علمی پژوهشی

تأملی بر چالش‌ها و راهکارها در آموزش مکانیک سازه در معماری برای نوآموزان*

فرزین ایزدپناه**
عیسی حجت***

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۲

چکیده

یکی ازحوزه‌های تلاش برای جبران شکاف روی داده میان سازه و معماری بعد از رنسانس، مبحث آموزش بوده است. در این مسیر، چالش‌های حاصل از حوزهٔ آموزش مکانیک سازه‌ها نیز گریبان‌گیر معماران بوده‌اند و مورد تعمق قرار گرفته‌اند. نوشتار حاضر تلاش دارد مسائل این حوزه را در سطح آموزش مقدماتی این مبحث، با تکیه بر جنبه‌های شناختی مورد توجه قرار دهد. پرسش‌های اصلی این نوشتار معطوف به چالش‌های آموزش این حوزه برای نوآموزان، خطاهای شناختی آن‌ها و مسیرهای محتمل برای بهبود آن هستند. گزارش پیش رو، بخشی از نتایج یک اقدام‌پژوهی چهارساله را گزارش می‌کند که به قصد فهم و بهبود مسائل این حوزه، از طریق طی چرخه‌های آموزشی انجام پذیرفته است. خودارزیابی، ارزیابی توسط گروه هم‌قطاران و متخصصان از طریق گفت‌وگو بر روی درون‌مایه‌های پدیدارشده در مسیر و راه‌حل‌های مرتبط با آن‌ها، به قصد مفاهمه و سنجش معناداری یافته‌ها انجام پذیرفته‌اند. برخی از درون‌مایه‌های طرح‌شده، بازنمودهایی دیگر از چالش‌های تاریخی این حوزه مانند بحث بهره‌گیری از آموزش ریاضی هستند که دقیق‌تر و روشن‌تر طرح شده و گاه به‌سمت مفهوم پایه‌ای‌تر دگرگون شده‌اند. درون‌مایه‌های جدیدی نیز آشکار شده‌اند که برای دستیابی به آموزش مناسب می‌توان به آن‌ها توجه داشت.

کلیدواژه‌ها:

آموزشِ نوآموزان معماری، آموزش سازه در معماری، آموزش مکانیک سازه، اقدام‌پژوهی.

مطالعات معماری ایران
دو فصلنامه معماری ایرانی
شماره ۱۹ ـ بهار و تابستان ۱۴۰۰
صفحات ۱۶۴-۱۳۷ ۱۳۷

* این مقاله برگرفته از رسالهٔ دکتری *تأملی بر مدل آموزش پایه معماری با تأکید بر جنبه‌های ساختاری* نگارش فرزین ایزدپناه، به راهنمایی دکتر عیسی حجت، در دانشکده معماریِ پردیس هنرهای زیباِی دانشگاه تهران است.

** دانشجوی دکترای معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران. عضو هیئت‌علمی دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شهید باهنر کرمان
*** استاد، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، نویسندهٔ مسئول، isahojat@ut.ac.ir

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

پرسش‌های پژوهش

۱. چالش‌های آموزش مکانیک سازه در معماری برای نوآموزان کدام‌اند؟
۲. چه خطاهای شناختی در طی این آموزش برای نوآموزان رخ می‌دهد؟
۳. چه مسیرهایی برای بهبود آموزش در این حوزه می‌توان پیشنهاد داد؟

مقدمه

چالش «آموزش سازه در معماری» قدمتی چون «معضل جدایی سازه از معماری» دارد که از دورهٔ رنسانس آغاز شده است. کاوش در این حیطه واجد ارزش آموزشی و حرفه‌ای و مورد توجه پژوهشگران بوده است. یکی از حوزه‌های این مبحث، مکانیک سازه‌ها می‌باشد که در این نوشتار در سطح آموزش مقدماتی بدان توجه شده است.[۱]

در زمان به‌کارگیری مدل‌های مختلف در آموزش مکانیک سازه در معماری، در سطح مقدماتی، به‌ندرت فرصت بررسی دقیق این امر برای مدرسان وجود دارد که چالش‌های آموزش از طریق آن مدل‌ها کدام‌اند. اما همان گونه که در نوشتار حاضر خواهیم دید، چالش‌هایی در این حوزه وجود دارند که گاه برای نویسندگان حاضر قابل انتظار نبوده‌اند. نیازی برای باز کردن جعبهٔ سیاه آموزش در این حوزه احساس می‌شود.

در پاسخ به نیاز ذکرشده، نوشتار حاضر بخشی از نتایج یک اقدام‌پژوهی را برای یافتن چالش‌های و راه‌حل‌های این حوزه منعکس می‌کند.[۲]

۱. پیشینهٔ پژوهش

پیشینهٔ موضوع در پژوهش حاضر در قالب درون‌مایه‌هایی چالش‌برانگیز تفسیر و بیان می‌شود.[۳] یکی از چالش‌های طرح‌شده در پیشینه، بحث اشکالات ناشی از نظام آموزشی پیش‌دانشگاهی است که به دانشگاه انتقال می‌یابد. این مسئله در گزارش برنامهٔ دانشگاه تافتس[۴] (Neal B. Mitchell 1961) و کتاب آموزشی آلن و زالوسکی[۵] (2000) طرح شده است. حجت (۱۳۸۳) نیز برخی از این چالش‌ها را که باید در دروس مقدماتی تصحیح شوند، ذکر می‌کند. موضوع دیگر عمق دانش مورد نیاز در این حوزه، برای معماران است. سالوادوری[۶] (1958) سلسله‌مراتب آموزشی متشکل از فیزیک، استاتیک، مقاومت مصالح و دروس سیستم‌های ساختمانی را پیشنهاد می‌دهد. او حوزهٔ درک رفتار و مدل‌سازی فیزیکی را حلقه‌ای برای سوق دانشجو به این سلسله‌مراتب می‌داند که نشان از باور او به نیاز به عمیق شدن دانشجوی معماری در موضوع، آن‌هم به روش ریاضی است. گری بلک و داف[۷] (1994) در شرح برنامهٔ آموزشی دانشگاه برکلی اشاره دارند که حتی اگر برنامهٔ دانشجویان معماری کیفی باشد، باید توسط یک نظریهٔ دقیق سازه‌ای پشتیبانی شود. «مسائل آموزش ریاضی» در حوزهٔ مورد بحث، از دیگر موضوعاتی هستند که به طرق مختلف مورد توجه بوده‌اند. طباطبایی، محمودی کامل‌آبادی و جاویدروزی (۱۳۹۷) وابسته بودن به ریاضی را از عوامل نگرش منفی دانشجویان به موضوع سازه طرح کرده‌اند. اشکال در تفهیم یک مسئلهٔ سازه از طریق انجام محاسبات ریاضی، به باور هیمن[۸] (2008)، نامناسب بودن آموزش ریاضی‌وار برای دانشجویان مبتدی و لزوم واگذاری آن به سطوح بالاتر، از دیدگاه نیل بی میچل[۹] (1961) و البته باور به «الزام حضور ریاضی در برنامه، بعد از درک مقدماتی رفتار سازه» از سوی برخی پژوهشگران، چون سالوادوری (1958) و مور (۱۳۸۶)، از جمله مسائل مطرح هستند. از سوی دیگر، در برخی رویکردها، چون رویکرد آلن و زالوسکی (2000) در همان ابتدا، تحلیل و طراحی ریاضی همراه با آموزش درک رفتارسازه آغاز می‌گردد.[۱۰] انتزاع مفاهیم انضمامی مکانیک سازه‌ها با ریاضیات، در برنامه‌های آموزشی مورد توجه بوده که با رویکردهای متفاوت در کتاب‌های آموزشی چون کتاب‌های درسی در حوزهٔ فیزیک و ریاضی پایه، چون کتاب زیمانسکی، یانگ و فریدمن (۱۳۸۹)، فردیناند و همکاران (۱۳۸۹) و توماس و فینی (۱۳۷۰) و در کتاب‌های آموزش سازه در معماری، مانند کتاب مور (۱۳۸۶) و کتاب‌های حوزهٔ آموزش تحلیل سازه چون *تئوری ساختمان‌ها* اثر تیموشنکو و یانگ (۱۳۷۳) انجام شده است.

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

بحث دربارهٔ نحوهٔ مدل‌سازی فیزیکی یا مفهومی یکی از مباحث پیشینه بوده است. طباطبایی، محمودی کامل‌آبادی و جاویدروزی (۱۳۹۷) استفاده از مدل کنترل‌شده را یکی از راهبردهای ارتقای آموزش در این حوزه معرفی کرده‌اند. سلیمانی (۱۳۹۲) به اهمیت استفاده از ابزارهای چندگانه، به‌طور خاص مالتی مدیا به‌عنوان ابزار آموزشی اشاره دارد. برای حل مشکلات مدل‌سازی، پژوهش‌های جنبی توسط بیگونی[۱۱] و همکاران (2012) و پایازافورتزا[۱۲] (2009) انجام شده‌اند که به فراخور بحث، به آن‌ها خواهیم پرداخت. و در برنامهٔ دانشگاه برکلی (Gary Black and Duff 1994) این موضوع مسئلهٔ کلیدی تشخیص داده شده است. از سوی دیگر، برخی برنامه‌ها همچون برنامهٔ آموزش مهندسی زلزله به کودکان[۱۳] که برای تدریس پیش‌دانشگاهی طراحی شده‌اند، دقت زیادی به این امر داشته‌اند. در بعضی از پژوهش‌های مربوط به سطوح بالاتر آموزشی، چون مستوفی‌نژاد (۱۳۹۹)، نیز آموزه‌های مناسبی دراین‌باره طرح شده است. «چالش بر سر انتخاب آموزش تحلیل و طرح کشسان یا مومسان» و سایر انتخاب‌های ناشی از آن، چون تکیه بر پایداری یا مقاومت، نامعینی یا معینی[۱۴] از دیگر مسائل پیشینه بوده است که در پژوهش‌های گری بلک و داف (1994)، آلن و زالوسکی (2000)، هیمن (2008) و بیکر و هیمن (۱۳۹۱) بحث شده‌اند. نحوهٔ مواجهه با تحلیل و طراحی سازه‌های بنایی از دیگر مسائل چالش‌برانگیز بوده که توسط پژوهشگرانی چون چینی (۱۳۸۳)، گری بلک و داف (1994)، آلن و زالوسکی (2000)، هیمن (1966)، هورتا[۱۵] (2001)، لورنزو[۱۶] (2001)، اوشندورف[۱۷] (2005) و سانداکر[۱۸] و همکاران (۲۰۱۳) مورد بررسی بوده‌اند. ابهام‌آفرینی مسائل آیین‌نامه‌ای توسط محققانی چون سالوادوری (۱۹۵۸) طرح شده است، بدون آنکه شرح روشنی از آن ارائه گردد. چارلستون[۱۹] (۲۰۱۲) با وجود اشاره به قابلیت‌های نگاه غیرآیین‌نامه‌ای در طراحی در مقابل زلزله، مسیر آیین‌نامه‌ای معمول را پیموده است. اما مستوفی‌نژاد (۱۳۹۹) در خلال مباحث خود، اشارات مفیدی به مسائل آیین‌نامه‌ای داشته است. شرح و تبیین ماهیت بارها و نحوهٔ تبدیل آن‌ها به نیروهای معادل و از سوی دیگر انتزاع ریاضی آن‌ها، برای مثال، تبدیل به بار گسترده، به‌ندرت در برخی برنامه‌ها مانند آلن و زالوسکی (2000) و سالوادوری (۱۳۷۵) مورد توجه بوده است. یکی از دلایل این امر، ریاضیات پیچیدهٔ لازم برای برخی از این تبدیل‌ها بوده است؛ هرچند که روش ریاضی آن‌ها توسط پژوهشگرانی چون وی برگ (۱۳۸۰) و چوپرا (۱۳۸۸) بیان شده است. لزوم آموزش فیزیک پیش از دروس استاتیک و مقاومت مصالح توسط سالوادوری (1958) گوشزد شده است (در رشتهٔ مهندسی عمران نیز دروس فیزیک بر استاتیک مقدم هستند). اما این برنامه در آموزش سازه در معماری در ایران رواج ندارد؛ البته برنامهٔ آموزش فیزیک فعلی در رشته‌های مهندسی مبتنی بر کتاب‌های دانشگاهی مشهور چون زیمانسکی، یانگ و فریدمن (۱۳۸۹)، بیشتر ریاضی‌محور است تا بر تجارب ملموس متکی باشد. با توجه به پژوهش بیزر (۱۳۹۱)، بنا به ضرورت، بنیادهای برخی درون‌مایه‌ها در نوشتار حاضر، مورد بحث قرار گرفته‌اند. برخی از نکات آموزشی نیز با توجه به پژوهش‌های بیلر (۱۳۸۱) و سیف (۱۴۰۰؛ ۱۳۹۰) مورد توجه قرار گرفته‌اند.

در حوزهٔ روش‌شناسی، پژوهش‌های فلیک (۱۳۹۹)، پیگوت–اروین[۲۰] (2002)، کالهون[۲۱] (1994) و الیوت[۲۲] (1991) بر طراحی مدل اقدام‌پژوهی تأثیر داشته‌اند که مورد بحث قرار خواهند گرفت.

پرسش‌ها و چالش‌های اصلی مطرح در پیشینهٔ موضوع، در فرایند پژوهش، همراه پژوهشگران بوده است، اما دقت شده است که پاسخ‌های پیشین به پرسش‌ها «معلق» نگاه داشته شوند تا فقط در صورت رخداد، بررسی و بازفهم شوند. در خلال پژوهش، تلاش شد برخی از این مسائل، موشکافی و شفاف‌تر گردند، اما درگیری با برخی از آن‌ها نگارندگان را به‌سمت مسائل پایه‌ای‌تر و دقیق‌تر سوق داد. از سوی دیگر، مسائل جدیدی نیز در مسیر آشکار و برجسته شدند. با توجه به اینکه مسائل آموزشی ایران، در عین برخی شباهت‌ها، متفاوت با مسائل برنامه‌های آموزشی پیشینه هستند که عمدتاً در غرب تدوین شده‌اند، «نحوهٔ رخداد» مسائل مشهور در بستر ایران مورد توجه بوده است. ظهور برخی از درون‌مایه‌های جدید نیز برخاسته از وضعیت آموزشی ایران است.

۲. روش پژوهش

اقدام پژوهشی حاضر، در پارادایم ممارست[۲۳] به قصد «مداخله و بهبود» انجام پذیرفته است.[۲۴] سه حوزهٔ رفتار سازه‌های

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

بنایی[۲۵]، دینامیک سازه‌ها[۲۶] (مباحث مرتبط با زلزله) و طراحی با جریان نیروها[۲۷] مورد تدریس و مطالعه بوده‌اند که مصادیقی از آن‌ها در نوشتار حاضر ارائه می‌شوند.

در اقدام‌پژوهی، علاوه بر وجود مدل‌های عام، مدل، در عمل، بر اساس شرایط پژوهش ساخته می‌شود. مدل استفاده‌شده در پژوهش حاضر متأثر از الگوهای متأخر تفسیری بوده است. در این الگوها (مانند مدل پیشنهادی؛ Piggot-Irvine 2002)،کار با درگیری در شرایط موجود و حاضر آغاز می‌شود؛ سپس ایده‌ای در ذهن جوانه می‌زند که نخست به‌صورت چرخه‌ای کناری در برنامهٔ جاری به گردش می‌افتد (تصویر ۱). نتایج حاصل از این چرخه تدقیق شده و در چرخهٔ آموزشی دیگری، به‌منظور «اعمال تغییرات» در برنامه به کار گرفته می‌شود. در نهایت، چرخهٔ دیگری، برای «ارزیابی تغییراتِ انجام‌شده» مورد توجه قرار می‌گیرد. نکتهٔ دیگرِ مدل‌های متأخر، که مورد توجه پژوهش حاضر است، قائل نبودن به سیر خطی میان طرح، عمل، مشاهده و تأمل در هریک از چرخه‌هاست (Calhoun 1994) (در تصویر ۱ امکان حرکت آزاد با پیکان‌های خط‌چین نشان داده شده است.) مسئلهٔ دیگری که در گزارش حاضر مهم بوده، نیاز به بازبینی مکرر ایده‌های اولیه بوده است. توصیه‌ای که مدل الیوت (1991) بر توجه به آن در تمام فرایند تأکید دارد (تصویر ۱).

در طی انجام هر چرخهٔ تدریس، در سه حوزهٔ آموزشی ذکرشده در بالا، چالش‌هایی مشاهده شدند و مورد خودارزیابی، ارزیابی توسط هم‌قطاران دانشگاهی و گروه متخصصان برجستهٔ دانشگاهی از رشته‌های معماری و سازه قرار گرفتند و اصلاحات لازم در چرخه‌های بعدی اعمال و دوباره ارزیابی شدند. به‌تدریج، درون‌مایه‌هایی پدیدار گشتند که محورهای اصلی مباحثات را شکل می‌دادند و مورد گفت‌وگو و مفاهمه میان نگارندگان و ارزیابان قرار داشتند که در این نوشتار بدان‌ها خواهیم پرداخت. اضافه بر آن، «معنادار بودن»[۲۸] این درون‌مایه‌ها در نسبت با چالش‌های مطرح در پیشینه، مرتب، مورد سنجش و بحث قرار گرفتند.

در ابتدا مسئله‌ها یا حدس‌های گنگی دربارهٔ مسائل آموزشی این حوزه در ذهن نگارندگان وجود داشتند که برخاسته از زیست آن‌ها در گفتمان جامعهٔ دانشگاهی کشور بودند. در ابتدا شاید در پاسخی شتاب‌زده، ما با مفاهیم و روش‌هایی چون به‌کارگیری مدل‌های فیزیکی، مانند زنجیر آویخته برای سازه‌های تاقی بنایی، استفاده از زبان‌های هندسی، مانند استاتیک ترسیمی، و استخدام نوعی از زبان‌های عددی مانند کاربرد «روش کار مجازی»[۲۹] که کمتر در دانشکده‌های معماری ایران مورد توجه بوده‌اند، آغاز به کار کردیم: روش‌هایی که در برنامه‌های نوین آموزش سازه در معماری، مانند آلن و همکاران (2010)، آلن و زالوسکی (2000) و نیل بی. میچل (1961) در سال‌های اخیر مورد توجه بوده‌اند. این مسیر اولیه مورد بررسی گروه متخصصان برجسته قرار گرفت و نقدهای جدی بر آن وارد شد که محور اصلی آن‌ها «عدم آمادگی دانشجویان ورودی دانشگاه‌های کشورمان برای جذب و فهم این مفاهیم و روش‌ها» بود. با تجدیدنظر در ایده‌های اولیه و تأمل در بازخوردهای دانشجویان، به‌تدریج چرخشی در آموزش روی داد که حاصل آن درون‌مایه‌هایی است که برای گروه هم‌قطاران و متخصصان برجسته «معنادار» و «معتبر» تلقی شدند.

تصویر ۱: مدل اقدام‌پژوهی پژوهش حاضر

۳. درون‌مایه‌های پدیدارشده در فرایند آموزش و راهکارهای پیشنهادی مرتبط با آن‌ها

درون‌مایه‌ها و راهکارهای مرتبط با آن‌ها در اینجا ارائه می‌شوند. در هر بند، با ذکر نمونه از چرخه‌های آموزشی، مثال‌هایی ارائه شده‌اند که درون‌مایهٔ طرح‌شده ملموس شود. بحث هر موضوع در ارتباط با پیشینه، در هریک از موارد طرح شده است.

۳. ۱. توصیه به استفاده از زبان ملموس و خودی

به کار بردن واژه‌های کلیشه‌ایِ زبانِ غالب ارتباط زنده با مفهوم را مختل می‌کند و روانی آموزش را سلب می‌کند: کلماتی ملموس و احیاگر، واژه‌هایی که برخلاف کلمات کلیشه‌شده، مفهوم پشت خود را به شکل پویایی نمایان کنند، توسط دانشجو و مدرس، بر اساس شرایط طرح و تجربهٔ زیستهٔ یادگیرنده به کار برده شوند.

۳. ۱. ۱. مصداق

ـ دانشجو اشاره می‌کند: «در برخی موارد پارازیتی بر روی حرکت کلی ساختمان در زلزله می‌افتد.» نگوییم: برهم‌نهی حالات نوسانی (تصویر ۲).

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

ـ دانشجو اشاره می‌کند: «اگر برای بالاترین طبقهٔ ساختمان فکری نکنیم، در ارتعاش تصادفی، عصبانی می‌شود» (اشاره به مشاهدهٔ حرکات شدید طبقهٔ بالا، در اثر حضور حالات نوسانی بالاتر[۳۰]) (تصویر ۲).

در برنامه‌های آموزشی مرسوم، مانند برنامهٔ دانشگاه تافتس، متکی بر کتاب *سیستم‌های ساختمانی* (انگل ۱۳۷۷)، معرفی واژگان تخصصی در ابتدای برنامهٔ آموزشی لحاظ شده‌اند. نگارندگان نیز در ابتدا، طبق سنت مرسوم به این امر می‌پرداختند، اما به‌مرور مشاهده شد که این امر در روانی آموزش و فهم یادگیرنده اختلال ایجاد می‌کند. اضافه بر آن، نگارندگان مشاهده کردند کلماتی از آموزش پیش‌دانشگاهی و منابع اینترنتی به‌صورت طوطی‌وار بر ذهن و زبان یادگیرنده جاری می‌شوند که یادگیرنده از آن‌ها تصویر زنده و درستی ندارد، و سخن گفتن با زبان و اصطلاحات فردی در ابتدای آموزش، می‌تواند نوعی پاک‌سازی از سیطرهٔ زبان «مغلوط» آن‌ها باشد (مقصود واژگانی است که در فیزیک و مکانیک پیش‌دانشگاهی آموخته شده است). سیف (۱۳۹۰) در کتاب *ارزشیابی آموزشی* ذکر می‌کند که یکی از معیارهای ارتقا در حوزهٔ شناختی، توان بیان مسئله توسط یادگیرنده به زبان و اصطلاحات خود می‌باشد.[۳۱]

۳. ۲. توصیه به استفاده از عبارت‌های شارح

برخی «تک‌واژه‌ها» در آموزش به کار می‌روند که کاربرد آن‌ها به نظر بدیهی و روشن محسوب می‌شود؛ درحالی‌که این تک‌واژه‌ها برای یادگیرنده، معنای ملموسی ایجاد نمی‌کنند. استفاده از «عبارت‌های شارح» می‌تواند برای یادگیرنده مفهوم روشن‌تری ایجاد کند.

۳. ۲. ۱. مصداق

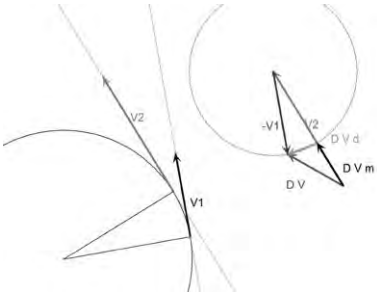
ـ بگوییم: اگر سنگ را با طناب با سرعت ثابت دور سر خود بچرخانیم، کشش طناب سنگ را داخل حرکت دایره‌ای نگاه می‌دارد؛ نگوییم نیروی جانب مرکز[۳۲] (تصویر ۳).

تصویر ۳: چپ: نیروی جانب مرکز در دوران قطعهٔ قوس در زلزله (اثر دانشجو فاطمه ضیایی). راست: عبارت مشروحی به‌جای «نیروی جانب مرکز» به کار بریم.

در برنامه‌های آموزشی پیشینه، نوعی بهره‌گیری از واژه بدیهی انگاشته شده است. چنان‌که چنین چیزی در جهان معاصر ضروری تشخیص داده شود، این امر می‌تواند از طریق عبارات شارح حاصل شود. برای مثال در کتاب جرالثقیل (۱۲۶۰)، از نخستین کتاب‌های مدرسهٔ دارالفنون در حوزهٔ مکانیک جدید، مترجم قاجاری در اولین برخورد با فیزیک جدید، واژهٔ «قابل انحنا نبودن» را به‌جای «صلبیت» جسم به کار می‌برد. و عبارت «تلاش جسمی که می‌خواهد میل کند و نسبت به مانعی نگه داشته شده است» را به‌جای وزن به کار می‌برد که دیدگاه ارسطویی او (جسم–پویا) را در مقابل رویکرد دکارتی (جسم–ماند) نشان می‌دهد (سلیمانی‌تبار ۱۳۹۳). در فرایند تدریس، برخی مدرسان با تجربه به این امر توجه دارند. در یکی از برنامه‌های مورد مطالعه[۳۳]، به‌جای بیان واژهٔ «مشتق کمیت برداری»، استاد «عبارت شارحی» را مکرر و مکرر تذکر می‌دهد:

«تغییر حرکت ما در یک مسیر منحنی، هم از تغییر مقدار سرعت ما اثر می‌پذیرد، هم از تغییر جهت حرکت ما» (تصویر ۴).

تصویر ۲: در صورت ارتعاش تصادفی مدل معادل ساختمان چندطبقه، بر حالت اول نوسانی مدل، پارازیت می‌افتد و منجر به حرکات شدید طبقهٔ بالا می‌گردد (در اینجا، پایین‌ترین کف آویخته). (آموزش مفاهیم زلزله با استفاده از مدل‌های آویخته؛ اثر دانشجو سرور آروین)



تصویر ۴: تغییر حرکت ما در یک مسیر منحنی هم از تغییر سرعت و هم از تغییر جهت سرعت اثر می‌گیرد.

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

۳. ۳. دلالت برخی از واژگان بر نوع خاص یک سازه یا عضو سازه‌ای و گاه حتی نوع نامعمول آن‌ها

برخی از واژگان، فقط بر نوع خاص یک سازه یا عضو سازه‌ای و گاه حتی نوع نامعمول آن‌ها دلالت دارند. به کار بردن آن‌ها سبب حذف امکان‌های مفهومی دیگر و حتی امکان‌های مفهومیِ «حقیقی‌تر» می‌شود (مغالطهٔ جزء و کل). به کار بردن واژگان ابداعی به‌جای واژگان دال بر نوع خاصی از یک مفهوم پیشنهاد می‌شود.

۳. ۳. ۱. مصداق

ـ به کار بردنِ مفهوم «میزان دوران اتصال‌ها» به‌جای گیرداری یا مفصلی بودن اتصال‌ها، تعبیر دقیق‌تری از برخی اتصال‌هاست (تصویر ۵).

تصویر ۵: میزان دوران اتصال بر کنترل تغییر شکل‌ها در زلزله تأثیر دارد.

در برنامه‌های بررسی‌شده در پیشینه، مسائلی از این دست، چون تدریسِ «انحصاری» اتصال مفصلی و گیردار کامل وجود دارد که یکی از عواملی هستند که سبب می‌شوند دانشجوی معماری تا سال‌های متمادی از نحوهٔ کارکرد دقیق سازه، برای مثال، یک اتصال در قاب خمشی بی‌اطلاع باشد (در اتصال قاب خمشی، همواره با میزانی از دوران مواجهیم که یکی از مدل‌های صحیح مکانیکی آن فنر پیچشی است) (ازهری و میرقادری ۱۳۹۲، ج. ۳: ۸).

۳. ٤. خطای انتزاع ناشیانهٔ مفاهیم

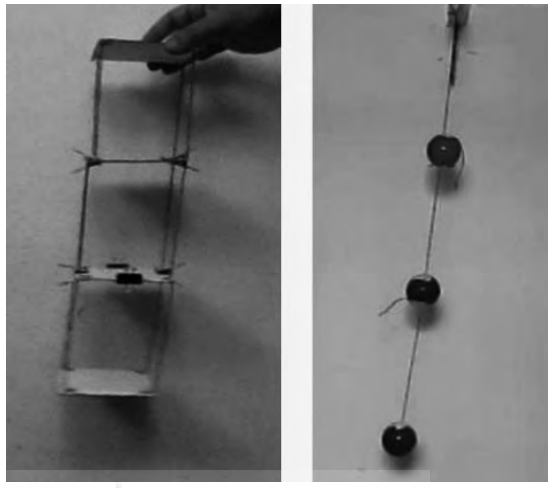
مفاهیمی وجود دارند که انتزاع ناشیانهٔ آن‌ها می‌تواند سبب اشتباه جدی در درک رفتار گردد. زمانی که مفاهیمی ملموس و واقعی (انضمامی) را با مفاهیم ایدئال و ریاضی جایگزین می‌کنیم، باید احتیاط نماییم خطای این جایگزینی از منظر ما پنهان نماند.

۳. ٤. ۱. مصداق

ـ نخست، جرم جسم را در حالت واقعی و گسترده در نظر بگیریم، نه اینکه آن را در یک نقطه متمرکز بگیریم (مقصود استفاده از بردار برایند به‌جای توزیع گستردهٔ جسم است)؛ زیرا در حرکت آزاد، علاوه بر حرکت انتقالی مرکز جرم، جسم حرکت و اینرسی دورانی نیز دارد (مفهوم ممان اینرسی دینامیکی). تصویر ۶ نشان می‌دهد که در نمایش اسکیت روی یخ، ورزشکار، برای تغییر اینرسی دورانی دست‌هایش را باز و جمع می‌کند. در فروکاهش مدل ساختمان به مدل گوی متمرکز، این تذکر ضروری است (تصویر ۷).

تصویر ۶: در نمایش اسکیت روی یخ، ورزشکار، برای تغییر اینرسی دورانی، دست‌هایش را جمع و باز می‌کند(https://tamasha.com/movie) .

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]



تصویر ۷: در جایگزینی جرم گسترده (چپ) با جرم متمرکز (راست) فروکاهش رخ می‌دهد و شرط حرکت انتقالی خالص و عدم دوران کف‌ها، برای صحت این فروکاهش لازم است.

یادگیرندگان برنامهٔ حاضر در این مفاهیم ایدئال، دچار ابهام زیادی بوده‌اند. در برنامه‌های مورد مطالعه، که مواردی از آن در ذیل طرح می‌شوند، شواهد مکرری از این مسئله مشاهده شدند که با تجربهٔ نگارندگان همسو بودند.

در کتاب‌های آموزشی چون کتاب‌های درسی در حوزهٔ فیزیک و ریاضی پایه، زیمانسکی، یانگ و فریدمن (۱۳۸۹)، فردیناند و همکاران (۱۳۸۹) و توماس و فینی (۱۳۷۰) و در کتاب‌های آموزش سازه چون تیموشنکو و یانگ (۱۳۷۳) انتزاع مفاهیم «با تذکر و هشیاری» انجام شده است؛ هرچند که بررسی دو برنامهٔ آموزش مهندسی توسط نگارندگان نشان می‌دهد که به‌رغم تذکرات کتاب‌ها، دانشجویان مهندسی مسائلی در فهم این مفاهیم دارند (دو برنامه[۳۴] عبارت‌اند از دروس پایهٔ دانشکده فنی تهران چون دینامیک[۳۵]، یا درس مبانی مهندسی زلزله دانشگاه صنعتی شریف[۳۶]). اما در آموزش سازه در معماری، در منابعی چون مور (۱۳۸۶)، شاید به‌دلیل لزوم تلخیص محتوا، این دقت تا حدودی کاهش پیدا کرده است.

محتمل است که یادگیرندگان جوان تصور کنند که امری واقعی، دقیقاً معادل یک مدل انتزاعی خاص یک مسئله عمل می‌کند. در مصداقی، دست‌اندرکاران تدریس مفاهیم لرزه‌شناسی معتقدند همان قدر که زمان لازم است تا یک مدل مفهومی به نوآموزان تدریس شود، باید زمانی به برنامه اختصاص داده شود تا به آن‌ها تذکر داده شود که مدل، دقیقاً بر پدیدهٔ واقعی منطبق نیست (برنامهٔ آموزش مهندسی زلزله به کودکان[۳۷])؛ پس تلاشی برای مدل‌سازی مفهومی دقیق و مراقبت در طی این مسیر لازم است.

باید اضافه کرد بخشی از روش‌های رشد نظریه‌ها و ایده‌های خلاقانه، در بازنگری و بازتعریف در این مفاهیم پایه، خانه دارد؛ برای مثال، بازتعریف نحوهٔ تعادل نیروها در فضا توسط رانکین[۳۸] (1864) امکان طراحی خلاقانهٔ سازه‌های سه‌بعدی را فراهم آورده است.

در نهایت، توضیح مسئله‌هایی چون «آیا جرم یک میله را می‌توان در مرکز آن متمرکز فرض نمود»، از فعالیت‌های دشوار نگارندگان در طول تدریس بود.

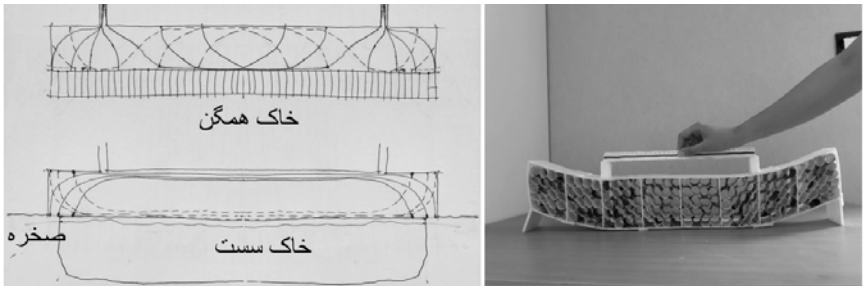
۳. ۵. توجه به امکان‌ها و محدودیت‌های استعاره‌ها

در آموزش و فهم سازه مشهور است که از استعاره‌ها استفاده شود؛ برای مثال، برای شرح روش مهار کمانش ستون از استعارهٔ «دکل کشتی بادبانی» استفاده می‌شود. باید در هر حال بررسی کرد استعارهٔ مطلوب سازه‌ای در موضوع خاص مورد بررسی چیست؟ باید دقت کنیم که نباید تنها یک استعاره، ولو درست، بر ذهن غالب باشد؛ زیرا سایر استعاره‌ها می‌توانند مسیری دیگر برای فهم و طراحی ایجاد کنند.

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

۳. ۵. ۱. مصداق

ـ استعارۀ مناسب شالوده در نشست‌های ناهمگن، «شالوده چون سقف (یا تیر)» است نه «شالوده چون کفش برف»[۳۹] (تصویر ۸).



تصویر ۸: استعارۀ شالوده چون سقف به‌جای شالوده چون کفش برف. چپ: بسته به نحوۀ فرود عناصر باربر قائم بر شالوده و شرایط خاک زیر شالوده (همگن یا سست)، شالوده مانند تیرهایی با شرایط تکیه‌گاهی و بارهای متفاوت رفتار می‌کند. راست: مدل‌سازی فیزیکی از تصویر چپ (پایین) (اثر دانشجو آناهیتا کاظمی).

باید اضافه کرد که برخی از این استعاره‌ها، در یک عصر بلندمدت غالب هستند؛ به‌گونه‌ای که کسانی که در آن عصر زیست می‌کنند، آن‌ها را بدیهی و مفروض می‌انگارند و به‌دلیل «غرق بودن» در آن‌ها، از استعاره‌های دیگر غافل می‌شوند. در قرن ۱۸ و ۱۹ میلادی، مهندسان، غوطه‌ور در این استعارۀ سیستم‌انگارانه که «سازه با حداقل انرژی خودش رفتار می‌نماید»، وضعیت دقیق ریاضی سازۀ نامعین را معین می‌کردند (طرح کشسان)، اما در قرن بیستم میلادی، با طرح استعارۀ سازه چون «چهارپایۀ دختر شیردوش»[۴۰]، مفروضات و رویکرد (به‌سمت طرح مومسان) تغییر کرد.[۴۱] ازاین‌رو توصیه می‌شود نگاه به استعاره‌ها توأمان با توجه به تاریخ، و حضور و غیاب دیدگاه‌های سازه‌ای باشد.

۳. ٦. نیاز به دوباره مفهوم‌سازی برخی مفاهیم به ظاهر بدیهی

نیاز به دوباره مفهوم‌سازی مفاهیم به ظاهر بدیهی احساس می‌گردد. یادگیرنده با مفاهیم به ظاهر بدیهی ناآشناست.

۳. ٦. ۱. مصداق

ـ مفهوم شتاب، سرعت و جابه‌جایی و ارتباط آن‌ها که از آموزه‌های پیش‌دانشگاهی است، برای شاگرد روشن نیست.

حجت (۱۳۸۳) اشاره دارد که آموزش پیش‌دانشگاهی مبتنی بر محفوظات است. در تجربه‌های آموزشی بررسی‌شده نیز، تذکرات جدی دربارۀ مفاهیم پایه‌ای مشاهده می‌شود که دانشجویان در آن‌ها، دچار اشتباه‌های فاحش می‌شوند؛ برای مثال، مدرس درس *دینامیک دانشگاهی*[۴۲]، در تذکر به دانشجویان مهندسی می‌گوید که قوانین نیوتن نسبت به یک مرجع مشخص برقرار هستند و نمی‌توان در مسائل آن‌ها را نسبت به هر مرجعی نوشت. این معضل گاه تا حدی رخ داده است که در کتاب آلن و زالوسکی (2000) برای رهایی از این مشکل، فرض شده که دانشجو نخستین بار با مطالبی چون مفاهیم فیزیکی پایه یا حتی روابط مثلثاتی ساده، مانند سینوس روبه‌رو خواهد شد و آموزش بر این فرض تنظیم شده است. در برنامۀ دانشگاه تافتس (Neal and Mitchell 1961) اهتمام ویژه‌ای به این امر شده است. دانشجویان سال اول آموزش خود را به مطالعۀ طبیعت و مفاهیم مکانیک نیوتنی در آن می‌پردازند. همچنین، در این برنامه، ایجاد تصویر حرکتی (سینماتیک) راه‌حل این معضل معرفی شده است. برای حل این معضل، در برنامه‌های مطالعه‌شده همچون زیمانسکی، یانگ و فریدمن (۱۳۸۹)، سعی شده با آوردن مثال‌هایی از تجربۀ یادگیرنده که وی با آن‌ها مأنوس بوده است، مفاهیم یادآوری شوند، اما نقش آن‌ها کمرنگ و حاشیه‌ای است. همچنین، برخی از مفاهیم در مقدمۀ کتاب‌ها و برنامه‌های آموزشی تعریف شده‌اند که معمولاً در تدریس به‌صورت گذرا طرح می‌شوند. از دیدگاه نگارندگان، مطالب اینچنینی که در برنامه‌های آموزشی مرسوم کمرنگ و در حاشیه هستند، برای نوآموز باید در متن باشند.

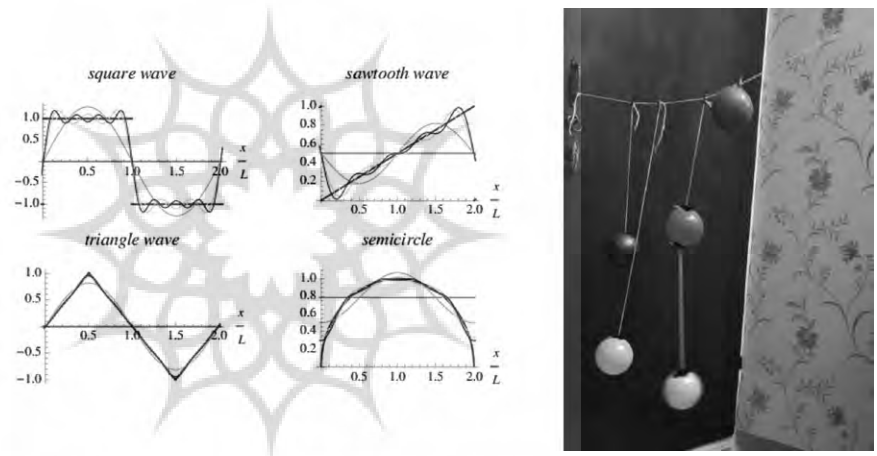
[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

۳. ۷. حذف برخی مفاهیم پیشرفته و مهم از برنامهٔ آموزشی معماری

مفاهیم پیشرفتهٔ متعلق به برنامهٔ آموزشی مهندسی سازه، به‌دلیل پیچیدگی نسبی و نیاز به زمان طولانی برای طرح مسیر عددیِ آن‌ها، از آموزش معماری حذف شده‌اند. امکان تدریس آن‌ها از طریق «مدل‌های ساده» وجود دارد. مدرسان عمران با توجه به دشوار یافتن تدریس غیرعددی این مفاهیم، بیشتر، مفاهیم ابتدایی دورهٔ آموزشی خود را تدریس می‌کنند. مشخص است که مدرسان معمار هم، به‌دلیل عدم رواج فعالیت‌های عمیق بین رشته‌ای، به این مسیرهای پیشرفته، آگاهی یا اشراف ندارند. به‌مرور، این عدم پرداختن به موضوع، سبب غلبهٔ یک افق شده است که امکان طرح مسائل اینچنینی را نفی می‌کند.

۳. ۷. ۱. مصداق

ـ شناخت ویژگی‌های فرکانسی زلزله، که بر کارایی راهکارهای طراحی معماری در مقابله با زلزله و انتخاب پیکره‌بندی ساختمان تأثیر می‌گذارد، در کتاب‌ها، توسط ریاضیات پیچیده طرح می‌شود: این مطلب به‌سادگی با نوسان آونگ‌های چندگانه قابل توضیح است (تصویر ۹).



تصویر ۹: تحلیل ریاضی نوسان یک موج تصادفی (چپ)؛ این عمل به‌سادگی با نوسان آونگ‌های چندگانه قابل توضیح است (راست) (راست: اثر دانشجو سرور آروین).

به نظر می‌رسد این حوزه یکی از مهم‌ترین مواردی است که باید مورد توجه قرار گیرد؛ زیرا عموماً «طراحی» نیاز به دانش عمیق‌تری نسبت به «تحلیل» دارد. در بیانیهٔ برنامهٔ دانشگاه برکلی (Gary Black and Duff 1994)، نیز ذکر شده که دانشجوی معماری به مطالبی «محدودتر اما عمیق‌تر» نیاز دارد، برخلاف تصور مرسوم که دانش یک معمار باید «گسترده و غیرعمیق» باشد. سالوادوری (1958) این مسیر عمق‌بخشی را از طریق آموزش ریاضی بعد از ادراک سازه می‌داند. گرچه حساسیت او قابل فهم است، حتی اگر فرض بگیریم آموزش ریاضی در سطوح بالای آموزشی لازم است، همراهی با مدل‌های فیزیکی، انضمامی ضروری به نظر می‌رسد. و این امر ضرورت این‌گونه مدل‌سازی از مفاهیم پیشرفته را آشکار می‌سازد.

این حوزه تلاش زیادی می‌طلبد؛ زیرا فقط متخصصان سازهٔ با توان بالا از عهدهٔ بیان این مفاهیم به زبان ساده برمی‌آیند و به‌دلیل مشغله‌های علمی و حرفه‌ای، مجال ترجمهٔ چنین مطالبی را به زبان مفهومی ندارند. متخصصانِ تراز پایین‌تر رشتهٔ سازه نیز، به این مطالب اشراف ندارند. و متخصصان معماری هم، برای چنین حرکتی مجبورند به آن دانش سطح بالا که معمولاً عددی نوشته شده، اشراف پیدا کنند.

۳. ۸. نیاز به آموزش مدل‌سازی ریاضی

تردید جدی دربارهٔ معرفی و تدریس کاربرد روش‌ها و مدل‌های ریاضی وجود دارد. نیاز به زمان و برنامه‌ای مجزا برای

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

آموزش «مدل‌سازی ریاضی» احساس می‌شود. یادگیرندگان در مدل‌سازی ریاضی که از دوران دبستان آغاز شده، ضعف دارند و ضعف آن‌ها در سطح متوسطه به حوزه‌هایی مانند حساب انتگرال نیز کشیده شده است: به زبان ساده، دانشجو «نمی‌داند» انتگرال یا حتی ساده‌تر، ضرب و تقسیم کسر چیستند؟ و با چه فرایندی باید ماده و فیزیک را به ریاضی «تحویل» داد.

۳. ۸. ۱. مصداق‌ها

ـ در تعریف مفهوم کار مجازی، تأثیر دو مفهوم نیرو و جابه‌جایی بر مفهوم کار، از طریق مدل فیزیکی، توسط دانشجو مشاهده شد، اما دانشجو در صورت‌بندی ارتباط ریاضی این سه مفهوم حاصل از آزمایش فیزیکی دچار ابهام بود (این مفهوم در حوزهٔ آموزش سازه‌های بنایی طرح می‌شود).

ـ مشکلات عدیدهٔ رخ‌داده درآموزش استاتیک ترسیمی از دیگر موارد قابل ذکر است.

روند تغییر تفکر نگارندگان در طول زمان، در مقالهٔ حاضر، در این مسئله، طی گام‌های ذیل بود:

ـ سیر پیشنهادی در ابتدای پژوهش: مواجههٔ شهودی–بدنی با سازه، «استفاده از یک مدل ریاضی» برای تبیین مرحلهٔ قبل و سپس، طراحی و تحلیل. (حرکت در مسیر برنامهٔ آموزشی جاری دانشگاهی، اما تلاش برای بهبود ضعف ادراک مفهومی)؛

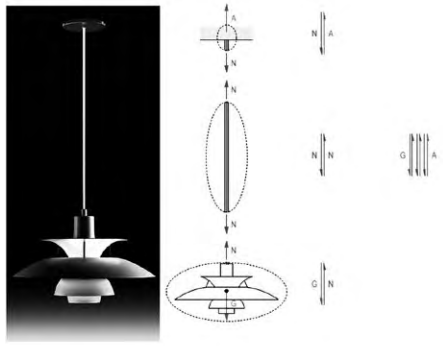
ـ تغییر تفکر در گام دوم: موازی‌سازی دانش ریاضی با مواجههٔ شهودی–بدنی و استفاده از دانش ریاضی به‌عنوان ابزار کمکی در صورت وفق با شرایط ذهنی دانشجو؛

ـ گام سوم: احساس نیاز مبرم به حوزهٔ میانی مدل‌سازی ریاضی، مابین دو حوزهٔ مواجههٔ شهودی–بدنی و ریاضی، برای محقق نمودن گام دوم. (البته، باید دقت کرد مرزهای این سه حوزه در هم نفوذ دارند و خط مرزی خشک و دقیقی میان آن‌ها نیست.)

در برنامه‌های آموزشی، تلاش‌ها بر آموزش مدل‌های گوناگون ریاضی متمرکز هستند: مفید بودن «تدریس مستقیم مدل ریاضی» مغایر با یافته‌های تجربهٔ آموزشی حاضر است. در این مسیر باید به شرایط ذهنی دانشجو توجه داشت. نگرش منفی دانشجویان به ریاضی که توسط طباطبایی، محمودی کامل‌آبادی و جاویدروزی (۱۳۹۷) طرح شده است، توسط سالوادوری (1958) محصول «سمی شدن ذهن آن‌ها» در دوران پیش‌دانشگاهی نسبت به ریاضی تلقی می‌شود. سالوادوری (1958) معتقد است اگر چنین عقبهٔ مسمومی وجود نداشته باشد، تدریس حوزه‌ای چون حساب انتگرال به‌سادگی مقدور است. از سوی دیگر، باید میان فهم مدل ریاضی یک سازه و انجام محاسبات فرق گذاشت. هیمن (2008) اشاره کرده است که محاسبات سازه‌ای دارای پیچیدگی مفهومی نیستند و نیازی نیست وقت دانشجو بر روی آن‌ها صرف شود. بلکه برنامه باید بر «آموزش ارتباط مدل فیزیکی و ریاضی» متمرکز باشد. البته این نکته نازل‌تر از سطح مدل‌سازی ریاضی است؛ زیرا مدل ریاضی ازپیش‌تعیین‌شده‌ای را به کار می‌گیرد. به‌ندرت، در برخی کتاب‌ها مانند *حسابان توماس* (توماس و فینی ۱۳۷۰) به‌طور ضمنی، با طرح مسائلی چون «یک مدل ریاضی بسازید که چقدر طول می‌کشد یک گلوله برفی آب شود»، به مدل‌سازی ریاضی توجه شده است. معمولاً مسائلی در پیشینه، در منابعی مانند وی. برگ (۱۳۸۰)، و چوپرا (۱۳۸۸) برای آموزش مهندسی به‌صورت عددی بیان شده‌اند. مدل‌سازی فیزیکی از چنین مسائلی و سپس، گونه‌ای مدل‌سازی ریاضی بر روی آن‌ها می‌تواند مفید باشد. چنین نگاه‌هایی می‌تواند در این امر راهگشا باشد.

برای راهگشایی در انتزاع ریاضی، ترسیم نمودارهای هندسی بر روی خود تصویر شکل و سپس جدا کردن آن‌ها توصیه می‌شود. برای مثال، ارائهٔ درسی یک مدرس با تجربه در تصویر (۱۰)، با توجه ضمنی به این موضوع دیده می‌شود.[۴۳] کتاب‌های این حوزه پیش از غلبهٔ تفکر مطلقاً ریاضی در قرن ۱۹ میلادی، مانند استوین[۴۴] (1586) نیز چنین راهبردی را داشتند (تصویر ۱۱).

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]



تصویر ۱۰: نمودارهای هندسی و انتزاعی را بر روی خود شکل ترسیم کنیم (درس طراحی سازه یک دانشگاه ای. تی. اچ. زوریخ) (http://www.block.arch.ethz.ch/eq).

26 S. STEVINS

ende nochtans gheerne wat ooghenschijnelicx sagben, waer duer sijt ghe-
loofden, die mueghen nemen een rechten ghelchickten, ofte crommen
onghelchickten stock,
voet valt, als A B, hem
hanghende tot eenigher
plaets als C, an een
coorde C D. Daer naer
hanghende anden stock
euen ghewichten als E, F,
alsoo dat haer coorden
G H, I K, eueverre sijn
vande lini C D neerwaert
ghetrocken, te weten dat
H L euen sy an L K, den
stock sal haer eerste stant
houden, t'welc sal sy oock
doen soomen E weerde,
ende datmen anhinghe
rghewicht M, dobbel an
F, ende alsó dat L K oock
dobbel sy an L N, ende
soo met allen anderen,
waer uyt sy de noodsaec-
lichcyt van rghene bo-
uen ghelcyt is, lichtelick
ghenoelen sullen.

تصویر ۱۱: یکی از ترسیم‌های استوین از تعادل نیروهای وزنه‌های آویخته از یک ریسمان. حل بر روی تصاویر بسیار نزدیک به واقعیت انجام شده است (Stevin 1586).

۹. ۳. امکان استفاده از نوع دیگری از ریاضیات

در صورت رجوع به مدل‌های ریاضی موجود، باید توجه داشت که با استفاده از نوع دیگری از ریاضیات که مفهومی‌ترِ است، می‌توان برخی از مطالب پیشرفته را تدریس کرد. اجتناب از تدریس برخی از مطالب، به‌دلیل نیاز به ریاضیات ظاهراً سطح بالاتر یا ریاضیات دور از فهم‌تر(؟)، یکی از مسائلی بود که در برنامهٔ آموزشی مشاهده شد.

۳. ۹. ۱. مصداق

ـ یافتن مرکز ثقل مثلث از طریق استدلال هندسی و استقرای مفهوم به چندضلعی بر انتگرال‌گیری عددی تقدم وجودی و تاریخی دارد.

در برخی موارد، طرح ریاضی بحث، به دلایلی چون «حل مسئله با رایانه» (استفاده از زبان ماتریس) چنین دور از فهم شده است؛ برای مثال، تیموشنکو و یانگ (۱۳۷۳) ذکر می‌کنند که به‌جای روش‌های انتگرال‌گیری عددی برای حل مسائل دینامیکی، چگونه می‌توان از روش‌های ترسیمی استفاده کرد. در کتاب‌های استاتیک و دینامیک (فردیناند و همکاران ۱۳۸۹) و حساب انتگرال (توماس و فینی ۱۳۷۰) برخی از این روش‌ها به‌صورت ضمنی طرح شده‌اند: کافی است آن‌ها را آشکار و روش انتگرال را ضمنی کنیم. استفاده از روش‌هایی چون دست‌سازه‌های هندسی که در آموزش دبستان به‌عنوان کمک‌آموزشی، در منابعی مانند (تیموری ۱۳۸۸) ارائه شده‌اند، می‌تواند مفید باشد.

۳. ۱۰. احتیاط در به‌کارگیری «مفاهیم یا مدل‌های انتزاعی حل ریاضی‌وار مسئله» به‌عنوان «مدلِ فهم و طراحی»

این مفاهیم برای تسهیل حل مسئله هستند و در سطح فعلی و به‌گونه‌ای که ارائه می‌شوند، ماهیت فیزیکی ندارند. ازاین‌رو برای فهم و طراحی مناسب نیستند.

۳. ۱۰. ۱. مصداق‌ها

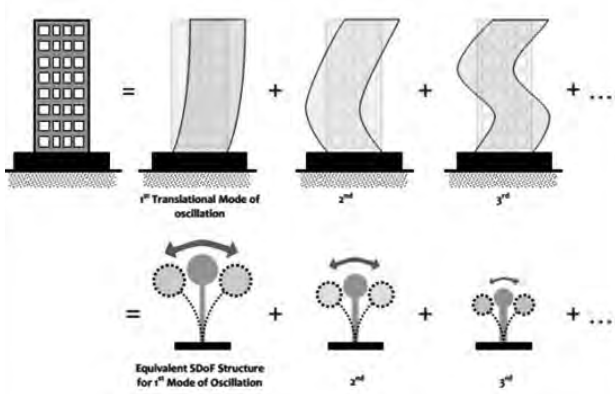
ـ رفتار ساختمان چندطبقه، با یک مدل ساده‌شده از «یک گوی و فنر» بیان شده است. این مدل در مهندسی سازه، برای تحلیل آسان‌تر ریاضی تعریف می‌شود و برای نوآموز، مفهوم انضمامی و قابل لمس ندارد (تصویر ۱۲).

ـ ارتباط برخی مفاهیم بر روی نمودار ترسیم می‌شوند که نوعی انتزاع‌سازی محسوب می‌شود. تا زمانی که دانشجو، خود، برخی نمودارها را ولو سرانگشتی، تولید نکند، متوجه مفهوم آن‌ها نمی‌شود (تصویر ۱۳).

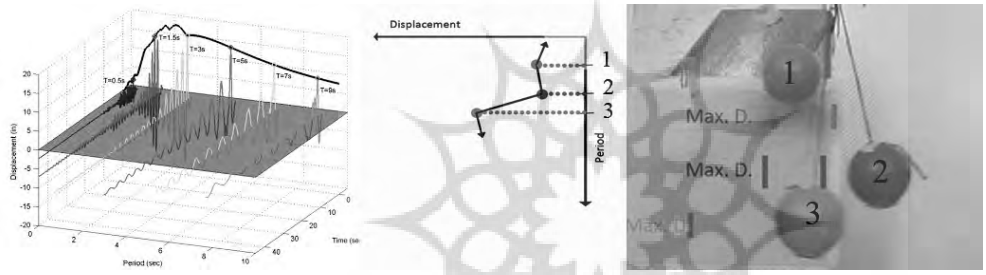
این مطلب، یکی از چالش‌های پیشینه است؛ برای مثال، برای توضیح پاسخ مقطع تیر به خمش، مفهوم «شعاع ژیراسیون» که یک مدل‌سازی ریاضی است، عنصری بلاتکلیف در تدریس مرسوم سازه توسط مهندسین عمران به دانشجوی معماری می‌باشد، در برنامهٔ پیشنهادی (Allen Edward and et al. 2010) مفهوم شعاع ژیراسیون از برنامهٔ آموزش تیر حذف شده است.

نمودار یک نوع انتزاع‌سازی ریاضی است: یعنی ارتباط کمّی پدیده‌های ملموس را به‌صورت انتزاعی مصوّر می‌کند.

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]



تصویر ۱۲: استفاده از سیستم‌های یک درجهٔ آزادی معادل حالت‌های ارتعاشی. این مفهوم‌سازی برای یادگیرندهٔ مبتدی گمراه‌کننده است. به‌جای آن مدل چندگویه (هر گوی معادل یک کف) توصیه می‌شود (Murty and et al 2012).



تصویر ۱۳: تولید نمودار سرانگشتی از بیشینهٔ پاسخ جابه‌جایی سیستم‌های یک‌طبقه به یک موج تصادفی. چپ: نمودار پاسخ جابه‌جایی (Hachem 2004). وسط و راست: انجام آزمایش برای ساخت نمودار.

این نمودارها یا تعابیر هندسی مستقیمی از یک مفهوم فیزیکی، مانند مسیر یک حرکت، یا گزارشی از میزان حضور یک عامل کمّی در عناصری هستند (با مسامحه بگوییم نوعی آمارگیری). نوآموزان در فهم نمودارهای نوع دوم دچار مشکل هستند. تولید این دست نمودارها برای فهم آن‌ها ضروری احساس شد. در برنامهٔ آموزش زلزله برای کودکان[۴۵]، کودکان لرزه‌نگار خود را با گوی آویختهٔ محتوی جوهر ساخته و با آن نمودار خود را ترسیم می‌کنند تا نمودار را بفهمند. با چنین تجارب ساده‌ای، یادگیرنده می‌تواند نمودارهایی را که در زندگی حرفه‌ای آتی خود با آن‌ها سروکار دارد، به‌سادگی دریابد.

۳. ۱۱. اهمیت مدل‌سازی فیزیکی از یک سازه با موادی با ماهیت‌های متفاوت

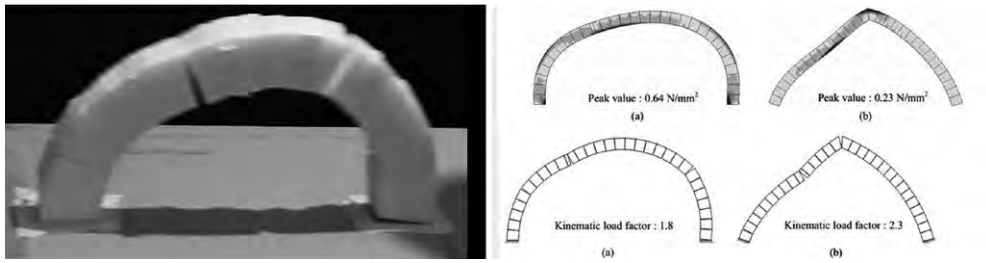
مدل‌سازی فیزیکی از یک سازه با موادی با ماهیت‌های متفاوت و توجه به مفروضات راجع به ماده، حائز اهمیت است. مواجهه با سازه، بر اساس نگاه و فرض دربارهٔ ماهیت مادی آن، مانند مادهٔ کشسان، مادهٔ تردشکن و بلوک‌های صلب ناپیوسته، منجر به روش‌های گوناگون طراحی و تحلیل می‌گردد. پیشنهاد می‌شود یادگیرنده در دوران آموزش خود با این مفروضات درگیر باشد.

۳. ۱۱. ۱. مصداق

ـ به‌دلیل غلبهٔ طراحی سازه‌ها بر اساس نظریهٔ کشسان در یک دورهٔ زمانی (قرن ۱۹ و ابتدای قرن ۲۰ میلادی)، فرض رفتار کشسان به قوس‌های بنایی تعمیم ناصحیح یافته است (Huerta 2001) (تصویر ۱۴).

نحوهٔ مواجهه با تحلیل و طراحی سازه‌های بنایی که ماهیتی متفاوت با فولاد و بتن مسلح دارند، از حوزه‌های مرتبط با این درون‌مایه است. درحالی‌که غلبهٔ نگاه کشسان در پژوهش‌های چینی (۱۳۸۳) و ساناداکر و همکاران (2013) دیده می‌شود، گری بلک و داف (1994)، آلن و زالوسکی (2000)، هیمن (1966)، هورتا (2001)، لورنزو (2001) و اوشندورف (2005) سعی در ادراک دقیق‌تر بر اساس بازبینی مفروضات مربوط به ماده داشته‌اند.

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]



تصویر ۱۴: لزوم توجه به ماهیت مواد. قوس بنایی چون جسم منعطف است یا مجموعه‌ای از بلوک‌های صلب؟ درحالی‌که در نظریهٔ کشسان، تحلیل و طراحی، با مفروض گرفتن سازه، در اینجا، قوس بنایی، به‌صورت جسم منعطف انجام می‌شود (تصویر راست–بالا)، سازه در واقعیت، چون مجموعه‌ای از بلوک‌های صلب عمل می‌کند و تغییر شکل‌های آن ناشی از دوران قطعات صلب نسبت به یکدیگرند (تصویر راست–پایین؛ Lourenço 2001). چپ: این ماهیت در بررسی با ماکت آموزشی دیده می‌شود (اثر دانشجو فاطمه ضیایی).

«چالش بر سر انتخاب آموزش تحلیل و طرح کشسان یا مومسان» و مسائل مرتبط با آن در پیشینه، در ذیل این درون‌مایه قرار می‌گیرد. برنامهٔ فعلی آموزش مکانیک سازه در معماری در ایران، در تحلیل کشسان، منجمد شده است.[۴۶] این تحلیل متکی بر فرضیاتی است که از دیدگاه بیکر و هیمن (۱۳۹۱)، در برخی ازحوزه‌ها، مانند تعیین مقاومت نهایی یک قاب نامعین، دورترین مرتبهٔ شباهت به حقیقت رفتار سازه را دارند. در برنامهٔ آموزشی معماری، مسائل نخست بدون در نظر گرفتن سختی، در حوزهٔ استاتیک حل می‌شوند؛ سپس مسائل «معین» با دخالت سختی برای یافتن مقاطع مناسب حل می‌شوند (مقاومت مصالح). بخش مهمی از مسائل واقعی که از ابتدا به کنش دوطرفهٔ سختی و مقاومت وابسته هستند، طرح نمی‌شوند (غفلت از مسائل نامعین که بخش بزرگی از کارهای حرفه‌ای دانشجویان در آینده در این حوزه واقع است). در این حالت، مشکل دیگری نیز برای دانشجوی معماری رخ می‌دهد: به‌دلیل عدم معرفی فرض‌های ممکن دیگر دربارهٔ ماهیت ماده، جایگاه خودِ این شیوهٔ تحلیل، میان سایر روش‌ها برای یادگیرنده مشخص نیست. در برنامهٔ دانشگاه تافتس (Neal and Mitchell 1961)، بر اساس پژوهش‌های هیمن (2008) و بیکر و هیمن (۱۳۹۱)، برای حل این مشکل نظریهٔ مومسان (پلاستیک) و حرکت سازه بعد از تسلیم نقاطی از آن مورد توجه بوده است. و در برنامهٔ دانشگاه برکلی (Gary Black and Duff 1994) طراحی سازه‌های نامعین محور اصلی برنامه است.

برای تحقق این امر، نیاز به سلسله‌مراتبی نیز احساس می‌شود.

۳. ۱۲. لزوم توجه به سطوح مدل‌سازی با توجه به نگاه به ماهیت مادهٔ سازه‌ای

در ذیل، تقدم «وجودی» سطوح ذکرشده، «بر اساس غنای نگاه به ماده»، تذکر داده شده است. مدرس تا جایی که شرایط و امکان‌های تدریس او اجازه می‌دهد بهتر است از مرحلهٔ آخر، کشسان معین (حالت جاری برنامهٔ دانشگاهی) رها شود و به‌سمت مراحل مقدم‌تر و غنی‌تر حرکت کند، یا اینکه در برنامه‌های مختلف به این مفروضات دربارهٔ ماده پرداخته شود. مشخص است که در هر مسئله‌ای، ممکن است، به دلایلی، آغاز از یکی از سطوح نازل‌تر کارآمدتر باشد (تقدم زمانی)، اما نگرانی نگارندگان از منجمد شدن در یک سطح نازل‌تر وجودی می‌باشد. باید اضافه کرد نظریهٔ آموزشی مدرس نیز در این حوزه تأثیر دارد؛ برای مثال، در آموزش سازنده‌گرا، آموزش از بالا به پایین توصیه می‌شود (سیف ۱۴۰۰) که در این صورت تقدم وجودی سطوح ذکرشده، تقدم زمانی آن‌ها هم خواهد بود. در ذیل به این سطوح پرداخته می‌شود.

سطح ۱. تقدم دینامیک جانمندانگار بر دینامیک کور

دینامیک «جانمندانگار» بر دینامیک «کور» مقدم باشد. دینامیک کور (دینامیک دکارتی) به‌معنای مطالعهٔ حرکتِ «جسمی فاقد غایت و صورت «با خصلت اصلیِ «ماند» (اینرسی)، بر اثر «نیرویی» اعمالی بر آن است. دینامیکِ جانمندانگار نظریهٔ تبیین‌شده توسط مدرسهٔ ارسطویی تا پیش از دوران مدرن است: سازهٔ جانمند، تنها بر اساس نیروی خارجی به حرکت و عمل واداشته نمی‌شود. بیزر تبیین مبانی فلسفی این حوزه را مورد توجه قرار داده است (بیزر ۱۳۹۱).

سطح ۲. مدل‌سازی از آغاز تا انتها دینامیکی، در دینامیک دکارتی، اما با روش ارسطویی حل مسئله (در روش

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

ارسطویی مسائل همواره دینامیکی بررسی می‌شوند).

این امر در سلسله‌مراتب ترجیحی ذیل انجام پذیرد:

ـ تقدم دینامیک اجسام تغییر شکل‌پذیر بر دینامیک اجسام تغییر شکل‌ناپذیر.

ـ تقدم مطالعه حرکت با توجه به‌علت آن (سینتیک) بر مطالعه حرکت بدون بررسی علت آن (سینماتیک).

ـ تقدم دینامیک اجسام (مانند حرکت دورانی یک سقف در مقطع) بر دینامیک نقطهٔ مادی (مانند جرم متمرکز در مرکز سقف).

سطح ۳. ورود از دینامیک «بر» استاتیک

ـ ورود به استاتیک از مسیر دینامیک. برای مثال، وزنه‌هایی هم وزن که به فنرهایی با طول مختلف آویخته شده و انتهاهای آن به نیروسنج‌هایی متصل‌اند، بعد از نوسان‌های متعدد (دینامیک) آرام می‌گیرند (استاتیک) و پس از آن، نیروسنج در تمامی آن‌ها نیرویی ثابت را نشان می‌دهد.

ـ ثبت لحظات دینامیکی و تبدیل آن به یک مسئلهٔ استاتیکی. منجمد کردن مسئلهٔ دینامیکی در یک لحظه برای حل روش مدرسهٔ ارشمیدس بوده است. کاربرد این روش در توضیح برهم‌نهی حالات نوسانی به‌عنوان مثال قابل طرح است. همچنین در مثالی دیگر، عالمی و همکاران (۱۳۹۵) برای شرح خمش از مفهوم چرخش صفحات عضو یاد می‌کنند و آن را به مفهوم ممان اینرسی تیر مرتبط می‌سازند.

سطح ۴. استاتیک سازهٔ نامعینِ کشسان–مومسان.

ـ تقدم مفهوم سازه به‌عنوان «مسیری از نیروهای دلخواه خودِ سازه» بر مفهوم آن به‌عنوان «یک وضع دقیق ریاضی یافت‌شده توسط طراح» (یا تقدم سازه‌های نامعین بر معین).

ـ تقدم مفهوم سازه به‌عنوان «آسیب‌پذیرِ خود احیاگر» بر «آسیب‌ناپذیر، اما غیرواقعی» (تقدم طرح و تحلیل مومسان بر طرح و تحلیل کشسان).

سطح ۵. سازهٔ معین استاتیکی

ـ سازه به‌عنوان مسیر دقیق و منحصربه‌فرد ریاضی (استاتیک سازه‌های معین) (سطح جاری و فعلی).

۳. ۱۳. لزوم عبور از تمرکز بر علت فاعلی (نیرو)

در برنامه‌های آموزشی، مفروضات بنیادین پنهانی «عصر ما» وجود دارند که باید بازنگری شوند. در فیزیک و فلسفهٔ دکارت، بنیاد جهان مدرن، «چیزها» در جهان «اجسادی»[۴۷] هستند که تنها ویژگی آن‌ها «داشتنِ بعد» است (بیزر ۱۳۹۱). پس، آن‌ها ایستا و دارای (ماند) هستند. و فقط توسط علت فاعلی (نیرو) به تکاپو می‌افتند. فروکاهش علت‌های چهارگانهٔ ارسطویی به‌علت فاعلی، آن‌هم با انحصار علت فاعلی در «نیرو»، سه امر را می‌پوشاند:

ـ چیزها غایتی دارند و میدانی که آن‌ها در آن ظهور می‌کنند، بر نحوهٔ بودن آن‌ها تأثیر دارد (علت غایی)؛

ـ چیزها می‌خواهند به گونه‌ای باشند (علت صوری)؛

ـ چیزها مادیت دارند (علت مادی) و عین‌های ریاضی مطلق نیستند (این مطلب در مسائل مربوط به ریاضی به‌طور ضمنی بحث شد).

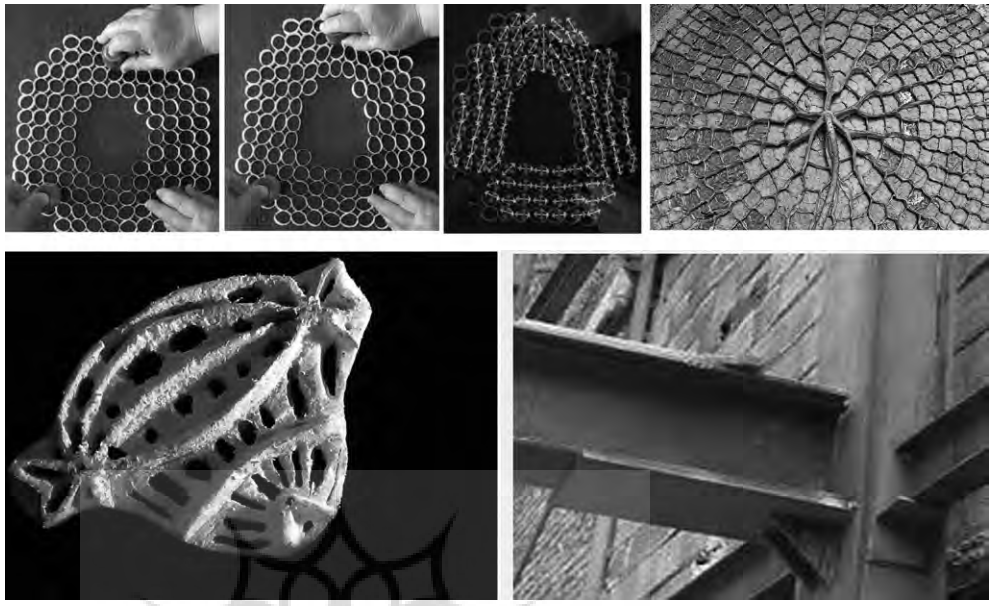
بعد از شناخت ماهیت مادهٔ سازه‌ای و توجه به سطوح پیچیده‌تر طبق توصیهٔ بند قبل، باید امکان بروز و تحقق شکل مادهٔ سازه‌ای فراهم شود (علت صوری). پس، علاوه بر بند قبلی، یعنی تلاش برای فهم درست ماهیت مادهٔ سازه‌ای در پیچیدگی‌اش، مجال دادن به «تحقق صورت ماده» نیز مهم است.

۳. ۱۳. ۱. مصداق

ـ در طراحی یک عضو سازه‌ای مانند صفحهٔ اتصال، جست‌وجوی دقیق صورت آن مدنظر باشد (تصویر ۱۵).

برای مثال، در پیشینه، با آنکه برنامهٔ آلن و زالوسکی (2010)، با گرافیک ترسیمی، متکی بر ماهیت کشسان و برای سازه‌های معین است و ماهیت ماده در مرتبه‌های بالاتر بررسی نمی‌شود، مسیر برنامه اجازه می‌دهد که شکل سازه ماهیت کشسانی خود را محقق کند.

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]



تصویر ۱۵: چپ ـ بالا: مطالعهٔ تغییر شکل‌های جسم با حلقه‌های کاغذی. چپ ـ پایین: طراحی یک قطعه بر اساس جریان نیروها.
راست ـ بالا: گیاه نیلوفر و رشد بر اساس غایت درونی. راست ـ پایین: طراحی اتصال با تمرکز بر نیرو و توجه «اندک» به غایت ماده

۳. ۱۴. اجتناب از صوری کردن و سریع کردن فرایند

مراحل استدلال و ترسیم هندسی یا محاسبات را مشروح بگذاریم: از میان‌بر، سرعت و پرش ذهنی در فرایند اجتناب کنیم. باید دقت کرد که مکانیک مانند منطق صوری، استدلال قیاسی مبتنی بر اصول موضوعه است. بخشی از گمگشتگی در ارتباط معانی و مراحل فرایند، ناشی از این میانبرهاست.

طباطبایی، محمودی کامل‌آبادی و جاویدروزی (۱۳۹۷) درون‌مایه‌هایی را با عنوان «جزء کردن مطالب پیچیده» و «سلسله‌مراتب» که منجر به «موفقیت‌های کوچک» می‌شوند، به‌عنوان راهبردهای آموزشی توصیه می‌کنند. (البته جزء کردن نباید به عنوان مجزا کردن تلقی گردد که منجر به از دست رفتن یکپارچگی مسئله است.) در کتاب‌های آموزشی چون فرم و نیروها (Allen and Zalewski 2010) و (تیموشنکو و یانگ ۱۳۷۳) حل مسائل و استخراج فرمول‌ها، با طمأنینه و بدون حذف مراحل حتی به‌ظاهر ساده، انجام شده است.

مسئلهٔ دیگر، ایجاد فرصت برای سعی و خطا می‌باشد. روش توماس و فینی (۱۳۷۰) در آموزش ریاضی مهندسی، سعی و خطای مکرر، پیش از آموزش مستقیم مسیر فرمول ریاضی، حتی در ترسیم نمودارخطی یک معادلهٔ درجه‌یک است. بیلر (۱۳۸۱) اشاره می‌کند که چگونه تلاش برای تسریع موفقیت یک نوآموز، فرصت ساخت مسیر را از او سلب می‌کند. فرصت دادن برای سعی و خطا ضروری به نظر می‌رسد.

در نهایت توصیه می‌شودکه مراحل استدلالی با آرامش طی شود.

۳. ۱۵. احتیاط در طرح مسائل مبتنی بر آیین‌نامه

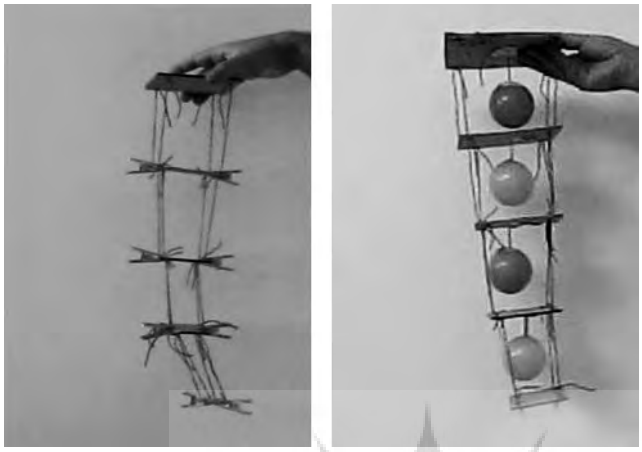
محدودیت‌های اعمالی در آیین‌نامه‌ها برای «تسهیل محاسبات و حفظ مفروضات محاسبه»، با تدابیر اعمالی آن‌ها برای «حصول رفتار مناسب ساختمان» خلط نشوند. برخی از مدرسان سازه به این تمایز توجه نکرده و مسائل آیین‌نامه‌ای را بدون تمییز موارد فوق، در سطوح مقدمات طرح می‌کنند. و گفتمان آن‌ها در دانشکده‌های معماری، و گاه بر اذهان مدرسان معمار، نیز حاکم می‌شود. همواره توجه به عدم خلط دو امر پیش‌گفته ضروری است.

۳. ۱۵. ۱. مصداق

ـ توصیهٔ آیین‌نامه برای طراحی ساختمان مکعب‌شکل، برای ساخت‌وسازهای معمولی است. با تغییر در توزیع جرم و

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

سختی و پیکره‌بندی غیرمستطیلی می‌توان ساختمان را به کنش مفیدتر واداشت (تصویر ۱۶).



تصویر ۱۶: بررسی نقش پیکره‌بندی هرمی در تغییر توزیع بار استاتیکی پیشنهادی آیین‌نامه. تغییر در پیکره‌بندی با تغییر جرم، شکل توزیع بار معادل استاتیکی را به‌صورت مفید تغییر می‌دهد.

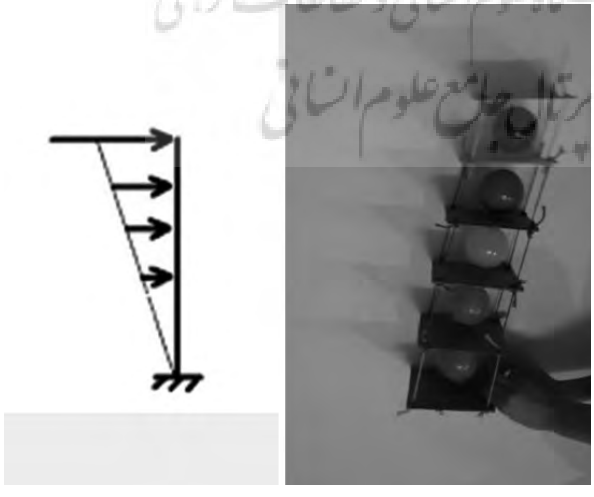
مستوفی‌نژاد (۱۳۹۹) به‌دقت تذکر می‌دهد که یکی از دلایل ممنوعیت استفاده از تیر با عمق زیاد، برای امکان حل مسئله‌ها از طریق فرض[۴۸] آیین‌نامه است: درحالی‌که تیرهای عمیق جزء سازه‌های مشهور ساختمانی هستند و در منابعی مانند انگل (۱۳۷۷) بحث شده‌اند، محصور شدن در یک آیین‌نامهٔ مشخص، راه استفاده از آن‌ها را مسدود می‌کند.

۳. ۱۶. لزوم توجه به مدل‌سازی ماهیت نیروهای وارده

لزوم توجه به مدل‌سازی ماهیت نیروهای وارده احساس می‌گردد. در برنامهٔ فعلی مشهور است که انواع بارها به‌صورت انتزاعی تعریف می‌شوند: دانشجو تصور ملموسی از آن‌ها ندارد.

۳. ۱۶. ۱. مصداق‌ها

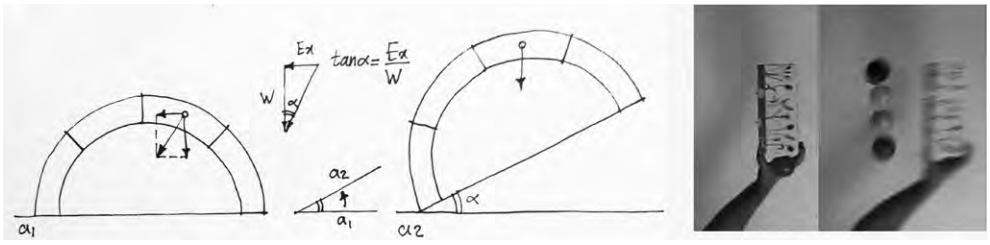
ـ دانشجو نخست باید ماهیت دینامیکی زلزله و حالات نوسانی را مشاهده کند؛ سپس توزیع بار انتزاعی آن را استخراج نماید (تصویر ۱۷).



تصویر ۱۷: تابعیت بار استاتیکی در حالت اول نوسانی از شکل حالت نوسانی (اثر دانشجو سرور آروین)

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

ـ معادل بودن زلزله با دوران صفحهٔ زمین (در حالت جسم صلب و در مسئلهٔ پایداری) باید تفهیم گردد (تصویر ۱۸).



تصویر ۱۸: دوران صفحهٔ زمین در مسئلهٔ پایداری، معادل اعمال شتاب جانبی در جسم صلب است. ماهیت این مسئله باید بیان شود. راست: اجزای یک جسم صلب شتاب یکسانی دریافت می‌کنند: فقط در این صورت، می‌توان نیروی زلزله را با روش دوران صفحهٔ زمین جایگزین کرد.

در پیشینه، در برنامه‌های مأخوذ از مهندسی عمران، مفهوم بارها ملموس نیست. در کتاب‌های سازه در معماری، مانند سالوادوری (۱۳۷۵)، تلاش‌ها برای ایجاد درک از ماهیت بارهای وارده انجام شده است که معمولاً به‌صورت جدا از تحلیل و طراحی بوده‌اند. آلن و همکاران (2010) نیز تلاش کرده‌اند با تجمع دانشجویان بر روی یک سطح مقداری از بار زنده را تخمین بزنند تا طرح به‌سمت محاسبه‌های واقعی برود. استفاده از چنین روش‌هایی در امتداد برنامهٔ حاضر در سطوح بالاتر، برای کمی‌سازی مفید است، اما در برنامهٔ آموزشی مرسوم سازه در معماری و مأخوذ از مهندسی عمران، در ایران از آن غفلت شده است.

۳. ۱۷. خلأ در طراحی مدل‌های مبتنی بر سختی و جابه‌جایی به‌جای مدل‌های نیرومحور

به‌طور خاص، مدل‌های مبتنی بر سختی و جابه‌جایی به‌دلیل عوامل متعدد، در گذشته، بسط پیدا نکرده است و معمولاً مدل‌ها مبتنی بر شتاب و نیرو هستند. البته دشواریِ پرداختن به این امر بر آیین‌نامه‌ها هم اثرگذار بوده و مسیر طراحی مرسوم آیین‌نامه‌ای از محاسبهٔ سختی سازه نمی‌گذرد.

صرف‌نظر از این مثال آشکار که رفتار سازه در برابر امری چون زلزله «مسئله‌ای مبتنی بر جابه‌جایی است تا نیرو»، توجه به ماهیت پویای ماده، حتی حل مسائل ایستا مانند طراحی و تحلیل خرپا را نیز به روش‌های مبتنی بر سختی راهنمایی می‌کند. اوشندورف (2004) نیز اشاره می‌کند که برای تحلیل سازه‌های بنایی روش معتبرتر این است که به سازه اعمال جابه‌جایی نمود تا نیرو.

در بسیاری از مدل‌های آموزشی، به‌دلیل تغییر مقیاس، موازنهٔ شکل و سختی به‌هم می‌خورد. در برنامهٔ دانشگاه برکلی (Gary Black and Duff 1994)، از مدل‌سازی رایانه‌ای، با استفاده از نرم‌افزارهای اجزای محدود، برای جبران به‌هم خوردن رابطهٔ شکل و سختی در تغییر مقیاس ماکت استفاده شده است؛ زیرا آن‌ها باورِ، به تعبیر خود، «مهمی» دارند که مدل باید مانند مقیاس واقعی رفتار کند وگرنه طراحی در «وهم» حرکت می‌کند (Ibid). اما بعید به نظر می‌رسد برای دانشجو پیش از تجربهٔ انضمامی و فیزیکی، از طریق رایانه درک درستی ایجاد شود. در نمونه‌ای موردی (Bigoni et al. 2012) استفاده از فنر با سختی‌های متفاوت به‌جای اعضای خرپا، پیشنهاد شده است که می‌تواند راهگشا باشد.

در این حوزه چند روش توصیه می‌شود:

ـ در چنین مسائلی با ذکر مشکل مقیاس ماکت، می‌توان مطابقت نتیجهٔ تمرین با واقعیت را با دقت مورد پرسش قرار داد؛ زیرا یادگیرندهٔ مبتدی ممکن است مدل مقیاس‌شده را با مدل واقعی یکسان بینگارد.

ـ از طریق تمرین‌هایی بر روی تغییر طول، مقطع اعضا و جنس آن‌ها، رابطه‌هایی برای تبدیل مشخصات سختی با تغییر مقیاس را استخراج کرد.

۳. ۱۸. نیاز به حضور پررنگ‌تر مباحث فیزیک بر اساس امکانات آتلیه‌ای

به‌دلیل خلأ آموزش معماری در حوزهٔ فیزیک و عدم تجربهٔ ملموس یادگیرندگان در دوران پیش‌دانشگاهی، نیاز به حضور پررنگ‌تر مباحث فیزیک بر اساس امکانات آتلیه‌ای احساس می‌شود.

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

در رشتهٔ معماری، درس ریاضی، یا در برخی شرح درس‌های اخیر، ریاضی پیش‌دانشگاهی، پیش نیاز درس استاتیک فرض شده است. دروس فیزیک ۱و۲ در برنامهٔ آموزش معماری حضور ندارند، درحالی‌که از مهم‌ترین دروس مقدم بر استاتیک، در آموزش مهندسی، دروس فیزیک دانشگاهی هستند. البته اشکال‌هایی در مسیر آموزش فیزیک در این رشته‌ها نیز پدیدار می‌شوند. این کتاب‌ها برای آموزش عمومی مهندسی طراحی شده‌اند و به‌دلیل «جزء به کل بودن فرایند آموزشی»، مشخص نیست آیا دانشجو توان انتقال دانش به حوزهٔ تخصصی آتی خود را دارد یا خیر؟ برای مثال فیزیک موج، منتزع از یک حوزهٔ مهندسی خاص، درس داده می‌شود و معلوم نیست درآینده، دانشجوی مهندسی سازه یا برق آن را چگونه باید به کار برد؟ اضافه بر آن، این مطالب عموماً به شکل تحلیلی–ریاضی هستند تا ترکیبی. در نتیجه، لزوم جذب مفاهیم مهم این مبحث، در بدنهٔ آموزشی معماری، در یک «میدان مشخص طراحی» و به شکل توأمان «تحلیلی‌ترکیبی» احساس می‌شود. به این نکته، تقدم استفاده از تصاویر ماندگار در حوزهٔ فیزیک، مانند صوت و مشاهدهٔ امواج سیم، بر ابزارهای رایانه‌ای را نیز باید گوشزد کرد.

دانشگاه برکلی با اصطلاح آزمایشگاه در آتلیه[۴۹] اما با استفاده از رایانه به این امر پرداخته است. در این برنامه اشاره می‌شود که در هنگام تحویل کار، به مدل‌های آتلیه‌ای (ماکت‌های مرسوم معماری)، باید مدل سازه‌ای نیز اضافه شود. نگارندگان پیشنهاد می‌کنند به این مدل سازه‌ای، مدل فیزیکی نیز اضافه شود.

۳. ۱۹. «بر مدلِ فیزیکی» یا «با مدل فیزیکی»؟

با وجود آنکه استفاده از مدل‌های واقعی و بزرگ‌مقیاس (مانند اجرای یک تاق واقعی) نسبت بدن نسبت به مدل را به‌سمت «همسازی» می‌برد، با توقف در آن‌ها، بدون مدل‌های آزمایشی فیزیکی کوچک مقیاسِ استانداردشده، محتوای علمی بحث در معرض خطر خواهد بود.

در پژوهش حاضر هر زمان که امکان آن بوده، مدل به مقیاس واقعی نزدیک شد و «موقعیت بدن» نسبت به مدل تغییر کرد. این روش می‌تواند نگرش به سازه چون «ابژه» (حالت بر مدل) را تا حدودی تعدیل کند. نوعی «هم‌سازی با مدل» ایجاد نمود و نحوه‌های دیگر ادراک سازه را نیز فراهم آورد. البته در خلال چنین تجربه‌هایی که گاه در مدارس معماری مختلف برگزار می‌شود، باید دقت کرد که علاقه به شیوه‌های «سازنده‌گرای آموزشی»، اجرای صوری و بی‌محتوای علمی را در پی نداشته باشد: یعنی دانشجو شیوهٔ تاق‌زنی یک استادکار را در یک برنامهٔ جذاب تجربه کند، اما برداشت‌های وی منجر به قضایای غلطی چون «ملات نقش کلیدی در پایداری قوس دارد» شود. بعد از چنین مواجهه‌های ابتدایی، تدقیق و غنابخشی به محتوا، از طریق مدل‌های علمی ضروری است.

۳. ۲۰. پرسش اصلی در هر سازه چیست؟

با توجه به لزوم آموزش عمیق‌تر، توصیه شود مدرس برای برنامهٔ خود تعیین کند که مسئلهٔ اصلی هر سازه چیست.

۳. ۲۰. ۱. مصداق‌ها

ـ مسئلهٔ اصلی یک سازهٔ بنایی، متشکل از پوشش تاقی و دیوار، ضعف دیوار آن بر اساس نیروی عمود بر صفحه دیوار است (مقاومت مصالح و ترک دیوارها ناشی از نیروی در صفحهٔ دیوارها، مسائلی فرعی و عموماً در درجهٔ بعدی اهمیت هستند.)

ـ مسئلهٔ کلیدی طراحی خرپاها، نحوهٔ آرایش مطلوب و بهینهٔ اعضای آن است که از طریق مشاهدهٔ بصری جریان قابل استخراج است.

توجه به پرسش اصلی هر سازه، در برخی منابع مورد تأکید بوده، اما به‌دلیل آمیختگی سطوح اهمیت، در سایر برنامه‌ها مورد غفلت بوده است. برای مثال در نمونه‌ای مناسب، در کتاب *مبانی سازه‌ای معماری* (Sandaker and et al. 2013)، نویسنده اشاره می‌کند که نحوهٔ فروآمدن قوس بر زمین «یک مسئلهٔ در تاریخ معماری» است. هورتا (2001) نیز اشاره می‌کند که بیشتر قوانین استادکاران سنتی برای طراحی «پایهٔ» قوس بوده است. این دو نویسنده به موضوعاتی گزیده در آموزش سازهٔ بنایی اشاره دارند. در مقابل، اطلاعات زیادی که مراتب اهمیت آن‌ها مشخص نیست و برخی غیرضروری هستند، در برخی کتاب‌ها بر روی هم جمع شده‌اند. برخی از برنامهٔ پژوهشی و آموزشی معاصر در سازه‌های تاقی در ایران، مانند چینی (۱۳۸۳)، بر رفتار سازه‌های بنایی تا حد کشسان و بر اثر بارهای وارده متمرکز است، اما این سازه‌ها در

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

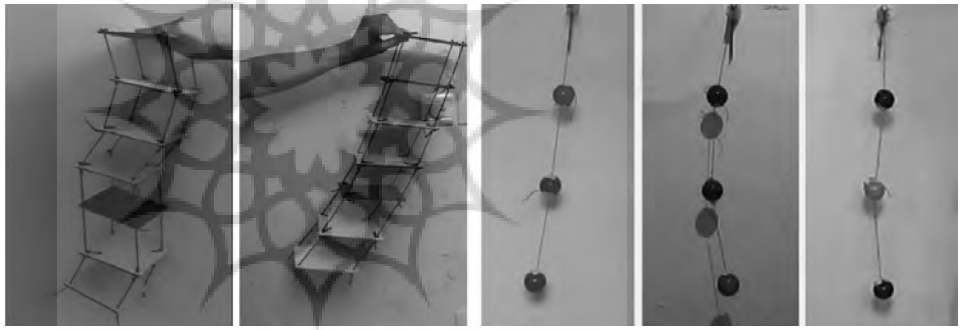
حالت عادی و روزمرهٔ خود نیز، از حد کشسان خود عبور کرده و ترک خورده‌اند. از نظر هورتا (2001) چنین مطالعاتی ولو که با منحنی‌های رنگی فریبندهٔ حاصل از نرم‌افزارهای اجزای محدود حمایت شوند، مطلبی دربارهٔ پایداری نهایی سازه نمی‌گویند. این امر نشان از تشخیص ندادن «مسئلهٔ گزیده و عمیق» در قسمتی از برنامهٔ پژوهشی کشور و به‌تبع برنامهٔ آموزشی در این حوزه است. تدریس با نگاه به تاریخ و تبارشناسی، برای مثال برای یک مفهوم یا سیستم سازه‌ای، می‌تواند در این حوزه راهگشا باشد؛ همان گونه که مطالعهٔ تاریخی هورتا (2001) مسائل کلیدی این حوزه را استخراج کرده است. این نکتهٔ تأکیدی بر پیشنهاد برنامهٔ دانشگاه ام.ای.تی. و ای.تی.اچ. برای تدریس سازه در بستر تاریخی است.

۳. ۲۱. نیاز به سلسله‌مراتبی از مدل‌ها

نیاز به سلسله‌مراتبی از مدل‌ها در یک برنامه با توجه به میزان انتزاع، تطابق با مفاهیم نظری و امکان گسترش آن برای طرح مفاهیم بعدی احساس می‌شود. برای این منظور، استفاده از سلسله‌مراتبی در مدل‌ها، از مدل معماری، مدل سازه‌ای و مدل فیزیکی توصیه می‌شود.

۳. ۲۱. ۱. مصداق

ـ سلسله‌مراتبی برای مدل‌های بررسی نوسان زلزله مورد توجه بود: نخست، کف‌های منعطف آویخته با حرکت آزاد، سپس کف‌های صلب با حرکت در یک امتداد و بعد از آن، آونگ‌ها و در نهایت، دوباره به مدل کف‌های آویخته رجوع گردید (تصویر ۱۹).



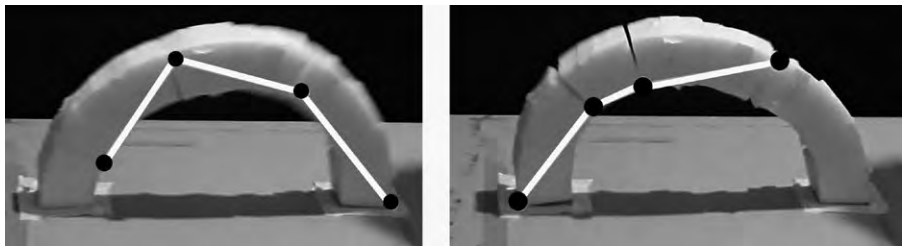
تصویر ۱۹: سلسله‌مراتبی از مدل‌ها برای فهم یک پدیده نیاز است (تصویر چپ: اثر دانشجو سرور آروین)

۳. ۲۲. لزوم دقت در توالی مسیر فروکاهش ابعادی

مسیر فروکاهش برای حرکت فهم سازه (در صورت ضرورت)، از منظر تعداد ابعاد هندسی، با این توالی باشد: چهار بعد، سه بعد، دو بعد و دو بعد تصویرشده بر محورهای مختصات دکارتی.

۳. ۲۲. ۱. مصداق‌ها

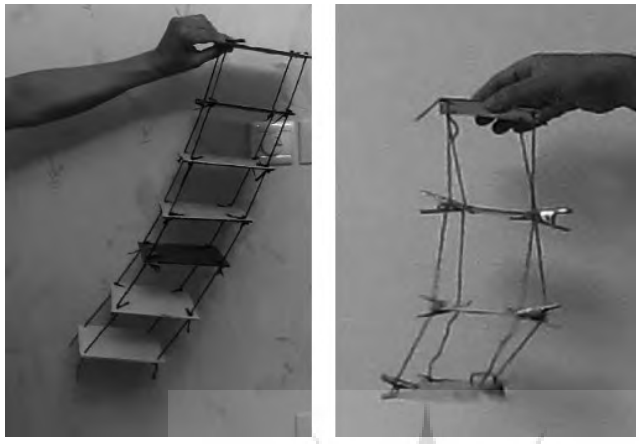
ـ آغاز حرکت با چهار بُعد (با حضور زمان) همان تقدم مدل محرک بر ایستا می‌باشد که در قبل مشروح بیان شد. نمونهٔ مشهور آن «مهاجرت» ترک‌های یک قوس در فرایند زلزله از نقاطی به نقاط دیگر قوس است (تصویر ۲۰).



تصویر ۲۰: مهاجرت ترک‌ها در حرکت قوس در زلزله. توجه به بعد چهارم در تمرین (اثر دانشجو فاطمه ضیایی)

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

ـ تقدم مدل نوسانی با حرکت سه‌بعدی، بر مدلی که نیروهای آن بر دو امتداد موازی اضلاع پلان تصویر شده‌اند (تصویر ۲۱).



تصویر ۲۱: تقدم مشاهدهٔ حرکت سه‌بعدی در نوسان (راست) بر حرکت در امتداد یکی از اعضا (چپ) (تصویر چپ: اثر دانشجو سرور آروین)

ممکن است تذکر فوق، برای سه‌بعدی بودن مدل، برای مدرس کارگاه مقدمات معماری پیش‌پاافتاده به نظر برسد. پایازافورتزا (2009) شرح می‌دهد که چگونه دانشجویان دروس سازه نمی‌توانستند در تحلیل یک خرپا، نیروی بادِ عمود بر صفحهٔ خرپا را درک کنند؛ زیرا مبحث خرپا به‌صورت دوبعدی بر روی کاغذ به آن‌ها درس داده شده بود!

طراحی دقیق سازه با فروکاهش سازهٔ سه‌بعدی به دو بعد، در برخی موارد، بسیار محافظه‌کارانه است و ابعاد سازه بسیار بزرگ و ناکارآمد می‌شود. برای جبران خطای ناشی از تغییر تعداد بعد، مسیرهای هندسی جست‌وجوی تعادل سه‌بعدی در پژوهش‌های اخیر، ابداع و معرفی شده‌اند؛ برای نمونه، بلاک[۵۰] (2009) به شرح این موضوع می‌پردازد. این روش‌ها پیچیده هستند؛ به‌دلیل ضعف دانشجویان در هندسهٔ فضایی، بهتر است به‌جای مسیرهای پیچیده، آغاز آموزش با سعی و خطا بر روی فهم تعادل سه‌بعدی انجام پذیرد؛ سپس در گام بعد، مناسب است روش‌های پیشروی فهم سازهٔ سه‌بعدی را برای نوآموز تنظیم کرد.

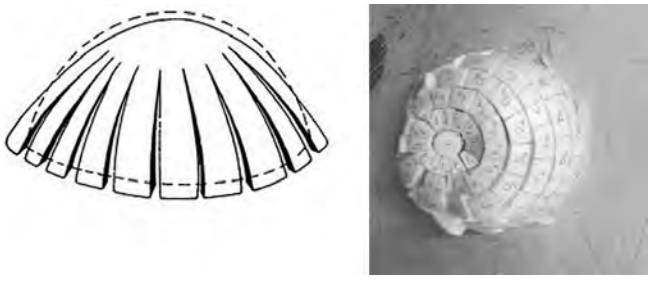
حتی با وجود آغاز از مدل با ابعاد بالاتر، آموزشِ نحوهٔ این فروکاهش ضروری است.

۳. ۲۳. ضرورت آموزش نحوهٔ فروکاستن در صورت کاهش بُعد

در صورت ضرورت کاهش بُعد، آموزش نحوهٔ فروکاستن ضروری است. در برخی مسائل، سازه بدون خطا، به‌بعد پایین‌تر تحویل نمی‌شود.

۳. ۲۳. ۱. مصداق‌ها

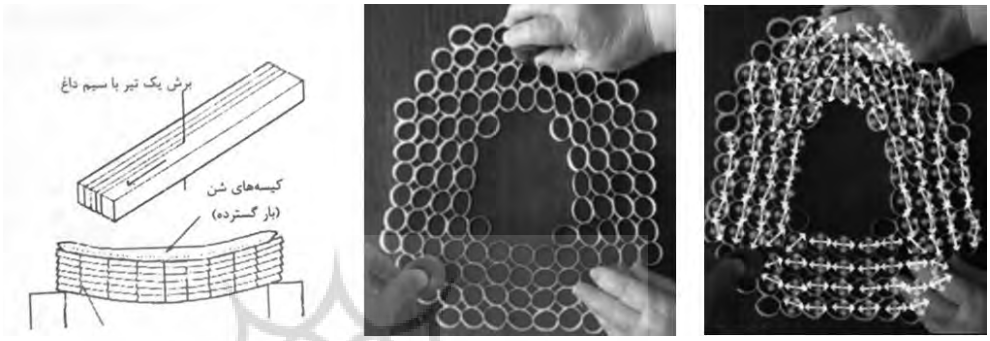
ـ روش فروکاهش رفتار سازهٔ ماسونری سه‌بعدی به دوبعدی برای طراحی و تحلیل، مبتنی بر مطالعهٔ دقیق شکل ترک‌های ایجاد شده است (تصویر ۲۲).



تصویر ۲۲: گنبد برخلاف برخی تصورات مرسوم، مانند مجموعه‌ای از برش‌های یک پرتقال، عمل نمی‌کند و یک کلاهک فشاری در بالا باقی می‌ماند. فروکاهش آن به برش‌های دوبعدی نیاز به دقت دارد. چپ: کلاهک فشاری (Huerta 2001). راست: کلاهک فشاری در زلزله.

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

ـ استفاده از مدل جریان نیرو (با تقسیم‌های دایره‌ای) به‌جای مدل‌های برش‌خورده از عضو (نوعی فروکاهش به بُعد پایین‌تر) برای تشخیص جریان نیروها توصیه می‌شود (تصویر ۲۳). در مدل مکانیکی از جهان درون ماده، مولکول‌های مصالح در آرایشی که کنار هم قرار می‌گیرند، نسبت به هم، دارای کنش‌های افقی، قائم و مایل هستند. مدل‌های برش‌خورده، برای تدریس جریان نیرو، بسته به جهت برش، برخی از پیوندهای واقعی را قطع می‌کنند و می‌توانند برای یادگیرنده خطای شناختی ایجاد کنند.



تصویر ۲۳: به‌جای مدل برش‌خورده (چپ، مور ۱۳۸۶)، از مدل متشکل از حلقه‌های گرد استفاده کنیم.

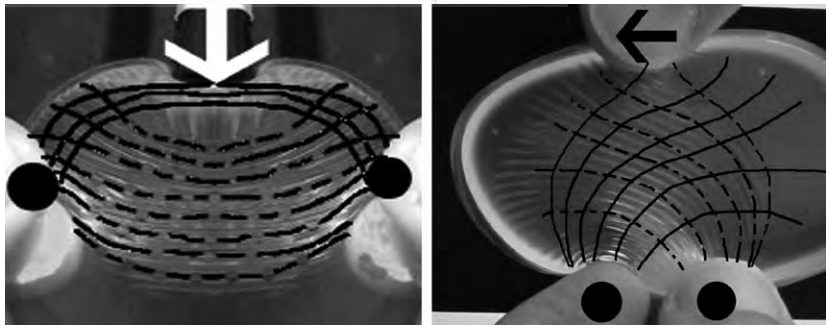
آلن و زالوسکی (2000) اشاره می‌کنند که چگونه مدل‌سازی سالوادوری، با برش‌های افقی و عمودی برای نشان دادن حضور برش در تیر، برای آموزش به نوآموزان، سبب تشخیص اشتباه رفتار آن شده است. بلاک (2009) نیز نشان می‌دهد که نحوهٔ فروکاهش ابعادی سازه‌های طاقی، مسئلهٔ جدی در پژوهش تاریخی بوده است. و گاه نحوهٔ فروکاهش حدود ۳۲۵ درصد خطا ایجاد می‌کند! مستوفی‌نژاد (۱۳۹۹) و هورتا (2001) بیان می‌کنند که چگونه می‌توان با استفاده از بررسی ترک‌ها، مدل سه‌بعدی از رفتار سازه‌های، به‌ترتیب، بتنی و بنایی را به دوبعدی فروکاست.

۳. ۲٤. توجه به خطر آموزش و طراحی با مقاطع استاندارد

در مقاطع استاندارد، مانند تیرهای مستطیلی، عدم تغییر مشخصات هندسی مقطع با جریان نیروی درونی، سبب می‌شود یادگیرنده تصور کند که جریان نیرو در عضو یا سازه «تنها تابع عامل بیرونی» است و اهمیت تغییر مقطع در تعیین رفتار تیر مورد غفلت قرار گیرد.

۳. ۲٤. ۱. مصداق

ـ استفاده از نمای مستطیلی برای تیر یا استفاده از صفحات اتصال مستطیلی سبب می‌شود شکل دلخواه جریان تیر ایجاد نشود و تیر بهینه عمل نکند (تصویر ۲۴).



تصویر ۲۴: تیر طره (راست) و تیر با دو تکیه‌گاه آزاد (چپ) تمایل ندارند محیط مستطیلی برای خود انتخاب کنند. پیکان‌ها نحوهٔ اعمال نیرو، دایره‌ها تکیه‌گاه‌ها، خطوط پیوستهٔ جریان فشار و خط‌چین‌ها جریان کششی را نشان می‌دهند.

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

مدل آلن و زالوسکی (2000) نشان می‌دهد که استفاده از نمای مستطیلی استاندارد برای فهم و طراحی تیر سبب شده مفهوم تنش‌های جان در تیر اشتباه فهمیده شود.

۳. ۲۵. اعضای سازه‌ای: تک‌کارکردی یا چندکارکردی؟

آیا اعضای سازه بر اساس کارکرد سازه‌ای خود در سیستم، هویت و نام و شکل بیابند یا بدون تفکیک نقش، چند کارکردی باقی مانده و یاریگر یکدیگر باشند؟

به‌رغم اینکه میلی در بخشی از جهان بعد از مدرن، برای طراحی و بازگشت به سازه‌های بدوی، چون لانهٔ سمور یا پرنده، وجود دارد که در آن‌ها عناصر کارکرد تفکیک‌شدهٔ سازه‌ای ندارند، نگارندگان معتقدند که تفکیک کارکردی این عناصر و هویت‌بخشی به آن‌ها در ارتقای ذهنی یادگیرنده مبتدی، به‌طور عام تأثیر مثبتی دارد.

در این حوزه، از دیدگاه نگارندگان، چند خط سیر وجود دارد:

ـ طراحی پیشامفهومی: طرح چون لانهٔ پرنده باشد و کارکرد و نقش منحصر سازه‌ای برای عناصر آن مفهوم‌پردازی نشود؛ به زبان دیگر، عناصر بر اساس کارکرد خود، مثلاً عضو خمشی (تیر)، متمایز و نام‌گذاری نشوند و دارای چند کارکرد باشند. همان گونه که در یک لانهٔ پرنده، یک عضو توأمان، نقش تیر، ستون و مهاربند را دارد. نگارندگان این مسیر را به‌طور عام پیشنهاد نمی‌کنند. (همان طور که اشاره شد تمایل برخی سبک‌های پس از مدرن منجر به حضور این سازه‌ها در برنامهٔ آموزشی شده است. برای مثال، گفت‌وگویی از این دست در کتاب آموزشی سانداکر و همکاران (2013) بر روی آثار معمارانی چون زاها حدید دیده می‌شود.[۵۱]

ـ مسیر بعدی این است که طراحی به‌صورت پیشامفهومی آغاز شود؛ سپس یادگیرنده «به زبان خود»، از عناصر، مفهوم‌سازی شخصی داشته باشد. در گام بعد، ارتباط‌های مفاهیم و به‌تبع کارکرد کلی سیستم را تبیین کند و در نهایت، به عناصر تشخص بخشیده شود و از هم متمایز شوند (عناصر بیانگر نقش سازه‌ای خود باشند). در این حال، نوعی روش آموزشی سازنده‌گرای رادیکال اتخاذ می‌شود که مفهوم‌پردازی را شخصی و به یک موقعیت خاص وابسته می‌کند.

ـ در مسیر دیگر، بعد از درگیری پیشامفهومی، یادگیرنده با کمک نظریهٔ سازه‌ای و ریاضی مرسوم، تجربهٔ خود را مفهوم‌سازی کند. تمییز و مفهوم‌یابی عناصر بر اساس نظریه انجام شود؛ برای مثال، یادگیرنده ذکر کند این عضوی که او در ابتدای تمرین، در سازه قرار داده، همان تیر با رفتار خمشی است؛ سپس ارتباط‌های مفاهیم و کارکرد کلی سیستم نیز، بر اساس نظریه، مفهوم‌سازی شود و در آخر، تشخص بخشیدن به عناصر انجام پذیرد. در این مسیر، همان برنامهٔ آموزشی مرسوم پیگیری شده است. اما اضافه کردن مرحلهٔ پیشامفهومی به جذب نظریهٔ علمی متداول با توجه به ساخت شناختی فردی کمک می‌کند.

ـ از سوی دیگر، می‌توان کار را با طراحی پیشامفهومی آغاز کرد و بعد از تعین مفهومی و کارکردی به‌صورت شخصی، به مقایسهٔ طرح با نظریه‌های موجود پرداخت. و بعد از استمرار در این عمل، بازگشت به مرحلهٔ پیشامفهومی رخ دهد. در صورت علاقه برای حرکت به‌سمت طرح‌هایی چون لانهٔ کبوتر، نگارندگان در یک توصیهٔ عام، این مسیر را در جهان جدید مناسب‌تر تشخیص می‌دهند.[۵۲]

نتیجه

در این نوشتار، درون‌مایه‌هایی حاصل از انجام چرخه‌های آموزشی، در آموزش مکانیک سازه در معماری برای نوآموزان ارائه شده که منعکس‌کنندهٔ برخی از چالش‌ها و راهکارهای این حوزه هستند. این درون‌مایه‌ها از تلاش برای فهم مسائل آموزشی این حوزه و جست‌وجوی راهکارهایی برای بهبود آن، تحت ارزیابی نگارندگان، گروه هم‌قطاران و متخصصان حاصل شده‌اند.

خطاهای ناشی از فروکاهش، به شیوه‌های گوناگون، مشکلات شناختی در آموزش این حوزه ایجاد می‌کنند. مسئلهٔ فروکاهش پدیدهٔ سازه، به طرق گوناگون، در واژه و استعاره، استفاده از مدل ریاضیات، مدل فیزیکی (ماکت)، و وصف ماهیت ماده و نیرو به‌عنوان یکی از چالش‌های بنیادی مشاهده شد. سهل‌انگاری دربارهٔ مفروضات فروکاهش، مانند

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

مفروضات مرتبط با استفاده از جرم متمرکز، و نحوهٔ فروکاهش، مانند چگونگی تبدیل سازه‌های سه‌بعدی بنایی به دو بُعد برای تحلیل و طراحی، از جملهٔ این مشکلات هستند. لزوم دقت به سطح‌بندی مدل‌های فروکاسته، مانند آنچه دربارهٔ ماهیت ماده و نیرو باید لحاظ گردد و یا سطح مورد نیاز از «دانش مکانیک» برای توصیف صحیح مسئله از دیگر مواردی هستند که باید بدان‌ها توجه شود. از سوی دیگر فروکاهش به‌صورت کلیشه‌ای و یکی انگاشتن مدل فروکاسته با پدیده سبب شده‌اند سایر مدل‌های محتمل مورد غفلت واقع شوند. برای بهبود این وضعیت، توصیه می‌شود اگر در فرایند آموزش، هر نوع انتزاع از مفاهیم و فرایند اجتناب‌ناپذیر شود، حالت انضمامی مفاهیم و فرایند با مدل انتزاعی همراه باشد و مرتب به وضعیت انضمامی آن‌ها رجوع و با آن‌ها مطابقت داده شود. در این مسیر، انتزاع با اشراف مدرس و بیم دادن شاگرد، توسط او، دربارهٔ خطاهای فروکاهش انجام پذیرد. همچنین، همواره امکان‌های دیگر به‌صورت ضمنی در برنامه حضور داشته باشد و یادگیرنده با آن‌ها مواجه باشد و در نهایت، روش انتزاع‌سازی، برای مثال، آموزش مدل‌سازی ریاضی، آموخته شود. مسئلهٔ پاک‌سازی و اصلاح آموخته‌های آموزش پیش‌دانشگاهی یکی دیگر از مسائل این حوزه بود. در این مسیر، بهتر است دانشجوی نوآموز بخش بزرگی از زمان ابتدای آموزش را به مشاهده و توصیف بپردازد و جنس تحلیلش بر رابطهٔ میان پدیده‌ها متمرکز باشد نه رابطهٔ میان پدیده‌ها و محفوظات نظریِ پیشینِ غالباً معیوب خود. در گام‌های بعدی، در صورت لزوم، می‌توان وی را در معرض رابطهٔ میان پدیده‌ها و نظریه‌ها قرار داد. توجه به تحقق صورت و خواست ماده به‌عنوان یک ابزار برای فهم، مناسب تشخیص داده می‌شود، که برای دستیابی به آن نیاز به رهاسازی از انحصار در فیزیک دکارتی (مبتنی بر علت فاعلی «نیرو») احساس می‌شود. مسائل فرایندی و استدلالی از دیگر چالش‌های این حوزه است که در پژوهش حاضر بازنمود داشتند. مسئلهٔ بی‌توجهی به ظرایف مسائل آیین‌نامه‌ای، که ریشه در بنیادها و مفروضات آن‌ها دارد، مسئلهٔ دیگری است که در آموزش رخ می‌دهد. حذف آموزش فیزیک به‌عنوان بنیاد حوزه‌های استاتیک و مقاومت مصالح از چالش‌های دیگر این حوزه می‌باشد که با وجود اخذ سلسله‌مراتب فعلی دروس از رشتهٔ عمران، به‌راحتی از آن چشم پوشیده شده است و لزوم به میدان آوردن آن از طریق روش‌های مناسب معمارانه احساس می‌شود؛ به‌ویژه به‌دلیل اینکه آموخته‌های پیش‌دانشگاهی دانشجویان، در این حوزه، مبتنی بر محفوظات است. گم شدن پرسش اصلی هر سازه که به دلایل مختلفی مانند غلبهٔ یک نگاه در یک دورهٔ زمانی یا اشراف نداشتن مدرس بر تاریخ موضوع روی می‌دهد، از مسائل جدی این حوزه است که می‌توان با ابزارهایی چون تدریس در بستر تاریخی و یافتن تبار مفهوم‌ها، به این مشکل پاسخ داد.

پی‌نوشت‌ها

۱. نگارندهٔ اول نیز به‌دلیل چالش‌های شخصی خود در زمان تحصیل، از زمان دانشجویی در این مسئله، غوطه‌ور بوده و با افزودن سال‌های تدریس به دوران دانشجویی، ۲۶ سال دغدغهٔ این موضوع را داشته است.

۲. محدودهٔ پژوهش در حیطهٔ شناختی و بر فرایند آموزش، «آنچه در کلاس روی می‌دهد»، متمرکز است.

۳. در چرایی این انتخاب دو نکته می‌توان برشمرد. در یک نگاه کلی، پیشینهٔ پژوهش در پژوهش کیفی، نقش ایجاد حساسیت به رخدادهای پژوهش را دارد تا اینکه برای آن چهارچوب نظری فراهم کند. فلیک (۱۳۹۹) قید می‌کند که در پژوهش کیفی، که با معوق کردن نظریه‌های قبلی آغاز می‌شود، نقش پیشینه برخلاف پژوهش کمی، ایجاد چهارچوب نظری برای کار نیست، بلکه نقش پیشینه ایجاد حساسیت و توجه در پژوهشگر دربارهٔ مفاهیمی است که در پژوهش روی می‌دهد. اما مسئلهٔ خاصی نیز برای این انتخاب وجود دارد و آن خصلت حوزهٔ پژوهش حاضر است. پیشینه در حوزهٔ آموزش مکانیک سازه در معماری، به‌صورت مجموعه‌ای از پژوهش‌های موردی می‌باشد که به‌صورت نظریه‌های جهان‌شمول تدوین نشده‌اند و برای مثال، به‌صورت یک پیشنهاد در مجلات بین‌المللی همچون *آموزش معماری* منتشر شده‌اند. در برخی از برنامه‌های آموزشی نیز، مبانی نظری به‌صورت مشروح بیان نشده و گاه فقط به طرح یک مقدمهٔ کلی برای این امر اکتفاء شده است. در صورت تدوین نیز، نظریه‌ها محلی هستند و حتی در برنامهٔ دو دانشگاه در یک کشور، مانند ام.ای.تی. و برکلی، تفاوت‌های زیاد و در حد تضاد دیده می‌شوند؛ ازاین‌رو در بررسی پیشینه تلاش شد درون‌مایه‌های مورد چالش و حساسیت‌برانگیز محل توجه قرار گیرند.

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

4. Tufts
5. Allen and Zalewski
6. Salvadori
7. Gary Black and Duff
8. Heyman
9. Neal B. Mitchell

۱۰. البته این کار به‌صورتی متفاوت نسبت به شرح درس‌های دروسی مانند استاتیک یا مقاومت مصالح در دانشکده‌های معماری ایران انجام می‌شود.

11. Bigoni
12. Payá-Zaforteza
13. https://www.iris.edu/hq/inclass/lesson/555

۱۴. با بیان دقیق‌تر جدال بر سر سه فرض طرح کشسان، تعادل–مقاومت–سازگاری یا فرض‌های طرح مومسان تعادل– مکانیزم–تسلیم.

15. Huerta
16. Lourenço
17. Ochsendorf
18. Sandaker
19. Charleson
20. Piggot-Irvine
21. Calhoun
22. Elliott
23. Praxis

۲۴. بسته به جهات طرح‌شده، اقدام‌پژوهی می‌تواند در پارادایم تفسیری به‌منظور «فهم و آشکارسازی یک پدیده» یا به «قصد اصلاح یک وضعیت» در پارادایم ممارست انجام پذیرد؛ البته نوع پارادایم اقدام‌پژوهی مورد بحث منتقدان بوده است. بحث پژوهش حاضر متمایل به پارادایم دوم است.

۲۵. انتخاب حوزهٔ رفتار سازه‌های بنایی به دلایلی برای پژوهش انتخاب شده است. با وجود اینکه بخش بزرگی از معماری تاریخی و معاصر ایران از سازه‌های بنایی ساخته شده‌اند، غفلتی بزرگ در آموزش این حوزه به چشم می‌خورد. این حوزهٔ آموزشی در طراحی و حفاظت سازه‌های روستایی و شهری، حفاظت میراث فرهنگی، و طراحی دیوارهای میان قابی سازه‌های قابی کاربرد دارد. این سازه‌ها در ادبیات موضوع با عباراتی چون «میراث ارزشمند»، «سازه‌های دوستدار طبیعتِ آینده» و «سکونتگاه فعلی بسیاری از توده‌های جهان» مورد توجه بوده‌اند. این امر نشان می‌دهد که این حوزه به‌عنوان سازه‌های معاصر و آینده نیز مورد اقبال است. همچنین مبانی رفتار این سازه‌ها و دانش نظری استادکاران سنتی در این حوزه بر تحولات نظریه‌های سازه‌ای قرن بیستم به‌طور خاص «ابداع و گسترش طرح مومسان سازه‌ها» نقش داشته است (Huerta 2001). از سوی دیگر، درگیری در این حوزه چالش‌های ادراکی ارزشمندی ایجاد می‌کند.

۲۶. در پژوهش حاضر، دلایلی برای انتخاب این حوزه وجود داشته است. نخست آنکه ایران زلزله‌خیز است و معماران در فرایند طراحی و پیکره‌بندی، نقش کلیدی در طراحی در مقابل زلزله دارند و نباید این مسئله مورد غفلت باشد. مارتی و همکاران(Murty and et al. 2012) در کتاب خود اشاره دارند که اگر پیکره‌بندی ساختمان ضعیف باشد، یک مهندس سازه، جز وصله و پینه کردن سازه، کاری نمی‌تواند انجام دهد. و در صورت پیکره‌بندی صحیح، حتی یک مهندس سازهٔ ضعیف هم نمی‌تواند بدان صدمه بزند. در برنامهٔ ای.تی. اچ. و ام.ای.تی. و برکلی، سازه‌ها برای مقابله با نیروی جانبی باید طراحی و تحلیل شوند. توجه ناکافی به این

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

حوزه، نشانهٔ ضعف برنامهٔ آموزشی ایران است. یکی از دلایل عدم طرح این مسائل در برنامهٔ آموزشی ایران، این است که این برنامهٔ آموزشی بخش ابتدایی آموزش مهندسی عمران را آن‌هم به‌صورت ناقص مورد توجه قرار داده است: استاتیک و مقاومت مصالح. درحالی‌که دو حوزهٔ مقدم بر استاتیک، یعنی آموزش فیزیک و دو حوزهٔ متأخر برنامهٔ آموزشی عمران، مبانی زلزله و دینامیک سازه‌ها، مسائلی مانند توزیع جرم و سختی را مورد توجه قرار می‌دهند: این مسائل نقش اساسی در پیکره‌بندی توسط معمار دارند، و نبود این برنامه‌ها دانشجوی معماری را در خصوص کلیدی‌ترین مسائل پیکره‌بندی بی‌اطلاع نگاه می‌دارد. از سوی دیگر، شواهدی دیگر نیز بر اهمیت این امر وجود دارد؛ برای مثال، نظریهٔ سیستم‌ها با مرتبه‌بندی سیستم‌ها به استاتیک، دینامیک، سایبرنتیک (و تا سطوح بالاتر) اشاره دارد که برای بحث دربارهٔ یک سیستم باید اندر کنش و ارتباط آن را با مراتب بالاتر سیستم مدنظر داشت و از مرتبهٔ بالاتر به مرتبهٔ پایین‌تر نفوذ کرد (https://www.sciencedirect.com/topics/psychology/systems-theory). برای مثال، برای ورود به استاتیک باید از دینامیک آغاز کرد؛ برخی روش‌های قدرتمند که در استاتیک به کار می‌روند، روش‌های دینامیکی هستند. در اهمیت این مسئله، شواهد تاریخی و فلسفی نیز قابل ذکر است. از جمله تکیهٔ دو مدرسهٔ یونانی ارسطو و ارشمیدس بر دینامیک، و چالش‌های فلسفهٔ پویای ارسطو، هگل و شلینگ با «ماندگرایی» فیزیک دکارتی که توسط بیزر (۱۳۹۱) مورد بررسی قرار گرفته است.

۲۷. حوزهٔ طراحی با جریان نیروها، همان حوزهٔ پایهٔ طراحی با تنش‌های اصلی است که پایهٔ درک رفتار، تحلیل و طراحی تمامی اعضا و سیستم‌های سازه‌ای چون تیرها، خرپاها، شالوده‌ها، پوسته‌ها و پیکره‌بندی کلی ساختمان می‌باشد. دسته‌بندی سازه‌ها در کتاب انگل (۱۳۷۷) بر اساس جریان نیروها انجام شده و برنامه‌های دانشگاه ام.ای.تی. و ای.تی.اچ. زوریخ و بخشی از کتاب‌های مور (۱۳۸۶) و سالوادوری (۱۳۷۵) و تمامی کتاب آلن و زالوسکی (Allen and Zalewski 2000) بر این برنامه استوار است. همچنین آسیب‌شناسی سازه‌های بومی روستایی و تاریخی بر این مبنا در منابعی چون چینی (۱۳۸۳) مورد توجه بوده است. یکی از ضعف‌های محتوایی برنامهٔ آموزشی ایران، تکیه بر استاتیک و مقاومت مصالح به‌صورت کلیشه‌ای و عدم نفوذ به جریان تنش‌ها در ماده است. هرچند که کتاب‌های مرجعی نام‌برده، در حوزهٔ آموزش درس «سیستم‌های ساختمانی» و «سازه‌های معاصر» در ایران مورد استفاده بوده‌اند و فصولی از آن‌ها به این موضوع پرداخته‌اند، این برنامه به‌عنوان یک مبحث پایه‌ای بسیار مهم در ادبیات موضوع مورد توجه بوده است.

28. Meaningful

۲۹. در روش کار مجازی، سازه با فرض یک سری نقاط مفصل، به یک مکانیسم تبدیل می‌شود؛ سپس با اعمال تغییر شکل بسیار کوچک به سیستم، با این فرض که کار نیروهای داخلی و خارجی باید با هم مساوی باشند، نیروهای مجهول محاسبه می‌شوند (برای شرح دقیق‌تر، نک: بیکر و هیمن ۱۳۸۱).

۳۰. این اثر بر طبقات بالا اثر می‌کند، اما در اینجا شدیدترین اثر بر طبقهٔ بالا مشاهده شده است.

۳۱. دربارهٔ خطاهای عمیقی که زبان و رسوب کلمات ایجاد می‌کنند، پژوهش‌های علوم انسانی متعددی انجام شده است؛ برای مثال، هایدگر که نظریات فلسفی او مورد توجه پژوهشگران اقدام‌پژوهی نیز بوده است، با واژه‌های ابداعی تلاش می‌کند از بارهای معنایی سنت متافیزیکی که متصل به واژگان این سنت هستند، رهایی یابد (بیمل ۱۳۹۳).

۳۲. نیروی جانب مرکز در دوره‌های پیش‌دانشگاهی به‌صورت «مفهوم نیروی گریز از مرکز» تدریس شده و این یکی از اشکالات آموزشی مشهور است. مهندسان و مدرسان فعلی نیز این نیرو را اشتباه آموخته‌اند. ظهوریان پردل (۱۳۹۳) در مورد این خطا در نزد دانشجویان مهندسی توضیح مبسوطی می‌دهد.

33. https://maktabkhooneh.org/course/228- Dynamics-mk22

۳۴. این دو برنامه به‌طور خاص، برای ارتقای آموزش مفاهیم زلزله به معماران مورد بررسی بوده‌اند.

35. https://maktabkhooneh.org/course/228- Dynamics-mk228

36. https://maktabkhooneh.org/course/مبانی مهندسی زلزله-mk140/

37. Rankine

38. https://www.iris.edu/hq/inclass/lesson/555

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

۳۹. کفش برف وسیله‌ای شبیه راکت تنیس است که به کف کفش کوه بسته می‌شود تا با کاهش تنش بر روی برف، امکان حرکت را به کوهنورد بدهد (برای شرح تصویری این استعاره نک: مور ۱۳۸۶).

۴۰. درحالی‌که نظریهٔ کشسان وضعیت دقیق ریاضی نیروهای چهارپایهٔ دختر شیردوش را تعیین می‌کند، دختر شیردوش برای دوشیدن شیر، چهارپایهٔ خود را در مکان‌های ناهموار می‌گذارد. چهارپایه مرتب حرکت گهواره‌ای می‌کند و نیروهای چهارپایه بر اساس شرایط تکیه‌گاهی در هر لحظه تغییر می‌کند. این مطلب اشاره‌ای به عدم تأمین شرایط سازگاری تکیه‌گاه‌های داخلی یا خارجی، مانند نود درجه ماندن اتصال‌های صلب در هنگام دوران قاب‌ها یا شرایط محیطی است که تعیین وضعیت دقیق سازه‌ای را دشوار می‌کند.

۴۱. برای شرح کامل نک: هیمن (1966).

42. https://maktabkhooneh.org/course/228- Dynamics-mk228

43. Stevin

44. http://www.block.arch.ethz.ch/eq

45. https://www.iris.edu/hq/inclass/lesson/555

۴۶. هرچند که در درس بتن، به‌اجبار باید ترک‌خوردگی بتن را لحاظ کرد، تدریس بر اساس حذف قسمت ترک‌خورده در تحلیل کشسان انجام می‌شود نه برای تحلیل مومسان.

47. Corpses

۴۸. فرض‌های ریاضی مربوط به نظریهٔ تیربرنولی.

49. Lab in studio

50. Block

۵۱. می‌توان شواهدی از این نوع سازه، از معماری بومی ذکر کرد؛ برای مثال، در ساخت یک کپر، سازنده به‌صورت بداهه، بدون متعین کردن نام و نقش عناصر آن، چوب‌هایی را بر هم سوار کرده و پایداری را تأمین می‌کند. اما اگر قرار باشد این مسیر بدون قرارگیری واقعی و زیست در زمینهٔ یک استادکار بومی، چه توسط شاگرد و چه مدرس، و برای اجتناب از پژوهش علمی و به تقلید از سبک‌های بعد از مدرن انجام شود، و مدرس و دانشجو چون دو جعبهٔ سیاه غیرقابل رمزگشایی در مقابل هم قرار گیرند، نگارندگان آن را توصیه نمی‌کنند. سالوادوری در سخنرانی خود در ۱۹۵۸م اشاره دارد که با تمام تجاربش در حوزهٔ معماری و سازه، توان بازآفرینی تجربهٔ شهودی استادکاران بومی را ندارد و خود را موظف می‌داند مسیرهای مهندسی نوین را طی کند.

۵۲. یادگیرنده متعلق به جهان یک سازندهٔ بومی نیست.

منابع

ـ ازهری، مجتبی، و سید رسول میرقادری. ۱۳۹۲. *طراحی سازه‌های فولادی*. تهران: ارکان دانش.

ـ انگل، هینو. ۱۳۷۷. *سیستم‌های سازه*. ترجمهٔ علی گل‌صورت پهلویانی. تهران: کارنگ.

ـ بیزر، فردریک. ۱۳۹۱. *هگل*. ترجمهٔ سید مسعود حسینی. تهران: ققنوس.

ـ بیکر، ج. و ژ. هیمن. ۱۳۹۱. *طرح و تحلیل پلاستیک قاب‌ها*. ترجمهٔ علی کاوه. چ۳. تهران: دانشگاه علم و صنعت.

ـ بیلر، رابرت. ۱۳۸۱. *کاربرد روان‌شناسی در آموزش*. ترجمهٔ پروین کدیور. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

ـ بیمل، والتر. ۱۳۹۳. *بررسی روشنگرانهٔ اندیشه‌های مارتین هایدگر*. ترجمهٔ بیژن عبدالکریمی، تهران: سروش.

ـ توماس، جورج، و راس فینی. ۱۳۷۰. *حسابان توماس: حساب دیفرانسیل و انتگرال*. ترجمهٔ مهدی بهزاد، سیامک کاظمی و علی کافی. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

ـ تیموری. قاسم. ۱۳۸۸. *ساخت دست‌سازه‌های ریاضی با کاغذ و تا*. تهران: شباهنگ.

ـ تیموشنکو، س.پ.، و د.ه. یانگ. ۱۳۷۳. *تئوری ساختمان‌ها*. ترجمهٔ تیمور توکلی هشجین و جواد مقصود. تهران: دانشگاه تهران.

ـ چوپرا، انیل، ۱۳۸۸، *دینامیک سازه‌ها و تعیین نیروهای زلزله*. ترجمهٔ شاپور طاحونی. تهران: عام و ادب.

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

ـ چینی، جزپه. ۱۳۸۳. *پایدار کردن سازه‌های آجری: فن‌های مداخله*. ترجمهٔ سعید ایرانفر. تهران: سازمان عمران و بهسازی شهری.
ـ حجت، عیسی. ۱۳۸۳. آموزش خلاق–تجربه ۱۳۸۱. *هنرهای زیبا*. ۱۸ :۲۵ ـ ۳۶.
ـ سالوادوری، ماریو. ۱۳۷۵. *از غار تا آسمان‌خراش*. ترجمهٔ کیومرث زنده‌دل. تهران: دونور.
ـ سلیمانی، سارا. ۱۳۹۲. تأثیر به‌کارگیری چندرسانه‌های تعاملی بر بهبود کیفیت آموزش سازه در رشتهٔ معماری. *انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران* ۵: ۷۵ـ۸۳.
۱۲ (۲): *مجله تاریخ علم* ـ سلیمانی‌تبار، محمد. ۱۳۹۳. نخستین آثار نگاشته‌شده در فیزیک جدید در دوران قاجار تا سال ۱۳۰۰ق. ۲۷۳ـ۲۹۶.
ـ سیف، علی‌اکبر. ۱۳۹۰. *اندازه‌گیری، سنجش و ارزش‌یابی آموزشی*. تهران: نشر دوران.
ـ ـــــــ . ۱۴۰۰. *روان‌شناسی پرورشی نوین: روان‌شناسی آموزش و یادگیری*. تهران: نشر دوران.
ـ زیمانسکی، یانگ، و فریدمن. ۱۳۸۹. *فیزیک دانشگاهی*. ترجمهٔ اعظم پورقاضی و دیگران، تهران: علوم نوین.
ـ طباطبایی، سید جواد، مهدی محمودی کامل‌آبادی، و مهیار جاویدروزی. ۱۳۹۷. *آموزش کاربردی مفاهیم سازه‌ای برای دانشجویان معماری*. کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام. تبریز.
ـ ظهوریان پردل، آرش. ۱۳۹۳. نیروی گریز از مرکز واقعی یا تخیلی. *مجله رشد آموزش فیزیکی* ۲۹ (۴): ۲۳ـ۳۴.
ـ عالمی و همکاران. ۱۳۹۵. سازه، فرم و معماری. *دوفصلنامهٔ مطالعات معماری ایران*. ۹: ۱۲۳ـ۱۴۰.
ـ فردیناند و همکاران. ۱۳۸۹. *مکانیک برداری برای مهندسان*، ترجمهٔ ابراهیم واحدیان. تهران: نشر علوم دانشگاهی.
ـ فلیک، اووه. ۱۳۹۹. *درآمدی بر روش تحقیق کیفی*. ترجمهٔ هادی جلیلی، تهران: نشر نی.
ـ مستوفی‌نژاد، داوود. ۱۳۹۹. *سازه‌های بتن آرمه*. تهران: ارکان دانش.
ـ ناشناس. ۱۲۶۰. *جرالثقیل*. ترجمهٔ مسعود بن عبدالرحیم الانصاری. نسخهٔ ۳۳۶۲ کتابخانه و موزهٔ ملی.
ـ مور، فولر. ۱۳۸۶. *درک رفتار سازه‌ها*. ترجمهٔ محمود گلابچی. تهران: دانشگاه تهران.
ـ وی. برگ، گلن. ۱۳۸۰. *مبانی دینامیک سازه‌ها*. ترجمهٔ فیاض رحیم‌زاده. تهران: دانشگاه صنعتی شریف.
- Allen, Edward and et al. 2010. *Form and Forces*. New Jersey: Willey and sons.
- Allen, E. and W. Zalewsk. 2000. *Visualizing and Understanding Web Forces in Beams*. 2000 ACS.Z TECHNOLOGY CONFERENCE, 190-195.
- Bigoni, Davide et al. 2012. A teaching model for truss structures. *Eur. J. Phys*. 33: 1179–1186.
- Block, Ph. 2009. Thrust Network Analysis-Exploring Three-dimensional Equilibrium. Doctor of Philosophy in Architecture. Massachusetts Institute of Technology.
- Calhoun. 1994. How to use action research in the self-renewing scholl. Alexandria, VA:ASCD.
- Charleson, A. 2012. *Seismic design for architects*. Routledge.
- Elliott, J. 1991. *Action Research for Educational Change*. Buckingham: Open University Press.
- Gary Black, R. and S. Duff. 1994. A Model for Teaching Structures: Finite Element Analysis in Architectural Education. *Journal of Architectural Education*. pp. 38-55.
- Hachem, Mahmoud M. 2004. "*BISPEC: Interactive Software for the Computation of Unidirectional and Bidirectional Nonlinear Earthquake Spectra*". Proceedings of the 2004 Structures Congress. Structures 2004 - Building on the Past: Securing the Future; Nashville, Tennessee; USA.
- Heyman, J. 2008. *Basic Structural Theory*, Cambridge: Cambridge University Press.
- -------- . 1966. The Stone Skeleton. *Int. J. of Solids Structures* (2): 249-279.
-Neal B. Mitchell Jr. 1961. A Proposal for a Sequence of Structure Courses. *Journal of Architectural Education* 15:4, 29-32, DOI: 10.1080/10464883.1961.11102442.

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

-Huerta, S. 2001. Mechanics of masonry vaults: The equilibrium approach. *Historical Constructions*, P.B. Lourenço, and P. Roca (Eds.): 47-70.

-Lourenço, P. 2001. Analysis of historical constructions: From thrust-lines to advanced simulations. *Historical Constructions*, P.B. Lourenço, P. Roca (Eds.), Guimarães, 2001.

-Murty, C. V. R., Rupen Goswami, A. R. Vijayanarayanan, and Vipul V. Mehta. 2012. *Some Concepts in Earthquake Behavior of Buildings*. India: Gujarat State Disaster Management Authority. http://www.iitk.ac.in/nicee/IITK-GSDMA/EBB_001...

-Neal B. Mitchell Jr. 1961. A Proposal for a Sequence of Structure Courses. *Journal of Architectural Education*. 15:4, 29-32, DOI: 10.1080/10464883.1961.11102442

- Ochsendorf, J. 2005. Collapse of masonry structure. Ph.D. thesis. Cambridge University.

- ---------- . 2004. A displacement-based approach for the safety assessment of masonry structure. *Proceedings of the forth international seminar on structural analysis of historical construction*, Padova, Italy: 10-13.

- Payá-Zaforteza, Ignacio. 2009. M. Adam-Martínez, José and Pellicer-Armiñana, Teresa Calderón-García, Pedro A.2009. *Use of ConcepTest in a Course on Building Structural Analysis for Teaching Construction History*. Proceedings of the Third International Congress on Construction History, Cottbus, May 2009.

Rhetoric and practice in action research. The annual conference of the British - Piggot-Irvine, E. 2002. Educational Research Association, University of Exeter, 12-14 September 2002 .

- Rankine, M. 1864. Principle of the equilibrium of polyhedral frames. *Philos Mag*. 27(180): 92.

- Salvadori, Mario.1958. Teaching Structures to Architects. *Journal of Architectural Education* (1947-1974), Vol. 13, No. 1 (Spring, 1958), pp. 5-8.Taylor & Francis, Ltd.

- Sandaker, Bjørn N., Arne P. Eggen, and Mark R. Cruvellier. 2013. *The Structural Basis of Architecture*. UK: Routledge

- Stevin, S. 1586. *De Beghinselen der Weeghconst*. (In The Principal Works of Simon Stevin, vol. 1, Leyden, 1955). VARIGNON, P. 1725. Nouvelle mécanique ou statique. 2 vols. Paris.

- http://www.block.arch.ethz.ch/eq

- https://www.iris.edu/hq/inclass/lesson/555.

- https://maktabkhooneh.org/course/مبانی مهندسی زلزله-mk140/

- https://maktabkhooneh.org/course/228دینامیک-mk228/

- https://www.sciencedirect.com/topics/psychology/systems-theory

- https://tamasha.com/movie

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]

Structure in Architecture for Beginners: Challenges and Solutions

Farzin Izad-panah
Ph.D. candidate, Architecture, School of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran/ Faculty of Architecture, Shahid Bahonar University of Kerman

Eisa Hojjat
Professor, School of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran

One of the fields, which can be the start point for reintegrating structure and architecture after the Renaissance, is education. In this regard, challenges of teaching mechanics of structures have posed problems for architects. The main queries of this paper include the challenges of teaching to beginners, their cognitive errors, and probable solutions for improvement. This paper reports the results of a four-year-long action research study that was conducted to understand and improve relevant issues through educational cycles. Self-evaluating and evaluation by colleagues and experts were done by talking about emerged themes and solutions to assess their significance. Some of the resulting themes are other manifestations of some historical challenges of the field, such as the need for mathematical education. Some new themes also emerged which are discussed.

Keywords: architectural education for beginners, education of structure in architecture, education of mechanics of structure, action research

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[Downloaded from jias.kashanu.ac.ir on 2021-12-19]