

Investigating the FBS coding method in the analysis of design protocols (case study: comparing behavior change the design of architecture students in relation to complex design problems)

Mohammad Ali Ashraf Ganjouei, Ph.D.* 

Associate Professor, Faculty of Arts and Architecture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: July 17, 2024

Revised: October 28, 2024

Accepted: November 03, 2024

(Pages: 19–36)

Ashraf Ganjouei, Mohammad Ali. "Investigating the FBS coding method in the analysis of design protocols (case study: comparing behavior change the design of architecture students in relation to complex design problems)". *Soffeh* 36, no. 1 (2026): 19–36.

DOI: <http://doi.org/10.48308/soffeh.2026.236005.1341>

Abstract:

Background and objectives: Idea generation is a critical stage in architectural design, moving from initial concepts to refined solutions through an iterative process of development and revision. To study the cognitive aspects of design, protocol analysis—which examines verbalised thought during design—has been a trusted method for over fifty years, providing insights into designers' strategies, reasoning, and shifts in focus. While various coding schemes classify design statements, their diversity limits cross-study comparability.

The Function–Behaviour–Structure (FBS) model, developed more than three decades ago, offers a structured, versatile framework for analysing design protocols. It organises design reasoning into Function (F)—defining goals; Behaviour (B)—including expected (Be) and structure-derived behaviours (Bs); and Structure (S)—the physical/formal aspects of

Keywords:

Design protocols, FBS method, Undergraduate architecture students.



SOFFEH

Soffeh Journal, Shahid Beheshti University, Vol. 36, Issue 1, No. 112, 2026



P-ISSN: 1683-870X

*. Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*. Corresponding Author Email Address: m_aganjouei@uk.ac.ir
<http://doi.org/10.48308/soffeh.2026.236005.1341>

design. Two additional categories, Requirements (R) and Documentation (D), capture contextual and representational elements. The model also identifies eight transformation processes, such as formulation, synthesis, analysis, evaluation, and reformulations, that map the pathways from problem definition to solution development.

Widely applied internationally but less so in Iran, FBS is here examined within Iranian architectural education. This study explores its effectiveness through a case-based analysis, focusing on how undergraduate students' design behaviours vary when tackling complex problems driven either by diversity of data or by ambiguity in problem definition.

Materials and methods: This exploratory case study used protocol analysis to examine how architectural design students respond to different forms of complexity. Participants were fourth-semester undergraduates who undertook two separate 30-minute team-based design exercises. The first involved creating a large commercial complex with over 20 distinct functional spaces on a challenging site, representing complexity from data diversity. The second required designing a neighbourhood library, marked by ambiguity in interpreting terms like 'neighbourhood' and 'social acceptability.' A short pre-task—designing a table—was conducted to familiarise students with collaborative work in a think-aloud format.

Working in pairs, students verbalised their thoughts continuously, following Ericsson and Simon's think-aloud method. All their utterances were recorded, transcribed verbatim, and segmented into atomic units, each containing a single design-related idea. These were coded according to FBS schema. Nonconforming statements were labelled 'O' (Other). Coding was performed twice by the same coder, with a ten-day gap between iterations, and reconciled to produce a final dataset.

Analysis occurred in several stages. Code distributions were calculated for each exercise to compare the prominence of categories under each complexity type. Next, sequences of codes were examined to identify the eight recognised FBS transformation processes, classified as individual or group depending on whether transitions occurred within or between participants. The ratio of problem-focused codes (R, F, Be) to solution-focused codes (Bs, S, D) was computed to assess attentional orientation. Finally, temporal analysis divided each session into five equal segments to track shifts in problem–solution emphasis over time. All statistical

processing used SPSS, enabling comparison of behavioural patterns across the two design problem types.

Results and conclusion: The comparative analysis revealed notable differences in how students approached the two types of complex design problems. In the ambiguous problem (Exercise 2), students devoted more attention to Requirements (R), Functions (F), and Expected Behaviours (Be)—elements tied to problem framing—than in the data-diverse problem (Exercise 1). This supports the idea that ambiguity encourages deeper engagement with goals, interpretation, and desired outcomes. In contrast, the data-diverse exercise drew stronger focus to Structure (S)—the material and formal characteristics of solutions—and to related representational processes.

The analysis of transformation processes showed that ambiguity prompted more individual-level formulation, reflecting continuous interpretation and problem definition. Data diversity, however, generated more analysis processes—linking structures to inferred behaviours—supporting solution evaluation. The data-diverse context also led to greater group-level synthesis—team-based generation of new structures from behavioural ideas—and more group reformulation processes exploring variations on proposed solutions.

Considering the ratio of problem-oriented to solution-oriented codes, ambiguous tasks yielded higher problem focus (0.17 vs. 0.08), indicating students stayed longer in the problem space. Temporal analysis reinforced this pattern: in ambiguous tasks, focus shifted steadily from problem to solution across the session. In data-diverse tasks, students began with solution focus, reverted mid-session to problem clarification—likely due to cognitive overload—then returned to refining solutions.

Group–individual process comparisons revealed that data diversity fostered more collaboration, possibly because diverse constraints require integrated viewpoints. Ambiguity, by contrast, increased individual activity, perhaps due to differing personal interpretations that hinder consensus.

These findings confirm that both ambiguity and data diversity distinctly shape design cognition. Ambiguity sustains problem-oriented thinking, fosters reinterpretation of goals, and encourages individual reflection. Data diversity channels attention toward tangible solutions, supports collaborative creativity, and promotes iterative returns to the problem space.

From a teaching perspective, manipulating problem complexity can be a purposeful instructional tool. Ambiguity can be used to prolong engagement in defining objectives and functions, while data diversity is well-suited to stimulating intense work on form and collaborative solution-building. The FBS framework's ability to chart temporal and categorical shifts offers educators a means to time interventions, such as encouraging reconsideration of problem goals.

Although the limited sample size constrains generalisation, the study demonstrates that the FBS coding method is effective and revealing in Iranian architectural design education. It provides a structured vocabulary for rich, detailed analysis of design reasoning. Broader studies in varied domains and with more participants could reinforce and expand these insights, contributing to both design research and pedagogy.

بررسی روش کدگذاری FBS در تحلیل بیانیه‌های طراحی

مطالعه موردی: مقایسه تغییر رفتار طراحی دانشجویان معماری

در ارتباط با مسائل پیچیده طراحی



محمدعلی اشرف گنجوئی

دانشیار دانشکده هنر و معماری صبا، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

دریافت: ۲۷ تیر ۱۴۰۳

بازبینی: ۷ آبان ۱۴۰۳

پذیرش: ۱۳ آبان ۱۴۰۳

(صفحه ۱۹-۳۶)

اشرف گنجوئی، محمدعلی. «بررسی روش کدگذاری FBS در تحلیل بیانیه‌های طراحی: مطالعه موردی: مقایسه تغییر رفتار طراحی دانشجویان معماری در ارتباط با مسائل پیچیده طراحی». فصلنامه علمی معماری و شهرسازی صفا، سال ۳۶، شماره ۱ (۱۴۰۵): ۱۹-۳۶.

کلیدواژگان: بیانیه طراحی، روش FBS، دانشجویان کارشناسی معماری.

چکیده

مجموعه‌ای از روش‌های آماری و با کمک نرم‌افزار SPSS تحلیل می‌شود. از این طریق، میزان تغییرات در توزیع هریک از موضوعات و فرایندهای مربوط به روش FBS به‌صورت جداگانه و تجمیع‌شده (بر اساس مدل مسئله / جواب) اندازه‌گیری می‌شود. در نهایت تغییرات اندیشه دانشجویان در طول زمان طراحی نسبت به دو موضوع مسئله و جواب ارزیابی می‌گردد.

نتایج و جمع‌بندی: یافته‌ها نشان می‌دهد که با کمک داده‌های حاصل از کدگذاری FBS می‌توان از ابعاد مختلف بیانیه‌های طراحی را بررسی کرد که این موضوع باعث تعمق در تغییر رفتار طراحی می‌شود، همچنین در خصوص امر مورد مطالعه، اثر مسئله طراحی از زوایای مختلف تجزیه و تحلیل می‌شود و نشان می‌دهد که مسئله طراحی چگونه می‌تواند بر کار فردی و گروهی اعضای تیم اثربخش باشد. نتایج نشان داد ابهام در تعریف مسئله باعث کاهش رفتارهای گروهی و توجه بیشتر به وجوه مسئله می‌شود؛ این در حالی است که در تمرین اول رفتار گروهی افزایش یافته و تمرکز بیشتر بر جواب است. در ضمن، با توجه به تغییرات رفتار طراحی در طول زمان، مشخص شد که برخلاف تمرین دوم که تمرکز طراحان از مسئله به جواب در طول طراحی تغییر نمی‌کند، در تمرین اول در نیمه جلسه طراحی، طراحان مسیر فکری خود را تغییر می‌دهند و به مسئله و وجوه آن بازمی‌گردند.

اهداف و پیشینه: روش تحلیل بیانیه یک روش معتبر در بررسی اندیشه طراحان و بیش از نیم قرن است که از آن استفاده می‌شود. در بین انواع روش‌های کدگذاری، روش FBS با بیش از ۳۰ سال قدمت، استفاده زیادی در تحلیل بیانیه‌های طراحی دارد. هرچند این روش در پژوهش‌های معتبر بین‌المللی کاربرد فراوانی دارد، اما در ایران چندان شناخته‌شده نیست. در این پژوهش ضمن آشنایی با این روش، تجربه استفاده از آن در قالب یک مورد پژوهی انجام می‌شود و تمایز رفتار طراحی یک گروه از دانشجویان ترم ۴ با دو مسئله پیچیده (تمرین اول: تنوع در داده‌های مسئله، تمرین دوم: ابهام در تعریف مسئله) کنکاش می‌شود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از روش تحلیل بیانیه استفاده می‌شود و ابتدا دانشجویان اندیشه‌های طراحی را حین طراحی به‌صورت بلند بیان می‌کنند، در این زمان صدای آنها ضبط و سپس پیاده و نگاشته می‌شود. در ادامه، این اندیشه‌ها بر اساس روش FBS با فاصله زمانی حداقل ده روز توسط یک کدگذار، ۲ بار کدگذاری می‌شود. سپس بین دو کدگذاری، قضاوت نهایی صورت می‌گیرد. داده‌های حاصل با کمک

1. m_aganjouei@uk.ac.ir



۱۱۲، شماره ۱، پیاپی: ۱۴۰۵، سال سی‌وششم، بهار ۱۴۰۵، فصلنامه علمی معماری و شهرسازی؛ سال سی‌وششم، بهار ۱۴۰۵، پیاپی: ۱۱۲
*. Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

صفا
فصلنامه علمی معماری و شهرسازی؛ سال سی‌وششم، بهار ۱۴۰۵، شماره ۱، پیاپی: ۱۴۰۵
*. Corresponding Author Email Address: m_aganjouei@uk.ac.ir
<http://doi.org/10.48308/soffeh.2026.236005.1341>

پرسش‌های پژوهش

۱. مبانی روش FBS (هدف، عملکرد، شکل) چیست و چگونه داده‌های مبتنی بر آن تحلیل می‌شود؟

۲. چه تفاوتی بین رفتار طراحی تیم دانشجویی در دو تجربه طراحی با مسائل پیچیده (تعدد داده‌ها در برابر ابهام مسئله) وجود دارد؟

مقدمه

فرایند ایده‌پردازی بخش مهمی از طراحی معماری و شامل بخش‌های متعددی است که طراح با طی آنها از ایده‌های اولیه به محصول نهایی دست می‌یابد. این فرایند ماهیتی تکرارشونده دارد و طراحان ایده‌های طراحی را قبل از نهایی شدن به روش‌های متعدد تعدیل می‌کنند.^۲ برای مطالعه فرایند طراحی، روش تحلیل بیانیه کاربرد زیادی دارد.^۳ اندیشه طراحان با مطالعه توضیحات ایشان، تحلیل می‌شود. از این طریق، پژوهشگران به استراتژی‌ها و تصمیمات طراحی در حین انجام فرایند طراحی دست می‌یابند. برای رسیدن به مرحله تحلیل باید در ابتدا بیانیه‌های طراحی بر اساس چارچوبی مشخص کدگذاری شوند.

تحقیقات نشان داده‌اند که انواع متنوعی از طرح‌های کدگذاری را می‌توان در مطالعه بیانیه‌های طراحی به کار گرفت.^۴ این روش‌ها به درک عمیق‌تر جنبه‌های مختلف فرایند طراحی کمک می‌کنند؛ باین‌حال، تنوع و ویژگی‌های منحصر هر طرح، امکان استفاده مجدد و مقایسه نتایج حاصل از این روش‌های کدگذاری، چه به صورت کیفی و چه به صورت کمی، را دشوار می‌کند.

برای غلبه بر این چالش، ضروری است یک صورت‌بندی مورد توافق از فرایند طراحی عرضه گردد. فرایند طراحی یک فعالیت چندبعدی و شامل مراحل مختلفی از جمله شناسایی مسائل، ایده‌پردازی، توسعه، و ارزیابی راه حل‌هاست. در این چارچوب، یکی از اهداف پژوهش حاضر، بررسی یک طرح کدگذاری اصولی است که به طور گسترده‌ای قابل استفاده و نتایج آن با کیفیت و قانع‌کننده باشد. با این طرح باید بتوان به درک عمیق‌تری از تفکر و فعالیت‌های طراحی رسید که قابلیت کاربرد در بیانیه‌های طراحی مرتبط با حوزه‌های مختلف را داشته باشد.

روش FBS^۵ به گونه‌ای طراحی شده است که بر مبنای یک بیانیه خاص استوار نیست و می‌تواند در بیانیه‌های طراحی به طور مشابه و مؤثری بهره‌برداری گردد. این روش را که جیرو و همکارانش توسعه داده‌اند، در دو دهه اخیر به تدریج ادبیات طراحی پژوهی گسترش یافته و بر شناخت فرایند طراحی تأثیر گذاشته است. با توجه به مقالات اصلی منتشرشده در مورد این روش^۶، تا سال ۲۰۲۰، محققان در بیش از ۳۵۰۰ مقاله در سراسر جهان به این مدل ارجاع داده‌اند.^۷ با کمک این روش می‌توان برخی از مدل‌هایی مرتبط با

2. D.A. Schon, *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action* (New York: Basic Books, 1983).
3. K.A. Ericsson and Herbert Alexander Simon, *Protocol Analysis (Revised Edition)* (Cambridge, MA: MIT press, 1993).
<http://digitalcollections.library.cmu.edu/awweb/awarchive?type=file&item=39233>.
4. N. Cross, H. Christiaans, and K. Dorst, "Introduction: The Delft Protocols Workshop", *Analysing Design Activity*, 1996, 1-16.
5. Function-Behavior-Structure
6. J.S. Gero, "Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design", *AI Magazine*, vol. 11, no. 4 (1990): 26; J.S. Gero and U. Kannengiesser, "The Situated Function-Behaviour-Structure Framework", *Design Studies* 25, no. 4 (2004): 373-391.
7. M. Ashraf Ganjouei and J.S. Gero, "Exploring the Effect of a Visual Constraint on Students' Design Cognition", *AI EDAM*, vol. 35, no. 1 (2021): 1-17.

۱. کدگذاری به روش FBS

رفتار طراحی را بررسی کرد؛ به‌طور مثال اینکه چگونه طراحان با کمک نیازمندی‌های مسئله، مسیر حرکت به‌سمت ایده‌های نهایی طراحی را می‌پیمایند.^۸ چگونه مسئله طراحی را تعریف و همین‌طور جواب‌های طراحی را تولید می‌کنند،^۹ و یا حتی به چه نحو با تأمل در ایده‌های خلق‌شده، فرایند طراحی را جلو می‌برند.^{۱۰} این روش می‌تواند همچنین در تجربیات گروهی طراحی استفاده شود^{۱۱} و با تحلیل داده‌ها می‌توان تغییرات رفتار طراحی را در طول زمان طراحی مطالعه کرد.^{۱۲}

روش FBS مزایا و معایب خاص خود را دارد. بر اساس این نوع از کدگذاری دانش طراحی به نحوی ساختارمند دسته‌بندی می‌شود که قابلیت تحلیل طراحی را افزایش دهد.^{۱۳} با این روش می‌توان به‌خوبی انواع اندیشه‌های شناختی را تبیین کرد.^{۱۴} باین‌حال این روش پیچیده است؛ چراکه نیاز به درک عمیق از داده‌های مرتبط با آن و همین‌طور نوع ارتباط بین ایده‌هاست، ممکن است این روش قابلیت همهٔ وجوه فرایند طراحی را نداشته باشد؛ به‌ویژه در حوزه‌هایی که متکی بر سنت‌های طراحی نیست و یا مسائل طراحی که متناسب با سه مفهوم هدف، عملکرد، و شکل نیستند.^{۱۵} باین‌حال در حوزه طراحی معماری این روش کاربرد زیادی داشته است،^{۱۶} ازاین‌رو در پژوهش حاضر به تحلیل آن پرداخته می‌شود.

در این پژوهش، پس از بررسی ویژگی‌های مدل FBS و تبیین دقیق‌تر آن، تحلیل‌های آماری مرتبط با این روش معرفی خواهند شد. سپس، کدگذاری و تحلیل یک موردپژوهی با استفاده ازاین روش انجام خواهد شد که به‌طور واضح‌تری کاربرد آن را در مطالعات طراحی نشان می‌دهد. ازاین‌طریق، به یکی از سؤالات پژوهش دربارهٔ تأثیر مسائل پیچیده بر رفتار طراحی دانشجویان ترم ۴ پاسخ داده خواهد شد.

طراحان از دوران روم باستان، به‌ویژه ویتروویوس، در مورد چگونگی طراحی مطالبی منتشر کرده‌اند، اما در قرن نوزدهم، متفکران طراحی واقعاً شروع به کار بر روی تبیین طراحی به‌منزلهٔ یک فرایند کردند. باین‌حال، تا دههٔ ۱۹۶۰ پژوهش‌های چندانی در این خصوص انجام نشد.^{۱۷} اما از آن دهه به فرایند طراحی توجه ویژه‌ای شد و از منظر سیستمی، فرایند طراحی^{۱۸} بررسی می‌شد. باین‌وجود در اوایل دههٔ ۱۹۹۰ با مدل‌های پردازش اطلاعات مبتنی بر مفاهیم هوش مصنوعی، جنبه‌های جدیدی از طراحی عرضه شد.^{۱۹} یکی از روش‌های مطرح در این دوره، مدل FBS بود که جان جیرو آن را مطرح کرده است. در ادامه وجوه این مدل بررسی می‌شود.

اساس روش FBS بر مبنای هدفمند بودن طراحی است. به‌طورکلی فعالیت طراحی هدف‌گراست.^{۲۰} هدف نهایی طراحی، تبدیل نیازها و انتظارات به محصول نهایی است، که ترسیم و توصیف شکلی طراحی است. این توصیف طراحی به‌طورکلی به‌صورت گرافیکی، عددی، یا متنی نمایش داده می‌شود. هدف از چنین توصیفی انتقال اطلاعات کافی در مورد محصول طراحی‌شده است تا بتوان آن را ساخت. این انتظار می‌رود که محصول طراحی‌شده به محدودیت‌های طبیعی و اجتماعی پاسخ دهد.

در چارچوب مدل FBS، طراحی به‌صورت سه دستهٔ اصلی از متغیرها تعریف می‌شود: هدف، عملکرد (رفتار)، و شکل.^{۲۱} به‌طورکلی در این مدل، اندیشهٔ طراحی شامل موضوعات طراحی^{۲۲} و رابطهٔ بین آنها به‌مثابهٔ یک فرایند طراحی^{۲۳} می‌شود. درواقع این فرض وجود دارد که هر موضوع طراحی که در ذهن طراح می‌گذرد، به موضوع قبلی یا بعدی آن در ارتباط است.^{۲۴} در این مدل ابتدا نیازمندی‌های مسئله (R) تعریف می‌شود و در ادامهٔ آن بایستی اهداف طراحی (F) به شکل (S) ترسیمات

8. Gero and Kannengiesser, "The Situated Function-Behaviour-Structure Framework".
9. H. Jiang, J.S. Gero, and Ch-Ch. Yen, "Exploring Designing Styles Using a Problem-Solution Division," in *Design Computing and Cognition* '12, ed. John S. Gero (Springer, 2014), 85-101.
10. Ashraf Ganjouei and Gero, "Exploring the Effect of a Visual Constraint on Students' Design Cognition".
11. J. Gero and Julie Milovanovic, "The Situated Function-Behavior-Structure Co-Design Model", *CoDesign*, 17, no. 2 (2021): 211-236.
12. Wai Tak Kan and John Gero, *Quantitative Methods for Studying Design Protocols* (Springer Netherlands, 2017).
13. John Gero and Udo Kannengiesser, "The Function-Behaviour-Structure Ontology of Design". *An Anthology of Theories and Models of Design*, Springer, 2014, 263-283.
14. Jeff WT Kan and John S. Gero, "Using the FBS Ontology to Capture Semantic Design Information in Design Protocol Studies," in *About: Designing. Analysing Design Meetings*, ed. J McDonnell and P Lloyd (CRC Press, 2009), 213-229.

15. Udo Kannengiesser and John S. Gero, "Design Thinking, Fast and Slow: A Framework for Kahneman's Dual-System Theory in Design", *Design Science*, 5 (2019): e10.
16. Rongrong Yu, Ning Gu, and Michael Ostwald, "Using Situated FBS Ontology to Explore Designers' Patterns of Behavior in Parametric Environments", *Journal of Information Technology in Construction* 17 (2012): 271-282; Jeff Kan and John Gero, "Using the FBS Ontology to Capture Semantic Design Information in Design Protocol Studies", in *About Designing* (CRC Press, 2022), 213-229; Ashrafganjouei and Gero, "Exploring the Effect of a Visual Constraint on Students' Design Cognition".
17. Gero, "Design Prototypes".
18. J.C. Jones and D.G. Thornley, "Conference on Design Methods", Papers Presented at the Conference on Systematic and Intuitive Methods in Engineering Industrial Design, Architecture and Communications (London, Sept. 1962), 1963.

طراحی (D) تبدیل شود. هدف (F) یک شیء یا غایت آن یک بنای طراحی شده تعریف می‌شود؛ عملکرد (B) آن شیء یا بنا مبین نحوهٔ دستیابی به اهداف طرح است و می‌تواند دو وضعیت داشته باشد: یا از شکل عملکرد برآمده شده از شکل (Bs) یا از شکل انتظار می‌رود (Be)، جایی که شکل (S) عناصر یک شیء و روابط آنهاست؛ به‌طور خلاصه:

– نیاز (R): از یک خلاصه که به طراح داده می‌شود، استخراج می‌شود، مانند برنامهٔ فیزیکی، ویژگی‌های سایت، مخاطب، و ...
– هدف (F): اهداف و مقاصد غایی طراحی، مانند سبک معماری، خلاقانه بودن فضا، اجتماع‌پذیری، و ...

– عملکرد (B): عملکرد مورد انتظار (Be)، عملکردی است که می‌توان از شکل انتظار داشت. به بیان دیگر طراح، بر اساس عملکرد مورد انتظار، سراغ شکلی می‌رود که پاسخ به آن عملکرد باشد. عملکرد شکل، کارکردی است که از شکل مشتق می‌شود (Bs). این نوع عملکرد را می‌توان از یک شکل موجود تفسیر کرد. در اینجا برخلاف حالت قبل، بر اساس یک شکل موجود، یک عملکرد از آن تفسیر می‌شود؛ در معماری، «نور» یا «دسترسی» نمونه‌هایی از عملکرد هستند.^{۲۵}

– شکل (S): به اجزای شیء و روابط آنها اشاره دارد.^{۲۶} در معماری، شکل‌ها شامل فضاها یا عناصری هستند که فضاها را می‌سازند، مانند اتاق، راهرو، فروشگاه، مدرسه، پنجره، و ...
– ترسیم (D): هرگونه نمایش خارجی از طراحی.

هریک از موضوعات طراحی مبین بخشی از اندیشهٔ طراح است. در فرایند کدگذاری، بیانیهٔ طراحی به بندهای کوچک تقسیم می‌شود. هر بند فقط و فقط یکی از شش موضوع ارائه شده را در بر خواهد داشت.^{۲۷} چنانچه طراحان موضوع غیرمرتبط با طراحی مورد نظرشان باشد یا موضوعی که در آینده اتفاق خواهد افتاد، بند مربوطه با «O» کدگذاری می‌شود که بدین معنی است که موضوع مورد نظر جزء هیچ‌یک از ۶ کد FBS نیست.

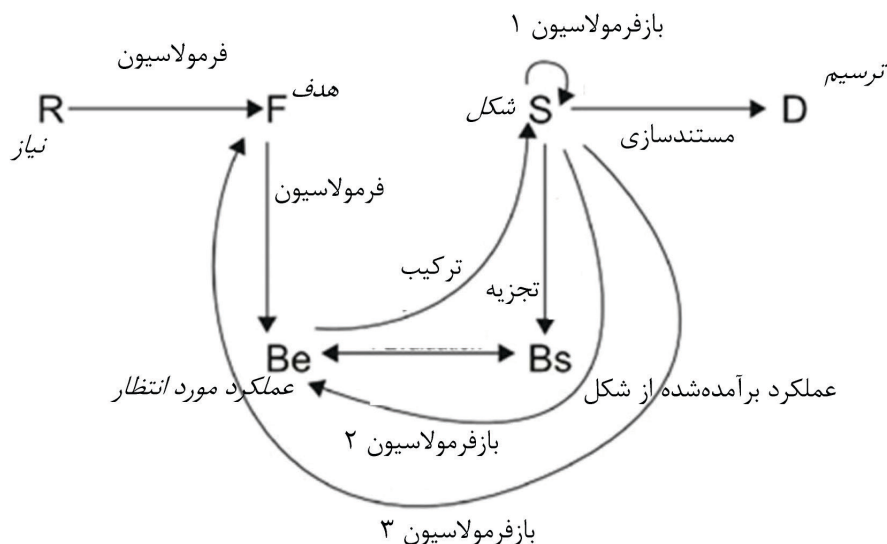
محصول طراحی از طریق یک سری فرایندها^{۲۸} بین متغیرهای FBS حاصل می‌شود.^{۲۹} این فرایندها شامل «فرمولاسیونی» هستند که اهداف را به مجموعه‌ای از عملکردهای مورد انتظار تبدیل می‌کند. این فرایند بخشی از قاب‌بندی مسئله^{۳۰} محسوب می‌شود؛ «ترکیبی» که در آن «شکلی» پیشنهاد می‌شود و آن شکل احتمالاً عملکرد مورد انتظار را نشان می‌دهد؛ «تحلیلی» که عملکرد برآمده شده از شکل را تولید می‌کند، «ارزیابی» ای که بین عملکرد مورد انتظار و عملکرد برآمده از شکل اتفاق می‌افتد؛ و «مستندسازی» که ترسیمات طراحی را تولید می‌کند. فرایندهای بازگشتی که بعد از خلق شکل می‌تواند استفاده شود، شامل سه نوع «بازفرمولاسیون» است: بازفرمولاسیون شکل، بازفرمولاسیون عملکرد مورد انتظار، و بازفرمولاسیون هدف. مورد آخر نسبتاً نادر است؛ زیرا می‌تواند منجر به تغییر مسئله طراحی یا بازتعریف آن شود. باید توجه داشت که خلق شکل نوعی خلق پاسخ طراحی است و فرایندهای بازگشتی ۲ و ۳ در جهت بازتعریف وجوه مربوط به مسئله طراحی صورت می‌گیرد. در «ت ۱» روابط بین هشت فرایند تبدیل و سه دستهٔ اصلی از متغیرها مشاهده می‌شود.

به‌طور خلاصه ۸ فرایند تعریف شده در مدل FBS عبارتند از:
– فرمولاسیون: تبدیل نیازهای طراحی به اهداف، و اهداف به عملکردهای مورد انتظار،
– ترکیب: تولید یک شکل جدید بر اساس عملکرد مورد انتظار،
– تحلیل: تفسیر یک عملکرد از یک شکل موجود،
– ارزیابی: مقایسهٔ عملکرد تفسیر شده از یک شکل با عملکرد مورد انتظار،

– مستندسازی: توصیف طراحی به‌صورت خارجی (ترسیم)،
– بازفرمولاسیون ۱: بازتعریف یک شکل جدید از شکلی موجود. در این وضعیت طراح بر اساس شکلی که در ذهنش هست و یا ترسیم کرده به شکلی جدید می‌رسد،

ارائه شده است.^{۳۲} به کلام دیگر، در جدول یادشده فرایندهای فردی و جمعی دسته‌بندی شده‌اند.

ت ۱. مدل FBS که مبین اندیشه طراحی است، مأخذ: Gero and Kannengiesser, "The Situated Function-Behaviour-Structure Framework".



- بازفرمولاسیون ۲: بازتعریف عملکرد مورد انتظار که بر مبنای یک شکل موجود و تفسیر آن اتفاق می‌افتد،
- بازفرمولاسیون ۳: مشابه فرایند قبلی است، با این تفاوت که طراح با تفسیر شکل هدف را بازتعریف می‌کند.

در ادامه پژوهش هر جا به «موضوع طراحی» یا «فرایند طراحی» اشاره می‌شود، منظور مواردی است که بر اساس روش FBS تعریف شده است.

۱.۱. استفاده از روش FBS برای بیانیه‌های گروهی

مدل FBS می‌تواند با بیانیه‌های گروهی^{۳۱} انطباق یابد. در این مدل، فعالیت‌های طراحی فردی و گروهی اندازه‌گیری می‌شوند. هریک از اعضای گروه موضوعات طراحی را که بر فعالیت‌های طراحی خود و سایرین تأثیر می‌گذارد، پیشنهاد می‌کند. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، هر فرایند طراحی مرتبط با FBS، حرکت از یک موضوع طراحی به موضوع دیگر است که به دنبال یکدیگر می‌آیند، بنابراین زمانی که هریک از موضوعات طراحی متعلق به اعضای مختلف گروه باشد، فرایندی که اندازه‌گیری می‌شود، تأثیر گروه را نشان می‌دهد. در «جدول ۱» فرایندهای طراحی FBS مربوط به فرایندهای طراحی فردی و گروهی

19. R.D. Coyne, et al., *Knowledge-Based Design Systems* (Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1990); Gero, "Design Prototypes."

20. Ibid.

21. Kan and Gero, "Using the FBS Ontology to Capture Semantic Design Information in Design Protocol Studies".

22. Design issues

فرایند طراحی	فرایند طراحی فردی	فرایند طراحی گروهی
فرمولاسیون	A to A(R>S, R>Be, F>Be, R>F) B to B(R>S, R>Be, F>Be, R>F)	A to B(Be>Be, F>F,F>Be), B to A(Be>Be, F>F,F>Be)
ترکیب	A to A, B to B(Be>S)	A to B, B to A(Be>S)
تحلیل	A to A, B to B(S, Bs)	A to B, B to A(S, Bs)
ارزیابی	A to A(Be>Bs, Bs>Be) B to B(Be>Bs, Bs>Be)	A to B (Be>Bs, Bs>Be) B to A (Be>Bs, Bs>Be)
بازفرمولاسیون ۱	A to A, B to B(S>S)	A to B, B to A(S>S)
بازفرمولاسیون ۲	A to A, B to B(S>Be)	A to B, B to A(S>Be)
بازفرمولاسیون ۳	A to A, B to B(S>F)	A to B, B to A(S>F)

جدول ۱. فرایندهای فردی و گروهی مرتبط با مدل FBS (اعضای گروه به صورت اختصاری A و B با معرفی شده است)، مأخذ: Gero and Milovanovic, "The Situated Function-Behavior-Structure Co-Design Model", 211-236.

۲.۱. روش‌های تحلیل کدگذاری

در ابتدا باید بیانیه‌های طراحی دو بار کدگذاری شوند و سپس بین ۲ کدگذاری دآوری صورت گیرد تا بیانیه نهایی مشخص شود. برای اندازه‌گیری توافق بین ارزیابان، ضریب کاپای کوهن اعمال می‌شود.^{۳۳} این روش تحلیل بر مبنای مقایسه دویه‌دوی داده‌هاست. بنابراین ۳ مرحله تحلیل صورت می‌گیرد: مقایسه کدگذاری اول با دوم، کدگذاری اول با دآوری، و کدگذاری دوم با دآوری. سپس برای تحلیل داده‌ها، درصد وقوع موضوعات و فرایندهای طراحی برای همه بیانیه‌های مربوط به تجربه طراحی بررسی می‌گردد. برای این منظور، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو ویلک بررسی می‌شود؛ اگر توزیع نرمال باشد از آزمون تی و اگر نه، از آزمون ویل کاکسون استفاده می‌شود.^{۳۴} با کمک هریک از دو آزمون مشخص می‌شود که میانگین تفاوت هریک از داده‌های یک تجربه با تجربه دیگر آیا معنادار است یا خیر. داده‌های مدل FBS می‌توانند با روش‌های ریاضی متعددی ارزیابی شوند.^{۳۵} اما روش تحلیل به‌طور معمول بر اساس کدگذاری FBS انجام می‌شود، ابتدا هریک از موضوعات و فرایندهای طراحی به‌صورت جداگانه تحلیل می‌شود، چنانچه بیانیه متعلق به گروه باشد، تفاوت بین فرایندهای طراحی فردی و گروهی نیز بررسی می‌گردد، در اینجا نیز تفاوت‌ها مشخص شود. سپس در مقیاس کلی‌تر، شاخص مسئله - راه حل (P-S) تحلیل می‌شود.^{۳۶} برای این منظور ۲ فرمول در ارتباط با موضوعات و فرایندهای طراحی پیشنهاد شده است. در هر فرمول ۲ نوع متغیر وجود دارد: به‌طورکلی، اندیشه طراحی با توجه به ۲ مفهوم مسئله و جواب قابل بررسی است. بر اساس این دیدگاه، فرایند طراحی با کاوش در فضای مسئله^{۳۷} شروع و در ادامه آن، به جواب طراحی اندیشیده می‌شود. باین‌حال، طراحان ممکن است در همان ابتدای فرایند طراحی به راه حل بپردازند، به‌ویژه برای مسائل نامعین، که ابتدا

23. Design process
24. Ashrafganjouei and Gero, "Exploring the Effect of a Visual Constraint on Students' Design Cognition".
25. Ashrafganjouei and Gero, Ibid.
26. Gero and Kannengiesser, "The Function-Behaviour-Structure Ontology of Design".
27. Kan and Gero, "Using the FBS Ontology to Capture Semantic Design Information in Design Protocol Studies".
28. Design process
29. Gero and Kannengiesser, "The Function-Behaviour-Structure Ontology of Design".
30. Problem framing
31. Gero and Milovanovic, "The Situated Function-Behavior-Structure Co-Design Model", 211-236.
32. Ibid.
33. J. Cohen, "A Coefficient of Agreement for Nominal Scales," *Educational and Psychological Measurement*, vol. 20, no. 1 (1960): 37-46.
34. Kan and Gero, *Quantitative Methods for Studying Design Protocols*.

جواب‌های اولیه حدس زده می‌شود و این راه حل‌های مقدماتی برای تجزیه و تحلیل مسائل به کار می‌آیند.^{۳۸} داده‌های FBS را می‌توان برای تجزیه و تحلیل رفتارهای طراحی بر مبنای مدل مسئله - جواب استفاده کرد.

ذهن طراحان بین دو فضای مسئله و جواب در نوسانند: قاب‌بندی و تعریف وجوه مسئله و تولید جواب.^{۳۹} این تغییر توجه به دو فضا، عامل تکامل طراحی‌های مربوطه می‌شود و برای اندازه‌گیری آن باید نسبت اندیشه‌های مربوط به مسئله با اندیشه‌های مربوط به جواب مقایسه گردد که به آن شاخص مسئله - جواب می‌گویند.^{۴۰} این شاخص را می‌توان با دو شیوه اندازه‌گیری کرد: موضوعات / فرایندهایی که در ارتباط با مسئله هستند و آنهایی که در ارتباط با جواب هستند. موضوعات / فرایندهای مربوط به مسئله برای خلق شکل استفاده می‌شوند و موضوعات / فرایندهای مربوط به جواب شامل شکل و گام‌های بعد از خلق شکل است^{۴۱} (روابط ۱ و ۲):

$$\text{رابطه ۱: } P - S \text{ Issue Index} = \frac{\text{عملکرد مورد انتظار} + \text{هدف} + \text{نیاز}}{\text{عملکرد برآمده شده از شکل} + \text{شکل}}$$

$$\text{رابطه ۲: } P - S \text{ process Index} = \frac{\text{بازفرمولاسیون ۳} + \text{بازفرمولاسیون ۲} + \text{فرمولاسیون}}{\text{بازفرمولاسیون ۱} + \text{ترکیب} + \text{ارزیابی} + \text{تحلیل}}$$

مدل دیگری که برای توصیف فرایند طراحی پیشنهاد شده است، «تأمل در عمل» نام دارد.^{۴۲} در این مدل، فعالیت‌های طراحی به دو بخش طبقه‌بندی می‌شوند: اقداماتی که منجر به تولید ایده‌های طراحی می‌شود، و تأمل که بر تفسیر و اصلاح این اقدامات برای تولید ایده‌های طراحی بعدی تمرکز دارد. طراحان ابتدا شکل را خلق و سپس آن را تفسیر می‌کنند. برای این منظور یک فرمول در ارتباط با فرایندهای طراحی پیشنهاد شده است (رابطه ۳): دو نوع متغیر وجود دارد، فرایندهایی که در ارتباط با خلق شکل هستند، و آنهایی که بعد از خلق شکل در جهت تفسیر آن استفاده می‌شود^{۴۳}:

۲. نمونه موردی: بررسی اثر مسئله طراحی بر رفتار طراحی دانشجویان ترم ۴ معماری

مسائل طراحی می‌تواند بر رفتار طراحی دانشجویان طراحی مؤثر باشد، به‌ویژه پیچیدگی مسائل می‌تواند فرایند طراحی دانشجویان را تغییر دهد. در این زمینه مهم‌ترین ویژگی‌های مسئله طراحی شامل «محدودیت‌های مسئله»^{۴۴}، «خلاقیت»^{۴۵} و «تازگی مسئله»، «میزان پیچیدگی مسئله»^{۴۶}، و «ابهام آن»^{۴۷} است، این ویژگی‌ها می‌توانند عامل تغییر در فرایند طراحی دانشجویان شود. «محدودیت‌ها» اگر کم باشند عامل افزایش کیفیت کار دانشجویان و افزایش محدودیت ممکن است در طراحی دانشجویان اثر منفی داشته باشد. «تازه بودن» مسئله به معنای بیان موضوعات نو است که می‌تواند عامل خلق راه حل‌های نو شود. «پیچیدگی مسئله» می‌تواند مرتبط با پروژه‌های با اندازه بزرگ باشد. «ابهام مسئله» نیز اهمیت زیادی در آموزش معماری دارد؛ چراکه در واقعیت، مسائل طراحی الزاماً واضح نیستند و دانشجویان باید این واقعیت را بیاموزند.^{۴۸}

بر اساس آنچه اشاره شد، پیچیدگی می‌تواند بر اساس تعداد زیاد داده‌های مسئله باشد.^{۴۹} درعین حال پیچیدگی می‌تواند بر اساس ابهام مسئله باشد.^{۵۰} در خصوص ابهام مسئله یک تقسیم‌بندی^۴ گانه تعریف شده است^{۵۱}: ابهام مقدماتی، ابهام تفسیری، چندمعنایی، و استعاره. ابهام مقدماتی ساده‌ترین نوع ابهام و در شرايطی است که بنای خواسته شده در مسئله می‌تواند با نوع و دسته خاصی از بناها منطبق شود. ابهام تفسیری، به این معناست که امکان تفاسیر متفاوت در خصوص مسئله طراحی وجود دارد، اما صرفاً یک جواب معین می‌تواند معنای صحیح را بیان کند. در ابهام مرتبط با چندمعنایی، برخلاف حالت قبل همه تفاسیر می‌تواند قابل قبول باشد و در آخرین حالت که استعاره نام دارد، مسئله با ابهام استعاری تا حدی متشابه مسئله

$$P - P Index = \frac{\text{ترکیب} + \text{فرمولاسیون}}{\text{بازفرمولاسیون ۳} + \text{بازفرمولاسیون ۲} + \text{بازفرمولاسیون ۱} + \text{ارزیابی} + \text{تحلیل}}$$

برای بررسی اندیشه‌هایی که برای تولید ایده و تأمل بر آن استفاده می‌شود، همان‌طور که اشاره شد، فرایندهای طراحی FBS به دو دسته طبقه‌بندی می‌شوند: فرایندهایی که می‌تواند از یک شکل موجود مشتق شوند (به‌طور مثال، اشکال طراحی و اجزای آنها) شامل تجزیه و تحلیل (S>Bs)، بازفرمولاسیون ۱ (S>S)، بازفرمولاسیون ۲ (S>Be)، و بازفرمولاسیون ۳ (S>F). فرایند دیگری که ممکن است به یک شکل موجود مرتبط باشد، اما مستقیماً با آن ارتباط ندارد، فرایند ارزیابی است. این فرایند تنها پس از ایجاد عملکرد برآمده شده از شکل توسط فرایند تحلیل استفاده می‌شود. فرمولاسیون و ترکیب فرایندهایی هستند که برای استدلال در مورد یک شکل موجود استفاده نمی‌شوند، بلکه برای ایجاد یک شکل جدید استفاده می‌شوند. با فرمول‌بندی، می‌توان یک «هدف» تولید کرد و یک هدف را نیز می‌توان به یک «عملکرد مورد انتظار» در فرایند فرمول‌بندی تبدیل کرد. در ترکیب، یک شکل از طریق یک عملکرد مورد انتظار تولید می‌شود.

مرحله آخر، تحلیل تغییرات طراحی در طول زمان است. اندیشه‌های طراحی را می‌توان بر مبنای تغییرات آنها در طول زمان بررسی کرد. به این ترتیب می‌توان مشاهده کرد که دانش طراحی چگونه در طول زمان تغییر کرده است و اولویت‌ها مشخص می‌شود. به عبارت دیگر، داده‌هایی که تجزیه و تحلیل می‌شوند نشان می‌دهند که چگونه تلاش طراحان مربوط به انواع فعالیت‌های طراحی به‌صورت کمی در طول زمان توزیع می‌شود. بنابراین، یک فرایند پویا که تغییرات رفتارهای طراحی را اندازه‌گیری می‌کند، برای درک اینکه چگونه و چه زمانی رفتار طراحان تغییر می‌کند قابل استفاده است.

35. Gero and Milovanovic, "A Framework for Studying Design Thinking through Measuring Designers' Minds, Bodies and Brains", *Design Science*, 6 (2020).

36. Jiang, Gero, and Yen, "Exploring Designing Styles Using a Problem-Solution Division".

37. Vinod Goel and Peter Piroli, "The Structure of Design Problem Spaces", *Cognitive Science*, 16, no. 3 (1992): 395-429.

38. B. Lawson, *How Designers Think: The Design Process Demystified* (Burlington: Architectural Press, 1997).

39. K. Dorst and N. Cross, "Creativity in the Design Process: Co-Evolution of Problem-Solution", *Design Studies*, vol. 22, no. 5 (2001): 425-437.

40. Jiang, Gero, and Yen, "Exploring Designing Styles Using a Problem-Solution Division".

41. Ibid.

42. Schon, *The Reflective Practitioner*.

43. Ashrafganjouei and Gero, "Exploring the Effect of a Visual Constraint on Students' Design Cognition".

با ابهام چندمعنایی است، اما در اینجا بنای مورد نظر دارای یک معنای استعاری و یک معنای جانبی است که هردو مفهوم هم‌زمان قابل تفسیر هستند

مقیاس مسئله طراحی می‌تواند نقش مهمی در افزایش پیچیدگی مسئله طراحی و همین‌طور تغییر فرایند طراحی دانشجویان داشته باشد. بر اساس نظر لاوسون، مقیاس‌های مراحل طراحی از جهت ابعاد، به‌ترتیب چنین هستند: ابتدا طراحی صنعتی به‌مثابه مقیاس خرد، و در ادامه طراحی داخلی، معماری، طراحی شهری، و بزرگ‌ترین بعد که برنامه‌ریزی شهری است، هرکدام از اینها عامل افزایش اندازه مسئله می‌شود.^{۴۲} درعین‌حال این سؤال پیش می‌آید که آیا مسائل شهری پیچیده‌تر از مسائل معماری هستند؟ لاوسون اشاره می‌کند که پیچیدگی می‌تواند در حیطه جزئیاتی باشد که طراح با آن مواجه می‌شود؛ دراین‌صورت مسائل معماری هم می‌توانند بزرگ و پیچیده باشند.^{۴۳} بنابراین پیچیدگی داده‌ها موضوعی است که می‌تواند هم با وسعت مسئله و هم با جزئیات و تعداد داده‌های مورد توجه در هر مسئله مرتبط باشد.

هرچند در پژوهش‌های طراحی، موضوع مقیاس‌های مراحل آن بررسی شده است، باین‌حال وجوه متعدد مرتبط با مسائل طراحی همچنان نیازمند پژوهش‌های بیشتر هستند؛^{۴۴} به‌ویژه دانشجویان سال‌های اول رشته معماری که تجربه مقدماتی از طراحی دارند، این موارد مطالعه می‌شود. با توجه به اینکه در این پژوهش دانشجویان تازه‌کار موضوع مطالعه هستند که همگی اولین طرح معماری را تجربه می‌کنند، بنابراین از «ابهام مقدماتی» استفاده گردید که ساده‌ترین نوع ابهام است. در حوزه داده‌های مسئله، نوع مسئله مرتبط با موضوعات شهرسازی انتخاب نشد؛ چراکه دانشجویان دانش لازم را ندارند. درعوض ابعاد فضا و تنوع برنامه فیزیکی افزایش یافت. همچنین ویژگی‌های سایت برای دانشجویان توضیح داده شد که این

موضوع نیز عامل افزایش داده‌هاست.

آنچه گفته شد پاسخ به سؤال دوم پژوهش بود: چه تفاوتی بین رفتار طراحی تیم طراحی دانشجویان در دو تجربه طراحی با مسائل پیچیده (تعدد داده‌ها در برابر ابهام مسئله) وجود دارد؟ ازآنجاکه پژوهش حاضر اکتشافی است و نه فرضیه‌محور، قابلیت استفاده از تحلیل‌های مختلف می‌تواند وجوه متعددی از اثر ابهام و تعدد داده‌های مسئله را بر رفتار طراحی دانشجویان مشخص کند.

۱.۲. پیمایش

در تحقیق حاضر این موضوع با دانشجویان کارشناسی ترم ۴ مهندسی معماری مطالعه شد. این دانشجویان اولین تجربه یک طرح معماری را می‌گذرانند. به‌همین منظور تجربه ۲ تمرین به‌صورت گروهی انجام شد تا دانشجویان با کمک یکدیگر بتوانند با پیچیدگی مسئله بهتر مواجه شوند، درضمن با توجه به روش کدگذاری، تأثیر مسئله بر رفتار طراحی فردی و گروهی نیز قابل‌سنجش است.

دو تمرین طراحی در درس فرایند طراحی تجربه شد؛ هر ۲ تمرین مسائلی بودند که برای این دانشجویان، با توجه به تجربه آنها، سخت و پیچیده بودند. تمرینات باید به‌صورت گروه‌های ۲ نفره در بازه زمانی ۳۰ دقیقه انجام می‌شد و دانشجویان می‌بایست بیشتر به موضوع مسئله و نحوه برخورد با آن توجه می‌کردند. همچنین زمان طراحی کوتاه بود تا بیشتر به موضوع مسئله توجه شود. دانشجویان موظف بودند همه اندیشه‌های خود را در طول طراحی بیان کنند. صحبت‌های آنها به‌طور کامل ضبط شد. تمرین اول، طراحی یک مجتمع تجاری بزرگ بود و شامل طراحی بیش از ۲۰ نوع از فضاهای تجاری - خدماتی بود. محل آن نیز حاوی ویژگی‌های متعدد و متنوعی (از لحاظ عملکرد، تراکم ساختمانی، و عرض معابر

44. Constraints
45. Creativity
46. Complexity
47. Ambiguity
48. Mohammed Ghonim, "Design Thinking in Architecture Education: Issues, Limitations, and Suggestions," in *Proceedings of the 3rd International Architectural Design Conference on Design and Nature ARCHDESIGN*, vol. 16 (Dakam Publishing Istanbul, 2016), 553-561,
49. J. Weir, W. Lewis, and C. Burvill, "Developing Skills for Solving Complex Design Problems", in *DS 31: Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design*, Stockholm, 2003, 473-474,
50. N.E. Mahmoud, S.M. Kamel, and T.S. Hamza, "Introducing Negative Capability to Design Thinking Ambiguity Tolerance in the Design Studio", *Journal of Engineering and Applied Science*, vol. 67, no. 6 (2020): 1515-1534.
51. Gerhard Ernst, Jakob Steinbrenner, and Oliver R. Scholz, eds., *From Logic to Art: Themes from Nelson Goodman* (DE GRUYTER, 2009).

۳. یافته‌ها

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، تغییرات ۶ موضوع طراحی بین دو تجربه به مقایسه گذاشته شد، این موضوع مشخص می‌کند تمرین‌های طراحی چگونه در میزان هریک از ۶ موضوع اثر گذاشتند (جدول ۳): در خصوص نیازها (R) در تمرین دوم، این موضوع بیشتر از موضوع اول مورد توجه بوده است. این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که در تمرین دوم نیازمندی‌های مسئله، چندان مشخص نیست، پس دانشجویان به موضوع توجه بیشتری کردند. در خصوص اهداف (F) نیز در تمرین دوم به این موضوع بیشتر توجه شده است که می‌تواند به دلیل ابهام در تمرین طراحی باشد. در خصوص عملکردهای مورد انتظار نیز (Be) در تمرین دوم بیشتر توجه دانشجویان را جلب کرد. در خصوص عملکردهای برآمده‌شده از شکل (Bs)، تفاوت چندان دیده نمی‌شود. در خصوص موضوعات مربوط به شکل (S) که به‌نوعی مرتبط با پاسخ مسئله است، در تمرین اول، دانشجویان به آن توجه بیشتری داشته‌اند و در تمرین دوم، کمتر. به‌طور خلاصه، تعدد داده‌ها عامل افزایش توجه به «نیازها»، و همین‌طور تا حدودی به «اشکال طراحی» شد. اما ابهام، توجه دانشجویان را بیشتر به ابهام و عملکردهای مورد انتظار متمرکز کرد.

در مرحله بعدی، فرایندهای FBS بررسی شده‌اند (جدول ۴). توضیح داده شد که این فرایندها درواقع رخداد انتقالی است از

بود. موضوع تمرین دوم، طراحی یک کتابخانه محلی در شهر کرمان با شرط اجتماع‌پذیری بود. هرچند این تمرین در مقیاس کوچک‌تری از حیث وسعت و تنوع فضاها نسبت به تمرین اول بود، اما برای دانشجویان ابهاماتی در واژگان داشت. دو تمرین به‌صورت گروهی تجربه شد؛ چراکه تجربه گروه می‌توانست مواجهه با مسائل پیچیده را تسهیل کند. قبل از تمرین اول یک پیش‌آزمون انجام شد تا دانشجویان با کار گروهی آشنا شوند. تمرین پیش‌آزمون در خصوص طراحی میز نقشه‌کشی بود.

در طراحی دو تمرین، فرض بر این بود که در تمرین اول چالش طراحی مواجهه با تعدد داده‌هاست و در تمرین دوم این تعدد برقرار نبود، درعوض ابهام مسئله، به‌ویژه در خصوص مفهوم «محله» و «اجتماع‌پذیری» وجود داشت. بیانیه‌های یکی از گروه‌ها نگاشته، کدگذاری، و مورد تحلیل قرار گرفت.

۲.۲. نمونه کدگذاری

نمونه انتخاب‌شده مربوط به یک تیم دونفره دانشجویان دختر است که در ترم چهارم معماری دو تمرین را تجربه کردند. برای ثبت گزارش از روش بلند فکر کردن استفاده گردید.^{۵۵} دانشجویان همه اندیشه‌های خود را در حین طراحی بیان می‌کردند و صدای ایشان در حین طراحی ضبط می‌شد. سپس بعد از ضبط، صحبت‌های پیاده و نگاشته شد. در ادامه، دو مرحله کدگذاری و داوری صورت گرفت، تا بیانیه‌ها آماده کدگذاری شدند. در «جدول ۲» نمونه‌های از کدگذاری مربوط به تمرین دوم ارائه شده است.

موضوعات FBS	تمرین ۱	تمرین ۲
R	۰/۰۵	۰/۰۸
F	۰/۰۰	۰/۰۲
Be	۰/۰۱	۰/۰۲
Bs	۰/۱۰	۰/۱۲
S	۰/۶۵	۰/۵۹
D	۰/۰۶	۰/۰۸

جدول ۲. بندهای مربوط به بیانیه تمرین ۲، بین دو بند ۳۲۵ و ۳۲۶، ترکیب اتفاق افتاده، با توجه به اینکه دو کد، مربوط به دونفر از اعضای تیم است، عمل ترکیب جزء فرایندهای طراحی گروهی محسوب می‌شود.

ردیف	بند	کد	عضو تیم
۵	با سبک محله بخونه آره	Bs	A
۶	اجتماع اون را بپذیره،	F	A
۷	ناهنجاری ایجاد نکنه،	F	A
۸	مثلا از لحاظ اقلیم،	R	A
۹	از لحاظ فرهنگ،	R	A
۳۲۵	اینم باشه؟	S	A
۳۲۶	آره، قشنگ این حس می‌کنه	Bs	B

52. Lawson, *How Designers Think*.

53. Ibid.

54. Ghoni, "Design Thinking in Architecture Education".

55. Ericsson and Simon, *Protocol Analysis (Revised Edition)*.

جدول ۳. مقایسه تمایز بین ۲ گروه در خصوص ۶ کد FBS، هر عدد درصد وقوع هریک از موضوعات طراحی را نشان می‌دهد.

در تمرین اول بیشتر از دوم است. در این فرایند، طراح از شکل موجود، یک شکل جدید خلق می‌کند. همچنین بازفرمولاسیون ۲ نیز در تمرین اول بیشتر از دوم است. در ادامه این موضوع بررسی شد که چه میزان از فرایند مربوطه، گروهی و چه میزان فردی است. در این مرحله از تحلیل، همه فرایندهای فردی و جمعی بررسی شد، فارغ از اینکه این فرایندها جزء ۸ فرایند تعریف‌شده در مدل FBS هستند یا خیر. همان‌طور که در «جدول ۴» ملاحظه می‌شود، نقش گروه در این فرایندها در تمرین اول به مراتب بیشتر از دوم است.

جدول ۴. مقایسه تمایز بین ۲ گروه
در خصوص فرایندهای FB

تمرین ۱	تمرین ۲	فرایند FBS
۰/۰۱	۰/۰۲	۱ فرمولاسیون فردی
۰/۰۰	۰/۰۰	۲ فرمولاسیون گروهی
۰/۰۱	۰/۰۱	۳ ترکیب فردی
۰/۰۲	۰/۰۰	۴ ترکیب گروهی
۰/۰۸	۰/۰۳	۵ تحلیل فردی
۰/۰۵	۰/۰۳	۶ تحلیل گروهی
۰/۰۱	۰/۰۱	۷ ارزیابی فردی
۰/۰۰	۰/۰۱	۸ ارزیابی گروهی
۰/۵۸	۰/۲۲	۹ بازفرمولاسیون ۱ فردی
۰/۲۴	۰/۱۸	۱۰ بازفرمولاسیون ۱ گروهی
۰/۲۴	۰/۰۱	۱۱ بازفرمولاسیون ۲ فردی
۰/۰۲	۰/۰۰	۱۲ بازفرمولاسیون ۲ گروهی
۰/۰۰	۰/۰۰	۱۳ بازفرمولاسیون ۳ فردی
۰/۰۰	۰/۰۰	۱۴ بازفرمولاسیون ۳ گروهی
۱/۱۳	۱/۳۷	۱۵ نسبت فرایندهای فردی به گروهی

یک موضوع طراحی به موضوع دیگر. در خصوص فرایندهای طراحی مورد نظر، این فرض وجود دارد که بین هر موضوع طراحی (هریک از ۶ کد) با موضوع قبل یا بعدی آن یک ارتباط معنادار در ذهن طراح وجود دارد. از طریق هریک از فرایندهای مورد نظر، ذهن طراح از یک موضوع طراحی به یک موضوع دیگر می‌رسد. این مرحله از تحلیل با این هدف بود که تغییرات ۲ مسئله بر رفتار گروهی و فردی دانشجویان سنجیده شود و داده‌ها با کمک نرم‌افزار Spss تحلیل می‌شوند. در «جدول ۴» فرایندهای مورد نظر در ۲ مقیاس بررسی شده است: فردی (اگر هر ۲ موضوع طراحی که یک فرایند را تشکیل می‌دهد متعلق به یک نفر باشد)، گروهی (اگر ۲ موضوعی که فرایند بین آنها رخ می‌دهد به ۲ نفر مرتبط باشد). در خصوص فرایندهای فردی تفاوت بین ۴ فرایند بیشتر است: فرایند فرمولاسیون که در تمرین دوم بیشتر است، این فرایند در تعریف مسئله اهمیت دارد. فرایند تحلیل در تمرین اول به مراتب بیشتر از دوم است. در این فرایند طراحان به دنبال یافتن عملکرد برای شکل‌های ایجادشده هستند، این فرایند مرتبط به فضای جواب است. در خصوص بازفرمولاسیون ۱، این فرایند حرکت از فضای جواب به فضای جواب را نمایش می‌دهد در تمرین اول به مراتب بیشتر از تمرین دوم است و اعضای تیم سعی دارند در فضای راه حل تعمق کنند. همچنین در ارتباط با بازفرمولاسیون ۲ که طراح بر اساس یک شکل موجود یک عملکرد مورد انتظار را ارائه می‌کند، میزان آن در تمرین اول بیشتر از دوم است.

در خصوص فرایندهای گروهی تفاوت بین ۴ فرایند بیشتر است: فرایند ترکیب در تمرین اول بیشتر از تمرین دوم است. با این فرایند با استفاده از عملکرد موجود، یک شکل جدید تولید می‌شود، شکل درواقع جواب طراحی می‌تواند باشد. فرایند تحلیل که تفسیر عملکرد از یک شکل موجود است، این فرایند در تمرین اول به مراتب بیشتر است. همچنین بازفرمولاسیون ۱

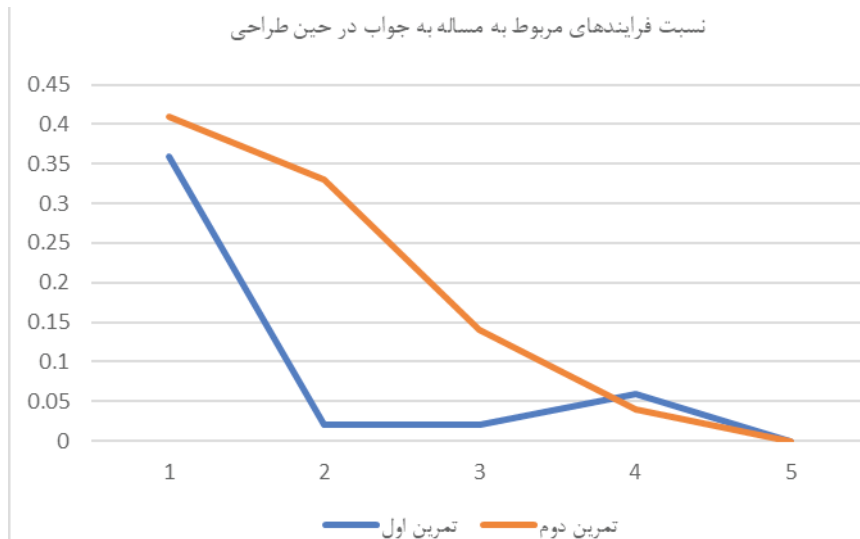
که بر اساس نیازهای مسئله شروع و با ترسیم پاسخ مسئله خاتمه می‌یابد؛ بر این اساس ۶ موضوع طراحی تبیین می‌شود. رسیدن از هر موضوع به موضوع بعدی مستلزم طی مسیرهایی است که مبین فرایندهای طراحی هستند. این فرایندها می‌توانند در جهت‌های مختلف بین اندیشه‌های طراحی اتفاق بیافتند و با کمک هر فرایند، یک موضوع طراحی به موضوعی دیگر تبدیل می‌شود. جمعاً ۸ نوع فرایند طراحی مورد توجه هستند. در ضمن با کمک موضوعات و فرایندهای طراحی می‌توان طراحی را در مقیاس کلی‌تر بررسی کرد. در این پژوهش دو مفهوم «مسئله - جواب» و «تأمل در عمل» نیز با کمک متغیرهای تعریف‌شده در روش FBS تحلیل گردید. یکی از موضوعات مورد توجه در طراحی پژوهی تغییرات رفتار طراحی در طول زمان است که نشان می‌دهد اندیشه طراحی در طول زمان چگونه تغییر می‌کند. یافته‌های متعدد این روش می‌تواند به پژوهشگر کمک کند تا از ابعاد مختلف تجربه طراحی را بررسی کند. این روش همچنین می‌تواند برای معلمان معماری سودمند باشد؛ چراکه آنها می‌توانند با کمک ۶ موضوع طراحی، ایده‌های

نسبت موضوعات مرتبط با تعریف مسئله به فرایندهای مربوط به عرضه جواب بررسی می‌شود؛ بر این اساس ۶ موضوع طراحی FBS به ۲ گروه تقسیم می‌شود: موضوعاتی که به تعریف مسئله می‌انجامد، موضوعاتی که به تولید راه حل می‌انجامد (فرمول ارائه‌شده). نسبت موضوعات مربوط به مسئله به جواب در تمرین دوم (۰/۱۷) بیشتر از اول (۰/۰۸) است. به عبارت دیگر، در گروه دوم به مسئله توجه بیشتری شده، درحالی‌که در گروه اول به جواب توجه بیشتری شده است. در مرحله بعدی تغییرات توجه به ۲ موضوع مسئله و جواب در حین فرایند طراحی بررسی شد. بر این اساس، بیانیه‌های طراحی به ۵ قسمت مساوی تقسیم و تعداد فرایندهای مربوط به هر یک از ۵ قسمت محاسبه و ترسیم شد، سپس بر اساس این نقاط، دو نمودار ترسیم گردید. بر اساس «ت ۲»، هرچند در تمرین اول شروع منحنی در نقطه بالاتری نسبت به تمرین دوم قرار دارد، اما در همین تمرین بازگشت به موضوعات مربوط به مسئله، در شروع نیمه دوم طراحی اتفاق می‌افتد و طراحان در این زمان رفتاری متفاوت نسبت به سایر زمان‌های طراحی از خود نشان می‌دهند. اما در تمرین دوم چنین تغییر رفتاری دیده نمی‌شود و هرچه زمان بیشتر می‌گذرد، توجه از مسئله به جواب افزایش می‌یابد. به‌طور خلاصه، در مواجهه با مسئله مبهم، تغییرات مربوط به دو فضای مسئله و جواب از الگوی نسبتاً ثابتی تبعیت می‌کند، اما تعدد داده‌ها عامل تغییر رفتار بیشتری در ارتباط با این دو مفهوم می‌شود.

تحلیل و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر روش FBS در خصوص تحلیل بیانیه طراحی بررسی شد. این روش می‌تواند در حوزه‌های مختلف طراحی استفاده و داده‌های آن با روش‌های آماری متعدد تحلیل شود. در این روش ۲ نوع متغیر تعریف می‌شود. ابتدا مراحل ایده‌پردازی

ت ۲. مقایسه تغییرات زمانی توجه به مسئله به جواب، تدوین: نگارنده.



56. Ghonim, "Design Thinking in Architecture Education"; Mahmoud, Kamel, and Hamza, "Introducing Negative Capability to Design Thinking Ambiguity Tolerance in the Design Studio"; Weir, Lewis, and Burvill, "Developing Skills for Solving Complex Design Problems".
57. H. Jonker, V. März, and J. Voogt, "Collaboration in Teacher Design Teams: Untangling the Relationship between Experiences of the Collaboration Process and Perceptions of the Redesigned Curriculum", *Studies in Educational Evaluation*, no. 61 (2019): 138-149.
58. Z. Yang, et al., "The Influence of Distributed Collaboration in Design Processes: An Analysis of Design Activity on Information, Problem, and Solution", *International Journal of Technology and Design Education*, vol. 31, no. 3 (July 2021): 587-609.

دانشجویان را در دروس طراحی معماری دسته‌بندی و سپس نظرات خود را در خصوص موارد مرتبط با هر موضوع عرضه کنند. حتی می‌توانند مفاهیمی مثل مسئله و جواب را برای دانشجویان با کمک کدهای FBS تبیین کنند.

در ادامه، یک پژوهش موردی با کمک این روش بررسی شد که در آن اثر پیچیدگی مسئله طراحی با کمک دو تمرین طراحی بر رفتار طراحی یک گروه دوفره از دانشجویان ترم ۴ رشته کارشناسی معماری سنجیده شد. لازم به ذکر است در پژوهش‌های قبلی اثر پیچیدگی مسئله طراحی مرتبط با دانشجویان تازه‌کار چندان مطالعه نشده است.^{۵۶} هریک از دو تمرین حاوی یک مسئله پیچیده بود؛ تمرین اول با تعدد داده‌ها و مقیاس طراحی، تمرین دوم با ابهام در مسئله طراحی. نتایج نشان داد ابهام عامل توجه بیشتر به اهداف طراحی و عملکردهای مورد انتظار است، اما تعدد داده‌ها عامل تمرکز بیشتر بر نیازمندی‌های مسئله و شکل‌های طراحی است.

تحلیل بعدی به رفتارهای گروهی و فردی ارتباط داشت. این بخش از تحلیل نشان می‌دهد که چگونه مسئله طراحی بر میزان همکاری بین اعضای تیم اثر داشته است. به بیان دیگر، اعضای تیم چه بخش از طراحی را به‌صورت گروهی و چه بخشی را فردی انجام داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد ابهام عامل افزایش رفتار فردی است. لازم به توجه است که در پژوهش قبلی مشخص شد که ابهام می‌تواند عامل کاهش کار گروهی شود؛^{۵۷} چراکه ممکن است اعضای تیم تصور واحدی از مسئله طراحی نداشته باشند و نتوانند به یک تفاهم جمعی در برابر مسئله دست یابند. با نتایج پژوهش حاضر کار قبلی با دانشجویان معماری تأیید شد. تحلیل‌های بعدی که با تک‌تک ۸ فرایند طراحی انجام شد، نشان داد، سوای بازفرمولاسیون ۲، سایر فرایندهای فردی و گروهی در راستای تمرکز بر جواب در تمرین اول و تمرکز بر مسئله در تمرین دوم بوده است.

در خصوص تعدد داده‌ها و مقیاس پروژه، به‌دلیل نیاز به تجربه و مهارت بیشتر، این موضوع عامل افزایش همکاری بین دانشجویان می‌شود.^{۵۸} این موضوع نیز در پژوهش حاضر تأیید شد؛ البته در پژوهش حاضر برخلاف پژوهش قبلی تأثیر مسئله بر انواع رفتار گروهی و فردی دانشجویان معماری بررسی شده است.

نتایج همچنین نشان داد دانشجویان در تمرین اول تمرکز بیشتری بر جواب داشتند؛ درواقع آنها تمرکز کمتری بر تنوع داده‌های مسئله داشتند اما در تمرین دوم تمرکز بیشتری بر مسئله داشتند. بنابراین هرچند هر دو موضوع تنوع داده‌ها و ابهام، در پیچیدگی مسئله اثر دارد، اما نقش ابهام در توجه بیشتر به وجوه مسئله بیشتر است.

همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، یکی از روش‌های تحلیل طراحان تغییر رفتار طراحی در طول زمان است. در پژوهش حاضر این تحلیل نتایج قابل‌توجهی به‌دست داده است. با توجه به تحلیل تغییرات اندیشه طراحی در طول زمان مشخص شد که در تمرین دوم، اعضای تیم در ابتدا توجه زیادی به مسئله کردند و این توجه به‌تدریج به سمت جواب معطوف می‌شود، اما در تمرین اول فرایند باز گشت به مسئله و موضوعات آن در نیمه دوم طراحی رخ می‌دهد که رفتاری متفاوت است. به‌نظر می‌رسد بعد از یک مواجهه اولیه با داده‌های طراحی و پیشنهاد جواب، طراحان تغییر مسیر می‌دهند؛ شاید این موضوع به این دلیل باشد که طراحان در مراحل اولیه نتوانستند به همه داده‌های طراحی توجه کنند و در نتیجه بعد از بیان پاسخ‌های اولیه، مجدد به تعریف مسئله پرداختند و بعد از آن مجدداً به جواب متمرکز شدند. از این‌رو می‌توان به این نتیجه رسید که ابهام مسئله باعث می‌شود تا طراحان با رفتاری ثابت توجه خود را به جواب مسئله تا انتهای جلسه طراحی حفظ کنند، اما افزایش داده‌های مسئله منجر به تغییر رفتار طراح از

تمرین دوم (ابهام مسئله)، ابتدا تمرکز بر مسئله و به تدریج تمرکز بر موضوعات طراحی افزایش می‌یابد. اما تعدد داده‌های طراحی عامل توجه به مسئله، نه تنها در ابتدا بلکه در میانه طراحی می‌شود. همچنین تعدد داده‌های مسئله عامل افزایش کار گروهی است، اما ابهام مسئله می‌تواند تا حدی رفتار فردی را افزایش دهد. بنابراین معلمین معماری در مواجهه با انواع مسائل طراحی باید به این نتایج، به‌ویژه زمانی که تمرینات معماری به‌صورت فردی یا گروهی تجربه می‌شوند، توجه داشته باشند.

در انتها لازم به توجه است که تعداد موردهای مطالعاتی در این پژوهش محدود بود که از محدودیت‌های تحقیق محسوب می‌شود و امکان تعمیم‌پذیری را محدود می‌کند. بنابراین در پژوهش‌های آینده می‌توان با تعداد مخاطبین بیشتر این تجربه را تکرار کرد. که نتیجه آن یافته‌های قابل‌اتکاتری خواهد بود.

حیث توجه به مسئله و جواب در طول جلسه طراحی می‌شود. یافته‌های پژوهش می‌تواند در آموزش معماری استفاده شود. هرچند پژوهش‌های قبلی نشان داد که مسائل پیچیده در رفتار طراحی دانشجویان مؤثر است، اما پژوهش حاضر تأثیر مقیاس داده‌های مسئله و ابهام را بر رفتار طراحی دانشجویان معماری نشان داد و اینکه چگونه هر مسئله بر رفتار فردی و گروهی آنها اثر دارد. اگر هدف تمرکز بر مسئله باشد، آنگاه ابهام مسئله می‌تواند یک ابزار آموزشی تلقی و از آن استفاده شود و دانشجویان را به اهداف و عملکردهای مورد انتظار مسئله طراحی ترغیب کند و در صورت نیاز به تعمق در جواب، تعریف داده‌های متنوع برای یک مسئله می‌تواند دانشجویان را به تمرکز بیشتر به جواب و وجوه شکلی آن هدایت کند. در این خصوص، تحلیل تغییر رفتار در طول زمان مشخص می‌کند در چه زمان‌هایی به مسئله و وجوه آن مراجعه می‌شود. در

References

- Ashraf Ganjouei, Mohammadali and John S. Gero. "Exploring the Effect of a Visual Constraint on Students' Design Cognition". *AI EDAM*, vol. 35, no. 1 (2021): 1-17.
- Cohen, Jacob. "A Coefficient of Agreement for Nominal Scales". *Educational and Psychological Measurement*, vol. 20, no. 1 (1960): 37-46.
- Coyne, R.D., M.A. Rosenman, A.D. Radford, M. Balachandran, and J.S. Gero. *Knowledge-Based Design Systems*. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1990.
- Cross, Nigel, Henri Christiaans, and Kees Dorst. "Introduction: The Delft Protocols Workshop". *Analysing Design Activity*, (1996): 1-16.
- Dorst, Kees and Nigel Cross. "Creativity in the Design Process: Co-Evolution of Problem-Solution". *Design Studies*, vol. 22, no. 5 (2001): 425-437.
- Ericsson, Karl Anders and Herbert Alexander Simon. *Protocol Analysis (Revised Edition)*. Cambridge, MA: MIT press, 1993. <http://digitalcollections.library.cmu.edu/awweb/awarchive?type=file&item=39233>.
- Ernst, Gerhard, Jakob Steinbrenner, and Oliver R. Scholz, eds. *From Logic to Art: Themes from Nelson Goodman*. DE GRUYTER, 2009. <https://doi.org/10.1515/9783110327199>.
- Gero, John and Julie Milovanovic. "The Situated Function-Behavior-Structure Co-Design Model". *CoDesign* 17, no. 2 (2021): 211-236.
- Gero, John S. "Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design". *AI Magazine*, vol. 11, no. 4 (1990): 26.
- Gero, John S. and Udo Kannengiesser. "The Function-Behaviour-Structure Ontology of Design". *An Anthology of Theories and Models of Design*, Springer, 2014, 263-283. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-6338-1_13.
- Gero, John S. and Udo Kannengiesser. "The Situated Function-Behaviour-Structure Framework". *Design Studies*, vol. 25, no. 4 (2004): 373-391.
- Gero, John S. and Julie Milovanovic. "A Framework for Studying Design Thinking through Measuring Designers' Minds, Bodies and Brains". *Design Science*, no. 6 (2020).

- Ghonim, Mohammed. "Design Thinking in Architecture Education: Issues, Limitations, and Suggestions", In *Proceedings of the 3rd International Architectural Design Conference on Design and Nature ARCHDESIGN*, vol. 16, Dakam Publishing Istanbul, 553-561. https://www.researchgate.net/profile/Mohammed_Ghonim/publication/321747584_Design_Thinking_in_Architecture_Education_Issues_Limitations_and_Suggestions/links/5a548f27458515e7b7326c35/Design-Thinking-in-Architecture-Education-Issues-Limitations-and-Suggestions.pdf.
- Goel, Vinod and Peter Piroli. "The Structure of Design Problem Spaces". *Cognitive Science*, vol. 16, no. 3 (1992): 395-429.
- Jiang, Hao, John S. Gero, and Ching-Chiaun Yen. "Exploring Designing Styles Using a Problem-Solution Division". *Design Computing and Cognition '12*, edited by John S. Gero, 85-101. Springer, 2014. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-9112-0_5.
- Jones, John Christopher, and Denis G. Thornley. "Conference on Design Methods". Papers Presented at the Conference on Systematic and Intuitive Methods in Engineering Industrial Design, Architecture and Communications (London, Sept. 1962), 1963.
- Jonker, Herma, Virginie März, and Joke Voogt. "Collaboration in Teacher Design Teams: Untangling the Relationship between Experiences of the Collaboration Process and Perceptions of the Redesigned Curriculum". *Studies in Educational Evaluation*, 61 (2019): 138-149.
- Kan, Jeff, and John Gero. "Using the FBS Ontology to Capture Semantic Design Information in Design Protocol Studies". In *About Designing*, 213-229. CRC Press, 2022. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780429182433-16/using-fbs-ontology-capture-semantic-design-information-design-protocol-studies-jeff-kan-john-gero>.
- Kan, Jeff WT. and John S. Gero. "Using the FBS Ontology to Capture Semantic Design Information in Design Protocol Studies". In *About: Designing. Analysing Design Meetings*, edited by J McDonnell and P Lloyd, 213-29. CRC Press, 2009. <http://cs.gmu.edu/~jgero/publications/2009/09KanGeroDTRSBookChapter.pdf>.
- Kan, Wai Tak and John Gero. *Quantitative Methods for Studying Design Protocols*. Springer Netherlands, 2017.
- Kannengiesser, Udo, and John S. Gero. "Design Thinking, Fast and Slow: A Framework for Kahneman's Dual-System Theory in Design". *Design Science*, 5 (2019): e10.
- Lawson, B. *How Designers Think: The Design Process Demystified*, Burlington: Architectural Press". 1997.
- Mahmoud, N.E., S.M. Kamel, and T.S. Hamza. "Introducing Negative Capability to Design Thinking Ambiguity Tolerance in the Design Studio". *Journal of Engineering and Applied Science* vol. 67, no. 6 (2020): 1515-1534.
- Schon, Donald A. *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. NewYork: Basic Books, 1983.
- Weir, John, William Lewis, and Colin Burvill. "Developing Skills for Solving Complex Design Problems". In *DS 31: Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm*, 2003, 473-74. <https://www.designsociety.org/download-publication/24049/DEVELOPING+SKILLS+FOR+SOLVING+COMPLEX+DESIGN+PROBLEMS>.
- Yang, Zhiyuan, Wei Xiang, Weitao You, and Lingyun Sun. "The Influence of Distributed Collaboration in Design Processes: An Analysis of Design Activity on Information, Problem, and Solution". *International Journal of Technology and Design Education*. vol. 31, no. 3 (July 2021): 587-609. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09565-2>.
- Yu, Rongrong, Ning Gu, and Michael Ostwald. "Using Situated FBS Ontology to Explore Designers' Patterns of Behavior in Parametric Environments". *Journal of Information Technology in Construction*, 17 (2012): 271-282.