الگوی سازه ای و حرکتی سقف های باز و بسته شونده منحنی شکل توسط میله های متحرک

مجید احمدنژاد کریمی[۱]، مازیار آصفی[۲]، فرزین حقپرست[۳]

چکیده

در دهه های اخیر سقف های باز و بسته شونده به دلیل قابلیت های آن ها در دستیابی به یک معماری انعطاف پذیر و پویا مورد توجه معماران و مهندسان قرار گرفته است. مشارکت انواع ساختمان ها از جمله مراکز ورزشی، استخرها در ایجاد یک معماری پایدار، تطبیق پذیری با شرایط محیطی، کاهش مصرف انرژی، و پاسخگویی مناسب به الزامات عملکردی یک بنا در جهت آسایش کاربران آن، استفاده از این گونه سقف ها را در فضای معماری افزایش داده است.

ساخت بسیاری از این بناها به دلایل سازه ای و زیباشناسی با انواع فرم های منحنی ساخته می شود. از سوی دیگر، طراحی سقف های باز و بسته شونده برروی سقف با سطوح و سازه های منحنی به سبب ماهیت ظاهری آن ها نسبت به سطوح مسطح پیچیده تر می باشد. در این مقاله سعی شده است که الگویی از نحوه باز و بسته شدن سقف به همراه مجموعه ای از ساختار سازه ای و مکانیزم مکانیکی مناسب به عنوان استخوان بندی سازه ای و حرکتی که قابلیت استفاده در سطوح منحنی را داشته باشد، ارائه گردد. ایده طرح استفاده از میله های متحرک برروی سقف با سطوح منحنی و قوسی با دهانه متوسط و حرکت دورانی آن ها می باشد.

واژه های کلیدی: سقف باز و بسته شونده، مکانیزم مکانیکی حرکتی، میله متحرک، استخوان بندی سازه ای و حرکتی.

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۱۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۵/۲۴

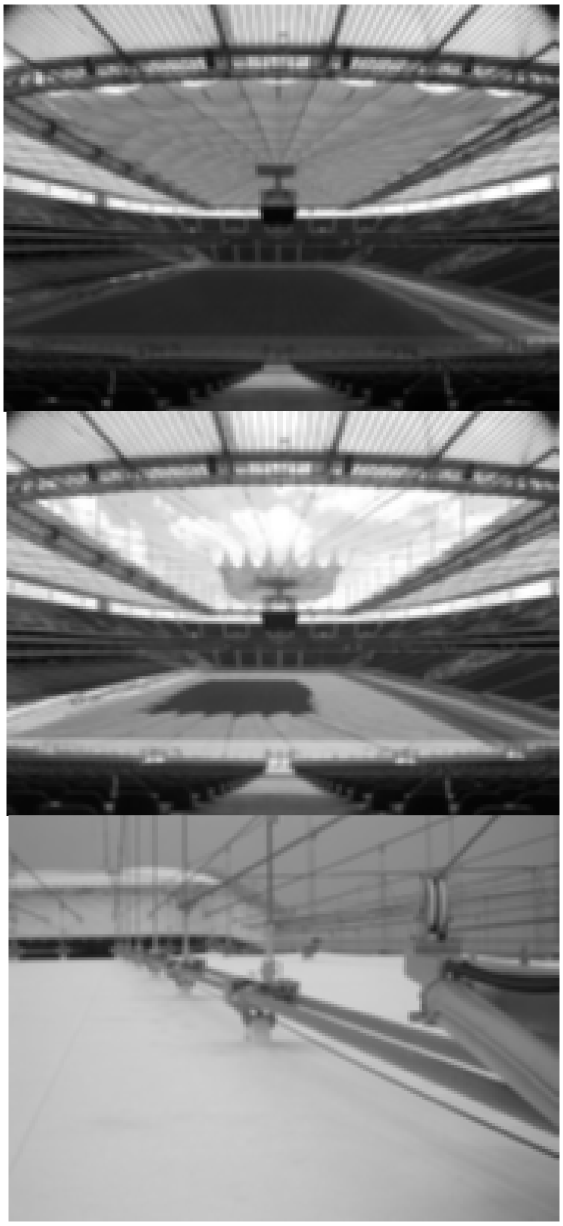
---

[۱] کارشناس ارشد تکنولوژی معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.
[۲] استادیار معماری دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.
[۲] استادیار معماری دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران. (نویسنده مسؤول)

majid_ahmadnejad@yahoo.com
mazi1017@yahoo.com
f_haqparast@yahoo.co.uk

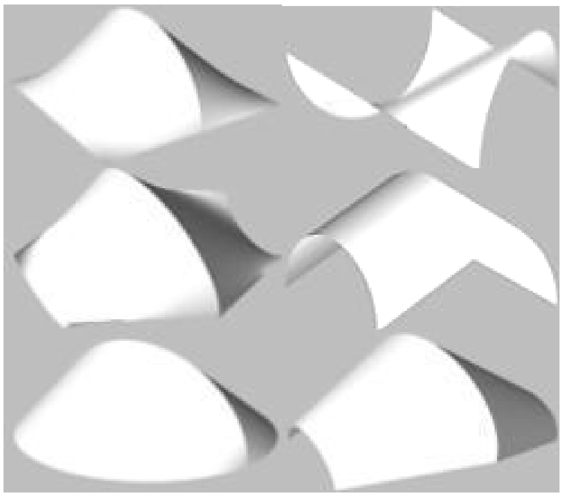
۱. مقدمه

ساختمان ها، حمل و نقل و صنعت سه بخش مهمی هستند که سهم عمده ای در مصرف انرژی های جهانی دارند. دو نوع اول آن ۷۵ درصد انرژی مصرفی را شامل می شوند که به طور مستقیم می توانند تحت تاثیر معماری و طراحی شهری قرار بگیرند بدنه ساختمان، و سقف یک ساختمان به طور خاص، به عنوان حائلی بین فضای داخل و خارج عمل می کند. این حائل می تواند به شکل غیر متحرک (استاتیک) یا متحرک (دینامیک) در نظر گرفته شود که نوع متحرک آن می تواند سبب افزایش کارآیی انرژی در ساختمان شود[۱]. معماری متحرک نماد فلسفه جدید با موضوع انعطاف پذیری در معماری خواهد بود که سیمای شهرها و حتی نحوه زندگی انسان ها را می تواند تغییر دهد و ساختمان دارای بعد چهارمی به نام زمان خواهد شد. به عبارتی، هر بنا امکان تغییر فرم برای تحقق شرایط مطلوب را دارد. این نوع معماری نیازمند روش های پیشرفته ساخت و سیستم های کنترل کننده قوی می باشد. یکی از بخش های ساختمان که می تواند به صورت متحرک و پویا طراحی گردد، سازه سقف می باشد. هر چند هزینه اولیه طراحی و ساخت سقف های متحرک تقریبا بالا می باشد، ولی کارآیی این نوع سقف ها در فضاهای معماری با ابعاد بزرگتر از جمله فضاهای ورزشی، تفریحی، آمفی تئاترها، استخرها و نیز فضاهای چندمنظوره بیشتر قابل مشاهده است (شکل یک). در این گونه بناها در صورت استفاده از سقف ثابت، استفاده از وسایل مکانیکی جهت تهویه و نیز نورپردازی، سبب مصرف میزان زیادی از انرژی الکتریکی می شود. کاربرد سقف های باز و بسته شونده در این فضاهای معماری سبب کاهش مصرف انرژی نیز می شود. طراحی سازه های متحرک از جمله سقف های باز و بسته شونده از لحاظ ملاحظات معماری و سازه ای را نمی توان با آیین نامه های موجود در ساختمان های رایج در نظر گرفت[۲]. سازه سقف های باز و بسته شونده برای دو حالت سقف در شرایط باز و شرایط بسته طراحی می شوند. از سوی دیگر ، یکی از مهمترین نکات در طراحی سازه این گونه سقف ها، در نظر گرفتن ملاحظات معماری و سازه ای آن ها در حین حرکت می باشد. ایجاد امنیت سازه ای و حرکتی مناسب و دقیق به لحاظ خصوصیت حرکتی این گونه سقف ها بسیار حائز اهمیت می باشد. یکی دیگر از تفاوت های اصلی سقف های باز و بسته شونده در مقایسه با سقف‌های رایج و معمولی، طراحی مکانیزم مکانیکی متحرک آن می باشد. مکانیزم های مکانیکی متحرک این گونه سقف ها، با توجه به نحوه و نوع حرکت سازه ها و مسائل سازه ای آن ها طراحی می گردد[۳].



شکل (1): سقف باز و بسته شونده استادیوم کامرزبانک و مکانیزم مکانیکی متحرک آن[۴].

انتخاب نوع مکانیزم مکانیکی متحرک و نحوه حرکت یا باز و بسته شدن سقف ها، بسیار به شکل و فرم سقف آن بستگی دارد. در مقایسه با سطوح مسطح و غیرمنحنی، طراحی سقف باز و بسته شونده بر روی سطوح منحنی به سبب انحنای موجود در سطح آن و پیچیدگی در انتخاب نحوه باز و بسته شدن قسمت متحرک آن، مشکل تر و نیاز به دقت بیشتری دارد. سطوح منحنی از جمله سطوح استوانه ای، گنبدی، زین اسبی و مخروطی از سطوح بسیار جذابی در معماری هستند که مورد استفاده بسیاری



شکل ۲: ترسیم سه بعدی سطوح منحنی تشکیل شده از خطوط مستقیم الخط

از طراحان در بناها بخصوص در سازه سقف آن ها شده است(شکل دو).

به طور کلی، سازه سقف باز و بسته شونده از پنج قسمت اصلی تشکیل می شود که شامل سازه پایه، سازه نگهدارنده، مکانیزم حرکتی، سازه متحرک و پوشش سقف است. سازه نگهدارنده قسمتی از سازه سقف می باشد که باروزن سقف باز و بسته شونده را به سازه پایه انتقال می دهد. (شکل سه).

زمانی که سقف به شکل باز درمی آید، باید در جایی نزدیک همان محل باز شدن، جمع شود. دراکثراوقات فضای لازم برای تجمع پوشش سقف محدود است. در نتیجه برای تجمع سقف در شرایط باز، کاهش در ابعاد سقف هنگام باز شدن یا تغییر در شکل سقف در این شرایط بسیار اهمیت دارد[۵].

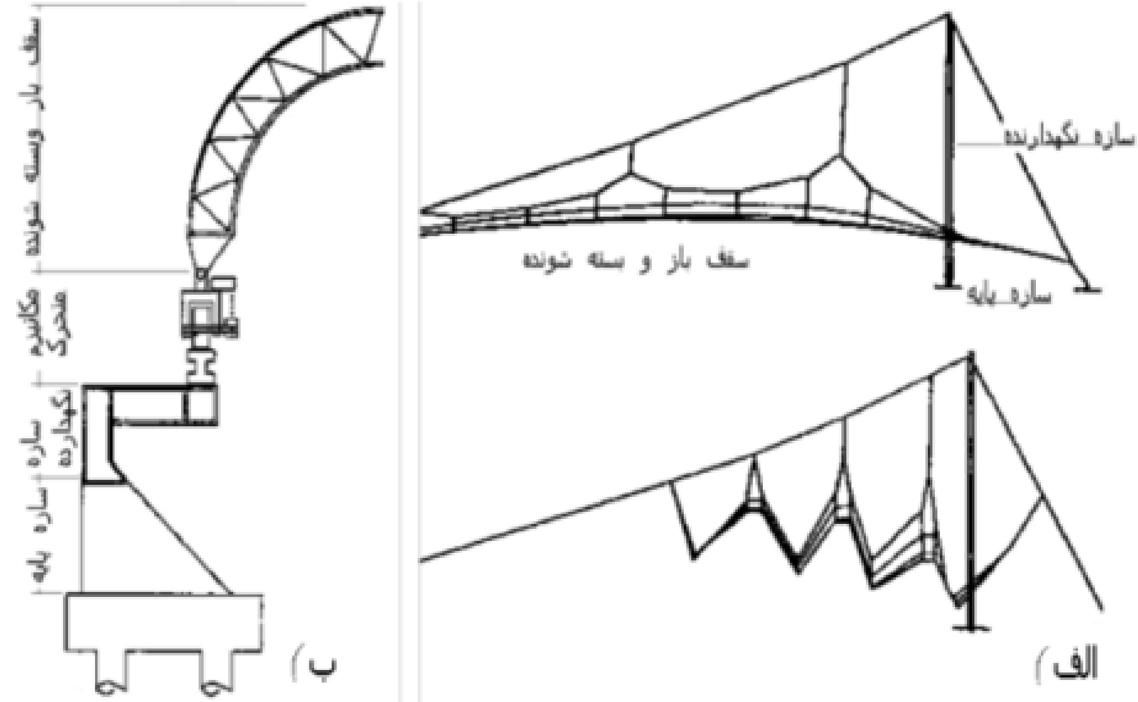
فضای مورد نیاز برای تجمع سقف به موارد گوناگونی در حین حرکت وابسته است که شامل موارد زیر می باشد(جدول یک) :

- نوع حرکت (انتقالی، چرخشی).
- جهت حرکت (افقی، عمودی).
- نحوه تغییر حالت (معمولی، همپوشانی، تاشونده)

به طور کلی در شرایط یکسان پوشش سقف هایی که در هنگام باز شدن به صورت همپوشانی روی هم قرار می گیرند نسبت به پوشش سقف هایی که به هنگام باز شدن به صورت موازی در کنار هم قرار می گیرند، فضای کمتری را اشغال می کنند. همچنین سقف هایی که به صورت تاشونده، باز و بسته می شوند در مقایسه با دو مورد فوق به فضای کمتری نیاز دارند [۶].

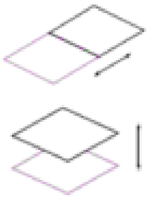
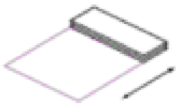
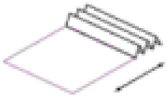
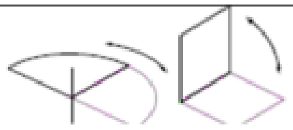
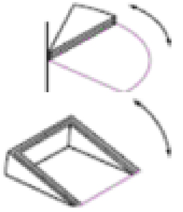
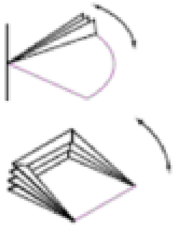
۲. ایده و ملاحظات طرح

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 «استخوان بندی سازه ای



شکل ۳: قسمت های تشکیل دهنده سقف باز و بسته شونده [۳]

جدول (1): نحوه حرکت سقف های باز و بسته شونده و فضای تجمع آن ها [۶].

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

و حرکتی» برای سقف های باز و بسته شونده با سطوح منحنی شبه مخروطی می باشد. طراحی جزییات و مکانیزم مناسب برای ایجاد امنیت سازه ای و حرکتی نیز از اهداف این طراحی می باشد. به طور کلی اهداف و ملاحظاتی که در طراحی سقف موردنظر، درنظر گرفته شده است شامل مواردزیر است:

- طراحی استخوان بندی سازه ای و حرکتی: این قسمت، اصلی ترین قسمت طراحی می باشد که سبب امنیت سازه ای و یکپارچگی در سقف می شود.

- تغییر شکل سقف: سقف طوری طراحی گردد که در هرلحظه از حرکت، دچار تغییرشکل شود. این امر باعث جذابیت بصری نیز می شود.

- کمترین اشغال فضا: سقف طوری طراحی گردد تا در زمان باز شدن، فضای کمتری را اشغال کند. این ویژگی سبب صرفه جویی اقتصادی نیز می شود.

- طراحی جزییات سازه ای و مکانیکی: تمامی ملاحظات معماری، سازه ای و حرکتی از جمله بادشکن، آبرو بام، پس تنیدگی و مکانیزم های مکانیکی طراحی گردد.

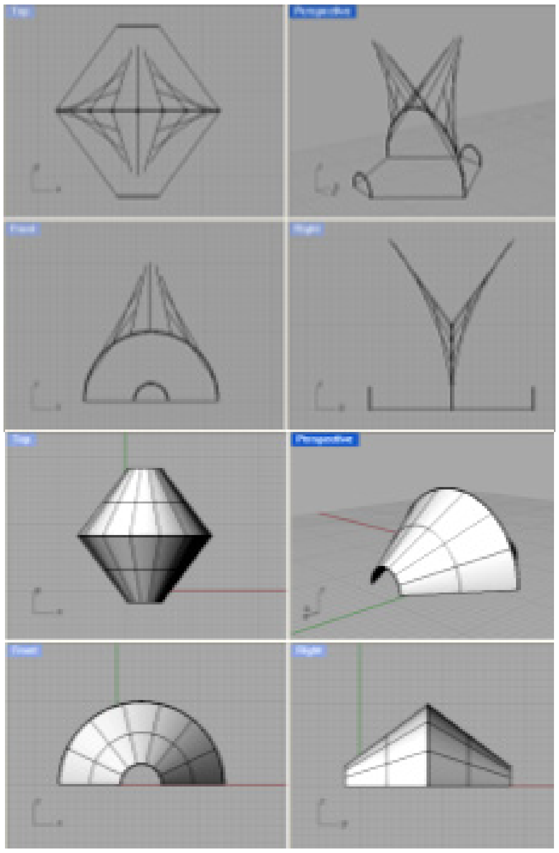
یکی از احجام سه بعدی منحنی، شکل شبه مخروطی می باشد این سقف از اتصال خطوط مستقیم الخط بین دو قوس عمودی غیر هم اندازه بدست می آید. همانطور که در پلان مشاهده می شود. با ترسیم این خطوط مستقیم و صاف برروی این گنبد، ایده اولیه باز و بسته شدن سقف با حرکت این خطوط که به مثابه میله های متحرک می باشند بوجود می آید. اگر هر یک از این خطوط را نسبت به نقطه برخوردشان با قوس عمودی بزرگتر، حول محور (X) و تحت زاویه مورد نظر (در اینجا با حداکثر زاویه ۹۰ درجه) دوران دهیم، سقف به حالت باز درمی آید(شکل چهار).

یکی از نکاتی که در نحوه باز و بسته شدن سقف با حرکت دورانی باید بدان توجه کرد، «محور دوران» و «نقطه دوران» می باشد. این مساله تاثیر مستقیم بر طراحی مکانیزم مکانیکی و یکپارچه سازی سازه ای این سقف دارد. در این سقف به دلیل شکل منحنی و قوسی آن و نیز تغییر شکل و تغییر فاصله میله ها در حین حرکت، در نظر گرفتن یک محور دوران مستقیم الخط مشکل می باشد. به عبارت دیگر در این سقف به جای محور دوران، هر یک از این میله ها دارای نقطه دوران مختص خود هستند. مجموعه نقاط دوران (محل تقاطع هر خط مستقیم با قوس عمودی بزرگتر) سبب دوران کلیه سقف در راستای محور عمودی می شود. یکی از مزیت های این نحوه باز و بسته شدن، عدم نیاز به فضای اضافی جهت جمع شدن سقف به هنگام باز شدن نهایی آن می باشد. این سقف در محلی برروی همان مکان قبلی اتصال خود با سازه، جمع می شود و نیاز به اشغال فضای بیشتر را رفع می کند.

یکی از مهمترین بخش طراحی سقف باز و بسته شونده فوق، اتصال مناسب میله های متحرک به یکدیگر است. این امر موجب می شود تا اگر به هر دلیلی یکی از این میله ها یا مکانیزم آن دچار خرابی و نقص شد، سایر میله های متحرک به سبب این اتصال سازه ای از فروریختن آن جلوگیری کنند. به عبارت دیگر، حرکت هر یک از میله ها

بتواند باعث حرکت همزمان بقیه میله ها شود. همچنین اتصال سازه ای بین میله ها باعث افزایش ایمنی سازه ای می شود. به دلیل فرم منحنی این سقف و همچنین به سبب قرارگیری میله های متحرک بر روی مسیر قوسی، فاصله بین این میله ها در حین باز و بسته شدن سقف تغییر می کند. هرچه سقف به سمت حالت باز شدن نهایی خود پیش می رود، فاصله هر میله نسبت به میله های مجاور خود افزایش پیدا خواهد کرد. این ویژگی، سبب ایجاد تغییر شکل در سقف در هر لحظه از زمان باز و بسته شدن نسبت به هم می شود.

همانطور که در تصویر زیر مشخص است فاصله بین میله های متحرک مجاور هم، در زوایای مختلف دوران (۰، ۲۲٫۵، ۴۵ و ۹۰ درجه) در حین حرکت نسبت به هم تغییر می کند (شکل پنج). در نتیجه به سبب این تغیر فاصله در هر زمان از حرکت، این امکان وجود ندارد که میله های متحرک را توسط سازه ای صلب در جهت عمود بر آن ها به یکدیگر متصل و یکپارچه کرد. از سوی دیگر، چون هر یک از میله های متحرک دارای نقطه دوران مختص خود هستند در نتیجه در هنگام دوران، نسبت به یکدیگر مستقل عمل خواهند کرد.

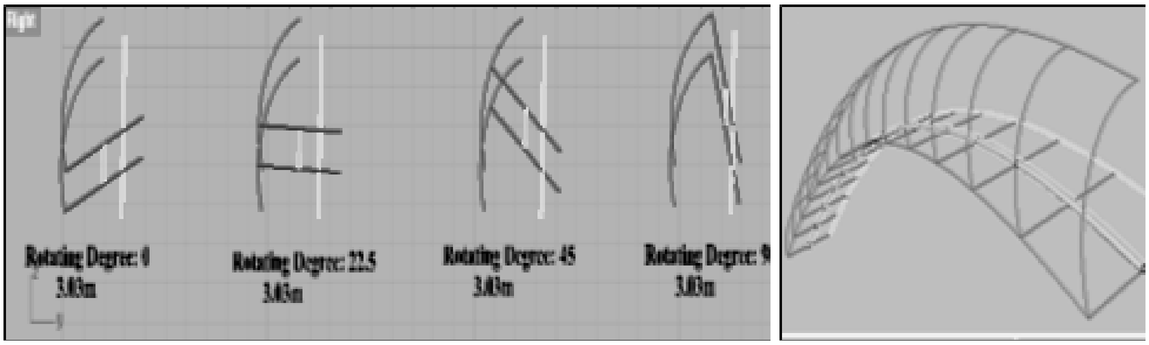


شکل ۴: سقف شبه مخروطی متشکل از خطوط مستقیم الخط زاویه دار بین دو قوس عمودی غیر هم اندازه (ترسیم: نگارندگان)

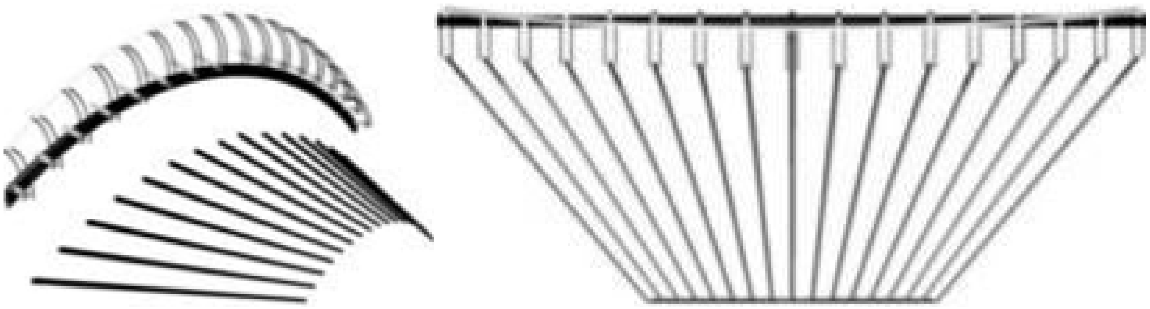
در برخی از سطوح مسطح و غیر منحنی که فاصله میله ها در حین حرکت تغییر نمی کند براحتی می توان این میله ها را توسط سازه ای در راستای عمود بر آن ها به یکدیگر متصل کرد تا یکپارچگی سازه ای ایجاد گردد. ولی در سقف منحنی فوق به سبب دو ویژگی بیان شده (۱- تغییر فاصله میله ها حین حرکت ۲- دوران میله ها به طور مستقل نسبت به یکدیگر) این امکان وجود ندارد که میله ها را در راستای عمود بر آن ها توسط سازه صلب به یکدیگر متصل کرد. برای اینکه بتوان یکپارچگی سازه ای بین میله های متحرک را ایجاد کرد، می بایست برای همه آن ها یک مسیر دوران مشابه تعریف کرد. به عبارت دیگر، همه این میله ها تحت یک شعاع و مسیر منحنی مشابه حول نقطه دوران خود بچرخند. برای تحقق این امر، ابتدا به طراحی یک استخوان بندی «سازه ای و حرکتی» پرداخته شد.

همانطور که در شکل شش مشخص است، یک میله متحرک به همراه مسیر منحنی آن که قسمتی از کمان ناشی از دوران حول نقطه دوران می باشد، نشان داده شده است. اگر این مسیر منحنی و شعاع را برای تمامی میله های متحرک دیگر در راستای قوس سازه ای تعمیم دهیم، آنگاه فاصله بین میله های مجاور در تمامی لحظات باز یا بسته شدن ثابت می ماند. در نتیجه می توان این میله ها را از نظر سازه ای در جهت عمود بر آن ها به یکدیگر متصل کرد. این اتصال سازه ای باعث پیوستگی بین میله های متحرک سقف می شود. به عبارت دیگر، این میله های متحرک به سبب این اتصال سازه ای بین آن ها نسبت به یکدیگر نقش حمایت کننده دارند. اتصال سازه ای که میله های متحرک سقف را در جهت عمود بر آن ها به یکدیگر وصل می کند به همراه مسیر منحنی آن ها سبب ایجاد استخوان بندی سازه ای مستحکمی می گردد که نقش اساسی را در طراحی نحوه باز و بسته شدن و نیز مکانیزم مکانیکی آن دارد.

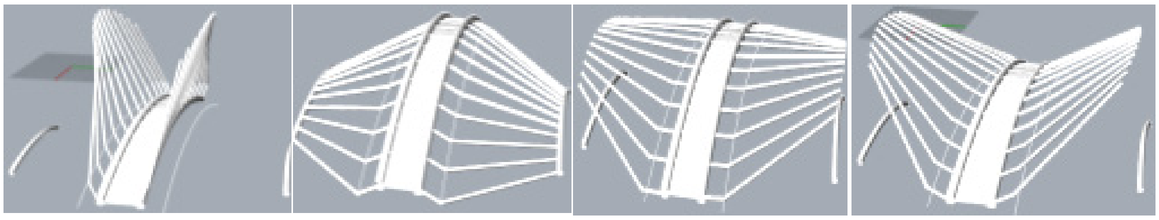
سپس میله های متحرک در نقاط متناظر خود، به صورت طره ای به این استخوان بندی توسط اتصالات پیش بینی شده متصل می شوند (شکل هفت). این اتصال بصورت صلب و با پیچ و مهره های با مقاومت بسیار بالا به همراه ورقه های فولادی می باشد که جزییات آن در بخش بعدی ارائه شده است. در شکل هشت شبیه سازی باز و بسته شدن میله های متحرک و تغییر فاصله بین آن ها در حین حرکت نشان داده شده است.



شکل (6): راست: تعمیم مسیر منحنی برای همه میله های متحرک در راستای قوس سقف و اتصال سازه ای آن ها، چپ: دوران میله های متحرک در



شکل۷: راست: پلان سقف و میله های متحرآن، چپ: نمای ۳ بعدی از استخوان بندی سازه ای و میله های طره ای متناظرآن (ترسیم: نگارندگان)



شکل۸: شبیه سازی نحوه حرکت سقف در برنامه "گراس هاپر" (ترسیم: نگارندگان)

۳. 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 سقف های باز و بسته شونده سبب ایجاد امنیت سازه ای برای کاربران نیز می شود. پیشنهادی که برای مکانیزم مکانیکی سقف باز و بسته شونده فوق مطرح است، استفاده از پیستون هیدرولیکی جهت دوران میله های متحرک حول نقاط دورانشان است. در این شیوه هر یک از میله های متحرک به یک پیستون هیدرولیکی متصل هستند. با حرکت تلسکوپی این پیستون ها، میله ها در راستای محور قائم شروع به دوران می کنند. پیستون ها با اتصال های مفصلی از یک انتها به میله های متحرک سقف و از انتهای دیگر به قوس سازه ای که میله های متحرک بر روی آن قرار می گیرند، متصل می شوند (شکل نه).

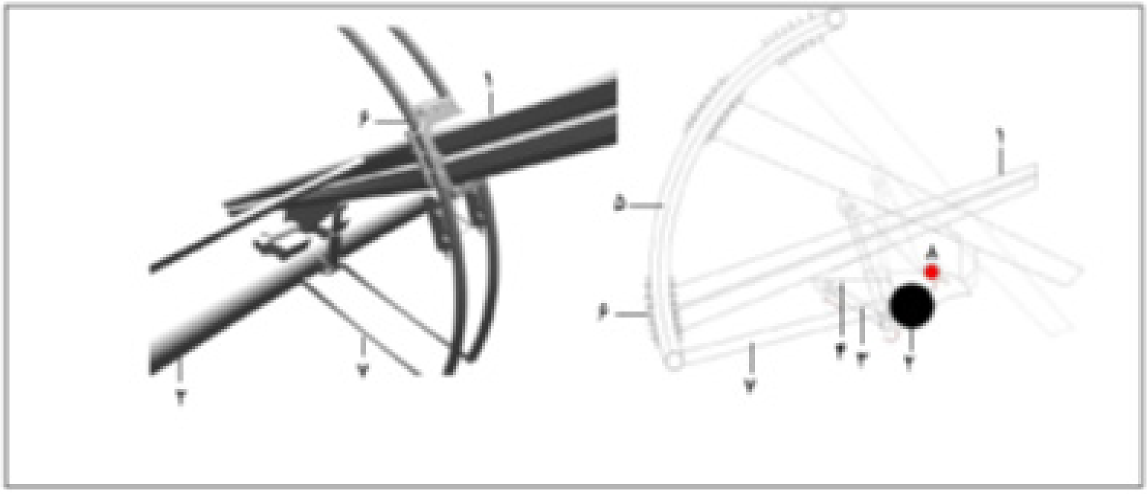
نشیمنگاه مثلثی که میله ی متحرک بر روی آن سوار می شود، در اثر نیروی وارده توسط پیستون حول مرکز دوران که به شکل میله استوانه ای است، می چرخد. به عبارت دیگر، میله استوانه ای در حین دوران نشیمنگاه مثلثی، ثابت است و نشیمنگاه حول آن می چرخد. مفصل های انتهایی پیستون اجازه حرکت آزادانه و شعاعی را به آن در حین باز و بسته شدن سقف را می دهد. نشیمنگاه های مثلثی در هر فاصله بین مسیر منحنی و قوس سازه ای می توانند قرار بگیرند که بستگی به نیروی وارده توسط پیستون ها دارد.

هر میله متحرک دارای یک مسیر منحنی شکل در قسمت ابتدایی خود می باشد که در واقع میله ها از آن قسمت به بعد در شرایطی که سقف در حالت باز است به صورت

طره می شود. در درون این مسیر ریلی منحنی شکل، مکانیزم چرخ قرار دارد که مجهز به سیستم قفل شونده می باشد. این سیستم قفل شونده از ادامه حرکت سازه سقف در شرایط بحرانی از جمله در زمان وقوع زلزله خودداری می کند (شکل ده). سیستم ضربه گیر در قسمت تحتانی مکانیزم چرخ جهت کاهش میزان ضربه به میله های متحرک و قوس در هنگام بسته شدن سقف طراحی شده است. مسیر منحنی همچنین سبب کاهش میزان طره شدن میله های متحرک می شود. با اتصال همه مسیرهای منحنی موجود و اتصال آن به سازه قوسی، یک استخوان بندی سازه ای تشکیل می شود. مجموعه این سازه همچنین سبب مقاومت میله های متحرک در برابر نیروهای جانبی در راستای عمود بر آن ها می شود. همانطور که بیان شد، این استخوان بندی سازه ای می تواند سبب ایجاد یکپارچگی و تقویت سازه ای قسمت متحرک سقف شود. مجموعه مکانیزم مکانیکی و نشیمنگاه ها بر روی سازه قوسی قرار می گیرند (شکل یازده).

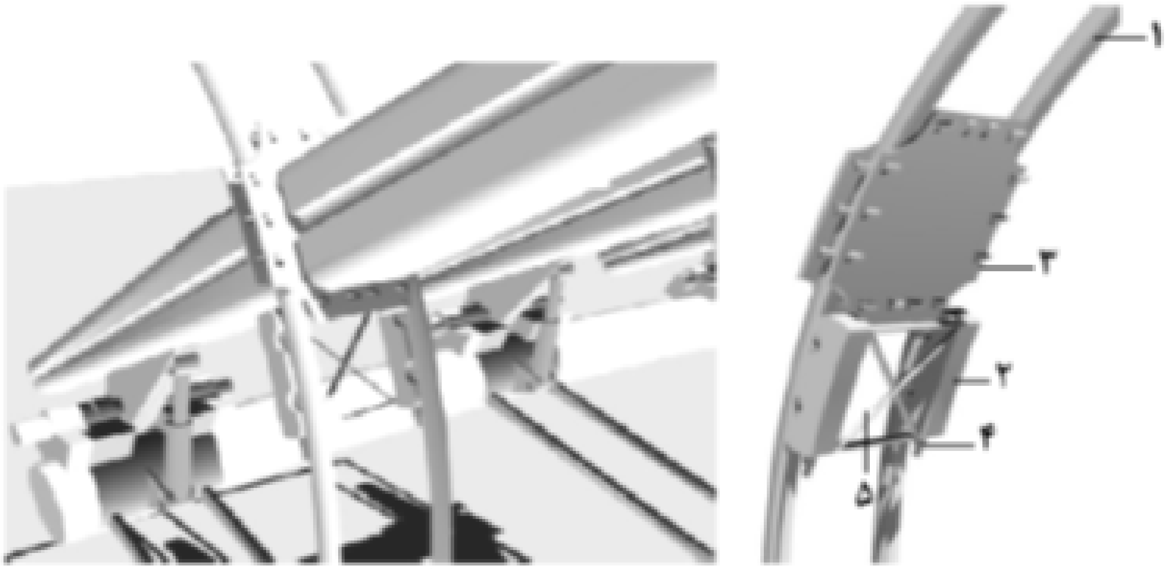
۴. میله متحرک و پوشانه غشایی

هر میله متحرک از دو قسمت تشکیل شده است:



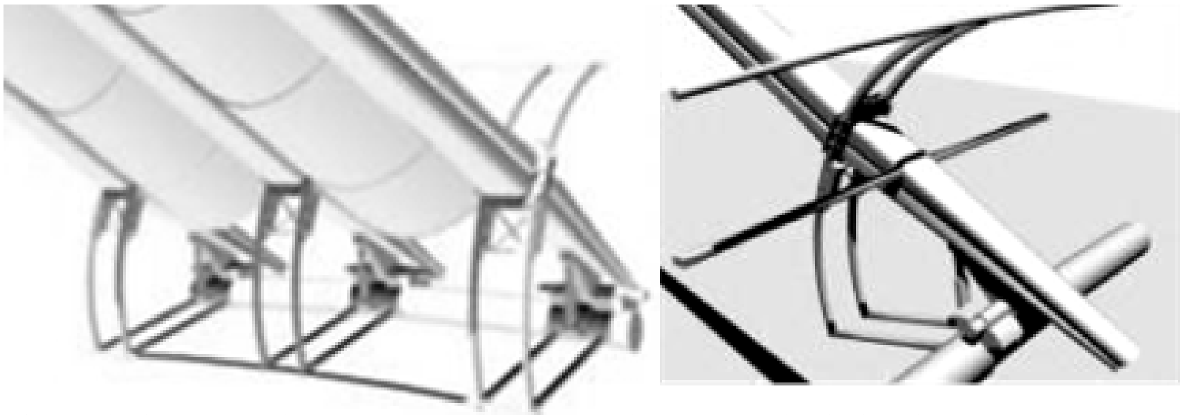
شکل ۹: جزییات نحوه حرکت و دوران میله های متحرک توسط پیستون هیدرولیکی (ترسیم: نگارندگان)

۱ میله متحرک ۲ قوس سازه ای ۳ پیستون هیدرولیکی ۴ نشیمنگاه ۵ مسیر منحنی و چرخ ۶ اتصال دهنده بخش طره ای میله ۷ اتصال دهنده مسیر منحنی به قوس سازه ای ۸ نقطه دوران (میله دوران)

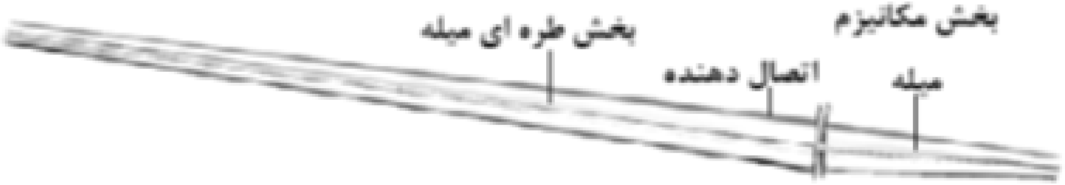


شکل ۱۰: مسیر چرخ و سیستم قفل شونده (ترسیم: نگارندگان)

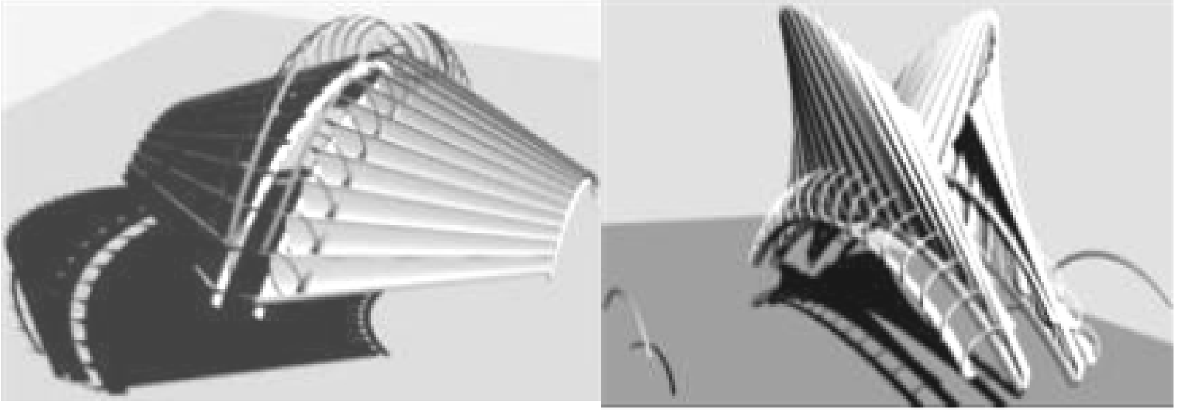
۱ مسیر منحنی ۲ مکانیزم چرخ و قفل شونده ۳ اتصال بخش طره ای به استخوان بندی متحرک ۴ ضربه گیر ۵ اتصال دهنده مکانیزم چرخ طرفین (مهاربند ضربدری)



شکل۱۱: راست: تصویر ۳ بعدی از یکی از میله های متحرک سقف باز و بسته شونده و اتصال مجموعه مسیرهای منحنی، چپ: اتصال چند میله متحرک مجاور با پوشانه غشایی روی آن ها (ترسیم: نگارندگان)



شکل۱۲: میله متحرک با مقطع باریک شونده (ترسیم: نگارندگان)



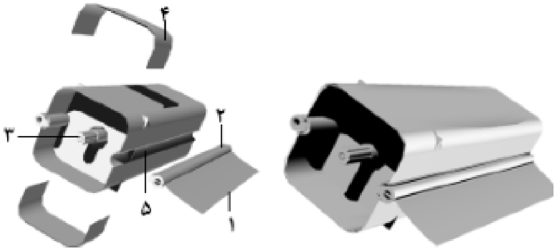
شکل۱۳: شبیه سازی نحوه باز و بسته شدن سقف و تغییر شکل آن حین حرکت با پوشانه غشایی (ترسیم: نگارندگان)

۱-قسمت بین قوس و مسیر منحنی

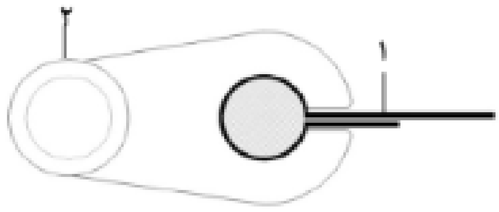
۲ -قسمت طره شده. این دو قسمت پس از نصب در مکان های معین شده، توسط اتصالات صلب به یکدیگر متصل می شوند و مانند یک میله واحد و یکپارچه عمل می کنند. میله متحرک دارای مقطع باریک شونده می باشد که بخش انتهایی آن (بخش انتهایی طره در حالت باز) دارای کوچکترین سطح مقطع می باشد(شکل۱۲). این میله ها توخالی می باشند. و در فاصله های معینی توسط صفحات فولادی در قسمت های بالایی و تحتانی خود تقویت می شوند. این میله ها همچنین از قسمت توخالی خود توسط کابل هایی پس تنیده می شوند تا در برابر بارهای وارده مقاومت بیشتری داشته باشند. بین هر دو میله مجاور هم، کابل هایی قرار داده شده است. وقتی سقف در شرایط کاملا باز قرار می گیرد.

این کابل ها در کشیده ترین حالت ممکن بین این میله ها قرار می گیرند تا یکپارچگی آن ها بیشتر شود. نحوه حرکت میله های متحرک در حین باز یا بسته شدن سقف تاثیر مستقیم بر انتخاب نوع پوشش نهایی آن دارد. از آنجایی که فاصله بین میله های مجاور در حین حرکت تغییر می کند در نتیجه به یک مصالح انعطاف پذیر و مستحکم به عنوان پوشش نهایی سقف نیاز می باشد. مصالح غشایی به دلیل دارا بودن این ویژگی ها به عنوان پوشش این سقف انتخاب گردید. اتیل تترا فلوئورو اتیلن (ETFE) به دلیل ویژگی های ذاتی آن از جمله استحکام قابل

ملاحظه، انعطاف پذیری مناسب و قابلیت بالا در تاشدن و رول شدن، گزینه مناسبی جهت کاربرد در پوشش این سقف باز و بسته شونده می باشد. همچنین این مصالح قابلیت انتقال نور طبیعی به داخل بنا را در زمان بسته بودن سقف، دارا می باشد[]. برای نصب پوشش غشایی سقف مذکور، از قبل برروی میله های متحرک شیارهایی در نظر گرفته شده است (شکل های سیزده تا پانزده).



شکل۱۴: برش از میله متحرک و پوشش غشایی (ترسیم: نگارندگان)



شکل۱۵: جزییات اتصال دهنده پوشش غشایی به میله متحرک

۱ پوشش غشایی؛ ۲ اتصال دهنده پوشش غشایی به میله متحرک؛ ۳ کابل پس کشیده؛ ۴ صفحات تقویت کننده؛ ۵ شیار تعبیه شده برروی میله متحرک

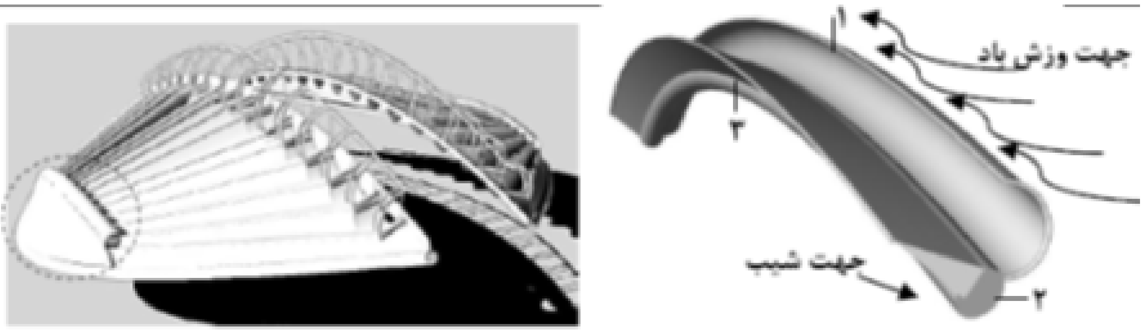
زمانیکه سقف در حالت بسته قرار می گیرد، انتهای تمام میله های متحرک برروی قوس سازه ای کوچک در قسمت پایین سقف قرار می گیرند. جهت کاهش تاثیر نیروی باد براین قسمت از سقف، بادشکنی در راستای این قوس طراحی شده است که در صورت وزش باد در جهت سقف، نیروی باد را منحرف می کند و نیز سقف را در برابر نیروی رو به بالای باد مصون نگاه می دارند. شیبی به سمت بیرون نیز برای هدایت آب باران به سمت مخالف سقف و کناره های آن تعبیه شده است (شکل شانزده). نکته مهمی که در این سقف های باید به آن توجه گردد این است که اکثر این نوع از سقف ها در شرایط نامناسب جوی و محیطی از جمله وزش باد شدید و بارش باران و برف به حالت بسته در می آیند. در این حالت سقف های مذکور همانند سقف های معمولی و ثابت در نظر گرفته می شوند.

در نهایت سقف باز و بسته شونده ای از مجموعه ای از میله های متحرک که حول محور (X) یا در راستای قائم دوران می کنند ایجاد می شود که در آن مجموعه ای از مسیر های منحنی و پیستون های هیدرولیکی و اعضای سازه ای متصل کننده و یکپارچه کننده آن ها به منظور افزایش ضریب ایمنی آن ها، به کار برده شد.

این مجموعه به مثابه «استخوان بندی سازه ای_ حرکتی» می باشد (شکل های هفده و هجده). به سبب اینکه مکانیزم مکانیکی سقف در زیر پوشانه غشایی قرار می گیرد در نتیجه از عوامل جوی نامطلوب باد و باران مصون می ماند. این امر سبب می شود عمر مفید مکانیزم حرکتی سقف افزایش یابد.

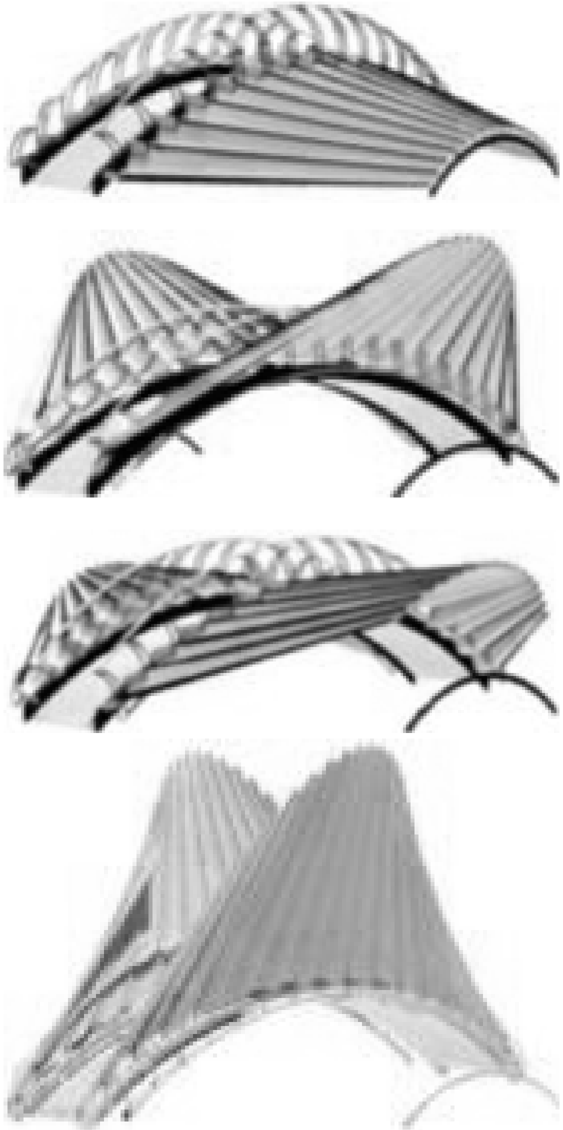
نتیجه گیری

تدر مقایسه با سطوح مسطح و غیرمنحنی، طراحی سقف باز و بسته شونده برروی سطوح منحنی به خاطر انحنای موجود در سطح آن و پیچیدگی در انتخاب نحوه باز و بسته شدن قسمت متحرک آن، مشکل می باشد. سطوح منحنی از جمله استوانه ای، گنبدی، زین اسبی و

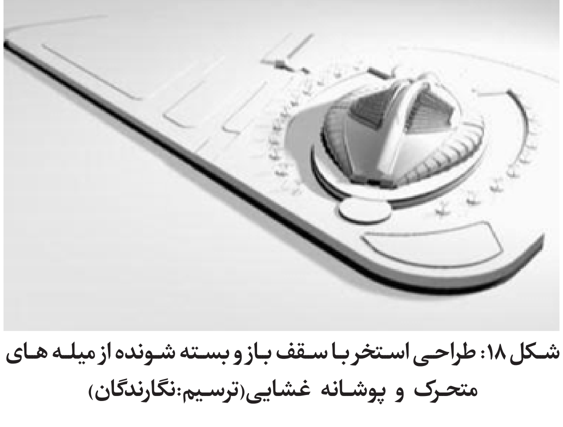


شکل۱۶: جزییات بادشکن و نحوه قرارگیری میله متحرک (ترسیم: نگارندگان)

۱ بادشکن ۲ قوس کوچک ۳ شیب جهت جلوگیری از ورود آب



شکل۱۷: طرح نهایی از سقف باز و بسته شونده در حالات کاملا بسته و باز به همراه استخوان بندی سازه ای حرکتی و پوشش غشایی آن (ترسیم: نگارندگان)



شکل ۱۸: طراحی استخر با سقف باز و بسته شونده از میله های متحرک و پوشانه غشایی (ترسیم: نگارندگان)

مخروطی از سطوح بسیار جذابی در معماری هستند که مورد استفاده بسیاری از طراحان در بناها بویژه در سازه سقف آن ها قرار گرفته است. در این فصل سعی شده است تا نوعی ساختار سازه ای و مکانیزم مکانیکی متحرکی به عنوان استخوان بندی سازه ای و حرکتی برای سقف های باز و بسته شونده با سطوح منحنی پیشنهاد گردد.

در این مقاله سعی شده است که نوعی از مکانیزم سازه ای و حرکتی برای سقف باز و بسته شونده منحنی شکل با فرم منحنی شبه مخروطی طراحی گردد. این امر نیازمند ساختاری یکپارچه با عنوان «استخوان بندی سازه ای و حرکتی» است که هم وظیفه سازه ای برای افزایش ضریب ایمنی و هم وظیفه مکانیزم حرکتی برای حرکت و باز و بسته کردن سقف را همزمان دارا است، می باشد. ایده طرح استفاده از مجموعه ای از میله های متحرک که توسط پیستون های هیدرولیکی و مکانیزم مسیر چرخ مجهز به سیستم قفل شونده، حول محور (X) دوران می کنند، می باشد.

از ویژگی مهم این سقف که تاثیر اساسی در نحوه طراحی مکانیزم مکانیکی و شکل معماری آن دارد، تغییر فاصله بین میله های متحرک در هر لحظه از حرکت نسبت به یکدیگر است. این ویژگی سبب ایجاد تغییر شکل در سقف در زمان حرکت می شود که می تواند جذابیت بصری و پویایی می شود. پوشش غشایی به عنوان پوشانه نهایی سقف سبب انعطاف پذیری و وزن سبک آن می شود. در طراحی سقف باز و بسته شونده مذکور، علاوه بر مطالب گفته شده سعی شده است که ویژگی های زیر نیز در طراحی در نظر گرفته شود:

- سقف باز و بسته شونده طوری طراحی گردد که بخش مکانیزم مکانیکی آن از تاثیر مخرب عوامل جوی (باد، باران و برف) مصون مانده و در معرض مستقیم این عوامل قرار نگیرد. در نتیجه عمر مفید آن افزایش می یابد (با قرار گرفتن مکانیزم مکانیکی در زیر پوشش سقف).

- سقف باز و بسته شونده طوری طراحی گردد تا علاوه بر تغییر مکان و حرکت قسمت متحرک آن، تغییر شکل هم در حین باز و بسته شدن در سطح سقف ایجاد گردد. این امر سبب جذابیت بصری می شود.

- با توجه به شرایط محیطی و جوی، سقف باز و بسته شونده را بتوان به هر اندازه و درجه مورد نظر باز یا بسته کرد. در نتیجه به راحتی می توان میزان ورود نور خورشید و تهویه طبیعی را به داخل بنا تنظیم کرد.

فهرست منابع

1-Schumacher, M. Schaeffer, O. and Vogt, M; 2010; Move- Architecture in Motion-Dynamic Components and Elements; Birhauser Architecture; Germany.

2-Asefi, M & Fakourian, F. 2013; Changeable Mechanical Curtain Wall for Educational Buildings; proceeding of International conference on Adaptation and Movement in Architecture, Ryerson University, Tororo, Canada, pp.223-213

3-Ishii, K. 2000; Structural Design of Retractable Roof Structures; WIT Press; Boston.

4-Goppert, K. 2007;A Spoked Wheel Structure for the World’s largest Convertible Roof – The New Commerzbank Arena in Frankfurt, Germany; Journal of Structural Engineering International: 287-282.

5-Temmerman, N. et al, 2014; Lightweigh Transformable Structures: materializing the Synergy between Architectural and structural Engineerin in Mobile and rapidly Assembled Structures IV (Edited by Temmerman and barbera); WIT Press, UK

6-Masubuchi, M. Bogle, A. Schlaich, V; 2010; Study of retractable membrane roofs folding to the perimeter; International Conference of IASS; China.

7-Huntington, C; 2004; the Tensioned Fabric Roof; ASCE Press.