



## ارائه طرح ترکیبی از سازه های اورینگامی و قیچی سان به عنوان سایه بان های متحرک متصل به ساختمان

سیده فائزه موسوی<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا داودآبادی فراهانی<sup>۲</sup>

- ۱- کارشناس ارشد معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران  
۲- کارشناس ارشد معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

\* fafa.mousavi72@gmail.com

ارسال: اسفند ۹۷ پذیرش: فروردین ۹۸

### چکیده

در طول تاریخ بشر همواره در حال نوآوری و تحقیق در مورد صنعت ساختمان است. از ایده غارها به عنوان اولین سرپناه ها گرفته تا ساختمان های امروزی، اما در عصر حاضر بشر به دنبال کم کردن هزینه ساخت، مقاومت ساختمان ها در برابر زلزله، متنوع ساختن جداره ها و فضای داخلی، خاصیت چندعملکردی بودن، پایداری و قابلیت جابه جایی و بازیافت مصالح و ... است. سازه های تغییر فرم پذیر به عنوان یک سازه نوین میتواند پاسخگوی برخی از این نیاز های بشر باشد. این سازه ها متکی بر اصول ریاضی، هندسه، هنر است که علاوه بر اینکه از لحاظ فیزیکی ساختاری پایدار دارند بلکه با ترکیب هندسه و هنر میتوان اشکال بدیع و بینظیری از آن ها ایجاد کرد که هم کاربردی هستند و در تنوع فضایی نقش مهمی دارند و هم جلوه های بصری زیبایی را به وسیله آن ها می توان ایجاد کرد. در این مقاله سازه قیچی سان به عنوان بخشی از سازه های تغییر فرم پذیر در ترکیب با یک مدل اورینگامی جهت استفاده در سایه بان ساختمان مورد بررسی و آزمون و خطا قرار گرفته است. نخست تعریف سازه های قیچی سان و اورینگامی و سپس فرم ترکیبی به همراه روند شکل گیری آن بیان شده است.

کلمات کلیدی: سازه های تغییر فرم پذیر، سازه قیچی سان، سایه بان متحرک، اورینگامی.

### ۱- مقدمه

بهره گیری از ساختارهای تغییر پذیر در معماری، از گذشته های دور سابقه داشته و در قالب کاربری ها و فرمهای مختلف مورد استفاده بوده است. در معماری دهه های اخیر، با رشد و توسعه فنآوری های نوین، بهره گیری از این گونه ساختارها گسترش بسیار وسیع تری پیدا نموده و قابلیت های زیادی را نیز برای بهره برداری هر چه بیشتر و متنوع تر از فضاهای معماری فراهم نموده است. ساختارهای تغییر پذیر ممکن است به صورت موضعی، بخشی از اجزای سازنده فضاهای معماری را تشکیل داده و یا به صورت جامع سازنده کل فضا باشند. جداره های قابل باز و بسته شدن که به عنوان تفکیک کننده فضاهای داخلی عمل میکنند، پوشش های خارجی نما که برای تنظیم نور، دید و یا جلوه بصری تغییر میکنند و همچنین سقف های تغییر پذیری که فضاهای باز زیر خود را از تغییرات جوی حفظ میکنند، مثالهایی از ساختارهای تغییر پذیر موضعی در یک بنا می باشند. از نمونه های ساختارهای تغییر پذیر جامع

نیز میتوان ساختمان های بسیاری که به خاطر تسهیل در حمل و نقل در فضایی کوچک جمع شده و در محل مورد نیاز گسترده و مورد استفاده قرار می گیرند را نام برد. براساس آنچه فرای اتو در دهه هفتاد در کتاب سقف های تغییرپذیر ارایه کرده (۴۴، ۱۹۷۲، اتو) که قابل تعمیم به سایر ساختار های تغییرپذیر نیز می باشد، میتوان آنها را از دو جنبه طبقه بندی نمود.

- طبقه بندی بر اساس ماهیت مصالح
- طبقه بندی بر اساس نوع و جهت حرکت

در طبقه بندی براساس ماهیت مصالح، تمامی ساختارهای تغییرپذیر در زیرمجموعه ساختارهایی با مصالح نرم یا سخت و یا ترکیبی از این دو قرار می گیرند. در طبقه بندی بر اساس نوع و جهت حرکت، تمامی انواع حرکت ها اعم از تا شدن، دوران کردن، چین خوردن، لوله شدن و موارد دیگر به کمک عناصری لولایی برای ایجاد دوران یا تا شدن اجزای سخت و یا به کمک عناصر تلسکوپی و یا غلتک و ریلی از طریق سرخوردن اجزای نرم یا سخت صورت می گیرند. هرچند بهره گیری از ساختار های تغییرپذیر در معماری و همچنین بسیاری از حوزه های دیگر مانند طراحی صنعتی و مهندسی مکانیک در سده گذشته میلادی تحول زیادی پیدا نموده، اما تا اوایل سده اخیر این گونه ساختارها از نظر ماهیت مصالح و جزییات عناصر سازنده مشابه طبقه بندی فوق بوده و تغییر خاصی پیدا نکرده است [۱]. در این مقاله با توجه به اطلاعاتی که در رابطه با ساختارهای تغییر فرم پذیر وجود دارد، در ابتدا به ارایه ی تاریخچه ساختارهای تغییر فرم پذیر و تعریف سازه قیچی سان که بخشی از ساختارهای تغییر فرم پذیری می باشد پرداخته و سپس در بخش اصلی این مقاله مراحل الگوبرداری، ترکیب و آزمون و خطاهای انجام شده ارایه می گردد.

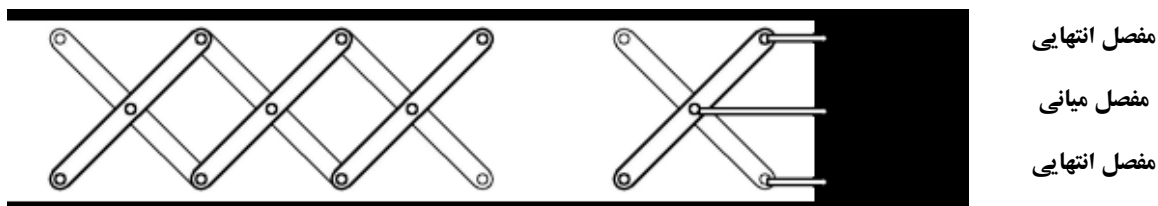
## ۲- تاریخچه سازه های تغییر فرم پذیر

سازه های تغییر فرم پذیر دسته بزرگی از سازه های پیش ساخته می باشد، که فرم آن می تواند از حالت بسته به حالت باز تغییر نموده و همچنین امکان تحمل بار مشخصی را دارند [۲]. تاریخچه سازه های تغییر فرم پذیر به قرنهای پیش بازمی گردد. شاید یکی از اولین سازه ها، خیمه های مخروطی شکل سرخ پوستان سایوکس [۳] است، که سازه های سبکی بوده که به وسیله حیوانات حمل میشد. همچنین قسمتی از سقف ورزشگاه رومی ها (کولوسئوم) [۴] که در قرن اول میلادی ساخته شده، یک سازه غشایی بوده، که با تکیه بر اعضای طره ای امکان حفاظت از تماشاچی ها را در مقابل نور و سایر شرایط جوی را فراهم می نماید. یکی از تمایلات و نیازهای قرن اخیر استفاده از سیستم های باز و بسته شونده در عملکردها و مقیاس های متفاوت بوده است. اولین گنبد تغییر فرم پذیر که به صورت مرکزی و با مکانیزم لغزش بازوبسته شده است، گنبد ورزشگاه شهر پیتزبورگ می باشد [۵]. طراحی پایه چراغ های تغییر فرم پذیر خیابان سچوبورگ پلین در تردام ایده های جدیدی برای سازه های تغییر فرم پذیر آینده می باشد [۶]. شماری از پروژه های سانتیاگو کالاتراوا در زمره آثار مهم در این زمینه می باشد، که می توان به ماشین سایه به عنوان نمایشگاه اشیاء برای موزه هنرهای مدرن در نیویورک و ونیز [۷]، مکانیسم ها و اعضای پل نیویورک کویت [۸]، سایه بان موزه هنری میلوکی [۹] اشاره نمود، که مکانیزم اصلی این سیستم ها به صورت المان های خطی با مفاصلی جهت باز و بسته شدن می باشد. پل غلتان بر روی کانال گرند یونیون در لندن به جای مکانیزم های متداول باز شدن پل ها، که شامل المانهای صلب منفرد می باشد (که بالا رفته و به قایقها اجازه عبور میدهد) مسیر به وسیله غلت خوردن و جمع شدن و تماس دو انتهای پل به هم بسته می شود [۱۰].

## ۲-۱- سازه قیچی سان

یک سازه قیچی سان از تعدادی المان های قیچی سان (شکل ۱) ساخته شده، که هر المان قیچی سان از ۲ عضو صلب (به عنوان مثال میله) ساخته شده است. این المان ها در نقطه ای در طول خود توسط یک مفصل به هم متصل می باشند. این مفصل ها اجازه چرخش به اعضا را حول محور خود داده و چرخش و حرکت را در سایر محورها محدود می نماید. المان های قیچی سان توسط مفصل هایی

انتهایی به هم وصل شده و به سیستم اجازه حرکت در راستای مورد نظر و انتقال نیرو را می دهد. همچنین، با حرکت قیچی ها در کنار هم و تغییر شکل و هندسهی آنها، کل سیستم گسترش و یا جمع می شود.



شکل ۱- المان ساده یکی از انواع سازه های قیچی سان (۱۳)

امیلیو پرز پینرو احتمالاً یکی از نخستین کسانی بود که در اوایل دهه ۶۰ تحقیقات گسترده ای بر روی سازه های قیچی سان انجام داد. او پیشرو در زمینه ی ساخت گنبد های گسترش پذیر اتوماتیک و انواع فرم های شبکه ای با استفاده از قیچی سان های مستقیم بود. علاوه بر این پینرو مکانیزم قابل گسترش با دو لایه قیچی سان را مطرح کرد و یک پناهگاه استوانه ای با میله و مفصل طراحی نمود. پینرو در طول عمر خود یک سری از پروژه ها را انجام داد و برنده چندین جایزه برای کارهایش شد [۱۱]. فعالیت های پینرو الهام بخش معماران و محققان شناخته شده ای مانند سانتیاگو کالاتراوا شد. سازه قیچی سان نمونه های رایج از سازه های باز و بسته شونده هستند که بسیاری از محققان برجسته مانند پینرو، هابرم، اسکریگ، والکارسل و پلگرینو سیستم های متفاوتی را با استفاده از سازه های قیچی سان پیشنهاد کرده اند.

## ۲-۲- اصول سازه های قیچی سان

➤ (گونه شناسی سازه های قیچی سان)

هندسه سازه های قیچی سان به طور اساسی وابسته به هندسه المان های قیچی سان می باشد. با ایجاد تغییر در طول اعضا یا در مکان محور اتصال المان های قیچی سان، شکل کل سیستم تغییر می نماید [۱۲]. بر اساس هندسه المان های قیچی سان سازه های قیچی سان به ۳ دسته سازه های قیچی سان انتقالی (Translational scissor structures) سازه های قیچی سان منحنی (Curvilinear scissor structures)، و سازه های قیچی سان زاویه دار (Angulated scissor structures) تقسیم میشوند. [۱۰]

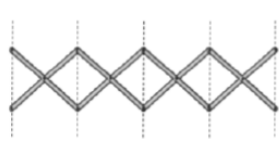
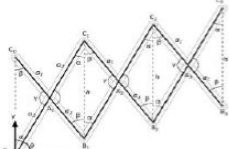
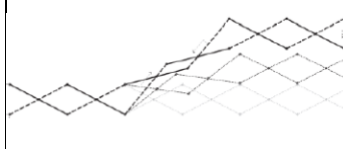
### ۲-۲-۱- سازه های قیچی سان انتقالی

این نوع از سازه های قیچی سان را می توان تنها با انتقال مستقیم الخط و بدون هیچ گونه تغییر زاویه ای در کلیت سازه ایجاد نمود. قانون اصلی این نوع از سازه های قیچی سان به این صورت می باشد، که همه خطوطی که مفصل ها را به هم وصل میکنند، باید با هم موازی باشند. با توجه به طول اعضا و مکان قرارگیری مفاصل میانی، سه نوع از سازه های انتقالی (جدول ۱) شکل میگیرد.

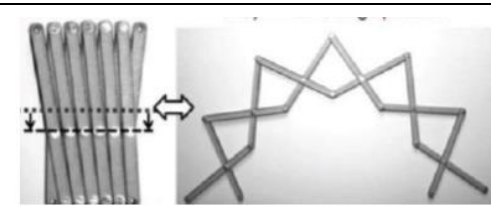
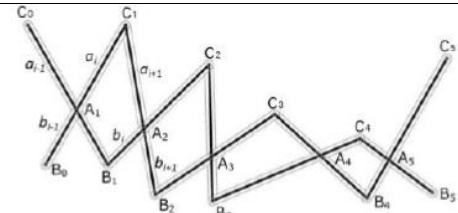
### ۲-۲-۲- سازه های قیچی سان منحنی

سازه های قیچی سان منحنی با تغییر محل مفصل میانی از نقطه وسط به کنار به وجود می آید. این نوع سازه ها میتواند ۲ شکل متفاوت داشته باشد. این نوع سیستم میتواند یا به صورت دایره ای (با یک مرکز) یا به صورت منحنی آزاد مطابق (جدول شماره ۲) گسترش یابد.

جدول ۱- دسته بندی سازه های قیچی سان انتقالی

سازه های قیچی سان انتقالی			
نام	با اعضای با طول ثابت	با اعضای با طول متفاوت	با هندسه آزاد
تعریف	تمامی اعضا دارای طول یکسان مفصل میانی، در نقطه وسط میله ها، محورهای متصل کننده مفصل ها با هم موازی	عضوی که یک مدول را ایجاد نموده، دارای طول متفاوت، مفصل در نقطه میانی، محورهای متصل کننده مفصلها با هم موازی	همه اعضا دارای طولهای متفاوت بوده، مکان نقطه مفصل میانی، به صورت اتفاقی
شکل			
منبع شکل	[۱۳]	[۱۲]	[۱۴]

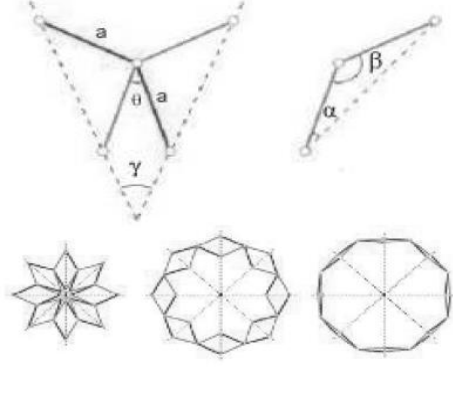
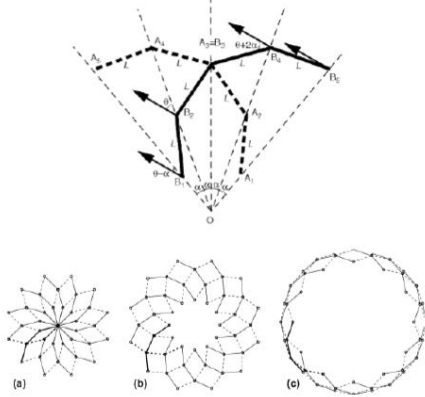
جدول ۲- دسته بندی سازه های قیچی سان منحنی

سازه های قیچی سان منحنی		
نام	با هندسه مدور	با هندسه آزاد
تعریف	همانند بخشی از یک قوس باز و بسته شده همه محورهای مفاصل در یک نقطه به هم رسیده	بر اساس اندازه منحصربه فرد هر مدول قیچی سان شکل گرفته، هیچگونه نقطه مرکزی یا رابطهای وجود ندارد
شکل		
منبع شکل	[۱۳]	[۱۲]

۲-۳- سازه های قیچی سان زاویه دار

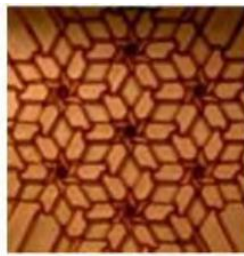
برخلاف سازه های قیچی سان انتقالی و منحنی، اعضای سازه های قیچی سان زاویه دار مستقیم الخط نبوده و در محل مفصل ها دارای زاویه ای همانند  $(\beta)$  می باشد. سازه های قیچی سان با اعضای زاویه دار می تواند ۲ شکل متفاوت داشته باشد. این نوع سیستم می تواند یا دارای یک زاویه باشد یا به صورت چند زاویه ای مطابق (جدول شماره ۳) گسترش یابد. این المان های زاویه دار برای سازه های بازوبسته شونده که به صورت یک شکل بسته بوده به کار رفته، که توانایی بازوبسته شدن به سمت پیرامون خودشان را داشته و این شرایط، برای سازه های با هندسه مدور به دلیل توسعه خطی شان امکان پذیر نبوده است.

جدول ۳- دسته بندی سازه های قیچی سان زاویه دار

نام	با اعضای منفرد	چند عضوی
تعریف	شامل دو نیم میله صلب با طول $a$ و زاویه $\beta$ زاویه $\gamma$ در طول فرایند گسترش ثابت باقی مانده	تعداد زاویه های بیشتری نسبت به المان های زاویه دار منفرد دارا بوده از چند نیم میله که با زاویه های یکسان و برابر $\alpha$ به هم وصل شده
شکل		
منبع شکل	[۱۵]	[۱۶] و [۱۷]

۲-۳- اورینگامی، یک اصل ساخت و ساز در مهندسی معماری و عمران

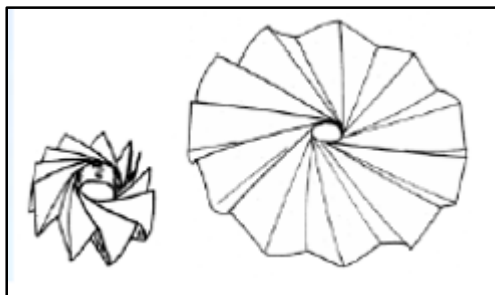
اورینگامی نام هنر باستانی ژاپنی به معنی صفحات تاخوردگی می باشد که از ترکیب "oru" به معنی تاخوردگی و "kami" به معنی کاغذ می باشد. هدف ابتدایی این هنر لزوما سودمندگرایی آن نبوده بلکه بیشتر برای تفریح و سرگرمی می ساختند. امروزه اورینگامی به عنوان منبع الهامی برای مهندسين، معماران و طراحان منجر به ساخت و تولید محصولاتى از قبیل ظروف مقوایی تا سازه های مورد استفاده در علوم فضا کاربرد دارد. بسیاری از اصول تاخوردگی ابتدا توسط محاسبات اورینگامی ایجاد شده و سپس به سایر رشته ها منتقل می شود، (شکل ۲).



شکل ۲- هنر اورینگامی

۲-۳-۱- مهندسی اورینگامی

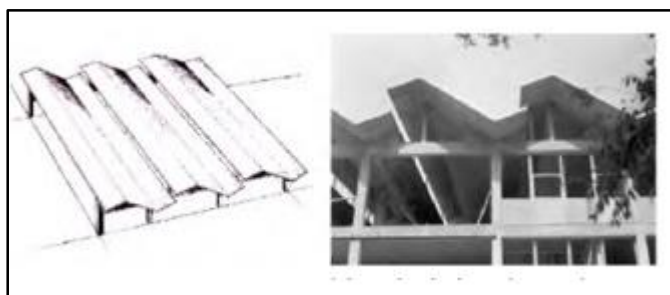
اورینگامی ها همواره به عنوان منبع الهام برای استفاده های گوناگون مورد توجه مهندسين بوده است. قابلیت استفاده در شرایط مختلف، قابلیت تحمل بالای بار و سقف های تاشو از ویژگی های اورینگامی ها هستند که مهندسين در طراحی ها از آن ها استفاده می کنند، (شکل های ۳، ۴، ۵) [۱۸].



شکل ۳- الگوی پیچشی برای یک بادبان خورشیدی



شکل ۴- گسترش پذیری



شکل ۵- سقف ساده ورق تاشده، افزایش استحکام خم

### ۲-۳-۲- کاربرد اوریگامی

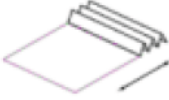
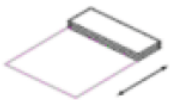
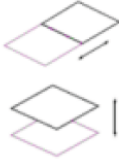
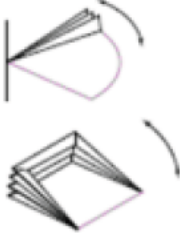
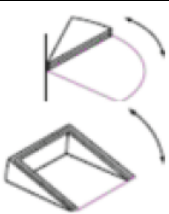
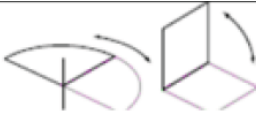
ساختارهای اوریگامی قابلیت استفاده در انواع ساختمان ها از جمله نما و یا پوشش یک فضا را دارند. انطباق پذیری آنها امکان استفاده در بخش های خارجی و همچنین داخلی ساختمان را می دهد. میتوان با استفاده از متریال های گوناگون خصوصیات فیزیکی و حرکتی متفاوتی به آن بخشید. همچنین نیازی نیست از همان ابتدا ساخت سازه اوریگامی را برای ساختمان متصور شد چرا که قابلیت این را دارد تا در مراحل بعدی روی سازه نصب شود. از قابلیت های کاربرد ساختار اوریگامی در طراحی داخلی میتوان به تنظیم امواج صدا اشاره کرد: در تالار کنسرت، سالن تئاتر، کتابخانه ها و کلاسهای دانشگاه، مدول های اوریگامی میتوانند روی دیوارها و یا سقف نصب شوند و نحوه آرایش مدول ها میتواند میزان صداهای داخل فضا را تحت کنترل خود در آورد. مدول های مختلف را میتوان در یک الگوی منظم قرار داده و در یک پیکربندی مبنا مدول ها بسته باشند و هنگامی که حسگرها صدا های از قبل پیش بینی شده را دریافت کنند، مدولها به هندسه جدیدی تغییر شکل داده و میزان انعکاس صدای داخل اتاق را کنترل میکنند. در این حالت پیشنهاد میشود تا سطح بیرونی پنل ها با متریال عایق صدا مانند چوب های متخلخل و فوم چوشیده میشوند. از این رو، به دنبال طراحی فضاهای آکوستیک، استفاده از پنل های نمایان جاذب صدا پیشنهاد می شود.

یکی از موارد قابل استفاده در محیط های خارجی، سایه بان است. توصیه میشود در ساخت سازه این نمونه موردی، قاب سبک و مقاوم (آلومینیوم و کامپوزیت) بکار گرفته شود تا در اثر گذر زمان و قرار گرفتن تحت شرایط سخت جوی دچار خوردگی و فرسودگی نشود. سطح خارجی و نمای پنل ها با توجه به اهداف مختلف می تواند با متریال های متنوع پوشش داده شود: پنل هایی که هنگام تابش کامل نمایان میشوند ممکن است از جنس شیشه اکریلیک و پی وی سی ساخته شوند و بقیه پنل ها میتوانند نور را از خود عبور دهند. یکی دیگر از کاربردها در این زیر مجموعه، میتوان از اورینگامی برای پوشش یک غرفه در فضای عمومی که میتواند همزمان به عنوان سایه انداز و محافظ در برابر عوامل جوی بهره برد [۱۸].

### ۳- ایده و ملاحظات طرح

آنچه که در این مقاله سعی شده است به آن پرداخته شود ارائه الگویی جهت طراحی ساختار سازه ای و مکانیزم مکانیکی متحرکی به عنوان ((سایه بان متحرک)) برای سطوح مسطح می باشد (جدول ۴).

جدول ۴- نحوه حرکت سقف های باز و بسته شونده و فضای تجمع آن ها [۱۹]

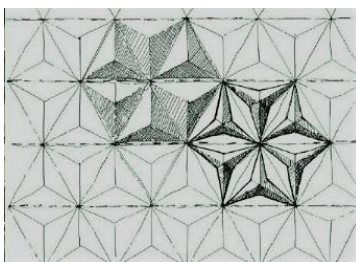
نوع تغییر حالت سقف و میزان فضای لازم جهت تجمع			نوع حرکت
تاشونده (افقی، عمودی)	همپوشانی (افقی، عمودی)	معمولی (افقی، عمودی)	
			انتقالی
			چرخشی

طراحی جزئیات و مکانیزم مناسب برای ایجاد فضای متنوع، امنیت سازه ای و حرکتی نیز از اهداف این طراحی می باشد. به طور کلی اهداف و ملاحظاتی که در طراحی سایه بان مورد نظر، در نظر گرفته شده است شامل موارد زیر است:

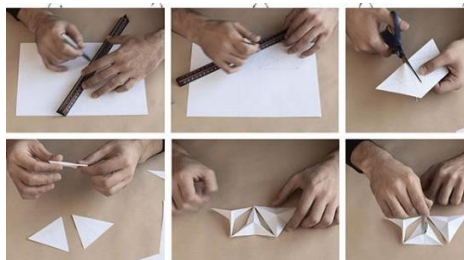
- طراحی استخوان بندی سازه ای و مکانیزم حرکتی: این قسمت، اصلی ترین قسمت طراحی می باشد که سبب پایداری و یکپارچگی در کل سازه می شود.
- تغییر شکل سایه بان: طوری طراحی گردد که در هنگام باز، نیمه باز و بسته شدن دچار تغییر شکل نشود. این امر باعث جذابیت بصری نیز می شود.
- کمترین اشغال فضا: سایه بان طوری طراحی گردد که در زمان جمع شدن (بسته شدن)، فضای کمتری را اشغال کند. این ویژگی سبب صرفه جویی اقتصادی نیز می شود.

### ۳-۱- معرفی مدل اوریکامی

سازه اوریکامی انواع و اقسام مختلفی دارد، یکی از اوریکامی های پر کاربرد در عمر ساختمان سازی طراحی ماژولار (بخش-بخش) اوریکامی می باشد. این روش دارای مزایای زیادی می باشد و همواره می توان به کمک محاسبات ریاضی با کنارهم قرار دادن اشکال هندسی پایه، دست به ساخت فضاهاى مختلف زد، در این مقاله از یک ماژولار اوریکامی مانند (شکل ۶ الف، ب، ج) برای تهیه الگوی اولیه استفاده شده است. این الگو از ۶ پنل تشکیل شده، حرکت و عمل تاشدن تمام پنل های مثلثی شکل در فضا حول یک راس مرکزی کنترل می شود که به آن نقطه دوران می گویند.



شکل ۶- الف) پلان ماژولار اوریکامی ۶پنلی {origami-architecture}



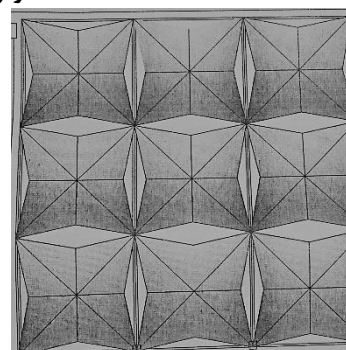
شکل ۶- ب) ساخت الگوی مقوایی {origami-architecture}



شکل ۶- ج) سازه اوریکامی که از راست به چپ به صورت باز، نیمه باز و بسته می باشد. همچنین نقاط آبی به عنوان تکیه گاه و نقاط قرمز به عنوان مرکز دوران صفحات می باشد. {origami-architecture}



(ب)



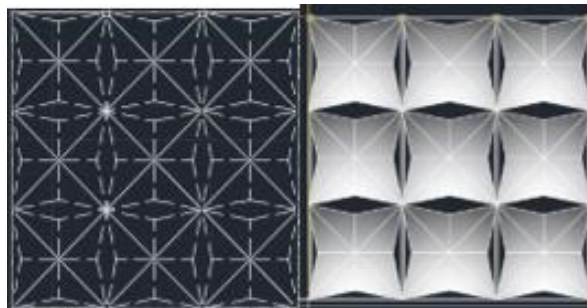
(الف)

شکل ۷- الف) ترسیم پلان اولیه که متشکل از ۸ پنل می باشد. ب) نمونه اولیه اجرا شده از سازه اوریکامی که نحوه گستردگی و دوران سطوح به منظور آزمایش حالت های مختلف در تصویر نشان داده شده است.

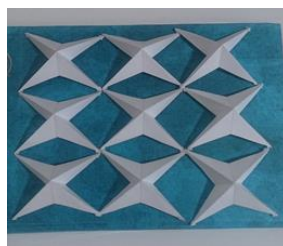


### ۳-۲- ارائه طرح اصلی

جهت پوشش سطح بیشتری از فضا، الگوی اولیه‌ی بدست آمده را در دو جهت گسترش داده و سپس رفتار سازه‌ای، تاشدگی و مقاومت آن مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۸، ۹).



شکل ۸- نمونه ترسیمی اولیه از هندسه اورینگامی پیشنهادی بوسیله نرم افزار ای تخصصی. خطوط ممتد در سازه قله و خط چین‌ها دره می‌باشند



شکل ۹- نمونه مقوایی ساخته شده از ترسیمات در مقیاس کوچکتر جهت بررسی رفتار و قابلیت گسترش پذیری سازه

یکی از نکاتی که در این مرحله به آن باید توجه داشت این است که مدل اورینگامی انتخاب شده باید روی مصالحی غیر از مقوا نیز عملکرد مشابهی داشته باشد. از این باب به روش تجربی و ساخت ماکت این مدل را تحت آزمون قرار داده ایم که مراحل آزمون در (شکل ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳) نمایش داده شده است:



شکل ۱۰- آزمون اول، عملکرد تاشدگی در جهت محور افقی



شکل ۱۱- آزمون دوم، دستیابی به تغییرات ارتفاعی لازم در حین تاشدگی در محور افقی

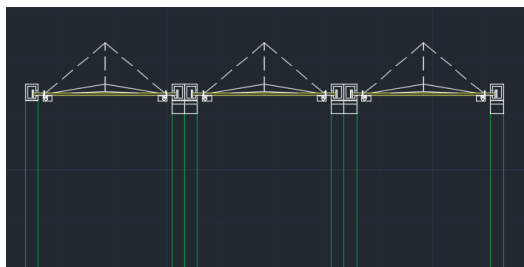


شکل ۱۲-آزمون سوم، پس از نتایج حاصل در دو آزمون قبل این آزمون کشیدی در محور عمودی را مورد بررسی قرار می دهد

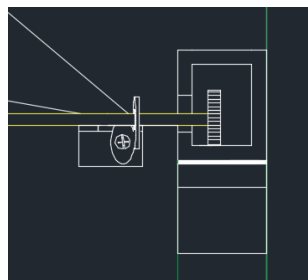


شکل ۱۳- آزمون نهایی، پس از بررسی های صورت گرفته در نهایت شکل بالا نمونه ای مناسب به عنوان سایه بان معرفی و اجرا شد

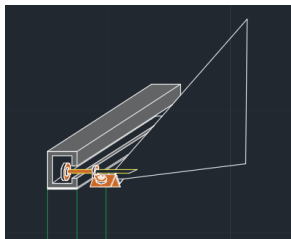
### ۳-۳- جزئیات اجرایی و سازه ای



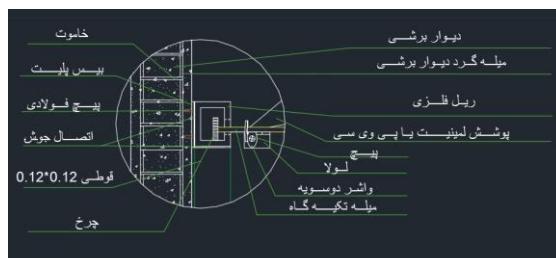
شکل ۱۴- نحوه قرار گیری سایه بان بر روی ستون های استیل



شکل ۱۵- پس از بررسی نتایج حاصل از آزمون های صورت گرفته از طرح نحوه قرار گیری نبشی نشین گاه زیر ریل و قرار گیری چرخ و میله تکبیه گاه پوشش سایه بان داخل ریل به صورت بالا می باشد.



شکل ۱۶- مدل سه بعدی از اتصال پوشش پی وی سی (ورق های تاشو) به لولا و اتصال لولا به واشر و جهت حرکت چرخ داخل ریل



شکل ۱۷- جزئیات ترسیمی اتصال ریل به دیوار و جزئیات اجرایی ریل



شکل ۱۸- مدل سه بعدی طرح تکمیلی یک رستوران که حالت های مختلف بازو بسته شدن سایه را به نمایش می گذارد

### ۳-۴- طراحی مکانیزم مکانیکی متحرک

طراحی مکانیزم مکانیکی از مهم ترین قسمت های طراحی در سقف باز و بسته شونده می باشد. این میزان اهمیت به این خاطر است که مکانیزم های مکانیکی علاوه بر وظیفه حرکت دادن بخش متحرک سقف، دارای وظیفه سازه ای نیز هستند و بار وارده را به سازه زیرین خود منتقل می کنند. در نتیجه می توان گفت که طراحی دقیق و مناسب این قسمت از سایه بان، سبب ایجاد امنیت سازه ای برای کاربران نیز می شود. پیشنهادی که برای مکانیزم مکانیکی سایه بان مطرح است، استفاده از پیستون هیدرولیکی جهت دوران قاب های مفصلی حول نقاط دورانشان است. در این شیوه پیستون هیدرولیکی به قاب جلویی سازه در هر ردیف متصل شده و حرکت تلسکوپی این پیستون ها سازه را در راستای افقی، باز و بسته می کند. پیستون ها با اتصال مفصلی از یک انتها به یکی از میله های تکیه گاهی متصل به اورینگامی مورد نظر قرار دارد و از انتهای دیگر به دیوار برشی که ریل های سازه ای به آن متصل هستند، وصل می شوند.

### ۳-۵- پوشش نهایی

به دلیل بهره برداری هرچه بیشتر از سایه بان و ایجاد آسایش برای استفاده کنندگان و همچنین در نظر گرفتن میزان عمر، پلی استر با پوشش پی وی سی را برای پوشش نهایی پیشنهاد می کنیم. این پوشش بر روی میله های تکیه گاه مورد نظر همانند (شکل ۱۹) نصب می شوند.



شکل ۱۹- نحوه قرار گیری پوشش بر روی تکیه‌گاه

#### ۴- نتیجه گیری

طی مطالعات انجام گرفته و روندی که طی شد می‌توانیم با ادغام سازه اورینگامی سبک با ضخامت کم و همچنین بکارگیری سازه تغییر فرم پذیر و سیستم محرک و پاسخگو به شرایط محیطی، یک محصول منعطف پیشنهاد داد. انتخاب یک سیستم اورینگامی در معماری و همچنین طراحی فضای سرپوشیده متحرک می‌تواند تاثیرات متفاوتی بر سفارشی سازی، پایداری و ارزش زیبایی شناختی بنا داشته باشد. بعلاوه فناوری مورد نیاز برای ساخت و پیاده سازی و همچنین نگهداری آن آسان است. متریاال‌های مورد استفاده در ساخت، مرحله ساخت سازه و همچنین انرژی صرف شده در چرخه عمر بنا ارزان و در نتیجه کاربرد چنین سیستمی مقرون به صرفه خواهد بود. شبیه سازی‌ها و نمونه‌های اولیه بکار گرفته شده در این مقاله، انعطاف پذیری این سیستم را تایید می‌کند. متریاالی که برای ساخت پنل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، بسته به نوع کار می‌تواند متفاوت باشند. از منظر زیبایی شناختی امید است که ایده حاضر تحولاتی در مسیر تصورات موجود در ساختمان سازی و خلق فضای معماری ایجاد کند. سازه اورینگامی و تغییر فرم پذیر امکانات فراوانی جهت تامین نیازهای آسایشی کاربران در اختیار آن‌ها قرار می‌دهند و نیز سازگار با خواسته‌های محیط زیست می‌باشد.

#### ۵- منابع

۱. محمدرضا متینی، مقاله بهره گیری از الگوهای طبیعت برای طراحی ساختارهای تغییر پذیر خم شو در معماری
2. B.P. Nagaraj, R. Pandiyan, Ashitava Ghosal. Kinematics of pantograph masts. The journal of Mechanism and Machine Theory.2008.
3. Otto, F et al (1971): Convertible Roofs, Institut for Lightweight Structures,Univ. Stuttgart, IL5.
4. Escrig, F., Brebbia, C. (1996) Mobile and Rapidly Assembled Structures, II, First ed., Computational Mechanics, Southhampton, UK.
5. Lorentz, W. (2008): Photo of the Mellon Arena Photograph, Wayne Lorentz/Artefaqs Corp, source: <http://www.glasssteelandstone.com/Images/US/PA/Pittsburgh/200801/MellonArena-Jul08-010a.jpg>.
6. Korkmaz, K. "An Analytical Study of the Design Potentials in Kinetic Architecture." PhD Thesis, Department of Architecture, İzmir Institute of Technology, Izmir,Turkey, 2004.
7. Tzonis, A. Santiago Calatrava: The Poetics of Movement. New York: Universe Publishing, 1999.
8. Tischhauser, A., and S. von Moos. Calatrava: Public Buildings. Basel, Switzerland: Birkhauser Press, 1998.
9. Galinsky. Milwaukee Art Museum by Santiago Calatrava. October 27, 2009. <http://www.galinsky.com/buildings/milwaukeeart/> (accessed October 27, 2009).

۱۰. آرش عثمانی. ۱۳۹۲. سازه های سهموی هذلولوی قیچی سان. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته تکنولوژی معماری. دانشگاه هنر اسلامی

تهران

11. Ihsan Mungan, John F Abel. Fifty years of progress for shell and spatial structures. International Association for Shell and Spatial Structure(IASS). 2011.
12. Yenal Akgun. A NOVEL TRANSFORMATION MODEL FOR DEPLOYABLE SCISSOR-HINGE STRUCTURES, 2010.
13. Lara Alegria Mira. Design and analysis of a universal scissor component for mobile architecture applications. Master thesis in engineering sciences civil construction. 2010
14. Daniel Rosenberg. DESIGNING FOR UNCERTAINTY Novel Shapes and Behaviors using Scissor-pair Transformable Structures. Master of Science in Architecture Studies at the Massachusetts Institute of Technology.2009.
15. Lara ALEGRIA MIRA, Niels DE TEMMERMAN. Design and Analysis of a Universal Scissor Component for Mobile Architectural Applications. Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2010, Shanghai.
16. P. E. Kassabian, Z. You,S. Pellegrino. Retractable roof structures. Proc. Instn Civ. Engrs Structs & Bldgs, 1999, 134, Feb., 45–56 Paper 11693.
17. Thomas Buhl, Frank V. Jensen, Sergio Pellegrino. Shape optimization of cover plates for retractable roof structures. Computers and Structures 82 (2004) 1227–1236.
۱۸. حسین بخشی، اورینگامی به عنوان فناوری نوین ساخت در معماری پایدار
19. Masubuchi, M. Bogle, A. Schlaich, V; 2010;Study of retractable membrane roofs folding to the perimeter; International Conference of IASS; China.