

مطالعات معماری ایران ۱۹

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال دهم، شماره ۱۹، بهار و تابستان ۱۴۰۰



- ◆ ریشه‌یابی الگوی معماری مسجد کبود تبریز
 - محسن دهقانی تفتی / زهرا السادات مدرس‌زاده / غلامحسین معماریان
- ◆ توسعهٔ چهارچوب مفهومی استفادهٔ مجدد سازگار به‌عنوان راهبردی پایدار در حفاظت از بناهای میراثی
 - پیروز حناچی / یلدا شاه‌تیموری
- ◆ بازخوانی پیشینهٔ تاریخی میدان وقت و ساعت یزد با تأکید بر دورهٔ صفوی و پیش از آن
 - علی شهبابی‌نژاد
- ◆ پی‌جویی معماری کریم طاهرزاده بهزاد در تاریخ و کالبد دبیرستانی در شهر قزوین
 - مهرزاد پرهیزکاری / مریم شوریده
- ◆ بررسی ساختار معماری و دوره‌بندی تاریخی - کالبدی مسجد جامع ارومیه
 - مظفر عباس‌زاده / لیلا دانش
- ◆ تأملی بر ساختار فضایی و الگوی کالبدی خانه‌های دورهٔ قاجار شهر نطنز
 - محسن جاوری / حسن کریمیان / سیده سارا محمدی
- ◆ تأملی بر چالش‌ها و راهکارها در آموزش مکانیک سازه در معماری برای نوآموزان
 - فرزین ایزدپناه / عیسی حجت
- ◆ سیر تحول مسجد جامع فرومد با تأکید بر افزوده‌های دورهٔ ایلخانی
 - کاوه منصوری / فرامرز پارسی / فرشید رحیمی کلهرودی
- ◆ بررسی روابط متقابل سبک زندگی و سازمان فضایی خانه، مورد مطالعه: خانه‌های مسکونی شهرستان رشت
 - محمد مرتاض هجری / سید عباس یزدانفر / سید باقر حسینی
- ◆ بررسی دمای سطح داخلی دیوار جنوبی با نمای خوون‌چینی در اقلیم بسیار گرم و نیمه‌خشک - معتدل
 - علی دهار / منصوره طاهباز / محسن تابان
- ◆ جایگاه منظر فرهنگی در نظام معماری و شهرسازی ایران؛ فرامطالعهٔ مقالات علمی موجود
 - سارا میرزاد جهرمی / محمدرضا پورجعفر / خلیل حاجی‌پور
- ◆ نقش ساختار بازارچه‌های سنتی بازار تبریز در ماندگاری ذهنی فضا و عمق دسترسی کاربران
 - سهند جلالی / زهرا حسینی / منصور یگانه / محمدرضا بمانیان

مطالعات معماری ایران

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال دهم، شماره ۱۹، بهار و تابستان ۱۴۰۰
صاحب امتیاز: دانشگاه کاشان
مدیر مسئول: دکتر علی عمرانی‌پور
سرمدبیر: دکتر غلامحسین معماریان
مدیر داخلی: دکتر بابک عالمی

هیئت تحریریه (به‌ترتیب الفبا):
دکتر ایرج اعتصام، استاد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات
دکتر عباس اکبری، دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر مجتبی انصاری، دانشیار دانشگاه تربیت مدرس
دکتر حمیدرضا جیحانی، دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر پیروز حناچی، استاد دانشگاه تهران
دکتر شاهین حیدری، استاد دانشگاه تهران
دکتر فاطمه کاتب، استاد دانشگاه الزهرا (س)
دکتر حسین کلانتوری، استاد جهاد دانشگاهی
دکتر اصغر محمد مرادی، استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر غلامحسین معماریان، استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر محسن نیازی، استاد دانشگاه کاشان

درجه علمی پژوهشی دوفصلنامه مطالعات معماری ایران طی نامه شماره ۱۶۱۶۷۶ مورخ ۱۳۹۰/۰۸/۲۱ دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ابلاغ گردیده است.

پروانه انتشار این نشریه به شماره ۹۰/۲۳۰۳۰ مورخ ۹۱/۹/۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی صادر شده است.

این نشریه حاصل همکاری مشترک علمی دانشگاه کاشان با دانشکده معماری دانشگاه تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه الزهرا (س)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه شهید رجایی و پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری جهاد دانشگاهی است. نشریه مطالعات معماری ایران در پایگاه استنادی علوم کشورهای اسلامی (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، پایگاه مجلات تخصصی نور (noormags.ir)، پرتال جامع علوم انسانی (ensani.ir) و بانک اطلاعات نشریات کشور (magiran.com) نمایه می‌شود. تصاویر بدون استناد در هر مقاله، متعلق به نویسنده آن مقاله است.

(نسخه الکترونیکی مقاله‌های این مجله، با تصاویر رنگی در تارنمای نشریه قابل دریافت است.)

عکس روی جلد: محمد موحذنزاد
(ایوان غربی، مسجد جامع اصفهان)
همکار اجرایی: نغمه اسدی چیمه
نشانی دفتر نشریه: کاشان، بلوار قطب رواندی، دانشگاه کاشان، دانشکده معماری و هنر، کدپستی: ۸۷۳۱۷-۵۳۱۵۳
رایانامه: j.ir.arch.s@gmail.com
ویراستار ادبی فارسی: معصومه عدالت‌پور
ویراستار انگلیسی: غزل نفیسه تابنده
دورنگار: ۰۳۱-۵۵۹۱۳۱۳۲
پایگاه اینترنتی: jias.kashanu.ac.ir

شاپا: ۰۶۳۵-۲۲۵۲

ناشر: مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری (RICEST)

انتشارات: ۰۷۱-۳۶۴۶۸۴۵۲
نمایر: ۰۷۱-۳۶۴۶۸۳۵۲

این نشریه در «ایران ژورنال» نظام نمایه‌سازی مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری (RICEST) به نشانی

http://ricest.ac.ir و پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC) به نشانی http://isc.gov.ir نمایه می‌شود.



دانشگاه تربیت مدرس

فهرست

- ۵ ریشه‌یابی الگوی معماری مسجد کبود تبریز
محسن دهقانی تفتی / زهرا السادات مدرس‌زاده / غلامحسین معماریان
- ۲۵ توسعه چهارچوب مفهومی استفاده مجدد سازگار به‌عنوان راهبردی پایدار در حفاظت از بناهای میراثی
پیروز حناچی / یلدا شاه‌تیموری
- ۴۷ بازخوانی پیشینه تاریخی میدان وقت و ساعت یزد با تأکید بر دوره صفوی و پیش از آن
علی شهابی‌نژاد
- ۶۵ پی‌جویی معماری کریم طاهرزاده بهزاد در تاریخ و کالبد دبیرستانی در شهر قزوین
مهرزاد پرهیزکاری / مریم شوریده
- ۹۱ بررسی ساختار معماری و دوره‌بندی تاریخی - کالبدی مسجد جامع ارومیه
مظفر عباس‌زاده / لیلا دانش
- ۱۱۵ تأملی بر ساختار فضایی و الگوی کالبدی خانه‌های دوره قاجار شهر نطنز
محسن جاوری / حسن کریمیان / سیده سارا محمدی
- ۱۳۷ تأملی بر چالش‌ها و راهکارها در آموزش مکانیک سازه در معماری برای نوآموزان
فرزین ایزدپناه / عیسی حجت
- ۱۶۵ سیر تحول مسجد جامع فرومد با تأکید بر افزوده‌های دوره ایلخانی
کاوه منصوری / فرامرز پارسی / فرشید رحیمی کله‌رودی
- ۱۹۳ بررسی روابط متقابل سبک زندگی و سازمان فضایی خانه، مورد مطالعه: خانه‌های مسکونی شهرستان رشت
محمد مرتاض هجری / سید عباس یزدانفر / سید باقر حسینی
- ۲۱۵ بررسی دمای سطح داخلی دیوار جنوبی با نمای خورن چینی در اقلیم بسیار گرم و نیمه‌خشک - معتدل (تابستان و زمستان)
علی دهار / منصوره طاهباز / محسن تابان
- ۲۳۱ جایگاه منظر فرهنگی در نظام معماری و شهرسازی ایران؛ فرامطالعه مقالات علمی موجود
سارا میرزاد جهرمی / محمدرضا پورجعفر / خلیل حاجی‌پور
- ۲۴۵ نقش ساختار بازارچه‌های سنتی بازار تبریز در ماندگاری ذهنی فضا و عمق دسترسی کاربران
سهند جلالی / زهرا حسینی / منصور یگانه / محمدرضا بمانیان
- ۲۶۱ راهنمای تدوین و ارسال مقاله
- ۲۶۳ بخش انگلیسی

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 از حوزه‌های تلاش برای جبران شکاف روی داده میان سازه و معماری بعد از رنسانس، مبحث آموزش بوده است. در این مسیر، چالش‌های حاصل از حوزه 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 اقدام پژوهی 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 پدیدار شده 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 به سمت مفهوم پایه‌ای‌تر دگرگون شده‌اند. درون‌مایه‌های جدیدی نیز آشکار شده‌اند که برای دستیابی به آموزش مناسب می‌توان به آن‌ها توجه داشت.

کلیدواژه‌ها:

آموزش نوآموزان معماری، آموزش سازه در معماری، آموزش مکانیک سازه، اقدام پژوهی.

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

** دانشجوی دکتری معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران. عضو هیئت علمی دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شهید باهنر کرمان
*** استاد، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، نویسنده مسئول، sahojat@ut.ac.ir

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 مسیریایی 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 ذکر شده، نوشتار حاضر بخشی از نتایج یک اقدام پژوهی 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 آن 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 دانشجویان 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 آن و زالوسکی (2000) در همان ابتدا، تحلیل و طراحی ریاضی همراه با آموزش درک رفتار سازه 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.

بحث درباره نحوه مدل سازی فیزیکی یا مفهومی یکی از مباحث پیشینه بوده است. طباطبایی، محمودی کامل آبادی و جاویدروزی (۱۳۹۷) استفاده از مدل کنترل شده را یکی از راهبردهای ارتقای آموزش در این حوزه معرفی کرده اند. سلیمانی (۱۳۹۲) به اهمیت استفاده از ابزارهای چندگانه، به طور خاص مالتی مدیا به عنوان ابزار آموزشی اشاره دارد. برای حل مشکلات مدل سازی، پژوهش های جنبی توسط بیگونی^{۱۱} و همکاران (2012) و پایازافورتزا^{۱۲} (2009) انجام شده اند که به فراخور بحث، به آن ها خواهیم پرداخت. و در برنامه دانشگاه برکلی (Gary Black and Duff 1994) این موضوع مسئله کلیدی تشخیص داده شده است. از سوی دیگر، برخی برنامه ها همچون برنامه آموزش مهندسی زلزله به کودکان^{۱۳} که برای تدریس پیش دانشگاهی طراحی شده اند، دقت زیادی به این امر داشته اند. در بعضی از پژوهش های مربوط به سطوح بالاتر آموزشی، چون مستوفی نژاد (۱۳۹۹)، نیز آموزه های مناسبی در این باره طرح شده است. «چالش بر سر انتخاب آموزش تحلیل و طرح کشسان یا مومسان» و سایر انتخاب های ناشی از آن، چون تکیه بر پایداری یا مقاومت، نامعینی یا معینی^{۱۴} از دیگر مسائل پیشینه بوده است که در پژوهش های گری بلک و داف (1994)، آلن و زالوسکی (2000)، هیمن (2008) و بیکر و هیمن (۱۳۹۱) بحث شده اند. نحوه مواجهه با تحلیل و طراحی سازه های بنایی از دیگر مسائل چالش برانگیز 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 بوده اند. ابهام آفرینی مسائل آیین نامه ای توسط محققانی چون سالوادوری (۱۹۵۸) طرح شده است، بدون آنکه شرح روشنی از آن ارائه گردد. چارلستون^{۱۹} (۲۰۱۲) با وجود اشاره به قابلیت های نگاه غیر آیین نامه ای در طراحی در مقابل زلزله، مسیر آیین نامه ای معمول را پیموده است. اما مستوفی نژاد (۱۳۹۹) در خلال مباحث خود، اشارات مفیدی به مسائل آیین نامه ای داشته است. شرح و تبیین ماهیت بارها و نحوه تبدیل آن ها به نیروهای معادل و از سوی دیگر انتزاع ریاضی آن ها، برای مثال، تبدیل به بار گسترده، به ندرت در برخی برنامه ها مانند آلن و زالوسکی (2000) و سالوادوری (۱۳۷۵) مورد توجه بوده است. یکی از دلایل این امر، ریاضیات پیچیده لازم برای برخی از این تبدیل ها بوده است؛ هر چند که روش ریاضی آن ها توسط پژوهشگرانی چون وی برگ (۱۳۸۰) و چوپرا (۱۳۸۸) بیان شده است. لزوم آموزش فیزیک پیش از درس استاتیک و مقاومت مصالح توسط سالوادوری (1958) گوشزد شده است (در رشته مهندسی عمران نیز درس فیزیک بر استاتیک مقدم هستند). اما این برنامه در آموزش سازه در معماری در ایران رواج ندارد؛ البته برنامه آموزش فیزیک فعلی در رشته های مهندسی مبتنی بر کتاب های دانشگاهی مشهور چون زیمانسکی، یانگ و فریدمن (۱۳۸۹)، بیشتر ریاضی محور است تا بر تجارب ملموس متکی باشد. با توجه به پژوهش بیزر (۱۳۹۱)، بنا به ضرورت، بنیادهای برخی درون مایه ها در نوشتار حاضر، مورد بحث قرار گرفته اند. برخی از نکات آموزشی نیز با توجه به پژوهش های بیلر (۱۳۸۱) و سیف (۱۴۰۰؛ ۱۳۹۰) مورد توجه قرار گرفته اند.

در حوزه روش شناسی، پژوهش های فلیک (۱۳۹۹)، پیگوت-اروین^{۲۰} (2002)، کالهن^{۲۱} (1994) و الیوت^{۲۲} (1991) بر طراحی مدل اقدام پژوهی تأثیر داشته اند که مورد بحث قرار خواهند گرفت.

پرسش ها و چالش های اصلی مطرح در پیشینه موضوع، در فرایند پژوهش، همراه پژوهشگران بوده است، اما دقت شده است که پاسخ های پیشین به پرسش ها «معلق» نگاه داشته شوند تا فقط در صورت رخداد، بررسی و بازفهم شوند. در خلال پژوهش، تلاش شد برخی از این مسائل، موشکافی و شفاف تر گردند، اما درگیری با برخی از آن ها نگارندگان را به سمت مسائل پایه ای تر و دقیق تر سوق داد. از سوی دیگر، مسائل جدیدی نیز در مسیر آشکار و برجسته شدند. با توجه به اینکه مسائل آموزشی ایران، در عین برخی شباهت ها، متفاوت با مسائل برنامه های آموزشی پیشینه هستند که عمدتاً در غرب تدوین شده اند، «نحوه رخداد» مسائل مشهور در بستر ایران مورد توجه بوده است. ظهور برخی از درون مایه های 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 حوزه رفتار سازه های

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 اقدام پژوهی، 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 به صورت چرخه‌ای کناری در برنامه جاری به گردش می‌افتد (تصویر ۱). نتایج حاصل از این چرخه تدقیق شده و در چرخه آموزشی دیگری، به منظور «اعمال تغییرات» در برنامه به کار گرفته می‌شود. در نهایت، چرخه دیگری، برای «ارزیابی تغییرات انجام‌شده» مورد توجه قرار می‌گیرد. نکته دیگر مدل‌های متأخر، که مورد توجه پژوهش حاضر است، قائل نبودن به سیر خطی میان طرح، عمل، مشاهده و تأمل در هریک از چرخه‌هاست (Calloun 1994) (در تصویر ۱ امکان حرکت آزاد با پیکان‌های خطچین نشان داده شده است). مسئله 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 فرایندها تأکید دارد (تصویر ۱). در طی انجام هر چرخه تدریس، در سه حوزه آموزشی ذکرشده در بالا، چالش‌هایی مشاهده شدند و مورد خردارزیابی، ارزیابی توسط هم‌قطاران دانشگاهی و گروه متخصصان برجسته دانشگاهی از رشته‌های معماری و سازه قرار گرفتند و اصلاحات لازم در چرخه‌های بعدی اعمال و دوباره ارزیابی شدند. به تدریج، درون مایه‌هایی پدیدار گشتند که محورهای اصلی مباحثات را شکل می‌دادند و مورد گفت‌وگو و مفاهیم میان نگارندگان و ارزیابان قرار داشتند که در این نوشتار بدان‌ها خواهیم پرداخت. اضافه بر آن، «معنادار بودن»^{۲۸} این درون مایه‌ها در نسبت با چالش‌های مطرح در پیشینه، مرتب، مورد سنجش و بحث قرار گرفتند.

در ابتدا مسئله‌ها یا حدس‌های گنگی درباره مسائل آموزشی این حوزه در ذهن نگارندگان وجود داشتند که برخاسته از زیست آن‌ها در گفتمان جامعه 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، به تدریج چرخشی در آموزش روی داد که حاصل آن درون مایه‌هایی است که برای گروه هم‌قطاران و متخصصان برجسته «معنادار» و «معتبر» تلقی شدند.

۳. درون مایه‌های پدیدار شده در فرایند آموزش و راهکارهای پیشنهادی مرتبط با آن‌ها

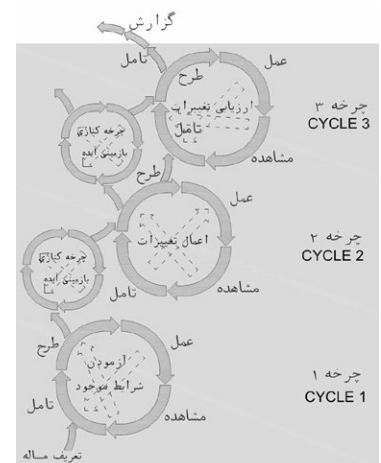
درون مایه‌ها و راهکارهای مرتبط با آن‌ها در اینجا ارائه می‌شوند. در هر بند، با ذکر نمونه از چرخه‌های آموزشی، مثال‌هایی ارائه شده‌اند که درون مایه طرح‌شده ملموس شود. بحث هر موضوع در ارتباط با پیشینه، در هریک از موارد طرح شده است.

۳.۱. توصیه به استفاده از زبان ملموس و خودی

به کار بردن واژه‌های کلیشه‌ای زبان 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 تجربه زیسته یادگیرنده به کار برده شوند.

۳.۱.۱. مصداق

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



تصویر ۱: مدل اقدام‌پژوهی پژوهش حاضر

- دانشجو اشاره می‌کند: «اگر برای بالاترین طبقه ساختمانی فکری نکنیم، در ارتعاش تصادفی، عصبانی می‌شود» (اشاره به مشاهده حرکات شدید طبقه بالا، در اثر حضور حالات نوسانی بالاتر^{۳۰}) (تصویر ۲).

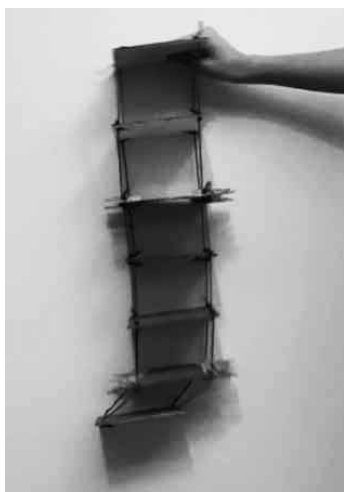
در برنامه‌های آموزشی مرسوم، مانند برنامه دانشگاه تافتس، متکی بر کتاب سیستم‌های ساختمانی (انگل ۱۳۷۷)، معرفی واژگان تخصصی در ابتدای برنامه آموزشی لحاظ شده‌اند. نگارندگان نیز در ابتدا، طبق سنت مرسوم به این امر می‌پرداختند، اما به مرور مشاهده شد که این امر در روانی آموزش و فهم یادگیرنده اختلال ایجاد می‌کند. اضافه بر آن، نگارندگان مشاهده کردند کلماتی از آموزش پیش‌دانشگاهی و منابع اینترنتی به صورت 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 سیطره 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 حوزه شناختی، توان بیان مسئله توسط یادگیرنده به زبان و اصطلاحات خود می‌باشد.^{۳۱}

۲.۳. توصیه به استفاده از عبارتهای شارح

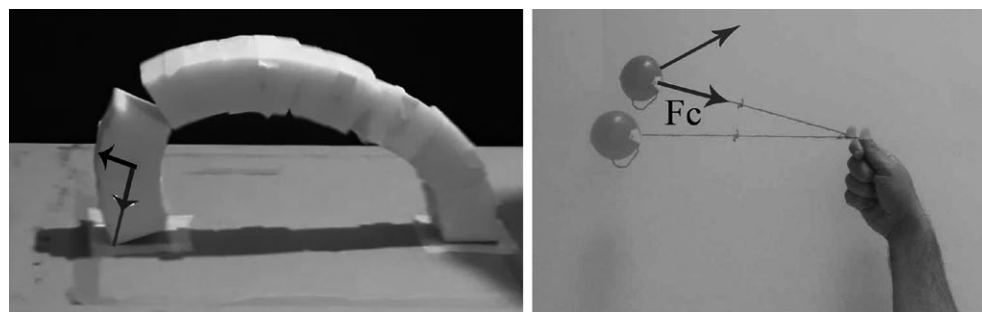
برخی «تکواژه‌ها» در آموزش به کار می‌روند که کاربرد آن‌ها به نظر بدیهی و روشن محسوب می‌شود؛ درحالی‌که این تکواژه‌ها برای یادگیرنده، معنای ملموسی ایجاد نمی‌کنند. استفاده از «عبارتهای شارح» می‌تواند برای یادگیرنده مفهوم روشن‌تری ایجاد کند.

۱.۲.۳. مصداق

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



تصویر ۳: چپ: نیروی جانب مرکز در دوران قطعه قوس در زلزله (اثر دانشجو فاطمه ضیایی). راست: عبارت مشروحي به جای «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 مدرسه دارالفنون در حوزه مکانیک جدید، مترجم قاجاری در اولین برخورد با فیزیک جدید، واژه «قابل انحنای نبودن» را به جای «صلبیت» جسم به کار می‌برد. و عبارت «تلاش جسمی که می‌خواهد میل کند و نسبت به مانعی نگه داشته شده است» را به جای وزن به کار می‌برد که دیدگاه ارسطویی او (جسم-پویا) را در مقابل رویکرد دکارتی (جسم-ماند) نشان می‌دهد (سلیمانی تبار ۱۳۹۳). در فرایند تدریس، برخی مدرسان با تجربه به این امر توجه دارند. در یکی از برنامه‌های مورد مطالعه^{۳۳}، به جای بیان واژه «مشتق کمیت برداری»، استاد «عبارت شارحی» را مکرر و مکرر تذکر می‌دهد:

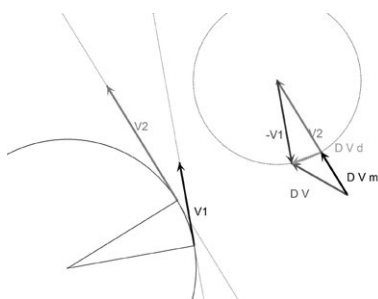
«تغییر حرکت ما در یک مسیر منحنی، هم از تغییر مقدار سرعت ما اثر می‌پذیرد، هم از تغییر جهت حرکت ما» (تصویر ۴).

مطالعات معمارانه ایران

دو فصلنامه معماری ایرانی

شماره ۱۹ - بهار و تابستان ۱۴۰۰

۱۴۱



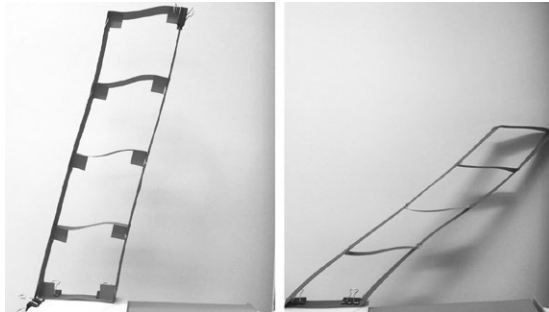
تصویر ۴: تغییر حرکت ما در یک مسیر منحنی هم از تغییر سرعت و هم از تغییر جهت سرعت اثر می‌گیرد.

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 مفهومی «حقیقی‌تر» می‌شود (مغالطه جزء و کل). به کار بردن واژگان ابداعی به جای واژگان دال بر نوع خاصی از یک مفهوم پیشنهاد می‌شود.

۳.۳.۱. مصداق

– به کار بردن مفهوم «میزان دوران اتصال‌ها» به جای 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 بررسی شده در پیشینه، مسائلی از این دست، چون تدریس «انحصاری» اتصال مفصلی و گیردار کامل وجود دارد که یکی از عواملی هستند که سبب می‌شوند دانشجوی معماری تا سال‌های متمادی از نحوه 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).

۳.۳.۴. خطای انتزاع ناشیانه مفاهیم

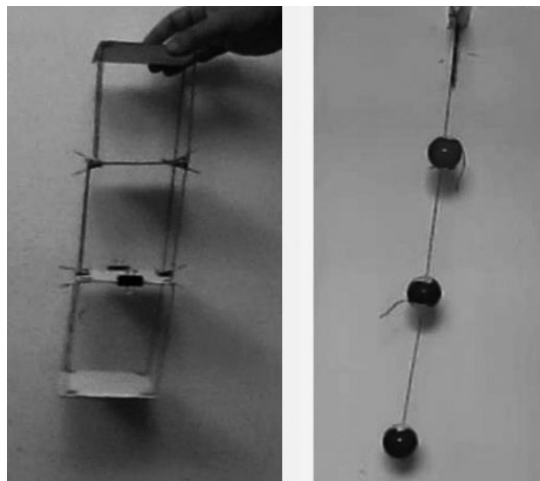
مفاهیمی وجود دارند که انتزاع ناشیانه آن‌ها می‌تواند سبب اشتباه جدی در درک رفتار گردد. زمانی که مفاهیمی ملموس و واقعی (انضمامی) را با مفاهیم ایدئال و ریاضی جایگزین می‌کنیم، باید احتیاط نماییم خطای این جایگزینی از منظر ما پنهان نماند.

۳.۳.۴.۱. مصداق

– 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 برآیند به جای توزیع گسترده 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).



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 برنامه 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 تجربه نگارندگان همسو بودند. در کتاب‌های آموزشی چون کتاب‌های درسی در حوزه 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 هشجاری» انجام شده است؛ هرچند که بررسی دو برنامه آموزش مهندسی توسط نگارندگان نشان می‌دهد که به‌رغم تذکرات کتاب‌ها، دانشجویان مهندسی مسائلی در فهم این مفاهیم دارند (دو برنامه^{۳۴} عبارت‌اند از دروس پایه 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 پدیده واقعی منطبق نیست (برنامه 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 بازننگری و بازتعریف در این مفاهیم پایه، خانه دارد؛ برای مثال، بازتعریف نحوه تعادل نیروها در فضا توسط رانکین^{۳۸} (۱۸۶۴) امکان طراحی خلاقانه سازه‌های سه‌بعدی را فراهم آورده است.

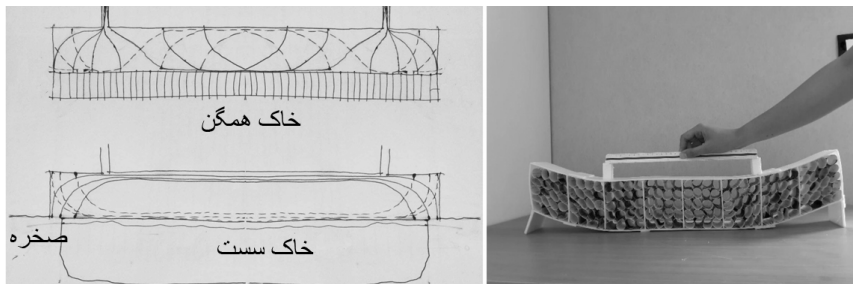
در نهایت، توضیح مسئله‌هایی چون «آیا جرم یک میله را می‌توان در مرکز آن متمرکز فرض نمود»، از فعالیت‌های دشوار نگارندگان در طول تدریس بود.

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 استعاره «دکل کشتی بادبانی» استفاده می‌شود. باید در هر حال بررسی کرد استعاره 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.

۳. ۵. ۱. مصداق

– استعاره مناسب شالوده در نشست‌های ناهمگن، «شالوده چون سقف (یا تیر)» است نه «شالوده چون کفش برف»^{۳۹} (تصویر ۸).



تصویر ۸: استعاره شالوده چون سقف به جای شالوده چون کفش برف. چپ: بسته به نحوه 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؛ به گونه‌ای که کسانی که در آن عصر زیست می‌کنند، آن‌ها را بدیهی و مفروض می‌انگارند و به دلیل «غرق بودن» در آن‌ها، از استعاره‌های دیگر غافل می‌شوند. در قرن ۱۸ و ۱۹ میلادی، مهندسان، غوطه‌ور در این استعاره سیستم‌نگارانه که «سازه با حداقل انرژی خودش رفتار می‌نماید»، وضعیت دقیق ریاضی سازه نامعین را معین می‌کردند (طرح کشسان)، اما در قرن بیستم میلادی، با طرح استعاره سازه چون «چهارپایه دختر شیردوش»^{۴۰}، مفروضات و رویکرد (به سمت طرح مومسان) تغییر کرد.^{۴۱} از این رو توصیه می‌شود نگاه به استعاره‌ها توأمان با توجه به تاریخ، و حضور و غیاب دیدگاه‌های سازه‌ای باشد.

۳. ۶. ۱. 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. ۶. ۱. مصداق

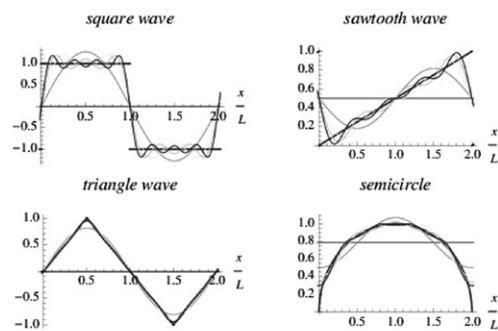
– مفهوم شتاب، سرعت و جابه‌جایی و ارتباط آن‌ها که از آموزه‌های پیش‌دانشگاهی است، برای شاگرد روشن نیست. حجت (۱۳۸۳) اشاره دارد که آموزش پیش‌دانشگاهی مبتنی بر محفوظات است. در تجربه‌های آموزشی بررسی شده نیز، تذکرات جدی درباره مفاهیم پایه‌ای مشاهده می‌شود که دانشجویان در آن‌ها، دچار اشتباه‌های فاحش می‌شوند؛ 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 (۲۰۰۰) 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 برنامه دانشگاه تافتس (Neal and Mitchell 1961) اهتمام ویژه‌ای به این امر شده است. دانشجویان سال اول آموزش خود را به مطالعه 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 مطالعه شده همچون زیمانسکی، یانگ و فریدمن (۱۳۸۹)، سعی شده با آوردن مثال‌هایی از تجربه یادگیرنده که وی با آن‌ها مانوس بوده است، مفاهیم یادآوری شوند، اما نقش آن‌ها کم‌رنگ و حاشیه‌ای است. همچنین، برخی از مفاهیم در مقدمه کتاب‌ها و برنامه‌های آموزشی تعریف شده‌اند که معمولاً در تدریس به صورت گذرا طرح می‌شوند. از دیدگاه نگارندگان، مطالب اینچینی که در برنامه‌های آموزشی مرسوم کم‌رنگ و در حاشیه هستند، برای نوآموز باید در متن باشند.

۷.۳. حذف برخی مفاهیم پیشرفته و مهم از برنامه آموزشی معماری

مفاهیم پیشرفته متعلق به برنامه آموزشی مهندسی سازه، به دلیل پیچیدگی نسبی و نیاز به زمان طولانی برای طرح مسیر عددی آن‌ها، از آموزش معماری حذف شده‌اند. امکان تدریس آن‌ها از طریق «مدل‌های ساده» وجود دارد. مدرسان عمران با توجه به دشوار یافتن تدریس غیر عددی این مفاهیم، بیشتر، مفاهیم ابتدایی دوره آموزشی خود را تدریس می‌کنند. مشخص است که مدرسان معمار هم، به دلیل عدم رواج فعالیت‌های عمیق بین رشته‌ای، به این مسیرهای پیشرفته، آگاهی یا اشراف ندارند. به مرور، این عدم پرداختن به موضوع، سبب غلبه یک افق شده است که امکان طرح مسائل اینچنینی را نمی‌کند.

۷.۳.۱. مصداق

– 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 بیانیه برنامه 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 غیر عمیق» 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 سازه با بالا از عهده بیان این مفاهیم به زبان ساده برمی‌آیند و به دلیل مشغله‌های علمی و حرفه‌ای، مجال ترجمه چنین مطالبی را به زبان مفهومی ندارند. متخصصان تراز پایین‌تر رشته 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.

۸.۳. نیاز به آموزش مدل‌سازی ریاضی

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

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

- 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 حوزه آموزش سازه‌های بنایی طرح می‌شود).

- مشکلات عدیده رخ داده در آموزش استاتیک ترسیمی از دیگر موارد قابل ذکر است.

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

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

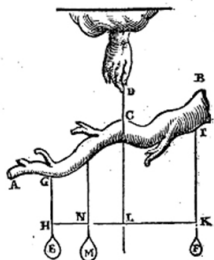
- تغییر تفکر در گام دوم: موازی‌سازی دانش ریاضی با مواجهه شهودی-بدنی و استفاده از دانش ریاضی به‌عنوان ابزار کمکی در صورت وفق با شرایط ذهنی دانشجو؛

- گام سوم: احساس نیاز مبرم به حوزه میانی مدل‌سازی ریاضی، مابین دو حوزه مواجهه 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).

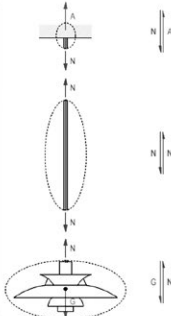
در برنامه‌های آموزشی، تلاش‌ها بر آموزش مدل‌های گوناگون ریاضی متمرکز هستند: مفید بودن «تدریس مستقیم مدل ریاضی» مغایر با یافته‌های تجربه آموزشی حاضر است. در این مسیر باید به شرایط ذهنی دانشجو توجه داشت. نگرش منفی دانشجویان به ریاضی که توسط طباطبایی، محمودی کامل‌آبادی و جاویدروزی (۱۳۹۷) طرح شده است، توسط سالوادوری (۱۹۵۸) محصول «سمی شدن ذهن آن‌ها» در دوران پیش‌دانشگاهی نسبت به ریاضی تلقی می‌شود. سالوادوری (۱۹۵۸) معتقد است اگر چنین عقیه 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 (۲۰۰۸) 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 از پیش تعیین‌شده‌ای 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، ارائه درسی یک مدرس با تجربه در تصویر (۱۰)، با توجه ضمنی به این موضوع دیده می‌شود.^{۴۳} کتاب‌های این حوزه پیش از غلبه تفکر مطلقاً ریاضی در قرن ۱۹ میلادی، مانند استوین^{۴۴} (۱۵۸۶) نیز چنین راهبردی را داشتند (تصویر ۱۱).

ende nochtans gheerne wat ooghenfchijnelijc faghen, waer duer fjr ghe-
looffden, die inueghen nemen een rechten ghefchickten, ofte crommen
onghefchickten ftock,
foe valt, als A B, hem
hanghende toe eenigher
placs als C, an een
coorde C D. Daer naer
hanghende anden ftock
euen ghewichten als E, F,
alfoe dat haer coorden
G H, I K, euevere fijn
vande lini C D neerwaert
ghetrocken, te weten dat
H L euen fy an L K, den
ftock fal haer eerste ftant
houden, s'flue fal fy oock
doen foemen E weerde,
ende datmen anhinghe
tghewicht M, dobbel an
F, ende alfoe dat L K oock
dobbel fy an L N, ende
foe met allen anderen,
waer uyt fy de nootfac-
licheyt van 'ghene bo-
uen ghefeyt is, lichtelijc
gheuoelen fallen.



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).



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

۳.۹. 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 مفهومی تر است، می‌توان برخی از مطالب پیشرفته را تدریس کرد. اجتناب از تدریس برخی از مطالب، به دلیل نیاز به ریاضیات ظاهراً سطح بالاتر یا ریاضیات دور از فهم‌تر(?)، یکی از مسائلی بود که در برنامه آموزشی مشاهده شد.

۳.۹.۱. مصداق

– یافتن مرکز ثقل مثلث از طریق استدلال هندسی و استقرار مفهوم به چندضلعی بر انتگرال گیری 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 به جای روش‌های انتگرال گیری 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 به صورت ضمنی طرح شده‌اند: کافی است آن‌ها را آشکار و روش انتگرال را ضمنی کنیم. استفاده از روش‌هایی چون دست‌سازهای هندسی که در آموزش دبستان به عنوان کمک آموزشی، در منابعی مانند (تیموری ۱۳۸۸) ارائه شده‌اند، می‌تواند مفید باشد.

۳.۱۰. احتیاط در به کارگیری «مفاهیم یا مدل‌های انتزاعی حل ریاضی وار مسئله» به عنوان «مدل فهم و طراحی»

این مفاهیم برای تسهیل حل مسئله هستند و در سطح فعلی و به گونه‌ای که ارائه می‌شوند، ماهیت فیزیکی ندارند. از این رو برای فهم و طراحی مناسب نیستند.

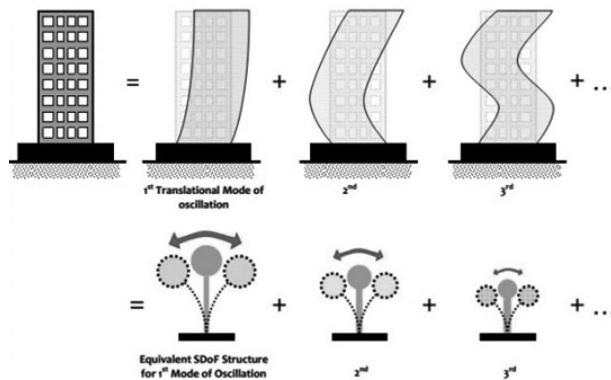
۳.۱۰.۱. مصداق‌ها

– 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).

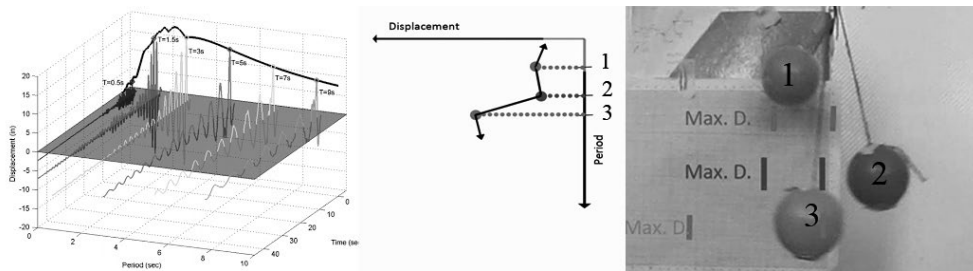
– ارتباط برخی مفاهیم بر روی نمودار ترسیم می‌شوند که نوعی انتزاع‌سازی محسوب می‌شود. تا زمانی که دانشجوی خود، برخی نمودارها را ولو سرانگشتی، تولید نکند، متوجه مفهوم آن‌ها نمی‌شود (تصویر ۱۳).

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 بالاتر از تدریس مرسوم سازه توسط مهندسیین عمران به دانشجوی معماری می‌باشد، در برنامه پیشنهادی (Allen Edward and et al. 2010) مفهوم شعاع ژیراسیون از برنامه آموزشی تیر حذف شده است.

نمودار یک نوع انتزاع‌سازی ریاضی است: یعنی ارتباط کمی پدیده‌های ملموس را به صورت انتزاعی مصور می‌کند.



تصویر ۱۲: استفاده از سیستم‌های یک درجه آزادی معادل حالت‌های ارتعاشی. این مفهوم سازی برای یادگیرنده مبتدی گمراه کننده است. به جای آن مدل چندگویه (هر گوی معادل یک کف) توصیه می شود (Murty and et al 2012).



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

این نمودارها یا تعبیر هندسی مستقیمی از یک مفهوم فیزیکی، مانند مسیر یک حرکت، یا گزارشی از میزان حضور یک عامل کمی 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 برنامه آموزش زلزله برای کودکان^{۳۵}، کودکان لرزه‌نگار خود را با گوی آویخته محتوی جوهر ساخته و با آن نمودار خود را ترسیم می کنند تا نمودار را بفهمند. با چنین تجارب ساده‌ای، یادگیرنده می‌تواند نمودارهایی را که در زندگی حرفه‌ای آتی خود با آن‌ها سروکار دارد، به‌سادگی دریابد.

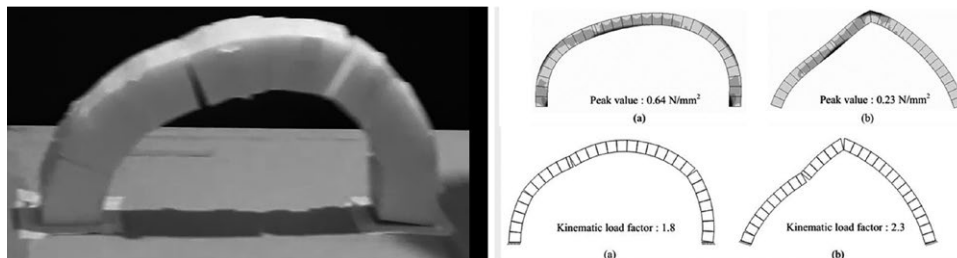
۱۱.۳. اهمیت مدل سازی فیزیکی از یک سازه با موادی با ماهیت‌های متفاوت

مدل سازی 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 درباره ماهیت مادی آن، مانند ماده کشسان، ماده ترد شکن و بلوک‌های صلب ناپیوسته، منجر به روش‌های گوناگون طراحی و تحلیل می‌گردد. پیشنهاد می‌شود یادگیرنده در دوران آموزش خود با این مفروضات درگیر باشد.

۱.۱۱.۳. مصداق

به دلیل غلبه طراحی سازه‌ها بر اساس نظریه کشسان در یک دوره زمانی (قرن ۱۹ و ابتدای قرن ۲۰ میلادی)، فرض رفتار کشسان به قوس‌های بنایی تعمیر ناصحیح یافته است (Huerta 2001) (تصویر ۱۴).

نحوه مواجهه با تحلیل و طراحی سازه‌های بنایی که ماهیتی متفاوت با فولاد و بتن مسلح دارند، از حوزه‌های مرتبط با این درون‌مایه است. درحالی‌که غلبه نگاه کشسان در پژوهش‌های چینی (۱۳۸۳) و سانداکر 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.



تصویر ۱۴: لزوم توجه به ماهیت مواد. قوس بنایی چون جسم منعطف است یا مجموعه‌ای از بلوک‌های صلب؟ درحالی‌که در نظریه کشسان، تحلیل و طراحی، با مفروض گرفتن سازه، در اینجا، قوس بنایی، به صورت 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. برنامه 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 از حوزه‌ها، مانند تعیین مقاومت نهایی یک قاب نامعین، دورترین مرتبه شباهت به حقیقت رفتار سازه را دارند. در برنامه آموزشی معماری، مسائل نخست بدون در نظر گرفتن سختی، در حوزه 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 دوطرفه 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: به دلیل عدم معرفی فرض‌های ممکن دیگر درباره ماهیت ماده، جایگاه خود این شیوه تحلیل، میان سایر روش‌ها برای یادگیرنده مشخص نیست. در برنامه دانشگاه تافتس (Neal and Mitchell 1961)، بر اساس پژوهش‌های هیمن (2008) و بیکر و هیمن (۱۳۹۱)، برای حل این مشکل نظریه مومسان (پلاستیک) و حرکت سازه بعد از تسلیم نقاطی از آن مورد توجه بوده است. و در برنامه 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 ماده سازه‌ای

در ذیل، تقدم «وجودی» سطوح ذکر شده، «بر اساس غنای نگاه به ماده»، تذکر داده شده است. مدرس تا جایی که شرایط و امکان‌های تدریس او اجازه می‌دهد بهتر است از مرحله آخر، کشسان معین (حالت جاری برنامه دانشگاهی) رها شود و به سمت مراحل مقدم‌تر و غنی‌تر حرکت کند، یا اینکه در برنامه‌های مختلف به این مفروضات درباره 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 نظریه 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 ذکر شده، 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) به معنای مطالعه حرکت جسمی فاقد غایت و صورت «با خصلت اصلی «ماند» (اینرسی)، بر اثر «نیروی» اعمالی بر آن است. دینامیک جانمندانگار نظریه تبیین شده توسط مدرسه ارسطویی تا پیش از دوران مدرن است: سازه 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

ارسطویی مسائل همواره دینامیکی بررسی می‌شوند).

این امر در سلسله‌مراتب ترجیحی ذیل انجام پذیرد:

- تقدم دینامیک اجسام تغییر شکل‌پذیر بر دینامیک اجسام تغییر شکل‌ناپذیر.
- تقدم مطالعه حرکت با توجه به علت آن (سینتیک) بر مطالعه حرکت بدون بررسی علت آن (سینماتیک).
- تقدم دینامیک اجسام (مانند حرکت دورانی یک سقف در مقطع) بر دینامیک نقطه مادی (مانند جرم متمرکز در مرکز سقف).

سطح ۳. ورود از دینامیک «بر» استاتیک

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

- ثبت لحظات دینامیکی و تبدیل آن به یک مسئله استاتیکی. منجمد کردن مسئله دینامیکی در یک لحظه برای حل روش مدرسه 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 سازه نامعین کشسان-مومسان.

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

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

سطح ۵. سازه معین استاتیکی

- سازه به‌عنوان مسیر دقیق و منحصر به فرد ریاضی (استاتیک سازه‌های معین) (سطح جاری و فعلی).

۳.۱۳. لزوم عبور از تمرکز بر علت فاعلی (نیرو)

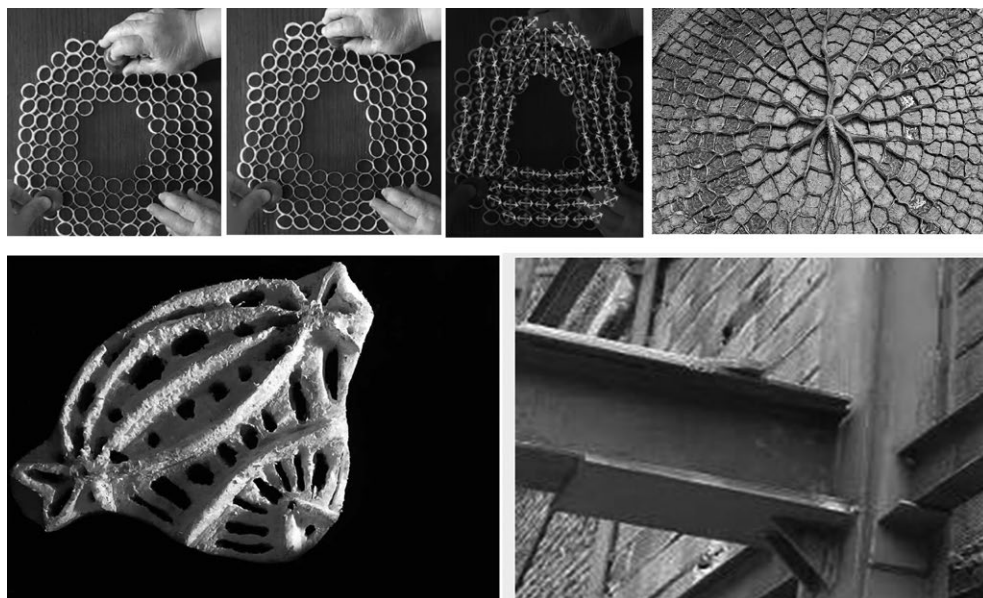
در برنامه‌های آموزشی، مفروضات بنیادین پنهانی «عصر ما» وجود دارند که باید بازنگری شوند. در فیزیک و فلسفه دکارت، بنیاد جهان مدرن، «چیزها» در جهان «اجساد»^{۳۲} هستند که تنها ویژگی آن‌ها «داشتن بعد» است (بیزر ۱۳۹۱). پس، آن‌ها ایستا و دارای (مانند) هستند. و فقط توسط علت فاعلی (نیرو) به تکاپو می‌افتند. فروکاهش علت‌های چهارگانه ارسطویی به علت فاعلی، آن‌هم با انحصار علت فاعلی در «نیرو»، سه امر را می‌پوشاند:

- چیزها غایتی دارند و میدانی که آن‌ها در آن ظهور می‌کنند، بر نحوه بودن آن‌ها تأثیر دارد (علت غایی)؛
- چیزها می‌خواهند به گونه‌ای باشند (علت صوری)؛
- 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 ماده سازه‌ای و توجه به سطوح پیچیده‌تر طبق توصیه بند قبل، باید امکان بروز و تحقق شکل ماده سازه‌ای فراهم شود (علت صوری). پس، علاوه بر بند قبلی، یعنی تلاش برای فهم درست ماهیت ماده سازه‌ای در پیچیدگی‌اش، مجال دادن به «تحقق صورت ماده» نیز مهم است.

۳.۱۳.۱. مصداق

- در طراحی یک عضو سازه‌ای مانند صفحه اتصال، جست‌وجوی دقیق صورت آن مدنظر باشد (تصویر ۱۵).
برای مثال، در پیشینه، با آنکه برنامه 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.



تصویر ۱۵: چپ - بالا: مطالعه تغییر شکل‌های جسم با حلقه‌های کاغذی. چپ - پایین: طراحی یک قطعه بر اساس جریان نیروها. راست - بالا: گیاه نیلوفر و رشد بر اساس غایت درونی. راست - 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.

مسئله 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 معادله 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 می‌شود که مراحل استدلالی با آرامش طی شود.

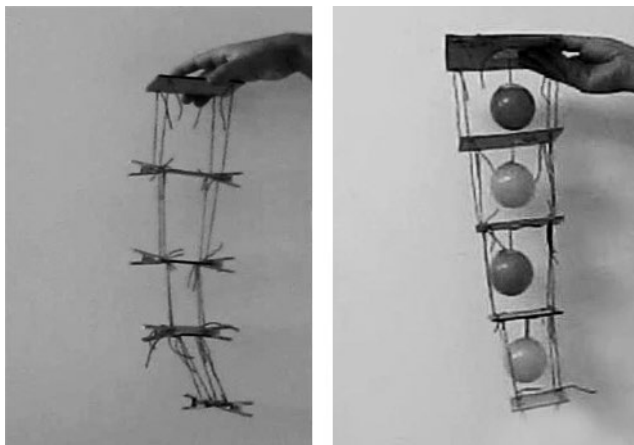
۳.۱۵. احتیاط در طرح مسائل مبتنی بر آیین‌نامه

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

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

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.

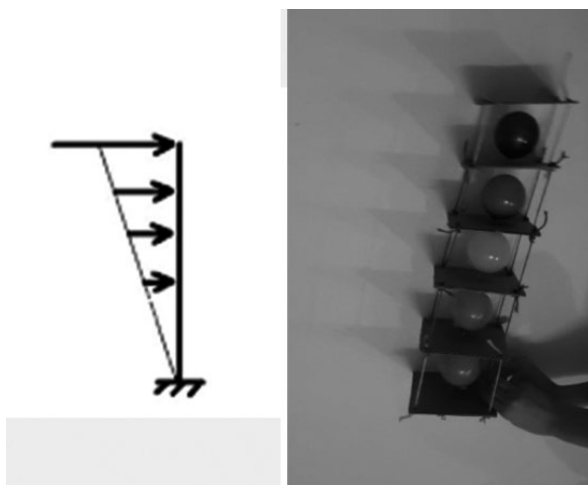
مستوفی‌نژاد (۱۳۹۹) به‌دقت تذکر می‌دهد که یکی از دلایل ممنوعیت استفاده از تیر با عمق زیاد، برای امکان حل مسئله‌ها از طریق فرض^{۴۸} آیین‌نامه است: درحالی‌که تیرهای عمیق جزء سازه‌های مشهور ساختمانی هستند و در منابعی مانند انگل (۱۳۷۷) بحث شده‌اند، محصور شدن در یک آیین‌نامه مشخص، راه استفاده از آن‌ها را مسدود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

۱۶.۳. لزوم توجه به مدل‌سازی ماهیت نیروهای وارده

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

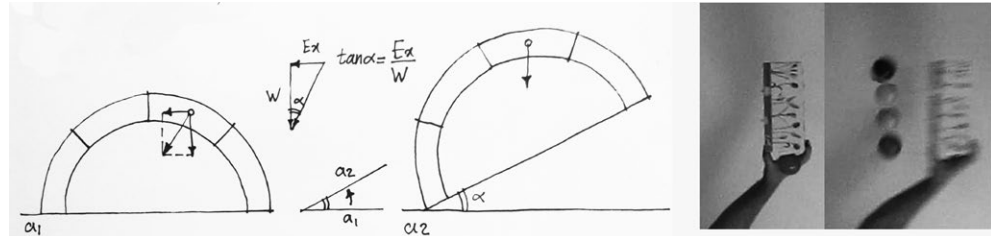
۱۶.۳.۱. مصداق‌ها

– 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)

- معادل بودن زلزله با دوران صفحه زمین (در حالت جسم صلب و در مسئله پایداری) باید تفهیم گردد (تصویر ۱۸).



تصویر ۱۸: دوران صفحه زمین در مسئله 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 صفحه 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 به صورت 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 به سمت محاسبه‌های واقعی برود. استفاده از چنین روش‌هایی در امتداد برنامه حاضر در سطوح بالاتر، برای کمی‌سازی مفید است، اما در برنامه آموزشی مرسوم سازه در معماری و مأخوذ از مهندسی عمران، در ایران از آن غفلت شده است.

۱۷.۳. خلأ در طراحی مدل‌های مبتنی بر سختی و جابه‌جایی به جای مدل‌های نیرومحور

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

صرف نظر 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، به دلیل تغییر مقیاس، موازنه شکل و سختی به هم می‌خورد. در برنامه دانشگاه برکلی (Gary Black and Duff 1994)، از مدل‌سازی رایانه‌ای، با استفاده از نرم‌افزارهای اجزای محدود، برای جبران به هم خوردن رابطه شکل و سختی در تغییر مقیاس ماکت استفاده شده است؛ زیرا آن‌ها باور، به تعبیر خود، «مهمی» دارند که مدل باید مانند مقیاس واقعی رفتار کند و گرنه طراحی در «وهم» حرکت می‌کند (Ibid). اما بعید به نظر می‌رسد برای دانشجوی پیش از تجربه انضمامی و فیزیکی، از طریق رایانه درک درستی ایجاد شود. در نمونه‌ای موردی (Bigoni et al. 2012) استفاده از فنر با سختی‌های متفاوت به جای اعضای خرپا، پیشنهاد شده است که می‌تواند راهگشا باشد. در این حوزه چند روش توصیه می‌شود:

- در چنین مسائلی با ذکر مشکل مقیاس ماکت، می‌توان مطابقت نتیجه تمرین با واقعیت را با دقت مورد پرسش قرار داد؛ زیرا یادگیرنده مبتدی ممکن است مدل مقیاس شده را با مدل واقعی یکسان بینگارد.

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

۱۸.۳. نیاز به حضور پرنگ‌تر مباحث فیزیک بر اساس امکانات آتلیه‌ای

به دلیل خلأ آموزش معماری در حوزه فیزیک و عدم تجربه ملموس یادگیرندگان در دوران پیش‌دانشگاهی، نیاز به حضور پرنگ‌تر مباحث فیزیک بر اساس امکانات آتلیه‌ای احساس می‌شود.

در رشته معماری، درس ریاضی، یا در برخی شرح درس‌های اخیر، ریاضی پیش‌دانشگاهی، پیش‌نیاز درس استاتیک فرض شده است. درس فیزیک (۲) در برنامه آموزش معماری حضور ندارند، در حالی که از مهم‌ترین دروس مقدم بر استاتیک، در آموزش مهندسی، درس فیزیک دانشگاهی هستند. البته اشکال‌هایی در مسیر آموزش فیزیک در این رشته‌ها نیز پدیدار می‌شوند. این کتاب‌ها برای آموزش عمومی مهندسی طراحی شده‌اند و به دلیل «جزء به کل بودن فرایند آموزشی»، مشخص نیست آیا دانشجو توان انتقال دانش به حوزه تخصصی آتی خود را دارد یا خیر؟ برای مثال فیزیک موج، منتزع از یک حوزه مهندسی خاص، درس داده می‌شود و معلوم نیست در آینده، 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 بدنه آموزش معماری، در یک «میدان مشخص طراحی» و به شکل توأمان «تحلیلی ترکیبی» احساس می‌شود. به این نکته، تقدم استفاده از تصاویر ماندگار در حوزه فیزیک، مانند صوت و مشاهده 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 مدل 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 به سمت «همسازی» می‌برد، با توقف در آن‌ها، بدون مدل‌های آزمایشی فیزیکی کوچک مقیاس استاندارد شده، 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 «سازنده‌گرایی آموزشی»، اجرای صوری و بی‌محتوای علمی را در پی نداشته باشد؛ یعنی دانشجو شیوه تاق‌زنی یک استادکار را در یک برنامه 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 برنامه خود تعیین کند که مسئله اصلی هر سازه چیست.

۳.۲۰.۱. مصداق‌ها

- مسئله اصلی یک سازه 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 صفحه دیوارها، مسائلی فرعی و عموماً در درجه بعدی اهمیت هستند).
- مسئله کلیدی طراحی خریابها، نحوه آرایش مطلوب و بهینه اعضای آن است که از طریق مشاهده بصری جریان قابل استخراج است.

توجه به پرسش اصلی هر سازه، در برخی منابع مورد تأکید بوده، اما به دلیل 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 نحوه فروآمدن قوس بر زمین «یک مسئله در تاریخ معماری» است. هورتا (2001) نیز اشاره می‌کند که بیشتر قوانین استادکاران سنتی برای طراحی «پایه» قوس بوده است. این دو نویسنده به موضوعاتی گزیده در آموزش سازه 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 برنامه 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

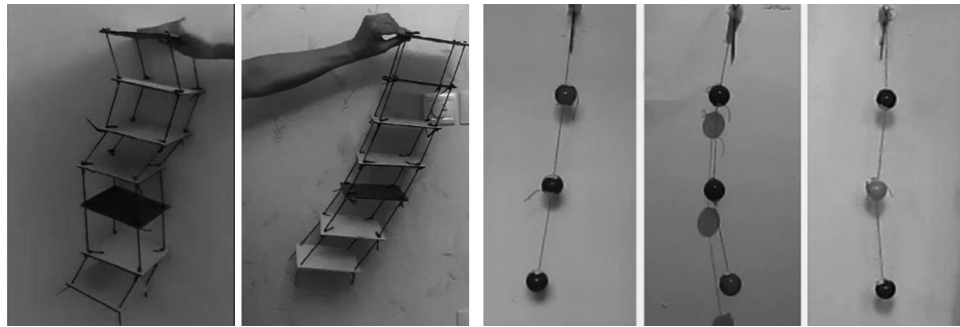
حالت عادی و روزمره خود نیز، از حد کشسان خود عبور کرده و ترک خورده‌اند. از نظر هورتا (2001) چنین مطالعاتی ولو که با منحنی‌های رنگی فریبنده حاصل از نرم‌افزارهای اجزای محدود حمایت شوند، مطلبی درباره پایداری نهایی سازه نمی‌گویند. این امر نشان از تشخیص ندادن «مسئله گزیده و عمیق» در قسمتی از برنامه پژوهشی کشور و به تبع برنامه 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 مطالعه تاریخی هورتا (2001) مسائل کلیدی این حوزه را استخراج کرده است. این نکته تأکیدی بر پیشنهاد برنامه 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

– 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).



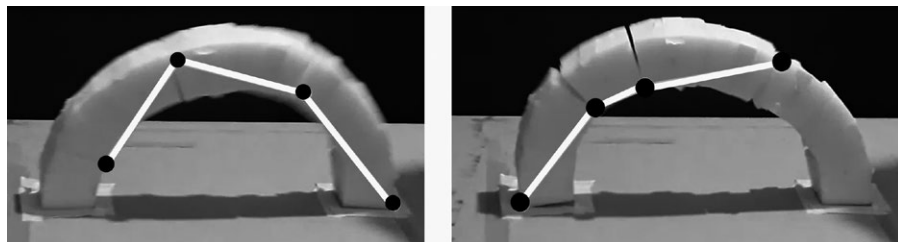
تصویر ۱۹: سلسله‌مراتبی از مدل‌ها برای فهم یک پدیده نیاز است (تصویر چپ: اثر دانشجو سرور آروین)

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.

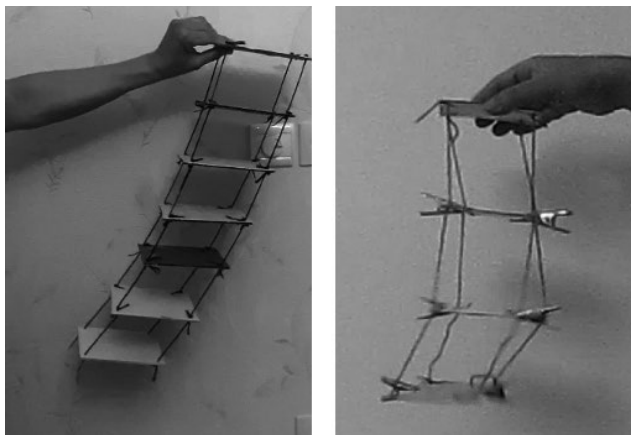
۳.۲۲.۱. مصداق‌ها

– آغاز حرکت با چهار بُعد (با حضور زمان) همان تقدم مدل محرک بر ایستا می‌باشد که در قبل مشروح بیان شد. نمونه 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)

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



تصویر ۲۱: تقدم مشاهده 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 پیش‌پافتاده به نظر برسد. پایازافورتزا (2009) شرح می‌دهد که چگونه دانشجویان دروس سازه نمی‌توانستند در تحلیل یک خرپا، نیروی باد عمود بر صفحه خرپا را درک کنند؛ زیرا مبحث خرپا به صورت دوبعدی بر روی کاغذ به آن‌ها درس داده شده بود! طراحی دقیق سازه با فروکاهش سازه 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؛ به دلیل ضعف دانشجویان در هندسه فضایی، بهتر است به جای مسیرهای پیچیده، آغاز آموزش با سعی و خطا بر روی فهم تعادل سه‌بعدی انجام پذیرد؛ سپس در گام بعد، مناسب است روش‌های پیشروی فهم سازه سه‌بعدی را برای نوآموز تنظیم کرد.

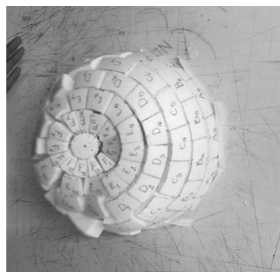
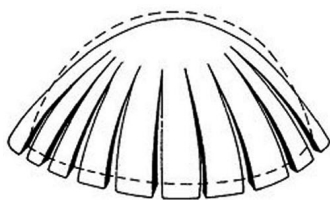
حتی با وجود آغاز از مدل با ابعاد بالاتر، آموزش نحوه این فروکاهش ضروری است.

۲۳.۳. ضرورت آموزش نحوه فروکاستن در صورت کاهش بُعد

در صورت ضرورت کاهش بُعد، آموزش نحوه فروکاستن ضروری است. در برخی مسائل، سازه بدون خطا، به بعد پایین‌تر تحویل نمی‌شود.

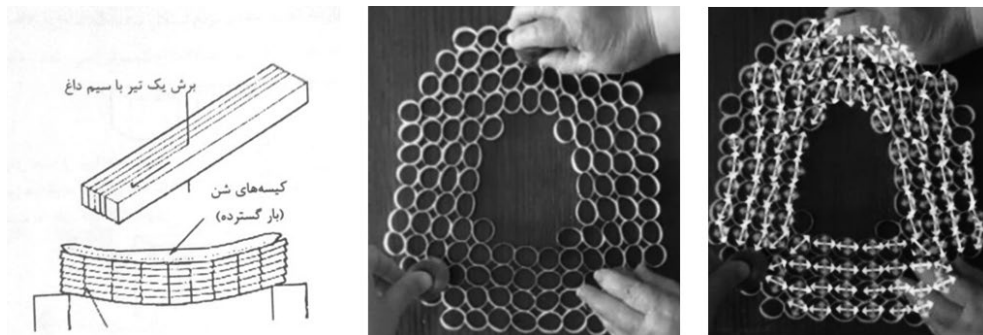
۲۳.۳.۱. مصداق‌ها

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



تصویر ۲۲: گنبد برخلاف برخی تصورات مرسوم، مانند مجموعه‌ای از برش‌های یک پر تقال، 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.

- استفاده از مدل جریان نیرو (با تقسیم‌های دایره‌ای) به جای مدل‌های برش خورده از عضو (نوعی فرو کاهش 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: به جای مدل برش‌خورده (چپ، مور ۱۳۸۶)، از مدل متشکل از حلقه‌های گرد استفاده کنیم.

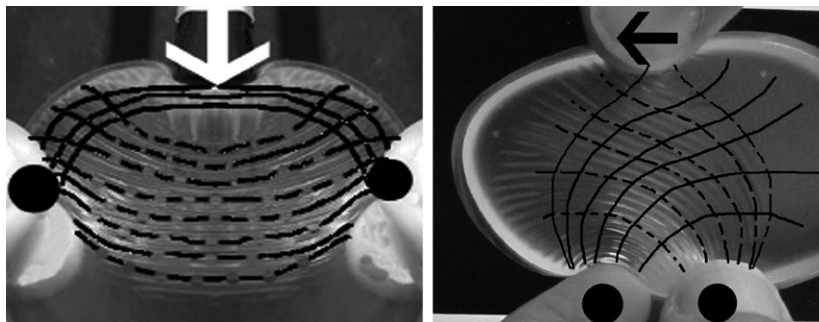
آن و زالوسکی (۲۰۰۰) اشاره می‌کنند که چگونه مدل‌سازی سالوادوری، با برش‌های افقی و عمودی برای نشان دادن حضور برش در تیر، برای آموزش به نوآموزان، سبب تشخیص اشتباه رفتار آن شده است. بلاک (۲۰۰۹) نیز نشان می‌دهد که نحوه فرو کاهش ابعادی سازه‌های طاقی، مسئله جدی در پژوهش تاریخی بوده است. و گاه نحوه فرو کاهش حدود ۳۲۵ درصد خطا ایجاد می‌کند! مستوفی‌نژاد (۱۳۹۹) و هورتا (۲۰۰۱) بیان می‌کنند که چگونه می‌توان با استفاده از بررسی ترک‌ها، مدل سه‌بعدی از رفتار سازه‌های، به ترتیب، بتنی و بنایی را به دوبعدی فرو کاست.

۳.۲۴. 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.

۳.۲۴.۱. مصداق

- 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 نحوه اعمال نیرو، دایره‌ها تکیه‌گاه‌ها، خطوط پیوسته جریان فشار و خطچین‌ها جریان کششی را نشان می‌دهند.

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 لانه سمور یا پرند، وجود دارد که در آن‌ها عناصر کارکرد تفکیک‌شده 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:

- طراحی پیشامفهومی: طرح چون لانه پرند 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 لانه پرند، 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 برنامه آموزشی شده است. برای مثال، گفت‌وگویی از این دست در کتاب آموزشی سانداکر و همکاران (2013) بر روی آثار معماری چون زها حدید دیده می‌شود.^{۵۱})

- 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 تشخیص 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. - در مسیر دیگر، بعد از درگیری پیشامفهومی، یادگیرنده با کمک نظریه سازه‌ای و ریاضی مرسوم، تجربه خود را مفهوم‌سازی کند. تمییز و مفهوم‌یابی عناصر بر اساس نظریه انجام شود؛ برای مثال، یادگیرنده ذکر کند این عضو 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، تشخیص بخشیدن به عناصر انجام پذیرد. در این مسیر، همان برنامه آموزشی مرسوم پیگیری شده است. اما اضافه کردن مرحله پیشامفهومی به جذب نظریه علمی متداول با توجه به ساخت شناختی فردی کمک می‌کند.

- از سوی دیگر، می‌توان کار را با طراحی پیشامفهومی آغاز کرد و بعد از تعیین مفهومی و کارکردی به‌صورت شخصی، به مقایسه طرح با نظریه‌های موجود پرداخت. و بعد از استمرار در این عمل، بازگشت به مرحله پیشامفهومی رخ دهد. در صورت علاقه برای حرکت به سمت طرح‌هایی چون لانه کبوتر، نگارندگان در یک توصیه 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 منعکس‌کننده 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. مسئله فروکاهش پدیده 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 درباره مفروضات فروکاهش، مانند

مفروضات مرتبط با استفاده از جرم متمرکز، و نحوه فروکاهش، مانند چگونگی تبدیل سازه‌های سه‌بعدی بنایی به دو بُعد برای تحلیل و طراحی، از جمله این مشکلات هستند. لزوم دقت به سطح‌بندی مدل‌های فروکاسته، مانند آنچه درباره 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، درباره 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. مسئله 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 پیردازد و جنس تحلیلیش بر رابطه میان پدیده‌ها متمرکز باشد نه رابطه میان پدیده‌ها و محفوظات نظری پیشین غالباً معیوب خود. در گام‌های بعدی، در صورت لزوم، می‌توان وی را در معرض رابطه 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 باز نمود داشتند. مسئله بی‌توجهی به ظرایف مسائل آیین‌نامه‌ای، که ریشه در بنیادها و مفروضات آن‌ها دارد، مسئله 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 رشته عمران، به‌احتی 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 غلبه یک نگاه در یک دوره 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

- نگارنده 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 دغدغه این موضوع را داشته است.
- محدوده پژوهش در حیطه شناختی و بر فرایند آموزش، «آنچه در کلاس روی می‌دهد»، متمرکز است.
- در چرایی این انتخاب دو نکته می‌توان برشمرد. در یک نگاه کلی، پیشینه 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 درباره مفاهیمی است که در پژوهش روی می‌دهد. اما مسئله خاصی نیز برای این انتخاب وجود دارد و آن خصلت حوزه پژوهش حاضر است. پیشینه در حوزه 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 مقدمه کلی برای این امر اکتفاء شده است. در صورت تدوین نیز، نظریه‌ها محلی هستند و حتی در برنامه دو دانشگاه در یک کشور، مانند ام‌ای.تی. و برکلی، تفاوت‌های زیاد و در حد تضاد دیده می‌شوند؛ از این‌رو در بررسی پیشینه تلاش شد درون‌مایه‌های مورد چالش و حساسیت‌برانگیز محل توجه قرار گیرند.

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

۱۰. البته این کار به صورتی 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 حوزه 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 حوزه آموزشی در طراحی و حفاظت سازه‌های روستایی و شهری، حفاظت میراث فرهنگی، و طراحی دیوارهای میان‌قابی سازه‌های قابی کاربرد دارد. این سازه‌ها در ادبیات موضوع با عباراتی چون «میراث ارزشمند»، «سازه‌های دوستدار طبیعت 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 سازه ضعیف هم نمی‌تواند بدان صدمه بزند. در برنامه‌ای.تی. اچ. و ام‌ای.تی. و برکلی، سازه‌ها برای مقابله با نیروی جانبی باید طراحی و تحلیل شوند. توجه ناکافی به این

حوزه، نشانه ضعف برنامه آموزشی ایران است. یکی از دلایل عدم طرح این مسائل در برنامه آموزشی ایران، این است که این برنامه آموزشی بخش ابتدایی آموزش مهندسی عمران را آن هم به صورت ناقص مورد توجه قرار داده است: استاتیک و مقاومت مصالح. در حالی که دو حوزه مقدم بر استاتیک، یعنی آموزش فیزیک و دو حوزه متأخر برنامه آموزشی عمران، مبانی زلزله و دینامیک سازه‌ها، مسائلی مانند توزیع جرم و سختی را مورد توجه قرار می‌دهند: این مسائل نقش اساسی در پیکربندی توسط معمار دارند، و نبود این برنامه‌ها دانشجوی معماری را در خصوص کلیدی‌ترین مسائل پیکربندی بی‌اطلاع نگاه می‌دارد. از سوی دیگر، شواهدی دیگر نیز بر اهمیت این امر وجود دارد؛ برای مثال، نظریه سیستم‌ها با مرتبه‌بندی سیستم‌ها به استاتیک، دینامیک، سایبرنتیک (و تا سطوح بالاتر) اشاره دارد که برای بحث درباره یک سیستم باید اندر کنش و ارتباط آن را با مراتب بالاتر سیستم مدنظر داشت و از مرتبه بالاتر به مرتبه 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 تکیه دو مدرسه یونانی ارسطو و ارشمیدس بر دینامیک، و چالش‌های فلسفه پویای ارسطو، هگل و شلینگ با «ماندگاری» فیزیک دکارتی که توسط بیزر (۱۳۹۱) مورد بررسی قرار گرفته است.

۲۷. حوزه طراحی با جریان نیروها، همان حوزه پایه طراحی با تنش‌های اصلی است که پایه درک رفتار، تحلیل و طراحی تمامی اعضا و سیستم‌های سازه‌ای چون تیرها، خرپاهای، شالوده‌ها، پوسته‌ها و پیکربندی 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 برنامه آموزشی ایران، تکیه بر استاتیک و مقاومت مصالح به صورت کلیشه‌ای و عدم نفوذ به جریان تنش‌ها در ماده است. هرچند که کتاب‌های مرجعی نام‌برده، در حوزه 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 طبقه بالا مشاهده شده است.

۳۱. درباره 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 به صورت «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/زلزله-مبانی-مهندسی>

37. Rankine

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

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. درحالی که نظریه کشسان وضعیت دقیق ریاضی نیروهای چهارپایه دختر شیردوش را تعیین می‌کند، دختر شیردوش برای دوشیدن شیر، چهارپایه 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، به اجبار 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 نظریه 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 به صورت 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 زمینه 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 جعبه 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 حوزه معماری و سازه، توان بازآفرینی تجربه شهودی استادکاران بومی را ندارد و خود را موظف می‌داند مسیرهای مهندسی نوین را طی کند.

۵۲. یادگیرنده متعلق به جهان یک سازنده بومی نیست.

منابع

- ازهری، مجتبی، و سید رسول میرقادر. ۱۳۹۲. طراحی سازه‌های فولادی. تهران: ارکان دانش.
- انگل، هینو. ۱۳۷۷. سیستم‌های سازه. ترجمه علی گل صورت پهلویانی. تهران: کارنگ.
- بیزر، فردریک. ۱۳۹۱. هگل. ترجمه سید مسعود حسینی. تهران: ققنوس.
- بیکر، ج. و ژ. هیمن. ۱۳۹۱. طرح و تحلیل پلاستیک قاب‌ها. ترجمه علی کاوه. چ ۳. تهران: دانشگاه علم و صنعت.
- بیلر، رابرت. ۱۳۸۱. کاربرد روان‌شناسی در آموزش. ترجمه پروین کدیور. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
- بیلر، والتر. ۱۳۹۳. بررسی روشنگرانه اندیشه‌های مارتین هایدگر. ترجمه بیژن عبدالکریمی، تهران: سروش.
- توماس، جورج، و راس فینی. ۱۳۷۰. حسابان توماس: حساب دیفرانسیل و انتگرال. ترجمه مهدی بهزاد، سیامک کاظمی و علی کافی. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
- تیموری، قاسم. ۱۳۸۸. ساخت دست‌سازه‌های ریاضی با کاغذ و تا. تهران: شباهنگ.
- تیموشنکو، س. پ.، و د. ه. یانگ. ۱۳۷۳. تئوری ساختمان‌ها. ترجمه تیمور توکلی هاشجین و جواد مقصود. تهران: دانشگاه تهران.
- چوپرا، انیل، ۱۳۸۸، دینامیک سازه‌ها و تعیین نیروهای زلزله. ترجمه شاپور طاحونی. تهران: عام و ادب.

- چینی، جزیه. ۱۳۸۳. پایدار کردن سازه‌های آجری: فن‌های مداخله. ترجمه سعید ایرانفر. تهران: سازمان عمران و بهسازی شهری.
- حجت، عیسی. ۱۳۸۳. آموزش خلاق-تجربه ۱۳۸۱. هنرهای زیبا. ۱۸: ۲۵-۳۶.
- سالوادوری، ماریو. ۱۳۷۵. از غار تا آسمان خراش. ترجمه کیومرث زنده‌دل. تهران: دونور.
- سلیمانی، سارا. ۱۳۹۲. تأثیر به‌کارگیری چندرسانه‌های تعاملی بر بهبود کیفیت آموزش سازه در رشته معماری. انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران ۵: ۷۵-۸۳.
- ۱۲ (۲): مجله تاریخ علم - سلیمانی تبار، محمد. ۱۳۹۳. نخستین آثار نگاشته‌شده در فیزیک جدید در دوران قاجار تا سال ۱۳۰۰ق. ۲۷۳-۲۹۶.
- سیف، علی اکبر. ۱۳۹۰. اندازه‌گیری، سنجش و ارزش‌یابی آموزشی. تهران: نشر دوران.
- ۱۴۰۰. روان‌شناسی پرورشی نوین: روان‌شناسی آموزش و یادگیری. تهران: نشر دوران.
- زیمانسی، یانگ، و فریدمن. ۱۳۸۹. فیزیک دانشگاهی. ترجمه اعظم پورقاضی و دیگران، تهران: علوم نوین.
- 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.
- ظهوریان پردل، آرش. ۱۳۹۳. نیروی گریز از مرکز واقعی یا تخیلی. مجله رشد آموزش فیزیکی ۲۹ (۴): ۲۳-۳۴.
- عالمی و همکاران. ۱۳۹۵. سازه، فرم و معماری. دوفصلنامه مطالعات معماری ایران. ۹: ۱۲۳-۱۴۰.
- فردیناند و همکاران. ۱۳۸۹. مکانیک برداری برای مهندسان، ترجمه ابراهیم واحدیان. تهران: نشر علوم دانشگاهی.
- فلیک، اووه. ۱۳۹۹. درآمدی بر روش تحقیق کیفی. ترجمه هادی جلیلی، تهران: نشر نی.
- مستوفی‌نژاد، داوود. ۱۳۹۹. سازه‌های بتن آرمه. تهران: ارکان دانش.
- ناشناس. ۱۲۶۰. جراثقیل. ترجمه مسعود بن عبدالرحیم الانصاری. نسخه ۳۳۶۲ کتابخانه و موزه ملی.
- مور، فولر. ۱۳۸۶. درک رفتار سازه‌ها. ترجمه محمود گلابچی. تهران: دانشگاه تهران.
- وی. برگ، گلن. ۱۳۸۰. مبانی دینامیک سازه‌ها. ترجمه 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.

- 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 ConceptTest 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/زلزله-مبانی-مهندسی-140/>
- <https://maktabkhooneh.org/course/228-دینامیک-228/>
- <https://www.sciencedirect.com/topics/psychology/systems-theory>
- <https://tamasha.com/movie>

■ 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

JIAS

Journal of Iranian Architecture Studies

19

University of Kashan

School of Architecture and Art

Vol. 19, Spring and Summer 2021

ISSN: 2252-0635

E-ISSN: 2676-5020

-
- **The Origin of the Architectural Model of the Blue Mosque in Tabriz**
Mohsen Dehghani Tafti, Zahra al-Sadat Modarres-zadeh, Gholam-Hossein Me'marian
 - **Developing a Conceptual Framework for Adaptive Reuse in Conservation of Heritage Buildings**
Pirooz Hanachi, Yalda Shah-teimouri
 - **A Review of the Historical Background of Yazd's Vaqt-o-Sa'at Square: Safavid Era and Earlier**
'Ali Shahabi-nejad
 - **Traces of Karim Taher-zadeh Behzad's Architecture in the History and Building of an Extant High School in Qazvin**
Mehrzaad Parhizkari, Maryam Shoorideh
 - **Architectural Structure and Historical Timeline of Masjid-i Jami at Urmia**
Mozaffar 'Abbas-zadeh, Leila Danesh
 - **Spatial Configuration and Physical Pattern of Qajar Houses in Natanz**
Mohsen Javeri, Hasan Karimian, Seyyede Sara Mohammadi
 - **Structure in Architecture for Beginners: Challenges and Solutions**
Farzin Izad-panah, Eisa Hojjat
 - **The Evolution of the Faryumad Mosque emphasizing Ilkhanid-era Interventions**
Kaveh Mansoori, Faramarz Parsi, Farshid Rahimi Kalahrudi
 - **The Interrelationship of Lifestyle Patterns and Spatial Organization of Houses**
Case Study: Rasht Residential Buildings (from the Qajar Period to the Present)
Mohammad Mortaz Hejri, Seyyed 'Abbas Yazdanfar, Seyyed Bagher Hosseini
 - **Indoor Surface Temperature Variations of South Walls with khavun-chini Facades in the Hot and Semi-Arid-Temperate Climate (Summer and Winter)**
Ali Dahar, Mansoureh Tahbaz, Mohsen Taban
 - **Meta-Study of Selected Articles on Cultural Landscape**
Sara Mirzad Jahromi, Mohammad Reza Pour-Jafar, Khalil Haji-pour
 - **Traditional Market Structure in Tabriz Grand Bazaar and its Effects on Mental Durability of Space and Accessibility**
Sahand Jalali, Zahra Hosseini Dastjerdi, Mansour Yeganeh, Mohammad-Reza Bemanian