ارزیابی تأثیر به‌کارگیری شناخت هندسی سازه در طراحی معماری

نمونهٔ موردی: دانشجویان رشتهٔ 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: ۱۸ فروردین ۱۴۰۱
پذیرش: ۲۰ تیر ۱۴۰۱
(صفحهٔ ۶۶ – ۴۹)

کلیدواژگان: شناخت هندسی، دانش سازه، طراحی سازه، طراحی معماری، دانشجویان معماری.

چکیده

تا کنون تحقیقات گسترده‌ای دربارهٔ ابعاد گوناگون دانش سازه صورت گرفته است. مسئلهٔ اصلی در نتایج اکثر این پژوهش‌ها نبود توجه کافی به چگونگی حضور دانش سازه در فرایند طراحی معماری است. دانش سازه دارای دو نوع شناخت اصلی شامل شناخت عددی و شناخت هندسی است. هر دو شناخت دارای ارزش‌های خود در فرایند طراحی هستند، ولی بخشی از شناخت سازه قابلیت و شایستگی حضور در گام طراحی سازه را دارد که از مراحل اولیهٔ تولید فرم تا مرحلهٔ ساختِ واقعی دخالت دارد؛ و این همان جایگاه مهم و ارزشمند هندسه است که در میان دشواری‌های محاسباتی و گسترش ابزارهای طراحی و تحلیلی سازه نادیده گرفته شده است. بسیاری از راه حل‌های سازه‌ای بر اساس شناخت هندسی تجلّی می‌یابند. هدف اصلی در این پژوهش ارزیابی تأثیر شناخت هندسی در فعالیت‌های مربوط به طراحی سازه در بستر معماری است. بر این اساس در این پژوهش، ابتدا وجوه شناخت هندسی سازه به‌طور کامل معرفی می‌شوند. سپس از راهبرد پژوهش کمّی برای سنجش آماری دو پارامتر میزان رضایتمندی و میزان افزایش مهارت دانشجویان معماری پس از کاربرد روش شناخت هندسی در طراحی سازه استفاده می‌شود. برای تحلیل کمّی از روش آزمون T زوجی با استفاده از نرم‌افزار SPSS استفاده می‌شود. بنابر نتایج تحقیق استفاده از شناخت هندسی تأثیر مثبتی بر میزان رضایتمندی و میزان مهارت مشارکت‌کنندگان در به‌کارگیری دانش سازه در طراحی‌های معماری دارد.

مقدمه

مراحل شکل‌گیری سازه در یک فرایند طراحی شامل دو گام عمده است: ۱) گام طراحی سازه و ۲) گام تحلیل سازه.[5] در طراحی و تحلیل به مهارت‌ها و توانایی‌های متفاوتی اشاره می‌شود. طراحی آفرینش طرح کلی سازه را گویند و نقش قابل‌ملاحظه‌ای در طراحی مفهومی سازه دارد. در طراحی سازه، انتخاب‌های مهم گام طراحی در طول طراحی مفهومی اتفاق می‌افتد. بسیاری از تصمیمات مهم مربوط به هندسه، توده، و فرم کلی ساختمان در مرحلهٔ طراحی

۱. ایـن مقالـه برگرفتـه‌ای اسـت از پایان‌نامـه دکتری نگارندهٔ اول با عنوان *مدل پشتیبان طراحی سـازه مبتنی بر شـناخت هندسـی در فراینـد طراحی معمـاری*. این پایان‌نامه بـه راهنمایی نگارندهٔ دوم و مشـاوره نگارندهٔ سوم در دانشگاه هنر اصفهان در بهمن‌ماه سال ۱۳۹۹ دفاع شده است.

۲. نویسندهٔ مسـئول، دکتری معماری اسلامی، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان
Majid_ahmadnejad@yahoo.com
3. m.mahmoudi@aui.ac.ir
4. m.azimi@aui.ac.ir

۵. نک:
A.J. Macdonald, *Structure and Architecture*.

پرسش‌های تحقیق

۱. شناخت هندسی در طراحی سازه چه وجوهی دارد؟

۲. کاربرد شناخت هندسی چه تأثیری بر میزان رضایتمندی و میزان مهارت دانشجویان در زمینهٔ طراحی سازه دارد؟

مفهومی گرفته می‌شود.[۶] پیشبرد این گام بیشتر در حیطهٔ وظایف معماران است و تحلیل به اثبات و توجیه طرح مربوط است که در حیطهٔ وظایف مهندسان شناسایی می‌شود. در بسیاری از روش‌های موجود طراحی سازه (که به‌اشتباه طراحی سازه نامیده می‌شوند) عمدتاً به گام تحلیل و ارزیابی سازه اندیشیده می‌شود که به بهینه‌سازی سازه با استفاده از محاسبات مکانیکی اختصاص دارد.[۷] اگرچه طراحی مفهومی جهت دستیابی به یک نوآوری در طراحی لازم است، لورنت نی به فقدان مهارت‌های طراحی مفهومی در طراحی سازه توسط طراحان اشاره دارد. او معتقد است که امروز طراحان به ابزارهای تحلیل سازه مجهز هستند ولی قادر به طراحی مفهومی آن نیستند.[۸] بنابراین، در پژوهش حاضر رویکرد طراحی سازه انتخاب شده که دارای بخش‌های گوناگون و برای فعالیت‌های معمار در مراحل ابتدایی فرایند طراحی ضروری است.

یکی از الزامات ضروری در طراحی سازه شناخت کامل دانش سازه است. اصطلاح دانش سازه بیان مفهومی را می‌رساند، که علی‌رغم پردازش‌های نادرست مرتبط با آن، به‌ویژه در گام طراحی سازه، به‌طور بایسته و شایسته بدان پرداخته نشده است. رویکرد بسیاری از روش‌های موجود در شناخت و طراحی سازه همواره مبتنی بر بُعد باربری (یعنی روابط نیرو، تنش و کرنش) است و از کیفیات اساسی دیگر آن غفلت می‌شود. بنابراین رویکرد جامع، از وجوه چندگانهٔ سازه و تعاریف مرتبط با آن، مفهوم دانش سازه را روشن‌تر می‌کند؛ چراکه در این تفسیر طراحی سازه در یک بستر معماری در نظر است.

جمع‌بندی پژوهش‌های موجود در زمینهٔ روش‌های مختلف شناخت دانش سازه دو شناخت اصلی هندسی و عددی را نشان می‌دهد که گونه‌های دیگر شناختْ برآمده از این دو رویکرد هستند. در جریان شکل‌گیری سازه در مراحل مختلف فرایند طراحی، گام طراحی سازه به‌طور عمده با شناخت هندسی و سازمان‌دهی‌های فضایی و گام تحلیل سازه به‌طور عمده با بهره‌گیری از شناخت عددی و محاسبات ریاضی توسعه می‌یابد. بااین‌حال، در بسیاری از روش‌ها و ابزارهای طراحی سازه توجه به بهینه‌سازی سازه بر اساس تحلیل نیروها متمرکز است. از سوی دیگر، شناخت هندسی سازه به‌دلیل قرابت با زبان طراحی سازه، می‌تواند پشتیبان معمار در انتقال و طراحی سازه در مراحل ابتدایی فرایند طراحی باشد.[۹]

هدف از این پژوهش بررسی و معرفی کامل وجوه شناخت هندسی دانش

۶. نک:
L. Wang, et al, "Collaborative Conceptual Design –State of the Art and Future Trends"; W. Hsu & B. Liu, "Conceptual Design: Issues and Challenges".

۷. نک: مهدی محمودی، *دانش ضمنی سازه در فرایند طراحی*.

۸. نک:
I. Strauven & L. Ney, *Ney & Partners Freedom of form Finding*.

۹. نک:
R.J. Mainstone, *Developments in Structural Form*; Macdonald, ibid.

سازه و کاربرد آن در طراحی معماری است. بر این اساس، پس از اعمال شناخت هندسی، تأثیر آن بر فعالیت‌های مشارکت‌کنندگان در تحقیق (شامل دانشجویان معماری) در زمینهٔ کاربرد دانش سازه در مراحل ابتدایی طراحی معماری ارزیابی می‌شود.

۱. پیشینهٔ تحقیق

هندسهٔ ساختمان مشتمل بر مجموعهٔ نامحدودی از الزامات مرتبط با برنامه‌های کاربردی، زیبایی‌شناختی، فنی، و زیست‌محیطی است. هندسه در این معنا نمایندهٔ یک زیبایی‌شناختی خاص است، تاآنجاکه منعکس‌کنندهٔ نیازهای عملکردی و محدودیت‌های کارایی است. اولویت‌های بین این معیارها به‌طور مداوم در تاریخ معماری بر اساس عملکرد، ویژگی‌های فرهنگی، سبک‌های غالب، در دسترس بودن مصالح ساختمانی، سطح مهارت و فناوری، و محدودیت‌های اقلیمی تغییر کرده است. روند جدید توسعه‌یافته در مفهوم‌سازی سازه و بررسی وجوه مختلف رابطهٔ هندسه با مفاهیم سازه‌ای و معماری موضوع اولین کنفرانس بین‌المللی ریخت‌شناسی سازه بود که در سال ۱۹۹۲ در مونپلیه فرانسه برگزار شد.[۱۰] برخی معتقدند تحقیق در زمینهٔ هندسه در معماری، به‌صورت امروزی، با مطالعه بر کارهای فرانک گهری آغاز شده است. وی یکی از اولین افرادی است که از سطوح با فرم آزاد در پروژه‌های خود، مانند موزهٔ گوگنهایم در بیلبائو (۱۹۹۱–۱۹۹۷)، پروژهٔ موسیقی تجربه در سیاتل (۱۹۹۹–۲۰۰۰)، و کنسرت والت دیزنی در لس آنجلس (۱۹۸۹–۲۰۰۴)، استفاده کرد. تحقیقات انجام‌شده در مورد کار او در پایان‌نامهٔ دکتری دنیس شلدن شرح داده شده است.[۱۱] هندسه در معماری، آن‌گونه که امروزه شناخته می شود و از طریق نوشته‌های اخیر تعریف شده است،[۱۲] قطعا ریشه در فعالیت‌های گذشته دارد؛ از سال ۲۰۰۸ الی ۲۰۱۸ کنفرانس دو سالانه‌ای با عنوان «توسعه در هندسهٔ معماری» برگزار می‌شود که شامل حوزه‌های مختلفی ازجمله هندسهٔ کاربردی، معماری، و مهندسی و فناوری هستند. هریک از این حوزه‌های تخصصی به موضوعات متمایزی اختصاص دارند؛ به‌طور مثال: مکانیسم هندسهٔ سازه‌های متحرک و تاشو، زیبایی‌شناختی منطق هندسه در الهام از پدیده‌های طبیعی، مدل‌سازی، فرم‌یابی، هندسهٔ اقلیدسی و نااقلیدسی، توپولوژی، فرم آزاد و روش‌های سرهم‌بندی عناصر ساختمانی، و غیره.

همچنین برخی محققان به‌طور تخصصی در زمینهٔ هندسه در معماری و سازه پژوهش‌های نظری و عملی انجام داده‌اند. گروه بلاک به سرپرستی فیلیپ بلاک در دانشگاه ETH زوریخ از نوعی روش هندسی برای فرم‌یابی و تحلیل ساختارهای منحنی طنابی با بارگذاری‌های عمودی استفاده کرده است که از نظر انتقال نیروی فشاری در بهینه‌ترین حالت قرار دارد.[۱۳]

نکتهٔ قابل‌تأمل در اکثر پژوهش‌های فوق، استفاده از فناوری‌های نوین و ابزار رایانه با عنوان «هندسهٔ دیجیتال در طراحی و ساخت معماری» است. در روش‌های سنتی، طراحان و مشاوران، بر اساس نمایه‌های انتزاعی کار خود، در طرح‌های دوبعدی تعامل داشته‌اند. در طول دو تا سه دههٔ گذشته این امر با افزایش دسترسی و استفاده از هندسهٔ دیجیتال سه‌بعدی تغییر کرده است؛ به‌طور مثال، گروه بلاک با مطالعهٔ سازه‌های پوسته‌ای و بهره‌گیری از برنامه‌نویسی رایانه‌ای نرم‌افزاری تهیه کرده است که بر اساس این شیوه و با استفاده از تحلیل شبکه‌های فشاری عمل می‌کند.[۱۴]

نکتهٔ دیگر در تحقیق‌های یادشده فقدان توجه همه‌جانبه به رابطهٔ هندسه با ابعاد مختلف سازه‌های معماری است و تنها به بخش خاصی از آن (به‌طور مثال، یک سیستم سازه‌ای خاص یا مفهوم سازه‌ای و یا ویژگی و قابلیت هندسی منحصربه‌فرد) توجه شده است. به‌طور نمونه، جنبهٔ مهم برای مهندسان سازه بارگذاری در اتصال (یا گره) اعضا و تنش‌های به‌وجودآمده در اعضاست. برای این منظور، با نرم‌افزار مهندسی سازه توانایی تفسیر شبکهٔ گره‌های متصل به‌مثابهٔ سطوح را برای انتقال

۱۰. نک:
R. Motro, *First International Conference on Structural Morphology*.

۱۱. نک:
D.R. Shelden, *Digital Surface Representation and the Constructibility of Gehry's Architecture*.

۱۲. به‌طور مثال:
H. Pottmann, et al, "Advances in Architectural Geometry"; C. Ceccato, et al, *Advances in Architectural Geometry*; C. Gengnagl, et al, "Computational Design Modeling".

13. S. Adriaenssens, et al, *Shell Structures for Architecture: Form Finding and Optimization*, p. 71.

14. Ibid

بارهای توزیع‌شده (مانند بار باد) به گره‌های مجاور آنها داده می‌شود. همچنین در بعضی موارد، مهندسان از روش تحلیل عناصر محدود از مدل‌های سطحی برای تحلیل تنش‌های موضعی در مصالح استفاده می‌کنند.

۲. روش تحقیق

در این پژوهش نمونه‌های انتخابی از نمونه‌های نرمال جامعهٔ دانشجویان معماری هستند. برای دستیابی به این امر، نرخ متوسط نمونه‌ها شامل ترکیبی از دانشجویان مختلف (شامل دانشجویان قوی، متوسط، و ضعیف) بر اساس معدل و نتایج مطالعات مقدماتی (پایلوت) در نظر گرفته می‌شوند. کوچک‌ترین اندازهٔ نمونهٔ پیشنهادی برای طرح‌های کمّی و کیفی از نوع تجربی، تعداد ۲۱ مشارکت‌کننده برای هر گروه است.[۱۵] در پژوهش پیش رو، تعداد مشارکت‌کنندگان در تحقیق شامل ۳۲ نفر از دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد معماری است. همچنین انجام پیش‌آزمون‌ها و پس‌آزمون‌ها و تحلیل نتایج آنها در سه دانشگاه مختلف (شاملِ غیرانتفاعی علوم فنون بابل، غیرانتفاعی آمل، و پیام نور مازندران) در بازه‌های زمانی متفاوت تکرار شد، شامل یک گروه از ترم هفتم و یک گروه از ترم ششم کارشناسی معماری و یک گروه از ترم دوم کارشناسی ارشد معماری. فرایند انجام تحقیق اقدام‌پژوهی در آتلیه‌های معماری و در دروس (طرح معماری ۳ و ۴) کارشناسی معماری و (طرح ۲) کارشناسی ارشد معماری اتفاق افتاده است.

اکثر مشارکت‌کنندگان در تحقیق از ابتدای این پژوهش از اطلاعات اولیه و لازم در زمینهٔ دانش سازه برخوردار هستند. دانشجویانِ مشارکت‌کننده در این پژوهش، در طی ترم‌های گذشته به‌صورت مکرر با برخی از مفاهیم سازه‌ای پایه شامل نیرو، تنش، تغییرشکل، مفاهیم پایداری، سختی و استحکام، مصالح سازه‌ای و مقاطع سازه‌ای، و همچنین برخی سیستم‌های سازه‌ای شامل سازه‌های چادری، کابلی، پوسته‌ای، قابی، و فشاری آشنا شده‌اند. آشنایی ایشان با دانش سازه هم به‌صورت دانش نظری و هم از طریق برخی آزمون‌های طراحی در طی چندین نوبت بوده است.

یکی از مهم‌ترین روش گردآوری داده‌ها استفاده از سنجش‌های عملی (یا آزمون‌های طراحی) است. در این تحقیق، هدف اصلی انجام آزمون‌های عملی، فهم عمیق دیدگاه‌های مشارکت‌کنندگان، و مشاهدهٔ نتایج اعمال مداخله‌ها در بخش طراحی سازه است. ازاین‌رو، مجموعهٔ متنوعی از آزمون‌ها شامل جلسات اسکیس کوتاه‌مدت انجام می‌شود. آزمون‌های عملی شامل دو مرحلهٔ عمده است: مرحلهٔ قبل از اعمال مداخلهٔ روش هندسی (پیش‌آزمون) در بخش مطالعات مقدماتی و مرحلهٔ پس از اعمال مداخلهٔ هندسی (پس‌آزمون) در بخش اصلی تحقیق.

تأثیرهای مقولات اصلی مد نظر در زمینهٔ طراحی سازه بر اساس شناخت هندسی، با دو شیوه ارزیابی و قضاوت می‌شوند: ۱) سنجش میزان رضایتمندی از سوی مشارکت‌کنندگان و ۲) سنجش میزان افزایش مهارت (یا توانایی) مشارکت‌کنندگان در طراحی سازه بر اساس روش پیشنهادی از سوی داوران.

به‌منظور سنجش نظرات مشارکت‌کنندگان، با توجه به یافته‌های تحقیق، پرسش‌نامهٔ بسته‌ای برای ارزیابی پارامتر میزان رضایت‌مندی مشارکت‌کنندگان در تحقیق، از روش هندسی عرضه‌شده برای طراحی سازه، تنظیم شد. این پرسش‌نامه شامل سؤالاتی در زمینهٔ نظرات مشارکت‌کنندگان از جنبه‌های گوناگون روش شناخت هندسی در طراحی سازه بر اساس بازهٔ لیکرت است که پنج گروه از پاسخ‌ها شاملِ میزان رضایت خیلی کم (با نمرهٔ ۱)، کم (با نمرهٔ ۲)، متوسط (با نمرهٔ ۳)، زیاد (با نمرهٔ ۴) و خیلی زیاد (با نمرهٔ ۵) است. سؤالات پرسش‌نامه بر اساس منابع تخصصی و یافته‌های تحقیق تدوین شده است.

همچنین، با توجه به ماهیت تحقیق، امکان مقایسهٔ تمرین‌های مشارکت‌کنندگان در چرخه‌های مختلف وجود دارد

۱۵. نک:
K.M.T. Collins, et al, "A Mixed Methods Investigation of Mixed Methods Sampling Designs in Social and Health Science Research".

و می‌توان تمرین‌های مختلف هر مشارکت‌کننده را ارزیابی و قضاوت کرد و میزان پیشرفت و افزایش مهارت و توانایی آن را سنجید. به بیان دیگر، تفاوت معنادار مابین نتایج پیش‌آزمون (در بخش مطالعات مقدماتی) و پس‌آزمون (پس از اعمال روش هندسی) هر مشارکت‌کننده مبنای سنجش و استخراج نتایج این بخش را شکل می‌دهد.

ارزیابی و داوری کارها را سه نفر از متخصصان یر عهده دارند. در انتخاب مناسب متخصصان برای داوری و ارزیابی نتایج اسکیس‌های مورد نظر به سه مؤلفه توجه شده است:

۱) متخصصان از اعضای هیئت علمی یا مدرسین معماری با سابقهٔ تدریس در درس طرح معماری هستند،

۲) متخصصان در زمینهٔ دانش سازه و سیستم‌های سازه‌ای از آگاهی کافی برخوردار هستند؛ گرایش تحصیلی، موضوعات پایان‌نامه، و فعالیت‌های پژوهشی متخصصانْ محقق را در بررسی این مؤلفه هدایت می‌کند،

۳) متخصصان سابقهٔ فعالیت‌های طراحی، نظارت، و اجرای پروژه‌های مختلف ساختمانی را در محیط‌های حرفه‌ای دارند.

برای ارزیابی مهارت مشارکت‌کنندگان معیارهایی از مطالعات و منابع تخصصی موجود و نظرات متخصصان و هم‌پوشانی آنها برگرفته شد. ارزیابی پارامتر میزان مهارت مشارکت‌کنندگان با توجه به این چهار معیار صورت گرفته است:

۱) نقش سازه در فرم‌دهی به معماری (اشاره به مشارکت سازه در گام طراحی معماری)،

۲) فرم کلیِ درست و منطقی سازه (اشاره به هندسهٔ کلی سازه)،

۳) پیکربندی منطقی اجزای گوناگون سازه (اشاره به هندسهٔ موضعی سازه)، و

۴) نو بودن روش حل مسئلهٔ سازه‌ای (اشاره به ترکیب الزامات هنری و منطقی سازه).

بر اساس این معیارها، نتایج آزمون‌های اسکیس در بخش مطالعهٔ مقدماتی (قبل از اعمال مداخله و بر اساس تجربیات و دانسته‌های قبلی مشارکت‌کننده) با نتایج اسکیس در بخش اصلی تحقیق اقدام‌پژوهی (پس از اعمال روش هندسی) از سوی داورانْ ارزیابی و سپس نتایج این دو بخش با یکدیگر مقایسه شده است. ارزیابی مهارت مشارکت‌کنندگان نیز بر اساس بازهٔ لیکرت صورت گرفته است.

برای تحلیل کمّی و نمایش نتایج مرتبط با پارامتر میزان مهارت مشارکت‌کنندگان از روش آزمون T زوجی با استفاده از نرم‌افزار SPSS استفاده می‌شود. این روش میزان مهارت یک گروه از مشارکت‌کنندگان را دربارهٔ طراحی سازه در دو شرایط گوناگون، یعنی پیش‌آزمون و پس‌آزمون، ارزیابی می‌شود.

۲. ۱. فرایند اعمال مداخله‌های هندسی

اسکیس یک روش مهم در مراحل اولیهٔ طراحی مفهومی در معماری است که طراح تفکر خود را با آن از طریق عمل ترسیم می‌آزماید.[۱۶] در این پژوهشْ هدف اصلی از برگزاری آزمون‌های اسکیس کوتاه‌مدت سنجش میزان توانایی‌های مشارکت‌کنندگان در طراحی الزامات مختلف سازه‌ای در مراحل ابتدایی فرایند طراحی معماری است. نتایج این بخش از آزمون اسکیس (پس از اعمال مداخلات هندسی) نیز با نتایج آزمون‌های اسکیس قبل از اعمال شناخت هندسی در مرحلهٔ مطالعات مقدماتی مطالعهٔ تطبیقی می‌شود. همهٔ مشارکت‌کنندگان، شامل دانشجویان معماری، تجربهٔ چند طرح معماری را دارند. همچنین همهٔ مشارکت‌کنندگان در آزمون‌های اسکیس در هر دو مرحلهٔ پیش آزمون و پس آزمون شرکت دارند تا تجارب هر دو گروه از مسئله مشابه باشد. در مرحلهٔ دوم، از روش هندسی به‌صورت کاربردی در مرحلهٔ طراحی مفهومی استفاده می‌کنند. موضوعات اسکیس‌ها در مراحل گوناگون تحقیقْ مختلف بوده است، شاملِ طراحی سالن ورزش، طراحی سقف جایگاه اتوبوس‌های یک پایانهٔ مسافربری، طراحی ایستگاه قطار، طراحی ورودی یک ایستگاه مترو، و طراحی گلخانه.

16. L. Luyten, *Structurally Informed Architectural Design*, p. 46.

آزمون‌های اسکیس در چندین مرحله بر اساس نیاز برگزار می‌شود. برخی از آزمون‌ها دارای موضوعات معماری مشترک در میان همهٔ مشارکت‌کنندگان است و برخی دیگر به‌طور اختصاصی برای هریک از آنها تعریف می‌شود. محقق در این تمرین با دو مسئلهٔ عمده مواجه است: اول، توانایی هریک از مشارکت‌کنندگان در استفاده از طراحی با دست آزاد در مقایسه با دیگران متفاوت است؛ بنابراین، در بخشی از این تمرین، به مشارکت‌کنندگان اجازه داده می‌شود که از ابزارهای طراحی دیگر شامل امکانات نرم‌افزارهای طراحی و یا ساخت نمونک به‌مثابهٔ ابزارهای کمکی در کنار طراحی با دست آزاد استفاده کنند که توانایی‌های گوناگون افراد به کار آید. دوم، میزان درک ابتدایی مشارکت‌کنندگان از این روش هندسی اعمال‌شده، به‌دلیل نو بودن آن؛ ازاین‌رو، با تکرار و انجام چندین مرحله از این تمرین، این کاستی‌ها تا حدی رفع گردید و مشارکت‌کنندگان به قابلیت مورد انتظار در این تمرین دست یافتند.

همچنین، در قسمتی از این مرحله برای هریک از مشارکت‌کنندگان یک سیستم سازه‌ای خاص عرضه و از آنها خواسته شد که اسکیس‌های مورد نظر را بر اساس این سازه‌ها تحویل دهند. این امر باعث می‌شود که سیستم‌های سازه‌ای مختلف با ویژگی‌های هندسی و باربری گوناگون بررسی شوند. با توجه به هدف این پژوهش، طبیعی است که نمونه‌های سازه‌ای انتخاب گردند که تنوع بیشتری داشته باشند و اطلاعات بیشتری در زمینهٔ موضوع تحقیق در اختیار قرار دهند. ازاین‌رو، تعداد هفت سیستم سازه‌ای گوناگون پیشنهاد شد، شاملِ سازهٔ قابی، سازهٔ چادری، سازهٔ کابلی، سازهٔ پوسته‌ای، سازهٔ تاشده، سازهٔ فضاکار، و سازهٔ فشاری.

به‌منظور ایجاد فرصت کافی، مدت زمان آزمون برای هر اسکیس بین ۹۰ الی ۱۲۰ دقیقه پیش‌بینی شد. در این مدت، مشارکت‌کنندگان حق صحبت با یکدیگر و مشاهدهٔ طرح‌های یکدیگر را نداشتند. در هر آزمون از مشارکت‌کنندگان خواسته شد تا با توجه به موضوع اسکیس، مدارک مختلف آن شامل پلان (و پلان بام در صورت لزوم) و برش و یک طرح سه‌بعدی از طرح پیشنهادی خود را به‌همراه توضیحات نوشتاری یا گرافیکی تحویل دهند.

۳. ارزیابی دانشجویان قبل از اعمال شناخت هندسی

داده‌های بخش مقدماتی تحقیق و مرحلهٔ پیش‌آزمون (قبل از اعمال مداخله‌های هندسی) از طریق سؤالات پرسش‌نامه، انجام برخی آزمون‌های عملی، مشاهدات پژوهشگر، و مصاحبه‌های حین کرکسیون گردآوری شده است. مطالعهٔ مقدماتی یا مطالعهٔ پایلوت به مقیاس کوچکی از یک مطالعهٔ کامل و یا پیش‌آزمونی برای یک ابزار خاص نظیر پرسش‌نامه یا راهنمای مصاحبه اطلاق می‌گردد.[۱۷] مطالعهٔ مقدماتی می‌تواند در پژوهش‌های کیفی، کمّی، و حتی ترکیبی انجام گیرد.[۱۸] در مرحلهٔ مطالعات مقدماتی، در این چرخهٔ تغییرات گسترده و تأثیرگذاری اعمال نمی‌شود؛ بلکه، هدف بررسی شرایط موجود (قبل از بررسی روش شناخت هندسی سازه) و درک بهتر یک موقعیت نامعیّن (قبل از اعمال مداخلهٔ جدید) از سوی محقق است. علاوه بر آزمون طراحی، یک پرسش‌نامهٔ باز تنظیم شده است. این پرسش‌نامه به همهٔ مشارکت‌کنندگان در تحقیق داده و از آنها خواسته شد تا به دقت به سؤالات پاسخ دهند. برخی از مهم‌ترین این سؤالات در زیر آمده است:

ـ شناخت و اطلاعات شما از دانش سازه به چه میزان است؟ چه نوع اطلاعاتی از سازه‌های مختلف یا مفاهیم سازه‌ای دارید؟

ـ در طرح‌های شم (تا کنون)، نقش و جایگاه دانش سازه در ایده‌پردازی و طراحی کانسپت و فرم ساختمان به چه میزان بوده است؟ لطفا توضیح دهید.

ـ آیا شما از روش یا الگوی خاصی در طراحی سازه در زمان

17. DF. Polit & CT. Beck, *Essentials of Nursing Research: Methods, Appraisal, and Utilization*, p. 65.
18. A. Tashakkori & C. Teddlie, *Mixed Methodology: Combining Qualitative and Quantitative Approaches*, p. 47.

طراحی معماری استفاده می‌کنید؟ (به عبارت دیگر شما سازه را چگونه در یک طرح معماری طراحی می‌کنید یا به کار می‌گیرید؟) لطفا توضیح دهید.

ـ به نظر شما مهم‌ترین چالش یا مسئله‌ای که در طراحی سازه‌های معماری با آن مواجه هستید، چه مواردی هستند؟ لطفا توضیح دهید.

ـ شما به‌طور کلی، چه نوع اطلاعاتی از هندسه به مفهوم عام آن دارید؟ (به عبارت دیگر، چه نوع شناختی از انواع هندسه‌ها، مفاهیم و اصطلاحات هندسی، و ویژگی‌های مختلف انواع هندسه‌ها دارید؟ با ذکر مصادیق توضیح دهید).

ـ شما به چه میزان و چگونه از این اطلاعات هندسی در طراحی معماری یا طراحی سازه استفاده می‌کنید؟

با توجه به مسئله و اهداف تحقیق، در نتایج مطالعات مقدماتی، به اهمیت موضوع تحقیق از سه رویکرد عمده توجه شده است:

ـ نتایج نشان می‌دهد که اکثر مشارکت‌کنندگان (حدود ۷۰٪)، علی‌رغم داشتن اطلاعات سازه‌ای لازم در زمینهٔ شناخت مفاهیم سازه‌ای و سیستم‌های سازه، قادر به تفسیر و به‌ویژه انتقال آن در گام طراحی سازه نیستند؛ به بیان دیگر، طراح از مهارت کافی در ساده‌سازی و انتقال دانش سازه در مراحل طراحی برخوردار نیست. این افراد به‌طور عمده توجه اندکی به قابلیت‌های سازه در بخش‌های گوناگون طراحی معماری در فرایند طراحی دارند. همچنین بعضی دیگر از مشارکت‌کنندگان از برخی از مفاهیم سازه‌ای در طراحی معماری استفاده می‌کردند. اکثر این افراد تا حدودی قادر به تفسیر اطلاعات سازه‌ای هستند؛ ولی برای آنها کاربرد عملی دانش سازه در فرایند طراحی معماری یک مسئلهٔ اساسی است. برخی از مشارکت‌کنندگان اذعان داشتند که عموماً به نقش سازه در فرایند طراحی مفهومی توجه ناچیزی دارند، همچنین برخی دیگر نداشتن توانایی در همسازی طراحی سازه با دیگر مؤلفه‌های طراحی معماری را از مهم‌ترین چالش‌ها در زمان شکل‌گیری برخی از طرح‌های معماری می‌دانستند. در این زمینه، لویتن معتقد است در محیط‌های حرفه‌ای و دانشگاهی، بسیاری از سازه‌ها پس از شکل‌گیری معماری، طراحی می‌شوند؛ بنابراین تأثیرات کمی بر تصمیمات طراحی معماری می‌گذارند.[۱۹] بر این اساس و بنابر یافته‌های دیگر تعداد قابل‌توجهی از مشارکت‌کنندگان سعی داشتند که در طراحی‌ها از فرم‌هایی با هندسهٔ پایه و متعارف (به‌طور مثال مکعب و استوانه) و نیز تکرار فرم‌هایی منطبق با تجربیات دیگران و مشاهدات قبلی به همان شکل موجود الگوبرداری کنند. به بیان دیگر، آنها عموماً به‌دنبال طراحی فرم‌هایی از سازه بودند که هندسهٔ آنها ایمنی مطمئن سازه را در برابر همهٔ نیروهای مورد انتظار برآورده کند. این امر به‌سادگی و در محدودهٔ انتخاب‌هایی که با استفاده از فرم‌های موجود که ایمنی سازه‌ای آنها قبلاً تأیید شده است، انجام می‌گیرد. در مقابل، هر نوآوری بدان معناست که طراح در خارج از این محدودیت‌ها حرکت کند و خواستار نوع دیگری از ایمنی مطلوب باشد. در غیر این‌صورت، دانش سازه کمترین نقش را در غنی کردن کانسپت و فرم‌دهی به معماری دارد که می‌تواند منجر به نادیده گرفتن وجوه چندگانهٔ سازه در فرایند طراحی معماری شود. در مقابل، برخی دیگر از مشارکت‌کنندگان تمایل به طراحی فرم‌های دل‌بخواهی و بدون در نظر گرفتن مبانی منطقی سازه داشتند. در این زمینه، لئوپولد معتقد است روند فعلی در معماری، استفاده از اشکال پیچیده‌تر، نامنظم، و به‌ظاهر غیرهندسی را نشان می‌دهد. به نظر می رسد ابزارهای طراحی دیجیتال برای خلق هر فرمی از محصولْ طراحان را اغوا می‌کند. از نظر این افراد، هرچه یک ساختمان از لحاظ ظاهر دیدنی‌تر باشد (اغلب بدون سازه‌های قابل‌درک)، بهتر و نوآورانه‌تر ارزیابی می‌شود. به نظر لئوپولد برای فرار از طراحی دل‌بخواهی و یافتن مبانی منطقی برای طراحی، اصولی هندسی وجود دارد.[۲۰]

ـ تأمل در نتایج آزمون‌های عملی نشان می‌دهد که توانایی پایین در ساده‌سازی سطوح و فرم‌های گوناگون سازه‌ای با

19. Luyten, ibid.

۲۰. نک:
C. Leopold, "Geometry Concepts in Architectural Design".

استفاده از داده‌های اولیهٔ هندسی و ترسیمی از دلایل نبود شناخت کافی مشارکت‌کنندگان از ویژگی‌های ظاهری سازه‌هاست. ازآنجاکه یکی از اولین تصمیمات کلیدی در مراحل ابتدایی فرایند طراحی، تعیین نسبت میان فرم معماری و فرم سازه است، این نارسایی می‌تواند یک چالشی مهم در انتخابات اولیه قلمداد شود. علت اصلی مسئلهٔ فوق، فقدان آشنایی کافی مشارکت‌کنندگان از رابطه و نسبت سیستم‌های سازه‌ای با انواع فرم‌های معماری است. به بیان دیگر، ناآشنایی به اینکه هر سیستم سازه‌ای قابلیت تولید کدام هندسه از فرم‌ها و سطوح ساختمانی را دارد؛ به‌طور مثال اغلب مشارکت‌کنندگان علی‌رغم آشنایی نسبی در زمینهٔ سیستم سازهٔ چادری، اطلاعات قابل‌قبولی در زمینهٔ ویژگی ظاهری یا نوع هندسه‌ای که می‌تواند تولید کند، نداشتند.

ـ چالش دیگر، نبود شیوه و یا الگوی خاصی است که پشتیبان و راهنمای مشارکت‌کنندگان در ساده‌سازی و کاربرد دانش سازه در فرایند طراحی باشد. اکثر مشارکت‌کنندگان (بیش از ۶۳٪) به نبود شیوه و روش خاصی برای به‌کارگیری دانش سازه در فعالیت‌های طراحی خود اذعان داشتند. این افراد نیز به‌طور عمده، طراحی سازه را مستقل از طراحی معماری می‌دانستند. برخی دیگر از مشارکت‌کنندگان از یک روش معیّن و یا متغیّر (با توجه به شرایط و الزامات طراحی) در فرایند طراحی استفاده می‌کردند. این افراد با وجود اینکه تاحدودی به سازه در طرح‌های خود توجه داشتند، کاربرد بسیاری از مفاهیم و سیستم‌های سازه‌ای مختلف را در طرح‌های خود یک مسئله می‌دانستند. بنابراین، وجود روشی معیّن که به طراح در مراحل مختلف فرایند طراحی (از مرحلهٔ تحلیل داده‌ها تا تولید فرم سازه و معماری) جهت دهد، می‌تواند باعث نظم‌بخشی به مراحل مختلفِ گام طراحی سازه و تشخیص روابط میان وجوه گوناگون و تأثیرگذار سازه در طراحی آن شود.

همچنین بررسی آزمون‌های عملی و فعالیت‌های طراحی مشارکت‌کنندگان نشان می‌دهد که اکثر آنها (حدود ۷۵٪) توجه کمی به قابلیت‌های شناخت هندسی در طراحی سازه در مراحل ابتدایی فرایند طراحی دارند. این افراد از هندسه (به‌طور عام) و از هندسهٔ سازه (به‌طور خاص) اطلاعات ناچیزی داشتند. شناخت بسیاری از مشارکت‌کنندگان از هندسه بیشتر به برخی از مفاهیم پایهٔ هندسی (به‌طور مثال سطوح و احجام سه‌بعدی مانند مکعب، کره، مخروط، استوانه، و برخی اشکال دوبعدی) محدود است. این افراد غالباً از کاربرد مفاهیم و ویژگی‌های هندسه در طراحی سازه اطلاعات چندانی نداشتند. بااین‌حال، آنها به اهمیت شناخت عمیق هندسه و جایگاه آن در تولید ایده‌های جدید طراحی اذعان داشتند. این افراد معتقد هستند برخی اطلاعات در زمینهٔ هندسهٔ سازه می‌تواند به آنها در تفسیر و انتقال مؤثر دانش سازه در فرایند طراحی معماری کمک کند تا عملکردهای خاصی را انجام دهند یا فرم‌های خاصی را استخراج کنند؛ به‌طور مثال، در جمع‌بندی برخی از نظرات مشارکت‌کنندگان این گروه، رابطهٔ خاصی میان پیچیدگی هندسهٔ سازه با رفتار و مقاومت سازه وجود دارد و درعین‌حال بر فضای معماری هم تأثیرگذار است.

۴. تعریف و تبیین شناخت هندسی

به‌طورکلی، غالب مقوله‌های فرعی ناشی از تحلیل داده‌ها بر اهمیت شناخت هندسی اکیداً بر سه مقولهٔ اصلی دلالت دارند[۲۱]:

ـ در مقولهٔ اول، «شناخت هندسی سطوح و فرم‌ها»ست که می‌تواند فهم و امکانات کافی را در تفسیر و طراحی سطوح گوناگون در اختیار طراحان قرار دهد. به‌طور مثال، مناسباتی که میان فرم معماری و هندسهٔ سازه وجود دارد، بر اساس این مقولهٔ هندسی قابل‌عرضه است. آگاهی از ویژگی‌های هندسی سطوح و فرم‌های گوناگون می‌تواند منجر به تولید فرم‌های سازه‌ای و معماری گوناگون و خلاقانه شود. این نوع شناخت بیشتر مربوط به مفاهیم عام شناخت هندسی در خصوص

۲۱. نک: مجید احمدنژاد، *مدل پشتیبان طراحی سازه مبتنی بر شناخت هندسی در فرایند طراحی معمـاری (توصیه‌ای برای دانشجویان معماری)*.

سطوح و فرم‌ها (اغلب بدون در نظر گرفتن مفاهیم سازه) است.
ـ در مقولهٔ دوم، «شناخت هندسهٔ سیستم‌های سازه‌ای» اشاره‌ای است به مفاهیم خاص و ویژهٔ سازه‌ها در رابطه با هندسهٔ آنها. به‌طور مثال، ویژگی‌های هندسی منحصربه‌فرد سازه‌های پوسته‌ای. در این نوع شناخت هندسی به روابط میان اجزای مختلف سازه‌ای و رابطهٔ هندسهٔ سازه با مفاهیم سازه‌ای شامل نیرو، تنش، و تغییر شکل اشاره می‌شود.
ـ در سطح مقولهٔ سوم، «شناختِ ترسیم هندسی سطوح و فرم‌ها» جای دارد که معرفی روش‌های مختلف ترسیم و تولید سطوح و فرم‌های گوناگون سازه است. این نوع شناخت، به‌ویژه، در جایی که پای طراحی سطوح و فرم‌های سازه‌ای آزاد و خاص در میان باشد، اهمیت خود را نشان می‌دهد.
با مراجعه به ادبیات حوزهٔ تحقیق، این سه مقولهٔ هندسی را می‌توان به ترتیب در قالب سه رویکرد اصلی با مفاهیمی مشابه و نزدیک تفسیر کرد:
الف) هندسهٔ توصیفی: به‌طور کلی، هدف اصلی در هندسهٔ توصیفی نمایش مشخص و دقیق از شکل‌های سه‌بعدی است که کاربرد اصلی آن بررسی اشکال هندسی و ویژگی‌های آنها به‌صورت گرافیکی و بصری است.[۲۲] به بیان دیگر، هندسهٔ توصیفی با استفاده از مجموعهٔ خاصی از رویه‌ها امکان نمایش، توصیف، و تحلیل ویژگی‌های هندسه سه‌بعدی را فراهم می‌کند. هندسهٔ توصیفی فرایندی نمایشی همراه با تحلیل و تولید اشیا در فضای سه‌بعدی با استفاده از روش‌های ترسیمی است؛ هندسهٔ توصیفی در معماری به‌مثابهٔ یک تفکر سه‌بعدی تعریف می‌شود.[۲۳] در تحقیق پیش رو، به‌طور خاص، هدف از کاربرد هندسهٔ توصیفی بررسی عناصر و داده‌های اولیهٔ هندسه برای بیان ویژگی‌های هندسی سطوح و فرم‌هاست که عناصر صفر تا سه‌بعدی هستند، شامل نقطه، خط، صفحه، و حجم؛ به‌طور مثال، مفاهیمی ازجمله ویژگی‌های انحنای سطوح و انحنای کامل را می‌توان از این نوع شناخت هندسی دانست و بررسی کرد.

ب) هندسهٔ سازنده: در هندسهٔ سازنده به روش تولید و ترسیمِ هندسی سطوح و فرم‌ها پرداخته می‌شود[۲۴] و شامل اطلاعاتی در مورد نحوهٔ ساخت آن (به معنای هندسی) است؛ به‌طور مثال، از طریق تغییر در ابعاد و زاویه. در یک رویکرد خاص، هندسهٔ سازنده با تغییر شکل یا دگرگونی در هندسه‌های سطوح و فرم‌های اولیه شکل می‌گیرد. تغییرات اعمال‌شده می‌تواند باعث ایجاد هندسه‌های متنوع و جدید شود. یکی از روش‌های تولید هندسه روش تبدیلات هندسی است که با اعمال برخی تغییر شکل‌هایی بر روی خطوط و داده‌های اولیه هندسی تولید می‌شود. در تبدیلات هندسیْ ریتم و نظمی تدریجی به صورت تغییر در زاویه، ابعاد، تناسب، و موقعیت سطوح و فرم‌ها مشاهده می‌شود. تبدیلات هندسی فوق با استفاده از سه روش عمدهٔ انتقالی، خطدار، و دورانی انجام می‌شود. روش انتقالی با لغزاندن یک منحنی روی یک منحنی دیگر که اغلب عمود بر منحنی اول است به‌دست می‌آید. روش خطدار در اثر لغزاندن دو انتهای یک پاره‌خط بر دو منحنی جداگانه به‌وجود می‌آید. همچنین روش دورانی از چرخش یک منحنی حول یک محور ایجاد می‌شود.
پ) هندسهٔ ایستا: درنهایت هندسهٔ ایستا به بیان مستقیم رابطهٔ مفاهیم نیروشناختی (شامل نیرو، تنش، و کرنش) با هندسهٔ هریک از سیستم‌های سازه‌ای اختصاص دارد. دسته‌بندی‌های متعددی مبنی بر انتخاب و تعریف هندسهٔ سیستم‌های سازه وجود دارد، ولی شیوه‌هایی که در هریک از پروژه‌ها استفاده می‌شود ممکن است بیش از یک دسته را شامل شود؛ به‌طور مثال، یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین دسته‌بندی هندسی سازه حالتی است که در آن پایداری فرم‌های سازه بر اساس نوع ساختار هندسی مرتبط با مفاهیمِ نیروشناختی ثقلی به سه گروه فرم‌های فعال، نیمه‌فعال، و غیرفعال تقسیم می‌شوند. همچنین، مفاهیمی ازجمله عمق سازه‌ای، مرکز ثقل، هندسهٔ کلی، هندسهٔ موضعی، مثلث‌بندی، و هندسهٔ فرم‌یافت (منحنی

۲۲. نک:
R. Migliari, "Descriptive Geometry: From it's Past to its Future".

۲۳. نک:
C. Putz, "On the Selection of Topics Suitable for Descriptive Geometry Courses for University Students of Architectures"; Idem, "Teaching Descriptive Geometry for Architects".

۲۴. نک:
M.J. Pratt, "Procedural Modelling, Generative Geometry, and the International Standard ISO 10303 (STEP)".

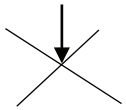
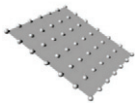
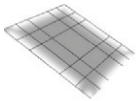
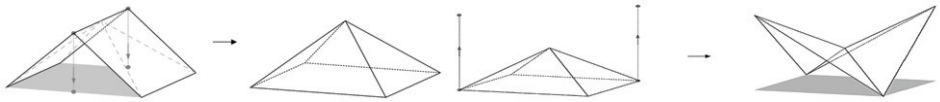
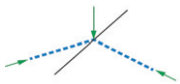
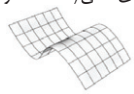
طنابی) را می‌توان با آگاهی از هندسهٔ ایستا شناخت.

به‌طورکلی، ایدهٔ توسعهٔ روش شناخت هندسی این است که، با ترکیب عناصر معماری و عناصر سازه‌ای، یک شکل سه‌بعدی معماری از یک مدل هندسی با اطلاعات گوناگون سازه‌ای ایجاد شود.

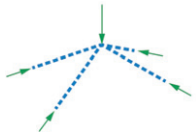
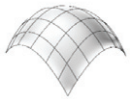
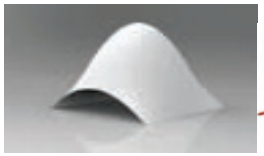
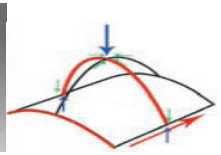
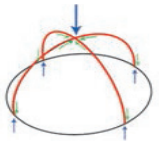
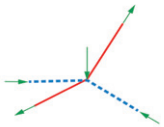
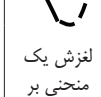
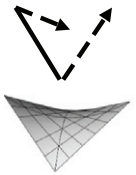
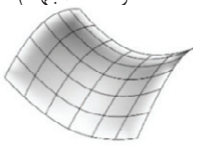
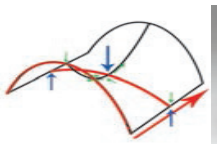
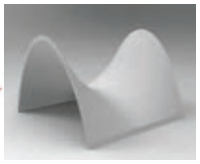
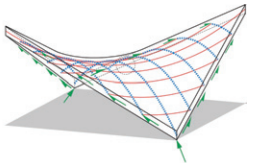
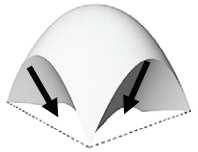
بنابراین در تحقیق حاضر شناخت هندسی اساساً از سه لایهٔ مختلف در طراحی مفهومی سازه تشکیل شده است: هندسهٔ توصیفی، هندسهٔ سازنده، و هندسهٔ ایستا. هر لایه می‌تواند وجه خاصی از درک سازه‌ای را درگیر کند و در پیوند با یکدیگر، ابعاد چندگانه‌ای را در یک فرایند طراحی معماری نشان دهند (جدول ۱). در اینجا، سه مؤلفهٔ هندسی فوق به‌منزلهٔ رویکرد و مداخلهٔ مد نظر در مراحل و گام‌های بعدی برای بهبود توانایی‌ها و اصلاح چالش‌های مشارکت‌کنندگان پیشنهاد می‌شود.

۵. یافته‌های پژوهش: نتایج پیش‌آزمون و پس‌آزمون

نتایج پژوهش در «جدول ۲» نشان داده شده است، با توجه به چهارده سؤال عرضه‌شده در پرسش‌نامهٔ رضایتمندی، میانگین

هندسهٔ ایستایی	هندسهٔ سازنده			هندسهٔ توصیفی		
	انتقالی	خطی	دورانی			
فرم غیرفعال: عناصر خطی و صفحه‌ای مستقیم با ساختار یکپارچه و ممتد یا میله‌ای و مشبک فرم نیمه‌فعال: عناصر خطی و صفحه‌ای مورب با ساختار یکپارچه و ممتد یا میله‌ای و تاشده) 		لغزش یک خط صاف بر روی دو خط صاف و مستقیم		نقطه	نقاط کنترل‌کنندهٔ خطوط و سطح 	صفحهٔ مسطح (گسترش‌پذیر)
				خط	شامل انحناهای اصلی (دو خط صاف) 	
						
فرم نیمه‌فعال: مقاطع منحنی غیرطنابی و سطوح منحنی غیرطنابی فرم فعال: مقاطع (معکوس) منحنی طنابی و زنجیره‌وار و سطوح منحنی طنابی با انحنای منفرد 	لغزش یک خط منحنی بر روی دو خط صاف و مستقیم	لغزش یک خط صاف و مستقیم بر روی دو خط منحنی	چرخش یک خط صاف بر روی یک خط منحنی	نقطه	نقاط کنترل‌کنندهٔ خطوط و سطح 	صفحهٔ منحنی منفرد (گسترش‌پذیر)
				خط	شامل انحناهای اصلی (خط صاف و خط منحنی) 	

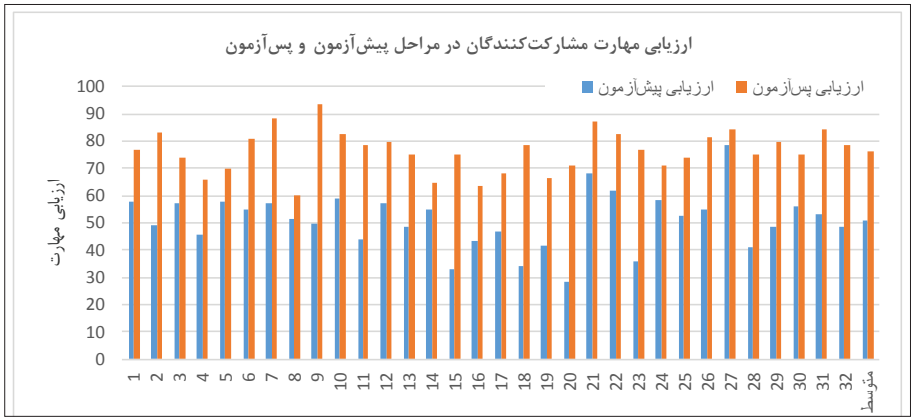
جدول ۱. تعامل برخی از مفاهیم شناخت‌های هندسی در طراحی سازه با استفاده از داده‌های هندسی، تنظیم: نگارندگان.

هندسهٔ ایستایی	هندسهٔ سازنده			هندسهٔ توصیفی		
	انتقالی	خطی	دورانی			
فرم نیمه‌فعال : سطوح منحنی غیرطنابی فرم فعال: سیستم زنجیره‌وار و سیستم خودپایدار 	 لغزش یک منحنی بر روی دو منحنی		 چرخش یک خط منحنی بر روی یک خط منحنی	نقطه	 نقاط کنترل‌کنندهٔ خطوط و سطح	صفحه منحنی مضاعف یک‌طرفه (گسترش‌ناپذیر)
				خط	شامل انحناهای اصلی (دو خط منحنی متعامد و هم‌جهت) 	
 						
فرم فعال: سیستم خودپایدار 	 لغزش یک منحنی بر روی دو منحنی	 لغزش یک خط صاف بر روی دو خط صاف مختلف‌الجهت	 چرخش (لغزش) یک خط منحنی بر روی یک خط منحنی	نقطه	 نقاط کنترل‌کنندهٔ خطوط و سطح	صفحهٔ منحنی مضاعف دوطرفه (گسترش‌ناپذیر)
				خط	شامل انحناهای اصلی (دو خط منحنی متعامد و مختلف‌الجهت) 	
  						
حجم						

ادامهٔ جدول ۱.
تعامل برخی از مفاهیم شناخت‌های هندسی در طراحی سازه با استفاده از داده‌های هندسی، تنظیم: نگارندگان.

جدول ۲ (بالا). نتایج ارزیابی میزان رضایتمندی مشارکت‌کنندگان با اولویت‌بندی نمرات از بیشتر به کمتر، تدوین: نگارندگان.
ت ۱ (پایین). نمودار میله‌ای ارزیابی مهارت مشارکت‌کنندگان در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون، ترسیم: نگارندگان.

معیارهای ارزیابی میزان رضایتمندی (با اولویت‌بندی نمره از بیشتر به کمتر)	ارزیابی (از ۵)	ارزیابی (درصد)
۱. میزان رضایتمندی کلی از روش عرضه‌شده	۴/۵۲	۹۰
۲. میزان رضایتمندی در ترسیم سطوح و فرم‌های گوناگون سازه‌ای	۴/۳۸	۸۸
۳. میزان رضایتمندی در افزایش قدرت خلاقیت و نوآوری در طراحی	۴/۳۵	۸۷
۴. میزان رضایتمندی در قابلیت تحلیل رابطهٔ مابین فرم معماری و فرم سازه	۴/۲۹	۸۵
۵. میزان رضایتمندی در توانایی تجسم و درک ذهنی سازه در فضای سه‌بعدی	۴/۱۴	۸۳
۶. میزان رضایتمندی در به‌کارگیری مؤثر دانش سازه در مرحلهٔ طراحی مفهومی	۴/۱۱	۸۲
۷. میزان رضایتمندی در توانایی تحلیل مفاهیم منطقی (فنی) سازه	۴/۰۸	۸۱/۶
۸. میزان رضایتمندی در توانایی تحلیل مفاهیم هنری (غیرفنی) سازه	۴/۰۸	۸۱/۶
۹. میزان رضایتمندی در تسهیل حل مسائل و اهداف طراحی سازه	۴/۰۸	۸۱/۶
۱۰. میزان رضایتمندی در افزایش تعامل میان طراحی سازه و طراحی معماری	۴/۰۸	۸۱/۶
۱۱. میزان رضایتمندی در قابلیت کاربرد در ایده‌پردازی و طراحی کانسپت	۴/۰۸	۸۱
۱۲. میزان رضایتمندی در نظم دادن به فرایند طراحی سازه در معماری	۳/۸۸	۷۷/۶
۱۳. میزان رضایتمندی در طراحی پیکربندی و اجزای مختلف سازه	۳/۸۵	۷۷
۱۴. میزان رضایتمندی در تحلیل روابط مابین اجزای مختلف سازه	۳/۶۱	۷۲
میانگین کل	۴/۱۰	۸۲



کل میزان رضایتمندی مشارکت‌کنندگان در تحقیق از روش شناخت هندسی در مرحلهٔ پس‌آزمون ۸۲٪ است. در بررسی میانگین هریک از سؤالات مربوط به رضایتمندی، میانگین میزان رضایتمندی مشارکت‌کنندگان در یازده مؤلفهٔ عرضه‌شده در پرسش‌نامه، بیش از ۸۱٪ محاسبه شده است و میانگین میزان رضایتمندی دربارهٔ سه مؤلفهٔ دیگر بین ۷۲ تا ۷۷٪ است.

مطابق تحلیل کمّی دیگری، نتایج آماری پژوهش در زمینهٔ ارزیابی و مقایسهٔ میزان مهارت و توانایی مشارکت‌کنندگان در تحقیق در مراحل پیش‌آزمون و پس آزمون در «جدول‌های ۳ و ۴» و «ت ۱» نشان داده شده است. همان‌طور که در «جدول ۴» مشخص است، در مقایسهٔ آزمون‌های میان مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون توسط اساتید و متخصصان، میانگین ارزیابی معیار «نقش سازه در فرم‌دهی به معماری» از ۵۱/۶۰ به ۷۹/۶۰، معیار «فرم کلی درست و منطقی سازه» از ۵۵/۶۰ به ۷۹/۲۰، معیار «پیکربندی منطقی سازه» از ۴۶/۶۰ به ۷۳، و معیار «نو بودن روش حل مسئلهٔ سازه‌ای» از ۴۶/۸۰ به ۷۳/۲۰ افزایش داشته است.

در این پژوهش از آزمون T همبسته یا زوجی با استفاده از نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. آزمون T همبسته یا زوجی هنگامی به کار می‌رود که یک متغیر در یک گروه در دو وضعیت متفاوت سنجیده می‌شود و تفاوت این دو قابل‌مقایسه است. در پژوهش حاضر مشارکت‌کنندگان در آزمون در دو وضعیت گوناگون، قبل و بعد از اِعمال مداخلهٔ شناخت هندسی، ارزیابی شدند. داده‌های این‌گونه آزمایش‌ها به‌طور معمول دارای دو متغیر هستند. یک متغیر مربوط به حالت اول از یک نمونه (یا گروه) و متغیر دیگر مربوط به حالت دوم از همان نمونه (یا گروه) است.

ابتدا نمرات اسکیس‌های مشارکت‌کنندگان با توجه به دانش و تجربیات سازه‌ای و طراحی هریک از آنها ارزیابی شد. سپس مداخلهٔ مورد نظر بر اساس شناخت هندسی بر روی آنان

انجام گرفت و در پس‌آزمون نمرات اسکیس این گروه مجدداً ثبت شد. در مرحلهٔ بعد با استفاده از تحلیل T زوجی، نمرهٔ پس‌آزمون با پیش‌آزمون مقایسه شد تا مشخص گردد که آیا تغییری در میزان مهارت و توانایی مشارکت‌کنندگان در طراحی سازه پس از کاربرد روش هندسی در طراحی مفهومی سازه در معماری ایجاد شده است یا خیر.

همان‌گونه که در «جدول‌های ۵» مشاهده می‌گردد، میانگین نمرات اسکیس مشارکت‌کنندگان در پیش‌آزمون ۵۰٫۹۴ بود که در پس‌آزمون به ۷۶٫۴۰ افزایش یافته است. همچنین میزان همبستگی دو متغیر بررسی شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، علامت sig سطح اطمینان مورد نظر را به مقدار ۰٫۰۴۸ نشان می‌دهد که با توجه به اینکه از مقدار ۰٫۰۵ کوچک‌تر است، میزان همبستگی بین دو متغیر معنی‌دار است. همچنین، میزان tailed–2 Sig برابر با ۰٫۰۰۰ به‌دست آمده است (p =۰٫۰۰۰) و چون این مقدار از میزان ۰٫۰۵ کوچک‌تر است، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش نمرات پس‌آزمون نسبت به نمرات پیش‌آزمون از نظر آماری نیز معنی‌دار است، بنابراین کاربرد شناخت هندسی قابلیت طراحان را در طراحی مفهومی سازه در حد قابل‌قبولی افزایش می‌دهد.

همچنین همان‌طور که در هریک از بخش‌های «جدول‌های ۶ الی ۹» مشاهده می‌شود، شاخص سنجش جداگانهٔ هریک از معیارها، یعنی tailed-2 Sig، کمتر از ۰٫۰۵ است که می‌توان افزایش معنی‌داری نمرات آنها را در مرحلهٔ پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون تأیید کرد. به بیان دیگر، روش شناخت هندسی توانایی مشارکت‌کنندگان را در زمینهٔ هرکدام از معیارهای فوق در حد قابل‌قبولی افزایش داده است.

به‌طورکلی، نتایج آماری در بخش کمّی پژوهشْ دربارهٔ سنجش میزان مهارت مشارکت‌کنندگان در استفاده از دانش سازه در آزمون‌های اسکیس نشان می‌دهد که، با توجه به ارزیابی داوران، میانگین نمرات اسکیس‌های همهٔ مشارکت‌کنندگان (شامل دانشجویان با میزان مختلفی از سطح دانش سازه و مهارت طراحی) در مرحلهٔ پس‌آزمون نسبت به میانگین نمرات اسکیس‌های آنها در مرحلهٔ پیش‌آزمون ارتقا یافته است که این میزان از افزایش نمرات برای افراد مختلف متفاوت بوده است.

جدول ۳ (بالا).
نتایج ارزیابی مهارت مشارکت‌کنندگان در مراحل پیش‌آزمون و پس آزمون توسط داوران، تدوین: نگارندگان.

متوسط نمره‌های پیش‌آزمون هر مشارکت‌کننده				متوسط نمره‌های پس‌آزمون هر مشارکت‌کننده			
پیش‌آزمون۱ (از ۲۰)	پیش‌آزمون۲ (از ۲۰)	متوسط پیش‌آزمون (از ۲۰ و ۱۰۰)		پس‌آزمون۱ (از ۲۰)	پس‌آزمون۲ (از ۲۰)	متوسط پس‌آزمون (از ۲۰ و ۱۰۰)	
متوسط نمرات پیش‌آزمون کل مشارکت‌کنندگان از ۱۰۰		۵۰٫۹۴		متوسط نمرات پس‌آزمون کل مشارکت‌کنندگان از ۱۰۰			۷۶٫۴۰

جدول ۴ (میان).
نتایج ارزیابی مهارت مشارکت‌کنندگان با توجه به هر معیار، تدوین: نگارندگان.

جدول ارزیابی مهارت مشارکت‌کنندگان	متوسط معیارهای پیش‌آزمون برای هر مشارکت‌کننده (از ۵ نمره)				متوسط معیارهای پس‌آزمون برای هر مشارکت‌کننده (از ۵ نمره)			
	معیار ۱	معیار ۲	معیار ۳	معیار ۴	معیار ۱	معیار ۲	معیار ۳	معیار ۴
	پیش‌آزمون (از ۵ و از ۱۰۰)				پس‌آزمون (از ۵ و از ۱۰۰)			
متوسط کل نمرات معیارهای پیش‌آزمون و پس‌آزمون	۲٫۵۸	۲٫۷۸	۲٫۳۳	۲٫۳۴	۳٫۹۸	۳٫۹۶	۳٫۶۵	۳٫۶۶
	۵۱٫۶۰	۵۵٫۶۰	۴۶٫۶۰	۴۶٫۸۰	۷۹٫۶۰	۷۹٫۲۰	۷۳	۷۳٫۲۰

جدول‌های ۵. ارزیابی میانگین و معنی‌داری میانگین کل نمرات مشارکت‌کنندگان در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون، تدوین: نگارندگان.

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	pretest	50.9406	32	10.30494	1.82167
	protest	76.4000	32	7.70617	1.36227

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	pretest & protest	32	.352	.048

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	pretest - protest	-25.45938	10.47232	1.85126	-29.23505	-21.68370	-13.752	31	.000

نتایج تحقیق در این باره نشان می‌دهد که در اغلب مواردْ مشارکت‌کنندگانی که (با توجه به معدل آموزشی و ارزیابی بخش مطالعات پایلوت) دارای دانش و اطلاعات سازه‌ای بیشتری بودند، به نتایج بهتری در استفاده از شناخت هندسی برای تفسیر و به‌کارگیری دانش سازه در گام طراحی سازه دست یافته‌اند. در مقابل، در مورد برخی از نمونه‌ها، مشارکت‌کنندگانی که دارای سطح پایین‌تری از دانش اولیهٔ سازه‌ای نسبت به دیگران بودند، میانگین نمرات آنها پس از اعمال شناخت هندسی کمتر بوده است.

همچنین نتایج پژوهش نشان می‌دهد که متوسط نمرات پس‌آزمون بیش از نیمی از مشارکت‌کنندگان در بخش کمّی (یعنی حدود ۵۳٪ از مشارکت‌کنندگان) از متوسط نمرات پس‌آزمون کل مشارکت‌کنندگان (یعنی نمرهٔ ۷۶٫۴۰ از ۱۰۰) بیشتر است. در این زمینه، بسیاری از این گروه از مشارکت‌کنندگان شامل افرادی با آگاهی بالاتر در زمینهٔ اطلاعات سازه‌ای و مهارت طراحی هستند (به‌طور مثال دانشجویان قوی‌تر). همچنین در یک بررسی مشابه مشاهده شد که متوسط نمرات پیش‌آزمون بیش از نیمی از مشارکت‌کنندگان در بخش کمّی (یعنی حدود ۵۳٪ از مشارکت‌کنندگان) از متوسط نمرات پیش‌آزمون کل مشارکت‌کنندگان (یعنی نمرهٔ ۵۰٫۹۴ از ۱۰۰) بیشتر است. با بررسی نمرات این گروه از افراد در مرحلهٔ پس‌آزمون مشاهده می‌شود که میانگین نمرات پس‌آزمون بیشتر این افراد نیز از متوسط نمرات پس‌آزمون کل (یعنی نمرهٔ ۷۶٫۴۰ از ۱۰۰) بیشتر شده است.

از مقایسه نتایج فوق می‌توان دریافت که، علی‌رغم اینکه مهارت همهٔ مشارکت‌کنندگان با هر سطح از دانش سازه و مهارت در طراحی (شامل مشارکت‌کنندگان ضعیف، متوسط، و قوی)، پس از استفاده از شناخت هندسی در گام طراحی سازه ارتقای قابل‌قبولی داشته است، ولی داشتن اطلاعات پایه و آشنایی بیشتر دربارهٔ مفاهیم سازه و سیستم‌های سازه‌ای نسبت به زمانی که اطلاعات اولیه از دانش سازه کمتر است و می‌تواند تأثیر بهتری در استفادهٔ بهینه از شناخت هندسی در گام طراحی سازه داشته باشد (ت ۲).

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	pretest	2.5859	32	.67449	.11923
	protest	3.9866	32	.44754	.07912

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	pretest & protest	32	.377	.034

جدول‌های ۶. ارزیابی میانگین و معنی‌داری معیار «نقش سازه در فرم‌دهی به معماری» در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون، تدوین: نگارندگان.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1	pretest - protest	-1.40062	.65404	.11562	-1.63643	-1.16482	-12.114	31	.000

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	pretest	2.7834	32	.56953	1.0068
	protest	3.9659	32	.45287	.08006

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	pretest & protest	32	.282	.118

جدول‌های ۷. ارزیابی میانگین و معنی داری معیار «فرم کلی درست و منطقی سازه» در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون، تدوین: نگارندگان.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1	pretest - protest	-1.18250	.61964	.10954	-1.40590	-.95910	-10.795	31	.000

نتیجه‌گیری

در مرحلهٔ پس‌آزمون و بخش مطالعات اصلی تحقیقْ مقوله‌های هندسه‌های توصیفی، سازنده، و ایستا با عنوان راه حل پیشنهاد شدند و سپس هر کدام به‌طور دقیق تبیین شد. در این مرحله از تحقیق، راه حل‌هایی با عنوان مداخله‌های مورد نظر به مشارکت‌کنندگان اعلام و از آنها خواسته شد که شناخت‌های سه‌گانهٔ هندسی فوق را در فرایند مفهومی طراحی سازه استفاده کنند.

راهکار یافتن هندسهٔ سازه به شناسایی آن در سه سطح از فضای طراحی مرتبط است:

ـ توجه به نسبت داده‌های هندسی و هندسهٔ سازه (با پشتیبانی عمده توسط هندسهٔ توصیفی)،

ـ توجه به نسبت داده‌های هندسی و مفاهیم سازه‌ای (با پشتیبانی عمده توسط هندسهٔ ایستا)، و

ـ توجه به سازمان‌دهی داده‌های هندسی در هندسهٔ سازه (با پشتیبانی عمده توسط هندسهٔ سازنده).

این مقوله‌های طراحی از یکدیگر نشئت می‌گیرند و تعامل آنها با یکدیگر در طی فرایند طراحی اساس این روش را شکل می‌دهد.

اندیشهٔ پایداری و دوام سازه از طریق شناخت هندسی عمدتاً با رویکرد هندسهٔ ایستا بررسی می‌شود. هندسهٔ ایستا صریح‌ترین نوع شناخت هندسی در طراحی سازه و مبتنی بر ارتباط مستقیم هندسهٔ سازه با مفاهیم نیروشناختی و باربری است. در مقایسه با دیگر شناخت‌های هندسی، به این نوع شناخت در منابع و نوشته‌های موجود بیشتر پرداخته شده است. بنابراین، هندسهٔ ایستا اولین نوع از شناخت‌های هندسی بود که به آن پرداخته شد و به‌منزلهٔ یک مداخلهٔ هندسی در طرح‌های مشارکت‌کنندگان بررسی شد. آگاهی مشارکت‌کننده از شناخت هندسهٔ ایستا به‌تنهایی نمی‌تواند در تفسیر و طراحی بسیاری از وجوه طراحی سازه در بستر یک طرح معماری مؤثر باشد؛ به‌طور مثال، ابعاد تأثیرگذار در روش ساخت، کیفیت‌های فضایی سازه، و رویکردهای هنری طراحی سازه در گام طراحی از طریق هندسهٔ ایستا چندان قابل‌استخراج نبود. بنابراین همواره تعامل میان هندسهٔ ایستا با هندسه‌های توصیفی و سازنده قابلیت

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	pretest & protest	32	.177	.334

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	pretest	2.3359	32	.59545	.10526
	protest	3.6531	32	.48216	.08524

جدول‌های ۸. ارزیابی میانگین و معنی‌داری معیار «پیکربندی و منطقی سازه» در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون، تدوین: نگارندگان.

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1 pretest - protest	-1.31719	.69689	.12319	-1.56844	-1.06593	-10.692	31	.000

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	pretest	2.3403	32	.62754	.11093
	protest	3.6694	32	.45465	.08037

جدول‌های ۹. ارزیابی میانگین و معنی‌داری معیار «نو بودن روش حل مسئلهٔ سازه‌ای» در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون، تدوین: نگارندگان.

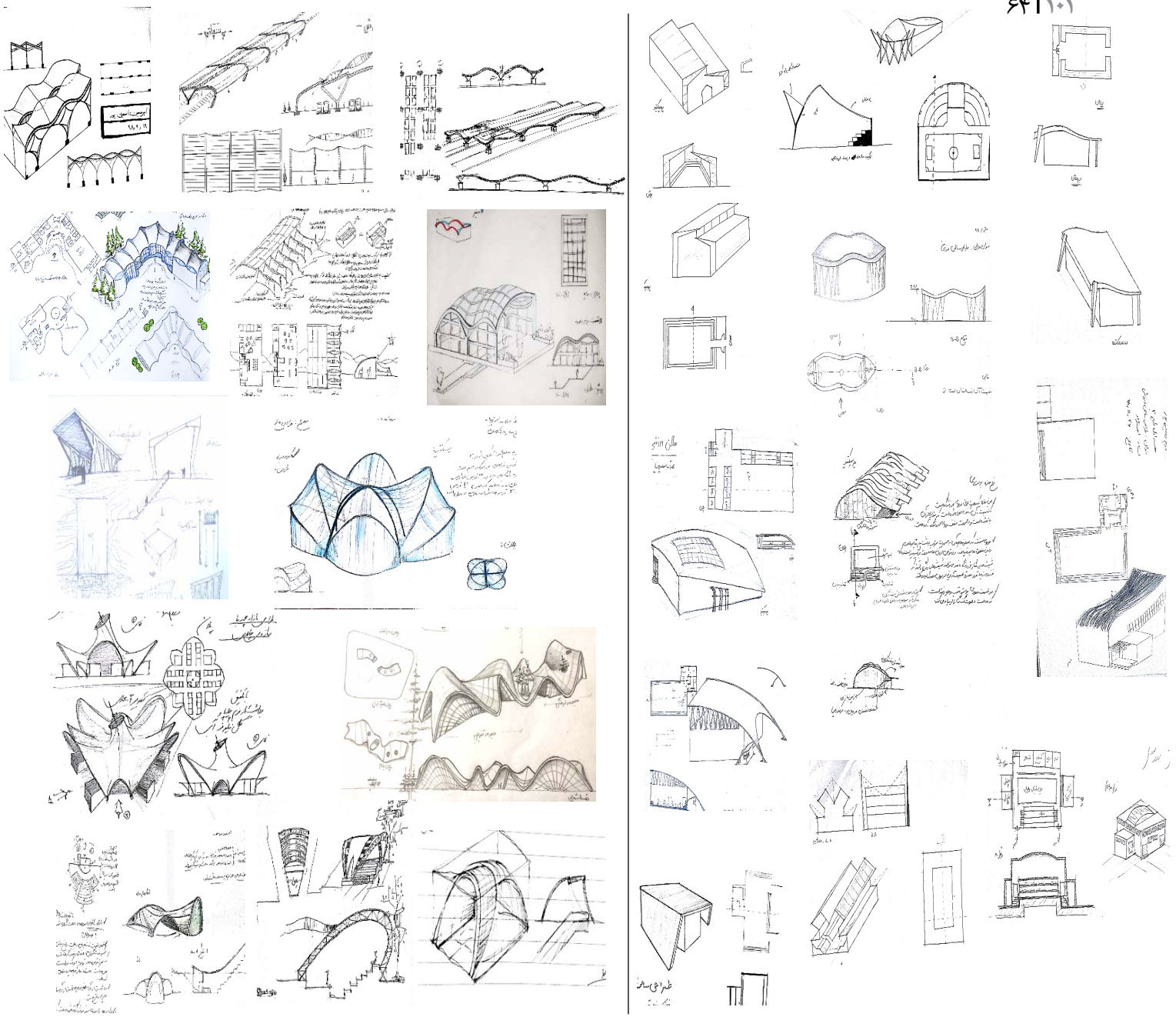
Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	pretest & protest	32	.169	.355

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1 pretest - protest	-1.32906	.70996	.12550	-1.58503	-1.07310	-10.590	31	.000

ت ۲.
نمونه‌هایی از اسکیس‌های دانشجویان معماری؛ راست: مرحلهٔ پیش‌آزمون؛ چپ: مرحلهٔ پس‌آزمون.



طراح را در تفسیر و کاربرد وجوه گوناگون طراحی سازه میسّر کرده است؛ به‌طور مثال، گاهی اوقات از تعامل هندسهٔ ایستا با هندسهٔ توصیفی و هندسهٔ سازنده برخی از مفاهیم علمی سازه قابل‌تفسیر و انتقال در گام طراحی سازه هستند. این هدف از طریق توضیح و سازمان‌دهی منطقی داده‌های هندسی در سطح فرم سازه دنبال می‌شود که می‌تواند منجر به دستیابی به اطلاعاتی در زمینه‌های تعادل و پایداری، استحکام و سختی، و غیره شود.

بخش کمّی تحقیق در دو گام انجام شد. در گام اول، میزان رضایتمندی مشارکت‌کنندگان در تحقیق دربارهٔ روش شناخت هندسی اعمال‌شده در طراحی سازه بررسی شد که نتایج نمایانگر میزان رضایتمندی قابل‌قبول آنها از بخش‌های مختلف روش هندسی است. ارزیابی دوم بر روی اسکیس‌های مشارکت‌کنندگان از سوی متخصصان و اساتید معماری صورت گرفت. با مقایسهٔ دو گروه از آزمون‌ها در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون مشخص می‌شود که برخی از معیارها و فرایندهای تعیین‌شده به شکل معناداری تغییر کردند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که شناخت هندسی بر میزان تغییرات چهار معیارِ مختلف شامل نقش سازه در فرم‌دهی به معماری، فرم کلیِ درست و منطقی سازه، پیکربندی منطقی اجزای گوناگون سازه، و نو بودن روش حل مسئلهٔ سازه‌ای تأثیر مثبت داشته است. به بیان دیگر، روش شناخت هندسی توانسته است میزان مهارت و توانایی دانشجویان را در زمینهٔ طراحی سازه نسبت به مرحلهٔ پیش‌آزمون به میزان قابل‌قبولی افزایش دهد.

منابع و مآخذ

احمدنژاد کریمی، مجید. *مدل پشتیبان طراحی سازه مبتنی بر شناخت هندسی در فرایند طراحی معماری (توصیه‌ای برای دانشجویان معماری)*. پایان‌نامهٔ دکتری تخصصی معماری، دانشگاه هنر اصفهان، ۱۳۹۹.

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

Adriaenssens, S. & Ph. Block & D. Veenendaal & Ch. Williams. *Shell Structures for Architecture: Form Finding and Optimization*. New York: Routledge, 2014.

Bizoń, M.S. "Physical Model in Descriptive Geometry – Good Idea?". In International Conference on Engineering Education – ICEE 2007. Coimbra, Portugal, 2007.

Ceccato, C. & L. Hesselgren & M. Pauly & H. Pottmann & J. Wallner, eds. *Advances in Architectural Geometry*. Springer, 2010.

Collins, K.M.T. & A.J. Onwuegbuzie & Q.G. Jiao. "A Mixed Methods Investigation of Mixed Methods Sampling Designs in Social and Health Science Research". In *Journal of Mixed Methods Research*. 1.3 (2007), pp. 267-294.

Gengnagl, C. & A. Kilian & N. Palz & F. Scheurer, eds. "Computational Design Modeling". In *Proceedings of the Design Modeling Symposium Berlin*. Springer, 2011.

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

Leopold, C. "Geometry Concepts in Architectural Design". In *12th International Conference on Geometry and Graphics*. Salvador, Brazil, 2006.

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

Macdonald, A.J. *Structure and Architecture*. New York: Routledge Press, 2019.

Mainstone, R.J. *Developments in Structural Form*. Oxford: Architectural Press, 2001.

Migliari, R. "Descriptive Geometry: From it's Past to its Future". In *Nexus Netw Journal*, Vol.14, No. 3 (2012), pp. 555-571.

Motro, R. (ed). *First International Conference on Structural Morphology*: Abstracts, Montpellier, France, 1992.

Polit, DF. & CT. Beck. *Essentials of Nursing Research: Methods, Appraisal, and Utilization*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 2006.

Pottmann, H. & A. Kilian & M. Hofer, (eds). "Advances in Architectural Geometry". In *Proceedings of the Conference, Vienna, 13-16 September 2008*. Vienna University of Technology, 2008.

Pratt, M.J. "Procedural Modelling, Generative Geometry, and the International Standard ISO 10303 (STEP)". In *Mathematics of Surfaces 10th IMA International Conference, Leeds*, UK,

September 15-17, 2003, proceedings. Berlin Heidelberg (Germany), Springer. 2768, 2003, pp. 320-337.

Putz, C. "On the Selection of Topics Suitable for Descriptive Geometry Courses for University Students of Architectures". In *Journal for Geometry and Graphics*, 4(2) (2000).

_____ . "Teaching Descriptive Geometry for Architects: Didactic Principles and Effective Methods Demonstrated by the Example of Monge Projection". In 6th International Conference of Graphics Engineering for Arts and Design, Brazil, 2001.

Shelden, D.R. *Digital Surface Representation and the Constructibility of Gehry's Architecture*. Ph.D. thesis. Massachusetts Institute of Technology, 2002.

Strauven, I. & L. Ney. *Ney & Partners Freedom of form Finding*. V. Brunetta & V. Patteeuw, eds., Antwerpen: Vlaams Architecture Institute, 2005.

Tashakkori, A. & C. Teddlie. *Mixed Methodology: Combining Qualitative and Quantitative Approaches*. New York: Sage Publications. 1998.

Wang, L. & W. Shen & H. Xie & J. Neelamkavil & A. Pardasani. "Collaborative Conceptual Design –State of the Art and Future Trends". In *Computer-Aided Design*, 34 (2002), pp. 981-996.

Evaluating the Effects of Using Geometric Cognition of Structures in Architectural Design; The Case of Architecture Students

Majid Ahmad Nejad Karimi, Ph.D. (corresponding author)
Faculty of Architecture and Urban Design, Art University of Isfahan
Mehdi Mahmoudi Kamel Abad, Ph.D.
Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urban Design, Art University of Isfahan
Maryam Azimi, Ph.D.
Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urban Design, Art University of Isfahan

Extensive research has been done on various aspects of structural knowledge. The main problem with most results is the lack of sufficient attention to how structural knowledge should be present in the design process. Structural knowledge contains two main types of cognition: numerical and geometric. With both cognitions having their merits in the design process, structural cognition deserves to be present from initial to implementation stages; and it is the important and valuable position of geometry that has been ignored amidst computational difficulties and the development of structural design and analytical tools. Many structural solutions are realised based on geometrical cognition. The main purpose of this study is to evaluate the effect of geometric cognition on activities related to structural design in architecture. The study starts with thoroughly introducing the aspects of geometric cognition of the structure. Then, the quantitative research strategy is used to statistically measure the two parameters of satisfaction and skill enhancement of architecture students following the application of geometric cognition method in structural design. For quantitative analysis, the paired t-test method is used using SPSS software. The results show that the use of geometric cognition has a positive effect on the level of satisfaction and skill of participants in applying structural knowledge in architectural designs.

Keywords: Geometric cognition, Structural knowledge, Structural design, Architectural design, Architecture students.