فصلنامه آموزش مهندسی ایران، سال نوزدهم، شماره ۷۳، بهار ۱۳۹۶، صص. ۱۱۷-۸۹

تحلیلی بر ضرورت استفاده از مدل فیزیکی در آموزش دروس سازه‌ای بر اساس مدل یادگیری بلوم (مطالعهٔ موردی: درس سیستمهای ساختمانی دانشجویان معماری دانشگاه تهران)

کتایون تقی‌زاده [۱] و لادن وجدان‌زاده [۲]

چکیده: مدل‌سازی یکی از فنون ذهنی بشر است که نه‌تنها برای اهداف علمی، بلکه برای انجام امور روزمره بشر به‌دفعات مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش دانشجویان باتوجه‌به دانش سازه‌ای به آزمون آموخته‌ها و تجربیات خود می‌پردازند و آشنایی با ساختارها و سیستمهای ساختمانی به‌صورت عملی و تجربی از مهم‌ترین ویژگیهای این سیستم است. در این پژوهش سعی بر آن است تا با استفاده از مدل یادگیری بلوم، در آموزش درس سیستمهای ساختمانی در مقطع کارشناسی معماری دانشگاه تهران به ارتقای میزان یادگیری مفاهیم سازه‌ای در دانشجویان معماری بپردازد. روش تحقیق به‌کارگرفته‌شده در این مقاله، روش تحقیقات کاربردی و بر اساس خصوصیت موضوع روش توصیفی است. نتایج حاصل از پروژه‌های ارائه‌شدهٔ دانشجویان مبین این امر است که مطابق مدل یادگیری بلوم، مدل سازه‌ای فیزیکی شیوه‌ای مناسب در شناخت رفتار سازه‌ای است و شرایط لازم برای یادگیری و آزمودن آموخته‌های دانشجویان فراهم می‌شود.

واژه‌های‌کلیدی: آموزش طراحی سازه‌ای، سازهٔ باز شونده و جمع‌شونده، معماری قابل‌حمل، قیچی‌سان، مدل یادگیری بلوم

---

۱. دانشیار، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. ktaghizad@ut.ac.ir

۳. کارشناسی ارشد معماری، دانشکده معماری، پردیس بین المللی کیش دانشگاه تهران، کیش، ایران. (نویسنده مسئول). l.vojdanzade@ut.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۶/۱۴)

(پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۲۶)

DOI: 10.22047/ijee.2017.60690.1406

۱. مقدمه

با مروی بر گذشته می‌توان به این مهم دست یافت که در ایران فاصلهٔ معناداری میان فنّاوری(سازه) و معماری وجود دارد که ریشه‌های آن را باید در انقلاب صنعتی و ابداع مصالح جدید نظیر فولاد و بتن، آغاز نهضت تجدد، توسعهٔ دانش سازه و روشهای محاسبه و طراحی جست‌وجو کرد. صاحب‌نظران و منتقدین بر این باورند که یک معمار خوب باید دانش عمومی دربارهٔ رفتار سازه‌ها داشته باشد. به‌علاوه، یک هنرمند باید، متعهد به رعایت اصول طراحی معماری و معیارهای زیباشناسی باشد (چارلسون، ۲۰۰۵). اینها ویژگیهایی است که ویتروویوس[1] در *ده کتاب معماری*[2] برای معمار برشمرده است. وی بر این باور است که معمار باید به اندازه‌ای آموزش دیده باشد تا بتواند جاودانگی بیشتری در آنچه خلق کرده است به ارمغان آورد؛ براساس ارکان سه‌گانهٔ ویتروویوس استحکام[3]، سودمندی[4] و زیبایی[5] و آموخته‌هایش در طول سالیان می‌توانند به تحقق رویاهای بشری بپردازد. (وجدان‌زاده و تقی‌زاده، ۱۳۹۰)

این در حالی است که گنجاندن دروس فنی و سازه‌ای نیز در مقاطع مختلف رشتهٔ معماری نتوانسته است این نقص را جبران کند. به‌طور کلی دلایل متعددی را می‌توان برشمرد:

- انتقال ندادن دانش فنی،
- مشکلات اقتصادی،
- ناتوانی معماران در طراحی و اجرای سیستمهای سازه‌ای جدید،
- آموزش ندیدن صحیح دروس فنی در رشتهٔ معماری.

سیستم آموزش دروس سازه‌ای در ایران بر مبنای سیستم سنتی استاد و شاگردی (استادمحور) استوار است و مشارکت نکردن دانشجو در فرایند تدریس از نقایص این سیستم به شمار می‌رود. همچنین سرفصل دروس سازه‌ای برای دانشجویان معماری اغلب برپایهٔ بهره‌گیری از محاسبات ریاضی استوار شده است. بهره نگرفتن از دروس سازه‌ای ارائه‌شده در مباحث معماری و طرحهای معماری در دوران دانشجویی از ضعفهای دیگر این سیستم آموزشی است. اکثریت قریب‌به‌اتفاق دانشجویان معماری با ضعف دانش عمومی در شناخت سیستمهای ساختمانی و رفتار سازه‌ای مواجه هستند که این مهم نیز از

---

1. Vitruvius
2. Ten Books on Architecture
3. Firmitas
4. Utilitas
5. Venustas

تأثیرات ناکارآمدی مباحث سازه‌ای در سیستم آموزشی است. هرچند با وجود چاپ و نشر کتابهای متعدد در این زمینه در سالهای اخیر باز هم این معضل همچنان باقی است.

پژوهشگران متعددی در مقاله‌ها و پژوهشهای خود به بررسی شیوه‌های مختلف آموزش مفاهیم سازه‌ای به دانشجویان معماری پرداختند. انصاری، امیرخانی و اخوت (۱۳۸۸) در پژوهش خود دریافتند که از طریق انتقال مفاهیم به کمک مدلهای آموزشی و بهره‌گیری از ساختارهای طبیعی به‌عنوان یکی از مؤثرترین شیوه در آموزش دروس سازه به معماران پیشنهاد می‌شود.

این مقاله بر آن است تا با ارائهٔ شیوه‌ای متفاوت در نحوهٔ تدریس یکی از دروس فنی رشتهٔ معماری در مقطع کارشناسی به آزمودن این فرضیه بپردازد که آیا مدل فیزیکی سازه‌ای می‌تواند به‌عنوان شیوه‌ای در درک رفتار سازه‌ها مورد استفاده قرار گیرد؟ در این مقاله پس از مروری کوتاه بر مدل یادگیری بلوم به توضیح طرح درس ارائه‌شده در واحد درسی سیستمهای ساختمانی پرداخته شده و در نهایت به بررسی پروژه‌های دانشجویان خواهیم پرداخت.

۲. یادگیری

برای یادگیری تعریفهای بسیاری وجود دارد که هریک از آنها به جنبهٔ ویژه‌ای از فرایند یادگیری توجه کرده‌اند. در بسیاری از آنها استاد و معلم نقش اساسی را بر عهده دارند و وظیفهٔ وی انتقال اطلاعات به فرد یادگیرنده است و شاگرد به‌عنوان انبار یا مخزنی خالی تصور می‌شود که معلم باید آن را پر کند (شریعتمداری، ۱۳۶۶). اینکه یادگیری چگونه و در چه شرایطی صورت می‌گیرد بین روان‌شناسان اختلاف‌نظر وجود دارد. نظریه‌های معاصری، که یادگیری و نظام آموزشی را تحت‌تأثیر قرار داده‌اند، می‌توان به دو مجموعه بزرگ طبقه‌بندی کرد:

- نظریهٔ شرطی (رفتارگرا)
- نظریهٔ شناختی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۲. ۱. نظریهٔ شرطی

نظریهٔ شرطی یادگیری عبارت است از ایجاد و تقویت رابطه و پیوند بین محرک و پاسخ در سیستم عصبی انسان. در این نظریه صاحب‌نظران همچون پاولوف، واتسون، ثراندیک و اسکینر به دنبال شرطی شدن کلاسیک، ابزاری، فعال و مواردی از این قبیل‌اند. از نظر ایشان در فرایند یادگیری ابتدا وضع یا حالتی در یادگیرنده اثر می‌کند سپس او را وادار به فعالیت کرده و بین آن وضع (حالت) و پاسخ ارائه‌شده ارتباط برقرار می‌شود و سرانجام عمل یادگیری صورت می‌گیرد. در واقع، یادگیری عبارت است از ارتباط بین محرک و پاسخ (شریعتمداری، ۱۳۶۶).

۲. ۲. نظریهٔ شناختی

در نظریهٔ شناختی یادگیری ناشی از شناخت، ادراک و بصیرت است. بلوم برای یادگیری سه حوزهٔ اندیشیدن (شناختی)، نگرش (عاطفی)، فعالیتهای بدنی (روانی ـ حرکتی) را در نظر گرفت. وی در رده‌بندی خود یادگیری را به سطوح مختلفی تقسیم می‌کند و به‌این‌ترتیب به آموزشگران این امکان را می‌دهد که به‌طور آگاهانه آموزش خود را پیرامون مباحث درسی با اهداف آموزشی و سطح انتظار خود از یادگیرندگان منطبق سازند. اهداف حیطه‌شناختی بر یادآوری یا بازسازی چیزی تأکید می‌کند که آموختنش ضروری است. در این حیطه اهداف از ساده‌ترین سطح شناخت به پیچیده‌ترین امور تنظیم شده است. ترتیب اهداف به‌گونه‌ای است که هدفهای هر طبقه شامل بخشی از رفتارهای پایین‌تر و مبتنی بر آن رفتارهاست. به عبارت دیگر، برای رسیدن به هر سطحی از رشد فکری ضروری است که مراحل پیشین طی شده باشد (شعبانی، ۱۳۸۴).

نمودار ۱. سطوح مختلف اهداف آموزشی در حیطهٔ شناختی بلوم

۳. مدل سازه‌ای فیزیکی

مدل‌سازی به‌طور کلی یعنی شبیه‌سازی یک محیط با اندازه‌های متفاوت از محیط واقعی و گاهی، مواد و مصالحی متمایز از جنس مواد و مصالح محیط مدل شده است.

در مدل‌سازی ابتدا اجزای محیط واقعی انتخاب شده و متناسب با هدف موردنظر از مدل‌سازی خصوصیاتی از هریک از اجزای واقعی انتزاع می‌شود، یعنی به‌ازای هریک از اجزای محیط واقعی یک

موجودیت تجریدی ساخته شده و با برقراری ارتباطی مشابه با ارتباط اجزای واقعی، در میان موجودیتهای تجریدی، محیط واقعی مدل می‌شود.

سازه‌های ماکارونی، سازه‌های تنسگریتی با نی و کش، سازه‌های تاشونده و اریگامی با کاغذ و سازه‌های بازشونده و جمع‌شونده با سیخ چوبی از جمله مدلهای سازه‌ای فیزیکی هستند که دانشجویان با ساخت آنها تصور و درک بهتری از سازه و عملکرد آن خواهند داشت (وجدان‌زاده و تقی‌زاده، ۱۳۹۰)

۴. سازهٔ بازشونده و جمع‌شونده

یک سازهٔ بازشونده و جمع‌شونده از قطعات پیش‌ساخته یا المانهایی که می‌توانند باز و بسته شوند و در حالتهای ازپیش‌تعیین‌شده قرار بگیرند تشکیل شده است ضمن این که توانایی تحمل بار را هم دارند(Gantes, 2001)

سازه‌های بازشونده و جمع‌شونده زیرمجموعه‌ای از سازه‌هایی هستند که به‌سرعت و سهولت نصب می‌شوند و می‌توان آنها را به‌راحتی برای استفادهٔ مجدد جمع‌آوری کرد؛ نیاز به چنین سازه‌هایی از زمانهای قدیم وجود داشته است. (Hebbelinck et al., 2004). یعنی از زمانی که قبایل چادرنشین برای یافتن مرتع و چراگاههای بهتر از جایی به جایی دیگر نقل مکان می‌کردند سازه‌های کوچک و سبک و متراکم مانند سیاه‌چادرها، خیمهٔ سرخ‌پوستان و چادر کروی عشایر چنین نیازی را برآورده می‌کردند، اکثر این سازه‌ها با وصل کردن میله‌های راستِ ساده در روی زمین به یکدیگر نصب شده و با پارچه‌های سخت پوشیده می‌شوند. باز کردن و نصب آنها برای ابعاد متوسط هر چند وقت زیادی نمی‌گرفت اما به‌هرحال وقت‌گیر و مخصوصاً در شرایط نامساعد آب‌وهوایی مشکل‌آفرین بود. (Pellegrino, 2002).

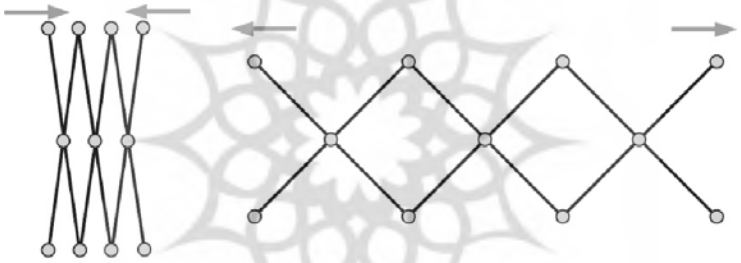
۴. ۱. مزایای سازه‌های فضایی بازشونده و جمع‌شونده

- قابلیت گسترش یک یا چند بار،
- امکان استفاده در تمام سازه یا بخشی از آن،
- سهولت جابه‌جایی و حمل‌ونقل،
- نصب سریع و آسان،
- امکان استفاده در بحران،
- اقتصادی بودن (که بستگی به مقیاس و نوع پروژه نیز دارد) (کاوه و دیگران، ۱۳۸۳)،
- پیش‌ساخته بودن،
- سبک و کم‌حجم بودن،
- نیاز نداشتن به نیروی متخصص و تجهیزات کم برای نصب و برچیدن ساز

- قابل جمع شدن و جمع‌آوری و انتقال و نصب مجدد و ...

۴. ۲. سازۀ قیچی‌سان[1]

یک واحد قیچی‌سان از دو میله تشکیل شده است که با اتصال مفصلی به یکدیگر متصل می‌شوند. اعضا می‌توانند حول محور در آن نقطه با یک زاویۀ مشخص Θ بچرخند. با اتصال موازی واحدهای قیچی‌سان (اتصال نقاط انتهایی) به یکدیگر ساده‌ترین سازۀ قابل‌توسعه دوبُعدی ایجاد می‌شود. به عبارت دیگر، سازکار المانهای قیچی‌سان براساس رفتار و عملکرد سازه قیچی‌سان است. این مجموعه با کشیدن یا فشار دادن انتهای آن تغییر شکل می‌دهد و باز و جمع می‌شود، برای استفادۀ سازه‌ای از این سازکار باید آن را محدود کنیم تا قابلیت باربری پیدا کرده و پایدار شود. شیوۀ ساخت پیشنهادی در این مقاله نیز بر اساس نوع قیچی‌سان است.

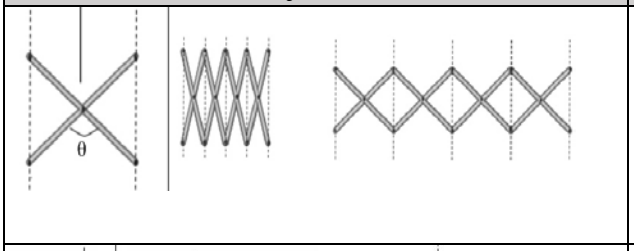
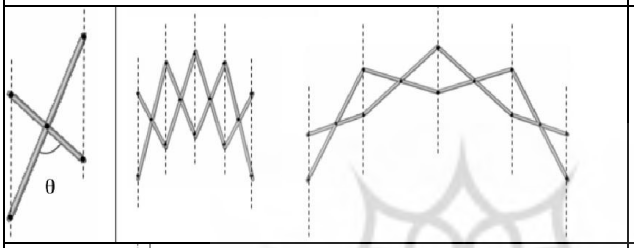
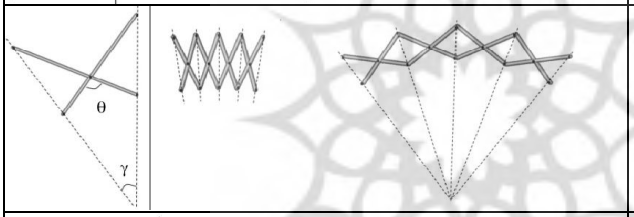
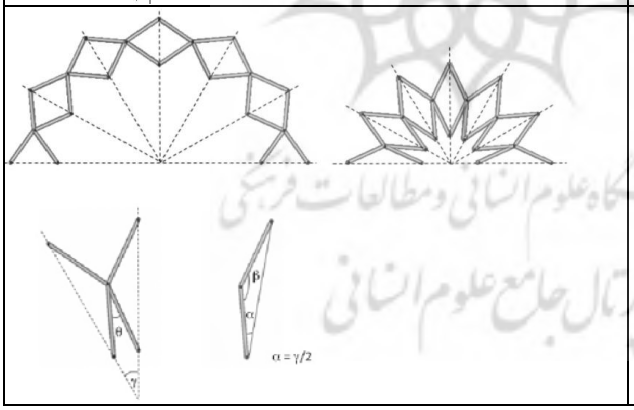


شکل۱: واحدهای قیچی‌سان و سازکار حرکتی آن

سازه‌های بازشونده و جمع‌شوندۀ قیچی‌سان از نقاط ابتدا و انتها به یکدیگر متصل‌اند و بسته به موقعیت مفصل میانی و شکل میله‌ها به ۳ گروه تقسیم می‌شوند (Mira, 2010).

1. Pantograph

جدول ۱: سازه‌های قیچی‌سان

نوع	شکل اعضا			شکل
واحد انتقالی[1]	متشکل از عناصر مستقیم‌الخط با حرکت انتقالی	صاف	شامل دو میله با یک اندازه که سیستم تاشو[2] نیز گفته می‌شود	
		منحنی	شامل دو میله با اندازهٔ متفاوت	
واحد قطبی[3]	متشکل از عناصر مستقیم‌الخط ولی اتصالات در بخش میانی قرار ندارد			
واحد زاویه‌دار[4]	عناصر تشکیل‌دهندهٔ واحدهای قیچی‌سان زاویه‌دار مستقیم‌الخط نیستند. این واحد متشکل از دو میله زاویه‌دار با طول برابر تشکیل شده است که زاویه بین دو المان برابر β است			

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

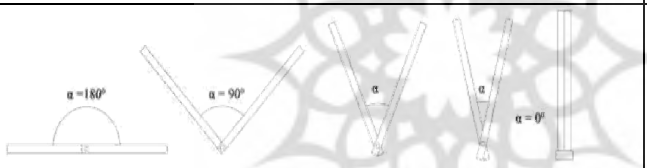
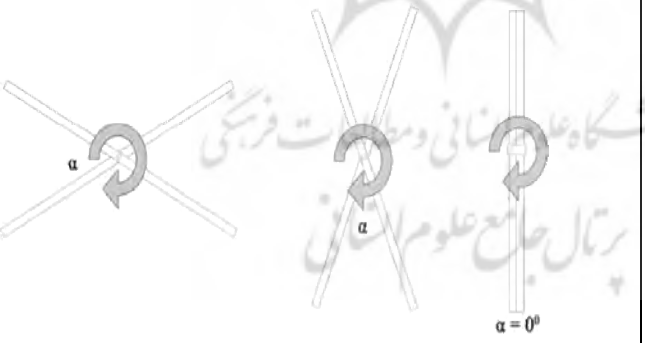
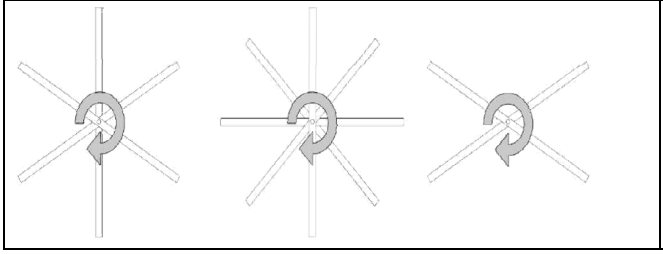
1. Translational Units
2. Lazy- Tong
3. Polar Units
4. Angulated Units

۴. ۳. طرح گره‌ها و اتصالات

یکی از مباحث مهم در طراحی سازه‌های فضایی مسئلهٔ طراحی اتصالات و گره‌ها است؛ در سازه‌های بازشونده و جمع‌شونده نیز طرح گره‌ها از قسمتهای مهم طراحی سازه محسوب می‌شود و نوع اتصالات انتخابی می‌تواند اثر زیادی در عملکرد سازه و قابلیتها و محدودیتهای آن داشته باشد. مسئلهٔ دیگر در طرح سازه‌های بازشونده و جمع‌شونده روشهای مورداستفاده برای باز شدن و جمع کردن سازه است. برای این کار می‌توان از روشهای مختلفی، که گاه برحسب محدودیتها و شرایط خاص در نحوهٔ استفاده از سازه انتخاب می‌شوند، استفاده کرد؛ ازجمله این روشها می‌توان استفاده از جکهای هیدرولیکی یا دستی، استفاده از موتورهای الکتریکی، استفاده از کابل و استفاده از وزن سازه و ... نام برد (جعفروند، ۱۳۷۷).

باتوجه‌به نوع مصالح انتخابی در بخش عناصر خطی ۳ نوع اتصال متفاوت وجود دارد.

جدول ۲: نحوهٔ اتصالات

نوع اتصال	نحوه اتصال	شکل
اتصال ابتدایی یا انتهایی	دو المان به یکدیگر متصل می‌شوند به‌طوری‌که بتوانند نسبت به یکدیگر زوایای مختلف از صفر تا ۳۶۰ درجه داشته باشند	
اتصال میانی نوع ۱	دو المان در مکانی به غیر از ابتدا و انتها به یکدیگر متصل می‌شوند.	
اتصال میانی نوع ۲	اتصال بیش از ۲ المان به یکدیگر	

۵. فرایند پژوهش

یکی از دروس فنی رشتهٔ معماری درس سیستمهای ساختمانی یا سازه‌های نو است که براساس سرفصل مصوب وزارت علوم این درس در مقطع کارشناسی معماری به‌عنوان یک درس اختیاری و در غالب دو واحدی نظری ارائه می‌شود. هدف از ارائهٔ این درس عبارت از:

- آشنا کردن دانشجویان رشتهٔ معماری با سیستمهای ساختمانی نو و تجربیات جدید مهندسی و معماری،
- تجزیه‌وتحلیل انواع سیستمهای موردبحث در حالت بارگذاری،
- ایجاد بستر مناسبی در دانشجویان برای به‌کارگیری متناسب سیستمهای سازه‌ای جدید در پروژه‌های طراحی در دانشگاه و محیط حرفه‌ای.

جامعه آماری پژوهش دانشجویان معماری مقطع کارشناسی معماری دانشگاه تهران هستند. طبق مدل یادگیری بلوم این درس در ۴ مرحله ارائه شد:

- تدریس مفاهیم سازه‌ای مطابق سرفصل مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فنّاوری،
- آشنایی دانشجویان با سازه‌های بازشونده و جمع‌شوندهٔ قیچی‌سان و انجام یک تمرین عملی و آشنایی با ویژگیها و خصوصیات مصالح پیشنهادی،
- ساخت مدل سازه‌ای در مقیاس واقعی با قابلیت بارگذاری توسط دانشجویان براساس گام اول و دوم،
- ارزیابی (مدل سازه‌ای فیزیکی و آموخته‌ها در بخش نظری).

۶. آشنایی با مصالح و فرایند ساخت

۶. ۱. مصالح

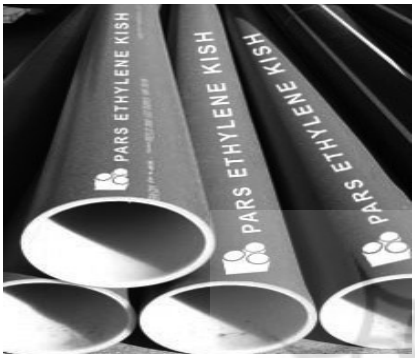
- لولهٔ مقوایی
- لولهٔ پی‌وی‌سی یا پولیکا
- پیچ، مهره و واشر
- چسب نواری
- ابزار مناسب برش لولهٔ مقوایی و لولهٔ پولیکا
- متهٔ برقی
- کابل نازک (در صورت نیاز)

شکل ۲: لولهٔ مقوایی

۶. ۱. ۱. خصوصیات مصالح پیشنهادی

لولهٔ مقوایی

لوله‌های مقوایی از چند لایه مقوا و چسب تشکیل شده‌اند که بسته به نوع کاربری، بخش میانی (گوشت) ضخیم و فشردهٔ متنوعی دارد. سبکی، بازگشت‌پذیری به طبیعت، سهولت برش و بالا بودن نسبت مقاومت به وزن، مقاومت مناسب در کشش و فشار از جمله ویژگیهایی است که این مصالح دارند. از این مصالح به‌عنوان عناصر خطی در سازه استفاده خواهد شد.



شکل ۳: لولهٔ پی‌وی‌سی یا پولیکا

لولهٔ پی‌وی‌سی یا پولیکا

لوله بافتی منسجم و مقاوم دارد و درعین‌حال از انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار است؛ بنابراین می‌توان برای ایجاد اتصالات از آن بهره برد[۱].

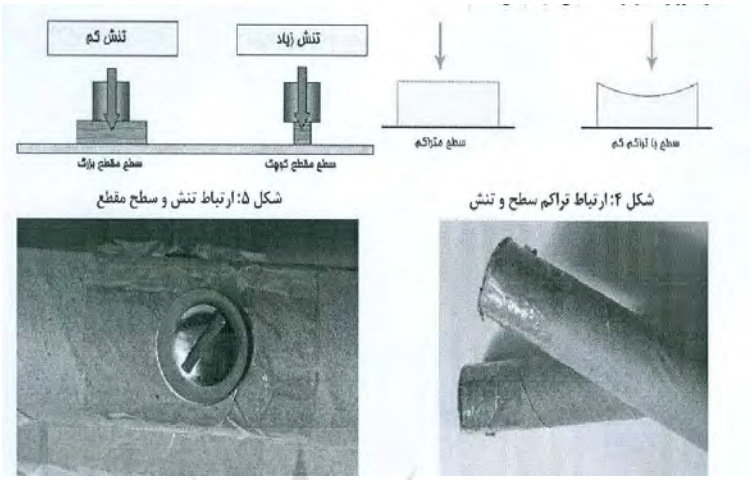
۶. ۲. اجرا

چنانچه در بخشهای پیشین اشاره شد، برای ساخت سازهٔ قیچی‌سان به سه نوع اتصال نیاز است. برای ایجاد اتصالات به صورت ذیل عمل خواهیم کرد:

در تمامی اتصالات هنگام سوراخ کردن از چسب نواری استفاده شده است. بافت لوله‌های مقوایی فشرده و متراکم نیست و برای ممانعت از آسیب به بافت آن از چسب نواری به‌صورت چندلایه استفاده شده است. همچنین برای توزیع و پخش نیرو در سطح گسترده‌تری در زیر تمام پیچها واشر تعبیه شده است. چسب نواری بافت منجسم‌تری برای اعمال نیرو و فشار از جانب پیچ فراهم می‌سازد.

---

۱. لوله‌های پی‌وی‌سی تحت بار قادرند بدون شکستگی تغییر شکل بدهند. مدل کشسانی این مصالح یکی از مزایای مهم آن در کاربردهای فنی محسوب می‌شود. این لوله‌ها به‌گونه‌ای فرمول‌بندی می‌شوند که استحکام کششی بلندمدت بالایی داشته باشند. حداقل استحکام موردنیاز که در طراحی لوله‌های تحت فشار به کار می‌رود، برای لوله‌های پولیکا در حدود دوبرابر بیشتر از مقادیر متناظر دیگر لوله‌های پلاستیکی نظیر پلی‌اتیلن است. به همین دلیل، هم ضخامت لوله‌ها نسبت به سایر لوله‌های پلاستیکی کمتر است و درنهایت وزن کمتری نیز دارند، که این مسئله مزیت مهمی محسوب می‌شود. بنابراین در این اتصالات نسبت استحکام به وزن بالا است.



شکل ۶: لولهٔ مقوایی به‌همراه چند لایه چسب شکل۷ : استفاده از واشر در زیر پیچ برای توزیع بهتر نیرو

اتصال ابتدایی یا انتهایی

این نوع اتصال را به دو روش می‌توان اجرا کرد:

- قرار دادن دو لولهٔ مقوایی در بخش انتهایی بر روی یکدیگر و اتصال آنها به‌وسیله پیچ و مهره (شکل ۸)،
- قرار دادن دو لولهٔ مقوایی بر روی هم به‌کمک یک لولهٔ پی‌وی‌سی به‌عنوان اتصال؛ در این روش امکان توسعه و اتصال اعضای دیگری نیز وجود دارد (شکل ۹).

اتصال میانی نوع ۱

قرار دادن دو لولهٔ مقوایی بر روی یکدیگر و اتصال آنها به‌وسیلهٔ پیچ و مهره (شکل ۸)

شکل ۸: اتصال ابتدایی و انتهایی و میانی نوع ۱

شکل۹: اتصالات

اتصال میانی نوع ۲

درصورتی‌که بیش از دو عضو به یکدیگر متصل شوند، از یک لوله پی‌وی‌سی همانند اتصال ابتدایی و انتهایی استفاده خواهد شد (شکل ۹ و ۱۰). با اضافه کردن یک حلقه از جنس پی‌وی‌سی در بخش انتهایی سطح اتکای بیشتری می‌توان فراهم کرد (شکل ۱۱). این سازه به‌خوبی در مقابل فشار مقاومت می‌کند و تا بازشدگی کامل سازه پیش می‌رود؛ برای جلوگیری از رانش می‌توان از کابلهایی با طول مناسب و ضخامت کم استفاده کرد.

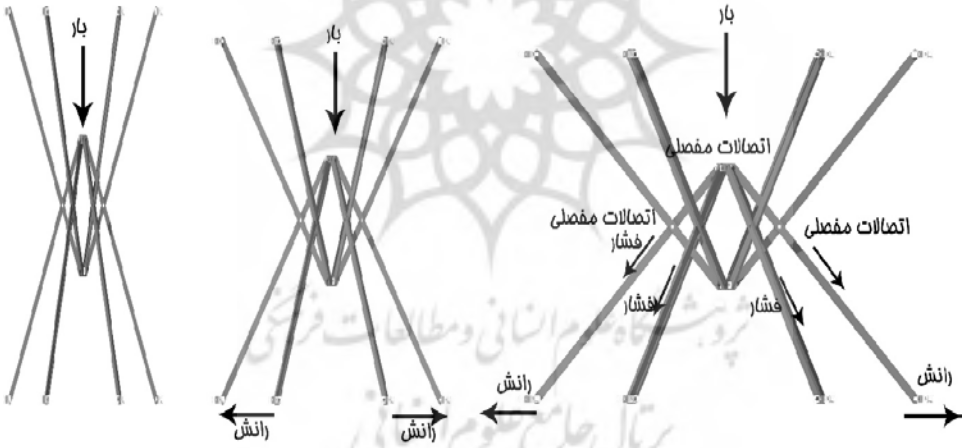
شکل ۱۰: اتصال میانی

به‌عنوان نمونه، با استفاده از هشت میلهٔ یک سازهٔ بازشونده و جمع‌شونده دو سازهٔ V شکل ساخت که به یکدیگر متصل شده‌اند (شکل ۱۲). باتوجه‌به آنچه که در شکل ۱۲ مشخص است، این سازه در اثر نیروی وارده دچار رانش می‌شود. بافت لوله‌های مقوایی به‌گونه‌ای است که فشار را به‌خوبی تحمل می‌کند اما باید میزان رانش کنترل شود. به همین جهت، از چند کابل برای کنترل رانش و میزان بازشدگی سازه استفاده می‌شود.

شکل ۱۱: ایجاد سطح اتکای بیشتر

۶. ۳. تمرین عملی

در یک تمرین عملی دانشجویان با سازه‌های بازشونده و ج‌شوندهٔ قیچی‌سان و مصالح پیشنهادی آشنا شدند و یک مدل را براساس شکل ۱۲ اجرا کردند.



شکل ۱۲: رفتار سازه‌ای طرح پیشنهادی

شکل ۱۳. تمرین عملی **شکل ۱۴. تمرین عملی** **شکل ۱۵. نمونهٔ اجرا شدهٔ طرح پیشنهادی**

ارائهٔ طرح

از دانشجویان معماری دانشگاه تهران در درس سیستمهای ساختمانی درخواست شد تا براساس مطالب ارائه‌شده در بخشهای پیشین و همچنین تجربه‌ای که طی یک تمرین ساده، مانند شکل ۲۴، به دست آورده بودند به ساخت یک صندلی باز شونده و جمع‌شوندهٔ قابل حمل بپردازند.
مواردی برای ارزیابی مد نظر قرار گرفت:

- سبکی سازه،
- قابلیت حمل‌ونقل آسان،
- باز شدن و جمع شدن سریع و آسان،
- راحتی و ایجاد آسایش،
- خلاقیت در طرح،
- پایداری سازه در هنگام بارگذاری.

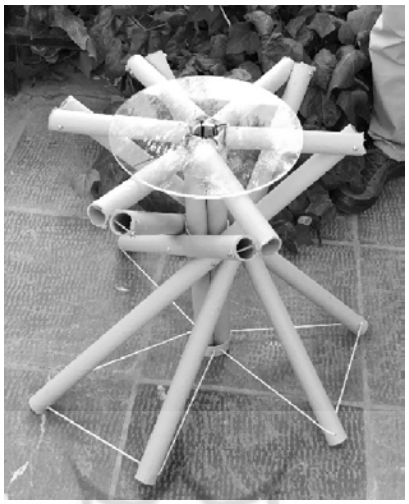
برخی طرحها از سادگی خاصی برخوردار بودند اما درعین‌حال بسیار کارا که اکثریت ویژگیهای مورد نظر را داشتند. در ادامه به بررسی و تحلیل طرحهای ارائه شده خواهیم پرداخت.

طرح شماره ۱

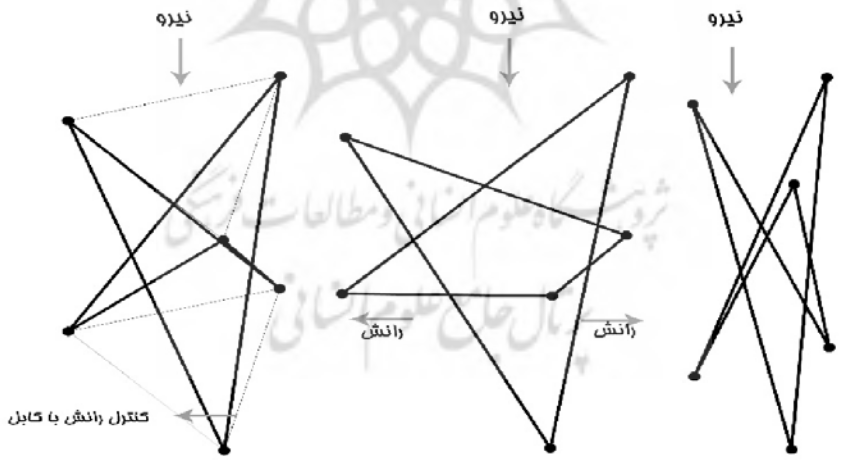
این طرح در عین سادگی، سبک‌ترین سازه و درعین‌حال، با کارآیی بالایی بالا است که به سهولت باز و جمع می‌شود و حمل‌ونقل آن نیز آسان است. در این طرح از شش لولهٔ مقوایی یکسان استفاده شده

است و به‌کمک پیچ و مهره اتصالات موردنیاز در بخش میانی و انتهایی ایجاد شده است. به عبارت دیگر، از ساده‌ترین فرم فضایی در سازه‌های بازشونده و جمع‌شوندهٔ قیچی‌سان استفاده شده است که مدل اولیه و پایهٔ بسیاری از فرمهای فضایی قیچی‌سان است. برای کنترل میزان بازشدگی سازه در هنگام بارگذاری از شش کابل ظریف (سه کابل در بالا و سه کابل در پایین) بهره گرفته شده است. ازجمله معایب این سازه طراحی صفحه‌ای به‌صورت مجزا برای نشستن است.

شکل ۱۶: طرح شماره ۱



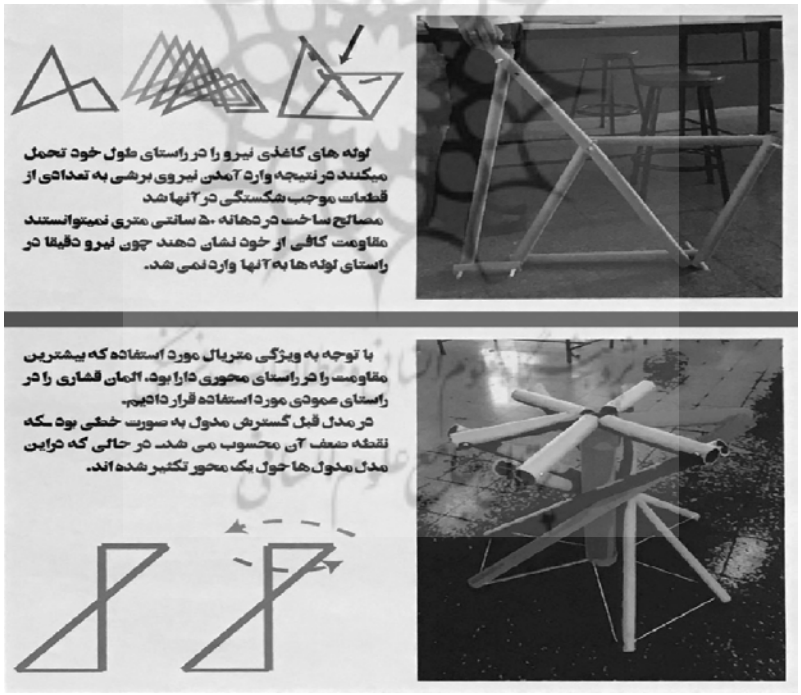
شکل ۱۷: طرح شماره ۲



شکل ۱۸: روند انتقال نیرو در طرح شماره ۱

طرح شمارهٔ ۲

این طرح از پیچیدگی خاصی برخوردار است اما از نگاهی دیگر گسترش یافته طرح اول است. با توجه به‌آنچه که طراحان مطرح کردند در ابتدا شکل شماره ۱۹ به‌عنوان مدل اولیهٔ صندلی ارائه شده است که با تکرار این مدل به فرم نهایی صندلی خواهیم رسید. اما بنابر تحلیل ارائه‌شده و نیز نیروی وارده و وجود اتصالات مفصلی برای ایجاد قابلیت جمع‌شوندگی سازه متوازی‌الاضلاعی که به کمک یکی از اقطار مهار شده، در برابر فشار وارده دچار برش شده و برخی قطعات دچار شکستگی شدند. از همین روی از چند المان عمودی در بخش مرکزی استفاده شده است و سایر عناصر با زوایایی نسبت به هم قرار گرفته‌اند. یعنی یک مدل اولیه که شبیه به نمودار گشتاور خمشی در تیر است به‌عنوان مدل اولیه انتخاب شده و با چرخش ۳۶۰ درجه حول مرکز، سازه نهایی شکل گرفته است. برای کنترل رانش نیز از ۱۲ کابل استفاده شده است. از دیگر مزایای این طرح می‌توان به طراحی صفحه‌ای مناسب برای نشستن اشاره کرد.

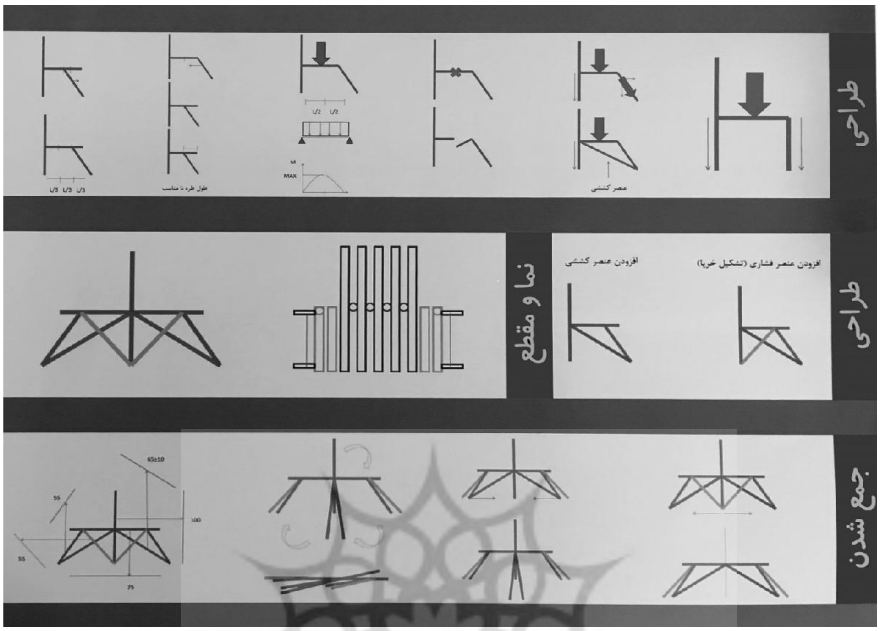


شکل ۱۹: روند طراحی طرح شماره ۲

طرح شمارهٔ ۳

این طرح از جذابیت خاصی برخوردار بوده و برای دو نفر طراحی شده است. برخلاف دو طرح قبل مکانی به‌عنوان پشتی برای کاربر دارد، همچنین به‌کمک کابل از رانش بیش‌ازاندازهٔ سازه هنگام بارگذاری جلوگیری شده است اما اگر فردی به‌تنهایی بر روی آن قرار گیرد، سازه واژگون خواهد شد. باتوجه‌به شکل ۲۱ در طراحی از سیستم طره‌ای و خرپا استفاده شده است؛ هرچندکه بخش طره‌ای، که به‌عنوان پشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اتصال صلب ندارد و دلیل واژگونی هنگام قرار گرفتن فرد بر روی آن همین اتصال نامناسب است. ایجاد خرپاهای مثلثی به‌کمک عناصر فشاری و کششی میزان رانش و بار وارده را کنترل خواهد کرد.

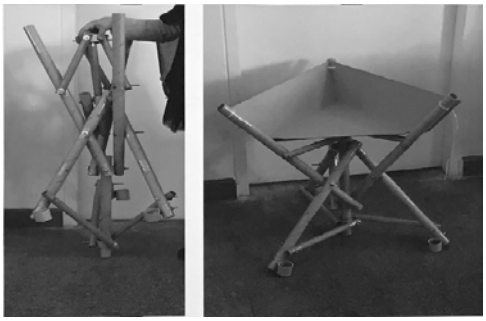
شکل ۲۰: طرح شمارهٔ ۳



شکل ۲۱: روند طراحی طرح شمارهٔ ۳

طرح شمارهٔ ۴

در این طرح علاوه بر استفاده از اتصالات نوع انتقالی و قطبی، دانشجویان به طراحی یک اتصال تلسکوپی پرداخته‌اند تا امکان جمع شدن صندلی به‌راحتی میسر باشد. باتوجه‌به روند طراحی از سه میله برای طراحی استفاده شده است که به‌کمک کابل از رانش بیش‌ازاندازهٔ سازه جلوگیری شده است. اتصال سه عنصر میله‌ای به یکدیگر به‌کمک یک حلقهٔ پی‌وی‌سی امکان‌پذیر است که در بخش میانی قرار دارد. از همین روی، با قرار دادن اتصال میانی، عناصر میله‌ای نیز کوچک‌تر شده و به شش قطعه افزایش می‌یابد. در تکمیل فرایند طراحی کابلها حذف شده و عناصر افقی مقوایی جایگزین آن شده‌اند. همچنین با تغییر زاویهٔ یکی از لوله‌ها به ۹۰ درجه یک پایهٔ تلسکوپی طراحی شده است تا ایستایی سازه تضمین شود.

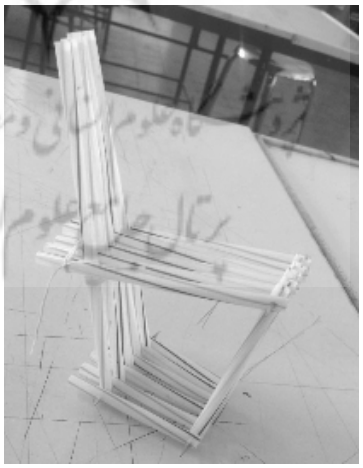


شکل ۲۲ و ۲۳. نحوهٔ باز شدن و جمع شدن

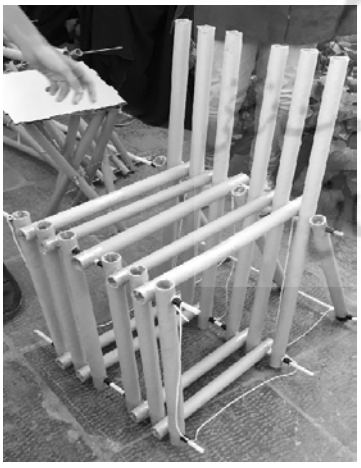
شکل ۲۴. طرح شماره ۴

طرح شماره ۵

این طرح شباهت بسیاری به طرح شمارهٔ ۳ دارد. طبق طرح اولیه (شکل ۲۱) و وجود اتصالات مفصلی در هنگام بارگذاری سازه پایدار نخواهد بود و احتمال فروریختن آن وجود دارد. بنابراین در زمان اجرا از چهار کابل و یک پایه در بخش پشت سازه استفاده شده است تا به‌کمک پایه به‌عنوان یک شمع عمل کند و با کشش کابل سازه پایدار بماند. اما به‌دلیل شرکت نداشتن کابلهای بخش تحتانی در کشش کامل هنگام بارگذاری سازه از استحکام کافی برخوردار نیست.



شکل ۲۵: طرح اولیهٔ طرح شمارهٔ ۵



شکل ۲۶: طرح شمارهٔ ۵

شکل ۲۷: قابلیت حمل طرح شمارهٔ ۵

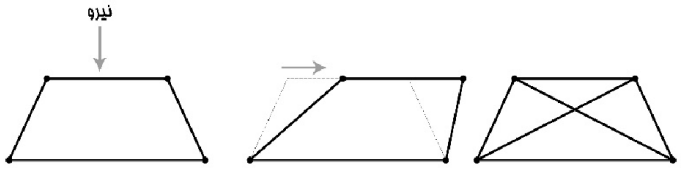
شکل ۲۸: روند طراحی طرح شمارهٔ ۴

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

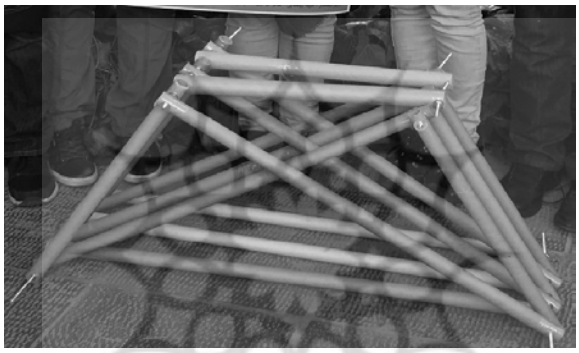
طرح شمارهٔ ۶

در این طرح برای کنترل و تحمل بار وارده و جلوگیری از برش از عناصر قطری بهره گرفته شده است. اما همین مهار قطری مانع از باز شدن و جمع شدن سریع این سازه خواهد بود.

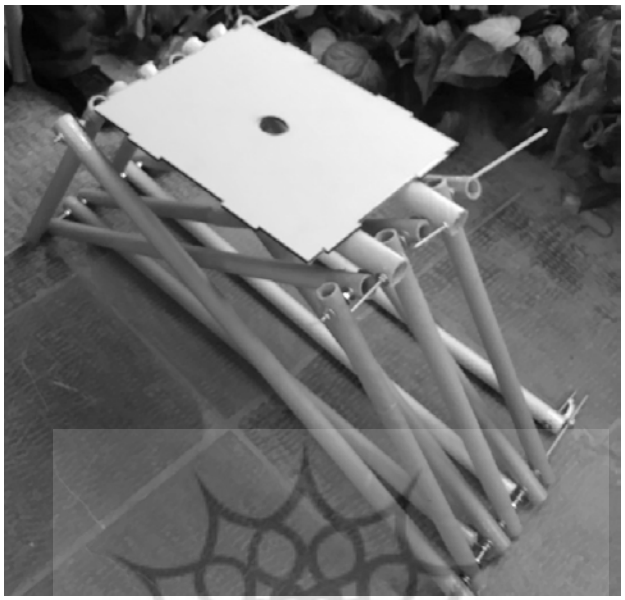
برای محل نشمین از دو لوله به فاصلهٔ کم استفاده شده است اما می‌توان صفحه‌ای را نیز برای راحتی و آسایش بر روی آن قرار داد.



شکل۳۰: انتقال نیرو در سازه



شکل ۳۱: نحوه باز و بسته شدن سازه

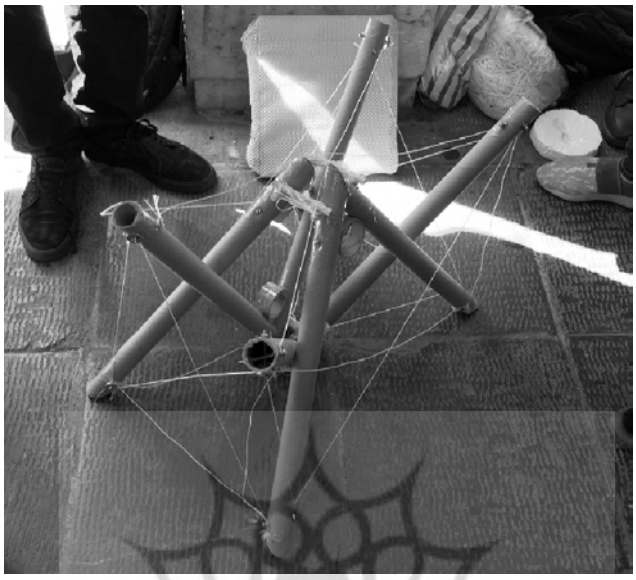


شکل ۳۲: طرح شمارهٔ ۶

طرح شمارهٔ ۷

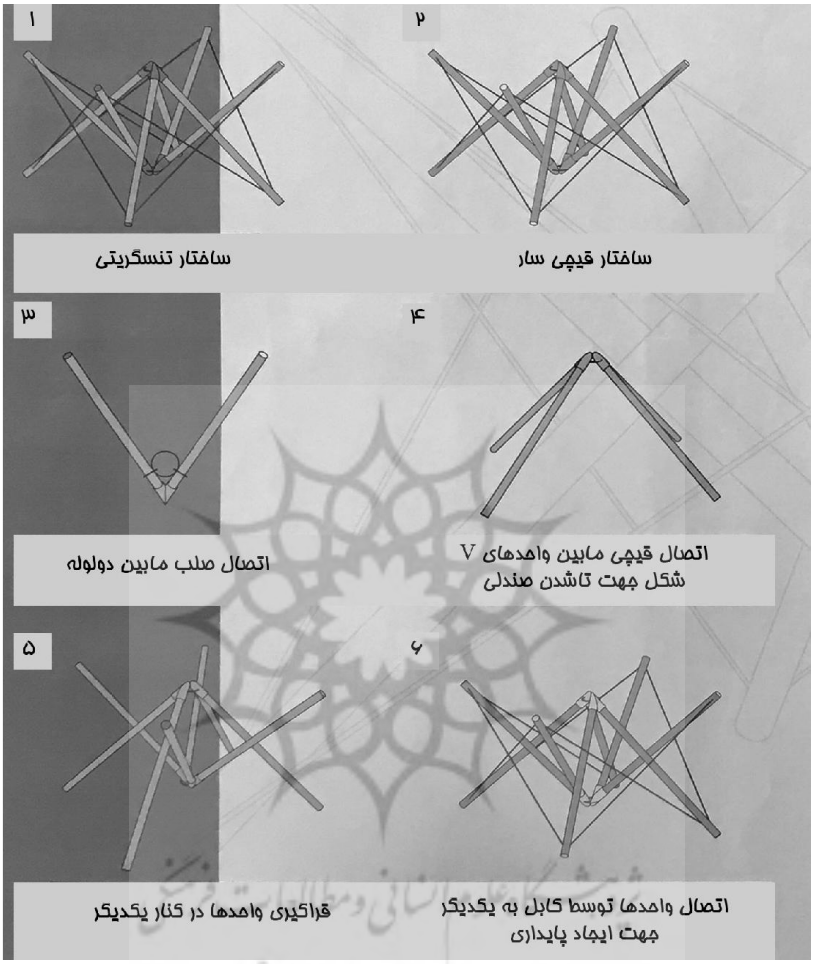
این طرح از ترکیب چهار مثلث به دست آمده است که یکی از اضلاع مثلث را کابل تشکیل می‌دهد؛ البته برخی از کابلها در فرایند بارگذاری شرکت نمی‌کنند و استفاده از آنها ضروری نیست. همچنین به‌جای استفاده از اتصالات Vشکل از جنس مقوا می‌توان از یک اتصال مرکزی همانند شکل ۱۰ استفاده کرد تا فرایند باز شدن و جمع شدن راحت‌تر انجام شود. این طرح جزوهٔ سازه‌های سبک محسوب می‌شود.

پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۳۳: طرح شمارهٔ ۷

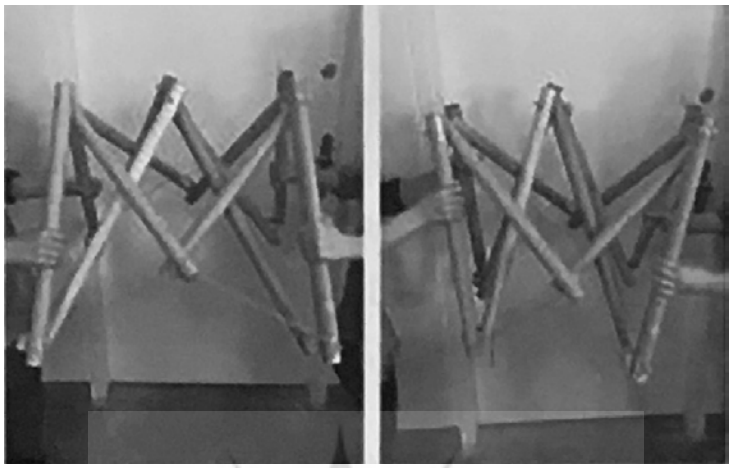
شکل ۳۴: باز و بسته شدن سازه



شکل ۳۵: روند طراحی

طرح شمارهٔ ۸

در نگاه اول این طرح بیشتر مناسب یک میز است. بخش بزرگی که برای نشیمن در نظر گرفته شده است به‌صورت مجزا است و وزن قابل‌توجهی دارد. همچنین برای کنترل میزان بازشدگی از زنجیر استفاده شده است که نسبت به کابل عملکرد مناسبی ندارد. نحوهٔ چیدمان لوله‌های مقوایی هم به‌گونه‌ای است که در هنگام نشستن مزاحمت برای کاربر ایجاد نخواهد کرد.



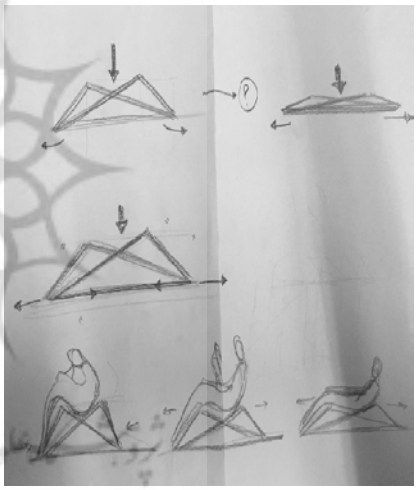
شکل ۳۶: نحوهٔ باز شدن و جمع شدن سازه

شکل ۳۷: طرح شمارهٔ ۸

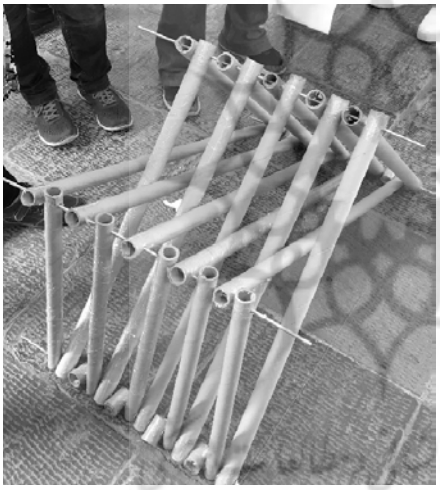
طرح شمارهٔ ۹

این طرح مشابه طرح شمارهٔ ۶ است. اما عناصر افقی در بخش تحتانی، که در طرح شمارهٔ ۶ برای کنترل رانش سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد، در این طرح وجود ندارد. همچنین در این طرح باید فرد به‌صورت نیم‌خیز بر روی آن قرار گیرد؛ در نتیجه نشستن بر روی آن دشوار خواهد بود.

شکل ۳۸: قابلیت حمل سازه



شکل ۳۹: ایدهٔ طراحی



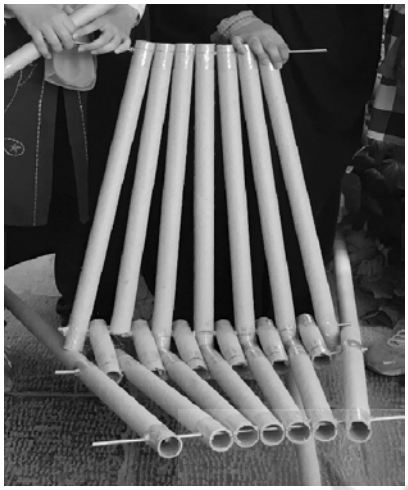
شکل ۴۰: طرح شمارهٔ ۸

پرتال جامع علوم انسانی

طرح شمارهٔ ۱۰

این طرح به‌طور کاملاً تداعی‌کنندهٔ تصویر یک صندلی است که بخشی نیز به‌عنوان پشتی و محلی برای تکیه طراحی شده است.

شکل ۴۱: طرح اولیهٔ سازه



شکل ۴۲: طرح شمارهٔ ۱۰

۷. نتیجه‌گیری

در طرحهای ارائه‌شده دانشجویان توانستند براساس آنچه که در درس سیستمهای ساختمانی دربارهٔ درک رفتار سازه‌ها و سیستمهای مختلف ساختمانی فراگرفته بودند به ساخت یک سازهٔ بازشونده و جمع‌شونده با قابلیت بارگذاری قابل‌توجهی بپردازند. متغیرهایی نظیر:

- سبکی سازه،
- قابلیت حمل‌ونقل آسان،
- باز شدن و جمع شدن سریع و آسان،
- راحتی و ایجاد آسایش،
- خلاقیت در طرح،
- پایداری سازه در هنگام بارگذاری، ملاک سنجش کار آنان قرار گرفت. باتوجه‌به نتایج حاصل از سنجش و همچنین تصاویر چنین می‌توان نتیجه گرفت که:
- نسبت مقاومت به وزن در اکثر سازه‌ها قابل توجه است،
- در بیشتر موارد برای کنترل رانش از کابل استفاده شده است و یک سازهٔ تنسگریتی مناسب با رفتار سازه‌ای قابل‌قبول ارائه شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نتایج به‌دست‌آمده طبق روش یادگیری بلوم نشان‌دهنده این مهم است که ساخت مدلهای فیزیکی سازه‌ای تأثیر بسزایی در انتقال و آموزش مفاهیم پایه‌ای دارد و با استفاده از این روش می‌توان در جهت کاستن فاصلهٔ معناداری، که میان فنّاوری (سازه) و معماری به‌ویژه در دانشگاهها وجود دارد، گامی مثبت برداشت.

مراجع

انصاری، مجتبی؛ امیرخانی، آرین و اخوت، هانیه (۱۳۸۸). ارزشیابی میزان رشد یادگیری دانشجویان مهندسی معماری در فراگیری مفاهیم سازه به روش بهره‌گیری از طبیعت و مقایسه آن با سایر روشهای متداول، *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*، ۱۱(۴۲)، ۸۰ ـ ۵۹.

جعفروند، علی (۱۳۷۷). تحلیل و طراحی بهینهٔ سازه‌های فضاکارتاشو.(پایان‌نامه دکتری)، دانشگاه علم و صنعت.

چارلسون، اندرو (۱۳۸۸). *سازه به مثابه معماری یک کتاب مرجع برای معماران و مهندسان سازه*، ترجمه گلابچی، محمود و سروش‌نیا، احسان، دانشگاه تهران.

شریعتمداری، علی (۱۳۶۶) *برنامه‌ریزی درسی*. تهران، سمت (سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها).

شعبانی، حسن (۱۳۸۴)، *مهارتهای آموزشی و پرورشی*، تهران: سمت (سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها).

کاوه، علی؛ کروبی، فرهاد و کیوانی، جعفر (مترجم)، ۱۳۸۳، تحلیل، طراحی و ساخت سازه‌های فولادی فضایی، کیوانی، جعفر مترجم، ک-۳۸۲. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

وجدان‌زاده، لادن و تقی‌زاده، کتایون (۱۳۹۰). *مدل سازه‌ای فیزیکی و شبیه‌سازی مجازی شیوه‌ای نو در شناخت رفتار سازه‌ای*، سومین همایش آموزش معماری، بررسی چالشها، جستجوی راه‌کارها، تهران.

Gantes, C. J. (2001). *Deployable structures, analysis and design*. WIT Press, C/O Computational Mechanics Inc, U.S.A.

Hebbelinck, S.; Mollaent, M. and Haase, J. (2004). From small parts of large structures. Bevenmit texhlien heft 4.

Mira, l. (2010). *Design and analysis of a universal scissor component for mobile architectural application*. Yrije University Brussel.

Pellegrino, S.(2002). *Deployable structures*. U. K. Springer Science & Business Media.