وجوه و حدود دانش سازه در فرایند طراحی معماری[1]

مجید احمدنژاد کریمی[2]

مهدی محمودی کامل‌آباد[3]

استادیار دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان

مریم عظیمی[4]

استادیار دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان

دریافت: ۱۲ دی ۱۳۹۶
پذیرش: ۱۱ تیر ۱۳۹۷

چکیده

شناخت دانش سازه یک ضرورت ناگزیر در طول فرایند شکل دادن به فرم نهایی و همچنین ایجاد فضا در معماری است و ادغام سازه‌های خلاقانه، اقتصادی، و قابل اجرا در فرایند طراحی ساختمان‌ها همواره از موضوعات ضروری در معماری بوده است. سازه در زمینهٔ معماری، که بخش جدایی‌ناپذیری از فضای معماری است، تنها با بررسی جنبه‌های مختلفی از دانش شناخته می‌شود. مسئلهٔ مهم این است که کدام گونه و چه اندازه از شناخت دانش سازه در انبوه خواسته‌های طراحی می‌تواند به کار معمار آید. برخی محققان بر این باورند که سازه را تنها از راه بررسی مفاهیم مکانیکی نمی‌توان به‌درستی شناخت، زیرا بسیاری از طرح‌های معماری با گرایش و تمرکز بر این مفاهیم آغاز نمی‌شوند؛ بلکه ایده‌های فضایی آغازگر و مهم‌ترین بهانهٔ پیکربندی طرح‌های معماری است. بنا بر این برای طراحی و تحلیل سازه، در یک زمینهٔ معماری، شناخت وجه فضایی آن نیز لازم است. هدف اصلی بررسی این وجوه چندگانه برای شناخت جایگاه معمار در نحوهٔ طراحی سازه در فرایند طراحی معماری است. در این تحقیق در ابتدا، با روش توصیفی ـ تحلیلی به شناخت روابط مختلف بین این وجوه و نحوهٔ اثرگذاری آن‌ها در شکل‌گیری فرم نهایی ساختمان در یک فرایند طراحی در قالب نمونه‌های مطالعاتی پرداخته شده است. در پایان سعی گردیده چگونگی و محدودهٔ اثرگذاری معمار در به‌کارگیری وجوه سازه در فرایند طراحی تبیین گردد.

کلیدواژگان: دانش سازه، فرایند طراحی معماری، حدود سازه، وجوه سازه.

۱. مقدمه

دانش سازه همواره یکی از مباحث تحقیقاتی در حوزهٔ مطالعات معماری بوده است. محققین در آثار گوناگونی با موضوعات متنوع به این مبحث پرداخته‌اند. موضوعات تاریخی[5]، مشارکت معمار و مهندس[6]، و انواع روش‌های طراحی سازه[7] را در منابع موجود می‌توان بررسی کرد. همچنین رویکرد برخی از محققان در این زمینه در حوزهٔ آموزش مفاهیم سازه بوده است[8]. مسئلهٔ اصلی در اکثر پژوهش‌های فوق نبود توجه کافی و مناسب به چگونگی حضور دانش سازه در فرایند طراحی معماری است. مینستون معتقد است که نتایج حاصله از این تحقیقات نشانگر فقدان موفقیت مطلوب این شیوه‌ها به صورت

۱. ایـــن مقاله برگرفتـــه از مطالعات رسـالهٔ دکتری نویسندهٔ اول است که به راهنمایی نگارندهٔ دوم و مشـــاورهٔ نگارندهٔ سوم در دانشگاه هنر اصفهان در حال تدوین اســـت. نویسندگان از دکتر مازیار آصفی، به دلیل آنکه برای پیشـــبرد این پژوهش از مشاوره‌های ارزشمند ایشـــان بهره برده‌اند، تشکر و سپاسگزاری می‌کنند.

۲. نویسندهٔ مسئول، دانشجوی دکتری معماری اسلامی، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان
m.ahmadnejad@aui.ac.ir
3. m.mahmoudi@aui.ac.ir
4. m.azimi@aui.ac.ir

۵. نک:
B. Addis, *Building: 3000 Years of Design Engineering and Construction*.

۶. نک:
L. Luyten, *Structurally Informed Architectural Design*; O.P. Larsen & A. ←

Archive of SID
www.SID.ir

پرسش‌های تحقیق

۱. چگونه سازه در شکل، فرم نهایی، و ساخت معماری تأثیرگذار است و چرا؟

۲. نسبت‌های بین طراحی فرم معماری با طراحی سازه کدامند؟

۳. میزان اثرگذاری معمار در فرم نهایی سازه چگونه است؟

عملی (در طراحی معماری) است.[۹] فرا گرفتن دانش سازه با روش‌های موجود، که به طور عمده بر پایهٔ مفاهیم پیچیده سازه‌ای استوار است، قابلیت کاربرد در طراحی معماری را ندارد.[۱۰] درنتیجه، جایگاه و نحوهٔ انتقال سازه در اثر معماری با مشکل مواجه است.[۱۱] در منابع چگونگی انتقال دانش سازه در طراحی معماری را «زبان مشارکت، زبان طراحی، و زبان بصری» نامیده‌اند.[۱۲] فرم‌دهی معماری بدون شناخت وجوه سازه و نحوه و زمان شکل‌گیری آن‌ها در فرایند طراحی نه‌تنها در محیط‌های حرفه‌ای، بلکه در فضاهای آموزشی و آتلیه‌های طراحی معمول است[۱۳].

از این رو، در این تحقیق نقدی متفاوت و تا حدی غامض به مفهوم «سازه» با عملکرد چندگانهٔ مکانیکی و فضایی و همچنین محدودهٔ اثرگذاری معمار در فرایند طراحی آن‌ها شده است. بر این اساس، در تحقیق حاضر با روش توصیفی- تحلیلی اطلاعات گردآوری‌شده تجزیه‌وتحلیل و با جمع‌بندی مطالعات پیشین، به نتایجی برای کاربرد دانش سازه در فرایند طراحی معماری پرداخته می‌شود. درواقع در پژوهش پیش رو در ابتدا با نقدی به دانش سازه و روش‌های شناخت آن در تاریخ معماری، چگونگی و چرایی جدایی سازه در تاریخ معماری و اثرگذاری آن بر طراحی ساختمان بررسی و با بیان مبانی نظری موجود، ابعاد طراحی سازه در فرایند طراحی توصیف می‌گردد. سپس با تحلیل محدودهٔ طراحی سازه و ارتباط آن با معمار، یافته‌های دقیق وجوه و حدود آن در یک فرایند طراحی معماری بررسی می‌شود (ت ۱).

۲. ادبیات موضوع: شناخت سازه در تاریخ معماری

اصطلاحات «معمار» و «مهندس» در فعالیت‌های ساختمانی قبل از سال ۱۴۵۰ ناشناخته بودند.[۱۴] در اواخر قرون وسطی، در غرب، طراحان و سازندگان بناها، به طور گسترده، با حرفه‌های بنایی و نجاری آشنا بودند. آن‌ها صنعتگران باتجربه‌ای بودند، ولی قادر به پرداختن سازه به منزلهٔ یک هدف و تفکر در مقایسه با دیگر کیفیات معماری نبودند.[۱۵] در طول دورهٔ رنسانس، تمایزی بین معمار و مهندس به سبب موضوع مهارت‌ها نبود؛ بلکه بر اساس «نوع طراحی» هر موضوع توسط آن‌ها بود. یک معمار طراحی ساختمانِ غیر مذهبی یا مذهبی را بر عهده داشت، در حالی که یک مهندسْ طراح قلعه‌ها، دیوارها، شهرها، کانال‌ها، و ماشین‌آلات جنگی بود. این تفاوت در شرح شغل منجر به

→
Tyas, "Conceptual Structural Design: Bridging the Gap between Architects and Engineers".

۷. نک:
W.Lewis, "Understanding Novel Structures through Form-Finding".

۸. نک:
M. Millais, *Building Structures: From Concepts to Design*.

9. Mainstone, *Developments in Structural Form*, p. 328.

۱۰. مهدی محمودی، *دانش ضمنی سازه در فرایند طراحی* ، ص ۷-۸.

۱۱. محمدجـــواد مهدوی‌نژاد و غزل وفائیـــان، «کاربرد الگوی مقداری در همسازی معماری و سازه»، ص ۶۲.

۱۲. نک:
Luyten, ibid; A.R. Dongre, & partners, "Emerging Architectonic Forms and Designed Forms"; T. Van Mele & partners, "Geometry Based Understanding of Structures".

13. Luyten, ibid, p. 7.

14. Addis, ibid, p. 8.

15. Ibid,p. 109.

Archive of SID

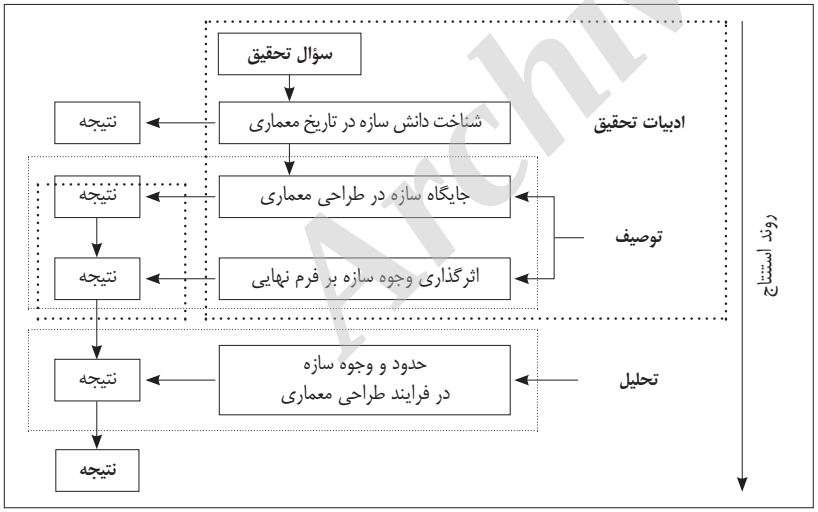
www.SID.ir

آموزش‌های مختلف و توسعهٔ استعداد بین آن‌ها شد. با وجود این، تعداد کمی از افراد به صورت تخصصی در یک حرفه مشغول می‌شدند؛ بلکه در هر دو زمینه مهارت داشتند[۱۶]. همچنین در طول این دوران، فناوری چاپ کتاب و ارائهٔ تصاویر، به مثابهٔ مد و جزئیات تزیینی، شرایط رسیدن معماری را به جایگاه یک رشتهٔ مستقل فراهم کرد. مؤلفان این کتاب‌ها نقش مهندسان و صنعتگران در ایجاد ساختمان را نادیده گرفتند و مهارت‌های فنی در آن‌ها کمتر مشاهده می‌شد. آدیس معتقد است که پالادیو در اثر خود با عنوان *چهار کتاب معماری* مرحلهٔ نهایی جدایی معمار از مهندس را نشان می‌دهد. در این کتابْ نویسنده توجه اندکی به مهارت‌های فنی دارد و بیشتر تمرکز خود را بر کیفیات زیبایی‌شناختی و حجمی ساختمان می‌گذارد[۱۷].

این تغییرات بر نوع شناخت سازه و نحوهٔ طراحی آن تأثیر گذاشت. به طور مثال، ویلیامز، بر اساس شناخت عمومی از سازه، آن را در چهار دوره شامل فهم بصری از مشاهدات در طبیعت، قانون تجربی، محاسبهٔ ریاضی سازه، و روش های مبتنی بر رایانه در تاریخ معماری تقسیم می‌کند.[۱۸] در منبع دیگری نیز در بیان شناخت و طراحی سازه بر اساس مطالعات وسیع در منابع تخصصی (به‌ویژه در آثار رولند مینستون)، به شناسایی چگونگی ادراک و طراحی آن در تاریخ معماری پرداخته و در این حوزه، روش‌های شناخت سازه به چهار نوع ماهیچه‌ای، فضایی، هندسی، و عددی دسته‌بندی شده است[۱۹].

تا پیش از سدهٔ دوازدهم، شناخت سازه به طور عمده با روش‌های سعی و خطا و تفکر سازه‌ای، هم‌زمان با ساخت و به صورت تجربی، انجام می‌شد. یکی از این موارد، شناخت از طریق کار با اجسام و ماهیچهٔ بدن بود، که در آن، با کشیدگی و جمع‌شدگی ماهیچه‌ها، بشر با مفاهیم کشش و فشار آشنا می‌شد. شناخت دیگر بر پایهٔ کار با اجسام مختلف و مشاهدات محیطی مانند شکستن اجسام در برابر نیروهای مختلف (مانند خمش در چوب) شکل می‌گرفت. این دو درک پایه‌ای به‌ترتیب درک ماهیچه‌ای و درک فضایی نام گرفتند.[۲۰]

بشر با پیشرفت در درک پایه، موفق به طراحی و شناخت سازه با روش هندسی گشت. در این روش، که از سدهٔ دوازدهم تا اواسط سدهٔ هجدهم معمول بود، از ترسیم و روابط هندسی در طراحی و ساخت سازه استفاده می‌شد. به طور مثال در معماری غرب، هندسه به منزلهٔ یک هنر عملی و نیز با ظهور اقلیدس سطح دانش طراحی را در طول قرون وسطی بهبود بخشید. هندسهٔ توسعه‌یافته توصیف طرح‌های پیشنهادی را تسهیل و از کاربرد عملی عمیق در فرایند ساخت‌وساز استفاده کرد. همچنین امکان ساختن دقیق قطعات ساختمانی فراهم شد. چنین پیشرفتی می‌توانست سازندگان را به فکر ساختن بناهای بزرگ‌تر و بلندتر توانا کند[۲۱]. همچنین در معماری ایران در این دوران، که هنوز معماری بر پایهٔ دانش آکادمیک بنیاد نهاده نشده بود، پایداری ساختمان، فرم تزیینات، ابعاد و اندازه‌های ساختمان، و تناسب بین فرم و زیبایی بنا بر اساس هندسه‌ای بود که از نسلی به نسل دیگر انتقال می‌یافت. در این هندسه همواره از زبانی ساده و قابل فهم بهره برده می‌شد. در همهٔ



ت ۱. ساختار استنتاجی تحقیق، تهیه: نگارندگان.

16. A. Saint, *Architect and Engineer: a Study in Sibling Rivalry*, p. 486.
17. Addis, ibid, p. 145-150.
18. K. Williams & M.J. Ostwald, Williams, K. & M.J. Ostwald. *Architecture and Mathematics from Antiquity to the Future, Volume I: Antiquity to the 1500s*, p. 82-92.
۱۹. محمودی، همان، ص ۳۴–۷۱.
20. Mainstone, "The Springs of Structural Invention", pp. 55-71.
21. Addis, "Inventing a History for Structural Engineering Design", p. 116.

Archive of SID

www.SID.ir

مراحل تکوین اثر معماری رابطهٔ تنگاتنگی بین هندسه و نیارش دیده می‌شود[۲۲]. در قرن هجدهم مهندسان هنوز بیشتر به صورت تجربی و عملی از طریق مشاهده و تعمیمْ کسب دانش می‌کردند. گرچه بدنهٔ مهمی از نظریه‌های علمی سازه‌ای در قرن هجدهم از سوی نظریه‌پردازان توسعه داده شد (به طور مثال توسط گالیله، رابرت هوک، یوهان و یاکوب برنولی)، ولی از آن‌ها در ساخت‌وساز ساختمان استفادهٔ چندانی نشد[۲۳]. تا پایان قرن یادشده معماران مسئولیت کامل همهٔ جنبه‌های طراحی یک بنا را بر عهده داشتند[۲۴].

در مرحله‌ای دیگر، از نیمهٔ سده هجدهم، روش‌های عددی و محاسباتی در شناخت و طراحی سازه چیره گشت. این روش بر پایه‌های نظری فیزیک استوار بود و تا حدود زیادی از مبانی طراحی دور شد. در قرن نوزدهم نظریه‌های سازه‌ای به دلیل وجود مدارس پلی‌تکنیک و تأثیر صنعت ساختمان و مصالح جدید، مانند آهن، از طریق متونْ وارد حوزهٔ آموزش و دانشگاهی شد. مهارت در محاسبات دقیق و سطح کافی از ایمنی با استفاده از مصالح جدید میسر شد. این مهارت‌ها باعث جدایی کامل معماری از مهندسی شد، در حالی که در گذشته، تنها به دلیل ساختار شغلی، وظیفهٔ این دو تعیین می‌شد[۲۵]. بنا بر این، این موضوع در اوایل قرن نوزده بنیان نهاده شد و منجر به این مسئله گردید که روش‌های انجام محاسبات پیش‌بینی‌کننده در دسترس قرار گرفت و جدایی دانش سازه از معماری آغاز شد.

بعد از این مرحله، مدل‌های فیزیکی و همچنین تولید نرم‌افزارهای فرمی و محاسباتی در شناخت و طراحی سازه پدیدار شد. در اواخر قرن بیستم موزهٔ گوگنهایم بیلبائو، که فرانک گهری طراح آن بود، افتتاح گشت. فرم این بنا، از نظر ریاضی، هندسهٔ تعریف‌شده و منظمی نداشت. طراحی و ساخت موزهٔ یادشده نمی‌توانست به‌آسانی انجام شود. طراحان در این پروژه مزیتی به نام رایانه داشتند و رایانه به معمار و مهندس اجازه داد که تقریباً به صورت مستقل عمل کنند. معمار، با استفاده از مدل‌های سه‌بعدی، فرم ساختمان را بدون هیچ فکری برای رفتار سازه‌ای آن تعیین کرد. سپس فرم نهایی با استفاده از برنامه‌های رایانه‌ای تحلیل شد. با در دسترس بودن برنامه‌های رایانه‌ای که مدل‌های بی‌شماری از سازه را تولید می‌کنند، تمایل زیادی به پرداختن همهٔ ساختمان در رایانه پیش از درک مفهومی وجوه سازه‌ای آن است[۲۶]. تا کنون زبان عددی در طراحی سازه به گونه‌های متنوعی استفاده شده است. با برنامه‌های تحلیلی می‌توان، با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته، تنش و انحراف و رفتار پویا را برای سازه‌های بسیار پیچیده تعیین کرد. با این حال این ابزارها در طراحی مفهومی سازه کاربرد کمی دارند[۲۷]. این وضعیت که سبب مشکلات فنّی و مالی در بسیاری از پروژه‌ها می‌شود، تنها زمانی می‌تواند بهبود یابد که هر کسی که در فرایند طراحی شرکت می‌کند، فهم و شناخت کافی از هر دو جنبهٔ فنّی و زیباشناختی داشته باشد. در «ت ۲» نمودار تقریبی از سیر تاریخ روابط سازه و معماری نشان داده شده است.

۲۲. لطیف ابوالقاسمی، هنجار *شکل‌یابی در معماری اسلامی ایران*، ص ۳۶۶.

23. Luyten, ibid, p. 19.

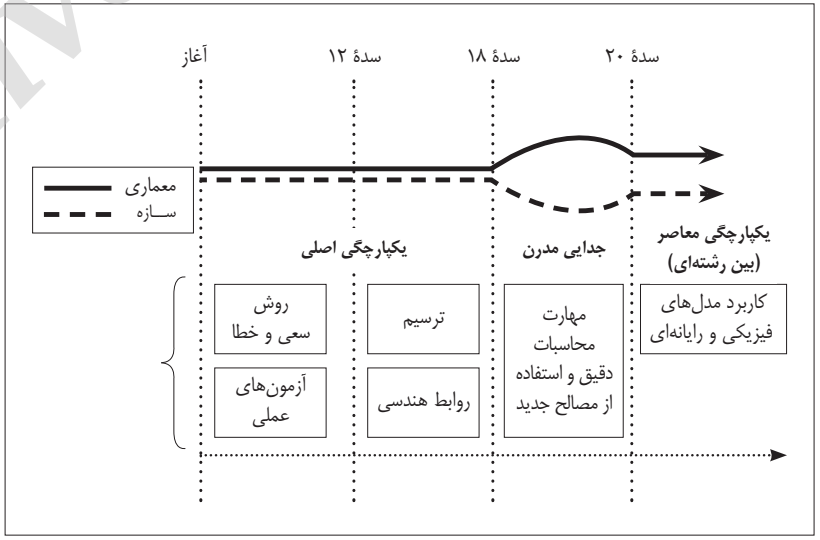
۲۴. نک:
Millais, ibid.

25. Saint, ibid, pp. 487-489.

26. Millais, ibid, pp. 391-396.

27. C.T. Mueller, *Computational Exploration of the Structural Design Space*, p. 25.

ت ۲. نمودار تقریبی از تحولات شناخت سازه در سیر تاریخ معماری، تهیه: نگارندگان.



Archive of SID
www.SID.ir

۳. جایگاه سازه در طراحی معماری

شناخت سازه در زمینهٔ معماری در مقایسه با شناخت آن در زمینه‌های دیگر متفاوت است. مک‌دونالد عملکرد سازه را لزوم سختی و استحکام مورد نیاز برای جلوگیری از تخریب ساختمان بیان می‌کند.[۲۸] این اظهار نظر صحیح است، ولی، با تصور سازه در یک «زمینهٔ معماری»، در این اظهار نظر تنها کارایی اندکی از سازه در طراحی عرضه می‌شود. به طور مثال، در طراحی یک ساختمان بلند، ممکن است معیارهای باربری سازه بر روی سیستم‌های مقاوم در برابر نیروهای جانبی (قاب‌های مهاربندی‌شده یا هستهٔ بتنی)، ابعاد و موقعیت عناصر سازه، و توانایی ساده‌سازی طراحی با استفاده از تقارن و الگوها متمرکز شود. از سوی دیگر، در معیارهای عملکردی سازه تعداد وسیعی از عوامل مربوط به زیبایی‌شناسی ساختمان از قبیل ارزش دید، پوشش (به طور مثال نمای شیشه‌ای)، مشارکت محوطه‌سازی (طبقات سبز)، ظاهر متقارن و الگوها در نظر گرفته می‌شود. محتوای نوشته‌های بسیاری از محققان در این حوزه دارای توصیف کاربردی است، ولی دنیل اسکودک در این حوزه تعریفی جزئی‌نگر ارائه می‌دهد. به نظر او

> سازه یک وجود فیزیکی با سرشتی واحد است که می‌تواند به مثابهٔ یک سازمان‌دهی از عناصر تشکیل‌دهنده و مستقر در فضا تصور شود، و در آن ویژگی کلیّت (مجموع) بر روابط اجزا غالب است[۲۹].

در تحلیل این تعریف، برخی نکات اساسی را می‌توان استخراج کرد: اول، سازه در زمینهٔ معماری درواقع یک عنصر فیزیکی و ملموس است، و یک سازمان‌دهی انتزاعی نیست؛ دوم، سازه نیروهای وارده را تحت کنترل می‌گیرد و به آن‌ها بر طبق خصوصیات ترکیب هندسی پاسخ می‌دهد؛ و سوم، عملکرد سازه در یک کلیت واحد است، و همهٔ اجزای آن، از جمله تیرها، ستون‌ها، مهارهای کششی، و هر قسمت از عناصر تشکیل‌دهندهٔ دیگر آن با هم کار می‌کنند و رفتار فیزیکی یکدیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در رویکردی مشابه، ایلکویچ نیز جایگاه سازه در معماری را در جنبه‌های مختلفی بیان می‌کند[۳۰]:

ـ بخشی از معماری: شناخت الگوها و اصول فنّی ایجاد ساخت، بیان ارزش زیبایی‌شناسی، ایجاد مفاهیم ساختمانی

ـ ابزار تفسیر معماری: شناخت عملکرد فضا، تکتونیک، مصالح و فناوری، روش ایجاد طرح

ـ معنایی و نشانه‌شناسی در معماری: بیان ابزارها و جزئیات ساخت‌وساز، نمادگرایی ساخت، روش شناسایی جزئیات

این ایده‌های چندگانه از سازه، که با عناوین مختلفی بیان می‌شود، ملاحظهٔ جدیدی نیست. گوتفرید زمپر بر جنبه‌های نمادین و فنّی ساختمان تأکید داشت که از سوی فرامپتون با عنوان جنبه‌های هستی‌شناسی و بازنمود جنبه‌های تکتونیک فرم بیان می‌شد. واژهٔ تکتونیک حوزهٔ وسیع‌تری از باربری سازه در عناصر معماری را شامل می‌شود.[۳۱] نه‌تنها برای درک فرم‌های سازه در معماری، بلکه برای نقد آگاهانه و روشن از یک سازه خاص، سازه شامل اهداف متعدّدی است. اگر عناصر باربر یک جسم فیزیکی به منزلهٔ عنصر محصورکنندهٔ فضا نیز در نظر گرفته شوند، قطعاً بیش از یک خط استدلال برای توضیح فرم آن وجود دارد. بنا بر این یک عملکرد دوگانه را برای شناخت سازه در معماری باید در نظر داشت:

۱) «هدف مکانیکی» که مهیاکنندهٔ سختی و استحکام سازه برای انتقال بار به تکیه‌گاه‌ها و قوانین مربوط به ساخت‌وساز آن‌ها است، و

۲) ابزاری برای خلق «فضای معماری» که تجسم کیفیّات خاص معماری است[۳۲].

۳. ۱. شناخت مکانیکی سازه

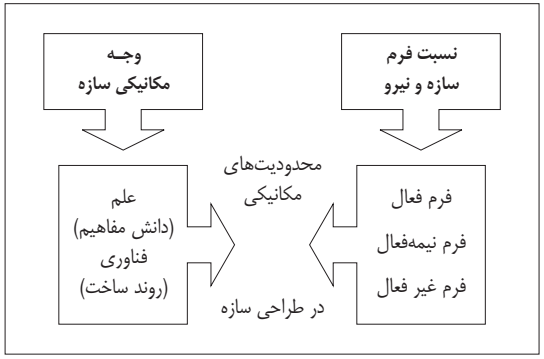
بین فرم و توزیع نیرو ارتباطی منطقی وجود دارد و فرایند دستیابی به یک فرم مطلوب می‌تواند از شکل‌گیری سازهٔ نامناسب با تغییر شکل‌های زیاد و تخریب احتمالی جلوگیری کند.[۳۳] به طور

28. A.J. Macdonald, *Structure and Architecture*, p. 1.
29. D.L. Schodek, *Structures*, pp. 2-3.
30. J. Ilkovic, "To Think in Architecture, to Feel in Structure: Teaching Structural Design in the Faculty of Architecture", p. 61.
31. K. Frampton, *Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*, pp. 16-19.
32. B.N. Sandaker, "An Ontology of Structured Space", pp. 5-11.
33. Lewis, ibid, p. 180.

Archive of SID
www.SID.ir

مثال، زمانی‌که باربر بودن دیوار هدف باشد، به فرم، تناسبات، ضخامت، تعداد، و ابعاد بازشوها و اتصال آن به دیگر اجزای سازه توجه می‌شود. در بیان مکانیکی سازه، مک‌دونالد در یک طبقه‌بندی خاص، فرم‌های سازه را بر اساس نوع ساختار هندسی مرتبط با نیروهای وارده به سه دستهٔ فرم‌های فعال، نیمه فعال و غیرفعال تقسیم می‌کند[۳۴]. فرم غیر فعال سازه‌هایی مانند تیرها و دال‌ها هستند که در اثر بارهای وارده تنها و یا به طور عمده تحت تنش خمشی قرار می‌گیرند. فرم فعال اشاره به یک عنصر سازه‌ای، مانند سازه‌های غشایی و کابلی و همچنین قوس با هندسهٔ منحنی طنابی دارد که در آن شکل محور طولی مطابق با الگوی بار اعمال‌شده ایجاد می‌شود، به گونه‌ای که نیروهای داخلی، به طور عمده، از نوع نیروهای محوری (کشش و فشار) هستند. سازه‌های با فرم فعال هندسه و فرم پیچیده‌تری نسبت به دو نوع دیگر دارند، و فرم‌های معماری متمایزی ایجاد می‌کنند. فرم نیمه‌فعال نیز اشاره به سازه‌هایی مانند قاب‌های دروازه‌ای دارد، که در اثر بارهای وارده، تحت تنش‌های مرکب خمشی و محوری مقاومت می‌کنند.

در شکل‌گیری این فرم‌ها شاخص‌های استحکام، سختی، و پایداری بسیار مهم هستند. به طور مثال، یک مسئلهٔ اساسی در فرم سازه این است که سیستم‌های پایدار قابلیت بازگشت از تغییرشکل ناشی از بار وارده به حالت اولیه را دارند؛ ولی



ت ۳. رابطهٔ فرم با وجه مکانیکی در طراحی سازه‌های معماری، تهیه: نگارندگان.

سیستم‌های ناپایدار به سوی شرایط جدیدی پیش می‌روند.[۳۵] همچنین برای در نظر گرفتن ویژگی تکیه‌گاهی عنصر نیاز به شناخت ویژگی‌های حقیقی مصالح، استحکام، و رفتار عمومی آن در زیر بار وارده است. این ویژگی از سازه نیاز به شناخت قواعد و رفتارهای سازه‌ای دارد. انگل و لویتن از این ویژگی مکانیکی سازه به «علم» سازه تعبیر می‌کنند[۳۶].

از سوی دیگر، فرم خاص سازه به نحوی می‌تواند نشان‌دهندهٔ فرایند ساخت‌وساز و پردازش مصالح اولیه باشد. این گوناگونی را می‌توان در بسیاری از مراحل از جمله سرهم‌بندی قطعات، ارتباط و تعامل هر عنصر با کل سازه، خواص مصالح، و روش ساخت مشاهده کرد. یک روش ساخت می‌تواند داستان ایدهٔ تجسم‌یافته در طراحی فرم سازه را روایت کند. همچنین شناخت سازه از طریق روش ساخت می‌تواند هدف معماری را نیز روشن کند[۳۷]. بیل آدیس بیان می‌کند که شکل قطعات، نحوهٔ شکل‌گیری، و اتصال آن به قطعات دیگر بیانگر نحوهٔ تولید آن است[۳۸] که، با توجه به فرم‌های سازه‌ای متنوع، به گونه‌های مختلفی انجام می‌گیرد. بنا بر این ترکیب مواد خام (با عنوان مصالح)، روش تولید و ساخت‌وساز می‌توانند بر کیفیات تصمیم‌گیری فرم سازه مؤثر باشند. در برخی متون از این ویژگی با عنوان جنبهٔ «فناوری» سازه یاد شده است[۳۹].

بنا بر این در مبحث مکانیکی سازه، دو وجه اساسی بر طراحی و تولید فرم تأثیرگذار است: «علم و فناوری» (ت ۳). علی‌رغم اساسی بودن این موارد، به نظر می‌رسد نباید به آن‌ها بیش از اندازهٔ مورد نیاز در مراحل (اولیه) طراحی پرداخت؛ بلکه باید نشان‌دهندهٔ چگونگی تأثیر مسائل مکانیکی بر فرم سازه‌های معماری باشند.[۴۰]

۳. ۲. شناخت فضایی سازه

در معماری هدف سازه به طور عمده تنها عملکرد باربری آن نیست؛ بلکه ایجاد یک فضای معماری به صورت فیزیکی نیز

34. Macdonald, *Structural Design for Architecture*, p. 10.
35. Macdonald, *Structure and Architecture*, p. 10.
36. H. Engel, *Tragsysteme, Structure Systems*, p. 19; Luyten, ibid, p. 125.
37. B. Fireman, *Between the Intangible and the Tangible*, pp. 10-16.
38. Addis, *The Art of the Structural Engineer*, pp. 83-89.
۳۹. نک:
S. Emmitt, *Architectural Technology Research and Practice*; K.S. Moon, *Dynamic Interrelationship Between Technology and Architecture in Tall Buildings*.
40. Sandaker, ibid, pp. 7-19.

Archive of SID

www.SID.ir

هست.[۴۱] به این ترتیب شکل یا فرم سازه‌ها باید در اغلب موارد به‌شدت تحت تأثیر عملکردهای فضایی آن‌ها باشد، بنا بر این در شناخت و فهم سازه‌ها باید آن را در نظر داشت. عملکردها می‌توانند با عنوان مفاهیم یا تفسیر سازه‌هایی مؤثر بر تجربهٔ زیبایی‌شناسی استفاده شوند. در خصوص معماری، انگل وظیفهٔ اساسی سازه را ضرورتی برای تولید فرم و فضا می‌داند[۴۲]. در مورد رابطهٔ فرم سازه با عملکرد فضایی آن می‌توان به دسته‌بندی‌های مطرح‌شده از سوی دو نظریه‌پرداز معروف، مک‌دونالد و چارلسون، اشاره داشت. چارلسون در اثر خود با عنوان *سازه به مثابهٔ معماری* روابطی میان فرم معماری و فرم سازه عرضه می‌کند.

> از موقعیتی دور نسبت به ساختمان، این فرم و حجم است که به لحاظ بصری بر تصوّر ما از بنا حاکم می‌شود نه جزئیات آن، و همین شکل خارجی و توده بنا است که ما را دعوت به مکاشفه و بررسی رابطهٔ بین فرم معماری و سازه می‌کند[۴۳].

او تنوع ارتباط بین فرم معماری و فرم سازه را در سه ویژگی «تلفیق، هماهنگی و تضاد» به تصویر می‌کشد و به پاسخ‌گو بودن سازه به فرم معماری و ارضاکنندهٔ برنامهٔ طرح اشاره دارد.[۴۴] مک‌دونالد نیز معتقد است که در موضوع روابط بین فرم معماری و فرم سازه، عملکرد فضایی به طور عمده مورد نقد است. بر این اساس او در دو کتاب خود، با عناوین *طراحی سازه برای معماران* و *سازه و معماری* نسبت‌هایی را میان طراحی فرم معماری و فرم سازه بیان می‌کند، و آن‌ها را در چهار گروه کلی «چشم‌پوشی از سازه، پذیرش سازه، نمادگرایی سازه، و تعالی سازه» قرار می‌دهد[۴۵].

در حالت «چشم‌پوشی از سازه»، طراحی ساختمان بدون توجه به منطق سازه‌ای آن (حداقل در مراحل اولیهٔ فرایند طراحی) صورت می‌گیرد. این ساختمان‌ها می‌توانند با بهره‌گیری از مصالح فولادی یا بتن‌مسلح با ویژگی مطلوب استحکام و مقاومت برای ایجاد فرم معماری ساخته شوند. البته در این حالت مقیاس سازه و مسائل اقتصادی عوامل محدودکننده هستند. بسیاری از کارهای فرانک گهری از این نوع سازه‌ها هستند. در نمونه‌ای دیگر، اصطلاح «پذیرش سازه» برای بیان رابطه‌ای میان معماری و سازه عرضه می‌شود، که در آن الزامات سازه می‌توانند به طور عمده در ایجاد فرم ساختمانی مؤثر باشند، گرچه سازه ذاتاً در معرض نمایش قرار نگیرد. در این نوع رابطه، پیکره‌بندی اجزای سازه در هماهنگی با فرم معماری است. درواقع در این حالت فرم نهایی معماری بیانی از رفتار مصالح سازه‌ای تشکیل‌دهندهٔ آن است. سازه یک عنصر بصری قابل توجه با عنوان فرم معماری را تشکیل نمی‌دهد؛ بلکه عناصر سازه در اکثر اوقات در ترکیب یکپارچه با پوشش‌ها و نازک‌کاری‌های معماری پنهان می‌شوند، با این حال در ایجاد فرم نهایی ساختمان تأثیر عمده دارند (مانند سازه‌های گنبدی در معماری سنتی). در حالت سوم، ساختمان‌هایی برررسی می‌شوند که فقط از سازه تشکیل می‌شوند و در آن‌ها «نمادگرایی سازه» شاخص است. در این نوع ساختمان‌ها، عمدتاً، سازه نقش ارتقادهندهٔ معماری را می‌تواند داشته باشد و اکثر مواقع سازه به منزلهٔ نمادی به صورت آشکار و خالص طراحی می‌گردد. این نوع سازه‌ها معمولاً با گونه‌های خاص فناوری ساخت پیشرفته و پیچیده استفاده می‌شوند. ساختمان‌های سبک «های‌ـ تک» را می‌توان در این گروه قرار داد. در نمونهٔ آخر، در ساختمان‌هایی با ویژگی «تعالی سازه» در خصوص سازه و معماری، طراحی سازه در بالاترین اولویت و به طور کامل تعیین می‌شود و فرم کلی ساختمان بر این اساس شکل می‌گیرد. ساختمان‌های با محدودیت‌های خاص، مانند سازه‌های با دهانهٔ طویل و یا سازه‌های بلندمرتبه، قابلیت پاسخ‌گویی به این شرایط را دارند[۴۶].

از این رو، عواملی فراتر از ملاحظات مکانیکی و تحلیل سازه در تنوّع نسبت‌های میان فرم معماری و فرم سازه اثرگذار است. چارلسون در کاووش پیرامون امکان بالقوهٔ سازه در ارتقای فرم معماری، چهار عامل فضایی را بیان می‌کند[۴۷]:

۱) عملکرد یا کارکردگرایی (انعطاف‌پذیری، تقسیم‌بندی، و مفصل‌بندی فضای معماری توسط سازه)،

۴۱. نک:
Luyten, ibid.
42. Engel, ibid, p. 19.
43. A.W. Charleson, *Structure as Architecture*, p. 20.
44. Ibid.
45. Macdonald, *Structural Design for Architecture*, p. 25.
۴۶. محمودی، همان، ص ۸۲–۹۳؛ Macdonald, ibid, pp. 26-33.
۴۷. نک:
Charleson, *Structure as Architecture*.

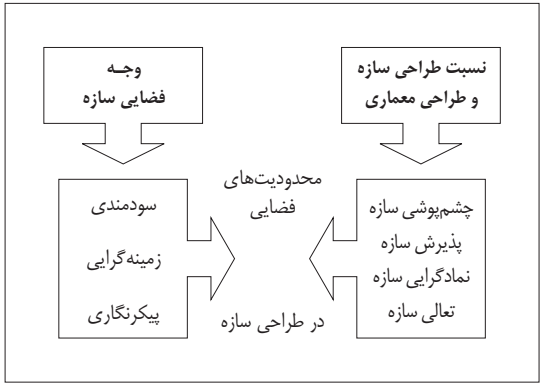
Archive of SID
www.SID.ir

۲) کیفیّت‌بخشی فضای معماری توسط جزئیات سازه،
۳) سازه به مثابهٔ منبع، تعدیل‌کننده، و فیلترکنندهٔ نور، و
۴) تندیس‌گرایی و نمادگرایی به منزلهٔ جلوهٔ مصادیق و ایده‌های مفهومی. به یُمن این خصوصیات ترکیب‌ساز و فضاساز، سازه جذابیّت بصری و شخصیت را برای ساختمان به ارمغان می‌آورد[۴۸].

ساندآکر در تحلیلی جامع‌تر، با بررسی نسبت فضا و دهانه، سه حالت را برای عملکرد فضایی سازه قائل می‌شود.[۴۹] او معتقد است که اعتبار فضایی سازه ابزاری برای خلق فضای معماری برای تجسم کیفیات خاص است که شامل سودمندی (به طور مثال دیوارهای باربر در نقش ایجادکنندهٔ فضا)، زمینه‌گرایی (به طور مثال ارتباط فرم سازه با زمینهٔ معماری و فضا) و ویژگی‌های پیکره‌نگاری (به طور مثال توانایی فرم سازه در نمایش یک شیء) است[۵۰]، که هم‌زمان با بُعد مکانیکی بر شکل‌گیری فرم سازه تأثیرگذار است (ت ۴). مطلوبیت کیفیات سازه باید به دنبال اهداف معماری باشد. برای متعادل کردن این نسبت در فرایند طراحی، فرم سازه باید معماری را از جهت فضا و بیان تقویت کند.

۴. نسبت‌های میان وجوه سازه در فرایند طراحی

زمانی سازه یک جزء بصری دانسته می‌شود که ایدهٔ فضایی را به



ت ۴. رابطهٔ فرم با وجه فضایی در طراحی سازه‌های معماری، تهیه: نگارندگان.

واقعیت تبدیل کند و با عملکرد فنّی به مثابهٔ کار هنری شناخته شود. در این رویکرد، جورج اسلیچ موضوع «صداقت در سازه» به مفهوم انتقال بار را با حداکثر نیروی محوری برای محصور کردن فضا مطرح می‌کند.[۵۱] سانتیاگو کالاتراوا نیز در مبحث زیبایی‌شناختی، سازه را از هر دو جنبهٔ بیان مهندسی و بیان معماری خلق می‌کند. او اظهار می‌کند:

> اعمال خاصی از زیبایی‌شناسی وجود دارد که باید در نظر گرفته شود، و احساس می‌کنم که نسبت فناوری و زیبایی‌شناختی توجه خاصی را می‌طلبد.[۵۲]

حساسیت و بینش معمار از این نسبت‌های میان وجوه مختلف سازه می‌تواند معین‌کنندهٔ محدودیت‌ها و حدود طراحی سازه در معماری باشد[۵۳].

به طور نمونه، برای مقایسهٔ عملکرد مکانیکی و سودمندی فضایی سازه می‌توان به سازهٔ ساختمان «سندای میدیاتک» ژاپن اشاره داشت (ت ۵ـ راست). ستون‌ها قابلیت عملکردهای مختلف در فضا و همچنین ارتباط عمودی در ساختمان را دارند. تویو ایتو از سازهٔ تیر و ستون ساختمان به طور مؤثر برای ایجاد نور طبیعی در ساختمان بهره برده است. برنامهٔ طرح ساختمان خواستار یک مجتمع است که گالری هنری، کتابخانه، و مرکز صوتی و تصویری را ترکیب می‌کند. تیوب‌های عظیم الجثهٔ فلزی متشکل از ستون‌ها با پهنای مقاطع مختلف به مثابهٔ نگهدارنده‌های عمودی سازهٔ دال کف به کار رفته‌اند. این تیوب‌ها به شکل هندسهٔ هایپار هستند و امکان دسترسی طبقات، داکت‌های توزیع هوا، تأسیسات و نیز نور طبیعی را فراهم می‌کنند [۵۴]. در واقع، فرم سازه بر اساس عملکردهای مختلف سازه‌ای و فضایی شکل گرفته است. این تجزیه‌وتحلیل بیانگر آن است که اگر سازهٔ ستون مذکور را تنها یک عملکرد باربری در نظر بگیریم، در مقایسه با زمانی که جنبه‌های فضایی نیز در تفسیر آن شامل شود، تجربهٔ متفاوتی خواهیم داشت[۵۵]. این تفسیر منجر به تجربهٔ یکپارچه و منسجم بین نحوهٔ مشاهده

48. Ibid, p. 208.
49. Luyten, ibid, p. 28.
50. Sandaker, ibid, p. 11.
51. A. Holgate, *The Art of Structural Engineering: the Work of Jörg Schlaich and his Team*, p. 13.
52. C.J. Thoume, "A Critical Analysis of Santiago Calatrava's Bachde Roda Bridge, Barcelona", p. 2.
53. L.L. Beghini & partners, "Connecting Architecture and Engineering through Structural Topology Optimization", p. 716.
54. S. Khatri, *A Sustainable Public Space with a Realm of Human Experiences*, p. 23.
55. Sandaker, ibid, p. 144.

Archive of SID
www.SID.ir

با نحوهٔ شناخت از سازهٔ مورد نظر است. به بیان دیگر، اگر عملکرد مکانیکی را معیار واحد انتخاب کنیم، تجربهٔ ما از فرم غیر قطعی و نافهم خواهد بود.

یکی دیگر از وجوه طراحی ارتباط وجه مکانیکی سازه با زمینهٔ طراحی آن است. به طور مثال، در غرفهٔ متعلق به شرکت BMW (ت ۵ـ وسط)، برای طراحی یک ساختمان بزرگ برای تبلیغ، تلاش شد تا ارزش‌ها و چشم‌اندازهای این شرکت به صورت سازه‌های سه‌بعدی به نمایش گذاشته شود. طراح ساختمان تلاش می‌کند تا حرکت فضای درونی و تجربهٔ ما از امواج صوتی اتومبیل را به شکل هندسی تجسم کند[۵۶]. سؤال اساسی این است که آیا این نتیجهٔ هندسی می‌تواند به‌آسانی با الزامات عملکردی و ساختاری مقابله کند؟ سقف یک هندسهٔ جالب موجی با ساختار پوسته‌ای دارد. داشتن دندانه‌های ناهموار در امتداد طول ساختمان بیانگر ایدهٔ معماری و تقویت تجربهٔ حرکت در فضا خواهد بود. به نظر می‌رسد که، این سازه بخشی از یک زمینهٔ بصری همانند فضای معماری است. سازهٔ قاب ویرندیلِ نامنظم با پوشش فایبرگلاس با نرم‌افزارهای رایانه‌ای برش داده شده است. طراحی سازهٔ پیچیده برای تبعیّت از فرم نامنظم خاص ساختمان، فناوری تولید آن را پیچیده می‌کند. قاب‌های ویرندیل به طور واقعی کارایی ندارند؛ زیرا بارهای وارده را بیشتر توسط تنش خمشی تحمل می‌کنند تا تنش‌های محوری (فرم غیر فعال). با بررسی روش طراحی این فرم معماری، که از یک فرم آزاد مستخرج از نقشه‌های رایانه‌ای به دست آمده است، نتیجه می‌شود که فقط فرایند فرم‌یابی مکانیکی اطلاعاتی کافی را از چگونگی ایجاد یک سازهٔ کارآمد فراهم نمی‌کند[۵۷]. روش طراحی به طور کامل به مفهوم یا ایده وابسته است، که غیر مرتبط با عملکرد باربری سازه است. اگر تصور اولیهٔ ما از سازه این باشد که تنها برای عملکرد باربری طراحی شده است، غیر ممکن است که ویژگی های ظاهری و غیر معمولی این قاب‌ها را درک کنیم. به بیان دیگر، نمی‌توان تصمیمات طراحی سازه را فقط از این دیدگاه درک کنیم؛ زیرا، با توجه به ماهیت خمشی بودن قاب‌های ویرندیل[۵۸]، این فرم با یک هندسهٔ منطقی کارآمد برای انتقال نیروها مطابقت ندارد.

سومین عملکرد فضایی سازه پیکره‌نگاری است که شباهت عمدی یک فرم ساختاری به یک شیء یا پدیدهٔ دیگر را گویند. بدون توجه به پیکره‌نگاری عملکرد سازه نامفهوم است. از نظر نشانه‌شناختی، می‌توان همهٔ جنبه‌های فرم ساختاری را نشانه‌هایی از نوعی عملکرد تلقی کرد. یک مثال می‌تواند کاهش تدریجی عمق تیر طره‌ای به سمت انتهای بیرونی آن باشد، که ممکن است به منزلهٔ یک علامت یا یک شاخص از یک وضعیت خاصی از تنش (تنش خمشی) باشد[۵۹]. در چنین مواردی ممکن است از سازه به مثابهٔ «نماد» صحبت شود. اسکروتن معتقد است که تقلید یا کپی‌کردن با نماد متفاوت است، ولی تقلید دانش از آن چیزی که بخشی اساسی از درک واقعی معماری باشد، می‌تواند به نماد تبدیل شود[۶۰]. به طور نمونه، ورود به ساختمان ترمینال فرودگاه اشتوتگارت (ت ۵ـ چپ) مانند ورود به جنگلی از درختان مصنوعی است. ستون‌های فولادی طراحی‌شده توسط معماران فون گرکان و مارگ در حالت پیش‌رونده تا به سقف می‌رسد.[۶۱] با استقرار سازه‌های درختی، سقف یک شبکهٔ فولادی شیب‌دار شامل تیرها است که به سمت خارج حرکت می‌کند و ارتفاع‌های سقف را برای تعدادی از شعاع‌های مختلف در سالن ایجاد می‌کند. با این حال، به‌ندرت، نمونه‌هایی دیده می‌شود که در آن‌ها طبیعت مدل‌هایی را بنمایاند که نیازهای عملکردی آن‌ها مشابه سازه‌های واقعی باشد. به طور مثال، انعطاف‌پذیری درختان اجازه می‌دهد تا در برابر باد نوسان کنند و فقدان سختی در آنْ یک نقص محسوب نمی‌شود. با این حال، برای سازه‌های معماری، ویژگی سختی در اکثر موارد بسیار مهم است؛ زیرا انحرافات بیش از حد به مصالح و عناصر ثانویه آسیب می‌رساند و سبب محدود شدن استفاده از آن‌ها می‌شود. همچنین سازهٔ درخت طبیعی بارهای غیر از

56. Y.T. Liu & C.K. Lim, "New Tectonics: A Preliminary Framework Involving Classic and Digital Thinking", p. 280.
57. Sandaker, ibid, p. 163.
۵۸. نک:
M. Millais, *Building Structures: From Concepts to Design*.
59. Charleson, ibid, p. 146.
60. R. Scruton, *The Aesthetics of Architecture*, p. 183.
61. F. Ahmeti, *Efficiency of Lightweight Structural Forms: The Case of Treelike Structures - A Comparative Structural Analysis*, p. 28.

Archive of SID

www.SID.ir

خود را تحمل نمی‌کند و هدف استفاده از آن قرار دادن برگ‌ها برای دریافت نور خورشید است. از این رو شاخه‌های بالای آن می‌توانند بسیار نازک باشند و به‌راحتی نوسان کنند، ولی در سازه‌های درختی در معماری، معمولاً بارهای سقف سنگین بر روی ستون‌ها یا سطوح فوقانی تأثیر می‌گذارند. الزامات درختان طبیعی و سازه‌های درختی به این دلایل بسیار متفاوت هستند و انتظار نمی‌رود که همان کارآیی مکانیکی را به دست آوریم[۶۲]. آن‌ها قطعاً نیازهای مکانیکی سازه را برآورده می‌کنند، اما همچنین باید کارایی عناصر کیفیت‌بخش به فضا را داشته باشند.

۵. یافته‌های تحقیق: حدود سازه در فرایند طراحی معماری

گیلبر هربرت فرایند طراحی سازه را در محدوده‌ای از خلق فرم سازه تا راه‌حل‌های محاسباتی در حوزهٔ معماری و طراحی ساختمان بیان می‌کند.[۶۳] ایدئولوژی‌های طراحی مکانیکی سازه اغلب آسان‌تر از ایدئولوژی‌های مبتنی بر بیان فضایی برای شناسایی و قاعده‌مندکردن آن است، ولی هر دو آن‌ها مهم هستند.[۶۴] در مشارکت‌های وجوه مختلف سازه، یک دیدگاه این است که وجوه عملکردی با زبان انتزاعی و وجوه مکانیکی با زبان ملموس‌تر عرضه می‌شوند. از دیدگاه دیگر، وجوه عملکردی توسط فضا و مصالح به طور مستقیم در ساختمان تجربه می‌شوند، و وجوه مکانیکی، ازجمله تنش‌ها، قابل رؤیت و تجربه نیستند.[۶۵] در هر حال، هنگامی‌که مفاهیم انتزاعی سازه اغلب برای توصیف یک مفهوم توسط معمار یا تحلیل ریاضی توسط یک مهندس تجسم می‌یابد، فرصت‌های جالبی در طراحی فرم پدید می‌آید.

در یک نگاه کلی، فرایند طراحی سازه به دو گام اصلی تقسیم می‌شود: ابتدا، یک مرحلهٔ طراحی اولیه که در آن فرم و نظم کلی سازه تدبیر می‌شود، و سپس در مرحله دوم، محاسبات سازه و تعیین ابعاد عناصر مختلف ساخت انجام می‌شود.[۶۶] فرایند طراحی سازه مراحل دوگانهٔ مشابهی دارد: مرحله اول، طراحی مقدماتی برای آفرینش کلی طراحی سازه که از آن با عنوان مرحلهٔ «طراحی» نام برده می‌شود، و عمدتاً در حوزهٔ وظایف معمار تعریف می‌شود، و مرحلهٔ دوم، تعیین اندازه‌های دقیق سازه‌ای و اتصالات با عنوان مرحلهٔ «تحلیل» که در حوزهٔ وظایف مهندس قرار می‌گیرد.[۶۷] تحلیل همان طراحی نیست. طراحی به طور معمول به ایجاد یک فرم کلی مناسب برای سازه مربوط می‌شود، نه به شناسایی نسبت اجزای منفرد.[۶۸] در

ت ۵.
راست: ساختمان سندای میدیاتک ژاپن، مأخذ: Khatri, *A Sustainable Public Space with a Realm of Human Experiences*, p. 23؛
وسط: ساختمان غرفه BMW (مأخذ: Liu & Lim. "New Tectonics: A Preliminary Framework Involving Classic and Digital Thinking", p. 280)؛
چپ: ساختمان ترمینال فرودگاه اشتوتگارت (مأخذ: Ahmeti, *Efficiency of Lightweight Structural Forms: The Case of Treelike Structures - A Comparative Structural Analysis*, p. 28).

Archive of SID

www.SID.ir

رویکردی دیگر، آدیس در طراحی سازه بین مراحل ابتدایی و مراحل انتهایی آن تمایز قائل می‌شود. او مراحل ابتدایی را مرحلهٔ واگرا و مراحل انتهایی را مرحلهٔ همگرا توصیف می‌کند.[۶۹] تولید واگرا تدوین انگاره‌های متعدد از یک مشاهده یا جمله است و با ابداع انگاره‌های گوناگون و یا راه حل‌های بالقوّه سروکار دارد. در مقابل، تولید همگرا یک عمل استنتاج یا ساخت انگاره از اجزائی کثیر است.[۷۰] به بیان دیگر، عمدتاً مراحل ابتدایی فرایند طراحی پیرامون تفکر گسترش دادن و گسترده شدن و مراحل پایانی شامل تفکر تمرکز و دقیق شدن است.

همچنین از دیدگاه «مسئله‌محور» فرایند طراحی لاوسون، که در آن در نظر گرفتن مسئله و راه حل به صورت هم‌زمان پیشنهاد می‌شود، فرایند طراحی را می‌توان به مراحل دریافت اولیه (شناسایی هست و نیست مسئله)، تدارک یا آمادگی (تلاش آگاهانه در حل مسئله)، نهفتگی (تلاش غیر آگاهانه در جستجوی راه حل‌ها)، روشنگری (بینش طراح نسبت به راه حل‌های مسئله) و نفی و اثبات (آزمایش و توسعهٔ ایده) تقسیم کرد. این مراحل لزوماً به صورت خطی نیستند و می‌توانند دارای ماهیت رفت‌وبرگشتی باشند.[۷۱] با این نگاه به مسئلهٔ طراحی، فرایند طراحی بیان سلسله‌مراتبی فعالیت‌هایی است که به تبیین مسئله و تولید پاسخ موضوع طراحی می‌انجامد.[۷۲] بیشترین نطفهٔ «طراحی» سازه در مراحل نخست از سوی معمار بسته می‌شود، و «تحلیل» مکانیکی سازه در مرحلهٔ «نفی و اثبات»، به طور عمده از سوی مهندس خواهد بود.

از سوی دیگر، «هدف» اولیه برای ایجاد سازه «دلیل» عملکردی است که بر اساس آن شکل می‌گیرد. با به‌کارگیری این هدف، «نتیجه» منطقی باید جابه‌جایی بارها از نقطهٔ وارده به سمت زمین باشد، بنا بر این سازه‌ها باربر هستند. این نظمی طبیعی از ارتباط بین «چرایی» و «چگونگی» یا «دلیل» و «نتیجه» است: هدف عملکردی مقدم است، و ضرورت فیزیکی به دنبال آن می‌آید.[۷۳] بنا بر این طراحی سازه، به گونه‌ای که از ریزش ساختمان جلوگیری کند حداقل انتظار از سازه است. بیان یک تعریف از مفهوم سازه صرفاً با بیان مکانیکی نمی‌تواند دقیقاً پاسخ‌گوی این سؤال باشد که چه عنصری در هر سازه با هدف عملکردی انتقال بارها به سمت زمین به کار برده شود. هر سازه برای هدف مشخصی ساخته می‌شود. معمولاً در معماری، این هدف در ابتدای طراحی بر اساس ملاحظات مکانیکی صورت نمی‌گیرد؛ بلکه فقط یک نتیجهٔ لازم است. هدف اصلی سازه دستیابی به فضاهای معماری به صورت فیزیکی است.

از یک دیدگاه خاص، فرایند طراحی به طور معمول به چهار مرحله تقسیم می‌شود: طراحی مفهومی، طراحی اولیه (طرح‌واره)، توسعهٔ طراحی، و اسناد ساخت.[۷۴] امروزه تصمیمات مهم مربوط به هندسه، توده، و فرم کلی ساختمان در مرحلهٔ طراحی مفهومی گرفته می‌شود. این مرحله به طور معمول توسط تیم معماری به تنهایی، قبل از مشارکت قوی مشاوران مهندسی، انجام می‌شود. پس از آن‌که پروژه شکل گرفت، مهندسین سازه و سایر مشاوران کار خود را آغاز می‌کنند. این بدان معنا است که در عمل، استانداردهای مکانیکی سازه اغلب به اهداف (فضایی) معماری پایبند هستند. درنتیجه در مراحل ابتدایی فرایند طراحی سازه نیازی به بررسی دقیق بسیاری از مفاهیم علمی و فناوری سازه نیست. درواقع، توجه بیش از حد به این جزئیات، به سبب صرف زمان برای ایجاد یا انتقال دیاگرام‌های متنوع و همچنین لزوم بار اطلاعاتی بسیار زیاد، فرایند طراحی را مختل خواهد کرد.

اولین گام در فرایند طراحی سازه تعیین فرم کلی آن است و تدقیق شاخص‌ها و بررسی‌های جزئی غالباً در مرحلهٔ ارزیابی (نفی و اثبات) انجام می‌گیرد. در مرحلهٔ طراحی اولیه و مفهومی، طراحی سازه اغلب توسط وجوه فضایی محدود می‌شود. وجوه فضایی معمار را برای جستجوی راه حل‌های سازه‌ای و و تولید ایده‌های نوآورانه راهنمایی می‌کنند و به طور عمده به شناخت دلایل (چرایی) طراحی فرم نهایی مرتبط هستند. از سوی دیگر،

62. Sandaker, ibid, p. 173-174.
63. G. Herbert & M. Donchin. *The Collaborators: Interactions in the Architectural Design Process*, p. 13-14.
64. Sandaker, ibid, p. 11.
65. Beghini & partners, ibid, p. 725.
66. Macdonald, ibid, p. 22.
۶۷. محمودی، همان، ص ۱۱–۱۲.
68. Larsen & Tyas, ibid, p. 44.
69. Addis, ibid, p. 9.
۷۰. جان لنگ، *آفرینش نظریهٔ معماری*، ص ۶۴–۶۸.
71. B. Lawson, *How Designers Think: the Design Process Demystified*, p. 149.
۷۲. مهدوی‌نژاد و وفائیان، همان، ص ۶۳.
73. E. Torroja, *Philosophy of Structures*, p. 3.
74. W. Hsu & B. Liu, "Conceptual Design: Issues and Challenges", p. 849.

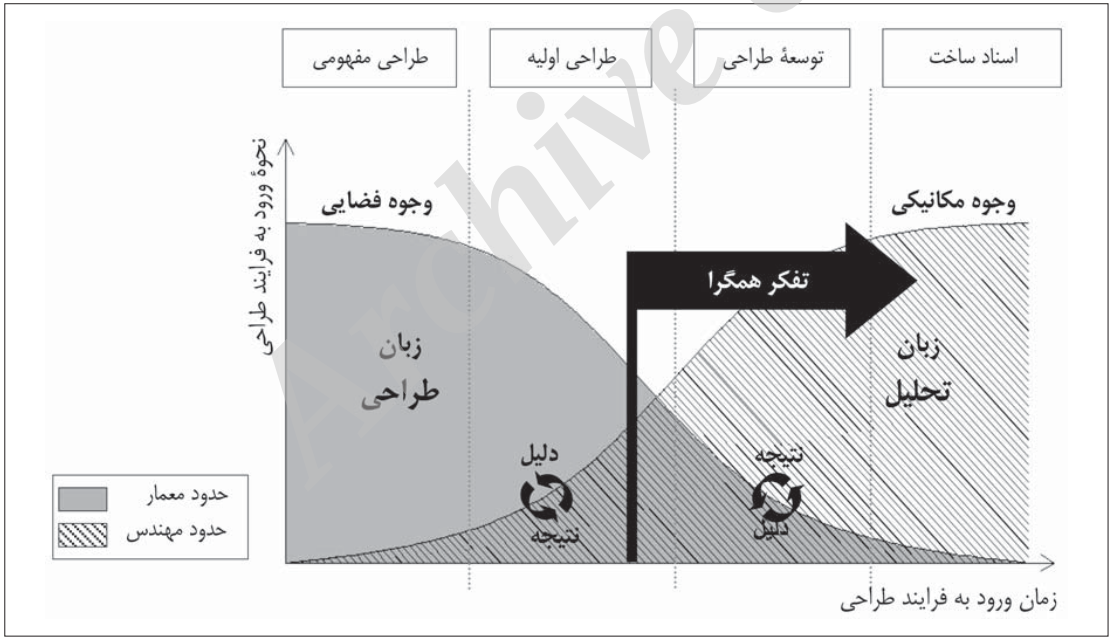
Archive of SID
www.SID.ir

وجوه مکانیکی سازه، به طور خاص، به نتیجهٔ (چگونگی) تشکیل فرم نهایی در فرایند طراحی محدود می‌شوند. این محدودیت‌ها راه حل‌های عملی ایجاد وجه فضایی که هدف اصلی سازه هستند را جستجو می‌کند (ت ۶). بر این اساس نمی‌توان ادعا کرد که بدون در نظر گرفتن اندیشه‌ای از اهداف فضایی سازه، می‌توان فرم‌های سازه‌های معماری را به طور کامل درک و طراحی کرد.

۶. نتیجه‌گیری

از زمان انقلاب صنعتی با پیشرفت وسیع در زمینهٔ علوم و مصالح، جدایی واضحی بین دو حرفهٔ معماری و مهندسی بیشتر شد: معمار مسئول مسائل زیبایی‌شناختی و عملکردی شد، در حالی که مهندس بیشتر با مسائل فنی مواجه بود. این عامل کیفیات متنوع سازه و معماری را با مشکل مواجه کرد. در طراحی فرم سازه، تنها با بیان مکانیکی و زبان تحلیل نمی‌توان کیفیت حقیقی را به دست آورد و نمی‌توان غرض زیبایی‌شناختی سازه را به صورت مطلوب شناخت. در مقابل، با در نظر گرفتن وجوه و دیدگاه‌های مختلف سازه می‌توان راه حل طراحی بهتری خلق کرد. درنتیجه به یک ابزار شناخت چندوجهی از سازه نیاز است.

در این پژوهش، «سازه» در معنای وسیعی استفاده شده است: شیوه‌ای که در آن وجوه مختلف یک مجموعه سامان‌دهی می‌شوند. با کندوکاو در ویژگی‌های سازه‌های طراحی‌شده و ساخته‌شده، دو وجه مهم برای آن تشخیص داده شد که محدوده‌هایی از آن‌ها در فرایند طراحی توسط معمار مؤثر هستند. فرم‌های سازه درنتیجهٔ تعامل دقیق محدودیت‌های مکانیکی (با کنترل مجموعهٔ وظایف وجوه علم و فناوری) و الزامات عملکردی در خدمت فضا (با بیان هدف و مقصود) ایجاد می‌شوند. هر دو عامل مهم هستند، به طوری که در نظر گرفتن تنها یکی از آن‌ها در بسیاری از نمونه‌ها، شناخت ما از فرم‌های سازه را نامفهوم و مبهم می‌کند.



ت ۶. نمودار حدود و وجوه طراحی سازه در پروژه‌های معماری، تهیه: نگارندگان.

Archive of SID
www.SID.ir

در بسیاری از نمونه‌ها، هدف از مرحلهٔ مفهومی طراحی سازه، یافتن یک آرایش شدنی از عناصر سازه در فضا است. بنا بر این، به طور عمده، در مراحل ابتدایی فرایند طراحی، معیارهای مکانیکی عقب می‌نشینند و معیارهای فضایی در پردهٔ نخست جای می‌گیرند؛ به طور مثال معیارهای زمینه‌گرایی، پیکرنگاری، و یا سودمندی به منزلهٔ وجوه عملکردی (فضایی) مقدم بر ضرورت فیزیکی (شیء) سازه هستند. در این شرایط، جنبه‌های مکانیکی تا حدی تحت تأثیر ملاحظات فضایی قرار می‌گیرند. بر این اساس نسبت‌هایی که میان طراحی فرم سازه و طراحی فرم معماری تعریف می‌شوند، متنوع هستند: از سازه‌ای که الزامات مکانیکی تأثیری بر فرم معماری ندارد (حالت چشم‌پوشی محض)، تا سازه‌ای که نه‌تنها فرم معماری، بلکه ذات مفاهیم معماری اتخاذی را مشخص می‌کند (حالت نمادگرایی محض). به طور کلی می‌توان این ادعای درست را پذیرفت: نتیجهٔ نهایی یک فرایند طراحی معماری زمانی رضایت‌بخش است که معمار کاملاً از ماهیت رابطهٔ میان مسائل فنّی و زیبایی‌شناختی آگاهی کامل داشته باشد.

منابع و مآخذ

ابوالقاسمی، لطیف. *هنجار شکل‌یابی در معماری اسلامی ایران*، به کوشش محمدیوسف یکانی، تهران: سمت، ۱۳۸۵.

ادیب، مرتضی. «معماری منظر و شیوه‌های مدیریت دانش در فرایند طراحی»، در *نشریهٔ باغ نظر* ش ۲۲ (پاییز ۱۳۹۱)، ص ۵۵–۶۴.

لنگ، جان. *آفرینش نظریهٔ معماری*، ترجمهٔ علیرضا عینی‌فر، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۳.

محمودی کامل‌آباد، مهدی. *دانش ضمنی سازه در فرایند طراحی*، پایان‌نامهٔ دکتری تخصصی معماری، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ۱۳۹۱.

مهدوی‌نژاد، محمدجواد و غزل وفائیان. «کاربرد الگوی مقداری در همسازی معماری و سازه»، در *نشریه علمی- پژوهشی معماری و شهرسازی ایران*، ش ۲ (بهار و تابستان ۱۳۹۰)، ص ۶۱–۶۸.

Addis, B. "Inventing a History for Structural Engineering Design", in *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, 2003, pp. 113-122.

_____ . *The Art of the Structural Engineer*, London: Artermis London, 1994.

_____ . *Building: 3000 Years of Design Engineering and Construction*, London: Phaidon Press, 2007.

Ahmeti, F. *Efficiency of Lightweight Structural Forms: The Case of Treelike Structures - A Comparative Structural Analysis*, A master's thesis submitted for the degree of Master of Science. Vienna University of Technology, 2007.

Dongre, Alpana R. & S.A. Deshpande & R.K. Ingle. "Emerging Architectonic Forms and Designed Forms", in *en Archnet-IJAR, International Journal of Architectural Research*, No 3 (1) (2007), pp. 55-67.

Beghini, L.L. & A. Beghini & N. Katz & W.F. Baker & G.H. Paulino. "Connecting Architecture and Engineering through Structural Topology Optimization", in *Elsiver Jornal*, 59 (2014), pp. 716-726.

Charleson, A.W. *Structure as Architecture*, Elsevier/ Architectural Press, 2005.

Emmitt, S. *Architectural Technology Research and Practice*, USA: John Wiley & Sons, 2013.

Engel, H. *Tragsysteme, Structure Systems*, 4th ed, Ostfildern: Hatje Cantz, 2009.

Fireman B. *Between the Intangible and the Tangible*, partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Architecture. faculty of Virginia Polytechnic and State University, 2001.

Frampton, K. *Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*, Cambridge. MA: MIT Press, 1995.

Archive of SID

www.SID.ir

Herbert, G. & M. Donchin. *The Collaborators: Interactions in the Architectural Design Process*, Ashgate Publishing Company, Burlington, 2013.

Holgate, A. *The Art of Structural Engineering: the Work of Jörg Schlaich and his Team*, Stuttgart, London: Edition Axel Menges, 1997.

Hsu, W. & B. Liu. "Conceptual Design: Issues and Challenges", in *Computer-Aided Design*, 32 (2000), pp. 849-850.

Ilkovic, J. "To Think in Architecture, to Feel in Structure: Teaching Structural Design in the Faculty of Architecture", in *Global Journal of Engineering Education*, Vol. 16, No. 2 (2014), pp. 59-65.

Khatri, S. *A Sustainable Public Space with a Realm of Human Experiences*, master thesis, aalborg university, 2012.

Larsen, O.P. & A. Tyas. "Conceptual Structural Design: Bridging the Gap between Architects and Engineers", in *Thomas Telford*, London, 2003.

Lawson, B. *How Designers Think: the Design Process Demystified*, 4th ed, Oxford: Architectural Press, 2005.

Lewis, W. "Understanding Novel Structures through Form-Finding", in *Proceedings of ICE*, 2005, pp. 178-185.

Liu, Y.T. & C.K. Lim. "New Tectonics: A Preliminary Framework Involving Classic and Digital Thinking", in *Elsevier Ltd, Britain*, Vol. 27 (2005), pp. 267-307.

Luyten, L. *Structurally Informed Architectural Design*, PHD Thesis, Department of Architecture, Chambers University of Technology. Gothenburg, Sweden, 2012.

Macdonald, A.J. *Structural Design for Architecture*, Woburn: Architectural Press, 1997.

_____ . *Structure and Architecture*, Woburn: Architectural Press, 2001.

Mainstone, R.J. "The Springs of Structural Invention", in *JRIBA*, 70 (1963), pp. 57-71.

_____ . *Developments in Structural Form*, Oxford: Architectural Press, 2001.

Millais, Malcolm. *Building Structures: From Concepts to Design*, New York: Taylor & Francis press, 2005.

Moon, K.S. *Dynamic Interrelationship Between Technology and Architecture in Tall Buildings*, Doctor of Philosophy in Architecture, Building Technology at the Massachusetts Institute of Technology, 2005.

Mueller, C.T. *Computational Exploration of the Structural Design Space*, Submitted to the Department of Architecture in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Architecture. Building Technology at the Massachusetts Institute of Technology, 2014.

Sandaker, B.N. "An Ontology of Structured Space", in *Processing of the First International Conference on Structures and Architecture*, *ICSA 2010*, Guimaraes, Portugal. 21–23 July 2010, Editor Paulo J.S. Cruz School of Architecture. University of Minho. Portugal. CRC Press, 2010.

Scruton, R. *The Aesthetics of Architecture*, London: Methuen, 1979.

Saint, A. *Architect and Engineer: a Study in Sibling Rivalry*, New Haven, London: Yale University Press, 2007.

Schodek, Daniel L. *Structures*, 2nd ed, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1992.

Torroja, Edouardo. *Philosophy of Structures*, Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1958.

Thoume, C. J. "A Critical Analysis of Santiago Calatrava's Bachde Roda Bridge, Barcelona", in Proceedings of Bridge Engineering 2 Conference, University of Bath. UK, 2009.

Van Mele, T. & L. Lachauer & M. Rippmann & P. Block. "Geometry Based Understanding of Structures", in *J Int Assoc Shell Spat Struct*, 53(4) (2012), pp. 285–295.

Williams, K. & M.J. Ostwald. *Architecture and Mathematics from Antiquity to the Future*, *Volume I: Antiquity to the 1500s*, Switzerland: Springer, 2015.

Archive of SID

www.SID.ir