

مروری بر روش‌های آموزش سازه برای معماران

رهیافتی جهت انسجام آموزه‌های سازه با طراحی معماری

فوزیه زینلی نصرآبادی^۱

نریمان فرحزاد^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۳

چکیده

دغدغه چگونگی آموزش سازه در دانشکده‌های معماری با نارضایتی‌های بروز یافته در سال ۱۹۷۶ در دانشگاه کالیفرنیا - برکلی، پررنگ‌تر شده است. دلایل این نارضایتی‌ها در چند زمینه اصلی قابل خلاصه‌سازی است: جدا بودن حوزه دانش «سازه» از دیگر حوزه‌های دانشی در رشته معماری و عدم انسجام مفاهیم سازه‌ای با روند طراحی معماری، روش‌های آموزش سنتی و مفاهیم منشعب‌شده از برنامه آموزشی در مدارس مهندسی عمران که برای پاسخ به نیازهای معماران توسعه پیدا نکرده است، وجود مفاهیم سطحی و ضعیف در برنامه‌های آموزشی سازه که برای رفع نیازهای فنی معماری رضایت‌بخش نیستند. پژوهشگران بسیاری در پی بررسی دلایل بروز این مسئله و پاسخ به آن برآمده‌اند. این مقاله، مروری بر پژوهش‌های صورت‌گرفته در این خصوص داشته و همچنین در خلال آن، برنامه آموزشی سازه در چند دانشگاه منتخب از جمله دانشگاه برکلی که آغازکننده این حرکت بوده است، را بررسی کرده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که آموزش مبانی و کلیات سازه به معماران، قدم اول در آموزش سازه است. درک رفتار سازه‌ها و استفاده از سازه‌ها به عنوان یک نیروی خلاق در طراحی، اهداف آموزشی متعالی‌تری هستند که نیاز به فعالیت‌های آموزشی در محیط دانشگاهی دارند. پژوهش‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد که کار با مدل‌های فیزیکی سازه، بهره‌گیری از نرم‌افزارهای سازه‌ای و همچنین انجام تمرین‌های طراحی سازه در ذیل فرآیند طراحی معماری، از جمله فعالیت‌های موثر در این خصوص هستند. استفاده از مدل‌های فیزیکی، بر درک اولیه از رفتار سازه‌ها موثر است. شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای از مدل‌های سازه‌ای، تحلیل‌های پیچیده‌تری از رفتار سازه‌ها را به صورت بصری نمایش می‌دهد و انجام تمرینات طراحی سازه در ذیل طراحی معماری، بر آموزش کاربرد دانش سازه در طراحی معماری تأکید میکند. این پژوهش با گردآوری کتابخانه‌ای-اسنادی داده‌ها و همچنین روش پژوهش تحلیل-محتوا صورت گرفته است.

واژگان کلیدی: سازه، آموزش معماری، طراحی معماری، کاربرد، سرفصل درسی

۱. دانشجوی دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه یزد، یزد، ایران zeinali.fouzieh@stu.yazd.ac.ir

۲. استادیار دانشکده هنر و معماری، دانشگاه یزد، یزد، ایران (نویسنده مسئول). Email: n_farhza@yazd.ac.ir

بلک و داف^۱ در دانشگاه برکلی، در سال ۱۹۹۴ اهداف سه‌گانه‌ای را در سه سطح از آموزش سازه برای دانشجویان معماری عنوان کردند. سطح اول، آموزش مفاهیم و دانش سازه متناسب با ویژگی‌های دانشجویان معماری؛ سطح دوم، آموزش کاربردی مفاهیم سازه‌ای و کنترل وجوه و رفتار سازه‌ای ساختمان و یا مشخص کردن ابعاد اعضای سازه‌ای؛ سطح سوم که هدف مهم‌تری را پوشش می‌دهد، استفاده از سازه‌ها به‌عنوان یک نیروی خلاقه در طراحی و در تمامی جنبه‌های طرح است.^۲ برنامه فعلی آموزش سازه در دانشکده‌های معماری، در قالب ارائه واحدهای ریاضی/فیزیک، استاتیک، مقاومت مصالح، آنالیز و طراحی، ممکن است روندی منطقی از ارائه اطلاعات در این حوزه به‌نظر آید. اما این آموزش معمولاً از فرآیند نهایی طراحی جدا شده است. پیامد آن، نداشتن درک کافی از مفاهیم اصلی سازه، کاربردی نشدن آن‌ها و حتی فهم ناقص از محدوده‌های مهندسی سازه در طراحی معماری، نبود انسجام میان واحدهای دروس سازه‌ای با دروس طراحی در برنامه درسی است. هدف از آموزش سازه برای معماران فقط کنترل وجوه و رفتار سازه ساختمان و یا مشخص کردن ابعاد اعضای سازه‌ای نیست، بلکه هدف مهم‌تر استفاده از سازه‌ها به‌عنوان یک نیروی خلاقه در تمامی جنبه‌های طرح است.^۳

وثیق از دانشگاه بافالو نیویورک عنوان می‌دارد که: «درک سازه، نقطه حیاتی برای آموزش معماری محسوب می‌شود ولی محتوا (نظریه آموزشی) و نظام‌های ارائه (روش آموزشی) که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرد برای تعداد کثیری از دانشجویان معماری نامناسب است. دانشکده‌های معماری و دانشجویان به همراه روش مهندسی سنتی به‌سوی دستورالعمل ساختارهایی که روزه‌روز عدم اثربخشی آن‌ها در کلاس درسی به اثبات رسیده است، کار میکنند.^۴ نتایج آموزش معماری تا حدود زیادی در دهه گذشته، مورد آزمایش قرار گرفته است و اکثر افراد موافق‌اند که دانشگاه‌ها، افرادی را فارغ‌التحصیل می‌نمایند که برای حرفه معماری مناسب نیستند. تحلیلگران و نویسندگان بی‌شماری این مشکل را ضعف آموزش ملی عنوان کرده‌اند و تهدیدی برای حرفه معماری دانسته‌اند. معمار به درک سازه ساختمان و فن‌آوری نیاز دارد.^۵ در ایران نیز با وجود آنکه تعداد ساعات پیش‌بینی شده برای شاخص‌های نظارت و اجرا و مباحث فنی و ساختمانی نسبت به شاخص تاریخ و سبک‌های معماری برابر و حتی بیشتر است، کاربردی نبودن یا عدم آموزش صحیح این حوزه‌ها مشهود است. این در حالی است که دو مورد ذکر شده، از منظر پرسش‌شوندگان مهم‌ترین موارد در حیطه دانش [معماری] هستند.^۶ همین‌طور در پژوهشی انجام شده توسط نگارندگان، میزان کاربست دانش‌های آموخته شده دروس فن ساختمان در طراحی معماری، در سرفصلهای آموزشی مقطع کارشناسی معماری دانشگاه‌های برتر جهان مورد مطالعه قرار داده شده است. این پژوهش نشان می‌دهد که انسجام میان مباحث فنی و سازه و طرح معماری، از موضوعات مهم در حوزه آموزش دانشگاهی معماری است که در حرفه‌ای شدن دانشجویان مؤثر است و ضعف در این حوزه باعث ناکارآمدی دانش‌آموختگان معماری می‌گردد. همین‌طور، توجه سرفصلهای آموزشی دانشگاهی در دانشگاه‌های برتر، بر افزایش دروس انسجام‌دهنده در سرفصلهای آموزشی می‌باشد.^۷

پژوهش‌های متعددی در خصوص شناخت سازه و جایگاه آن در رشته معماری صورت گرفته است. این پژوهش‌ها را می‌توان مبتنی بر راهکارهای پیشنهاد شده در خصوص برقراری انسجام میان آموزه‌های سازه در فرآیند طراحی معماری، دسته‌بندی کرد. این پژوهش‌ها با عناوین آموزش سازه در فضای طراحی محور (واحدهای کاملاً کارگاهی)، آموزش دانش سازه همراه با تمرینات طراحی (واحدهای نظری/کارگاهی)، آموزش سازه در تعامل با تجارب عملی و مدل‌های فیزیکی (واحدهای نظری/عملی)، معرفی شده‌اند.

1 Black & Duff, 1994

2 Black & Duff, 1994, 39-43

4 Vassigh, 2005

۳ همان

۵ همان، ۱۳۵

۶ صدقاتی و حجت، ۱۳۹۸، ص ۱۰۹-۱۱۱

۷ زینلی و فرح‌زا، ۱۳۹۹، ۱۳

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی است. براساس ماهیت، توصیفی-تحلیلی و به لحاظ جمع‌آوری داده‌ها تحقیق کیفی می‌باشد که از روش کیفی و داده‌های کتابخانه‌ای بهره برده است. در اینجا، با ابتناء به مبانی نظری مربوطه و مطالعه مقالات منتشرشده توسط صاحب‌نظران، اساتید و دانشجویان دانشگاه‌های منتخب در خصوص روش‌های مختلف آموزش سازه برای دانشجویان معماری، در جهت برقراری انسجام میان آموزه‌های سازه و کارگاه‌های طراحی، به تدقیق و تحلیل داده‌ها پرداخته شده است. تجزیه و تحلیل داده‌های کیفی به صورت توصیفی بوده و در دسته‌بندی سه‌گانه‌ای ارائه شده است.

پیشینه

مفهوم انسجام^۱ در آموزش دانشگاهی معماری

در اینجا، واژه انسجام معادل با «Integrity» در نظر گرفته شده است. انسجام در لغت مترادف با همبستگی، درهم‌تنیدگی و یکپارچگی آورده شده است. منظور از آن کیفیتی در کل است که حاصل ارتباط و همبستگی منعطف میان عناصر تشکیل دهنده آن است به گونه‌ای که ترکیبات حاصل از این همبستگی می‌تواند مانند آب روان شود و نیز از هم گسیخته نشود.^۲ نظریه‌های مرتبط با انسجام در حوزه زبان‌شناسی نیز به دنبال عناصری است که در متن میان دیگر کلمات یکپارچگی ایجاد کند و باعث معناداری متن شود. درحوزه دانشگاهی معماری مفهوم انسجام در مقابل آنچه تجزیه در آموزش معماری می‌نامند، تعریف شده است و منظور از آن کاربست (پیاپی‌سازی)^۳ دانش آموخته‌شده از طریق واحدهای نظری، در درس‌های کارگاهی طراحی معماری است. آموزش دانشگاهی معماری، در سرفصل‌های دروس که ترکیبی از دروس نظری، عملی و کارگاهی و گاهی کارآموزی هستند، متجلی می‌گردد. دروس نظری، خود ترکیبی از مباحث مختلف رشته‌های مهندسی، علوم انسانی و هنر هستند. دروس عملی به ارتقای مهارت‌های عملی و دستورزی‌ها اختصاص دارند. دروس کارگاهی نیز نوعی فضا‌سازی مجازی از حرفه عملی معماری است. دروس کارگاهی فرصتی را فراهم می‌کنند تا دانش‌ها و بینش‌های کسب‌شده در دیگر واحدها، در غالب یک طرح معماری به انسجام برسند. مفهوم انسجام در آموزش معماری به دنبال پاسخ به این مسئله اساسی است که این آموزه‌ها چگونه به تصمیم و عمل در حرفه معماری منجر می‌شوند. انسجام به معنای افزایش انتقال دانش به دست‌آمده در واحدهای تدریس شده، به موقعیت طراحی است، چه پروژه درسی و یا موقعیت کاری واقعی باشد.^۴ انسجام در آموزش (معماری) با اصطلاح انتقال یادگیری توصیف می‌شود که به معنای حفظ و در دسترس بودن دانش کسب‌شده در هنگام طراحی کردن است.^۵ معمولاً هدف از آموزش در آموزش‌های رسمی، انتقال یادگیری است؛ آنچه باعث اهمیت انتقال یادگیری می‌شود، تأثیر آن در حل مسئله است.^۶ انتقال یادگیری به معنای حفظ و در دسترس بودن دانش کسب‌شده در هنگام حل مسئله است.^۷ برقراری انسجام میان دانش سازه

۱. معادل انگلیسی انسجام Integrity، در فرهنگ لغت کمبریج، کیفیتی تعریف شده است که باعث تمامیت، کلیت و وحدت در یک کل می‌گردد. Integral جزئی ضروری، اساسی و بنیادی و جدایی ناپذیر از یک کل است. به گونه‌ای که بدون آن کلیت اثرگذاری خود را از دست بدهد. فرآیند پیدا کردن انتگرالها Integration گفته می‌شود. که در اینجا آن را «برقراری انسجام» می‌نامیم. Integration کنارهم قرار دادن دو یا چند جزء در کنار هم است به گونه‌ای که با یکدیگر موثرتر شوند (استخراج شده از فرهنگ لغت کمبریج). تعبیر ریاضیاتی از انتگرال (Integral) و انتگرال گیری (Integration) هم به درک مفهوم انسجام کمک می‌کند. در ریاضیات، فرآیند انتگرال گیری در مقابل مشتق گیری مطرح می‌شود. انتگرال گیری یا «برقراری انسجام»، راهی برای پیوستن تکه‌ها به یکدیگر برای پیدا کردن کل (تابع اولیه) است.

۲. دهخدا و فرهنگ معین، ذیل انسجام

۳ Implementation

4 Nadimi996,203,

5 Anderson and Krathwohl, 2001, 63-70

7 Anderson and Krathwohl, 2001, 63-70

و فرآیند طراحی معماری، معادل با کاربریست (پیاده‌سازی) دانش سازه در طراحی معماری بوده و نیازمند فهمیدن محتوای آموزشی ارائه‌شده از سازه است.^۱

تجربیات

پژوهش‌های متعددی در حوزه آموزش سازه برای دانشجویان معماری صورت گرفته است. نقطه مشترک این پژوهش‌ها رسیدن به هدف انسجام میان آموزه‌های سازه و فرآیند طراحی معماری بوده است. براساس راهکارهای پیشنهادشده، این پژوهش‌ها در سه دسته‌بندی، مرتب شده‌اند که در این بخش به آنها پرداخته می‌شود.

آموزش دانش سازه در فضای طراحی محور

پژوهش‌های این دسته برگرفته از مدلی از آموزش معماری در جهت انسجام میان دروس آموخته‌شده فنی و کارگاه‌های طراحی معماری است که توسط کانینگهام (۱۹۸۰) و تیمورز (۱۹۷۹)^۱، پیشنهاد شد. این مدل آموزشی، متمرکز بر ادغام کلاس‌های نظری و آتلیه‌های طراحی و توسعه کارگاه‌های طراحی معماری است. در این مدل، هیچگونه واحد نظری فنی وجود ندارد و آموزش محتوای فنی (در صورت لزوم)، در کارگاه‌های طراحی صورت می‌گیرد.

کارگاه دوم

ادوارد آلن^۲ (۱۹۹۷) در تجربیات آموزشی خود از این مدل آموزشی در جهت انسجام میان دانش فن ساختمان به‌خصوص دانش سازه و کارگاه معماری بهره گرفته است و آن را تحت عنوان «کارگاه دوم»^۳ توصیف می‌کند. در این مدل آموزشی دانش فن ساختمان و به‌خصوص کلیات و مبانی سازه به‌طور کامل در کارگاه‌های طراحی معماری آموزش داده می‌شود. هر دانشجو در ترم فقط دو کارگاه طراحی دارد و هیچ‌گونه واحد نظری دیگری به‌عنوان واحدهای پشتیبان ندارد. در کارگاه دوم، مسئله طراحی، موتور قدرتمند و چارچوبی برای فهم و ساختاربندهی مفاهیم فنی است. طراحی فضا با تأکید بر طراحی سیستم‌های فنی ساختمان به‌عنوان عامل اصلی در هویت‌بخشی و فرم‌دهی به طرح معماری است. اساتید این کارگاه‌ها، کسانی هستند که نگرش‌های فنی بیشتری در دانشکده دارند. در محیط این کارگاه طراحی که مبتنی بر حل مسئله است، آموزه‌های فنی بیشتر جذب و فهم می‌گردد. دانشجویانی که در این مدل آموزش می‌بینند بهتر از کسانی که دوره سخنرانی صرف را گذرانده‌اند، از سخنرانی‌ها بهره می‌برند.^۴

تجربه‌ای در دانشگاه علم و صنعت، ایران

صلاح‌الدین مولانایی (۱۳۹۲)، در پژوهش دکتری خود باهدف کاربردی کردن دانش سازه در کارگاه طرح معماری، به طرح درسی پرداخته است که در آن آموزش سازه در کلاس‌های طرح معماری تدریس می‌شود. او یک برنامه آموزشی چندرسانه‌ای^۵ نیز تهیه کرده است که محتوای تدریس سازه را شکل می‌دهد. چندرسانه‌ای که جهت

۱ زینلی، ۱۴۰۱

۲ Edward Allen، از اساتید برجسته در زمینه آموزش دروس فنی در رشته معماری و مدرس دانشگاه‌های ییل و ماساچوست بوده است. وی حاصل تجربیات خود طی سال‌ها برگزاری کارگاه‌های طراحی معماری با محوریت به‌کارگیری دانش فنی را در مقاله ای تحت عنوان «کارگاه طراحی دوم» منتشر کرده است.

3 Second Studio

4 Allen, 1987, 92-95

۵ البته بهره‌گیری از قابلیت‌های چند رسانه‌ای در آموزش سازه‌ها، در پژوهش‌های متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. این روش در عمل ثابت کرده است که نسبت به سخنرانی صرف، تاثیر به‌سزایی در به‌یادسپاری مفاهیم اولیه سازه دارد. سارا سلیمانی (1393)، در پژوهشی تاثیر اصلاح روش آموزش سنتی سازه از سخنرانی به آموزش چندرسانه‌ای را مورد بررسی قرار داده است. وی مبحث خرپا را با استفاده از محتوای چندرسانه‌ای و روش تدریس حل مساله، آموزش داده و سپس با پرسشنامه‌ای در طیف لیکرت، این روش آموزشی را ارزیابی نموده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در آموزش‌های اولیه مفاهیم سازه، بهره‌گیری از چندرسانه‌ای‌ها در به‌یادسپاری مفاهیم موثر خواهد بود (سلیمانی، ۱۳۹۳).

تکمیل این روش مورد استفاده واقع شد، از چندین بخش تشکیل شده است: بخش آموزش مفاهیم اصلی سازه‌ای؛ بخش آثار معماران بزرگ بین‌المللی؛ بخش تحلیل سازه‌ای آثار برجسته جهانی و بخش معماری ایرانی. این روش به نام ARCH-ST نام‌گذاری شده است. از معایب این مدل آموزشی، صرف زمان و هزینه بسیار زیاد و بازدهی پایین آموزشی بیان شده است. چینی^۱ در دانشگاه ایالتی بال در هند، این مدل آموزشی را دارای بازده کمتری نسبت به دسته دوم می‌داند. وی در مورد آموزش سازه در دانشکده‌های معماری عنوان می‌کند که روش آموزش سازه‌ها، مبتنی بر تمرین‌ها و پروژه‌های طراحی، مؤثرتر از تدریس واحدهای مرتبط با فن آوری در کارگاه‌های طراحی است. بهره‌گیری از واحدهای طراحی در دروس فنی باعث تعمیق و جدی کردن آموزه‌ها خواهد شد.^۲

آموزش دانش سازه همراه با تمرینات طراحی (رویکرد طراحی در آموزش دروس سازه)

در این مدل آموزشی، تدریس واحدهای نظری مرتبط با ایستایی و سازه در کلاس‌های ترکیبی نظری/ عملی انجام می‌شود و مفاهیم طراحی سازه نیز به‌عنوان مباحث تکمیلی در تئوری‌های پایه مطرح می‌گردد. در این مدل، تدریس مفاهیم حول محور یک پروژه واقعی صورت می‌گیرد. دانشجویان با نرم‌افزارهای محاسباتی سازه آشنا می‌شوند و برای یک پروژه، طراحی سازه انجام می‌دهند و ابعاد عناصر آن را محاسبه می‌کنند. در این روش، استفاده از نرم‌افزارهای مهندسی المان محدود و یا ایستایی ترسیمی، نرم‌افزارهای محاسباتی و یا فرمیابی پیشنهاد شده است. این نرم‌افزارها به شناخت، و درک رفتار سازه‌های نامعین کمک می‌کنند.

دانشگاه ایالتی بال^۳

یکی از تجربیات مطرح شده در این دسته، آموزش سازه‌ها در رشته معماری در دانشگاه ایالتی بال هند است. چینی^۲ از دانشگاه بال هند مقاله‌ای را در خصوص رویکرد آموزش سازه‌ها در دانشکده معماری این دانشگاه منتشر کرده است. خلاصه‌ای از این مقاله در این بخش مرور شده است.^۴

چینی، اظهار داشته است که شروع آموزش فرآیند برقراری انسجام میان دانش سازه و طراحی معماری، باید ابتدا در کلاس‌های سازه و طراحی سازه اتفاق بیافتد و سپس به کارگاه‌های طرح معماری منتقل شود. برای برقراری فرآیند طرح معماری در انسجام با دانش سازه دو نکته بااهمیت است، اول، آوردن مفاهیم سازه‌ای به کارگاه طراحی معماری، و معرفی طراحی سازه به‌عنوان بخش جدایی‌ناپذیر از طراحی معماری، و دیگری که مهم‌تر نیز هست، تدریس مفاهیم سازه‌ای حول یک پروژه طراحی ساختمانی تا حد ممکن واقعی است. وی اشاره می‌کند که در دانشگاه ایالتی بال، از سال ۲۰۰۱، واحدهای مربوط به سازه، با رویکرد طراحی سازه برگزار می‌شود. دوره آموزشی چهارساله سازه در این دانشکده شامل آموزش سازه‌های فولادی، بتنی، مصالح بنایی و چوبی است. در این پروژه‌ها، دانشجویان کار خود را با طراحی سیستم سازه در یک بنا آغاز می‌کنند؛ سپس، عناصر اولیه سیستم را تحلیل کرده و ابعاد اعضا و اتصالات محاسبه می‌گردد. بیش‌تر این پروژه‌ها یک طرح کوچک با سازه نمایان هستند. به این ترتیب طراحی اعضا و اتصالات به یکی از مسائل طراحی معماری تبدیل می‌شود. در رویکردهای آموزشی جدید در این دانشگاه، به سیستم‌های سازه‌ای نامعین توجه بیشتری شده است، زیرا سازه‌های نامعین امکان نوآوری‌های برجسته‌تری را به وجود می‌آورند. نرم‌افزارهای مهندسی، ابزاری برای شناخت بهتر رفتار سازه و طراحی سازه‌های نامعین در این کلاس‌ها را فراهم می‌کنند. ترکیب تمرینات طراحی سازه در کلاس‌های آموزشی سازه، ویژگی‌هایی داشت که برای دانشجویان جذاب بود: ابتدا، این چارچوب ذهنی که آن‌ها در کلاس‌های سازه‌ای، طرح نیستند بلکه حل‌کننده معادلات سازه‌ای هستند، کنار گذاشته شد. دوم؛ این رویکرد باعث شد، دانشجویان به جای اینکه با حل معادلات از مسئله سازه، به‌سادگی عبور کنند، به آن فکر کرده و برای حل مسائل سازه‌ای به ترسیمات گرافیکی و اسکیس‌های سازه‌ای پردازند.

1 Michele Chiuini
2 Chiuini, 2006, 206-207
3 University of Ball State
4 Chiuini, 2006

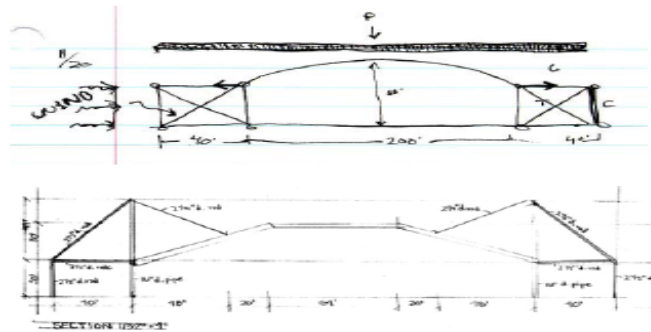


Figure 2. Preliminary sketches for selection and configuration of a long span system

شکل ۱- طراحی‌های اولیه از مسیره‌های انتقال بار سازه (منبع تصویر: Chiuni, 2015)

ویژگی دیگری که در واحدهای آموزشی سازه در دانشگاه ایالتی بال تأکید شده است، بهره‌گیری از نرم‌افزارهای مهندسی برای تحلیل و درک رفتار سازه‌ها است. دو واحد درسی سیستم‌های سازه‌ای^۱ و طراحی سازه بتنی، بهانه‌ای برای معرفی سیستم‌های نامعین سازه‌ای هستند. تا قبل از سال ۲۰۰۱، چهار درس در آموزش سازه‌ها بود که هیچکدام وارد طراحی سازه‌های نامعین نمی‌شد، اما اکنون سه درس مرتبط با سازه‌های معین و یک درس درباره سازه‌های نامعین - قاب‌های صلب و قاب‌های چندطبقه بتنی - است. چیرینی در مورد نقش محاسبات و فرمول‌ها برای دانشجویان، اعتقاد دارد که نیاز نیست تمام محاسبات سازه توسط رایانه انجام گیرد، اما دانشجویان نیز مانند برده‌هایی نیستند که مدام به حل تمرینات و محاسبات بپردازند، حتی در قرن هفدهم نیز لاینی‌سعی داشته ماشین برای محاسبات اختراع کند. همین‌طور عنوان می‌کند که این دوره‌های آموزشی، در مورد ایستایی نیست بلکه درباره طراحی سیستم‌های سازه‌ای است. دانشجویان باید زمان خود را بر درک اصول و فرآیندهای طراحی سازه‌ای بگذارند. این کار کمک می‌کند که آن‌ها محاسبات ریاضیاتی را به‌عنوان ابزار طراحی در نظر بگیرند. بهره‌گیری از رایانه و نرم‌افزارهای مهندسی، کمک می‌کند که بخشی از محاسبات توسط رایانه انجام گیرد. تحلیل‌های رایانه‌ای برای آموزش سیستم‌هایی مانند قوس‌ها و طاق‌ها و گنبدها و سیستم‌های معلق استفاده می‌شود. نرم‌افزار این قابلیت را دارد که تغییر فرم‌ها، شکل بهینه سازه و ابعاد اعضا را محاسبه کند و نمایش دهد. همین‌طور دانشجویان می‌توانند تغییر شکل‌ها در طول یک تیر بلند را مشاهده کنند.

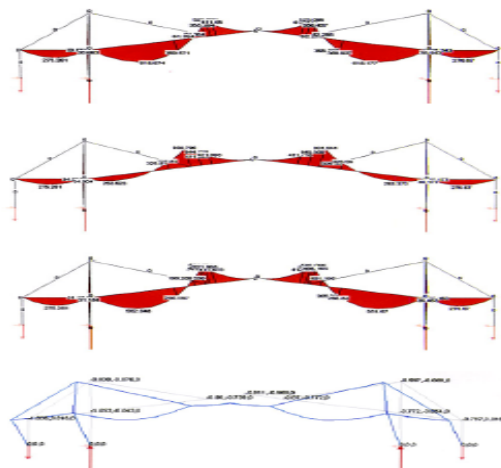


Figure 10. Tests of alternative configurations with the same load using the M diagram
Deflection diagram of long span steel system

شکل ۲- ارزیابی بیکره‌بندی پیشنهادی در سازه فولادی با دهانه بلند با دیاگرام نیرو- خمش (منبع تصویر: Chiuni, 2015).

دانشگاه کالیفرنیا - برکلی^۱

پژوهش دیگری که ذیل مدل آموزشی دسته دوم، قرار دارد، تجربیات بلک و داف در دانشگاه برکلی است. این پژوهش در مقاله‌ای با عنوان «مدلی برای آموزش سازه‌ها: تحلیل المان محدود در آموزش معماری» منتشر شده است و آموزش سازه‌ها در دانشگاه برکلی را نیز شرح می‌دهد^۲. در اینجا ذکر خلاصه‌ای از این پژوهش مناسب به نظر می‌رسد:

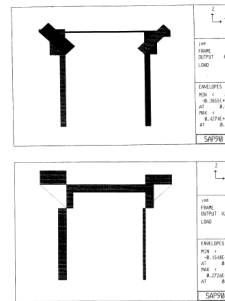
تحلیل المان محدود، روش مدرن قدرتمندی برای تجزیه و تحلیل مهندسی است که در زمینه‌های متنوع مهندسی سازه کاربرد دارد. در اصل، روش المان محدود، یک روش عددی است. در این روش برای ساده‌سازی مسئله، کل ناحیه‌ای که در آن باید معادلات حل بشوند، به اجزای کوچک‌تری تقسیم می‌شود که هر جزء، یک المان (Element) نام دارد. همان‌طور که از نام این روش هم پیداست، تعداد المان‌ها ممکن است زیاد باشد اما محدود (Finite) است و بی‌نهایت نیست. در واقع می‌توان المان‌ها را شمرد. بنابراین، نام اختصاری این روش FEM است.

تأثیر روش المان محدود بر مهندسی در دو دهه گذشته، در حله نخست به‌عنوان ابزار آموزشی ضروری و سپس برای افزایش سرعت در محاسبات و افزایش دقت عددی بسیار گسترده بوده است. این ابزار با کمک محاسبات رایانه‌ای به دانشجویان اجازه می‌دهد بدون اینکه از قبل پیش‌زمینه‌ای طولانی در مورد رفتار سازه‌ها داشته باشند، مستقیم و بی‌واسطه رفتار کلی سازه را بررسی و مطالعه کنند. ارزش آموزشی تحلیل رایانه‌ای در آن است که با تحلیل مدل آغاز می‌شود. فعالیتی که نیاز دارد سازه‌های واقعی در سطوح بسیار جزئی درک شود. سازه باید به اجزای تشکیل‌دهنده آن (گره‌ها، عناصر، تکیه‌گاه‌ها، شرایط مرزی، بارها) تجزیه شود. پس از تعریف مدل، لازم است اتصالات از لحاظ درجه انتقال و چرخش، توانایی در انتقال نیروها و تأثیر متناظر اتصالات و فرم و همچنین تکیه‌گاه‌ها تحلیل و تفسیر شده و قابل فهم باشد. در نهایت، با این روند دانشجویان قادرند رفتار کلی سازه را به‌صورت یکپارچه مطالعه کنند.

این مقاله بر استفاده از رایانه و تحلیل‌هایی که رایانه در تحلیل سازه‌ها دارد تأکید دارد. همچنین دانشجویان به‌جای منفعل بودن در دریافت مطالب و حل مسائل انتزاعی به یادگیرندگان فعالی تبدیل می‌شوند که خودشان به دنبال کشف و فهم چیزها هستند. استفاده از رایانه به دانشجویان کمک می‌کند که نقش هندسه سازه را به‌طور مستقیم در توزیع نیروها ببینند و مهم‌تر از آن پتانسیل خلاقیت در سازه‌های نامعین در طراحی سازه‌های بدیع را ببینند. نگارندگان دو نکته مهم را در مورد خطر استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای عنوان می‌کنند. اول، تحلیل رایانه‌ای هرگز برنامه درسی سازه‌ای را بهبود نمی‌بخشد بلکه کلید اصلی، مدل است. رایانه، ابزاری برای در دسترس قرار دادن مدل است. توجه به رفتار کلی، سختی و انعطاف‌پذیری، توسعه شهود سازه‌ای و تصحیح از طریق فرآیندهای طراحی و درک فرآیند طراحی منسجم، بیشتر از حضور برنامه‌های رایانه‌ای پیچیده اهمیت دارد. دوم، این خطر وجود دارد که دانشجویان در فرآیند شناخت سازه مبتنی بر رایانه، بر جذابیت‌های بصری بیش از اصول پایه مهندسی تمرکز داشته باشند^۳.

| FRAME ELEMENT FORCES | | | | |
|----------------------|-------|----------|-----------|-----------|
| ELT | LOAD | AXIAL | 1-2 PLANE | |
| TO | COORD | FORCE | SHEAR | MOMENT |
| 1 | 3 | 1848.03 | 0.0 | 0.0 |
| | | 72.0 | 1520.38 | -80843.60 |
| 2 | 1 | 6273.56 | 0.0 | 28924.03 |
| | | 24.0 | -1205.17 | 0.01 |
| 3 | 1 | -1548.01 | 0.0 | 479.62 |
| | | 72.0 | 479.62 | 34522.37 |
| 4 | 1 | -3466.47 | 0.0 | 1438.85 |
| | | 24.0 | -1438.85 | 0.01 |
| 5 | 1 | 725.59 | 0.0 | 2725.55 |
| | | 24.0 | 2725.55 | 65423.23 |
| 6 | 1 | -479.62 | 0.0 | 1548.01 |
| | | 72.0 | 1548.01 | -69413.24 |
| 7 | 1 | -3938.46 | 0.0 | 1918.46 |
| | | 24.0 | 1918.46 | 0.00 |
| 8 | 1 | -3854.51 | 0.0 | 0.00 |
| | | 33.9 | 0.00 | -0.00 |
| 9 | 1 | 2713.12 | 0.0 | 0.00 |
| | | 33.9 | 0.00 | -0.00 |

5. Computer output of element forces for the frame in Figure 4.

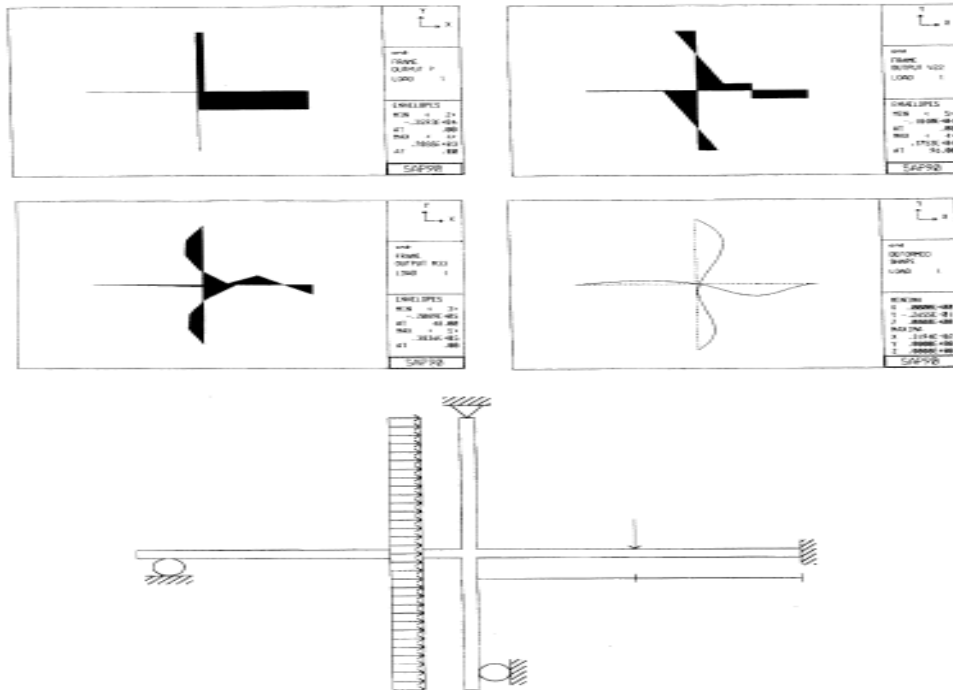


6A. Computer-generated graphic display of element axial and shear forces for the frame in Figure 4.

شکل ۳- نمونه‌ای از تحلیل رفتار سازه با نرم‌افزار مهندسی (منبع Black & Duff, 1994).

1 University of California, Berkeley
 2 Black & Duff, 1994
 3 Black & Duff, 1994, P. 40-43

بلک و داف که خود از اساتید دانشگاه برکلی هستند، برنامه درسی این دانشگاه را معرفی می‌کنند. این برنامه درسی اصلاح شده، بعد از اعتراض دانشجویان این دانشگاه نسبت به آموزش سازه در دانشگاه برکلی است. نگارندگان اعتقاد دارند که این برنامه آموزشی پاسخگوی نیاز دانشجویان معماری است و انسجام خوبی با واحدهای طراحی برقرار می‌کند. بخش اصلی برنامه درسی سازه‌ها در برکلی، دوره‌ای به نام «تحلیل و طراحی رایانه‌ای سازه‌ها»^۱ است. این دوره به دو مرحله تقسیم می‌شود: اول، دنباله‌ای از آزمایشگاه‌ها و سخنرانی‌های پشتیبان است که در جهت بررسی رفتار سازه‌های نامعین و تجزیه و تحلیل آن‌ها، برنامه‌ریزی شده است. تکالیف آزمایشگاهی با مطالعه سازه‌های بسیار ساده شروع می‌شود و به تجزیه و تحلیل کامل یک ساختمان کوچک می‌رسد. مرحله دوم، یک مسئله طراحی جامع است که تأکید آن بر استفاده صریح از سازه به عنوان فرم دهنده اصلی مسئله است. مرحله اول با «آزمایشگاه معکوس»^۲، آغاز می‌شود. نکته قابل ذکر در آزمایشگاه اول این است که توجه دانشجویان را به رفتار کلی سازه متمرکز کرده و در ذهن آن‌ها رابطه بین رفتار یک سازه و خصوصیات سازه را شکل می‌دهد. مجموعه‌ای از سازه‌های ساده که پیش‌تر توسط رایانه حل شده‌اند به دانشجویان معرفی می‌شوند. همه آن‌ها مجاز به دیدن هر سازه، تغییر شکل آن و دیاگرام توزیع نیروی محوری، برشی، و نیروهای ممان سازه هستند. با این اطلاعات آن‌ها نیاز دارند به‌طور معکوس برای معین کردن شرایط مرزی، نیروهای داخلی و بارگذاری کاربردی برای سازه به عقب بازگردند. در این روند، دانشجویان از مسئله به شرایط اولیه می‌رسند.



شکل ۴- نمونه‌ای از تمرینات آزمایشگاه معکوس

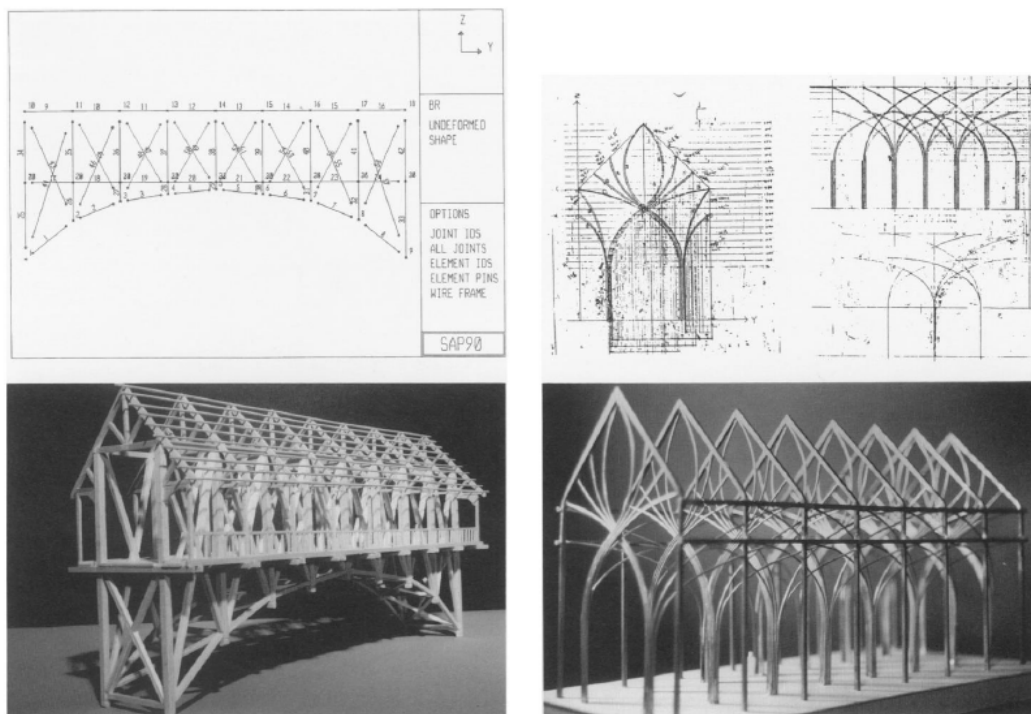
آزمایشگاه دوم با مطالعه نمونه تیر طره شروع می‌شود. جلسه اول به یادگیری چگونگی فرموله کردن یک مدل به روش اجزای محدود اختصاص دارد؛ با این حال، درست قبل از آنکه تحلیلی انجام شود، از دانشجویان خواسته می‌شود تا پیش‌بینی کنند که آیا طره تغییر شکل خواهد داشت؟ و تنها پس از پاسخ به آن، آن‌ها مجاز به تجزیه و تحلیل رایانه‌ای هستند. هنگامی که نتایج از رایانه دریافت می‌شود، دانشجویان با محاسبات دستی بار دیگر پاسخ‌های رایانه‌ای را به دست می‌آورند.

در مرحله دوم، سخنرانی‌های کمتری ارائه می‌شود و بخش بیشتری از وقت در بحث‌های فردی و گروهی صرف می‌شود. طرح نهایی معمولاً شامل طراحی یک سازه با طول بسیار زیاد مانند یک کلیسا، یک پل، یک ایستگاه قطار

1 Computer Analysis and Design of Structures.

2 backwards lab

یا یک دبیرستان است. ملاحظات سازه‌ای در این طراحی‌ها، نقش مهمی را بازی می‌کنند. تکلیف اصلی، مسئله ادغام سازه و فضای معماری، در یک طرح واحد است.



شکل ۵- نمونه‌ای از پروژه‌های دانشجویی در طراحی معماری در انسجام با دانش سازه

دانشگاه ETH زوریخ (تجربه‌ای مرتبط با روش هندسی و ایستایی ترسیمی)

آموزش ایستایی ترسیمی در مقطع کارشناسی معماری در دانشگاه ETH زوریخ، بخش اصلی از آموزش سازه را تشکیل می‌دهد. در برنامه درسی این دانشگاه، چهار درس دو واحدی نظری، تحت عنوان طراحی سازه وجود دارد که به آموزش نظری اول و مفاهیم و تئوری‌های سازه اختصاص دارد. طراحی سازه‌های ۱ و ۲ به طراحی و رفتار سازه‌ها و مصالح سازه‌ای اختصاص دارد. این دوره‌ها بر توسعه فرم سازه‌ای و اصول طراحی سازه‌ای تأکید دارند. اصول سازه‌ای مانند ایستایی ترسیمی یا مدل‌های سازه‌ای معرفی می‌شوند و در طراحی سیستم‌های بام، پلها، و ساختمان به‌طور مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرند^۱. بخش دیگر از مبحث طراحی سازه‌ها در این دانشگاه، به محاسبه نیروهای داخلی و توضیح رفتار سازه‌ای مرکب از تاقها و سازه‌های کابلی، سازه‌های خرابایی، قاب‌ها، رفتار سازه‌ای ستون‌ها و همچنین، اندازه‌گیری این سیستم‌های سازه‌ای با استفاده از روش گرافیکی سازه‌ای اختصاص دارد. هدف از این دوره‌ها آگاهی درباره سیستم‌های سازه‌ای مهم و به‌تصویر کشیدن تعامل سیستم سازه‌ای و خواست‌های معماری است. یکی از منابع درسی که برای این دوره‌ها توسط اساتید این دانشگاه تدوین شده است، قواعد طراحی سازه برای معماران^۲، به زبان آلمانی و البته کتاب فرم و نیروها: طراحی کارآمد، سازه بیان‌گر، ادوارد آلن، است^{۳/۴}.

ایستایی ترسیمی روشی بر مبنای هندسه نیروها بر اساس روابط تعادلی نیروها و بازنمایی ارتباط میان شکل و نیروها - نه تحلیلی یا عددی- است. این روش هم در آموزش مبانی ایستایی و هم در حرفه کاربرد دارد^۳. این روش را می‌توان در نرم‌افزارهای پارامتریک و مبتنی بر محدودیت و مرز، پیاده‌سازی کرد که ابزار قدرتمندی برای

۱ نگاه کنید به: www.BRG Group، این وبسایت به مطالب کرسی آموزش سازه در دانشکده معماری ETH زوریخ اختصاص دارد

2 Faustformeln Tragwerksplanung für Architekten

3 Form and Forces: Designing Efficient, Expressive Structures

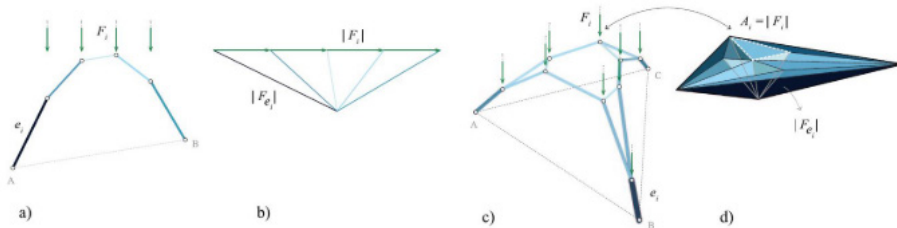
4 www.ethz.ch/en.html

شکل‌گیری و کشف تعادل نظام‌های دوبعدی و سه‌بعدی از ایجاد کرده است. ویژگی برجسته این روش و ابزارهای آن در کنار یکدیگر قراردادن زبان بصری سازه‌ای و کنترل ویژگی‌های فضایی به‌طور هم‌زمان است. به همین دلیل برای معماران جذاب و کارا است.

«ایستایی ترسیمی»، یک روش طراحی و تجزیه و تحلیل سازه‌ای بر اساس محاسبات برداری، هندسه تحلیلی و ترسیمات است که در نیمه دوم قرن ۱۹ توسط کارل کالمن^۱ توسعه پیدا کرد. وی ترسیمات را به‌درستی به‌عنوان «زبان مهندسی» در مقابل روش‌های تحلیل که از محاسبات عددی استفاده می‌کرد، در نظر گرفت.^۲ مزیت روش‌های ترسیمی مبتنی بر تعادل، تجسم روابط سازه‌ای با استفاده از دیاگرام نیروها است. تجسم اجازه می‌دهد تا درک بصری از وابستگی‌های فنی پیچیده با «تفکر در تصاویر» اتفاق بیافتد که به‌طور عمیق مرتبط با عمل خلاق در مهندسی است. علاوه بر این، فرآیند دستی رسم دیاگرام نیرو، با استفاده از ابزار پیش‌نویس، نه تنها به تجسم، بلکه به یک درک کامل از مسئله سازه توسط طراح منجر می‌شود.

در آموزش طراحی، به ارزش «ایستایی ترسیمی» و توانایی آن برای تولید درک بصری و مستقیم سیستم‌های نیرویی توسط لوئیجی نروی^۳ تأکید شده است. تکنیک پیشرویی که در چندین دانشگاه در سراسر جهان برای آموزش سازه به معماران استفاده می‌شود. از جمله دانشگاه‌هایی که «ایستایی ترسیمی» در سرفصل درسی آنها وجود دارد، MIT در ایالات متحده آمریکا، AKHEN در آلمان، ETH زوریخ و EPFL لوزان می‌باشند.

این روش مبتنی بر دو دیاگرام است. یک دیاگرام نیروها که نشان‌دهنده تعادل کلی و جزئی نیروهای اعمال شده بر سازه است و دیگری دیاگرام فرم که نشانگر هندسه سازه، نیروهای عکس‌العمل و بارهای اعمال شده است. این نمودارها اطلاعات بصری را فراهم می‌کند که از طریق آن و با کمی تمرین، رفتار یک سیستم سازه‌ای درک می‌شود. علاوه بر این، از آنجا که هیچ مهارت برنامه‌نویسی و یا دانش ریاضی مورد نیاز نیست، یک فرد غیرمتخصص می‌تواند سازه پیچیده‌ای را طراحی کند یا تجزیه و تحلیل‌های پیچیده انجام دهد. البته مهم‌تر از همه این است که این، یک رویکرد منسجم است که طراحی و تحلیل را درون یک روش و ساخت گرافیک ترکیب می‌کند.^۴



شکل ۶- فرم‌یابی سازه با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای مبتنی بر گرافیک استاتیک سه بعدی (منبع: Zheng 2021)

از نرم‌افزارهای ساده و نسبتاً اولیه گرافیک استاتیک، میتوان به Interactive Thrust, Active اشاره کرد. لاچاور و همکاران (۲۰۱۵) در مقاله‌ای به معرفی ابزارهای تعاملی پارامتریک برای طراحی سازه پرداخته‌اند. هدف از این ابزارهای محاسباتی این است که فاصله بین «پیش‌طرح سازه‌ای»^۵ و «تجزیه و تحلیل پیچیده نرم‌افزاری»^۶ را بکند. استفاده از روش مبتنی بر بردار در ایستایی ترسیمی، ابزاری را برای ترکیب قدرتمند روش‌های مدل‌سازی مشارکت‌پذیر^۴ و بهینه‌سازی سازه‌ای ارائه می‌دهد. ابزارهای اصلی استفاده شده در این مقاله نرم‌افزار software Rhinoceros و پلاگین مدل‌سازی parametric modeling plug-in Grasshopper برای امکان تعریف رابطه پارامتریک میان اشکال هندسی و پارامترهای عددی می‌باشد. ژنگ (۲۰۲۰)، در مقاله‌ای تولید یک فرم سازه‌ای بر اساس روش‌های «ایستایی ترسیمی سه‌بعدی» را توضیح داده است. در این روش که با نرم‌افزار «گرس‌هایپر» و «اینترفیس هایپرپلیفریم» انجام میشود، با تقسیم‌بندی نمودارهای سه‌بعدی نیرو که اغلب به شکل

1 ؟؟؟؟

2 Van Mele & other ,2012, P.286

3 Nervi. L

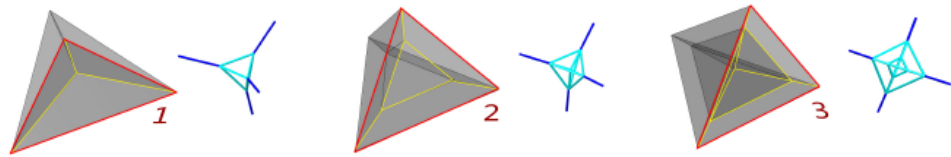
4 Zheng, 2020, 2

5 structural sketch

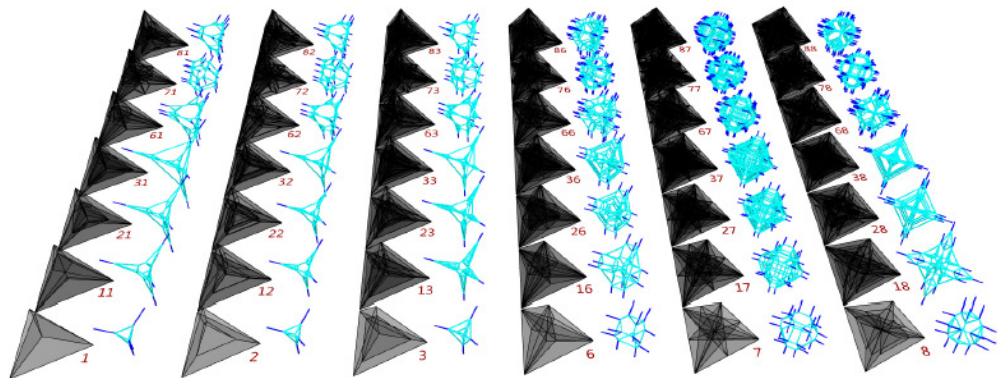
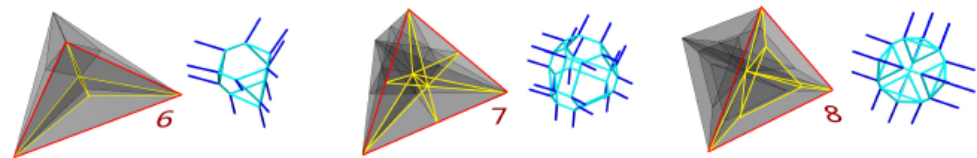
6 sophisticated analysis software.

یک چندوجهی هستند، می‌توان فرم‌های متنوعی را خلق کرد که به لحاظ سازه‌ای بهینه هستند. پایداری و بهینه‌بودن این فرم‌ها، توسط رایانه، ارزیابی می‌شود.

تصویر زیر نشان‌دهنده تبدیل یک چندوجهی به عنوان نمودار نیرو به یک فرم سازه‌ای به عنوان نمودار فرم است. نکته اصلی در چنین نرم‌افزارهای فرمیابی مشارکتی این است که با ایجاد یا تنظیم چند وجهی‌های بسته به عنوان نمودار نیرو، میتوان اشکال خرابایی متفاوتی را با استفاده از «ایستایی ترسیمی سه‌بعدی» ارائه کرد. مزیت الگوریتم فرمیابی این است که سازه‌های تولیدشده همیشه در شرایط مرزی در حالت تعادل هستند. تا زمانی که نمودار نیرو مجموعه‌ای از چند وجهی‌های بسته باشد، شکل مربوطه میتواند تحت بارهای اعمال‌شده متعادل بماند. بنابراین هنگام طراحی یک فرم با بارهای اعمال‌شده معین، معماران می‌توانند چندوجهی نیرو را به وجوه داخلی اضافه تقسیم کنند تا ضمن حفظ تعادل فرم، به بداعت در فرم دست یابند. تصاویر زیر نمونه‌های متفاوتی از تقسیم یک منشور را نشان می‌دهد که منجر به تولید فرم‌های متنوعی، گردیده است.



شکل ۷- هرم به‌عنوان یک نمودار نیرو که با قوانین متفاوتی تقسیم‌شده است و رنگ آبی نمودار فرم متعادل متناظر با آن است که توسط رایانه تولیدشده است (منبع تصویر، Zheng, 2020)



شکل ۸-۶۴ قانون اساسی تقسیم‌بندی و ۳۶ قانون تقسیم فرعی (منبع، Zheng, 2020)

سپس با الگوریتم بهینه‌یابی ژنتیک، فرمی که از نظر تعداد گره‌ها، اتصالات و وجوه و اعضا، بهینه باشد انتخاب می‌شود. سالیکلیس از اساتید دانشگاه پلی تکنیک کالیفرنیا، آخرین روش‌های آموزشی ایستایی ترسیمی را در غالب یک کتاب ده فصلی منتشر کرده است^۱.

1 Saliklis, E. (2019). Structures: A Geometric Approach Graphical Statics and Analysis, springer.

نگارنده، این کتاب را به فارسی ترجمه نموده که در مرحله‌ی داوری و چاپ در دانشگاه یزد است.

آموزش سازه در تعامل با تجارب عملی و مدل‌های فیزیکی

هدف اصلی در این مدل آموزشی این است که، درک پایه‌ای و عمیق از سازه، ایجاد شود تا دانشجویان بدون نیاز به انجام محاسبات پیچیده بتوانند ضمن یادگیری سازه و مباحث مربوطه، آن را در فرآیند طراحی به کارگیرند. در این مدل آموزشی تمرکز بر ایجاد درک مفهومی از رفتار سازه‌ها، در حین کار کردن با مدل‌های فیزیکی است. هدف استفاده از مدل‌های فیزیکی و فعالیت‌های عملی در آموزش سازه، تکیه بر درک پایه‌ای و عمیق سازه با توسل به فعالیت‌های عملی است. برای رسیدن به این هدف، روش‌های مختلفی انتخاب گردیده و برخی از آن‌ها در بعضی از دانشکده‌ها مورد توجه قرار گرفته است.

ماریو سالوادوری^۱ در مصاحبه‌ای در سال ۱۹۷۴، در مورد آموزش سازه برای معماران^۲ می‌گوید: از من پرسیده شد که آیا شما سمینار آموزشی درباره دانش سازه را مقدم بر آموزش دانش ریاضیات برای دانشجویان می‌دانید یا به‌طور هم‌زمان؟ و من به دنبال حل این چالش به این نتیجه رسیدم که این مسئله باید با استفاده از مدل‌های شهودی حل شود. و این پیشنهاد را می‌دهد که دو یا سه مدرسه معماری در امریکا حمایت مالی کافی برای ساخت مدل‌های سازه‌ای برای فهم رفتار سازه‌ها پیدا کنند. سازه‌هایی که با مفاهیم اولیه و ساده کشش و فشار شروع شود و به مفاهیم خمش، کمانش، پیچش و رفتار قوس، سازه‌هایی از یک تا سه بعدی را دربرگیرد. البته ممکن است دانشجویان نتوانند سازه‌های واقعی را تحلیل کنند و یا فاکتورهای ایمنی را رعایت کنند ولی حداقل می‌توانند سازه‌های قابل قبول را تصور و حس کنند. شاید بتوان گفت اولین پیشنهاد در مورد آموزش سازه‌ها با مدل‌های سازه‌ای فیزیکی است، زیرا به درک شهودی دانشجویان از سازه و رفتار آن کمک میکند. امروزه مدل‌های سازه‌ای چه به‌صورت فیزیکی و چه با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری توسعه پیدا کرده است. این رویکرد که توسط ماریو سالوادوری معرفی شد بر موارد زیر تأکید دارد: پاسخگویی سازه به نیروهای اعمال شده، درک رابطه متقابل مواد، فرم و سازه؛ مشاهده سازه در بستر کلی ساختمان^۳.

آموزش سازه با طبیعت، تجربه‌ای در دانشگاه مازندران ایران

شاهرودی و دیگران (۱۳۸۶) در پژوهشی با عنوان «بهره‌گیری از طبیعت برای آموزش موثر درس ایستایی در رشته معماری در ایران» استفاده از مصادیق موجود در طبیعت و همچنین ساخت مدل‌های فیزیکی از آنها، را بیان می‌کند. در این پژوهش که در دانشگاه مازندران انجام شده است، دانشجویان در درس ایستایی، در دو گروه شاهد و گواه، مورد آموزش قرار گرفتند. مراحل آموزش، بهره‌گیری از فرم‌های طبیعی و همچنین ساخت مدل‌های فیزیکی، برای بیان مفاهیم پایه سازه‌ای به دانشجویان معماری بوده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بهره‌گیری از مدل‌های فیزیکی و تجارب عملی در درک مفهومی اصول و مفاهیم سازه، تاثیر معناداری دارد.

فهم بدن‌مند از مباحث سازه‌ای دانشگاه آیووا^۴

راب وایتهد، در پژوهشی^۵، سعی بر ایجاد فهم بدن‌مند از مباحث سازه‌ای برای دانشجویان معماری دارد. در این پژوهش، که در دانشگاه آیووا انجام شده است؛ دانشجویان با کشش و فشار در ماهیچه‌های خود، مفاهیم پایه‌ای سازه، مانند کشش، فشار، نیروی وزن و یا رانش را درک می‌کنند.

1 Salvadori, M.

2 ؟؟؟؟

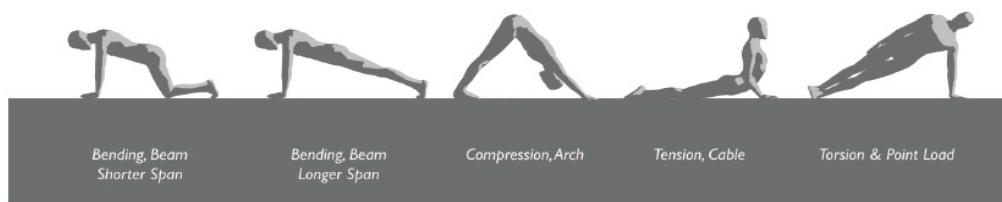
3 Lonman, 2000, P. 29-31 و Salvadori, 1974.

4 University of Iowa



شکل ۹- تعادل نسبی و تنش داخلی (منبع تصویر: Whitehead, 2013)

وایتهد در سال ۲۰۲۰، کتابی^۶ را با عنوان «طراحی سازه: فکر کن، بساز، تخریب کن و دوباره تکرار کن» منتشر نمود. وی قصد دارد با ایجاد درک از مفاهیم اولیه سازه، رفتار سازه‌ها در مقابل نیروها را به شکلی ساده تشریح کند. این کتاب بیشتر مبتنی بر ایجاد فهم اولیه از سازه و تحلیل‌های بصری سازه است.



شکل ۱۰- فرم‌های مختلف، تنش‌های متفاوتی ایجاد می‌کنند. (Whitehead, 2020)

وی می‌گوید، اگر اصول طراحی سازه می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر طراحی معماری تأثیر کیفی داشته باشد، پس چرا دوره‌های آموزشی طراحی سازه برای معماران تا این حد بر تحلیل کمی متمرکز است؟ جدا کردن طراحی سازه از عمل خلاقانه طراحی، مفروضات نادرستی هستند که من آن‌ها را رد می‌کنم. کتاب، فکر کن، بساز و تخریب کن + تکرار کن، رویکردی جایگزین برای آموزش طراحی سازه برای معماران ارائه داده است. رویکردی که فرصت‌های یادگیری را نه به‌عنوان انتخابی بین طراحی و فن‌آوری، بلکه ترکیبی از آن‌ها ارائه می‌دهد و بر اساس یک ایده ساده است که طراحی سازه یک عمل خلاقانه است و بنابراین، فرآیند آموزش و یادگیری سازه‌ها باید بیشتر شبیه به یک استودیوی طراحی باشد. این کتاب، سراسر شامل تصاویر و دیاگرام‌های مربوط به مفاهیم سازه و آزمایش‌های فیزیکی و عملی دانشجویان برای فهم هرچه بهتر این مفاهیم، است.

موسسه فنی ایلینوی^۱

یکی از دانشکده‌های پیشرو در استفاده از مدل‌های سازه‌ای در جهت ایجاد انسجام میان کارگاه‌های طراحی و مفاهیم سازه‌ای، دانشکده معماری ایلینوی است. کاترین وتزل^۲ از اساتید این دانشگاه، دو مقاله در خصوص تجربیات این دانشگاه ارائه داده است. در مقاله‌ای با عنوان «یکپارچگی میان سازه و طراحی در سال اول»^۳ توضیح می‌دهد که از مدل‌های دینامیکی در مقیاس بزرگ برای آشنایی دانشجویان با رفتار سازه‌ها و مفاهیم اولیه سازه‌ای استفاده می‌کنند. وی دستورالعمل آموزشی سازه را اینگونه بیان می‌کند: سه واحد نظری درباره تنش‌های سازه‌ای اولیه، گفته خواهد شد. رفتار سازه‌ها و تحلیل سازه‌ای بسیار ساده و مقدماتی در زمان بسیار کمی از طریق نمایش بصری و آموزش با دست، بیان می‌شود. در هر جلسه، دست‌ساخته‌های دانشجویان از جمله کاغذ، پارچه، و ورقه‌های چوبی و دیگر اشیاء آشنا، مفاهیم سازه‌ای را به نمایش می‌گذارند. مدرسان، ترسیمات و مثال‌های ساده‌ای از الگوهای تنش سازه‌ای را برای دانشجویان فراهم می‌کنند. در این مرحله هیچگونه آزمون یا محاسباتی وجود ندارد. دانشجویان متناسب با این مباحث شروع به ساختن مدل‌های کوچکی می‌کنند. پس از ساختن مدل‌ها

1 Illinois Institute of Technology

2 Catrin Wetzel

با ابعاد کوچک و تصحیح آنها به کمک مدرسان در گروه‌های کوچک، شروع به ساختن مدل‌هایی با ابعاد بزرگ‌تر - نزدیک به واقعیت - و مصالح مناسب می‌کنند. وی در مقاله دیگری تحت عنوان «رویکرد بیکپارچه»^۱ به توضیح برنامه درسی دانشگاه و سپس تمریناتی می‌پردازد که در آن دانشجویان به ساخت سازه‌های مختلف با مقیاس بزرگ می‌پردازند. دانشجویان در حین ساخت با رفتار واقعی این سازه‌ها آشنا می‌شوند و درکی ضمنی از آن پیدا می‌کنند. همین‌طور مسائل ساخت و اجرا نیز در کنار آن باعث می‌شود که دانشجویان درک جامع‌تری نسبت به مقوله طراحی و طراحی سازه، دست پیدا کنند.



Figure 10. Installation; parabolic cantilever, 2011, designed and fabricated by Brendan Cahidy, Ju Eun Hong, Marissa Luehring, Goran Simic, Jeffrey Snodgrass, and Adam Wolf. (Photograph courtesy of Richard Nelson.)

Figure 11. Installation; parabolic cantilever, ring cable detail. (Photograph courtesy of Richard Nelson.)

Figure 12. Installation; parabolic cantilever detail of closed self-anchoring system. (Photograph courtesy of Richard Nelson.)

شکل ۱- نمونه‌ای از سازه ساخته شده در دانشگاه ایلینوی (wetzal 2008)

در این دانشگاه کارگاه‌های طراحی در شش‌ترم متوالی برگزار می‌شود. در هر سال دو کارگاه برگزار می‌شود که به ترتیب اهمیت مصالح در سال اول، سازه‌های تعیین‌کننده معماری و طراحی جامع ساختمان در سال دوم و طراحی شهری و شهرسازی در سال سوم می‌باشند. در اولین کارگاه طراحی، مفاهیم سازه، در پروسه طراحی و بیان معماری اهمیت پایه‌ای دارد. در انستیتوی ایلینوی، از مدل‌های دینامیک بزرگ‌مقیاس برای توسعه نوبخ سازه‌های دانشجویان و مشتاق کردن آن‌ها به سیستم‌های سازه‌ای به‌عنوان موضوع مهم طراحی، کمک گرفته می‌شود.^۱ اولین کارگاه طراحی، درباره مصالح و اهمیت آن است. یک گروه آموزشی که شامل یک متخصص در زمینه سازه و دو متخصص معماری با مهارت در سازه است، آموزش این کارگاه را بر عهده دارند. الگوی تدریس آموزش فعال است که به ادغام بهتر سازه و طراحی کمک می‌کند. این کارگاه شامل سخنرانی‌های کارگاه محور، مطالعه مصادیق نوآورانه در طراحی سازه‌ای و طراحی/ساخت نمونه‌های سازه‌ای است.

این آموزش کارگاه‌محور با دوره‌هایی درباره استاتیک، مقاومت مصالح و تحلیل‌های سازه‌ای تکمیل می‌شود. مدرسان در سه زمینه نیروهای سازه‌ای، اعضای سازه‌ای و سیستم‌های سازه‌ای سخنرانی دارند، پس‌از آن تحلیل سازه‌ای را با توجه به سه نیروی خمش، نیروی محوری و برشی، به‌وسیله نمایش تصویری و آموزش با دست^۲ آموزش می‌دهند. دانشجویان نیز هم‌زمان با تدریس به‌وسیله مدل‌های کاغذی، چوبی و غیره مفاهیم سازه‌ای را به نمایش می‌گذارند و دیاگرام‌های خمشی و برشی را بر اساس مدل‌های خود ترسیم و اصلاح می‌کنند.

تجربه‌ای از آموزش با مدل‌های فیزیکی در دانشگاه ETH زوریخ

ماریا ورونستی و همکاران در مقاله‌ای^۳ به بیان تجربیات خود از ساختن مدل‌های سازه‌ای توسط دانشجویان معماری دانشگاه ETH zurich می‌پردازد و نام «ساخت تعادل»^۴ به آن می‌دهد. تمرین «ساخت تعادل»، به‌عنوان پروژه طراحی برای ترم بهار سال دوم است. این تمرین برای چهار سال پیاپی دنبال شده است. **ساخت تعادل:** این تمرین شامل سه بخش است. مرحله اول، کشف ایده‌های سازه‌ای به‌واسطه ترکیبات اشیاء به‌گونه‌ای که در تعادل باشند، مرحله دوم، ترجمه مفاهیم سازه‌ای ساخته‌شده با ایده‌های معمارانه و مرحله سوم انتخاب مصالح و مادی‌سازی ایده‌های معماری با در نظر گرفتن یک فن‌آوری ساخت. **مرحله اول، کشف مفهوم سازه‌ای:** دانشجویان از لیست اشیاء، چهار تا شش شیء را برای ساخت ترکیبی با سه شیء که در تعادل قرار دارند، انتخاب می‌کنند. آن‌ها می‌توانند از چسب یا نوار و غیره برای اتصال اشیاء به یکدیگر استفاده کنند. ساخته‌ها باید سه پیکره‌بندی طره، معلق و پل را داشته باشد. البته برای معرفی این سه پیکره‌بندی به‌طور خلاصه آثاری از معماران معاصر به‌عنوان منبع معرفی می‌شود. هدف این مرحله، معرفی نکات تعادل استاتیک، در فضا و ارتباط آن با روند طراحی معماری است.



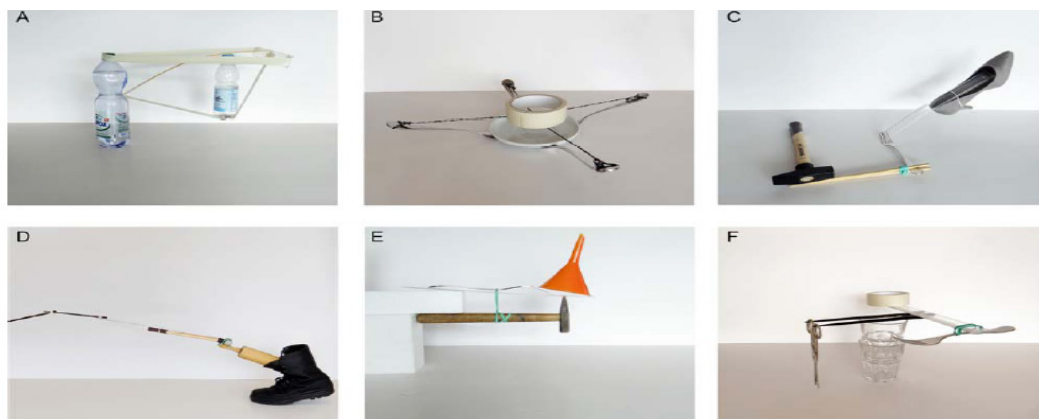
Figure 2. Step 1: Catalogue of objects.

شکل ۱۲- لیستی از اشیاء که در اختیار دانشجویان قرار داده می‌شود. (منبع: Vronesti, 2018)

1 Wetzel, 2012

2 Hands on learning

4 Constructing Equilibrium

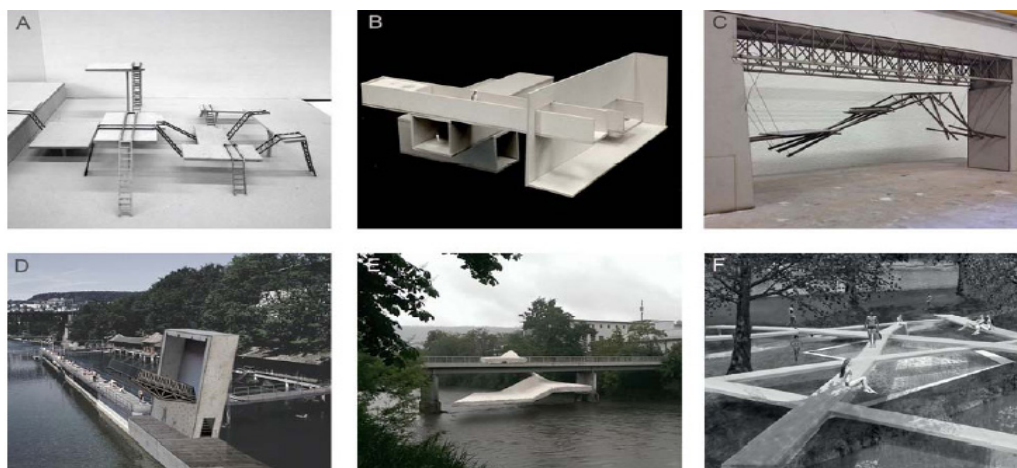


(A-B) B.Artero, J.Christ, M.Fernandez, G.Recker; (C) J.Li, R.Liang, M.Meier, A.Schaffner; (D) M.Frefel, L.Grunder, S.Imbeck, T.Kuny; (E) M.Hack, J.Hasler, F.Heinzer, M.Prager; (F) I.Beljan, V.Desponds, I.Kern, E.Schwyzler

Figure 3. Step 1: Compositions of objects in equilibrium.

شکل ۱۳- ترکیب اشیاء و ساخت یک بیکره در تعادل (منبع: Vronesti, 2018)

مرحله دوم، ترجمه مفاهیم سازه‌ای به ایده معمارانه: مرحله اول، بر کشف ترکیبی که در آن اصول سازه‌ای به واسطه دست‌ساخته‌های فیزیکی رسمیت پیدا می‌کند، تمرکز داشت. چالش مرحله دوم، چگونگی ترجمه دست‌ساخته‌ها به یک طرح معماری بود. هدف نهایی مرحله دوم، معرفی یک رویکرد کل‌نگرانه است که فضا و سازه درون مفهوم طراحی کانسپت و طراحی یک‌ارچه شوند. به علاوه در آن مرحله، ضرورت دارد تفسیری از سازه ارائه شود تا سازه علاوه بر رفع نیازهای استاتیکی، نقش بنیادینی در تولید فضای معماری داشته باشد. دانشجویان در این مرحله با ترسیمات، اسکیس‌ها، دیاگرام‌ها، تصاویر، یا مدل‌های فیزیکی، روند ترجمه ترکیب فرمی به طرح معماری را توصیف می‌کنند.



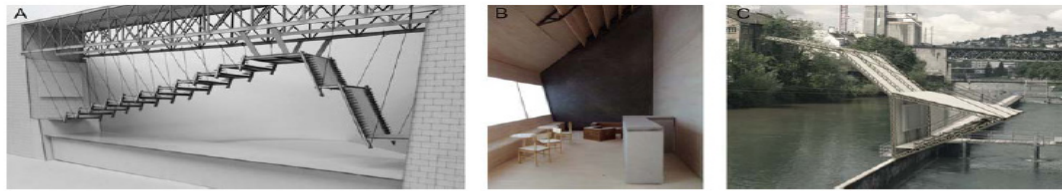
(A) T.Cerny, T.Fischer, N.Harter, D.Keller; (B) H.Baumann, C.Kaufmann, P.Räbsamen, J.Rigling; (C) A.Brunold, M.Busslinger, C.Schüpbach; (D) B.Artero, M.Fernandez; (E) M.Hack, J.Hasler, F.Heinzer, M.Prager; (F) I.Beljan, V.Desponds, I.Kern, E.Schwyzler

Figure 4. Step 2: Programmatic and contextual transformations.

شکل ۱۴- ترجمه دست‌ساخته‌های سازه‌ای به یک طرح معماری (منبع: Vronesti, 2018)

مرحله سوم، تجسد ایده‌های معمارانه: هدف مرحله سوم، واقعی کردن طرح پیشنهادی است. دانشجویان باید به همان خوبی که عناصر اصلی سازه‌ای را طراحی می‌کنند، عناصر ثانویه معماری مانند مسیرهای تردد، نرده پله‌ها، دستگاه پله، و غیره را نیز طراحی کنند. در روند طراحی، دانشجویان فن‌آوری ساختی را مطرح می‌کنند که بهترین پاسخ را به جریان نیروهای داخلی درون بیکره سازه بدهد. این پارادایم کلیشه‌های مربوط به آموزش مهندسی سازه را به کنار می‌نهد و استراتژی‌های متمایزی در رویکرد آموزشی (ساخت‌گرایی در مقابل رفتارگرایی)، در حیطه

عمل (سنتز در مقابل تحلیل)، در محتوا (کلی در مقابل جزئی)، و در معنا (محسوس در مقابل نامحسوس) پیشنهاد می‌کند.



(A) A. Brunold, M. Busslinger, C. Schüpbach; (B) L. Frauenfelder, C. Gilli, C. Mauch, S. Meier; (C) M. Derendinger, A. Köpfl, R. Lotzer, J. Lincke

Figure 5. Step 3: Materializing the architectural idea.

شکل ۱۵- تجسد ایده‌های معمارانه (منبع: Vronesti, 2018)

مدل‌های فیزیکی سازه‌ای چه به‌عنوان وسایل کمک‌آموزشی و چه به‌عنوان رویکردی در طراحی تمرینات آموزشی برای دانشجویان معماری، درک حسی و بصری دانشجویان را ارتقا داده و آن‌ها را با مفاهیم اصلی سازه‌ها آشنا می‌سازد. همچنین بستری برای انسجام میان مفاهیم معمارانه مانند فضا، فرم و مفاهیم سازه‌ای فراهم می‌کند. البته این به این معنی نیست که مدل‌های فیزیکی سازه نیاز دانشجویان به تحلیل‌های سازه‌ای را برطرف کرده است.^۱ ورونستی (۲۰۱۸)، در رساله دکتری خود، مدل‌های فیزیکی سازه‌ای را به‌عنوان یک جستجوی تصویری (جستجوی فرافکنانه^۲)، در مطالعات سازه، معرفی می‌کند. این مفهوم، برای کمک به خلاقیت در طراحی سازه در معماری، مطرح شده است که حاوی یک منطق سنتزی است. در این پژوهش، نماینده‌هایی از تفکر طراحی بصری و همچنین سازه وام‌گرفته شده است تا در یک فضای میان‌رشته‌ای جنبه‌هایی از طراحی معماری و سازه را برجسته کند. مدل‌های فیزیکی سازه، در این پژوهش، دیاگرام‌های مادی معرفی شده‌اند که در فرآیند طراحی معماری، با توجه به آگاهی‌های سازه‌ای می‌توانند به ایده‌آفرینی منجر شوند. وی نیز با تکیه بر آرای کراس و شون در خصوص راه‌های طراحی اندیشیدن، به دنبال بیان روشی در آموزش سازه در معماری است که آگاهی‌های مفهومی سازه را در فرآیند استدلالی طراحی، وارد نماید. به نظر ورونستی، مدل‌های فیزیکی به‌مثابه یک دیاگرام مادی شده، می‌تواند پاسخ مناسبی به این نیاز باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقال، گزیده‌ای از پژوهش‌های مرتبط با موضوع، مورد بررسی قرار گرفت. مرور تجربیات نشان‌دهنده طیف گسترده‌ای از نظریات و روش‌ها برای پاسخ به چگونگی شناخت سازه و برقراری انسجام میان دانش سازه و طراحی معماری است. این پژوهش‌ها در سه دسته مرتب شده و به تفصیل به آنها پرداخته شده است. جدول ۱ خلاصه‌ای از این ویژگی‌ها و نتایج پژوهش‌ها را نشان می‌دهد.

1 Vrontissi, 2018, P 625

2 Projective Inquiry

جدول ۱- خلاصه‌ای از پژوهش‌های مرتبط با موضوع

| دسته | عنوان پژوهش | توضیح |
|-------|---|--|
| پژوهش | | موضوع |
| ۶ | آموزش دانش سازه در فضای طراحی محور | ادغام کلاس‌های نظری و آتلیه‌های طراحی و توسعه کارگاه‌های طراحی معماری |
| | ادوارد آلن (۱۹۹۷)، آموزش دروس نظری فنی و سازه در آتلیه طراحی معماری با عنوان "کارگاه دوم" | - آموزش دانش فن ساختمان و کلیات و مبانی سازه در کارگاه‌های طراحی معماری - مسئله طراحی چارچوبی برای فهم و ساختاربینی مفاهیم فنی |
| | مولانایی (۱۳۹۲): آموزش مفاهیم سازه در آتلیه طراحی معماری (دانشگاه علم و صنعت ایران) | - آموزش سازه در کلاس‌های طرح معماری - محتوای آموزشی سازه به صورت برنامه آموزش چندرسانه‌ای |
| ۷ | آموزش دانش سازه همراه با تمرینات طراحی (رویکرد طراحانه در آموزش دروس سازه) | واحدهای ترکیبی نظری/ عملی حول یک تمرین طراحی واقعی، استفاده از نرم‌افزارهای مهندسی المان محدود و ایستایی ترسیمی، وارد کردن درجه‌ای از واقعیت در حل مسائل سازه‌ای، توجه کاربرد رویه‌های محاسباتی و تحلیل سازه در دانشکده‌های معماری |
| | دانشگاه کالیفرنیا برکلی | استفاده از نرم‌افزارهای تحلیلی سازه و توجه به طراحی سازه‌های نامعین، توجه به درک رفتار سازه توسط دانشجویان، استفاده از مدل‌های رایانه‌ای و درک نقش هندسه سازه در توزیع نیروها |
| | دانشگاه ایالتی بال | ترکیب واحد نظری و طراحی در تدریس واحدهای سازه، بهره‌گیری از نرم‌افزارهای محاسباتی مبتنی بر المان محدود و توجه به طراحی سازه‌های نامعین. |
| | دانشگاه ETH زوریخ- روش هندسی و ایستایی ترسیمی | رویکرد محاسباتی هندسی (ترسیمی) با کمک تجزیه و تحلیل به روش ایستایی ترسیمی در محیط‌های نرم‌افزاری گرافیکی، برقراری رابطه نزدیک با فضای طراحی معماری |
| ۸ | آموزش مفاهیم سازه در تعامل با تجارب عملی و مدل‌های فیزیکی | - ایجاد درک پایه‌ای و عمیق از سازه، با کمک مدل‌های فیزیکی سازه‌ای و یا تمرینات عملی ساخت سازه‌ها در مقیاس‌های بزرگ |
| | آموزش با طبیعت، دانشگاه مازندران ایران | شاهرودی (۱۳۸۶)، بهره‌گیری از فرم‌های طبیعی و همچنین ساخت مدل‌های فیزیکی، برای بیان مفاهیم پایه سازه‌ای به دانشجویان معماری |
| | فهم بدمنند مفاهیم سازه، دانشگاه آیووا | وایتهد (۲۰۲۰) طراحی سازه: فکر کن، بساز، تخریب کن + تکرار کن، درک مفاهیم پایه سازه و رفتار سازه در مقابل نیروها، مبتنی بر تقویت تحلیل‌های بصری سازه |
| | دانشگاه فنی ایلینوی | - استفاده از مدل‌های سازه‌ای در جهت ایجاد انسجام میان کارگاه‌های طراحی و مفاهیم سازه‌ای - استفاده از مدل‌های دینامیکی در مقیاس بزرگ برای آشنایی دانشجویان با رفتار سازه‌ها و مفاهیم اولیه سازه‌ای |
| | دانشگاه ETH زوریخ- ساخت تعادل | - مدل‌های فیزیکی سازه‌ای به‌عنوان یک جستجوی تصویری (جستجوی فرافکنانه)، در مطالعات سازه برای کمک به خلاقیت در طراحی سازه در معماری |

دسته‌بندی این پژوهش‌ها نشان می‌دهد آموزش مبانی و کلیات سازه به معماران، گام نخست در آموزش سازه است. درک رفتار سازه‌ها و استفاده از سازه‌ها به عنوان یک نیروی خلاق در طراحی، اهداف آموزشی متعالی‌تری هستند که نیاز به فعالیت‌های آموزشی در محیط دانشگاه دارند. نتایج پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که کار با مدل‌های فیزیکی سازه، بهره‌گیری از نرم‌افزارهای سازه‌ای و همچنین انجام تمرینات طراحی سازه در ذیل فرآیند طراحی معماری، از جمله فعالیت‌های موثر در این خصوص هستند. استفاده از مدل‌های فیزیکی، بر درک اولیه از رفتار سازه‌ها مؤثر است. شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای از مدل‌های سازه‌ای، تحلیل‌های پیچیده‌تری از رفتار سازه‌ها را به صورت بصری نمایش می‌دهد و انجام تمرینات طراحی سازه در ذیل طراحی معماری، بر آموزش کاربرد دانش سازه در طراحی معماری تاکید می‌کند. آموزش مبانی سازه به معماران با هدف کاربرد آن در حل مسائل طراحی معماری صورت می‌پذیرد، بنابراین لازم است کاربرد دانش‌های نظری سازه در طراحی معماری نیز آموزش داده شود. این مهم با تمرینات طراحی در کنار آموزش‌های نظری سازه می‌تواند محقق گردد.

فهرست منابع

- زینلی نصرآبادی، فوزیه (۱۴۰۱)، فهم هندسی سازه و یادگیری معنادار در طراحی معماری، استدلال دیاگرامی مدلی برای ساخت دانش سازه در طراحی معماری، پایان نامه دکتری، دانشگاه یزد.
- زینلی، فوزیه و فرح‌زا، نریمان (۱۳۹۹)، انسجام دانش فنی و آموزه‌های طراحی در آموزش معماری مقایسه‌ی تطبیقی سرفصل دروس کارشناسی معماری دانشگاه‌های برتر جهان و ایران، نشریه هنرهای زیبا، دوره ۲۵، شماره ۲، صص ۹۵-۱۰۶.
- سلیمانی سارا (۱۳۹۳) بهبود آموزش سازه در رشته معماری با تاکید بر محتوا، روش و رسانه، رساله دکتری، دانشگاه علم و صنعت، ایران.
- شاهرودی عباسعلی، ۱۳۸۷، نقش و تأثیر سازه در فرآیند طراحی معماری موثرسازی آموزش سازه در معماری، رساله دکتری، دانشگاه علم و صنعت، ایران.
- صدراقتی، عباس و حجت، عیسی (۱۳۹۸)، «محتوای آموزش معماری در ایران و میزان موفقیت دوره‌ی کارشناسی در انتقال این محتوا»، دوفصلنامه مطالعات معماری ایران، دوره ۸، شماره ۱۵، صص ۹۱-۱۱۲.
- مولانایی، صلاح‌الدین (۱۳۹۲)، ارتقاء نگرش سازه‌ای در روش طراحی معماری بر مبنای روش ARCH-ST، پایان نامه دکتری، دانشگاه علم و صنعت، ایران.
- Allen, E. Zalewski, W (2009), *Form and Forces: Designing Efficient, Expressive Structures*, Jon Wiley and Sons
- Anderson, L. W. & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman
- Black, R. G., & Duff, S. (1994). *A model for teaching structures: finite element analysis in architectural education*. *Journal of Architectural Education*, 48(1), 38-55
- Chiuini, M (2006), *Less Is More: A Design-oriented Approach to Teaching Structures in Architecture*, *Building Technology Educators' Symposium*, pp 205-2012
- Chi, M. T.
- Halliday, M. A. K., & Hasan, R. (2014). *Cohesion in english* (No. 9). Routledge
- Lachauer L., Kontik . T (2015). «Interactive Parametric Tools for Structural Design.»
- Lonman, B. (2000). «Structural models in design education: visualising form and behaviour.» *Architectural Theory Review* 5(2): 27-43.
- Nadimi, H (1996), *Conceptualizing a framework for integrity in architectural education: with some references to Iran*, PhD Thesis in the Institute of the advanced architectural studies, University of York
- NERVI L., «Academic training of the designer», in *Structures*. F.W. Dodge Corp, Chicago, 1956, pp. 11-24.

- Salvadori, M. (1974). «Teaching Structures to Architects.» *Journal of Architectural Education* 13(1).
- Van Mele, T. Lachauer, L. Rippmann, M. & Block, P. (2012). Geometry-based understanding of structures. *Journal of the international association for shell and spatial structures*, 53(4), 285-295.
- Vassigh, S (2005), *A Comprehensive Approach to Teaching Structures Using Multimedia*, university at buffalo/suny, AIA report on university, pp 133-145.
- Vrontissi, M. (2018). *The Physical Model as Means of Projective Inquiry in Structural*, PhD dissertation at ETH Zurich university, Zurich. Wetzal, C. (2008). An integrated and collaborative approach, *Integrating Technology in a Beginning Discipline*. National Conference on Beginning Design.
- Vrontissi, M., Castellón González, J. J., D'ACUNTO, P., Monzó, L. E., & Schwartz, J. (2018, June). Constructing Equilibrium": A methodological approach to teach structural design in architecture. In *INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL ENGINEERING EDUCATION WITHOUT BORDERS* (Vol. 4, pp. 617-627).
- Wetzal, C. (2008). *An Integrated and Collaborative Approach: Integrating Technology in Beginning Design*. Georgia Institute of Technology
- Wetzal, C. (2012). «Integrating Structures and Design in the First-Year Studio.» *Journal of Architectural Education*, 66:1.
- Whitehead, R. (2013). Supporting Students Structurally: Engaging Architectural Students in Structurally Oriented Haptic Learning Exercises. In *AEI 2013: Building Solutions for Architectural Engineering* (pp. 236-245).
- Whitehead, R. (2019). *Structures by Design: Thinking, Making, Breaking*. Routledge.
- Zheng, H. (2020). Form finding and evaluating through machine learning: the prediction of personal design preference in polyhedral structures. In *Proceedings of the 2019 DigitalFUTURES: The 1st International Conference on Computational Design and Robotic Fabrication (CDRF 2019) 1* (pp. 169-178). Springer Singapore.

overview of structural Education methods for architects

An approach to the integration of structural taught in integration with architectural design process

Fouzieh zeinali Nasrabadi¹

Nariman farahza²

Received Date: 2022 Apr 9

Accepted Date: 2022 Jul 27

Abstract

Concerns about how to teach architecture in schools of architecture were highlighted in 1976 at the University of California–Berkeley. The reasons for dissatisfaction with structural education in the schools of architecture at that time were summarized as follows: Separation of the field of knowledge of “structure” from other fields of knowledge in the field of architecture and inconsistency of structural concepts with the process Architectural design, traditional teaching methods, and concepts branched out from the curriculum in civil engineering schools that have not been developed to meet the needs of architects, superficial and weak concepts that are not satisfactory for the topics and technical needs of architecture. Many researchers have sought to investigate the causes of this problem and answer it. This article provides an overview of the research that has taken place in the field, and also examines the structural education curriculum at several selected universities, including Berkeley University, which initiated the movement. The results of this study show that teaching the basics and generalities of structure to architects is the first step in teaching structure. Understanding the behavior of structures and using structures as a creative force in design are higher educational goals that require educational activities on campus. The results of research show that working with physical models of structures, using structural software and also performing structural design exercises under the architectural design process, are among the effective activities in this regard. The use of physical models affects the initial understanding of the behavior of structures. Computer simulations of structural models visualize more complex analyzes of the behavior of structures, and perform structural design exercises under architectural design to teach the application of structural knowledge in Emphasizes architectural design. Teaching architects the basics of structure in order to use it in solving architectural design problems. Therefore, it is necessary to teach the application of theoretical knowledge of structure in architectural design. This can be done with design exercises along with structural theoretical training. . This research has been done by collecting data libraries as well as content analysis–research method.. The purpose of this study was to find effective methods tested for structural education for architects.

Keyword: Structure, Architectural Design, Application, Architectural Education, Curriculum

1. Ph. D Student in Architecture, Yazd University, Yazd, Iran.

2. Assistant Professor of Architecture, Art & Architecture Faculty, Yazd university, Yazd, Iran.