hive of SID
ISSN: 2008-5079 / EISSN: 2538-2365
DOI: 10.22034/AAUD.2019.97358

کالبد انعطاف‌پذیر با تلفیق معماری و سازه با بهره‌گیری از اوریگامی

آناهیتا زنده دلان[1*]- حسین خسروی[2]- الهه صفائیان[3]

۱. استادیار گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران (نویسنده مسئول).
۲. استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
۳. کارشناس ارشد معماری، دانشکده فنی و مهندسی، واحد علوم و تحقیقات خراسان رضوی، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۰۳ تاریخ اصلاحات: ۹۵/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۶/۰۲/۳۰ تاریخ انتشار: ۹۸/۰۹/۳۰

چکیده

انعطاف‌پذیری یکی از مفاهیم کلیدی در الفبای شکل‌گیری معماری می‌باشد، که در بخش کالبدی کمتر به آن توجه شده و بیشتر از گونه تنوع‌پذیری یا طراحی پلان آزاد در مقیاس خرد به آن پرداخته شده است. زمانی که کالبد فضای معماری نیازمند انعطاف‌پذیری باشد، باید علاوه بر معماری، سازه نیز طراحی شود، زیرا مهم‌ترین چالش در بررسی انعطاف در کالبد معماری، سازه است و باید انعطاف در بدنه ساختمان یعنی در مقیاس کلان صورت پذیرد. هدف این مقاله بررسی انعطاف‌پذیری در کالبد معماری است که به این منظور باید سازه با معماری رفتاری هماهنگ داشته باشد. فناوری اوریگامی با استحکام و انعطاف‌پذیری ساختار خود انعطاف کالبدی و پایداری سازه را به همراه دارد و به همین علت مورد توجه مهندسان معماری و سازه واقع شده است. در این رابطه از اوریگامی به‌عنوان یک عامل پیونددهنده سازه و معماری استفاده شد. الگوی الماسی اوریگامی که دارای ویژگی‌های موردنظر در انعطاف‌پذیری معماری و پایداری سازه است با ورق فولادی به روش مدل‌سازی با نرم‌افزار المان محدود تحت آزمون بارگذاری قرار گرفت. یافته‌ها نشان می‌دهد که الگوی اوریگامی الماسی با تلفیق معماری و سازه در کالبد بنا، انعطاف لازم را جهت انطباق با شرایط محیطی مختلف فراهم می‌سازد و انطباق‌پذیری الگوی الماسی در تمام زیرشاخه‌های تطبیق‌پذیری میسر می‌شود.

واژگان کلیدی: انعطاف‌پذیری، انطباق‌پذیری، کالبد، سازه، اوریگامی.

* E_mail: anahita_ze@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

انعطاف‌پذیری معماری یعنی پاسخگویی به شرایط جدید که همواره ضرورتی جدایی‌ناپذیر از معماری است (Mahdavi-nejad, Farajolahi-rad, & Karam, 2011, p. 1). این امر زمانی محقق می‌شود که سازه برای انعطاف معماری مانع تلقی نشود. امروزه روش‌های ساخت وساز سنتی دیگر پاسخگوی شرایط جدید نیست، هرچند روش ساخت‌وساز صنعتی نیز همواره موفق نبوده و موجب عدم انعطاف در ساختمان می‌شود، که در آن صرفاً به نیازهای متعارف حال حاضر توجه دارد و به نیازهای آینده توجهی نشده است (Einifar, 2003, p. 65). برای انعطاف‌پذیر نمودن کالبد ساختمان باید از فناوری در طراحی سازه بهره جست، چرا که از آغاز تاریخ مدون معماری سه مقوله «سازه، معماری و فناوری» به معنای اصلی خود در هر زمان یکی بودند (Baghaei, 2009, p. 28) و روشن است که معماری و سازه با هم خویشاوندی نزدیک دارند، به نحوی که سیستم‌های سازه‌ای کارکردی به مثابه سیستم‌های اصلی محورسازی هستند و معمولاً به شیوه‌ای صادقانه بیانگر فرم معماری بودند (Ching, Onouye, & Zuberbuhler, 2013, p. 134). انعطاف‌پذیری در طراحی معماری به طور عمده مربوط به طراحی«فرم فضایی» و ساخت‌وساز آن است، به این ترتیب معماران اغلب تمایل به توسعه فرم‌های معماری متنوع و غیرمعمول دارند.

سازه مهم‌ترین چالش در معماری انعطاف‌پذیر جهت حفظ ایستایی ساختمان، دارای فرم و موقعیتی ثابت است تا نیروهای استاتیکی و دینامیکی را کنترل کند (Moore, 1999, p. 10). بنابراین برای ایجاد انعطاف در کالبد باید سازه نیز منعطف طراحی شود تا از طریق کالبد فضا بین سازه و معماری هماهنگی ایجاد نمود.

اوریگامی با دو ویژگی استحکام ساختاری و شکل‌پذیری موجب پیوند مهندسی سازه و معماری می‌شود (Schenk & Guest , 2011, p. 4). چنین ترکیبی منجر به یک ساختار قوی و کارآمد با مزایای بیشتر نسبت به اشکال سنتی ساخت وساز می‌شود (Ahmed, Wan Badaruzzaman, & Wright, 2000, p. 126). در علوم متعدد از اوریگامی به‌عنوان راهکار استفاده شده است و کاربردی بودن آن غیر قابل انکار است، اما هدف این تحقیق بهره‌گیری از ویژگی انعطاف‌پذیری اوریگامی الماسی جهت خلق معماری انعطاف‌پذیر کالبدی است. این انعطاف‌پذیری در مقیاس کلان و کاربردی زمانی میسر می‌شود که الزامات سازه نیز رعایت شود تا به ساختار متعادلی رسید.

بنابراین گونه‌ها و مقیاس‌های انعطاف‌پذیری در معماری و همچنین الزامات سازه و انواع ارتباط بین سازه و معماری بررسی شد و در ادامه با بیان مفهوم اوریگامی و بررسی ویژگی‌های آن تأثیر این فناوری بر سازه و انعطاف کالبد مشخص شد. در نهایت بهترین روش هماهنگی سازه با معماری معین شد.

۲. مبانی نظری

جهت طراحی یک فضای انعطاف‌پذیر شناخت تعریف و عوامل دخیل در آن ضروری است. ازاین‌رو در ادامه به تعریف مفهوم انعطاف‌پذیری و گونه‌های انعطاف‌پذیری در معماری پرداخته می‌شود که به شرح ذیل می‌باشد.

۲-۱- تعریف و مفهوم انعطاف‌پذیری در معماری

انعطاف در لغت به معنی دوتاشدن و بازگردیدن و خم شدن است و انعطاف‌پذیر یعنی آنچه خمیدگی و برگشتگی‌پذیری دارد (Dehkhoda, 1998, p. 3765). در زبان انگلیسی واژه Flexibility، به معنای قابلیت تغییر در اشیا و اجسام است و از نظر لغوی صفتی است به معنای قابل تغییر بودن به گونه‌ای که این تغییر به راحتی و طبق شرایط انجام می‌گیرد و با واژه (Changeable) معادل قرار داده شده (Cambridge Dictionary, 2013). واژه انعطاف‌پذیری در معماری عبارت است از فضای انسان ساخت برای پاسخگویی به شرایط و نیازهای جدید. انعطاف‌پذیری به‌عنوان سازگار شدن با تغییرات در فضا به مسائلی اشاره می‌کند که به نیازهای حال و آینده کاربران ارتباط دارد (Schneider & Till, 2005, p. 287).

۲-۲- گونه‌های انعطاف‌پذیری

انعطاف‌پذیری در سه گروه کلی زیر قابل دسته‌بندی می‌باشد:

۲-۲-۱- تنوع‌پذیری

قابلیت فراهم‌سازی استفاده مختلف از یک فضا را تنوع‌پذیری می‌گویند. تنوع‌پذیری آزادی انتخاب برای استفاده‌های متنوع می‌باشد و باعث می‌شود که کاربران براساس نیازشان انتخاب کنند (Albotan, 2009, p. 1). به‌عبارت دیگر همان خاصیت چند عملکردی یک فضا است، که در زمان‌های مختلف عملکردهای مختلف را پوشش دهد. به‌طور کلی دو مقوله زمان و فضا پیوستگی درهم آمیخته‌ای با هم دارند و از هم قابل تفکیک نیستند همانگونه که هرمان مینکوسکی[1] بیان می‌دارد: «زمان به تنهایی و فضا به تنهایی محکوم به نیستی است، تنها وحدتی از این دو حیات آن‌ها را میسر می‌سازد» (Ching, 2014, p. 134). هر فضایی به‌صورت بالقوه امکان تبدیل شدن به مکان را دارد و این امر در طول زمان و توسط انسان شکل می‌گیرد (Erabi, 2011, p. 14).

۲-۲-۲- تغییرپذیری

قابلیت توسعه یا تجمیع از لحاظ افزایش و یا کاهش کمی زیر بنای فضا، یا تفکیک و امکان بازگشت به طرح اولیه پس

www.SID.ir

Archive of SID

از گسترش و یا تقلیل مساحت را تغییرپذیری می‌گویند. این ویژگی ارتباط مستقیم با نوع عملکرد فضا، شکل، فرم و ابعاد مجموعه‌ای دارد که فضا در آن مستقر می‌شود. تغییرپذیری ممکن است به‌صورت ساختاری، عملکردی یا فضایی قابل مشاهده باشد (Einifar, Shayan, & Garipour, 1989 ,). این ویژگی بیشتر با کالبد فضا درگیر است، زیرا با توسعه و تجمیع کالبد می‌توان مساحت و ظرفیت را تغییر داد. بنابراین کالبد فضا باید قابلیت تغییر داشته باشد تا دارای انعطاف‌پذیری باشد، همانطور که از دیدگاه لنگ «انعطاف‌پذیری در معماری به فضایی گفته می شود که برای پاسخگویی به نیازهای مختلف قابل تغییر باشد» (Lang, 1987, p. 201). به بیان دیگر «انعطاف‌پذیری یعنی سازگار شدن با تغییرات فضا» (Schneider & Till, 2005, p. 2). به طور کلی انعطاف‌پذیری فضایی و سازماندهی فضای انسان ساخت و تغییر در آن، برای دستیابی به شرایط و نیازها و کاربست‌های جدید است (Einifar, Shayan, & Garipour, 1989).

۲-۲-۳- تطبیق‌پذیری

به قابلیت هماهنگ شدن یک فضا با شرایط جدید و مورد نیاز تطبیق‌پذیری می‌گویند. این فضا در یک زمان و در زمان‌های مختلف می‌تواند پاسخگوی عملکردهای گوناگون باشد (Venturi & Scully, 1977, p. 49). پیروی از الگو و هندسه اصلی امکان طراحی فضای انعطاف‌پذیر و قابل تطبیق با شرایط در دوره‌های مختلف را برآورده می‌نماید (Einifar, Shayan, & Garipour, 1989, p. 70). تطبیق‌پذیری شامل عوامل سازماندهی فضایی، عوامل کارکردی و عوامل کالبدی می‌شود. گونه‌های انعطاف‌پذیری در شکل ۱ نمایش داده شده است.

شکل ۱: نمودار گونه‌های انعطاف‌پذیری

۲-۲-۳-۱- عوامل کالبدی

با توجه به هدف مقاله در ادامه صرفاً به بیان بخش کالبدی تطبیق‌پذیری می‌پردازیم. مفهوم کالبد به قالب بنا بر می‌گردد، یعنی هر چیزی که قابل لمس و مشاهده در بنا باشد. یکی از عوامل تأثیرگذار بر ایجاد فضای «تطبیق‌پذیر» کالبد بنا است، که در روند طراحی خود را با شرایط وفق می‌دهد و به عواملی چون ابعاد و اندازه، هندسه، فرم و شکل، تنوع و گوناگونی فضا بستگی دارد (Sheppard & Town, 1974, p. 86).

الف- ابعاد و اندازه: همه ابعاد معماری از فرم و فضا، معنا و مفهوم، عملکرد و کارایی آن وابسته به سرشت و سرنوشت انسان، خواسته‌ها و نیازهای بشری شکل می‌گیرد. تناسبات فضا تحت تأثیر مصالح (آجر، بلوک و غیره)، مسائل و سیستم‌های سازه (دهانه تحت پوشش)، عناصر و اجزا استاندارد شده (در، پنجره، فرش و غیره) و محدودیت‌ها و امکانات آن‌ها دارد. همچنین تناسبات انسان، برداشت و ذهنیت آن، تعداد افراد، رفتار، عملکرد و مبلمان نقشی تعیین‌کننده در ابعاد و اندازه فضای معماری دارند (Erabi, 2011, p. 212). ابعاد و اندازه در عمق و ارتفاع کالبد و اندازه فضای داخلی و عناصر معماری قابل بررسی است و هرچه دسترسی به فضا راحت‌تر باشد فضا از تطبیق‌پذیری بیشتری برخوردار است (Bentley, 1985, p. 178).

ب- محل قرارگیری عناصر معماری: ویژگی‌های کالبدی به عواملی دیگری چون محل قرارگیری درها و پنجره‌ها نیز وابسته است که به میزان زیادی تطبیق‌پذیری فضا را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Lang, 1987, p. 119). اصولاً نحوه نفوذ نور و گذر آن از پوسته به درون به‌دست آوردن روشنایی در فضا، سبب شکل‌گیری فرم و نمای ساختمان می‌شود و بدون نور مؤلفه‌های فرم و فضا غیر قابل درک می‌باشد (Erabi, 2011, p. 138).

ج- شکل و فرم: اگرچه خلق فضا هدف اصلی طراحی معماری است و این فضا است که ما را در بر می‌گیرد و رفتارها و فعالیت‌ها در آن رخ می‌دهد، اما جهت خلق این فضا نیازمند طراحی مناسب فرم هستیم. به کلیت، جسمیت و ظاهر یک پدیده فرم می‌گوییم که در راستای بیان موضوع، معنا یا محتوایی از موادی خاص شکل گرفته است. تأثیر مواد سازنده در شکل‌گیری فرم امکانات و محدودیت‌های هر ماده در فرم‌پذیری نیز بیانگر تعامل و تأثیر محتوای خواص و مواد اولیه در شکل‌گیری فرم است (Erabi, 2011, p. 64). گمبریچ[۲] معتقد است که عملکرد اجسام از طریق بازنمایی آن‌ها در ذهن تعریف می‌شود. در اندیشه سالیوان[۳] «فرم عملکرد را متجلی می‌سازد»، «فرم تأمین‌کننده عملکرد است». ونتوری ساختمان چند عملکردی را از لحاظ کالبدی فضایی می‌داند که از نظر برنامه و فرم دارای پیچیدگی، ولی قابل قبول به‌عنوان یک

www.SID.ir

Archive of SID

کل باشد. پیچیدگی باعث ایجاد ابهام می‌شود و ابهام باعث ایجاد تطبیق‌پذیری می‌شود (Venturi & Scully, 1977, p. 49). یکی از خصوصیات سیستم‌های پیچیده ماهیت انطباق‌پذیری آن‌هاست، این سیستم‌ها منفعل نیستند؛ بلکه به شکلی فعال از خود واکنش نشان می‌دهند تا هر رخدادی را به نفع خود واکنش نشان‌دهنده، گونه‌های مختلف خود را با محیط منطبق می‌کنند (Bemanian, Amirkhani, & Leilian, 2010, p. 91).

د- تنوع و گوناگونی: تنوع و گوناگونی در فضا جهت تطابق با محیط و عملکرد در زمان‌های مختلف مؤثر است. این گوناگونی می‌تواند در تعداد، اندازه و مساحت، شکل و فرم، رنگ و غیره صورت پذیرد. به طوری که به گفته هرتز برگر[۴] استفاده‌کنندگان بتوانند فضا را براساس خواسته خودشان انتخاب کنند (Albotan, 2009, p. 74). تولید فضا می‌تواند از تکثیر یک عنصر تکراری به‌طور آزادانه صورت گیرد. اگر راهکارهای گوناگونی جهت نحوه تداخل احجام بیافرینیم باعث تنوع‌پذیری می‌شویم. این کار با این‌که دارای یک پایه مدولار است اما دارای تنوع در ترکیب است زیرا آزادانه صورت می‌پذیرد. در این راستا، مشخصات قطعات، نوع تداخل و میزان نفوذ در هم آن‌ها در تنوع ترکیبی نهایی بسیار مؤثر است (Erabi, 2011, p. 132).

۲-۳- مقیاس‌های انعطاف‌پذیری

شناخت مقیاس‌های مختلف انعطاف‌پذیری به درک بهتر مفهوم انعطاف‌پذیری کمک می‌کند. عینی‌فر و همکارانش (۱۹۸۹) در مقاله تحت عنوان بررسی و مقایسه انعطاف‌پذیری در معماری مسکونی ایران و ژاپن مقیاس‌های انعطاف‌پذیری فضای خانه سنتی را تحلیل نمود و به گفته وی در مقیاس‌های شهری نیز قابل تعمیم می‌باشد (Einifar, Shayan, & Garipour, 1989, p. 70). وی مقیاس انعطاف‌پذیری را به چند دسته تقسیم نموده که شامل موارد زیر می‌باشد:

۱. مقیاس خرد: در این مقیاس انعطاف‌پذیری در ابعاد و اجزای فضایی و عملکردی (فضای خدمت‌دهنده، فضای خدمت گیرنده و فضای ارتباطی) تعریف می‌شود. در واقع در این مقیاس فضاها نام خود را از شکل‌گیری فضا کسب می‌کنند و یک فضا به صورت اختصاصی نام‌گذاری نمی‌شود تا پاسخگوی عملکردهای گوناگون باشند.

۲. مقیاس میانی: در این مقیاس انعطاف‌پذیری با لایه‌های عملکردی فضا درگیر می‌شود. به انسجام رسیدن و ایجاد وحدت بین عناصر سازمان‌دهنده فضا و چگونگی ارتباط این عناصر و نوع ارتباط درون با بیرون مورد بحث است. استفاده از نور و تهویه و بازشوها در این مقیاس حائز اهمیت هستند.

۳. مقیاس کلان: این مقیاس انعطاف‌پذیری عملکردی، ساختاری و فضایی را شامل می‌شود. توسعه عمودی و افقی ساختمان فضا و نوع ارتباط آن با محله اطرافش مورد توجه است (Ibid, p. 71).

انعطاف‌پذیری کالبد فضا از بعد مقیاس، زیرمجموعه مقیاس کلان قرار می‌گیرد. چرا که در دو مقیاس خرد و میانی بیشتر بر لایه‌های درونی فضا دلالت دارد و مقیاس کلان شامل تغییراتی همچون تفکیک و تجمیع کالبدی فضا و نحوه ارتباط کالبد با محیط را شامل می‌شود (Ibid, p. 71). موضوع حائز اهمیت در مقیاس کلان ایجاد هماهنگی بین کالبد معماری و بدنه ساختمان است. بنابراین لازم است تا با انواع ارتباط بین سازه و معماری آشنا شویم.

۲-۴- انواع ارتباط بین معماری و سازه

به طور کلی سه نوع ارتباط بین فرم سازه و فرم معماری برقرار است:

الف- تضاد: زمانی بین فرم‌های معماری و سازه مشاهده می‌شود که نوعی همجواری بین پاره‌ای از کیفیت‌های معماری نظیر هندسه، مصالح، مقیاس و بافت رخ داده باشد. عدم تشابه هندسی بین فرم معماری و سازه معمول‌ترین کیفیت و منشا تضاد می‌باشد.

ب- تلفیق: سازه نقش بدنه ساختمان و معماری در عملکرد تعریف شده است. سازه‌های پوسته‌ای خالص‌ترین ترکیب بین سازه و معماری هستند.

ج- همسازی: سازه و معماری در عین استقلال به گونه‌ای مسالمت‌آمیز درکنار هم قرار دارند و مانعی برای یکدیگر ایجاد نمی‌کنند. بیشتر ساختمان‌ها در این دسته قرار دارند (Charleson, 2014, p. 42).

براساس این دسته‌بندی تلفیق بین سازه و معماری بیشترین حالت انعطاف در کالبد فضا را ایجاد می‌نماید. در حقیقت با ایجاد سازه‌ای انعطاف‌پذیر به‌عنوان بدنه ساختمان نوعی کالبد معماری منعطف ایجاد می‌کند. به این منظور باید سازه و معماری همزمان طراحی شوند و این امر علاوه بر دقت در طراحی معماری، نیازمند توجه به الزامات طراحی سازه نیز می‌باشد.

۲-۵- عوامل و الزامات اساسی در طراحی سازه

پیشرفت‌های اخیر در زمینه تولید مواد، تکنیک‌های اجرای ساختمان و روش‌های محاسبه سازه‌ها، آزادی نوینی را در طراحی معماری به‌وجود آورده‌اند و دامنه آن را به طور قابل ملاحظه‌ای گسترش داده‌اند. اما این آزادی‌های جدید، سازه‌های مدرن را از تأمین اصول اساسی و لازمی که همیشه پایه و اساس یک معماری خوب بوده‌اند معاف نمی‌کند. این عوامل عبارت‌اند از: تعادل، پایداری، مقاومت، عملکرد، اقتصاد و زیبایی (Salvadori, Heller, & Oakley, 2017, p. 32). بنابراین برای هر گونه طراحی فرمی و کالبدی توجه به تعادل و پایداری از الزامات محسوب می‌شود و باید مورد آزمون واقع شود.

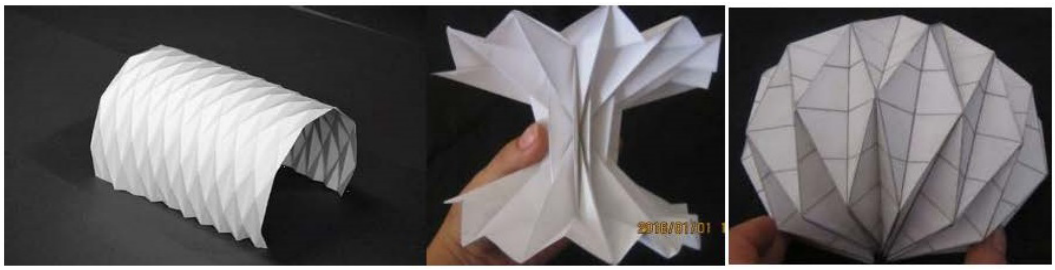
www.SID.ir

hive of SID

۲-۶- مفهوم اوریگامی و کاربرد آن در معماری و سازه

اوریگامی یک کلمه ژاپنی است که از دو واژه oru به معنی تاخورده و kami به معنی کاغذ استخراج شده است. اوریگامی روش ارائه اشکال است، که به طور عمده با خم کردن ماده مورد استفاده یعنی کاغذ حاصل می‌شود. اوریگامی هنر و اندیشه تا دادن کاغذ برای خلق شکل‌های مختلف، می‌باشد (LaFosse & Alexander, 2008, p. 5). صفحات تا خورده پانل‌های ثابت یا متحرک که از اوریگامی ایده گرفته شده در جهت طرح‌های معماری جنبشی، کاربردی فراوان دارد. ساختار صفحات خمیده و تاخورده آن به دلیل خاصیت توده‌ای و پیوسته بودن، خلق فضایی کاربردی و همچنین ویژگی پلاستیکی و انعطافی که دارد، مورد توجه دو گروه معماران و مهندسان سازه می‌باشد. تنوع و پراکندگی نور و سایه در طول صفحات تا خورده بر شکل‌پذیری و انعطاف فضا و پوشش در معماری تأکید می‌کند، این چین‌خوردگی‌ها نه تنها ایجاد ساختاری برجسته و فرورفته می‌کنند، بلکه ادراکی عمیق در فضا به وجود می‌آورند (Schenk & Guest, 2011, p. 3). ورق تاخورده اوریگامی استحکام و مقاومت بیشتری در برابر نیروهای وارده نسبت به صفحات صاف دارند. در اوریگامی سطوح نازک به کمک مجموعه‌ای از تاخوردگی‌ها و لایه‌های مقاوم و سخت‌شونده نه تنها فضا را پوشش می‌دهند؛ بلکه به‌عنوان عنصر تحمل‌کننده بار نیز عمل می‌کنند. الگوی الماسی نوعی اوریگامی است که اساس تاخوردگی آن بر مبنای شکل الماس است و توسط یک دانشمند ژاپنی پس از قرار دادن یک سیلندر تحت فشار و له شدن آن ابداع شد. این الگو دارای استحکام و فرم منعطفی است که در شکل۲ مشاهده می‌شود (Buri & Weinand, 2008, p. 2).

شکل ۲: انعطاف در الگوی الماسی



با در نظر گرفتن عوامل مؤثر بر انعطاف کالبدی فضا شکل ۲، اوریگامی علاوه بر تنوع دارای قابلیت انطباق‌پذیری لازم جهت ایجاد کالبد فضا است و با توجه به این امر که پایداری سازه در ایجاد انعطاف‌پذیری کالبد از مهم‌ترین چالش‌های معماری انعطاف‌پذیر است، بهره‌گیری از انعطاف الگوی اوریگامی الماسی و تولید آن با ورق فولادی به‌عنوان یک متریال منعطف در قالب پوسته تشکیل‌دهنده فضا، نوعی تلفیق بین فرم معماری و سازه را ایجاد می‌کند که سازه و بدنه ساختمان را تشکیل می‌دهد. ورق فولاد با قابلیت تغییرپذیری در کالبد معماری با توجه به تاخوردگی‌های طرح اوریگامی انعطاف را میسر می‌سازد. ازطرفی چین‌های اوریگامی بر روی پوسته فضا باعث استحکام بیشتر ورق فولاد جهت مقابله با بارها می‌شود. برای اثبات این فرضیه لازم است تا الگوی الماسی مدل‌سازی و بارگذاری شود تا قابلیت انعطاف‌پذیری و پایداری آن سنجیده شود.

۳. روش تحقیق

اغلب طرح‌ها قبل از اجرا به کمک نرم‌افزار و به صورت پارامتریک مدل‌سازی و محاسبه می‌شوند (Matcha & Ljubas, 2011, p. 327). مدل‌سازی اوریگامی با استناد به هندسه الگوی کاغذی آن جهت مدل‌سازی تعمیم‌پذیر است (Buri & Weindnand, 2008, p. 2). مدل‌سازی به کمک نرم‌افزار نوعی همسان‌سازی نمونه واقعی در فضای مجازی است که به ما امکان بررسی انعطاف‌پذیری مدل را می‌دهد (Felbrich, Nönnig, & Wiesenhütter, 2014, p. 174). الگوی الماسی با استناد به هندسه به‌دست آمده از تحقیقات پیشین توسط نرم‌افزار المان محدود با ورق فولادی ۰٫۶ میلیمتر، مدل‌سازی شد و مورد تحلیل قرار گرفت. برای تحلیل پایداری سازه و تغییرپذیری آن در محورهای مختلف، از نسخه ۶٫۱۰ نرم‌افزار Abaqus/ Standard به دلیل سرعت و دقت بالا در مدل‌سازی سازه استفاده شده است. نرم‌افزار Abaqus/Standard برای حل مسائل غیرخطی از روش نیوتن- رافسون استفاده می‌کند. در مسائل غیرخطی برخلاف مسائل خطی، نمی‌توان با حل یک دستگاه معادلات واحد، پاسخ مسأله را محاسبه کرد. به عبارت دیگر، در روش غیرخطی، این نرم‌افزار، کل مسأله شبیه‌سازی را به تعدادی گام بارگذاری تقسیم‌بندی می‌کند و در پایان هر گام، پیکربندی تعادل استاتیکی تقریبی را تعیین می‌نماید. عموماً، محاسبه شرایط تعادل و پاسخ قابل قبول در هر گام بارگذاری، مستلزم اجرای فرآیند سعی و خطا و تکرار پیاپی است. در نهایت، مجموع پاسخ‌ها در گام‌های مختلف، تخمینی از حل مسأله غیرخطی است. در نتیجه نرم‌افزار Abaqus/Standard با اجرای فرآیندهای تکراری و نیز تقسیم بندی بارگذاری به صورت توام، پاسخ

www.SID.ir

Archive of SID

مسائل غیر خطی را محاسبه می‌کند (Musavi, 2013, p. 60). در آزمون به بررسی تنش در بارگذاری قائم (ثقلی) جهت تعیین تحمل بارهای عمودی، تنش در بارگذاری جانبی (چرخه‌ای) و حداکثر نیرو و جابجایی (posh-over) پرداخته شده تا واکنش ساختار الگوی الماسی در برابر انعطاف‌پذیری کالبد و همچنین پایداری و تغییرپذیری سازه تعیین شود.

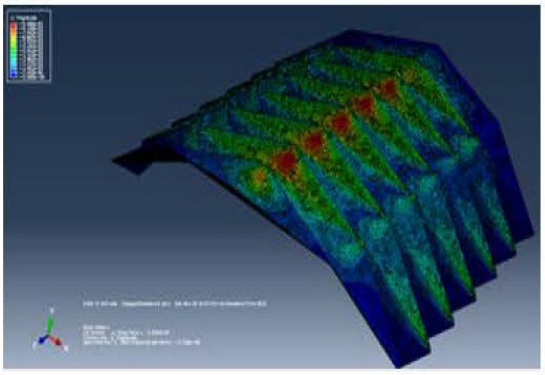
۴. یافته‌های پژوهش

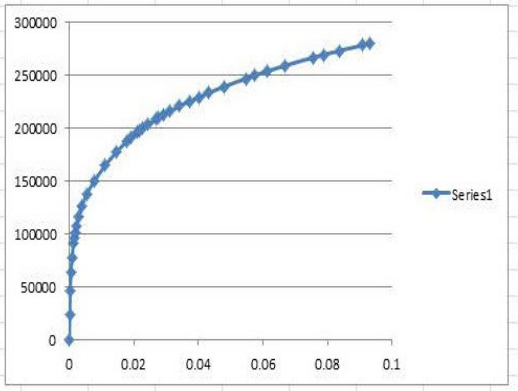
مدل‌سازی الگو توسط نرم‌افزار Abaqus/Standard تحت انواع بارگذاری‌های تنش در بارگذاری قائم (ثقلی)، تنش در بارگذاری جانبی (چرخه‌ای) و حداکثر نیرو و جابجایی (posh-over) مورد بررسی قرار گرفت تا صحت پایداری سازه و انعطاف معماری در آن مشخص شود.

۴-۱- بررسی تنش در بارگذاری قائم (ثقلی)

بیشترین تنش در رئوس هندسه قالب ساختار مشاهده می‌شود که با رنگ قرمز مشخص شده. در شکل ۶ بخش‌های سازه هرچه به رنگ آبی پررنگ میل کند نشانه پایداری بیشتر است. نتیجه اعمال نیروی ثقلی با توجه به نمودار برابر با ۲۸۰۱۸۲ نیوتن و تغییر شکل ۹,۳۱۷۹ سانتیمتری بود. یعنی ساختار اوریگامی الماسی دارای تعادل و پایداری لازم است.

شکل ۳: ظرفیت مدل الماسی ناشی از بارگذاری قائم



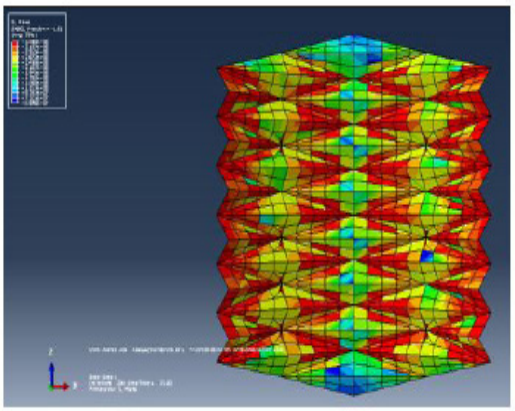


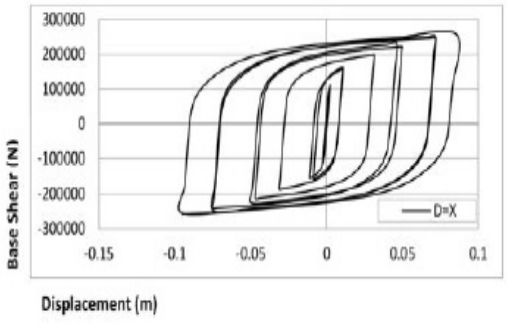
۴-۲- بررسی تنش در بارگذاری جانبی (چرخه‌ای)

برای ترسیم نمودارهای هیسترزیس[۵] از بارگذاری چرخه‌ای استفاده شد تا تنش نیروی جانبی بر سطح مقطع مشخص شود. در تمام مدل‌ها، بارگذاری به‌صورت اعمال تغییرمکان است. این نوع بارگذاری تحت دو محور صورت گرفت.

الف- بارگذاری چرخه‌ای در محور X: تنش ناشی از بار رفت و برگشتی (چرخه‌ای) در محور X نشان می‌دهد که این ساختار تا میزان ۲۵۸۴۸۱ نیوتن ۹,۵ سانتیمتر جابجایی دارد (شکل ۴).

شکل ۴: توزیع تنش در سطح مدل الماسی با بارگذاری چرخه‌ای در محور X



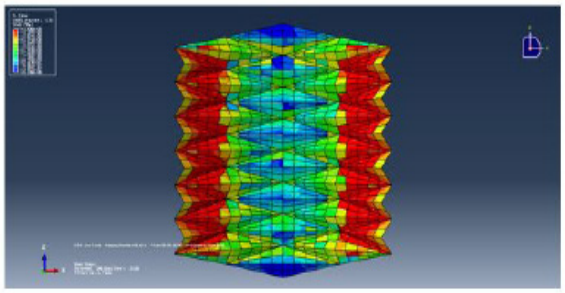


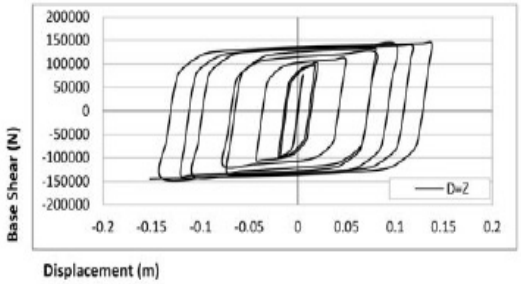
ب- بارگذاری در محور Z : بارگذاری رفت و برگشتی (چرخه‌ای) به‌عنوان بررسی نیروی جانبی در محور Z، پس از اعمال نیروی ۱۴۴۹۸۱ نیوتنی ۰,۱۵ متر تغییرات داشت (شکل ۵).

www.SID.ir

hive of SID

شکل ۵: نحوه توزیع تنش و نمودار آن در سطح محور Z با بارگذاری چرخه‌ای در الگوی الماسی





در نتیجه میزان تنش نیروی جانبی در محور x نسبت به z کمتر است یعنی محور x رفتار سازه‌ای بهتر و محور z تغییرپذیری کالبد را نشان می‌دهد.

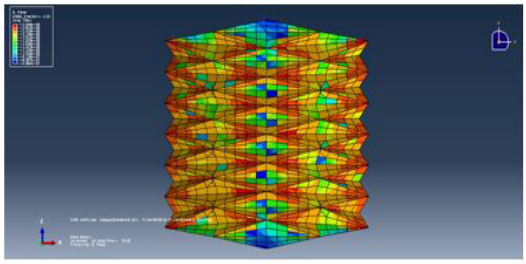
۴-۳- بررسی حداکثر نیرو و جابجایی (posh-over)

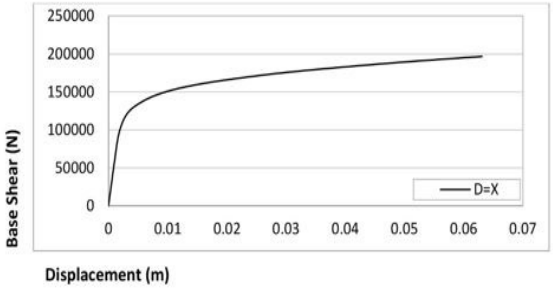
در این بخش دو محور عمود بر هم مورد تحلیل بارگذاری قرار گرفت تا حداکثر توانایی سازه مشخص شود.

الف- بارگذاری posh – over در جهت محور X

میزان تحمل بار در محور X حداکثر نیرو معادل ۱۹۶۷۸۲نیوتن و حداکثر جابجایی ۰,۰۶۳ متر است (شکل ۶).

شکل ۶: توزیع تنش در سطح مدل با بارگذاری Poush-Over در جهت X



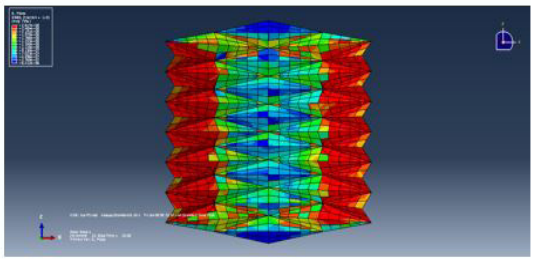


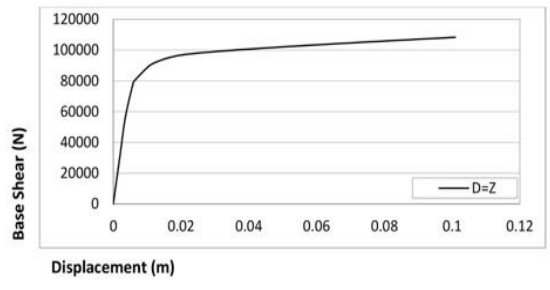
ب- بارگذاری Poush-Over در جهت Z

در این محور حداکثر میزان نیرو ۱۰۸۳۰۹ نیوتن و حداکثر جابجایی ۰,۱۰ متر است (شکل ۷).

در نتیجه قیاس دو محور x و z در برابر بار افزون درمی‌یابیم که محور x مقاومت سازه‌ای و محور z تغییرپذیری کالبد معماری را به همراه دارد.

شکل ۷: توزیع تنش در سطح مدل با بارگذاری Poush-Over در جهت X





براساس نتایج جدول ۱، الگوی اوریگامی در محور D=Z در جهت ضعیف است که انعطاف‌پذیر عمل می‌کند و محور D=X در جهت قوی و دارای تعادل و پایداری است. تحلیل بار افزون نیز مبین دو بعدی بودن عملکرد این الگو در پاسخگویی به انعطاف‌پذیری معماری و پایداری سازه می‌باشد، محور Y نیز بیشترین مقاومت در برابر نیروی ثقلی را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱: نتیجه کلی انواع بارگذاری‌ها در محورهای مختلف

	جهت بارگذاری	بارگذاری قائم	بارگذاری Poush-Over
حداکثر نیرو (نیوتن)	X	-	۱۹۶۷۸۲
	Y	۲۸۰۱۸۲	-
	Z	-	۱۰۸۳۰۹
حداکثر جابجایی (متر)	X	-	۰,۰۶۳
	Y	۰,۰۹۳	-
	Z	-	۰,۱۰

بنابراین این الگو به‌عنوان کالبد فضا در یک محور (X) مقاومت سازه‌ای لازم جهت پایداری و تعادل کالبد و در محور دیگر (Z) انعطاف‌پذیری و تغییرپذیری لازم در راستای انطباق کالبد با محیط پیرامون را شاهد هستیم.

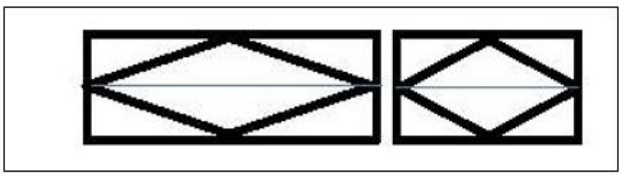
۵. بحث و نتیجه‌گیری

- عوامل مؤثر بر انعطاف‌پذیری کالبد فضا از روش تطبیق‌پذیری عوامل کالبدی و زیر شاخه‌های آن میسر می‌شود.
- براساس نتایج می‌توان با بهره‌گیری از اوریگامی الماسی الگوهایی جهت احداث کالبد ساختمان که توانایی انطباق‌پذیری با شرایط محیطی مختلف را دارند ارائه داد.

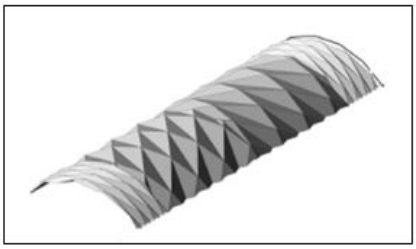
مدل‌های مختلف تطبیق‌پذیری کالبد فضا با شرایط گوناگون با بهره‌گیری از اوریگامی الماسی بر مبنای زیرشاخه‌های تطبیق‌پذیری شامل موارد زیر می‌باشد:

الف- تطبیق‌پذیری در ابعاد و اندازه: در الگوی الماسی با تغییر در ابعاد طول و عرض الگوی تاشدگی‌ها می‌توان سازه‌هایی با ابعاد و اندازه منطبق با نیاز ایجاد نمود.

شکل ۸: انواع الگوهای الماسی



شکل ۹: سازه تطبیق پذیر با بهره گیری از الگوی الماسی



ب- تطبیق‌پذیری در شکل و فرم: در خلق پوشش فضایی با بهره‌گیری از اوریگامی الماسی فرم‌های مختلفی می‌توان ایجاد نمود که متناسب با محیط قابلیت تطابق دارند.

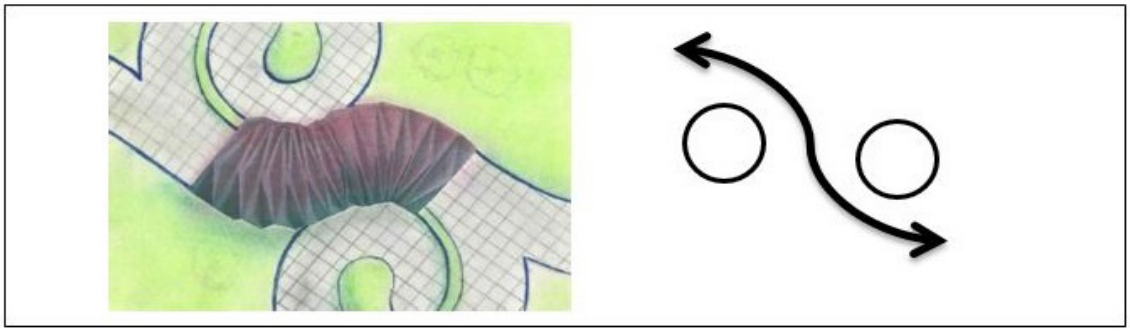
شکل ۱۰: الگوی الماسی با فرم محور حرکتی خطی شکل

شکل ۱۱: الگوی الماسی با فرم مدور و مرکزی

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱۲: فرم مارپیچ در راستای تطابق با محیط

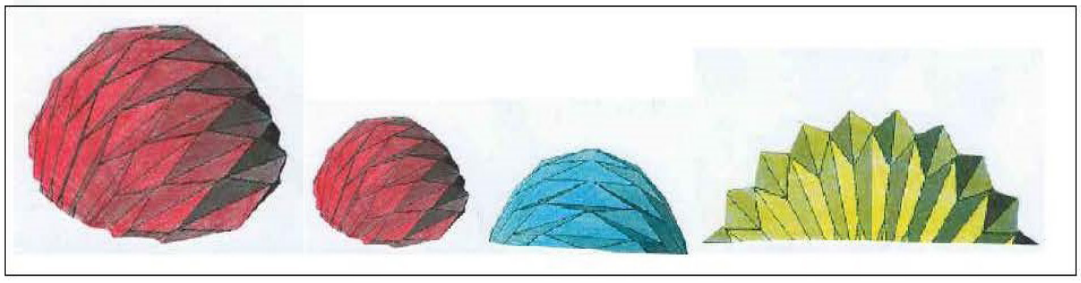


ج- انطباق‌پذیری در محل قرارگیری عناصر معماری: به کمک برش یا حذف برخی از اعضای سازنده الگو می‌توان چیدمان عناصر معماری مانند ورودی و خروجی را مناسب با شرایط محیطی تعیین نمود.

شکل ۱۳: نمونه‌ای از چیدمان الگوها جهت شکل‌دهی عناصر معماری

د- تطبیق‌پذیری در تنوع و گوناگونی: الگوی الماسی ایجاد شده با ورق‌های فلزی دارای قابلیت تنوع در رنگ‌های مختلف است. از لحاظ ابعاد کلی کالبد فضایی نیز با محیط‌های گوناگون قابل تطابق می‌باشد.

شکل ۱۴: تنوع و تطابق در کالبد با بهره‌گیری از الگوی الماسی



پی‌نوشت

1. Hermann Minkowski
2. Cambridge
3. Sullivan
4. Herman Hertzberger
5. Hysteresis

www.SID.ir

Archive of SID

REFERENCES

- Ahmed, E., Wan Badaruzzaman, W.H., & Wright, H.D. (2000). Experimental and Finite Element Study of Profiled Steel Sheet Dry Board Folded Plate Structures. *Thin-walled Structures*, 38(2), 125-143. https://doi.org/10.1016/S0263-8231(00)00039-2
- Albotan, D. (2009). Flexibility in multi- Residential Housing projects: Three innovative cases from Turkey, 1-74.
- Baghaei, A. (2009). The Role of Structure in Aesthetic of Contemporary Architecture, *Hoviat Shahr*, 8(2), 5-14.
- Bemanian, M.R., Amirkhani, A., & Leilian, M.R. (2010). Order and Disorder in Architecture. Tehran: Tehran Press, 91.
- Bentley, I. (1985). Responsive Environments: A Manual for Designers. New York: Routledge.
- Buri, H., & Weinand, Y. (2008). ORIGAMI-folded Plate Structures, Architecture (No. CONF).
- Buri, H. U., & Weinand, Y. (2010). Origami aus Brettsperrholz. DETAIL Zeitschrift f¸ r Architektur+ Baudetail, (ARTICLE), 1066-1068.
- Cambridge Advanced Learner's Dictionary (2013), Fourth Edition
- Charleson, A. (2014). Structure as Architecture: A Source Book for Architects and Structural Engineers. New York: Routledge.
- Ching, F.D. (2014). Architecture: Form, Space, and Order. John Wiley & Sons. 201.
- Ching, F.D., Onouye, B.S., & Zuberbuhler, D. (2013). Building Structures Illustrated: Patterns, Systems, and Design. John Wiley & Sons. 134.
- Dehkhoda, A.A. (1998). Dehkhoda Dictionary Encyclopedia. Tehran: Tehran University Press.
- Einifar, A.R. (2003). A Model to Analyze Residential Spaces: Based on Flexibility Criteria of Traditional Housing. *HONAR-HA-YE-ZIBA (FA)*, 13(461), 64-77. https://jhz.ut.ac.ir/article_10660.html
- Einifar, A.R., Shayan, H.R., & Garipour, M. (1989). Investigation and Comparison of Flexibility in Residence Architecture between Iran and Japan. *ABADI Journal*, 55, 12-19.
- Erabi, J. (2011). Form Creation, 6ed. Mashhad: Kasra Publishing, Mashhad, 14- 138.
- Felbrich, B., Nönnig, J.R., & Wiesenhütter, S. (2014). Rigid Folding in Robotic Multi-agent Systems. Procedia Computer Science, 35, 1342-1351. https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.08.174
- LaFosse, M.G., & Alexander, R.L. (2008). Origami Art: 15 Exquisite Folded Paper Designs from the Origamido Studio: Intermediate and Advanced Projects: Origami Book with 15 Projects. Tuttle Publishing.
- Lang, J. (1987). Creating Architectural Theory. The Role of the Behavioral Sciences in Environmental Design.
- Mahdavi-nejad, M.J., Farajolahi-rad, A., & Karam, A. (2011). Flexible Architecture, an Approach toward Architecture and Structure Harmony. Published by Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. 1.
- Matcha, H., & Ljubas, A. (2011). Parametric Origami. New Design Concepts and Strategies_ eCAADe 28. 326
- Moore, F. (1999). Understanding Structures. McGraw-Hill Science Engineering.
- Musavi, S.S. (2013). Analysis of Seismic Behavior and Impact of Opening on Composite Shear Wall Incorporating Flat and Corrugated Plates [MSc Thesis], Department of Civil Engineering, Neyshabur Branch, Islamic Azad University, Neyshabur, Iran.
- Salvadori, M.G., Heller, R., & Oakley, D.J. (2017). Salvadori's Structure in Architecture: The Building of Buildings.
- Schenk, M., & Guest, S.D. (2011). Origami Folding: A Structural Engineering Approach. In Origami 5: Fifth International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education. 291-304. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Schneider, T., & Till, J. (2005). Flexible Housing: Opportunities and Limits. *Arq: Architectural Research Quarterly*, 9(2), 157-166.
- Sheppard, D., & Town, P. (1974). Housing Flexibility? *Architectural Design*, 43(11), 698-727.
- Venturi, R., & Scully, V. (1977). Complexity and Contradiction in Architecture. *The Museum of Modern Art*.1, 12-49.

نحوه ارجاع به این مقاله

زنده دلان، آناهیتا؛ خسروی، حسین و صفائیان، الهه. (۱۳۹۸). کالبد انعطاف‌پذیر با تلفیق معماری و سازه با بهره‌گیری از اوریگامی. نشریه معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۲(۲۸)، ۴۹-۵۸.

DOI:10.22034/AAUD.2019.97358

URL: http://www.armanshahrjournal.com/article_97358.html

www.SID.ir