L. Appolloni, A. Azara, M. Buffoli, ... and M. Ferrante. "Healthy Design and Urban Planning Strategies, Actions, and Policy to Achieve Salutogenic Cities". *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(12) (2018): 26-98.
- Dannenberg, A., D.C. Burton, and R.J. Jackson. "Economic and Environmental Costs of Obesity: The Impact on Airlines". *American Journal of Preventive Medicine*, 28(1) (2005): 145.
- Eriksson, M., and B. Lindstrom. "Antonovsky's Sense of Coherence Scale and the Relation with Health: A Systematic Review". *J Epidemiol Community Health*, 60(5) (2006): 376-381.
- Ghasemzadeh Shanjani, P. *Guide to Urban Design of Neighborhoods with the Aim of Increasing the Physical Health of Residents; Case Study: North Janatabad Neighborhood and Imamzadeh Yahya Neighborhood in Tehran*. Master's Thesis, Faculty of Art and Architecture, Tehran University of Art, 2016. (In Persian)
- Golembiewski, J.A. "Salutogenic Architecture in Healthcare Settings". in *The Handbook of Salutogenesis*, 2016, 267-276.
- Joseph, Stephen. and Shifra Sagy. "Positive Psychology in the Context of Salutogenesis". in *The Handbook of Salutogenesis*, 2017, 83-88.
- Jati, R.M.B., M. Faqih, and S.N.N. Ekasiwi. "Salutogenic Design: Interactive Children Healthcare". *International Journal of Engineering Research and Technology*, 7(1) (2018): 148-152.
- Karaca, Elif. "Salutogenic Approach for Designing Restorative Environments". *The Journal of Academic Social Sciences Yil*, 6 (2018): 116-131.
- Kalantari, K. *Data Processing and Analysis in Socio-economic Research Using SPSS Software*. Tehran: Noore Elm Publications, 2012. (In Persian)
- Khon-kiat Tan., Katri Vehvilaijen-Julkunen., and Aally Wia-Chi Chan. "Integrative Review: Salutogenesis and Health in Older People over 65 Years Old". *Journal of Advanced Nursing*, 70 (3) (2014): 497-510.
- Kruize, H., I. Van Kamp, M. Van den Berg, E. Van Kempen, W. Wendel-vos, A. Ruijsbroek, J. Mass. "Exploring Mechanisms Underlying the Relationship between the Urban Environment and Health and Well-being: The HELIX Project". *Environmental Health Perspectives*, 122(12) (2014): 1257-1265.
- Lindern, E., F. Lymeus, and T. Hartig. "The Restorative Environment: A Complementary Concept for Salutogenesis Studies". *Journal of Public Health Research*, 3(1) (2017).
- Lindstrom, B. and M. Eriksson. "From Healthy Settings to Sustainable Healthy Societies: The Salutogenic Approach to Planning and Health Promotion". *World Health Design*, 4(2) (2011): 66-75.
- Lindstrom, B. and M. Eriksson. "Salutogenesis". *J Epidemiol Community Health*, 59 (2005): 440-442.
- Maass, R., M. Lillefjell, and G. Espnes. The Application of Salutogenesis in Cities and Towns. *Journal of Public Health Research*, 3(1) (2017): 171-179.
- Maass, R., B. Lindstrom, and M. Lillefjell. "Exploring the Relationships between Perceptions of Neighbourhood-resources, Sense of Coherence and Health in Different Groups in a Norwegian Neighbourhood". *Journal of Public Health Research*, 3(1) (2014): 11-20.
- Maass, R., B. Lindstrom, and M. Lillefjell. "Neighbourhood-resources for the Development of a Strong SOC and the Importance of Understanding Why and How Resources Work: A Grounded Theory Approach". *BMC Public Health*, 17(704) (2017): 1-23.
- Marmot, M. and J. Allen. "Social Determinants of Health Equity". *American Journal of Public Health*, 103(Suppl 1) (2013): S7-S14.
- Mazuch, R. "Salutogenic and Biophilic Design as Therapeutic Approaches to Sustainable Architecture". *Architectural Design*, 87(2) (2017): 42-47.
- Mittelmark, Maurice B., Torill Bull, and Laura Bouwman. "Emerging Ideas Relevant to the Salutogenic Model of Health, The Handbook of Salutogenesis". *Journal of Public Health Research*, (2017): 45-56.
- Mizban, H., A. Faramarzi, N. Mahbaalipour, and M. Khyavi. "Stepwise Regression Analysis of Independent Variables in the Study of Agronomic Traits of Eight Rainfed Safflower

- Cultivars and Lines in Zanjan Province". in Proceedings of the First National Conference on Novel Findings in Agricultural and Natural Resources Research, 2015. (In Persian)
- Riyahi, M.E., A. Aliverdinia, and Z. Pourhossein. "Investigating the Relationship between Social Support and Mental Health". *Journal of Social Welfare*, 10(39) (2010): 85-122. (In Persian)
- Sarmad, Z., A. Bazargan, and E. Hejazi. *Research Methods in Behavioral Sciences*. Tehran: Agah Publishing, 2017. (In Persian)
- Shiraz Municipality, Deputy for Urban Planning and Architecture. *Detailed development plan of Saadiyeh Township*, 2014. (In Persian)
- Srinivasan, S., L.R. O'Fallon, and A. Dearry. "Creating Healthy Communities, Healthy Homes, Healthy People: Initiating a Research Agenda on the Built Environment and Public Health". *Am J Public Health*, 93(9) (2013): 1446-1450.
- Shiea, E., S. Zarrabadi, and M. Yazdan Panahi. "Analyzing and Explaining the Concept of a Healthy Neighborhood in Traditional Iranian Quarters: A Case Study of Emamzadeh Yahya Neighborhood, Tehran". *Urban and Regional Studies and Research*, 5(17) (2013): 1-20. (In Persian)
- Szreter, S., and M. Woolcock. "Health by Association? Social Capital, Social Theory, and the Political Economy of Public Health". *International Journal of Epidemiology*, 33(44) (2004): 650-667.
- Van poll, Ric. *The Perceived Quality of the Urban Residential Environment: A Multi-Attribute Evaluation*. S. n, University of Groningen (APA), 1997, 1-204.
- Villanueva, K., G. Pereira, M. Knuiman, F. Bull, L. Wood, H. Christian, S. Joyce. "The Impact of the Built Environment on Health across the Life Course: Design of a Cross-sectional Data Linkage Study". *BMJ Open*, 3(1) (2013): e002482.
- Vaandrager, L. and L. Kennedy. "The Application of Salutogenesis in Communities and Neighborhoods". in *The Handbook of Salutogenesis*, Springer, Cham, 2017, pp. 159-170.
- Vinje, Hege Forbech., Langeland, Eva., and Torill Bull. "Aaron Antonovsky's Development of Salutogenesis, 1979 to 1994". *The Handbook of Salutogenesis, Journal of Public Health Research*, 2017, 25-40.
- World Health Organization. "Official Records of the World Health Organization". *Proceedings and Final Acts of the International Health Conference*, New York, 1948, 19-22.
- Ziegler, E. *Application of a Salutogenic Design Model to the Architecture of Low-income Housing*, Doctoral dissertation, University of British Colum, 2014.

# Vaultings in Iranian Historical Architecture: A New Framework for Classification

Hadi Safaeipour, PhD.\* 

Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: May 07, 2023

Accepted: June 20, 2023

(Pages: 119-139)

**Hadi Safayipour, 2025.** Vaultings in Iranian Historical Architecture: A New Framework for Classification. *Soffeh* 35 (3): 119-139.

**DOI:** [10.48308/SOFEH.2023.231602.1255](https://doi.org/10.48308/SOFEH.2023.231602.1255)

## Abstract:

**Background and objectives:** Vaulted coverings in historical Iranian architecture hold a central role in terms of form, spatial quality, and meaning, exhibiting a remarkable diversity compared to vaulted architecture in other architectural traditions. Throughout different periods of Iranian architecture, especially from the Islamic Middle Ages onwards, the shape and structural system of vaults continuously evolved, appearing in various forms and combinations across different buildings. Within this context, accurately identifying and categorising vaulting types is both essential and challenging. Accordingly, this study poses the question: 'What is the appropriate framework for comprehensive and definitive identification and classification of vaults in historical Iranian architecture?'

## Keywords:

Vault, Classification, Structural form, Brick structures, Iranian historical architecture.

**Materials and Methods:** To address this question, contemporary scholars' viewpoints are examined through a descriptive-analytical method employing a twofold categorisation strategy. The first category encompasses studies in the field of Iranian historical architecture by scholars such as André Godard, Myron Bement Smith, Donald Wilber, Lisa



SOFEH

*Soffeh Journal*, Shahid Beheshti University, Vol. 35, Issue 3, No. 110, 2025  ISSN: 1683-870X

\*. Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

\*. Corresponding Author Email Address: [h\\_safaeipur@sbu.ac.ir](mailto:h_safaeipur@sbu.ac.ir)  
[http://dx.doi.org/10.48308/SOFEH.2023.231602.1255](https://dx.doi.org/10.48308/SOFEH.2023.231602.1255)

Golombek, Mohammad Karim Pirnia, Gholam-Hossein Me'marian, and Hossein Zomorshidi. These studies introduce the theoretical geometry of vaults, their spatial relationships, construction methods, and applications, demonstrating the diversity of vault designs. Typically grounded in extensive fieldwork, these works align well with the characteristics of vaults in Iranian architecture; however, they generally do not propose a clear, comprehensive, and exclusive classification framework. The second category includes studies on structural systems by scholars like Robin Engels, Rowland J. Mainstone, and Bjørn N. Sandaker, who analyse and classify structural systems based on morphological features and structural behaviour. The thematic scope of these studies typically lies outside the realm of Iranian historical architecture. While this category offers a systematic and clear method for classifying vault structures by concurrently considering morphological and structural criteria, it lacks the necessary comprehensiveness, precision, and clarity to effectively address the diverse vaulting types in Iranian architecture.

**Results & Conclusion:** This article proposes an integrated, novel framework for classifying vault types in Iranian architecture, synthesising findings from both categories through logical reasoning. This framework coheres with the remarkable variety of vault designs in historical Iranian architecture and, by simultaneously considering morphological and structural criteria, provides a clear methodology and rationale. Vaults are classified based on two concurrent criteria: the presence and configuration of structural elements and the form of these structural elements. According to the first criterion, vaults are divided into three groups: 'without ribs,' 'with peripheral ribs,' and 'with peripheral and intersecting ribs. According to the second criterion, the vault is composed of brick shells (with an overall planar structural form) and ribs (with an overall linear structural form). Consequently, vaults consist of subcategories as follows: 1) Vaults without ribs featuring single-curved shells (barrel vault) or double-curved shells (squinch and domical vaults); 2. Vaults with peripheral ribs and single-curved shells (barrel), double-curved shells (squinch and domical, and Kajaveh), intersection of two single-curved shells (groin and crossed vault), or combinations of single- and double-curved shells (Khunecheh-poush); 3. Vaults with peripheral and intersecting ribs where shells are parts of single- or double-curved surfaces. These vaults are formed either through a sequential geometry of lines and planes (Karbandi vault), a sequential geometry of lines with non-sequential planes (ribbed vault), or a non-sequential geometry of lines and planes (Patkaneh or muqarnas vault).

Overlapping structural and morphological components forms the basis for dividing vaults into two categories: a) Planar vaults (including single-curved, double-curved, intersection of two single-curved shells, and combinations of single- and double-curved shells); b) Linear and planar vaults (which, depending on the sequential or non-sequential order of lines and planes, are subdivided into three groups). In planar vaults, the shell plays a central role as the main structural element responsible for stability and shape, whereas in linear and planar vaults, the shell's role diminishes, and ribs primarily shape and stabilise the vault to the extent that this type of vault cannot be constructed without intersecting ribs. Accordingly, this article presents a systematic and integrated framework for identifying and introducing vaults in Iranian historical architecture by simultaneously considering morphological and structural components. Employing this framework not only offers a more comprehensive classification of vaults but also reveals challenges faced by designers and builders of vaulted structures, thereby opening a new window for designing innovative vaults in the contemporary architecture.

# چارچوبی نوین برای دسته‌بندی طاق‌ها در معماری تاریخی ایران



هادی صفائی‌پور

استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

دریافت: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۲

پذیرش: ۳۰ خرداد ۱۴۰۲

(صفحه ۱۳۹-۱۱۹)

هادی صفائی‌پور. ۱۴۰۴. چارچوبی نوین برای دسته‌بندی طاق‌ها در معماری تاریخی ایران. فصلنامه علمی معماری و شهرسازی ص ۳۵  
(۳): ۱۳۹-۱۱۹.

کلیدواژگان: طاق، دسته‌بندی، شکل سازه‌ای، سازه‌های آجری، معماری تاریخی ایران.

## چکیده

**اهداف و پیشینه:** پوشش‌های طاقی در معماری تاریخی ایران از لحاظ کالبدی، فضایی، و معنایی نقشی محوری و جایگاهی ویژه دارند و در مقایسه با معماری تاریخی دیگر سرزمین‌ها از تنوع کم‌نظیری برخوردارند. در ادوار مختلف معماری ایران و به‌خصوص از قرون میانی اسلامی به بعد، شکل و سازه طاق‌ها از دوره‌ای به دوره‌ای و از بنایی به بنایی دیگر مدام تغییر می‌کند و در صورت‌ها و ترکیب‌های تازه پدیدار می‌شود. در چنین زمینه‌ای شناخت دقیق گونه‌های طاقی و دسته‌بندی آنها امری مهم و دشوار است. بر این اساس، هدف در این مقاله یافتن چارچوب مناسبی برای بازشناسی و دسته‌بندی جامع و مانع طاق‌ها در معماری تاریخی ایران است.

**مواد و روش‌ها:** برای نیل به این هدف، به‌سراغ آراء دانشوران معاصر می‌رویم و آنها را به روش توصیفی - تحلیلی و با راهبرد دسته‌بندی در دو دسته بررسی می‌کنیم: دسته نخست شامل «مطالعات حوزه معماری تاریخی ایران» نزد دانشورانی چون آندره گدار، مایرون بمنت اسمیت، دانا وایلیز، لیزا گلمبک، محمدکریم پیرنیا، غلامحسین معاریان، و حسین زمرشیدی است. در این مطالعات هندسه نظری

طاق‌ها، ارتباط آن با ویژگی‌های فضایی، روش ساخت، و کاربرد آنها و تنوع طرح طاق‌ها معرفی می‌شود. این مطالعات معمولاً متکی بر بررسی‌های میدانی مصادیق متعدد هستند و از این‌رو با ویژگی‌های طاق‌ها در معماری ایران تناسب دارند، اما معمولاً بدون چارچوب مدون و روشن و جامع و مانعی برای دسته‌بندی طاق‌ها هستند. دسته دیگر شامل «مطالعات حوزه نظام‌های سازه‌ای» نزد دانشورانی چون انگلز، مین‌استون، و سنداکر هستند. در این پژوهش‌ها انواع سیستم‌های سازه‌ای را بر اساس ویژگی‌های شکلی و رفتار سازه‌ای آنها مطالعه و دسته‌بندی می‌شوند. قلمرو موضوعی این مطالعات معمولاً خارج از محدوده معماری تاریخی ایران و فارغ از آثار آن است. در این دسته از مطالعات، با توجه هم‌زمان و روشمند به مؤلفه‌های شکلی و سازه‌ای طاق‌ها، روشی روشن برای دسته‌بندی سازه‌های طاقی عرضه می‌گردد؛ اما برای مواجهه با انواع طاق در معماری ایران، جامعیت، دقت، و وضوح لازم را ندارد. بر این اساس در مقاله پیش رو با ارزیابی، تحلیل، و پیوند یافته‌های این دو دسته مطالعات با روش استدلال منطقی، چارچوب یکپارچه نوینی برای دسته‌بندی انواع طاق در معماری ایران پیشنهاد می‌شود؛ چارچوبی که هم با تنوع چشمگیر طرح طاق‌ها در معماری تاریخی ایران همخوانی دارد و هم، با توجه هم‌زمان به ملاک‌های شکلی و سازه‌ای، از منطق و روشی روشن برخوردار است.

1. h\_safaeipour@sbu.ac.ir



۱۱۰ شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴، فصلنامه علمی معماری و شهرسازی، سال سی‌وپنجم، پاییز ۱۴۰۴، شماره ۳، پاییز ۱۱۰  
\*. Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

ص ۳۵  
فصلنامه علمی معماری و شهرسازی، سال سی‌وپنجم، پاییز ۱۴۰۴، شماره ۳، پاییز ۱۱۰  
\*. Corresponding Author Email Address: h\_safaeipour@sbu.ac.ir  
<http://dx.doi.org/10.48308/SOFEH.2023.231602.1255>

## پرسش‌های تحقیق

۱. چارچوب مناسب برای بازشناسی و دسته‌بندی جامع و مانع طاق‌ها در معماری تاریخی ایران چیست؟

۲. از نظر تاریخی غیاث‌الدین جمشید کاشانی دو واژه «طاق» و «زج» را به کار برده است (نک: غیاث‌الدین جمشید کاشانی، رساله طاق و زج (تهران: سروش، ۱۳۶۶)، ۲۷). او «طاق» را اندام منحنی‌شکلی می‌داند که اندازه طول آن از عمقش بیشتر و کاربرد آن پوشاندن دهانه درگاه است و اندام‌های منحنی‌شکلی که عمق آنها از طولشان بیشتر است و برای پوشاندن فضا به کار می‌روند را «زج» به معنای سَغ (سقف یا پوشش خمیده) می‌خوانند (نک: لغتنامه دهخدا، ذیل «سغ»).

۳. امروزه واژه «طاق» معمولاً به معنی اندام منحنی پوشش فضا به کار می‌رود؛ اما این واژه در بعضی کلمات مانند «چهارطاقی» و «طاق‌بندی» به معنایی که کاشانی اشاره کرده به کار می‌رود. بر این اساس چهارطاقی فضایی متشکل از چهار قوس و نه چهار سقف منحنی است.

۴. پیرنیا در واژه‌نامه مقاله‌اش هر چهار واژه فوق را برای معرفی پوشش منحنی درگاه استفاده می‌کند (محمدکریم پیرنیا، «چفدها و طاق‌ها»، اثر، ش. ۲۴ (۱۳۷۳): ۱۴۶). با این حال به نظر می‌رسد او واژه «چفد» واژه اصلی خود برگزیده است و آن را در نوشته‌ها و گفته‌های خود بیشتر به کار می‌برد (همان؛ پیرنیا، «ارمغان‌های ایران به جهان: معماری گنبد»، هنر و مردم، ش. ۱۳۶ و ۱۳۷ (زمستان ۱۳۵۲): ۳). معماریان نیز با پیروی از او، این اندام را «چفد» می‌خوانند (غلامحسین معماریان، معماری ایرانی ←

نتایج و جمع‌بندی: در این مقاله با توجه هم‌زمان به دو مؤلفه «موقعیت و ترکیب عناصر سازه‌ای» و «شکل عناصر سازه‌ای» طاق‌ها دسته‌بندی می‌شود: بر اساس مؤلفه اول، طاق‌ها به سه دسته «بدون تویزه»، «با تویزه‌های محیطی» و «با تویزه‌های محیطی و مقاطع» تقسیم می‌شوند. بر مبنای مؤلفه دوم، طاق ترکیبی از پوسته‌های آجری (با شکل سازه‌ای کلی صفحه‌ای) و تویزه‌ها (با شکل سازه‌ای کلی خطی) است. بر اساس این دو مؤلفه، طاق‌ها از دسته‌های خردتری نیز تشکیل می‌شوند: ۱) طاق بدون تویزه و با پوسته‌های تک‌انحنایی (طاق آهنگ) یا دوانحنایی (چهاردوری و کلبو)؛ ۲) طاق با تویزه‌های محیطی و پوسته‌های تک‌انحنایی (آهنگ)، دوانحنایی (چهاردوری، کلبو و کزاوه)، تلاقی دو تک‌انحنایی (ترکین و چهاربخش) یا ترکیبی از تک‌انحنایی و دوانحنایی (خوانچه‌پوش)؛ ۳) طاق‌های با تویزه‌های محیطی و مقاطع که در آنها پوسته‌ها جزئی از صفحات تک یا دوانحنایی هستند. این طاق‌ها با هندسه ترتیبی از خط و صفحه (کاربندی) یا هندسه ترتیبی از خط و غیرترتیبی از صفحه (طاق با باریکه طاق) یا هندسه غیرترتیبی خط و صفحه (پتکانه) شکل گرفته‌اند. با هم‌پوشانی مؤلفه‌های سازه‌ای و شکلی، مؤلفه‌ای کلی‌تر و اصلی‌تر و تعیین‌کننده‌تری موسوم به «شکل سازه‌ای کلی» مبنای تقسیم‌بندی طاق‌ها به دو دسته می‌شوند: الف) طاق‌های «صفحه‌ای» (شامل تک‌انحنایی، دوانحنایی، تلاقی دو تک‌انحنایی، ترکیب تک‌انحنایی و دوانحنایی)؛ ب) طاق‌های «خط و صفحه‌ای» (که بسته به ترتیبی یا غیرترتیبی بودن نظم خطوط یا صفحات خود شامل سه دسته است). در طاق‌های «صفحه‌ای»، پوسته طاق نقشی محوری و عمده دارد و عامل اصلی ایستایی و شکل طاق است. درحالی‌که در طاق‌های «خط و صفحه‌ای»، از نقش پوسته‌ها کاسته می‌شود و تویزه نقش اصلی در شکل دادن به طاق و ایستایی آن دارد تا حدی که این دسته طاق، بدون استفاده از تویزه‌های مقاطع قابل اجرا نیست. بدین ترتیب در این مقاله با توجه هم‌زمان و روشنند به مؤلفه‌های شکلی و سازه‌ای طاق‌ها در معماری ایران، آنها در یک چارچوب یکپارچه بازشناسی و معرفی می‌شوند. بهره‌گیری از این چارچوب ضمن معرفی جامع‌تر طاق‌ها می‌تواند ما را با مسائل پیش روی طراحان و سازندگان پوشش‌های منحنی مواجه کند و از این طریق پنجره‌ای برای اندیشیدن به طراحی آسمانه‌های نو بگشاید.

## مقدمه: اهمیت دسته‌بندی طاق‌ها در معماری ایران

در معماری ایران اندام‌های منحنی‌شکلی که برای پوشاندن درگاه و فضا به کار می‌رود، با نام‌های مختلفی خوانده می‌شوند. صرف‌نظر از نام‌های تاریخی<sup>۱</sup> این اندام‌ها، که امروزه استفاده از آنها به چنین معنایی معمول نیست،<sup>۲</sup> دانشوران اندام منحنی پوشاننده درگاه را معمولاً «چَفَد»، «چَفْتَه»، «قوس» و «دور» و اندام منحنی پوشاننده دهانه را «طاق» می‌نامند. هرچند برای انتخاب واژه «طاق» وحدت نظر نسبی وجود دارد؛ انتخاب واژه مناسب برای اندام منحنی پوشاننده درگاه امری پرمناقشه است.<sup>۴</sup> هیچ‌یک از این واژه‌ها در لغت‌نامه دهخدا دقیقاً به معنای اندام پوشاننده درگاه ضبط نشده؛<sup>۵</sup> بلکه از مطالعات میدانی درباره دانش شفاهی معماری سنتی و مصاحبه با استادکاران معمار معاصر به‌دست



پشتوانه‌های معنایی این عنصر در فرهنگ معماری ایران دلالت دارد. این واژه مفهوم این پوشش‌ها را از سقف و سرپناهی که صرفاً تأمین‌کننده آسایش اقلیمی فضاست، به آسمان معنایی طراحان و باشندگان فضا ارتقا می‌دهد و استعداد آن را برای حمل معانی باطنی چون هستی، کیهان، افلاک، و آسمان طبیعی بازگو می‌کند. در متن کتیبه‌ها<sup>۱</sup> و نقوش تزیینی کارشده بر آسمانه‌ها<sup>۲</sup> و در متون ادبی و تاریخی فارسی<sup>۳</sup>، قرائن زیادی وجود دارد که به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر چنین معانی باطنی دلالت دارد.

چنین است که طاق‌ها در معماری ایران کمتر رنگ تکرار می‌گیرند و با تنوع و غنایی خیره‌کننده در گستره‌ای از طرح‌های سازه‌ای و تزیینی ظاهر می‌شود. این تنوع چنان است که گویا همواره، و به‌ویژه در بناهای یادمانی، طاق‌ها از موضوعات کانونی طراحی هستند و مسابقه‌ای بی‌پایان برای خلق پوشش‌های طاقی تازه در صحنه معماری تاریخی ایران در جریان است. نمود طراحی متنوع و بدیع طاق‌ها را می‌توان در شبستان‌های مساجد جامع مشاهده کرد؛ فضاهایی که در آنها طاق‌ها در زمینه‌هایی کم‌وبیش مشابه و هم‌اندازه با طرح‌هایی گوناگون برپا شده‌اند؛ به‌طور مثال مسجد جامع اصفهان با در داشتن بیش از ۴۷۰ طاق از انواع مختلف، نمایانگر نمونه برجسته و موزه‌گونه از هنر طاق‌زنی در معماری ایران است.

موضوع دیگر ابهام در نقش سازه‌ای و تزیینی پوشش‌های طاقی در معماری ایران است. یکی از هنجارهای معمول در معماری اسلامی عناصری است که در ابتدا مبتنی بر الزامات سازه‌ای پدید می‌آیند و در گذر زمان، گاه با پالایش فرم‌ها، به شکل‌های تزیینی تبدیل می‌شوند؛ این امر موجب می‌شود که معمولاً ابهامی همیشگی درباره نقش اندام‌های سازنده بنا باقی بماند و مشخص نباشد که آیا آنها عنصری کاملاً تزیینی‌اند یا عملکردی سازه‌ای دارند؛ یا آنکه گاه مانند بسیاری از نمونه‌ها

آمده است. با توجه به این ناهمگونی، و همچنین تفاوت واژگان در لهجه‌ها و دگرگونی‌های زبانی در طول زمان، انتخاب یک واژه مشخص دشوار است. از این‌رو صرف‌نظر از قضاوت درباره درستی یا نادرستی هریک از این نام‌ها، در این نوشته از دو واژه «چفد» و «طاق»، که در بیان دانشوران این حوزه رواج بیشتری دارد، استفاده می‌شود. بر این اساس، واژه «طاق» مُعَرَفِ اندام منحنی پوشاننده فضا و واژه «چفد» مُعَرَفِ اندامی منحنی متشکل از یک یا چند کمان است که برای پوشاندن درگاه به کار می‌رود.<sup>۴</sup>

نگاهی گذرا به پیشینه طراحی و ساخت این اندام گویای آن است که طاق‌ها در معماری ایران، در مقایسه با دیگر نقاط جهان، نقشی محوری و جایگاهی ویژه در طراحی فضا داشته‌اند. معمولاً فارغ از نوع بنا یا دوره‌بندی تاریخی و محدوده جغرافیایی، طاق عنصر بلامنازع فضاهای داخلی است و در مقایسه با دیگر عناصر سازنده فضا، سهم بسیار بیشتری در شکل دادن فضا دارد. این امر، به‌ویژه از قرون میانی دوران اسلامی به بعد، در آثار معماری نمودی چشمگیر دارد و به بخشی از زبان طراحی در معماری دوران اسلامی ایران تبدیل می‌شود. ابوالقاسمی مبحث پوشش در معماری ایرانی را اساس معماری و پیش‌اندیشیده‌ترین عامل مؤثر در شکل‌یابی بنا می‌داند و تأکید می‌کند که مسائل نیارشی، فنی، و اجرایی بر نوع پوشش کل ساختمان نیز تأثیر دارد و بنابراین اساسی‌ترین عامل شکل‌دهی به اندام‌های باربر و فضاهای معماری است.<sup>۵</sup> به بیان دیگر، در بیشتر آثار معماری تاریخی ایران، شکل‌گیری فضا از پوشش آغاز می‌شود و بر هنجارهای طراحی دیگر اجزا، مانند اندازه زمینه، قاب‌بندی جداره‌ها، موقعیت، و اندازه گشودگی‌ها، اثر می‌گذارد.<sup>۶</sup>

وجه دیگر اهمیت طاق‌ها در معماری تاریخی ایران، معنای آنهاست. انتخاب واژه «آسمانه» برای پوشش‌های منحنی، بر

→ نیارش (تهران: گنج‌نام، ۱۳۹۷)، ۸۸-۸۹. استفاده از واژه «قوس» و «دور» در گفته‌ها و نوشته‌های استادکاران معمار معاصر مانند حسین لرزاده (مهنار رئیس‌زاده و حسین مفید/احیای هنرهای از یادرفته مبانی معماری سنتی در ایران به روایت استاد حسین لرزاده (تهران: مولی، ۱۳۷۴)، ۳. غلامرضا فرزانه محمدی و رحمت‌الله رضایت (هادی صفایی‌پور، روش‌شناسی فهم و تبیین مراجع طراحی معماران سنتی معاصر ایران) (دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹۴)، ۱۲۵، ۱۷۶، ۱۸۴؛ حسین زمرشیدی (حسین زمرشیدی، طاق و قوس در معماری ایران (تهران: کیهان، ۱۳۷۳))، و اصغر شعراف (اصغر شعراف، گره و کاربردی (تهران: سبحان نور، ۱۳۸۵)) رواج دارد.

۵. در لغت‌نامه دهخدا واژه «چَفْت» به معنای چوب‌بندی که تاک انگور و بیارة کدو و امثال آن را بر بالای آن اندازند، ذکر شده است. این واژه همچنین مجازاً به معنای «تالار» و سقفی خمیده مانند طاق و آن معرفی شده است. به این ترتیب در این لغت‌نامه «چَفْت» به معنای اندام پوشاننده فضا و نه درگاه ضبط شده است. با وجود این، در فهرست واژه‌های مصوب فرهنگستان هنر، واژه «چَفْت» برای معرفی اندام منحنی پوشاننده درگاه استفاده شده است؛ انتخابی که به نظر می‌رسد با لغت‌نامه دهخدا و تألیفات دانشوران قبلی و به‌ویژه پیرنیا همخوانی ندارد.

عطفد به این معنا در زبان انگلیسی arch و کمان‌های سازنده آن arc خوانده می‌شوند.

۷. علی عمرانی‌پور، هنر و معماری اسلامی: یادنامه دکتر لطیف ابوالقاسمی (تهران: سازمان عمران و بهسازی شهری، ۱۳۸۴)، ۳۶۲.

۸. به‌طور نمونه استاد نعمت‌الله رضایت نیز هماهنگی ابعاد فرش‌ها با اندازه دهانه را چنین تشریح می‌کند: «اندازه قالب ساخت تاق، بر اساس {واحد} زرع بود. به یاد دارم که هر سه زرع، ۱۲ سانت از سه متر بیشتر بود. ... {از آنجاکه} معماران طول قالب را سه زرع می‌گرفتند، ابعاد پشت‌به‌پشت ستون‌ها و اندازه عرض فرش‌ها هم همین مقدار بود» (نعمت‌الله رضایت، مسجد جامع اصفهان، مصاحبه توسط هادی صفایی‌پور، ۱۳۹۱/۵/۱۷، آرشیو شخصی مصاحبه‌کننده).

۹. متن چنین کتیبه‌هایی گاه آیات قرآنی است که بر آسمان و نور و ستارگان دلالت دارند، مانند کتیبه حاوی آیه نور (۳۵:۲۴) حک‌شده در سردر مقرنس مجموعه سلطان حسن قاهره یا شعر کتیبه سردر بنای درب امام اصفهان که چنین است: «کنایه است بدین دور گنبد افلاک / ... ببین به عین بصیرت که آن که ایوانش / گذشته بود ز کیوان چگونه شد در خاک» (گلرو نجیب‌اوغلو، هندسه و تزیین در معماری اسلامی / طومار توقایی)، ترجمه مهرداد قیومی بیدهندی (تهران: روزنه، ۱۳۷۹)، ۱۶۳ و ۱۶۶.

دارای نقشی ترکیبی می‌شوند.<sup>۱۲</sup> این وضعیت تشخیص عناصر سازنده طاق و در نتیجه دسته‌بندی آنها را دشوار می‌کند.

این زمینه‌ها شناخت طاق‌ها در معماری ایران را به موضوعی گسترده و پیچیده تبدیل کرده و این امر باعث شده است که نتوان به‌سادگی اقسام طاق‌ها را در دسته‌هایی مشخص با مرزهای روشن و دقیق جای داد و به تصویری جامع و مانع از صورت‌های مختلف طاق در معماری ایران دست یافت. دستیابی به یک نظام یکپارچه، جامع و مانع، و متکی بر ویژگی‌های شکلی و سازه‌ای برای بازشناسی و دسته‌بندی طاق‌ها هدف اصلی در این مقاله است. برای این منظور، با بهره‌گیری از روش توصیفی - تحلیلی، پژوهش دانشوران قبلی در این زمینه را بررسی می‌کنیم و با ارزیابی انتقادی آنها در پی یافتن کاستی‌ها یا تعارض‌های آنها هستیم. در ادامه با روش استدلال منطقی، چارچوب تازه‌ای برای صورت‌بندی طاق‌ها در معماری تاریخی ایران پیشنهاد و با به‌کارگیری این چارچوب جدید، انواع طاق‌ها و مشخصه‌های آنها در معماری تاریخی ایران را به‌اختصار معرفی کنیم.

## ۱. پیشینه دسته‌بندی طاق‌ها در معماری تاریخی ایران

پیشینه این پژوهش را، بنا بر حوزه موضوعی مطالعات پیشین، می‌توان شامل دو دسته کلی شامل «مطالعات حوزه معماری تاریخی ایران» و «مطالعات حوزه نظام‌های سازه‌ای» دانست. در ادامه برای بهره‌گیری از این پیشینه و رسیدن به یک چارچوب جامع‌تر، ساختار و مبنای این دو دسته مطالعات را درمی‌یابیم.

### ۱.۱. مطالعات حوزه معماری تاریخی ایران

دسته نخست پیشینه شامل پژوهش‌هایی در حوزه مطالعات

معماری تاریخی ایران است. آندره گدار، مایرون بمنت اسمیت<sup>۱۳</sup>، دانالد ویلبر، لیزا گلمبک<sup>۱۴</sup>، محمدکریم پیرنیا، غلامحسین معماریان، و حسین زمرشیدی از جمله دانشورانی هستند که گاه در سایه مطالعاتی تاریخی یا سبک‌شناسانه به‌صورت غیرمستقیم و گاه در پژوهش‌هایی متمرکز بر شناخت طاق‌ها به‌صورت مستقیم، به بررسی و دسته‌بندی انواع طاق در معماری ایران پرداخته‌اند. در «جدول ۱» خلاصه‌ای از این انواع طاق در نگاه هریک از این دانشوران آمده است.

در میان این دانشوران، گدار با نگاهی کل‌نگرتر و موجز طاق‌ها را به پنج دسته آهنگ، گنبدی، چهاربخشی، خرپشته‌ای<sup>۱۵</sup>، و مقرنس تقسیم می‌کند. او بسیاری از انواع پیچیده‌تر طاق (همچون طاق ترکین، کژاوه، و ...) را در نظر نگرفته است و از میان طاق‌های تویزه‌دار نیز تنها به نوعی خاص موسوم به خرپشته‌ای نظر دارد و دیگر انواع طاق‌های تویزه‌دار را بررسی نمی‌کند. پیرنیا همچون گدار دسته‌های کلی طاق آهنگ، کلبو (گنبدی)، چهاربخش، و طاق با تویزه را معرفی می‌کند؛ اما دسته‌بندی مفصل‌تری عرضه می‌کند و به زیردسته‌های بعضی از انواع طاق نیز می‌پردازد؛ به‌طور نمونه دو زیردسته کژاوه و خوانچه‌پوش را برای دسته طاق با تویزه می‌آورد، باین‌حال دسته‌بندی او نظامی روشن و یکپارچه ندارد؛ زیرا هرچند به نقش تویزه در دسته‌بندی می‌پردازد، اما تأکید او بر تویزه‌های محیطی است و جایگاه گونه‌هایی مثل ترکین، پتکانه، چهاردوری، طاق با باریکه‌طاق<sup>۱۶</sup> در چارچوب دسته‌بندی او روشن نیست؛ هرچند با توجه به پیشینه پژوهشی او می‌دانیم که با این گونه‌ها نیز آشنایی دارد و حتی برخی را برای اولین بار معرفی کرده است.

اسمیت و معماریان در دسته‌بندی‌هایشان یک قدم جلوتر، متنوع‌تر، و دقیق‌تری هستند. چارچوب پیشنهادی این دو تا حد زیادی شبیه به هم است؛ اما تفاوت‌هایی در برخی از دسته‌ها

فصلنامه علمی معماری و شهرسازی؛ سال سی‌ونهم، پاییز ۱۴۰۴، شماره ۳، پیاپی: ۱۱۰

چارچوبی نوین برای دسته‌بندی طاق‌ها در معماری تاریخی ایران: هادی صفایی‌پور

۱۰. به‌طور نمونه تزئینات رایج عصر تیموری به بعد، شامل شبکه‌ای از ستاره‌های چندضلعی است که بر سطوح پوشش‌های کاربندی یا مقرنس نقش بسته و می‌تواند دربردارندهٔ اشاراتی به آسمان طبیعی یا مثالین باشد. نجیب‌اوغلو در تفسیر نقوش کارشده در طومار توپکایی این موضوع را چنین شرح می‌دهد: «از میان نقش‌های هندسی، آنها که دارای ستاره یا شمسه‌اند بیشتر تداعی‌کنندهٔ آسمانند. شبکه دواپر هم‌مرکز مدارگونه‌ای که زیرنقش گره‌های ستاره‌ای است یادآور مدارات ستارگان است و شعاع‌های هم‌فاصله شمسه‌ها همچون پرتوهایی است که در آسمان پرستاره از ستارگان می‌تابد.» (همان، ۱۶۱).

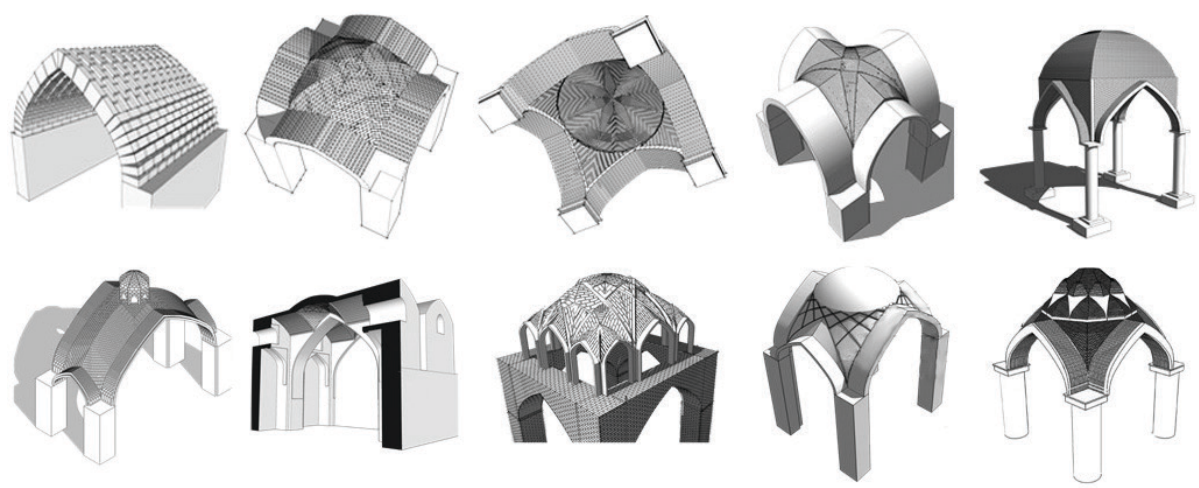
۱۱. به‌طور نمونه اصطلاحاتی چون «خیمهٔ دهر»، «چتر مینا»، «گنبد دهر»، «سقف مقرنس»، و «طاق مقرنس» در متون تاریخی فارسی بر معانی باطنی آسمانه دلالت می‌کند؛ موضوعی که قطعاً به تمامی آسمانه‌ها قابل تعمیم نیست؛ اما در بعضی برهه‌ها و بناها نمودی قابل توجه دارد.

جدول ۱. پیشینهٔ دسته‌بندی طاق‌ها، گردآوری و تدوین: نگارنده.

هست؛ به‌طور مثال اسمیت چهاردوری و کژاوه را در یک دسته با عنوان طاق‌های سه‌کنجی جای می‌دهد و کلنبو را در دسته‌ای جداگانه معرفی می‌کند؛ درحالی‌که معماریان کژاوه را دسته‌ای جداگانه می‌داند و چهاردوری را، با عنوان فرعی کلنبوی نوع دو، یکی از زیرشاخه‌های کلنبو می‌داند. معماریان طاق خوانچه‌پوش را جداگانه و اسمیت آن را ذیل دسته

| دانشور                                                                                                                                                                                                          | مبنای دسته‌بندی                                                                                                                                                                                                                                                    | دسته‌ها                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| آندره گدار:<br>گدار و دیگران، <i>آثار ایران</i> .                                                                                                                                                               | گدار انواع طاق را راه حل‌های فرمی مختلفی برای پوشاندن فضا می‌داند و در هر دسته بر اساس نمونه‌های تاریخی، سیر رسیدن به انواع راه حل‌های سازه‌ای انواع طاق را توصیف می‌کند. در این راستا به شیوهٔ اجرا و ویژگی‌های شکلی، سازه‌ای، و کاربردی طاق‌ها اشاره می‌کند.     | آهنگ (tunnel vaults)، گنبدی (و مخروطی)، چهاربخش، خرپشته‌ای (نوعی از طاق با باریکه‌طاق*)، مقرنس.                                                                                                                                                                                                |
| مایرون بنت اسمیت:<br><i>Smith, The Vault In Persian Architecture: A Provisional Classification, with Notes on Construction.</i>                                                                                 | اسمیت در هر دسته شکل و هندسهٔ نظری طاق، ساختار سازه‌ای، و نمونه‌های تاریخی آن طاق را شرح می‌دهد. او برای هر دسته زیرشاخه‌هایی معرفی می‌کند؛ مثلاً برای طاق توپزه‌دار زیرشاخه‌های طاق چهاربخشی توپزه‌دار، طاق با توپزه‌های متقاطع، طاق گنبدی توپزه‌دار را می‌آورد.* | آهنگ، ترکیب (cloister vaults)، چهاردوری (squinch vaults)، عرقچین سوار بر در معازه (calottes on pendentives) (کلنبو)، چهاربخشی (groined vaults)، توپزه‌دار (ribbed vaults)، ترکیبی (compound vaults)، استالاکتیت (stalactite vaults).                                                           |
| محمدکریم پیرنیا:<br>پیرنیا، «چفدا و طاق‌ها».                                                                                                                                                                    | پیرنیا طاق‌ها را به دوستهٔ کلی تقسیم می‌کند. در هر دسته هندسهٔ نظری و قابلیت‌های سازه‌ای و کاربردی آن نوع طاق را بیان می‌کند.                                                                                                                                      | دستهٔ اول شامل آهنگ، کلنبو و چهاربخشی به‌همراه طاق‌های زیرمجموعهٔ آنهاست. دستهٔ دوم طاق و توپزه است که خود شامل کژاوه و خوانچه‌پوش است. طاق‌های دستهٔ دوم می‌تواند با انواع طاق‌های معرفی‌شده در دستهٔ اول نیز ترکیب شود. در ادامه انواع معاصرتر طاق همچون طاق قمی‌پوش*** را نیز معرفی می‌کند. |
| ویلبر و گلمبک:<br>ویلبر، <i>معماری اسلامی ایران در دوره ایلخانان</i> ؛ ویلبر و دیگران، <i>معماری تیموری در ایران و توران</i> ؛ Golombek and Wilber, <i>The Timurid Architecture of Iran and Turan</i> , Vol. 1. | آنها در هر دسته به توصیف شکل انواع طاق بر اساس نمونه‌های تاریخی آن می‌پردازند و در خلال آن به قابلیت‌های کاربردی و سازه‌ای آن نوع طاق و در مواردی شیوهٔ اجرای طاق اشاره می‌کنند.                                                                                   | انواع طاق‌های دورهٔ ایلخانی و تیموری را در دسته‌های طاق ضربی، رومی، نیم‌گنبد، مقرنس، طاق با توپزه‌های متقاطع، خوانچه‌پوش جای می‌دهد.                                                                                                                                                           |
| معماریان:<br>معماریان، <i>معماری ایرانی نیارش</i> ، ۱-۳۶۳.                                                                                                                                                      | در هر دسته شکل طاق، نظام انتقال نیرو، روش ساخت و نمونه‌های تاریخی آن طاق را شرح می‌دهد.                                                                                                                                                                            | آهنگ، ترکیب، چهاربخش، کلنبوی نوع یک و دو (کلنبو و چهاردوری)، کژاوه، خوانچه‌پوش، طاق با باریکه‌طاق، پتکانه، و کاربندی.                                                                                                                                                                          |
| زمرشیدی:<br>زمرشیدی، <i>طاق و قوس در معماری ایران</i> ، ۳۳۶-۳۵۲.                                                                                                                                                | به شرح آجرچینی و جزئیات شکلی چند گونه از طاق می‌پردازد. در برخی دسته‌ها به ویژگی‌های شکلی و در برخی دیگر به نحوهٔ اجرای طاق اشاره می‌کند.                                                                                                                          | چهارطاقی (چهاربخشی)، عرق‌چین، کاسه‌ای، ضربی، خفته‌راسته و تیه‌ای.                                                                                                                                                                                                                              |

\*طاق با باریکه‌طاقی که توپزه‌های آن چیدمانی عرضی و صلیبی دارند؛ چیدمانی شبیه گنبد تالار مدرسهٔ غیاثیهٔ خرگرد.  
\*\* بر اساس تعریفی که اسمیت از هر طاق عرضه کرده است، نام فارسی معادل طاق‌ها بر اساس نام‌های پیشنهادی پیرنیا برگزیده شده است.  
\*\*\* قمی‌پوش از نظر هندسی یکی از انواع معاصرتر طاق آهنگ محسوب می‌شود.



12. C. Edwards and D. Edwards, "The evolution of shouldered arch in medieval Islamic architecture", *Architectural History*, no. 42 (1999): 68.

13. Myron Bement Smith

14. Lisa Golombek

۱۵. بر اساس تعریف گدار طاق خریشته‌ای نوعی طاق با باریکه‌طاق‌های صلیبی و شکلی گنبدی است (Andre Godard, "Voutes Iraniennes", In *Āthār-e Īrān (Annales du Service Archéologique de (L'Iran)*, IV (1949): 187-370

۱۶. در این دسته‌بندی طاق با تویزه متفاوت از طاق با باریکه‌طاق است. پیرنیا در مقاله‌اش نام دیگر طاق با تویزه را طاق و چشمه معرفی می‌کند؛ همچون طاق چشمه‌های سلسله‌وار در بازارها (پیرنیا، «چفدها و طاق‌ها»، ۹۲).

ت ۱. انواع طاق در دسته‌بندی معماریان: از چپ به راست، طاق‌های آهنگ، چهاردوری، کلنبو، چهاربخش، ترکیب، کژاوه، خوانچه‌پوش، طاق با باریکه‌طاق، کاربندی، و پتکانه، مأخذ: معماران، معماری ایرانی نیارش، ۱-۳۶۳.

جزء‌نگر است؛ مثلاً در گونه چهاربخشی، ابتدا شیوه آجرچینی این طاق را ضربی می‌داند و بعد در معرفی طاق ضربی، خفته‌راسته، و تیغه‌ای، دیگرام طاق آهنگ را تصویر می‌کند. همچنین از میان انواع گنبدی طاق تنها عرقچین و کاسه‌ای که شامل چند طاق ترکیب به هم چسبیده است را معرفی می‌کند.<sup>۱۹</sup> در همه این دسته‌بندی‌ها طاق گهواره‌ای، چهاربخش، و طاق گنبدی یا زیرشاخه‌های آن (عرقچین، کلنبو، چهاردوری، و کژاوه) معرفی شده‌اند. طاق ترکیب را اسمیت و معماریان و طاق خوانچه‌پوش را پیرنیا، اسمیت، ویلبر، و معماریان معرفی کرده‌اند. طاق با تویزه‌های میانی یا یکی از زیرشاخه‌های آن نیز در همه دسته‌بندی‌ها، به‌جز زمرشیدی، آمده است. به‌این ترتیب، در این پژوهش‌ها گاه طاقی در هیچ دسته‌ای نمی‌گنجد و گاهی یک طاق را می‌توان در چند دسته متفاوت جای داد. این دسته از مطالعات معمولاً متکی بر مطالعه میدانی مصادیق متعدد است و از این‌رو دسته‌بندی‌های آنها با ویژگی‌های طاق‌ها در معماری ایران تناسب دارد؛ اما در اکثر آنها جای طراحی با چارچوبی روشن و روشمند برای دسته‌بندی طاق‌ها و دسته‌بندی بر اساس آنها خالی است. به‌همین علت، گاه این دسته‌بندی‌ها جامع و مانع نیست و گاه با وجود جامعیت، ملاک‌ها و مرزهای

دسته‌بندی‌های ویلبر و گلمبک برگزیده و محدودتر و متکی بر نمونه‌هاست و به‌همین علت از تنوع و جزئیات بیشتری برخوردار است؛ اما جامعیت دسته‌بندی‌های معرفی‌شده را ندارد؛ به‌طور مثال ویلبر طاق آهنگ را بر اساس انواع شیوه‌های آجرچینی دسته‌بندی می‌کند.<sup>۱۷</sup> درحالی‌که از طرفی این شیوه‌های آجرچینی در انواع دیگر طاق نیز به کار می‌رود و از طرف دیگر ویلبر این شیوه‌ها را به‌صورت جامع معرفی نمی‌کند. بنابراین در اینجا نگاه جزئی‌نگر مانع از دستیابی به ساختاری جامع و مانع می‌شود. هرچند همین ریزینی موجب معرفی انواعی از طاق تویزه‌دار می‌شود که در دیگر دسته‌بندی‌ها به آنها کمتر پرداخته شده است.

گالدیری نیز نمونه‌های مختلف طاق‌های تویزه‌دار را معرفی می‌کند؛<sup>۱۸</sup> اما به دسته‌بندی این نمونه‌ها نمی‌پردازد و ساختاری برای آنها معرفی نمی‌کند. این موضوع می‌تواند دلالتی بر این باشد که او همه طاق‌های با باریکه‌طاق را متعلق به یک دسته می‌داند و درعین حال پیچیدگی این طاق‌ها به او مجال دسته‌بندی جزئی‌تر را نمی‌دهد. از این‌رو نام او را در جدول پیشینه دسته‌بندی طاق‌ها نیاوردیم. دسته‌بندی زمرشیدی به دوره تاریخی خاصی محدود نیست و نگاه او در دسته‌بندی‌اش

فصلنامه علمی معماری و شهرسازی؛ سال سی‌ونهم، پاییز ۱۴۰۴، شماره ۳، پیاپی: ۱۱۰  
چارچوبی نوین برای دسته‌بندی طاق‌ها در معماری تاریخی ایران: هادی صفائی‌پور

۱۷. ویلبر و دیگران، معماری تیموری در ایران و توران، ترجمه کرامت‌الله افسر و محمدیوسف کیانی (تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور، ۱۳۷۴)، ۱۵۸-۱۶۱.

18. E. Galdieri, "Contributi Alla Conoscenza Delle Strutture a Nervature Incrociate", *Rivista degli Studi Orientali*, 57 (1983): 61-80.

۱۹. زم‌رشیدی، طاق و قوس در معماری ایران، ۳۳۶-۳۵۲.

۲۰. رولان بز‌نوال، فناوری تاق در خاور کهن (تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور، ۱۳۷۹)، ۴۴.

ت ۲. دسته‌بندی شکل‌های سازه‌ای از دیدگاه انگل، مأخذ: هینو انگل، سیستم‌های سازه، ۳۳۱.

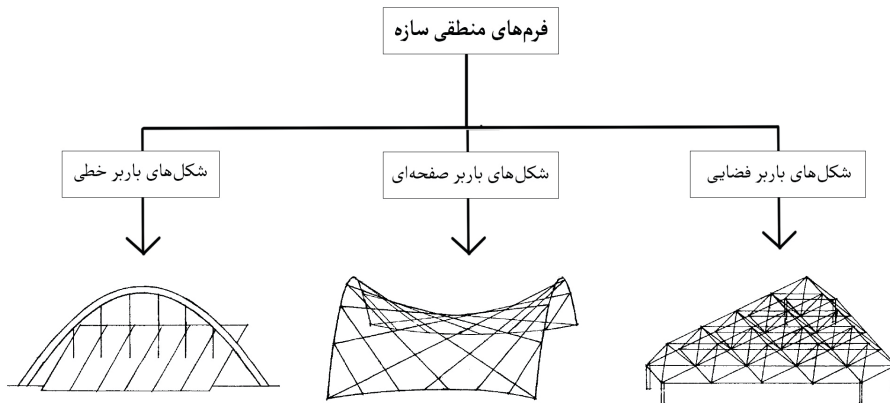
شکل می‌گیرد که نیروها در آن تنها به‌صورت فشاری منتقل می‌شوند و کشش و خمش در آن وجود ندارد.<sup>۲۴</sup> بنابراین در حوزه مطالعات سازه‌ای، شکل و هندسه طاق و روش اجرای این شکل امری کلیدی برای تعیین رفتار سازه‌ای طاق‌ها و بنابراین عاملی تعیین‌کننده در مرزشناسی و دسته‌بندی طاق‌هاست.

هینو انگل در کتاب سیستم‌های سازه، انواع سیستم‌های سازه‌ای و رفتار سازه‌ای وابسته به آنها را بر مبنای رفتار سازه‌ای‌شان در ۶ دسته معرفی می‌کند.<sup>۲۵</sup> از میان این دسته‌ها، انگل «سیستم‌های سازه‌ای با عملکرد شکلی» و «سیستم‌های سازه‌ای با عملکرد سطحی» را سازه‌هایی می‌داند که شکل هردوی آنها تابع منحنی طنابی‌اند و از این‌رو با رفتار سازه‌ای و شکل طاق‌ها نیز انطباق دارند. «سیستم‌های شکلی» شامل سازه‌های خطی قوسی‌شکل و «سیستم‌های سطحی»، شامل سازه‌های پوسته‌ای شکل استوانه‌ای و گنبدی هستند. همچنین او از نظر منطق سازه‌ای، سه شکل سازه‌ای خطی، صفحه‌ای، و فضایی را معرفی می‌کند (ت ۲). طاق‌های آجری دو شکل خطی و صفحه‌ای را شامل می‌شوند؛ به‌این‌ترتیب که هندسه توزیع‌های منحنی را «خط پیچیده» و هندسه طاق‌هایی با پوسته‌های آجری را «صفحات پیچیده» می‌خواند. او از نظر هندسی، سیستم‌های سطحی طاق‌ها را برگرفته از امتداد

روشنی برای دسته‌بندی ندارند. بنابراین ضمن استفاده از گونه‌های طاقی معرفی‌شده در این دسته از مطالعات، لازم است با بهره‌گیری از مطالعات مربوط به رفتار سازه‌های طاقی، ملاک‌هایی برای دسته‌بندی آنها مشخص شود.

## ۲.۱. مطالعات حوزه شناخت نظام‌های سازه‌ای

دسته دیگر پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه شناخت نظام‌های سازه‌ای انجام شده‌اند که فارغ از مصادیق طاق در معماری ایران، به مطالعه و دسته‌بندی انواع طاق‌ها اختصاص دارند. روش مشترک میان این دسته از مطالعات، دسته‌بندی طاق‌ها بر اساس رفتار سازه‌ای آنهاست. بر اساس این مطالعات، ساخت‌مایه‌های اصلی چفدهای باربر و طاق‌ها در معماری ایران مصالح بنایی شامل خشت، آجر، سنگ قلوه، و سنگ پاک‌بر هستند که با ملات به هم متصل می‌شوند. این ساخت‌مایه‌ها مقاومت خوبی در برابر فشار دارند؛ اما مقاومت رانشی، برشی، و خمشی آنها ضعیف یا ناچیز است.<sup>۲۰</sup> برای حل این مشکل، باید شکل نیم‌رخ چفد به‌گونه‌ای باشد که مسیر انتقال نیروها بر اساس منحنی طنابی باشد و از یک‌سوم میانی سطح مقطع چفد عبور کند. بدین‌ترتیب، طاق‌ها راه حل سازه‌ای هستند که متناسب با بهره‌گیری از «فرم ساختمانی بهتر»<sup>۲۱</sup> خلق شده‌اند؛ سازه‌هایی که رفتار تیرمانند ندارند و به مصالحی با مقاومت کششی بالا نیاز ندارد، راه حلی انقلابی در فن معماری که به جای «مقاومت مصالح» بر «مقاومت شکل» تأکید دارد و بر اساس آن «مقاومت بنا از شکل بخشیدن به ماده به‌دست می‌آید، شکل بخشیدنی منطبق با بارهایی که این شکل باید تحمل کند».<sup>۲۲</sup> به‌این‌ترتیب اگر شکل نیم‌رخ چفد با شکل «منحنی طنابی»<sup>۲۳</sup> منطبق باشد، نیروها در امتداد منحنی چفد حرکت می‌کنند. در صورتی که مسیر نیروها از یک‌سوم میانی سطح مقطع بلوک‌های سازنده عبور کند، چفدی پایدار



۲۱. مهدی فرشاد، تاریخ مهندسی در ایران (تهران: میرام، ۱۳۷۶)، ۳۹۹.

۲۲. بزئوال، فناوری تاق در خاور کهن، ۳۷.

۲۳. بسته به شرایط بارگذاری روی یک کابل معلق، به‌طور طبیعی، کابل شکل‌های متفاوتی به خود می‌گیرد. این شکل به «منحنی طنابی» یا «منحنی زنجیره‌ای» کابل موسوم است. متناظر با هر «منحنی طنابی» می‌توان چفدی با فرم معکوس با آن منحنی برپا کرد. در چنین چفدی نیروی خمشی ایجاد نمی‌شود و فقط تحت فشار خواهد بود (فولر مور، درک رفتار سازه‌ها (تهران: دانشگاه تهران، ۱۳۸۲)، ۱۸۳.

۲۴. همان، ۱۸۴.

D.H. Gye, "Arches and Domes in Iranian Islamic Buildings: An Engineer's Perspective", *Journal of the British Institute of Persian Studies*, vol. 26, no. 1 (1988): 136.

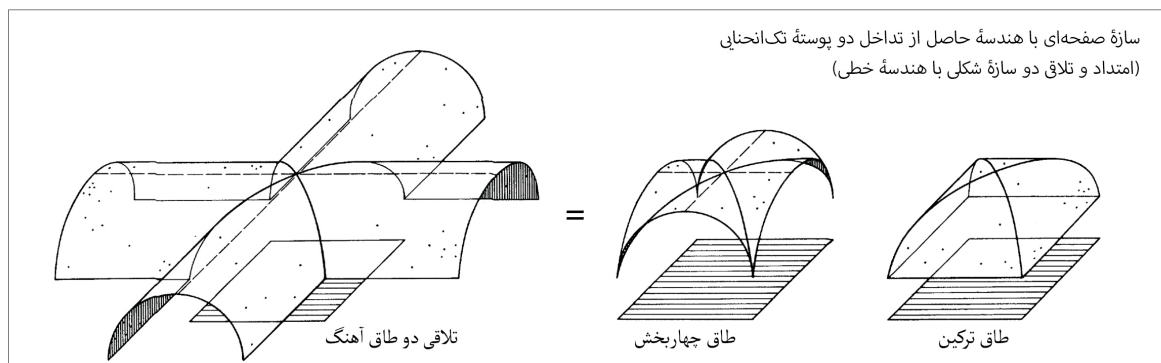
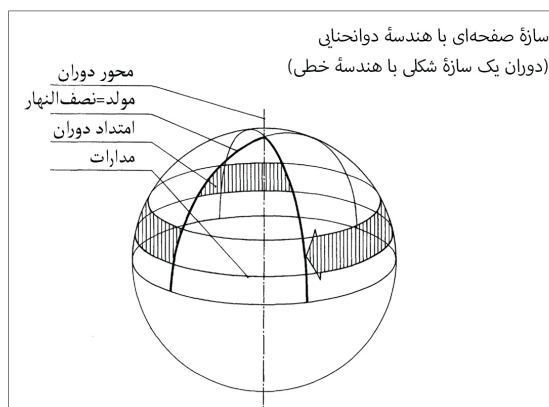
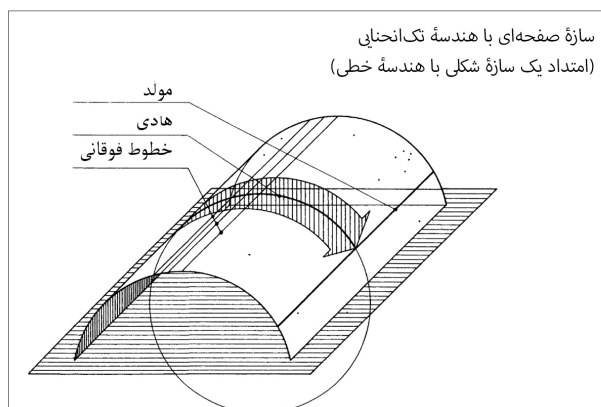
۲۵. این ۶ دسته عبارت‌اند از: سیستم‌های سازه‌ای با عملکرد شکلی، برداری، مقطعی، سطحی، ارتفاعی، و پیوندی.

ت ۳. هندسه سازه‌های صفحه‌ای تاق‌ها از دیدگاه انگل، مأخذ: همان، ۱۳۳ و ۳۴۲-۳۴۴.

یا دوران یک یا چند سیستم شکلی می‌داند و آنها را بر این اساس در سه دسته جای می‌دهد: «پوسته‌های تک‌انحنایی»<sup>۲۶</sup> یا «گهواره‌ای»، پوسته‌های «دوانحنایی یا گنبدی»<sup>۲۷</sup>، یا پوسته‌های حاصل از تداخل دو پوسته تک‌انحنایی (ت ۳).<sup>۲۸</sup> مین‌استون نیز در کتاب خود، تاق را به دو نوع پایه، پوسته‌های تک‌انحنایی و دوانحنایی، تقسیم می‌کند که به‌ترتیب به پوسته‌های گهواره‌ای و گنبدی شکل دلالت دارد (ت ۴).<sup>۲۹</sup> او این دو شکل پایه را مبنای دسته‌بندی تاق‌ها قرار می‌دهد و دیگر تاق‌ها که مهم‌ترین آنها تاق چهاربخشی و تاق‌های تویزه‌دار<sup>۳۰</sup> است را ترکیبی از این شکل می‌داند. به این ترتیب مین‌استون تاق‌ها را در سه دسته تاق آهنگ، تاق گنبدی،

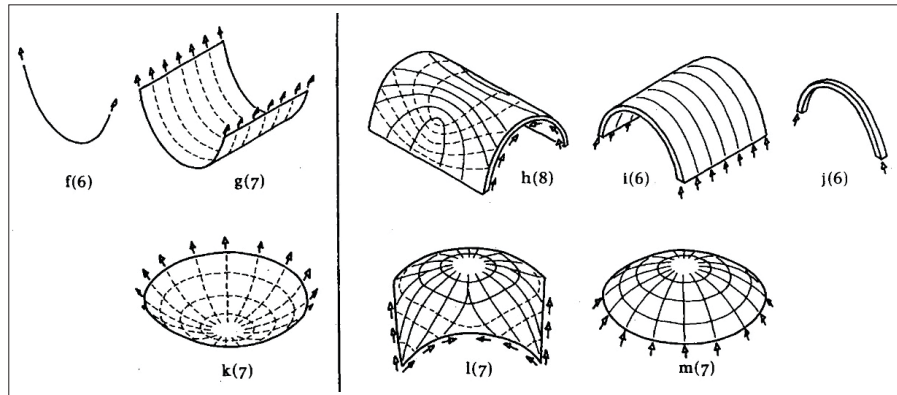
و تاق‌های ترکیبی (چهاربخش و تویزه‌دار و ترکیب) تقسیم می‌کند.<sup>۳۱</sup>

سنداکر دسته‌بندی‌ای را صحیح می‌داند که هردو عامل شکل و سازه را به‌صورت هم‌زمان در نظر گیرد و بر این اساس مؤلفه‌ای موسوم به «شکل سازه‌ای»<sup>۳۲</sup> را برای دسته‌بندی سازه‌ها معرفی می‌کند. سنداکر شکل سازه‌ای را به دو مرتبه «شکل سازه‌ای کلی»<sup>۳۳</sup> و «شکل سازه‌ای جزئی»<sup>۳۴</sup> تقسیم می‌کند و در امر دسته‌بندی، اولویت را با شکل سازه‌ای کلی می‌داند.<sup>۳۵</sup> او «شکل سازه‌ای کلی» را مؤلفه‌ای می‌داند که سازه‌ها را بر اساس تویزه هم‌زمان به اندام‌های اصلی سازنده نظام سازه‌ای، هندسه ترکیب این اندام و شکل کلان سازه، و نه

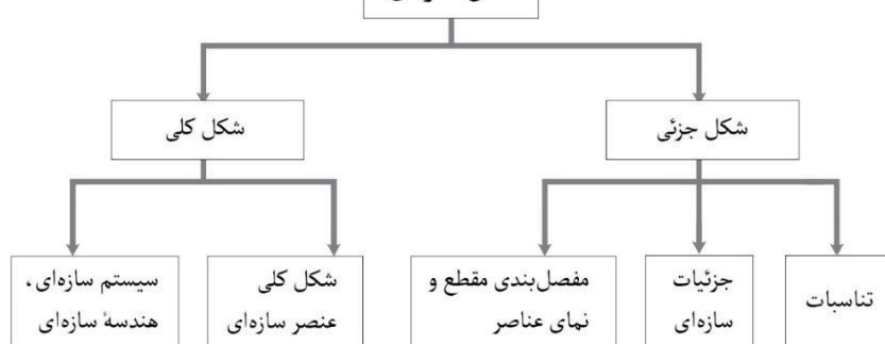


ت ۴ (بالا). شکل‌های سازه‌ای اولیه طاق‌ها از دیدگاه مین‌ستون. خط‌های ممتد نمایانگر بارهای هم‌ارز یا گران‌ش ساده یا واکنش تکیه‌گاه‌ها و خطوط نقطه‌چین نمایانگر تنش‌های عمده است، مأخذ: Mainstone, *Developments in Structural Form*, 86.

ت ۵ (پایین). مراتب شکل سازه‌ای. مأخذ: Sandaker, *On the Span and Space: Exploring Structures in Architecture*, 37



### شکل سازه‌ای



با نگاهی جزئی‌نگر (صرفاً ریخت‌شناسانه یا سازه‌ای یا ساختمانی) دسته‌بندی می‌کند (ت ۵).<sup>۳۶</sup> در این ساختار، ویژگی‌های شکلی طاق تنها در صورتی در دسته‌بندی منظور می‌شوند که بر رفتار سازه‌ای آن و بر جریان اصلی انتقال نیرو در آن مؤثر باشند.

مین‌استون و انگل نیز به هردو عامل سازه و شکل توجه دارند و می‌توان این معیار «شکل سازه‌ای کلی» را به دسته‌های آنها نیز نسبت داد؛ با این حال به نظر می‌رسد مین‌استون عامل سازه را به اندازه شکل و هندسه در دسته‌بندی‌ها دخیل نمی‌کند؛ زیرا در مورد طاق‌های تویزه‌دار، آنها را با قطعیت از طاق‌های پوسته‌ای تفکیک نکرده است. مطابق تعریف سنداگر، هر دسته باید تنها بر یک نوع «شکل سازه‌ای کلی» دلالت کند. پس نمی‌توان طاق‌های پوسته‌ای را با طاق‌های حاصل از ترکیب دو نظام پوسته‌ای و خطی در یک دسته قرار داد؛ به‌طور نمونه، طاق گهواره‌ای با تویزه‌های محیطی با طاق گهواره‌ای بدون تویزه رفتار سازه‌ای متفاوتی دارند؛ درحالی‌که مین‌استون همه اقسام طاق گهواره‌ای را در یک دسته جای داده است.<sup>۳۷</sup>

همچنین مین‌استون همه انواع طاق چهاربخشی، ترکیب و تویزه‌دار را در یک دسته طاق‌های ترکیبی قرار داده است و بدین ترتیب طاق با تویزه‌های میانی را از طاق چهاربخش جدا نمی‌کند. او در توضیحات این دسته، تنها تویزه‌های طاق‌های چهاربخشی اروپا را تویزه‌های سازه‌ای و برابر می‌داند و معتقد است در طاق‌های گنبدی‌شکل که در ایران رواج دارند، تویزه تنها برای قالب‌بندی به کار می‌رود و بنابراین دسته جداگانه‌ای را به خود اختصاص نمی‌دهند؛<sup>۳۸</sup> درحالی‌که از دیدگاه پیرنیا، طاق‌های تویزه‌دار در ایران گونه مستقلی هستند که در آن تویزه‌ها نقش اصلی انتقال بار را دارند و بارها را به‌صورت خطی به ستون‌های دو طرف خود وارد می‌کنند.<sup>۳۹</sup> این موضوع با دیدگاه انگل نیز مطابقت دارد. انگل به‌طور خاص به طاق‌های آجری تویزه‌دار نپرداخته است؛ اما تویزه‌های قوسی‌شکل و

26. singly-curved
27. doubly-cured
۲۸. هینو انگل، سیستم‌های سازه (تهران: کارنگ، ۱۳۷۷)، ۳۴۲-۳۴۴.
29. R.J. Mainstone, *Developments in Structural Form* (Oxford: Taylor and Francis Group, 1998), 115-133.
30. groined and ribbed vaults
31. Ibid.
32. structural form
33. global structural form

ت عر دسته‌بندی طاق‌ها بر اساس نحوه ترکیب توپزه‌ها، ترسیم: نگارنده.

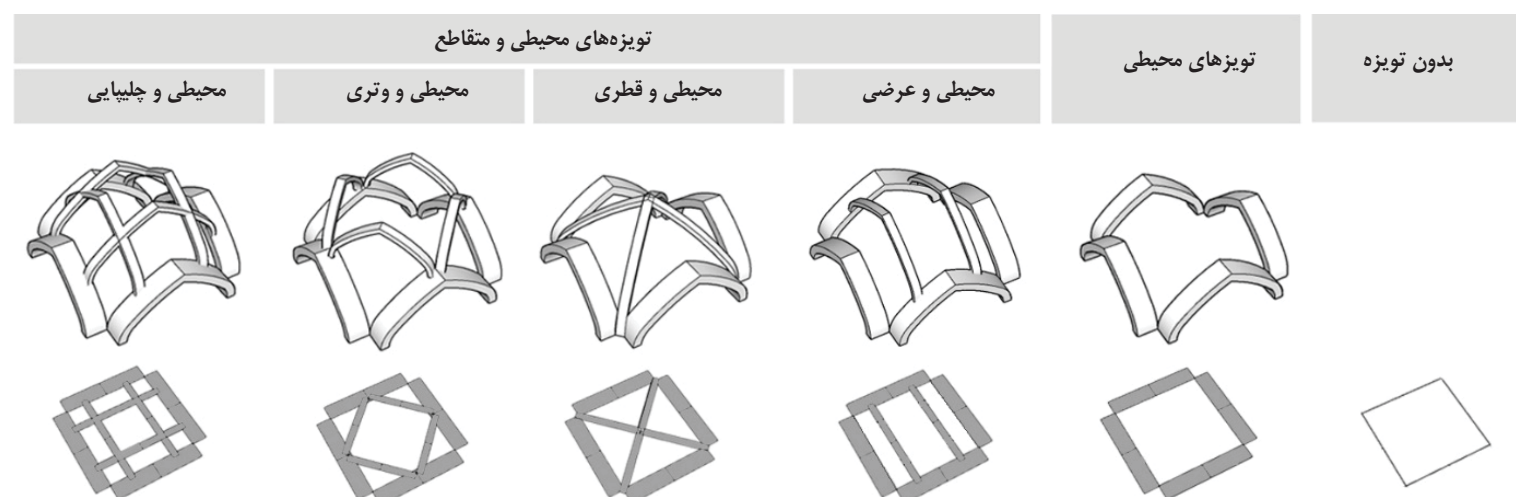
نوبن و به‌اختصار انواع طاق‌ها و مشخصه‌های آنها را معرفی می‌کنیم.

## ۲. عرضه چارچوبی نوبن برای دسته‌بندی طاق‌ها

با مرور انتقادی دو دسته مطالعات پیشین می‌توان چارچوب تازه‌ای برای دسته‌بندی طاق‌ها تدوین کرد. چارچوب دسته‌بندی جدید و از منظر مفاهیم (در مقیاس کلان) وام‌دار مطالعات دسته دوم و به‌ویژه مفهوم «شکل‌سازهای کلی»<sup>۴۰</sup> سنداگر است و از منظر مصادیق (در مقیاس خرد) بر یافته‌های مطالعات دسته اول و به‌ویژه گونه‌های متنوع معرفی‌شده از سوی پیرنیا و اسمیت و معماریان تکیه دارد. بر اساس مطالعات دسته دوم، طاق‌ها را می‌توان بر دو مبنای (۱) حضور و موقعیت عناصر سازه‌ای و (۲) شکل عناصر سازه‌ای دسته‌بندی کرد. بر مبنای عناصر سازنده، طاق‌های آجری از دو عنصر سازه‌ای اصلی، شامل «پوسته‌ها»<sup>۴۱</sup> و «توپزه‌ها»<sup>۴۲</sup>، تشکیل شده‌اند. پوسته‌های آجری در همه طاق‌ها وجود دارند؛ اما استفاده از توپزه‌ها منحصر

به گروهی از طاق‌هاست. در مرتبه بعدی، بر اساس مطالعات دسته نخست، وجود یا فقدان توپزه‌ها و نیز نحوه ترکیب آنها با یکدیگر و با پوسته‌ها جریان انتقال بار و رفتار سازه‌ای طاق‌ها را تعیین می‌کند (ت ۶). از این منظر، می‌توان طاق‌ها را در سه دسته جای داد: (۱) طاق‌ها با پوسته‌های آجری و بدون توپزه، (۲) طاق‌ها با پوسته‌های آجری و توپزه‌های محیطی، (۳) طاق‌ها با پوسته آجری و توپزه‌های محیطی و متقاطع.

از سوی دیگر، شکل پوسته‌های آجری به‌نحو دیگری رفتار سازه‌ای طاق را تعیین می‌کند. «شکل‌سازهای کلی» این پوسته‌ها، به پنج دسته تقسیم می‌شود: (۱) پوسته تک‌انحنایی (طاق آهنگ)، (۲) پوسته دوانحنایی (طاق‌های کلبو، چهاردوری، و کژاو)، پوسته‌های متقاطع و ترکیبی همچون: (۳) تلاقی دو پوسته تک‌انحنایی (طاق‌های چهاربخش و ترکیب)، (۴) ترکیبی از پوسته‌های تک‌انحنایی و دوانحنایی (طاق خوانچه‌پوش)، (۵) ترکیبی از بریده‌هایی از طاق‌های تک‌انحنایی و دوانحنایی برای پوشاندن دهانه‌های بین شبکه‌ای از توپزه‌ها (طاق‌های کاربرندی، پتکانه، و طاق با باریکه‌طاق) (ت ۷). دسته آخر لزوماً





34. local structural form

35. B.N. Sandaker, *On the Span and Space: Exploring Structures in Architecture* (Oxfordshire: Routledge, 2008), 33-36.

36. Ibid, 33-37.

۳۷. البته خود او نیز به نقش توپزه‌ها در شکل‌گیری تفاوت‌هایی در رفتار سازه‌ای پوسته‌ی طاق اشاره می‌کند و برای تفکیک دو نوع نظام انتقال نیرو در پوسته‌های گهواره‌ای و گنبدی (ت ۴) علت این تفاوت را تفاوت در تکیه‌گاه‌های پوسته می‌داند؛ مثلاً طاق A طاق آهنگی است که تنها بر دیوارهای زیرین تکیه دارد؛ اما طاق h علاوه بر دیوارهای دو طرف، بر دیوار یا توپزه انتهایی طاق نیز تکیه دارد؛ اما با وجود اشاره به این موضوع، طاق پوسته‌ای توپزه‌دار و بدون توپزه را در دو دسته جداگانه قرار نمی‌دهد.

38. Mainstone, *Developments in Structural Form*, 131.

۳۹. پیرنیا اشاره می‌کند که به‌دلیل باربری توپزه‌ها، در هنگام اجرای طاق‌های توپزه‌دار، دیوار میان توپزه‌ها نباید و نمی‌تواند با خود توپزه هم‌ضخامت باشد و بنابه نیاز می‌تواند خالی یا مشبک شود؛ زیرا معماران به‌تدریج متوجه شدند اگر ستون‌های زیر توپزه‌ها و دیوار میان آنها به یک ضخامت اجرا شوند، به‌دلیل اختلاف در میزان باربری و در نتیجه اختلاف در میزان نشست به داخل زمین، میان ستون و دیوار ترک ایجاد می‌شود (پیرنیا، «چفدها و طاق‌ها»، ۹۲).

طاق‌های بدون توپزه معمولاً شکل ساده‌ای نیز دارند و تنها با پوسته‌های تک‌انحنایی (طاق آهنگ<sup>۴۵</sup> که گهواره‌ای یا لوله‌ای نیز خوانده می‌شود)<sup>۴۶</sup> یا پوسته‌های دوانحنایی (چهاردوری<sup>۴۷</sup> و کلنبو<sup>۴۸</sup>) ساخته شده‌اند. امروزه این طاق‌ها در آثار به‌جامانده از سازه‌های طاقی نخستین<sup>۴۹</sup> و در معماری بومی سکونتگاه‌های روستایی دیده می‌شود.<sup>۵۰</sup>

## ۲.۲. طاق‌ها با توپزه‌های محیطی

این دسته طاق‌ها از دو عنصر اصلی توپزه و پوسته‌ی طاقی تشکیل شده‌اند؛ به‌نحوی که توپزه‌ها بر روی اضلاع قاعده‌ی طاق قرار می‌گیرند و سطح میان آنها با پوسته‌های آجری پر می‌شود. در این ترکیب سازه‌ای، بارها، نه صرفاً با یک پوسته‌ی یکپارچه، بلکه با مشارکت مجموعه‌ای از توپزه‌های باربر محیطی به زمین منتقل می‌شود.<sup>۵۱</sup> در نتیجه نقش سازه‌ای پوسته‌ی آجری و ضخامت آنها کمتر و آزادی آنها در آفرینش فرم و فضا بیشتر می‌شود. بدین ترتیب طاق‌های با توپزه‌های محیطی از پوسته‌هایی با اشکال متنوع‌تر و پیچیده‌تر برخوردارند. به‌جز پوسته‌های تک‌انحنایی (طاق آهنگ) و دوانحنایی (کلنبو و چهاردوری) که در دسته‌ی نخست به کار می‌روند، پوسته‌های دوانحنایی پیچیده‌تر (کژاوه)، پوسته‌های تک‌انحنایی مضاعف (چهاربخش<sup>۵۲</sup> و ترکیب<sup>۵۳</sup>)، و پوسته‌های ترکیب تک‌انحنایی و دوانحنایی (خونچه‌پوش) در این دسته طاق به کار می‌روند.

## ۱.۲.۲. طاق آهنگ

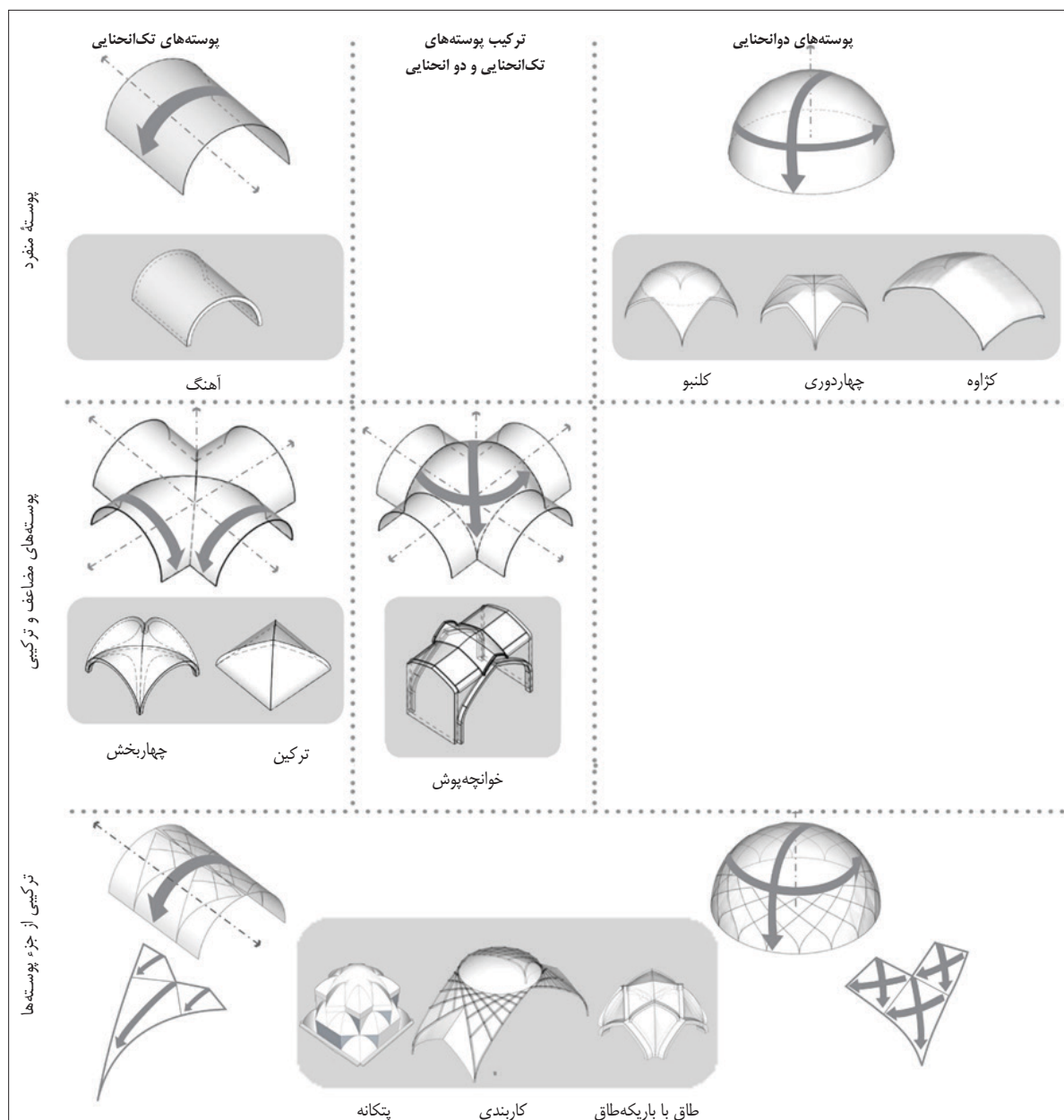
هندسه‌ی نظری این طاق نتیجه‌ی امتداد یک چفد در راستای محور افقی است که آن را هندسه‌ی سطحی تک‌انحنایی می‌نامیم. این هندسه کشیدگی طولی و تأکید صریح در راستای محور طولی این طاق را به گزینه‌ی مناسبی برای پوشش فضاهای کشیده، جهت‌دار، و باشکوه تبدیل می‌کند.<sup>۵۴</sup> در طاق‌های آهنگ با

دارای توپزه‌های متقاطع است؛ اما چهار دسته‌ی پیش از آن ممکن است با یا بدون توپزه اجرا شوند. به عبارت دیگر، اندام چهار دسته‌ی اول صفحات پوسته‌ای هستند؛ اما در دسته‌ی پنجم ترکیبی از خط و صفحه شکل سازه‌ای طاق را تشکیل می‌دهد. پیوند این دو مبنای دسته‌بندی ساختاری نوین برای بازشناسی انواع طاق در معماری تاریخی ایران را فراهم می‌کند؛ ساختاری که هم‌زمان به دو مؤلفه‌ی «وجود عناصر سازه‌ای و نحوه‌ی ترکیب آنها» و «شکل عناصر سازه‌ای» نظر دارد و انواع طاق‌های شناخته‌شده را بر مبنای رفتار سازه‌ای‌شان دسته‌بندی می‌کند. برای فهم بهتر، ابتدا انواع گونه‌های طاقی در معماری ایران را بر اساس مؤلفه‌ی اول در سه گونه‌ی «طاق‌های بدون توپزه»، «طاق‌ها با توپزه‌های محیطی»، و «طاق‌ها با توپزه‌های محیطی و متقاطع» معرفی و سپس چگونگی مؤلفه‌ی دوم را در هریک از این دسته‌ها بررسی می‌کنیم. تنوع شکل و سازه‌ی طاق‌های به‌کاررفته بسیار است و نام‌گذاری آنها تابع وحدت رویه‌ای نیستند. در این نوشتار نام‌گذاری طاق‌ها با تکیه بر آراء پیرنیا و معماریان است؛<sup>۴۳</sup> اما برای هر طاق نام‌ها و تعاریف متناظر موجود در پیشنهاد‌های دیگر دانشوران را نیز بررسی کرده‌ایم.

## ۱.۲.۱. طاق‌های بدون توپزه

ساخت طاق‌های بدون توپزه در معماری ایران به زمانی بازمی‌گردد که پوشش‌های منحنی به‌صورت توده‌هایی یکپارچه و جسیم از مصالح بنایی ساخته می‌شدند و صورتی بدوی و اولیه داشتند. نبود توپزه در این دسته طاق‌ها باعث می‌شد که اولاً پوسته‌ها به‌مثابه‌ی عناصر اصلی سازه‌ای بسیار قطور باشند و ثانیاً جرزهای نگهدارنده‌ی آنها بسیار سست‌تر باشد و تعبیه‌ی گشودگی در آنها چندان مقدور نباشد.<sup>۴۴</sup> بدین ترتیب برخوردار نبودن از توپزه‌ها را می‌توان نوعی محدودیت برای چنین سازه‌هایی به حساب آورد.

تویزه‌های محیطی، وجود تویزه‌ها موجب کاهش نقش سازه‌ای پوسته‌ها و در نتیجه تنوع در روش‌های اجرا می‌شود.<sup>۵۵</sup>



40. global structural form

41. shells

42. ribs

۴۳. پیرنیا، «چفدها و طاق‌ها»، ۱۴۶؛ معماریان، معماری ایرانی نیارش.

۴۴. بزَنوال، فناوری تاق در خاور کهن، ۷۰؛ معماریان، معماری ایرانی نیارش، ۱۳۸.

45. barrel vault / tunnel vault

۴۶. پیرنیا، «گنبد در معماری ایران»، اثر، ش. ۲۰ (زمستان ۱۳۷۰): ۵۸.

47. squinch vault

48. domical vault

۴۹. بزَنوال، فناوری تاق در خاور کهن، ۳۷۳-۳۸۰.

۵۰. همه این گونه‌ها به همراه تویزه‌های محیطی نیز به کار می‌روند. بنابراین در بخش طاق با تویزه‌های محیطی این طاق‌ها را معرفی می‌کنیم.

ت ۷. طاق‌ها بر اساس هندسه پوسته‌ها (ردیف‌ها) و نحوه ترکیب پوسته‌ها (ستون‌ها) به پنج دسته تقسیم می‌شوند. در خانه‌های بالا هندسه نظری آن دسته و در ردیف پایین طاق‌هایی که برگرفته از آن هندسه شکل می‌گیرند، معرفی شده‌اند. ترسیم: نگارنده.

51. Mainstone, *Developments in Structural Form*, 13;

بر اساس این تعریف دسته دوم طاق‌ها را می‌توان تسامحاً با آنچه «طاق و تویزه» یا «طاق و چشمه» خوانده می‌شود، یکسان دانست.

52. groin vault

53. cloister vault

۵۴. پیرنیا، «گنبد در معماری ایران»، ۵۸؛ معماریان، *معماری ایران نیارش*، ۱۴۳.

55. F. Tehrani, et al., "The Technology of Qomi-poosh Vaults in Iranian Traditional Architectur", *Armanshahr Architecture & Urban Development*, no. 8 (2012): 36.

۵۶. این تعریفی مقدماتی مربوط به طاق‌های ترکیب با چهار ترک با قاعده مربع است؛ اما این طاق می‌تواند با شش یا هشت ترک و یا با قاعده دایره نیز اجرا شود، حتی قاعده مربعی طاق می‌تواند به جای چهار دیوار، بر چهار تویزه بنشیند. همه اینها می‌تواند تعریف طاق ترکیب را دستخوش تغییر کند.

۵۷. معماریان، *معماری ایران نیارش*، ۱۷۴.

۵۸. ایده هم‌خانواده دانستن این طاق کلبو و چهاردوری از دکتر معماریان است. ایشان بر این اساس طاق چهاردوری را «کلبوی نوع ۲» نیز می‌خواند (معماریان، *معماری ایران نیارش*، ۲۰۸). در اینجا طاق کژاوه نیز به این خانواده اضافه شده است.

## ۲.۲.۲. طاق‌های چهاربخش (تاژ) و ترکیب

هندسه نظری این دو طاق نتیجه تلاقی دو صفحه تک‌انحنایی عمودبرهم است. با این تفاوت که در طاق ترکیب پوسته‌ها از رأس تا تراز پاکار و در امتداد چفدهای قطری طاق کشیده می‌شود؛ حال آنکه در طاق چهاربخش پوسته‌ها، به جای چفدهای قطری، در راستای محور افقی میانی دهانه امتداد می‌یابند و به چفدی واقع در صفحه قائم بر اضلاع قاعده ختم می‌شوند.<sup>۵۶</sup> تلاقی دو سطح تک‌انحنایی باعث می‌شود که در این دو طاق، مرکزگرایی و تأکید بر محور عمودی میانی دهانه تقویت شود. پایین بودن تراز لبه‌های خارجی طاق ترکیب باعث می‌شود که استقلال فضایی بیشتر و پیوستگی فضایی آن با فضاهای مجاور کمتر باشد. در مقابل، طاق چهاربخش بر چهارسو تأکید فضایی دارد و وقتی چندین طاق چهاربخش در کنار هم قرار می‌گیرد، این ویژگی تقویت می‌شود و فضایی لایه‌لایه و پیوسته را شکل می‌دهد. بدین ترتیب فضای زیر طاق در محل تقاطع چفدهای قطری بر سکون و در امتداد محورهای متعامد میانی بر حرکت و گسترش تأکید دارد. تفاوت دیگر دو طاق هندسه سطح پشتی آنهاست. درحالی که سطح محدب پشت طاق ترکیب در یک نقطه به پایان می‌رسد، سطح پشت طاق چهاربخش به دو محور متعامد ختم می‌شود که امکان ایجاد یک اشکوب بر بالای طاق را فراهم می‌کند.<sup>۵۷</sup>

## ۳.۲.۲. طاق‌های کلبو، چهاردوری، و کژاوه

طاق‌های کلبو، چهاردوری، و کژاوه، هر سه صفحاتی دوانحنایی دارند. طرح این طاق‌ها برآمده از یک راه حل سازه‌ای مشترک است؛ یعنی پوشاندن زمینه‌های مربع (کلبو)، نزدیک به مربع (چهاردوری)، و مستطیل کشیده (کژاوه) با آسمانه‌ای گرد.<sup>۵۸</sup> در طاق کلبو تحقق این ایده با یک مسئله سازه‌ای - زیبایی‌شناسانه روبه‌روست: با قرارگیری آسمانه گرد بر قاعده مربع، چهار حفره

در گوشه‌ها ایجاد می‌شود که هم برای انتقال بار و هم از نظر شکلی نیاز به ترفندی ویژه دارد. این مسئله، با خلق یک اندام واسط، یعنی گوشه‌سازی، حل می‌شود. پس طاق کلبو سه اندام اصلی دارد: الف) تویزه‌های محیطی، ب) پوشش گرد موسوم به عرق‌چین، پ) گوشه‌سازی.<sup>۵۹</sup> کلبو به‌خاطر تقارن مرکزی‌اش، در برابر بارهای ثقلی و زلزله مقاوم است،<sup>۶۰</sup> اجرایی ساده دارد، و در نتیجه گونه‌ای بسیار رایج و کارآمد در معماری ایران است. تفاوت کلبو و چهاردوری در منطقه انتقال طاق است. در چهاردوری از آنجا که زمینه کشیده‌تر از مربع است، نمی‌توان دایره قاعده عرق‌چین را بر آن نشانند. در نتیجه راه حل آن ترکیب کردن عرق‌چین و منطقه انتقال است. به این صورت که زمینه با دو خط که میانه جرزها را به هم وصل می‌کند به چهار قسمت تقسیم و در هر قسمت یک لوزی منحنی<sup>۶۱</sup> اجرا می‌شود.<sup>۶۲</sup>

طاق کژاوه «از حرکت دادن یک چفد کوچک‌تر بر روی یک چفد بزرگ‌تر به دست می‌آید». به بیان دیگر کژاوه همان چهاردوری است، اما با تناسباتی کشیده‌تر؛<sup>۶۳</sup> امری که موجب می‌شود الگوی انتقال بار در آنها متقارن نباشد. کاربرد کژاوه همچون طاق آهنگ در زمینه‌ها کشیده است؛ اما با سه تفاوت عمده: نخست آنکه، طاق آهنگ تنها در عرض دهانه تویزه دارد و از این رو بار طاق بر سرتاسر دیوارهای جانبی وارد می‌شود. از این رو امکان تعبیه گشودگی‌های بزرگ در این دیوارها نیست؛ درحالی که در طاق کژاوه، وجود تویزه‌های اصلی گشودگی‌ها را بیشتر و ارتباط گشایش فضایی در اضلاع جانبی زمینه را ممکن می‌کند. دوم آنکه حضور تویزه‌های اصلی از نقش سازه‌ای پوسته آجری می‌کاهد و در این حالت نیز می‌توان در پوسته گشودگی‌هایی ایجاد کرد. سوم آنکه، طاق آهنگ را می‌توان معمولاً تنها در جهت کشیدگی زمینه برپا کرد؛ درحالی که یکی

۵۹. پیرنیا، «چفدها و طاق‌ها»، ۶۵.

۶۰. همان، ۶۴.

۶۱. به بیان دیگر، شکل هر بخش از پوسته شبیه قیفی است که در راستای محور طولی از وسط دو نیم شده باشد. یا شبیه شکل گوشه‌سازی فیل‌پوش است، که باعث شده بعضی این طاق را «گرده‌پوش» نیز بنامند (فرهاد تهرانی، *جزوه کلاسی آشنایی با سازه‌های سنتی: طاق*، دانشگاه شهید بهشتی، بی‌تا، الف، ۲۰).

۶۲. معماریان، *معماری ایرانی نیارش*، ۲۱۰-۲۱۳.

۶۳. همان، ۲۲۶.

64. structural expression

۶۵. معماریان، *معماری ایرانی نیارش*، ۲۴۲-۲۴۳؛ دیوارهای میانی در دوسوی دو تویزه‌ی اصلی قرار می‌گیرد و تا ارتفاعی نزدیک ایوارگاه آن ادامه می‌یابد. بر سرتاسر این دیوارها دو طاق آهنگ و در میان این دو طاق، یک طاق میانی زده می‌شود.

۶۶. بدین ترتیب طاق خوانچه‌پوش امکان حضور همه انواع طاق را در کنار هم فراهم می‌کند. این ویژگی طاق خوانچه‌پوش را به گونه‌ای مرزی بین «طاق‌ها با تویزه‌های محیطی» و «طاق‌ها با تویزه‌های عرضی و مقاطع» تبدیل می‌کند.

۶۷. فرشاد، *تاریخ مهندسی در ایران*، ۳۰۲-۳۰۳. معماریان، *معماری ایرانی نیارش*، ۲۴۴.

از امکانات فضایی طاق کژاوه آن است که می‌توان چند تا از این طاق را متوالی و عمود بر جهت کشیدگی دهانه برپا کرد؛ آرایشی متفاوت از ترکیب طاق‌های تویزه‌دار در فضا که در آن تویزه‌ها از لبه‌های فضا به درون آن وارد می‌شوند، عرض فضا را قطع می‌کنند و از این طریق کار نمود سازه‌ای<sup>۶۴</sup> قوی‌تری می‌یابد.

## ۴.۲.۲. طاق خوانچه‌پوش

هندسه طاق خوانچه‌پوش برآمده از ترکیب صفحه‌های تک و دوانحنایی در زمینه مستطیل است. این طاق، از تویزه‌ها، چهار دیوار روی تویزه‌ها، دو طاق آهنگ، و یک طاق در مربع میانی تشکیل می‌شود.<sup>۶۵</sup> طاق میانی می‌تواند یکی از انواع طاق‌های ترکین، چهاربخش، کلنبو، یا چهاردوری باشد.<sup>۶۶</sup> خوانچه‌پوش از هر سه مزیت طاق کژاوه نسبت به طاق آهنگ برخوردار است. سوای آنها، در این طاق با اجرای دو دیوار روی تویزه‌ها و قرار دادن طاق آهنگ روی آنها، بر دو ضلع عرضی دهانه هیچ باری در تراز پاکار وارد نمی‌شود و می‌توان در جداره‌های عرضی نیز از روزن‌های نورگیر بهره برد.<sup>۶۷</sup> بدین ترتیب خوانچه‌پوش پوششی مناسب برای دهانه‌های کشیده و بزرگ با نورگیری جانبی است.

## ۳.۲. طاق‌ها با تویزه‌های محیطی و مقاطع

(عرضی، قطری، وتری، و چلیپایی)<sup>۶۸</sup>

این دسته از طاق‌ها تنها با استفاده از تویزه‌های محیطی برپا نمی‌شود؛ بلکه بر تویزه‌های مقطعی نیز تکیه دارند؛ تویزه‌هایی که درون دهانه جای می‌گیرند و بر شکل و هندسه پوسته‌های طاقی اثر می‌گذارند.<sup>۶۹</sup> این طاق‌ها ترکیبی از شکل سازه‌ای کلی صفحه‌ای (تک‌انحنایی یا دوانحنایی) و خطی است. نحوه ترکیب خطوط و صفحه‌ها متفاوت است: تویزه‌های مقاطع

گاه به موازات عرض دهانه کشیده می‌شوند (تویزه عرضی)، گاه وترهای شکل زمینه طاق را تشکیل دهد (تویزه وتری)، و گاهی دیگر به صورت قطری در مرکز طاق به هم وصل می‌شوند (تویزه قطری)، و گاهی نیز دو جفت تویزه عمود بر هم را شکل می‌دهند (تویزه چلیپایی). بدین ترتیب برخلاف دو دسته پیشین، صفحه‌ها هندسه کاملی ندارند و بسته به هندسه خطوط، به صورت جزئی از یک صفحه تک‌انحنایی یا دوانحنایی به کار می‌رود.

وجود این تویزه‌ها باعث تغییر نظام انتقال نیرو می‌شود. به جای آنکه بارها به صورت سطحی و در پوسته طاق توزیع شوند، در این طاق‌ها جریان اصلی توزیع بار به صورت خطی و از درون تویزه‌ها است. این ویژگی چند دستاورد فضایی و شکلی به همراه دارد: نخست آنکه کاهش نقش سازه‌ای پوسته‌ها باعث می‌شود که بتوان سطوح شفاف بیشتری در آنها ایجاد کرد؛ که این بر قابلیت انتقال نور در این طاق‌ها می‌افزاید و از سنگینی و جسمیت عناصر سازه‌ای می‌کاهد. این ویژگی موجب می‌شود که بیان سازه‌ای و جلوه بصری این طاق‌ها تغییر کند و طاق از یک توده متراکم صلب، به شبکه‌ای از لایه‌هایی سبک و شفاف درآمیخته به ستون‌های از نور تبدیل شود. دوم آنکه، ایده ترکیب تویزه‌ها با هم و با پوسته‌های طاقی امکانات فرم‌پردازی و دستمایه‌های طراحانه تازه‌ای را در اختیار معماران قرار می‌دهد تا آسمانهایی با شکل‌های سازه‌ای نوین خلق کنند.<sup>۷۰</sup> در این سه گونه طاق، گاه پنهان کردن باریکه طاق‌ها در پس پوسته‌هایی با فرم‌های درهم‌تنیده و به هم پیچیده موجب می‌شود که سازه‌هایی سنگین، سیمایی لطیف و سبک ببابند و بدین گونه فضایی خیال‌انگیز خلق شود.<sup>۷۱</sup> آسمانهایی که عناصر طراحی در آنها افزایش یافته است، از هندسه‌هایی پیچیده‌تر برخوردارند و شکل آنها شکنج بیشتری دارد. سوم آنکه، با حضور تویزه‌ها، سطح پاکار طاق به جای آنکه مانند طاق‌های دو دسته قبلی

۶۸ دانشوران پیشین این فناوری سازه‌ای را به نام‌های مختلف خوانده‌اند. گذار، شوازی، و تراسی آن را nervures و دیگرانی چون اشمیت، پوپ، و شرودر آن را ribbed vault خوانده‌اند (E. Galdieri, "Persian Domes with Crossed Ribs: An Introduction in Domes from Antiquity to the Present", in *Proceedings of the IASS-MSU International Symposium, Istanbul 1988*, 719). با توجه به دسته‌بندی عرضه‌شده در این نوشتار، واژهٔ crossed ribbed vault برای معادل انگلیسی این طاق پیشنهاد می‌شود.

۶۹ طاق‌های ترکیب و چهاربخش و کلبه می‌توانند با توپزهای متقاطع قطری و طاق کژاوه با توپزهای عرضی نیز اجرا شوند.

۷۰ تا حدی که این طاق را یک فناوری خارق‌العاده‌ای خوانده‌اند که تجارب گذشته در امر تسلط بر فضای داخلی پشت را سر گذاشت (معماریان، معماری ایرانی نیارش، ۲۶۹: Galdieri, Ibid).

۷۱ معماریان، معماری ایرانی نیارش، ۱۳۳.

۷۲ این دسته‌بندی سه‌گانه برگرفته از معماریان است (همان، فصل طاق با باریکه‌طاق).

۷۳ همان، ۲۷۵-۲۷۶.

طاقی تشکیل‌شده از عناصر خطی سازه‌ای (توپزهای وتری) دانست که با هندسه‌ای ترتیبی هم را قطع می‌کنند و صفحاتی با شکل مشخص فضاهای میان عناصر خطی را پر می‌کنند.

طاق کاربندی از منظر نوع زمینه، ساختار سازه‌ای، و روش اجرا نیز انواع مختلفی دارد.<sup>۷۷</sup> از حیث نوع زمینه این طاق برای پوشش فضاهای بسته (کاربندی کامل) و نیمه‌باز (نیم‌کار) و از منظر هندسهٔ زمینه برای پوشش انواع زمینه‌های منتظم و نامنتظم به کار می‌رود.<sup>۷۸</sup> از منظر سازه‌ای، طاق کاربندی گاه در دهانه‌های کوچک و برای استفادهٔ تزئینی اجرا می‌شود و از یک طاق خودایستای دیگر در بالای خود (پس‌طاق) آویزان است. در این نمونه‌ها کارها معمولاً به اندازهٔ نیم یا یک آجر ضخامت دارند و جزو استخوان‌بندی اصلی بنا نیستند. گاهی نیز در دهانه‌های بزرگ، طاق کاربندی خودایستاست و هم بار بام و هم بار آلت‌های پرکننده را تحمل می‌کند. در چنین مواردی معمولاً برای برپایی کاربندی کامل، توپزهای عرضی یا چلیپایی، و برای برپایی کاربندی نیم‌کار، توپزهای عرضی و شعاعی به‌مثابهٔ سازهٔ تقویتی در بالای پوشش کاربندی به کار می‌روند.<sup>۷۹</sup>

### ۳.۳.۲. طاق پتکانه

در مطالعات پیشین، پتکانه کمتر با عنوان پوششی مستقل معرفی گردیده و با نادیده گرفتن اندام‌ها و خواص سازه‌ای آن با نام‌هایی چون مقرنس<sup>۸۰</sup>، طاقچه‌های تزئینی<sup>۸۱</sup>، و قوس شانه‌دار<sup>۸۲</sup> خوانده شده است. نخستین بار پیرنیا این اندام را به‌مثابهٔ گونهٔ طاقی متمایز معرفی کرد.<sup>۸۳</sup> بر اساس تعریف او و مطالعهٔ نمونه‌های نخستین<sup>۸۴</sup>، این طاق متشکل از دو عنصر سازه‌ای و متمایز است: عنصر سازه‌ای نخست توپزهای باربر متقاطعی است در پشت پوستهٔ پرشکنج طاق پنهان است. این توپزها، بسته به هندسهٔ پوستهٔ داخلی، می‌توانند عرضی، وتری،

یکدست باشد، تورفته و بیرون‌زده است. این ویژگی امکانی تازه را برای طراحی و قاب‌بندی جداره‌های عمودی و دستیابی به پرداخت‌هایی نوین در فضاهای داخلی پدید می‌آورد.

این طاق‌ها براساس الگوی ترکیب خطوط و صفحات به سه گونهٔ طاق با باریکه‌طاق، کاربندی، و پتکانه تقسیم می‌شوند.<sup>۷۳</sup> در طاق کاربندی خطوط و صفحات هردو نظمی تکرارشونده و ترتیبی دارند. در انواع طاق با باریکه‌طاق خطوط هندسه‌ای ترتیبی و صفحات هندسه‌ای متنوع و غیرترتیبی دارند. هندسهٔ خطوط و صفحات میان آنها در طاق پتکانه غیرترتیبی و متنوع است.

### ۱.۳.۲. طاق با باریکه‌طاق

این طاق شامل توپزهای متقاطع (عرضی، وتری، قطری، و چلیپایی) و صفحات آجری میان آنهاست. وجه تمایز این طاق از نمونه‌های بعدی، هندسهٔ توپزهاس است. با نگاهی کلی، توپزها در این طاق گاه با هم موازی‌اند، گاه عمود بر هم هستند، گاهی دیگر به‌صورت مایل همدیگر را قطع می‌کنند، و گاهی نیز آرایشی شعاعی دارند.<sup>۷۴</sup> پس شکل پوسته‌های میان آنها قاعده و شکلی ثابت و مشخصی ندارند.

### ۲.۳.۲. طاق کاربندی<sup>۷۴</sup>

وجه تمایز کاربندی با دیگر انواع طاق با توپزهای متقاطع، برخورداری از نظام هندسی مشخص است. این طاق از به هم بافته شدن منظم چفدهایی یکسان موسوم به «کار» با هندسه‌ای قاعده‌مند<sup>۷۵</sup> تشکیل می‌شود. در میانهٔ این کارها، سطوحی لوزی‌شکل یا مثلثی موسوم به «آلت» به‌وجود می‌آید.<sup>۷۶</sup> آلت‌ها با هندسه‌ای شعاعی ردیف‌به‌ردیف بر روی هم قرار می‌گیرند تا آخرین آلت (شمسه) در مرکز دهانه و در بالای همهٔ آلت‌ها بنشینند. بدین ترتیب می‌توان کاربندی را

۷۴. این طاق گونه‌ای برآمده از فرهنگ ساختمانی معماری ایران است و از این رو عبارت انگلیسی دقیقی برای آن نمی‌توان در نظر گرفت. با این حال شاید بتوان از واژه stellate vault به مثابه واژه‌ای نزدیک به آن بهره برد. بعضی از استادکاران معمار معاصر از این واژه در مقابل طراحی اختیاری و دل‌خواهی که برای طاقی چون مقرنس به کار می‌رود، استفاده می‌کنند. درباره تعریف دقیق طاق کاربردی و تمایز و تشابه آن با واژه‌های مشابه چون رسمی‌بندی اختلاف‌نظرهایی وجود دارد که پرداختن به آنها خارج از ظرفیت این نوشتار است (برای اطلاعات بیشتر نک: مهدی رئیسی و دیگران، «بازنگری در مفهوم کاربردی بر مبنای هندسه نظری، عملی و نقش ساختمانی»، مرمت و معماری / ایران، ش. ۵ (بهار و تابستان ۱۳۹۲): ۳۷-۳۸.

۷۵. زهره بزرگمهری، هندسه در معماری (تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور، ۱۳۷۱)، ۲.

۷۶. همان، ۱۱؛ این سطوح لوزی شکل همچنین نام‌هایی چون «پاباریک»، «شاپرک» یا «ترنجی»، «سنبوسه»، «سینه‌باز»، یا «سوسنی» دارند.

قطری، یا چلیپایی باشند. عنصر دیگر آلت‌های پوسته‌ای، شامل تاسه‌ها (برگرفته از پوسته‌های تک‌انحنایی) و پرک‌ها (برگرفته از پوسته‌های دوانحنایی) است که بر اساس نظام هندسی مشخصی بر روی هم سوار می‌شوند.

وجه تمایز پتکانه، نسبت به دو گونه طاق معرفی شده در این دسته، ساختار هندسی آن است که هم بر ترکیب توپزه‌ها و هم شکل آلت‌های سازنده طاق اثرگذار است. هندسه طاق معمولاً برگرفته از یک شبکه با زیرنقش شطرنجی یا شطرنجی - شعاعی است که بر اساس آن دو آلت اصلی شامل تاسه‌ها (طاقچه‌ها) و پرک‌ها (شاپرک‌ها) در ردیف‌هایی موازی از کنج دهانه بر روی هم سوار می‌شوند و تا مرکز دهانه، یعنی شمس، ادامه می‌یابند. این ساختار محدودیت‌های هندسه دستوری کاربردی را ندارد، شکل آلت‌ها لزوماً محدود و یکسان نیست، و ترکیب توپزه‌های پشت آلت‌ها از قواعد هندسی ثابتی پیروی نمی‌کنند. بدین ترتیب، استفاده از پتکانه آزادی عمل بسیار بیشتری را برای طراحی و فرم‌پردازی موجب می‌شود.

با توجه به پنهان بودن توپزه‌ها در این طاق و نیز تنوع کم‌نظیر طرح آنها در نمونه‌ها و برهه‌های مختلف، شناخت رفتار سازه‌ای طاق پتکانه بسیار پیچیده است؛ اما با نگاهی کلی می‌توان پتکانه‌ها را به دو گروه شکلی - سازه‌ای و شکلی تقسیم کرد.<sup>۸۵</sup> در پتکانه شکلی - سازه‌ای، استخوان‌بندی اصلی طاق باریکه طاق‌های باربر است و آلت‌های پرکننده در بین آنها قرار می‌گیرد و بر آنها تکیه می‌کند. این پتکانه‌ها خود به دو گروه تقسیم می‌شود: گروه اول پتکانه‌های دارای باریکه طاق و تاسه و گروه دوم پتکانه‌های دارای باریکه طاق و تاسه و عناصر کششی است.<sup>۸۶</sup> این گروه معمولاً سازه‌ها و تاسه‌های آجری بزرگ‌تری دارند. در گروه دوم، پتکانه‌های شکلی از طاق‌های پتکانه، پوسته داخلی وجود دارد؛ اما به دلیل کوچک‌تر بودن تاسه‌ها در آنها، ماهیت ترین‌یافته و عدم برخورداری از

توپزه‌های پشتیبان، از سازه دیگری آویزان است. به این ترتیب در این دسته از طاق‌ها عنصر شکلی طاق پتکانه وجود دارد؛ اما عنصر سازه‌ای آن حذف شده و به همین خاطر، خواص آن به طاق مقرنس نزدیک‌تر است.<sup>۸۷</sup>

## جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله با پیوند مفاهیم و تعاریف معرفی شده در حوزه شناخت نظام‌های سازه‌ای با یافته‌های حوزه مطالعات طاق‌ها در معماری تاریخی ایران، چارچوب جدیدی برای دسته‌بندی طاق‌ها تعریف کردیم. با این چارچوب نوین طاق‌ها، با توجه هم‌زمان به دو مؤلفه «حضور و موقعیت عناصر سازه‌ای» و «شکل عناصر سازه‌ای» و با تکیه بر مفهوم «شکل سازه‌ای کلی»، دسته‌بندی می‌شوند.

بر اساس مؤلفه اول (عناصر سازه‌ای)، بود یا نبود توپزه‌ها، و نحوه ترکیب آنها با هم، طاق‌ها به سه دسته «بدون توپزه»، «با توپزه‌های محیطی»، و «با توپزه‌های محیطی و مقاطع» تقسیم می‌شوند. در سطح بعدی، بر مبنای مؤلفه دوم (شکل سازه‌ای)، طاق ترکیبی از پوسته‌های آجری (با شکل سازه‌ای کلی صفحه‌ای) و توپزه‌ها (با شکل سازه‌ای کلی خطی) است. بر این اساس، طاق‌ها از دسته‌های خردتری تشکیل می‌شوند، به این قرار: ۱) طاق بدون توپزه و با پوسته‌های تک‌انحنایی (طاق آهنگ) یا دوانحنایی (چهاردوری و کلبو)، ۲) طاق با توپزه‌های محیطی و پوسته‌های تک‌انحنایی (آهنگ)، دوانحنایی (چهاردوری، کلبو و کزاوه)، تلاقی دو تک‌انحنایی (ترکین و چهاربخش)، یا ترکیبی از تک‌انحنایی و دوانحنایی (خوانچه‌پوش)، ۳) طاق‌های با توپزه‌های محیطی و مقاطع که در آنها پوسته‌ها جزئی از صفحات تک یا دوانحنایی هستند. در این طاق‌ها با هندسه ترتیبی از خط و صفحه (کاربندی) یا با هندسه ترتیبی از خط و غیرترتیبی از صفحه (طاق با

باریکه طاق) یا با هندسه غیرترتیبی خط و صفحه (پتکانه) شکل بدین ترتیب، با هم پوشانی مؤلفه های سازه ای و شکلی، طاق ها دو دسته هستند: الف) طاق های «صفحه ای» (شامل

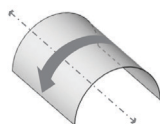
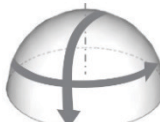
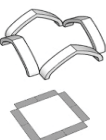
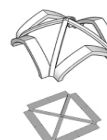
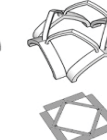
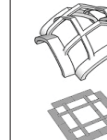
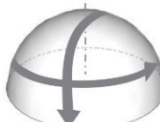
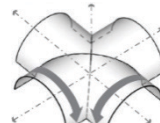
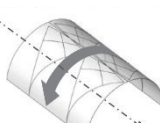
گرفته اند (جدول ۲).

۷۷. گروهی از دانشوران طاق کاربردی را بر اساس سه مؤلفه هندسه نظری، هندسه عملی، و نقش ساختمانی به ۸ دسته تقسیم کرده اند (رئبسی و دیگران، «بازنگری در مفهوم کاربردی بر مبنای هندسه نظری، عملی و نقش ساختمانی»، ۳۳-۵۴).

۷۸. عمده مطالعات پیشین مربوط به طراحی کاربردی در زمینه های منتظم است؛ اما در بعضی مطالعات اخیر به استعداد این طاق برای پوشش زمینه های نامنتظم نیز توجه شده است (نک:

Amir Amjad Mohammadi, et al., "Geometric Design of a Masonry Lattice Space Dome Titled KARBANDI in Persian Architecture", *International Journal of Space Structures*, no. 34 (2019): 1-18; A.A. Mohammadi, et al., "The Geometrical Regularization for Covering Irregular Bases with Karbandi", *Nexus Network Journal*, no. 20 (2018), 331-352.

جدول ۲. چارچوبی برای دسته بندی طاق های ایران بر مبنای شکل سازه ای کلی، تدوین: نگارنده.

| نظام سازه                                                                           |                                                                                    |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   | نظام شکل پوسته                                                                        |                                        | نام طاق           |                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| بدون توپزه                                                                          | توپزه محیطی                                                                        | توپزه عرضی                                                                        | توپزه قطری                                                                        | توپزه وتری                                                                        | توپزه چلیپایی                                                                     |    | تک انحنایی                             | آهنگ              |  |
|  |  |  |  |  |  |                                                                                       |                                        |                   |                                                                                     |
|                                                                                     |                                                                                    |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |    | دوانحنایی                              | چهاردوری          |                                                                                     |
|                                                                                     |                                                                                    |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                       |                                        | کژاوه             |                                                                                     |
|                                                                                     |                                                                                    |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                       |                                        | کلنبو             |                                                                                     |
|                                                                                     |                                                                                    |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |    | تک انحنایی مضاعف                       | چهاربخش           |                                                                                     |
|                                                                                     |                                                                                    |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                       |                                        | ترکین             |                                                                                     |
|                                                                                     |                                                                                    |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |  | ترکیب تک و دوانحنایی                   | خوانچه پوش        |                                                                                     |
|                                                                                     |                                                                                    |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                       |                                        |                   |                                                                                     |
|                                                                                     |                                                                                    |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |  | ترکیبی از جز، پوسته های تک و دوانحنایی | طاق با باریکه طاق |                                                                                     |
|                                                                                     |                                                                                    |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                       |                                        | کاربندی           |                                                                                     |
|                                                                                     |                                                                                    |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                       |                                        | پتکانه            |                                                                                     |

۷۹. طرح طاق‌های کاربردی بزرگ‌مقیاس در بازار تبریز از جمله چنین طاق‌هایی هستند (برای اطلاعات بیشتر نک: رئیس‌ی و دیگران، «بازنگری در مفهوم کاربردی بر مبنای هندسه نظری، عملی و نقش ساختمانی»، ۳۷-۳۸؛ محمدرضا لیلیان، «چگونگی تعاملات فضای معماری و سازه در کاربردی‌های با نقش سازه‌ای در بازار تبریز؛ با نگاه ویژه به نمونه موردی تیمچه محمدقلی در بازار تبریز»، اثر، ش ۵۳ (تابستان ۱۳۹۰)، ۱۱۱-۱۲۶؛ فرهاد تهرانی، «نگرشی دوباره بر کاربردی و معرفی کاربردی ویژه در بازار تبریز»، اثر، ش ۵۳ (تابستان ۱۳۹۰)، ۸۵-۹۶.

80. J. Rosintal and E. Schroeder, Squinches, Pendentives, and Stalactites: *A Survey of Persian art from Prehistoric times to the Present*, Vol. III (New York: Oxford University Press, 1977), 1256; A.B. Prochazka, *Determinants of Islamic Architecture (Architecture of the Islamic cultural sphere)* (Zurich: Muslim architecture Research Program, 1988), 118; B. O'Kane, *Studies in Persian art and architecture* (Egypt: American University in Cairo, 2007), 108-133.

81. A. Godard, "Voutes Iraniennes", In *Āthâr-é Īrân (Annales du Service Archéologique de L'Iran)*, IV (1949), 340.

تک‌انحنایی، دوانحنایی، تلاقی دو تک‌انحنایی، ترکیب تک‌انحنایی و دوانحنایی؛ (ب) طاق‌های «خط و صفحه‌ای» (که بسته به ترتیبی یا غیرترتیبی بودن نظم خطوط یا صفحات خود شامل سه دسته است). در طاق‌های «صفحه‌ای»، پوسته طاق نقشی محوری و عمده دارد و عامل اصلی ایستایی و شکل طاق است. درحالی‌که در طاق‌های «خط و صفحه‌ای»، از نقش پوسته‌ها کاسته می‌شود و توزیع‌ها نقش اصلی در شکل دادن به طاق و ایستایی آن را دارند، تا حدی که این دسته طاق، بدون

استفاده از توزیع‌های متقاطع قابل اجرا نیست.

در این مقاله با توجه هم‌زمان و روشمند به مؤلفه‌های شکلی و سازه‌ای طاق‌ها در معماری ایران، آنها در یک چارچوب یکپارچه بازشناسی و معرفی شده‌اند. بهره‌گیری از این چارچوب ضمن معرفی جامع‌تر طاق‌ها می‌تواند ما را با مسائل پیش روی طراحان و سازندگان پوشش‌های منحنی مواجه کند و از این طریق پنجره‌ای برای اندیشیدن به طراحی آسمانه‌های نو بگشاید.

## References

- Bezenval, R. *Vault Technology in the Ancient East*. Tehran: Iranian Cultural Heritage Organization, 2000. (In Persian)
- Bozargomehri, Z. *Geometry in Architecture*. Tehran: Iranian Cultural Heritage Organization, 1992. (In Persian)
- Dadkhah, N., et al. "Traditional Complex Modularity in Islamic and Persian Architecture: Interpretations in Muqarnas and Patkâné Crafts, Focusing on their Prefabricated Essence". *Offsite: Theory and Practice of Architectural Production*, 2012, 130-138.
- Edwards, C. and D. Edwards. "The Evolution of Shouldered Arch in Medieval Islamic Architecture". *Architectural History*, 42 (1999): 68-95.
- Engel, H. *Structure Systems*. Trans. A.G. Pahleviyani. Tehran: Karang, 1998. (In Persian)
- Farshad, M. *History of Engineering in Iran*. Tehran: Mirmāh, 1997. (In Persian)
- Galdieri, E. "Contributi Alla Conoscenza Delle Strutture a Nervature Incrociate". *Rivista degli Studi Orientali*, 57 (1983): 61-80.
- \_\_\_\_\_. "Persian Domes with Crossed Ribs: An Introduction in Domes from Antiquity to the Present". in *Proceedings of the IASS-MSU International Symposium*, Istanbul 1988, pp. 719-732.
- Godard, A., et al., *Athar-e of Iran*, Vol. 3, Trans. A. Sarvqad Moqaddam. Mashhad: Islamic Research Foundation, 1988. (In Persian)
- Godard, A. "Voutes Iraniennes". In *Āthâr-é Īrân (Annales du Service Archéologique de L'Iran)*, IV (1949): 187-370.
- Golombek, Lisa and Donald Wilber. *The Timurid Architecture of Iran and Turan*, Vol. 1, New Jersey, 1988.
- Gye, D.H. "Arches and Domes in Iranian Islamic Buildings: An Engineer's Perspective". *Journal of the British Institute of Persian Studies*, vol. 26, no. 1 (1988): 129-144.
- Kashani, Q.J. *Treatise on Vault and Azaj*. Trans. A. Jazbi. Tehran: Soroush, 1987. (In Persian)
- Leylian, M.R. "Interaction of Architectural Space and Structure in Load-Bearing Karbandis in Tabriz Bazaar: The Case of Mohammad-qoliTimcheh". *Athar*, 53 (2011): 111-126. (In Persian)
- Mainstone, Rowland J. *Developments in Structural Form*. Oxford: Taylor & Francis Group, 1998.
- Memarian, QH. *Iranian Architecture: Niyāresh*, Ed. H. Safaeipour. Tehran: Goljam, 2018. (In Persian)
- Mohammadi, Amir Amjad, et al. "The Geometrical Regularization for Covering Irregular Bases with Karbandi". *Nexus Network Journal*, 20(2) (2018): 331-352.
- Mohammadi, A.A., et al. "Geometric Design of a Masonry Lattice Space Dome Titled KARBANDI in Persian Architecture". *International Journal of Space Structures*. (2019): 1-18.
- Moore, F. *Understanding Structure*. Trans. M. Golabchi. Tehran: University of Tehran Press, 2003. (In Persian)
- Necipoğlu, G. *Geometry and Ornament in Islamic Architecture: The Topkapi Scroll*. Trans. M. Qayoumi Bidehendi. Tehran: Rozaneh, 2000. (In Persian)
- O'Kane, Bernard. *Studies in Persian Art and Architecture*. Egypt: American University in Cairo, 2007.
- Omranipour, A. *Islamic Art and Architecture: In Memory of Dr. Latif Abolqasemi*. Tehran: Urban Renovation and Improvement Organization, 2005. (In Persian)



82. Edwards and Edwards, "The Evolution of Shouldered Arch in Medieval Islamic Architecture", 68-95.

۸۳ پیرنیا، «گنبد در معماری ایران»، ۳۸.

۸۴ هادی صفایی‌پور و دیگران، «فهم چستی پتکانه از طریق تحلیل نمونه‌های نخستین در معماری ایران»، *مطالعات معماری ایران*، ش ۵ (بهار و تابستان ۱۳۹۳): ۱۶.

۸۵ هادی صفایی‌پور، بررسی توسعه شکل سازه‌ای با تأکید بر پوشش پتکانه در معماری ایران (دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۸)، ۱۱۳-۱۲۱.

۸۶ صفایی‌پور و دیگران، «فهم چستی پتکانه از طریق تحلیل نمونه‌های نخستین در معماری ایران»، ۱۲.

۸۷ از منظر سازه‌ای، میان مقرنس و پتکانه‌های شکلی تمایزی نیست؛ اما از منظر شکلی، مقرنس‌ها از آلت‌های دیگری جز شاپرک و تاسه نیز برخوردارند. مهم‌ترین این آلت‌ها در مقرنس «تخت» است که با عناصر کششی از سازه پشته‌ای آویزان است. وجه تمایز دیگر مقرنس و پتکانه شیوه ساخت آنهاست. در مقرنس ابتدا تخت‌ها از سازه بالایی آویزان می‌شوند و بعد عناصر میانی آنها در جای خود قرار می‌گیرند. حال آنکه تاسه‌های پتکانه از پایین به

Pirnia, M.K. "Architectural Gifts to the World: The Dome". *Honar va Mardom*, no. 136-137 (1973): 2-7. (In Persian)

\_\_\_\_\_. "The Dome in Iranian Architecture". *Athar*, 20 (1992): 5-139. (In Persian)

\_\_\_\_\_. "Vault and Arch". *Athar*, 24 (1994): 46-192. (In Persian)

Prochazka, Amjad Bohumil. *Determinants of Islamic Architecture (Architecture of the Islamic cultural sphere)*. Zurich: Muslim architecture Research Program, 1988.

Raeiszadeh, M. and H. Mofid. *Reviving Forgotten Arts: The Principles of Traditional Architecture in Iran According to Master Hossein Lorzadeh*. Tehran: Mowlā, 1995. (In Persian)

Raeisi, M., et al. "Reconsidering the Concept of Karbandi Vault Based on Theoretical and Structural Geometry". *Restoration and Architecture of Iran*, 5 (2013): 33-54. (In Persian)

Rezayat, N. Isfahan Grand Mosque, interview with Hadi Safaeipour, 5/17/2012, personal archive of the interviewer.

Rosintal, J. and E. Schroeder. *Squinches, Pendentives, and Stalactites: A Survey of Persian art from Prehistoric times to the Present*, eds: Pope, A. U. and P. Ackerman. Vol. III. New York: Oxford university press, 1977.

Safaeipour, H. *Interpretations in Morphologic Development: Focusing on Patkâné*. MA Thesis, Tarbiat Modares University, 2009. (In Persian)

\_\_\_\_\_. *Methodology for Understanding and Explaining the Design Resources of Contemporary Master Masons in Iran*. PhD Dissertation in Architecture, Tehran: Tarbiat Modares University, 2016. (In Persian)

\_\_\_\_\_. *Studying of Development of Structural Form*

← بالا بر روی هم سوار می‌شوند (صفایی‌پور و دیگران، همان، ۱۶؛

N. Dadkhah, et al., "Traditional Complex Modularity in Islamic and Persian Architecture: Interpretations in Muqarnas and Patkâné Crafts, Focusing on their Prefabricated Essence", *Offsite: Theory and Practice of Architectural Production*, 2012, 131.

*Through Analyzing Patkaneh Vaulting in Iran's Architecture*. MA Dissertation in Architecture, Tehran: Tarbiat Modares University, 2009. (In Persian)

Safaeipour, H., et al., "Understanding the essence of the petkaneh through the analysis of early examples in Iranian architecture". *Iranian Architectural Studies*, no. 5 (Spring and Summer 2014)

Sandaker, Bjorn Normann. *On the Span and Space: Exploring Structures in Architecture*. Oxfordshire: Routledge, 2008.

Shaarbaf, A. *Girih and Karbandi*. Tehran: Sobhan Noor, 2006. (In Persian)

Smith, Myron Bement. *The Vault in Persian Architecture: A Provisional Classification, with Notes on Construction*. PhD dissertation. John Hopkins University, 1947.

Tehrani, F. "A New Look at Karbandi and a Special Example in Tabriz Bazaar". *Athar*, 53 (2011): 85-96. (In Persian)

\_\_\_\_\_. *Lecture Notes: Introduction to Traditional Structures - Vault*. Shahid Beheshti University, n.d.-a. (In Persian)

Tehrani, F., et al. "The Technology of Qomi-poosh Vaults in Iranian Traditional Architecture". *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 4(8) (2012).

Wilber, D. *Islamic Architecture of Iran in the Ilkhanid Period*. Tehran: Scientific and Cultural Publications, 1986. (In Persian)

Wilber, D., et al. *Timurid Architecture in Iran and Turan*. Trans. K. Afsar & M.Y. Kiani. Tehran: Iranian Cultural Heritage Organization, 1995. (In Persian)

Zomorshidi, H. *Vaults and Arches in Iranian Architecture*. Tehran: Keyhan, 1994. (In Persian)



این صفحه آگاهانه بدون متن ارائه شده است.

This page is intentionally rendered without text.

- The naming of the corresponding author where there is more than one author
- Addresses, emails addresses and phone numbers of authors
- Academic ranks and affiliations of authors
- Any possible connections with theses or research projects

Please also note:

All author names are necessary, and the use of academic emails is preferred.

Please avoid the general title ‘faculty member’, and mention your exact academic position (e.g. Lecturer, Assistant Professor, Associate Professor, Full Professor, Visiting Lecturer etc.). For example: Ali Alipour, Associate Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University

It is fine to integrate all text material into one file. The authors’ details should come first and on a separate page in these cases.

Please use *Soffeh* Manual for preparing the article. This is available online, and occasionally printed in the publication as well.

Please also use *Soffeh* Manual for referencing.

Unless absolutely necessary, please avoid using non-Persian letters in the Persian text. Non-Persian equivalents of words and names can be mentioned in footnotes, accompanied by explanations if necessary.

Key information about people (e.g. birth and death dates and other milestones) should be compiled using credible sources, together with people’s names in original language and short biographies, all in footnotes.

Authors’ own insertions should be put into square brackets ‘[]’. Earlier insertions by others should be put into accolades ‘{}’. Square brackets are always reserved for the latest insertions.

What *Soffeh* would not publish:

- Translations
- Articles by the same individual in one issue
- Articles by the same individual in two consecutive issues
- All articles express their respective authors’ views

Subject to correctly citing the source, any quotations from *Soffeh* articles are allowed.

*Soffeh* uses the 17<sup>th</sup> edition of Chicago Manual of Styles for referencing.

Table and chart files (usually in Excel or Visio formats) shall be submitted separately together with PDF or JPG versions.

Image files need to be named as follows:  
XXX\_020109\_P09.tif

The first two components are named and numbered like the main file. The third component shall indicate the illustration number as mentioned in the text (figure 9 in this example).

Figure captions and sources shall also be added in the end of the text.

Please be careful about caption wording, so that the author and the source of the image are not confused.

The referencing for images shall be in accordance with *Soffeh* Manual. Please make sure they are all listed, along other sources, in the references list. If an image is produced specially for your article, please cite its creator. In articles with more than one author, it would be inaccurate to mention 'authors' as creators of images. Unless they are indeed created by more than one of the authors, these images should be attributed to one specific author.

If the images are elaborated versions of some other original image, the original should also be cited, for example when markings are made on an aerial photo.

If you are specific about the location of certain images, this needs to be clarified.

The list of contents should accurately reflect the structure and hierarchies of the text. This list is necessary both for refereeing and laying out pages, but is not published per se.

A copy of the Persian abstract should be submitted separately. This shall be a 300-word (max.) text with no references, and with a similar format to the main text.

A Persian and Extended English abstract (1000 words max.) shall also be submitted. An English version of the summary will be published.

Please also submit up to five keywords both in Persian and English.

Each article can have up to five research questions in full sentences and in a similar format to the main text. These will be published along the main text.

The authors' details page is the only page in which the identities of authors are disclosed. Please arrange the article in a way that authors' identities are not disclosed elsewhere. The information required for this page is as follows:

- Full names in Persian and English

The following material needs to be included in submission packages:

1. The main text
2. Illustrations (if any)
3. The contents list
4. A Persian abstract (max. 300 words)
5. An English Extended Abstract (max. 1000 words)
6. Keywords
7. Research questions
8. A page containing the title and authors' details and addresses. In case there are more than one author, an author shall be designated as 'corresponding author', with whom *Soffeh* keeps in touch during refereeing and preparation procedures. The first author is assumed to be the corresponding author in case no author is named as corresponding.

Unless exempted by the editorial board, no article should exceed 6,000 words (ca. 20 pages, including footnotes)

Only text files (.docx or doc) are acceptable for submissions. Most desktop applications such as *MS Word*, *Open Office*, and *In Design* can work with these formats.

Please use the following format to name the article file:  
XXX\_020109

The first three characters shall be the first three letters of the corresponding author's surname, and the following six digits shall indicate submission date in Iranian solar calendar.

All illustrations (photos, maps, charts and designs) are numbered in a single sequence.

Please submit all print-quality illustrations on a separate file, and only include those illustrations that are crucial for the understanding of the text.

The suitable format for print-quality illustrations is 300 dpi tif or tiff. Most freely available online images, and images taken by non-professional cameras lack this level of quality. Nor can this quality be achieved through upscaling poor-quality images. It is recommended to consult an IT expert in this regard if required.

The inclusion of a small-size version of images would suffice for the initial submission, to be followed with high-quality images once the article is accepted.

Drawings should preferably be submitted as image files. Vectorial files like DWGs need to be accompanied by pen setting files such as CTBs.

## Instructions for Authors

*Soffeh* Journal is a scientific-research publication concerning architecture and urban planning, accepting articles in accordance with the journal aims & scope. Admissions are in line with *Soffeh's* specialty, namely, architecture and urban planning. These include land use and regional planning, urban planning and design, landscape architecture and land use, architecture, interior design, conservation of historically and culturally significant buildings, and post-disaster reconstruction.

Accepted articles are expected to have one of the following types and/or approaches: theoretical principles, theories, histories, case studies, criticisms of theories, methods and works, pedagogies, researches about applications of theories, researches about methods and techniques, and researches about construction implementation and management. It is recommended that the above is clarified in articles.

All articles prepared by faculty members, students and experts are accepted for review, provided they comply with the above criteria.

The journal considered the double-blind peer review process for submitted manuscripts. At least 3 referees' response will be considered by the journal editor-in-chief to get the final decision for the manuscript. *Soffeh* reserves the right to accept or reject articles.

All submissions should be made through journal online submission system available at: <https://soffeh.sbu.ac.ir>. An acknowledgement letter will be emailed to the corresponding author once a submission is successfully made. Please contact *Soffeh* office in case there was any problems. The article review results will be announced through email, typically within two months, though it might occasionally take longer.

This page is intentionally rendered without text.

# SOFFEH

A Journal of Architecture and Urbanism

Shahid Beheshti University,  
School of Architecture and Urban Planning,  
Vol. 35, Issue 3, No. 110, 2025  
ISSN: 1683-870X



## ◆ Instructions for Authors

◆ **Reinforcing Social Aspects of Architecture Education: An Examination of the Iranian B-Arch Curriculum in Terms of the Science, Technology, Society (STS) Programme**

5-8 (In English part)

Alireza Mostaghni, Faezeh Tafreshi | 5-24

◆ **Optimising Energy Performance and Thermal Comfort with Shading Control Scenarios in Bandar Abbas, Yazd, Sari, and Tabriz Using Parametric Analysis and Machine-Learning**

Fateme Akhlaghinezhad, Hadi Bagheri Sabzevar | 25-54

◆ **Using Machine Learning Algorithms in the Early Stages of Design, in Initial Estimations for Structural Elements' Sizes in Conventional Residential Buildings in Tehran**

Seyed Amir Mohammad Rabbani Jalali, Mohammad Rajaian Hoonejani, Mohammad Tahsildoost, Roham Afghani Khoraskani | 55-73

◆ **Evaluating the Time-Cost Trade-off as A Decision-Making Criterion in Implementing Industrialised Construction Systems in Building Projects**

Mehdi Nematollah-Zadeh, Behnod Barmayehvar, Mohammad Hossein Mahmoudi Sari | 75-92

◆ **Health-Boosting Urban Neighbourhoods: A New Model in Designing and Planning Healthy Neighbourhoods; The Case of Sa'adi Neighbourhood, Shiraz**

Zohreh Fathinejad, Parvin Partovi | 93-118

◆ **Vaultings in Iranian Historical Architecture: A New Framework for Classification**

Hadi Safaeipour | 119-137

Cover photo: Examples of vaults: (from left to right) 'kajaveh', 'khanche-poosh', ribbed, from: 'Vaultings in Iranian Historical Architecture: A New Framework for Classification', by Hadi Safaeipour; Source: Iranian Architecture, The Tectonics, by Gholam Hossein Me'marian, 1-363.



# SOFFEH

A Journal of Architecture and Urbanism

Shahid Beheshti University,  
School of Architecture and Urban Planning  
ISSN: 1683-870X

Vol. 35, Issue 3, No. 110, 2025  
Director: MohammadReza Hafezi, PhD.  
Editor-in-Chief: Hamid Nadimi, PhD.  
Deputy Editor-in-Chief & Executive Director:  
Marjan A. Nematimehr, PhD.  
Persian Editors: Shahab Qayyoomi Bidhendi  
English Editor: Seyed Hossein Iradj Moeini, PhD.

P.O. Box 19835-346, Tehran, Iran  
Tel: (+98) 21 29902843  
Fax: (+98) 21 22431642  
<https://soffeh.sbu.ac.ir>  
[j-soffeh@sbu.ac.ir](mailto:j-soffeh@sbu.ac.ir)  
[j.soffeh@gmail.com](mailto:j.soffeh@gmail.com)

"**SOFFEH**" in Persian architecture refers to a type of raised platform or terrace typically built against a hillside or elevated area. These structures were common in traditional Persian gardens, providing a vantage point for relaxation, contemplation, and enjoying scenic views. Soffehs were often adorned with decorative elements such as intricate tile work, carved stonework, and lush vegetation, creating serene and aesthetically pleasing environments. They were also used for social gatherings, poetry readings, and other leisure activities.

---

**License Holder:**  
**Shahid Beheshti University**

Editorial Board:

**Tooran Alizadeh**, Ph.D. Associate Professor, University of Sydney, Australia.

**Ali Asgary**, Ph.D., Professor, Disaster & Emergency Management, York University, Toronto, Canada.

**Simin Davoudi**, Ph.D., Professor of Environmental Policy & Planning. Newcastle University, Newcastle upon Tyne, England

**Mohsen Feizi**, Ph.D., Professor of Landscape Design. Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

**Ali Ghaffari**, Ph.D., Professor of Urban Design. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

**Kourosh Golkar**, Ph.D., Professor of Urban Design. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

**Akbar Haji Ebrahim Zargar**, Ph.D., Professor of Architecture. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

**Eisa Hodjat**, Ph.D., Professor of Architecture. University of Tehran, Tehran, Iran.

**Ali Kaveh**, Ph.D., Professor of Structural Engineering. Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

**Shahin Heydari**, Ph.D., Professor of Architecture. University of Tehran, Tehran, Iran.

**Ali Madanipour**, Ph.D., Professor of Urban Design. Newcastle University, Newcastle upon Tyne, England

**Asghar Mohammad Moradi**, Ph.D., Professor of Architecture. Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

**Hadi Nadimi**, Ph.D., Professor of Architecture. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

**Hamid Nadimi**, Ph.D., Professor of Architecture. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

**Shahram Pourdeihimi**, Ph.D., Professor of Architecture. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

**Mahmoud Razjouyan**, Ph.D., Professor of Architecture. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

**Nikos A. Salingaros**, Ph.D. Professor, University of Texas at San Antonio, San Antonio, Texas, United States..

**Ayyoob Sharifi**, Ph.D., Professor, The IDEC Institute Graduate School of Innovation and Practice for Smart Society, Hiroshima University, Hiroshima, Japan

---

In the Name of God