سازه‌های غشایی

نویسنده: JOHN THORNTOY
مترجم: **حسین مظفری ترشیزی***

چکیده:

در این مقاله ضمن بحث درباره انواع سازه، از نظر بارهای وارده و عملکرد عناصر سازه، سازه غشائی معرفی گردیده، و بیان شده است که ایده اصلی این سازه‌ها از چادرهای معمولی گرفته شده است.

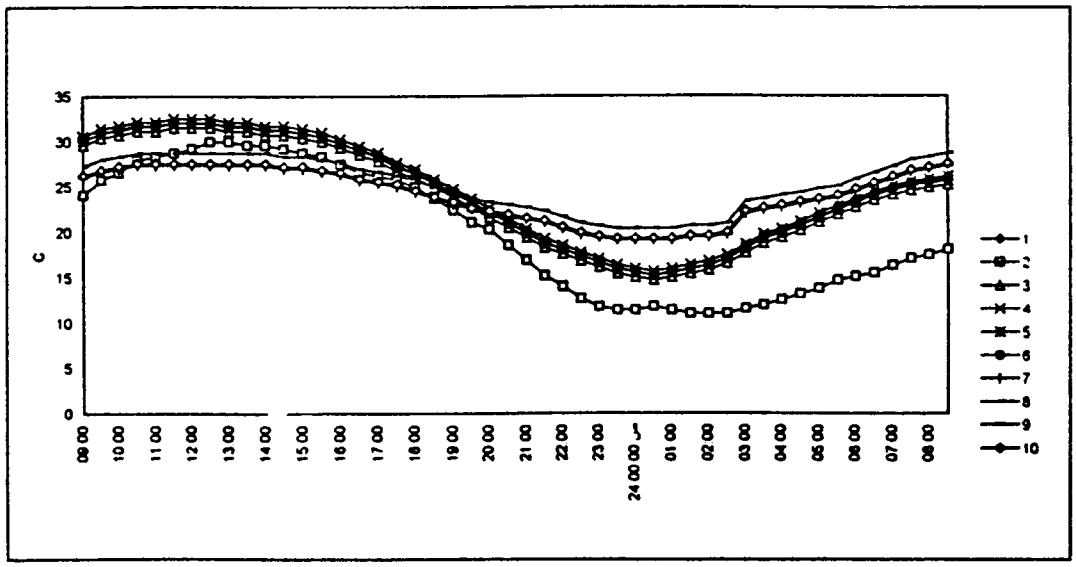
اصول اولیه طراحی سازه‌های غشائی بیان گردیده و حالات گوناگون پوشش غشائی و یک ساخت ساده مطرح و انواع مصالح مصرفی در سازه غشائی، عمر مفید انواع مصالح و بخصوص مسئله مقاومت در مقابل آتش‌سوزی بحث گردیده است.

در قسمت دیگر از مقاله مسائل مربوط به نور، عایق حرارتی، نحوه اتصالات، مسائل مربوط به نصب یک سازه غشائی و زمان مورد نیاز جهت یک سازه معین به عنوان نمونه بحث و بررسی شده و در نهایت قیمت تمام شده یک سازه را در زمان نوشتن مقاله ارائه نموده است.

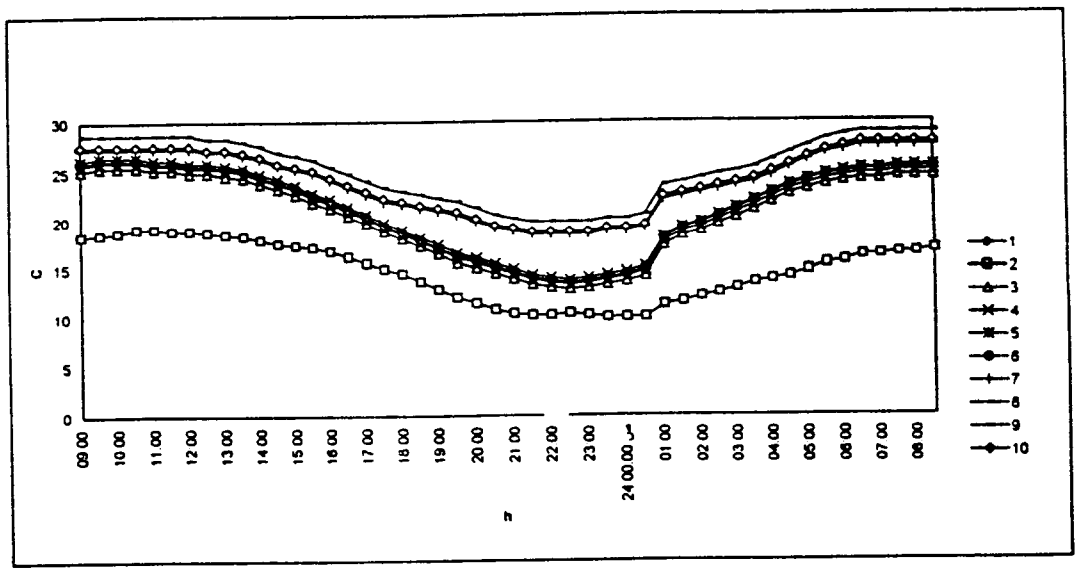
کلید واژه:
سازه غشائی، پوشش، خیمه، کابل، نیروی کششی، پلیمر.

---

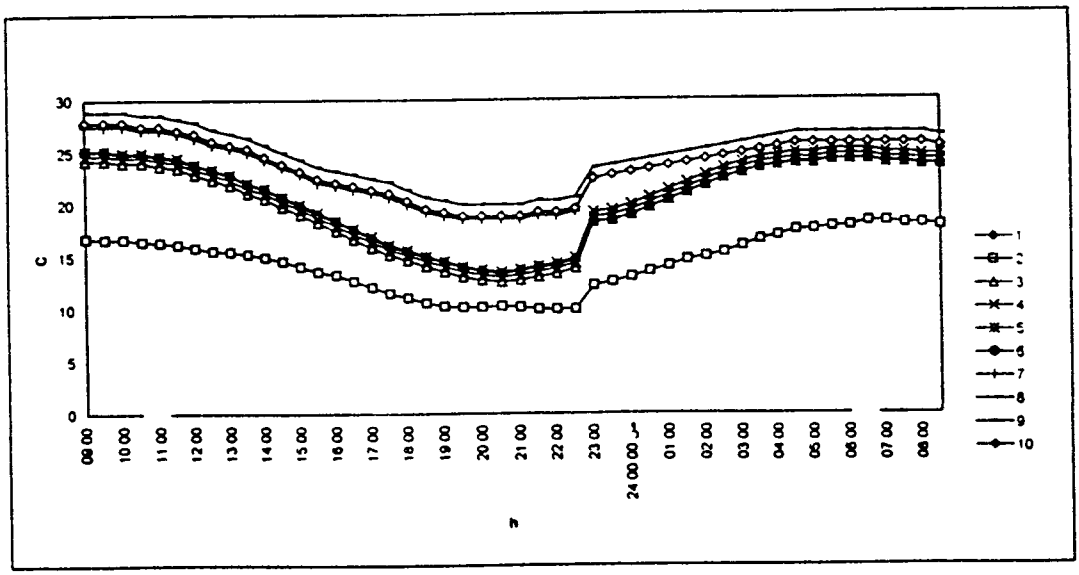
* عضو هیئت علمی گروه آموزشی معماری، دانشکده هنرهای زیبا ـ دانشگاه تهران.



نمودار ۳. نوسان دمای روزانه در ۲۴ فروردین



نمودار ۴. نوسان دمای روزانه در ۲۵ فروردین



نمودار ۵. نوسان دمای روزانه در ۲۶ فروردین

مقدمه مترجم

مقاله حاضر در سال ۱۹۹۲ نوشته شده است. نویسنده ذکر نموده است که بعضی از انواع مصالح مخصوص سازه‌های غشائی حدود ۲۰ سال است مورد استفاده قرار گرفته است. از این سازه‌ها در غرفه‌های نمایشگاه‌های بین‌المللی در سال ۱۹۷۰ و در استادیوم ورزشی برای جام جهانی ۱۹۹۰ و در بسیاری از انواع طرح‌ها استفاده شده است. در سال ۱۹۸۱ فرودگاه بین‌المللی جده با استفاده از سازه غشائی طراحی و اجرا شده است.

شاید بتوان آغاز طراحی و استفاده از سازه غشائی را در دهه ۱۹۶۰ و یا حدود ۳۵ سال پیش در نظر گرفت که نسبت به انواع سازه‌های دیگر بسیار جدید است. ایده اصلی این سازه‌ها از چادرهای معمولی که قدمتی تاریخی دارند گرفته شده ولی اختلافات اساسی با چادرهای معمولی دارند.

دلائل مختلفی وجود دارد که اصولاً مهندسین معمار علاقه چندانی به طراحی با سازه غشائی نشان نمی‌دهند. از جمله این دلائل عدم شناخت کافی نسبت به آن، و بالاخره موقتی و غیردائمی بنظر آمدن این سازه‌ها را می‌توان نام برد.

سازه‌های غشائی برخلاف تصور اولیه، دائمی هستند. ولی برای آنکه بتوان آنرا باز نموده و در محل دیگری نصب نمود نیز طراحی می‌شوند.

در میان انواع سازه‌ها، سازه غشائی نوعی سازه کششی است که به دلیل استفاده و به جهت آشنائی اولیه با اصول طراحی سازه‌های غشائی و خصوصیات و مواد و مصالح مصرفی در آنها و سایر مسائلی که در استفاده از سازه‌های غشائی وجود دارد، ترجمه این مقاله به جامعه مهندسین معمار تقدیم می‌گردد.

لازم به ذکر است که در متن مقاله شماره‌هائی وجود دارد که مربوط به عکس‌ها و شکل‌ها می‌گردد که همان شماره در کنار آنها آمده و توضیحاتی نیز در زیر آن درج گردیده است.

سازه‌های غشایی

امروزه فن‌آوری سازه‌های غشایی بیشتر در دسترس بوده و ویژگیهای معماری آن مشخص‌تر گردیده است.

یک سازه کششی، سازه‌ای است که عناصر کششی آن (عناصری که فقط برای تحمل کشش طراحی شده‌اند)، اعضاء اصلی به‌شمار می‌روند. در حالی که در طراحی اعضای خمشی و فشاری، اغلب تنشهای مجاز به منظور جلوگیری از کمانش، کاهش داده می‌شوند. اعضای کششی می‌توانند تا ظرفیت کامل مقاومت کششی مصالح کار کنند. بنابراین استفاده از آنها با صرفه‌تر است.

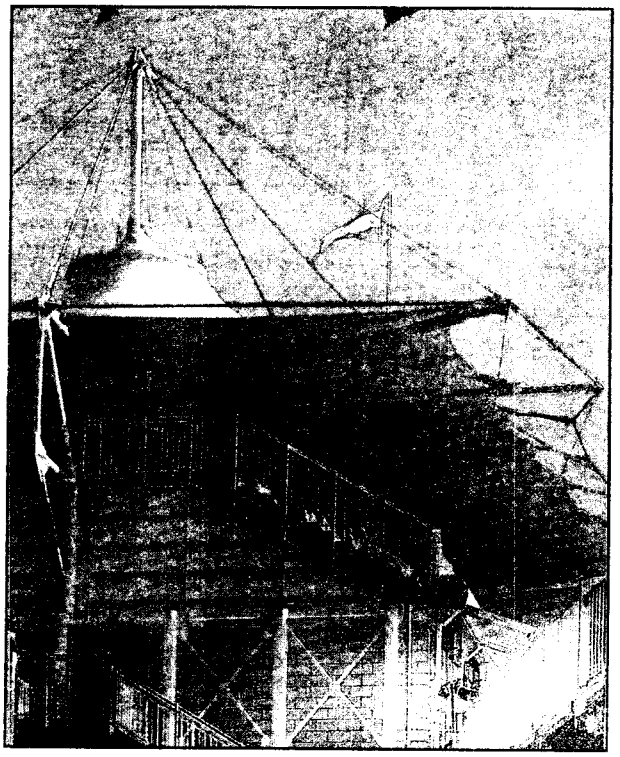
در ساختمانها، سازه‌های کششی به دو گروه تقسیم می‌شوند:

سازه‌های قاب‌دار و سازه‌های چادری (fabric) یا غشایی. طراحی ساختمانهای غشایی از نظر فنی مشکل است، زیرا اغلب مهندسان معمار اطلاعاتی از سیستمهای سازه برای ساختمانهای معمولی دارند، اما تعداد معدودی از آنها به عملکرد ساختمانهای غشایی اعتماد دارند.

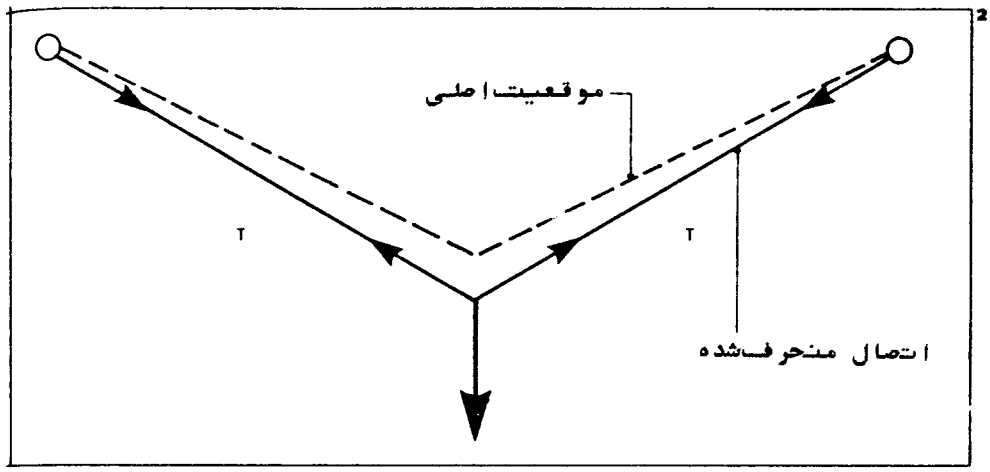
هر طرح با چهار موضوع روبرو است: انتخاب شکل، فرآیند طراحی، ساخت، عملکرد و تهیه جزئیات. مشکلات در دو زمینهٔ اول بیشتر وجود دارد.

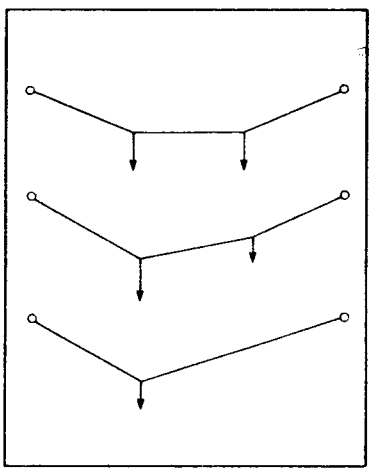
انتخاب شکل یک سازه غشایی در واقع انتخاب سطحی است که در تمام آن به‌قدر کافی انحناء وجود داشته باشد. این کار برای بعضی از سازه‌ها آسان است اما مشکلاتی نیز وجود دارد. با وجود آنکه شکل اصلی غشاء می‌تواند به‌طور شماتیک تهیه شود، امّا شکل نهایی از شکل هندسی خطوط کناری آن منتج می‌شود و نمی‌تواند از پیش تعیین شده باشد. تکیه‌گاه و پایه اسکلت بایستی شکل هندسی خطوط کناری مورد نظر را ایجاد نموده و روابط معماری مطلوبی با چادر و سایر اجزاء طرح داشته باشد.

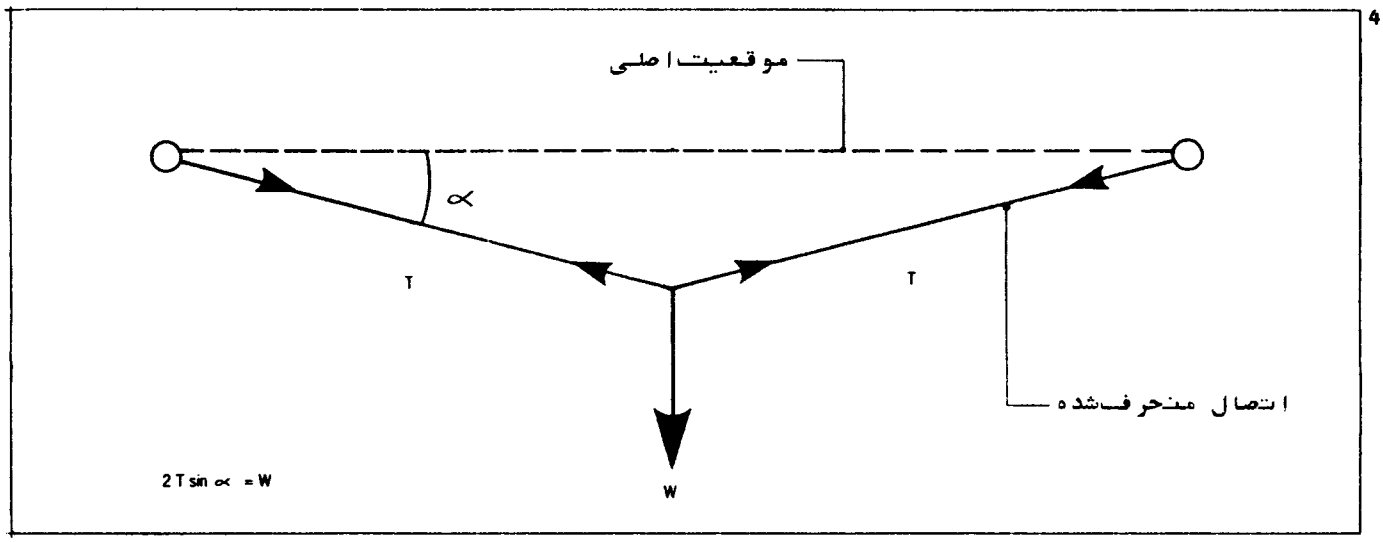
چنین سازه‌ای ممکن است در مقایسه با ظرافت و زیبایی چادر، سنگین و زمخت به نظر برسد. با وجود سبکی غشاء پارچه‌ای،



۱. کابل‌های لبه به کابل‌های اصلی وصل شده و حلقه‌ای که بارها را توزیع می‌کند برای بلند کردن و نقطه اتکاء پوشش بکار رفته است.







۲. اتصال منحرف شده با بار غیر هم مرکز

۳. تغییرات هندسی با تغییر بارها

۴. اتصال مستقیم با بار غیر هم مرکز

بار برف و باد همانند سازه‌های عادی بر آن وارد می‌شود. بارهای وارد شده به نیروهای کششی به اندازه چند تن بر متر مربع در پلان چادر تبدیل می‌شوند و کابل‌های به هم پیوسته که اغلب مرزها را شکل می‌دهند، خود نیروهای بزرگی را به علت خاصیت شکلشان تولید می‌کنند. در بسیاری از طرح‌ها، مقابله با این نیروها باید در بالای سطح زمین انجام گیرد و برای رسیدن به انحنای دوگانه در چادر، باید در برخی نقاط، تکیه‌گاهها مقداری از سطح زمین فاصله داشته باشند.

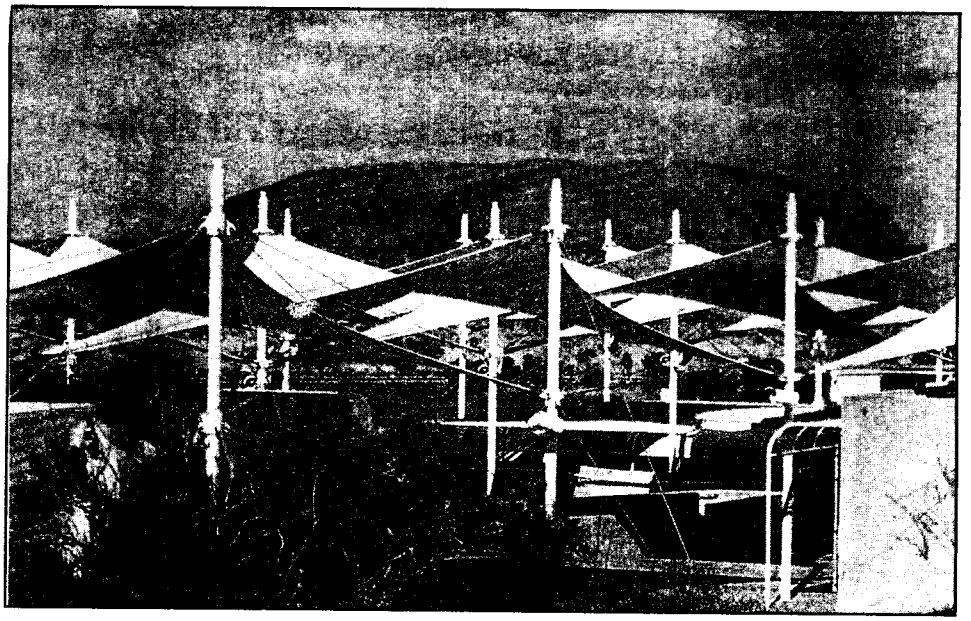
در بسیاری از طرحها ارتباط شکل قوسی سقف و شکل خطوط مستقیم ساختمان در تماس با آن مسئله‌ساز می‌شود. بسیاری از سازه‌های چادری به خودی خود جالب هستند اما هماهنگی کمی با محیط اطراف خود دارند. شاید این بدان جهت باشد که در مورد سقف چادری به جای آنکه آنرا قسمتی از یک مجموعه در نظر بگیرند، به عنوان یک عضو جداگانه با آن برخورد می‌کنند.

یک چادر یا خیمه سنتی با تغییر شکل خود بار را تحمل می‌کند. در زیر بار برف شکم می‌دهد و در مقابل باد موج می‌زند. این حرکات برای سازه‌های موقت ساخته شده از مصالح انعطاف‌پذیر قابل قبول است. این نوع سازه‌ها بر مبنای تجربه و محاسبات سرانگشتی طراحی می‌شوند و انتظارات ما از عملکرد آنها نسبتاً کم است. در مقابل سازه‌های مهندسی نوین منعکس کننده پیشرفت در مصالح و تحلیل سازه است.

سازه‌های غشایی با چادرهای سنتی در موارد زیر اختلاف دارند:

- معمولاً خیلی بزرگ‌اند.
- معمولاً دائمی هستند.
- انتظار می‌رود که فرونریزند.
- نباید چین و چروک داشته باشند.
- دارای هندسه پیچیده‌تری می‌باشند.
- نباید در مقابل باد نوسان‌های بزرگی داشته باشند.
- در آنها مصالح با مقاومت بالا مصرف

۵. سطوح قوسی
غرفه آمریکا
در نمایشگاه ۷۰



۶. سطوح زین اسبی یک سایه‌بان

می‌شوند.

• نمی‌توان آنها را فقط با سوابق و تجربیات عملی طراحی نمود.

انتظار ما از این سازه‌ها با آنچه از چادر و خیمه‌های سنتی داریم، بسیار متفاوت است. ما انتظار داریم که این سازه‌ها دارای عملکرد ایمن مشابه سازه‌های معمولی باشند. این کار نیاز به تجزیه و تحلیل دقیق‌تری دارد تا بتواند طراح را قادر به طراحی سازه‌های پیچیده‌تر نماید.

شکل و هندسه، اهمیت زیادی به کار مهندس می‌دهد، زیرا که نقش مهمتری را نسبت به ساختمانهای معمولی ایفا می‌نماید. او باید نسبت به اهداف معماری ساختمان توجه کافی داشته باشد.

اصول اولیه

قبلاً شرح داده شد که یک عضو کششی عضوی است که به منظور تحمل کشش طراحی شده است. این عضو سختی خمشی ندارد و فقط به خاطر شکلی که دارد می‌تواند بار عمود بر محور خود را تحمل نماید. اگر یک بار غیرمحوری به یک عضو کششی مستقیم واسطه بین دو تکیه‌گاه وارد شود، این عضو کششی آنقدر کشیده خواهد شد تا تغییر شکل به وجود آمده به حدی برسد که بار وارده به وسیلهٔ نیروی کششی داخل عضو متعادل گردد. (4)

هر قدر کشانی عضو کششی کمتر باشد (بیشتر کش بیاید)، بیشتر شکم می‌دهد و نیروی کششی کمتری در آن تولید می‌شود. اگر عضو کششی در هندسهٔ اصلی خود، شکم داشته باشد، هم تغییر شکل ناشی از بار کم خواهد شد و هم نیروی کششی داخل آن کمتر خواهد بود. زیرا عضو کششی از پیش شکلی را که می‌تواند در مقابل آن بار مقاومت نماید، دارا بوده است. (2)

در شکل ۲، هندسهٔ سیستم به وسیله طول اعضای کششی و موقعیت تکیه‌گاه‌های آنها مشخص شده و با تغییر مقدار بار تغییر نمی‌کند. این امر زمانی که بیش از یک بار وجود دارد، صدق نمی‌نماید. تغییر شکل هندسی سیستم نیز به مقدار بارهای وارده بستگی دارد. (3) شکل ایجاد شده بر اثر اعمال بارهای متعدد به عنوان یک «شکل رشته‌ای»[1] شناخته می‌شود.

از نظر ریاضی فشار، کشش منفی است، و معروف است که آقای «Gaudi» از زنجیرهای سنگین برای طراحی فرم هندسی سازه‌های قوسی خود استفاده می‌کرد تا در زیر بار مرده تحت فشار خالص قرار داشته باشند.

چون برای هر عنصر کششی که تحت تأثیر تعدادی بار قرار گرفته شکل واحدی وجود دارد، پس هرگاه بار تغییر کند شکل هندسی نیز تغییر خواهد کرد. این مطلب بایستی در عملکرد غیر سازه‌ای ساختمان مورد توجه قرار گیرد. همچنین این امر بر روی تحلیل سازه نیز اثر خواهد داشت، زیرا تغییر شکل هندسی، سازه را غیرخطی خواهد نمود.

یک سازه غیرخطی سازه‌ای است که در آن پاسخ سازه نسبت به بارهای وارده ثابت و پایدار نیست. اگر بار وارده بر یک سازه معمولی دو برابر شود، تنش‌ها نیز دو برابر خواهد شد. اگر بار معکوس شود، تنش نیز معکوس خواهد شد و اثر تغییرات شکل هندسی در تحلیل آنقدر کم خواهند بود که قابل چشم‌پوشی است. اما این موضوع در مورد سازه غیرخطی که به روش مخصوص تحلیل نیاز دارد، صدق نمی‌کند.

محاسبه نیروی کششی در عضو کششی تحت تأثیر نیروی غیرمحوری یکنواخت (7) و نیز به شکل قوس دایره‌ای تحت نیروهای شعاعی، ساده می‌باشد. این رابطه‌ها می‌توانند برای محاسبه تقریبی اولیه سازه چادری مورد استفاده قرار گیرند. این رابطه نشان می‌دهد که ظرفیت باربری به وسیله شعاع انحنا و مقاومت عنصر کششی تعیین می‌شود.

در یک سازه چادری عضو باربر دو بُعدی

است. غشاء می‌تواند یک انحنا مانند یک سیلندر، و یا دو انحنا داشته باشد. در حالت دو انحنایی(5)، مراکز تمام شعاع‌های اصلی می‌توانند در یک طرف سطح قرار گرفته باشند، که در این حالت سطح را کروی می‌نامند (5) و یا این مراکز شعاع‌ها در دو طرف سطح باشند که در این حالت سطح را زین اسبی می‌نامند (6) چون عنصر کششی برای اینکه بار را تحمل کند نیاز به انحناء دارد، بنابراین اگر یک عضو کششی بایستی بار مثبت و منفی (مانند برف و باد) را تحمل کند، شکل آن بایستی زین اسبی باشد. رابطه تعادل عبارت است از:

$$P = T_1 / R_1 \qquad (9)$$

که در آن P بار وارده، T نیروی کشش، و R شعاع می‌باشد.

سازه‌های غشایی همیشه پیش تنیده‌اند، مصالح آنها مقداری خیز اولیه دارند که باید با کشش برطرف شود. پیش‌کشیدگی رفتار باربری آن را بهبود می‌بخشد.

هنگامی که بار وارده صفر باشد.

$$T_1 / R_1 = T_2 / R_2$$

سیستم در حالت تعادل است و دو انحناء بار مساوی (9) به یکدیگر وارد می‌کنند. اگر روی این سازه باری اعمال شود، نیروی t_1 افزایش می‌یابد و پوسته در جهت R_1 کشیده می‌شود، در حالی که مقداری از کشش t_2 را نیز آزاد می‌سازد. بنابراین، بار وارده با کم شدن یک نیروی کششی و اضافه شدن دیگری تحمل می‌شود. دو سیستم باربر وجود دارند و مجموعه آنها در یک حالت سخت و مقاوم قرار می‌گیرد.

فرم سازه‌ای

یک غشا بایستی حتماً یک محدوده مشخص داشته باشد که نیازی نیست مسطح باشد، اما باید حتماً بسته و محصور باشد. که اگر چنین نباشد، چادر از همان محل که حصار باز است پاره خواهد شد. هم محدوده‌های کوچک (مانند سوراخ‌ها) و هم اعضای دیگر مانند کابل‌های پخش‌کننده را می‌توان به عنوان مرز تعیین نمود تا فرم هندسی خاصی را ایجاد نمایند.

شکل کلی غشاء بوسیلهٔ مرزها و بوسیلهٔ ثبت نقش‌ها در جهت‌های اصلی برای حالت پیش تنیده تعریف می‌شود.

همچنین مرزها محل‌هایی هستند که بار از غشاء به سازه ثابت و اصلی منتقل می‌شود. مرز ممکن است یک عضو محکم مانند دیوار، تیر و یا آنچه که بیشتر متداول است یعنی کابل ممتد باشد. گاهی نیز از یک کابل لبه‌ای یا تسمه در یک مجموعه کابل‌های فرعی استفاده می‌شود که همگی به یک کابل ممتد بیرونی متصل می‌شوند. تعداد کابل‌های ثانویه را می‌توان آنقدر زیاد کرد که لبه چادر را به یک خط مستقیم نزدیک نماید.

بارها، به جز بارهای کوچک، نمی‌توانند از یک نقطه از غشا خارج شوند زیرا تنش‌های موضعی در آن نقطه بسیار زیاد خواهد بود. کابل‌هائی که در خط الرأس‌ها و یا خط القعرها قرار گرفته‌اند، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، اما بایستی دقت نمود که سائیدگی در غشاء ایجاد نشود. (10) یک راه‌حل دیگر آن است که به جای اتصال کابل به چادر، یک کابل متصل به ستون در خط الرأس هندسی قرار داده و چادر را با گیره‌های تسمه‌ای به آن آویزان کنیم. (13)

نقاط آویز می‌تواند یک حلقه باشد و یا پخش‌کننده نیرو، و چادر در این نقاط بطور موضعی تقویت شود. (1) اندازه این نوع حلقه‌های اتصال وابسته به بار حلقه و مقاومت کششی پارچه و زاویه‌ای است که پارچه با حلقه می‌سازد. این حلقه‌ها معمولاً بزرگ هستند.

شکل یک سازه چادری بایستی در حالت تعادل قرار داشته و بدون وارد کردن تنش غیرمجاز به غشاء بارها را تحمل نماید. ترجیحاً نباید سست بایستد مگر در شرایط استثنائی که چندان محتمل نیست. زیرا سست و شل بودن می‌تواند باعث موج زدن چادر و صدمه به سازه شود. همچنین چادر نبایستی دارای مناطقی باشد که آب باران در آنجا جمع شده و خارج نشود. چنین مناطق خطرناکی ممکن است دائمی نباشند. به عنوان مثال پوشش غشایی می‌تواند زیر بار برف تغییر شکل داده و دارای یک فرورفتگی شود، و در زمان شروع آب شدن برف، آب در آن جمع شود.

حتی هنگامی که ماندن آب خطرناک نباشد، منظرهٔ گودال آب باران بخودی خود ناپسند است و رسوبات آب بعد از تبخیر برجا می‌ماند. مناطقی که این احتمال وجود دارد، نزدیک لبه‌های پوشش است که شیب ملایم است، و کابل لبه‌ای یک مانع درست می‌کند.

حالات گوناگون پوشش غشایی

از آنجا که به سختی می‌توان سازه‌های غشایی را دسته‌بندی کرد، بنابراین بیشتر فهرست‌وار برشمرده می‌شوند. این سازه‌ها را تنها می‌توان از دیدگاههای کلی دسته‌بندی کرد.

سازه اصلی می‌تواند زیر پوشش قرار گرفته و کاملاً ناپیدا باشد، یا خارج از غشاء و در تضاد با شکل انعطاف‌پذیر و نرم پوشش پارچه‌ای قرار گیرد. (11) به نحو مشابه یک لبه آزاد پوشش پارچه‌ای (1) ظاهری کاملاً متفاوت با لبه بسته پارچه به پوشش غشایی می‌دهد. (13)

ساده‌ترین شکل پوشش غشائی شکل پوشش سهمیگون هذلولوی است که چهار لبه مستقیم یا بوسیله دیرک و کابل تشکیل شده است. در طریق دیگر پوشش غشایی بر روی قوس‌ها افکنده می‌شود و در نتیجه خط‌الرأس‌ها و خط‌القعرهایی ایجاد می‌شود (10) شکل‌های مخروطی به وسیله کشیدن یا فشردن پوشش با کمک حلقه‌ها یا قسمت‌های تقویت شده ایجاد می‌شود. (1)

هنگامی که پوشش یک دهانه بزرگ مورد نظر است، به سختی می‌توان سازه‌ای ساخت که بتواند شعاع مورد نظر را بر روی پارچه‌های موجود ایجاد نماید. در چنین حالتی شاید بتوان از یک شبکه کابلی به جای پارچه استفاده نمود. پس این شبکه می‌تواند پارچه یا قطعات سخت را هم تحمل نماید. (14)

گنبدهای هوائی (Air dome) یک نوع

دیگر از سازه‌های غشائی را تشکیل می دهند. در این نوع پوشش‌ها فشار هوا غشاء پوشش را در شکل خودش نگهداری می‌نماید. فشار برف با فشار هوا خنثی شده و فشار باد هم با انحناء سطح تحمل می‌شود. (5)

بیشتر پوشش‌ها و سازه‌های چادری دائمی هستند، اما تقاضا برای پوشش‌های قابل پیاده شدن نیز وجود دارد. (12) یک نوع متداول نیز برای انتخاب وجود دارد، که در آن از یک سری قطعات و قاب‌های آلومینیومی استفاده می‌گردد که پارچه بین آنها کشیده می‌شود. با وجود این گاهگاهی نیز درخواست برای سازه‌های خاصی وجود دارد. طراحی این درخواست‌های جدید بستگی به موقعیت و نوع مصرف آنها دارد. اما سادگی و سرعت نصب و مقاومت پارچه جزء ضروریات و کیفیت آن است.

طراحی

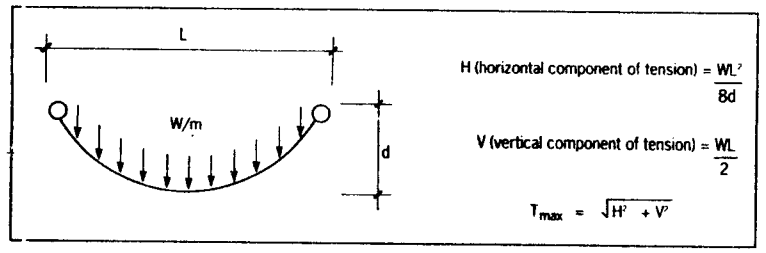
تفاوت بین یک سازه غشائی و یک ساختمان ساده در این است که سازه غشائی را نمی‌توان به شکل ساده طراحی کرده و آنگاه نقشه آن را کشیده و اجرا نمود. سازه‌های غشایی را می‌توان با فیلم نازک حباب صابون که بر روی حلقه سیمی تشکیل می‌شود، تشبیه کرد.

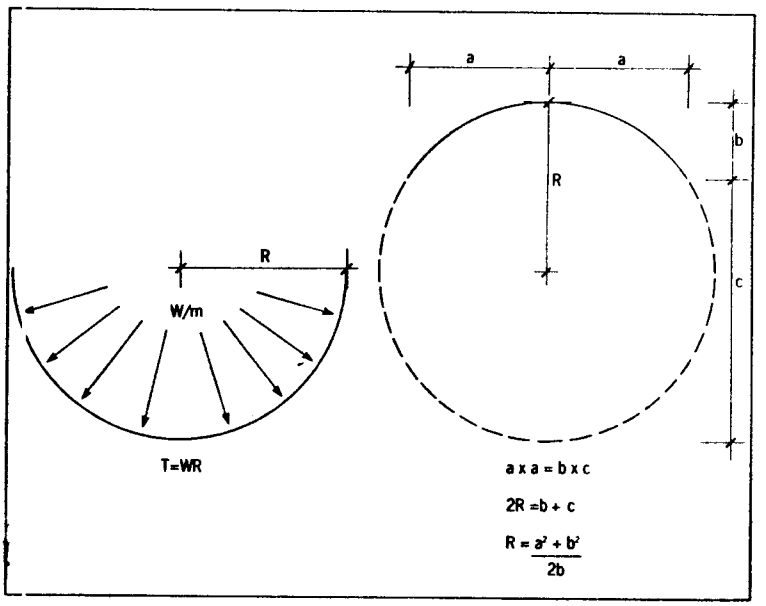
طراحی یک سازه غشایی چهار مرحله دارد: طرح اولیه، پیداکردن شکل، تحلیل، و طراحی جزئیات اجرایی. ابتدا بایستی یک طرح اولیه که عملکرد مورد نیاز سازه را داشته باشد، تهیه نمود. در مرحله بعد بهتر است که یک ماکت آن را با استفاده از نایلون‌های معمولی ساخت. (16)

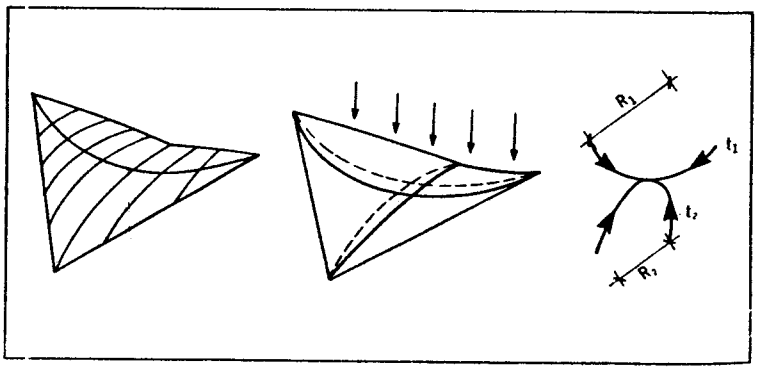
بدینوسیله می‌توان از امکان‌پذیر بودن اجرای طرح مطمئن شد، در این صورت می‌توان بررسی کرد که انحناءها منطقی هستند و گودال‌هایی برای جمع شدن آب ایجاد نمی‌شود. از مدل‌های کامپیوتری نیز می‌توان استفاده نمود. (15) اما یک ماکت واقعی به مراتب بیشتر می‌تواند به طراحی کمک نماید.

طرح می‌تواند با تحلیل ماکت کامل شود، اما به دلیل مسائل مربوط به اجرای کار و استفاده هرچه بیشتر از قدرت کامپیوتر، آن روش دیگر برای طرح‌های خاص مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

هنگامی که برای طرح اولیه تصمیم‌گیری شد، و محدوده طرح مشخص گردید، مرحله بعد قطعی کردن شکل هندسی طرح می‌باشد. این مراحل را پیدا کردن شکل می‌نامند، که با استفاده از برنامه کامپیوتری انجام می‌شود، و در نهایت رفتار همان لایه نازک کف صابون را در بین سیم‌ها نشان می‌دهد. هنگامی که هندسه طرح مشخص شد، بارهای مختلف وارد بر سازه به وسیله استفاده از برنامه کامپیوتری تحلیل خواهد شد. طرح از نظر وضعیت پارچه کنترل می‌شود، تا مطمئن شویم که نه بیش







۷. اتصالات تحت نیروهای یکنواخت
۸. قوس دایره‌ای تحت نیروهای شعاعی
۹. سطح زین اسبی تأثیر نیروها

۱۰. خطوط برجسته کابل‌ها غرفه موزیک بالتیمور را شکل داده‌اند.

از حد تحت کشش قرار می‌گیرد، و نه حالت رها شده‌ای را دارد که در زیر بار تغییر شکل داده و در آن گودال ایجاد شود.

هر دو قسمت پیداکردن شکل و تحلیل سازه‌ای به صرف وقت نیاز داشته وخسته کننده می‌باشد. بنابراین بسیار مهم است که شکل هندسی قبل از شروع کار هرچه بیشتر مشخص باشد. در هر گونه ساده‌ای امکان دارد که نیاز به تغییراتی باشد تا از اجرای سازه اطمینان حاصل گردد. معذالک آنچه که از آن باید اجتناب شود تغییرات غیرضروری است، و باید طرح در مرحله اوّل با دقت بیشتر انتخاب شود. اما آنچه که به عنوان تغییرات جزئی در شکل خطوط مرزی طرح ممکن است نیاز باشد، در زمان اجرا مشخص می‌شود. زمان دستیابی به شکل نهایی، زمان ساختن ماکت می‌باشد.

زمان برش دادن شکل و طرح پارچه زمانی است که شکل هندسی قطعی شده باشد. این امر به سازنده دقیقاً شکل دقیق هر یک از قطعات را برای کامل کردن شکل سازه‌ها و طرح‌ها می‌دهد. این کار مانند برش دادن و دوختن یک دست لباس است.

در طرح و برش قطعات بایستی جهت‌های واقعی تار و پود پارچه، موادی که سازنده مصرف آن را پیشنهاد نموده و مقدار نیروهای مورد قبول مهندس محاسب در نظر گرفته شود.

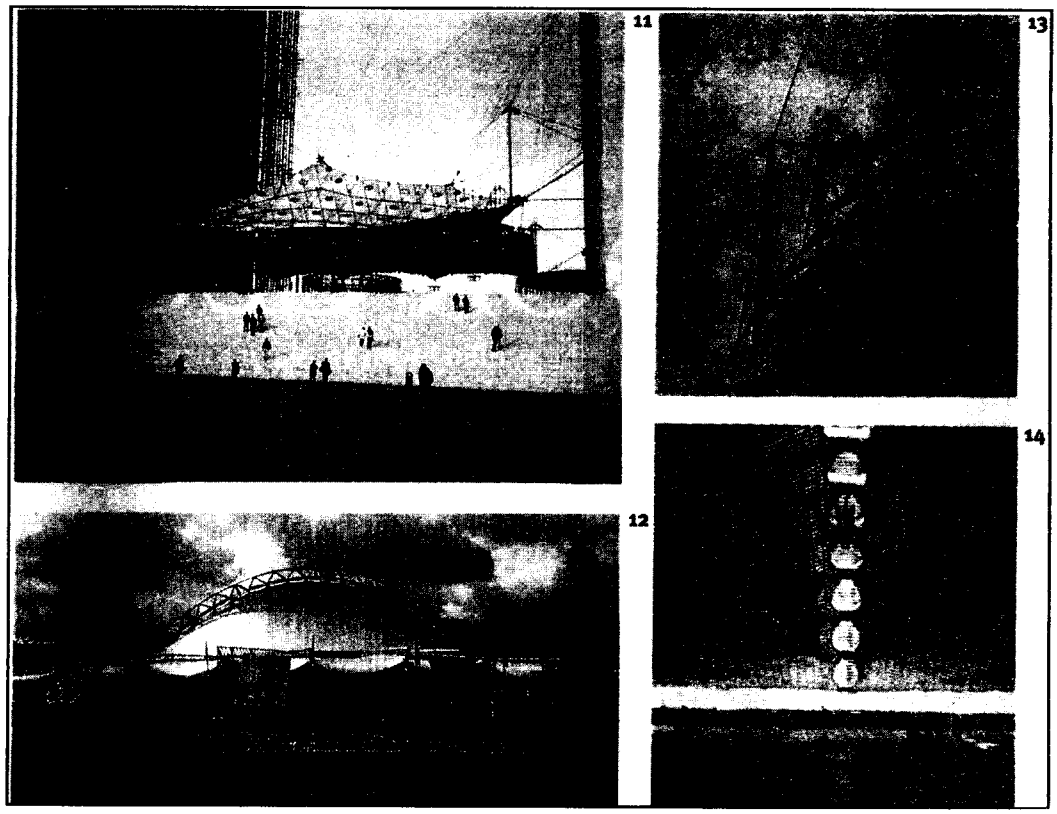
طرح کامل یک پوشش غشایی معمولاً بستگی به کاردانی مهندس معمار دارد. جنبه‌های فنی کار ممکن است به یک متخصص دست دوم واگذار شود یا توسط یک مهندس متخصص این نوع کارها بررسی گردد. مهندس بایستی توان آنرا داشته باشد که طرح را کامل کند، و یا پیمانکار دست دوم باید بتواند مسئولیت برش دادن طرح قطعات و اجرای جزئیات را بپذیرد.

طراحی یک پوشش غشایی نسبتاً گران تمام می‌شود و معمولاً صاحب کار از پرداخت درصدی که یک مهندس برای کل طرح درخواست می‌کند راضی نیست. در هر حال می‌بایستی بوسیله شخصی کامل شده و حق‌الزحمه آن به وی پرداخت شود. پیمانکار اجراکننده ممکن است تهیه جزئیات اجرائی را دوباره به مهندس طراح اصلی کنترات دهد. زیرا در هر حال این کار بایستی اجرا شود و این رشته کار نسبتاً محدود است. نظر نویسنده آنست که اگر تیم طراحی کنترل طرح را در دست داشته و پیمانکار دست دوم را برای تهیه جزئیات اجرائی از نزدیک درگیر کند به مراتب بهتر است.

مسئولیت‌های طراحی، کنترل کیفیت، تضمین کار و غیره به روشنی بستگی به نحوه تنظیم شرایط پیمانکاری داشته و برای هر یک از پیمانکاران دست دوم قسمت‌های مختلف مانند قسمت اسکلت فلزی تفاوتی ندارد.

مصالح مصرفی

موادی که بطور عام در سازه‌های غشائی مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارتند از شبکه کابلی، ورقه‌های پلیمر و فلوئور، پلی‌استر پوشش داده شده با پی وی سی و پلی‌استر پوشش داده شده با PTFE (تفلون).



۱۱. در پاریس Nuages at Tete Defense
۱۲. چادر Eisteddfod با اجزاء قابل باز شدن از هم و مدولار
۱۳. Schlumberger کابل‌ها را از پارچه جدا نگهداشته است
۱۴. شبکه کابلی استادیوم ورزشی روی یخ، مونیخ

شبکه کابل‌ها

شبکه کابلی شامل کابل‌هایی است که به‌شکل شبکه‌ای تنیده شده و در محل تقاطع با یکدیگر به هم بسته شده‌اند. خصوصیات شبکه همان خصوصیات کابل‌ها می‌باشد.

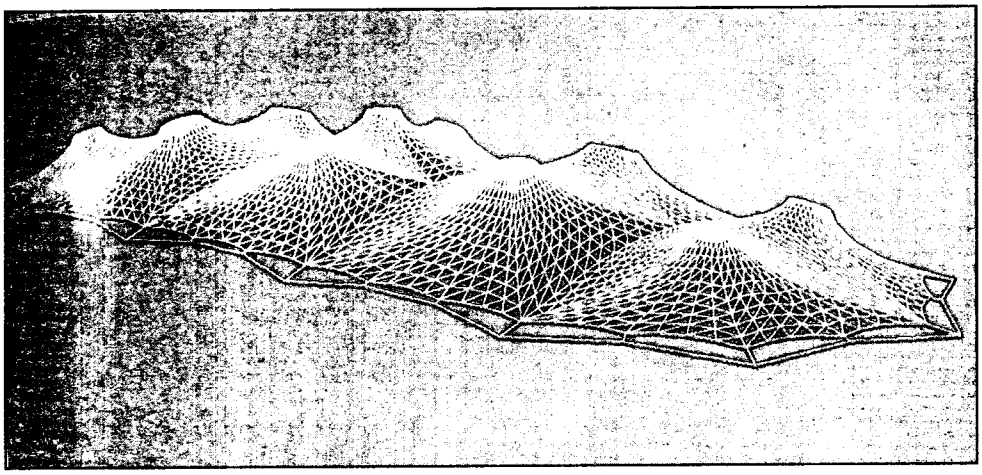
ورقه‌های پلیمر و فلوئور

این ورقه‌ها نازک و به شکل ورق‌های با قابلیت انعطاف‌زیاد است که خصوصیات یکنواخت در جهات مختلف دارد. این نوع مصالح کاربرد زیادی ندارند، زیرا معمولاً ضعیف بوده و به شکل‌های دراز و باریک ساخته شده و با دوام نبوده و در زیر تشعشعات ماوراء بنفش (UV) خراب می‌شود. اما اخیراً ورق‌های پلیمر و فلوئور که به اندازه کافی مقاوم باشد ساخته شده، زود خراب نشده و برای سازه‌های دائمی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پلی‌استر پوشیده شده با پی وی سی

پی وی سی می‌تواند بر روی انواع منسوجات قرار داده شود، تا آنها را از خراب شدن یا صدمه دیدن حفظ نماید، اما عمدتاً برای روی پلی‌استر استفاده می‌شود. این مواد قابل تغییر شکل و به وسیله افزودن مواد افزودنی مختلف موادی ارزان، قابل انعطاف و مقاوم در مقابل آتش برای پوشش ایجاد می‌نماید. معذالک نقاط ضعفی مانند نگه‌داشتن گرد و غبار و عدم مقاومت در زمان طولانی را دارد.

پوشش پی وی سی می‌تواند ترکیبات مختلف در خود داشته باشد، و لذا تولیدات مختلف با یکدیگر متفاوت خواهد بود. قرار گرفتن در مقابل تشعشعات ماوراء بنفش (UV) ممکن است باعث شکسته شدن پی وی سی شود. و این عیب با افزودن موادی مخصوص برطرف می‌شود. افزودنی‌های نرم‌کننده می‌تواند قابلیت انعطاف را در این مواد اضافه نماید. اما حرکت این نرم‌کننده‌ها به سطح پارچه و از بین رفتن آنها، تدریجاً نرمی سطح را کم نموده و حجم را پائین آورده و ایجاد ترک‌هائی می‌نماید. تماس با حلال‌ها، روغن و صابون نیز می‌تواند نرمی این مواد را کم نماید. تمیز کردن پارچه جهت حفظ شکل ظاهری، اگر آنرا به کلی خراب ننماید، ممکن است فاسد شدن آنرا تسریع نماید. پوشش اضافه روی غشاء با آکریلیک لاکر یا فلوئور و پلیمرها مانند PVE و PVDF به خلوگیری از به سطح آمدن و از بین رفتن مواد، نرم‌کننده و کم شدن نشست گرد و غبار بر روی آن کمک می‌نماید. پوشش‌های P.V.C در مقایسه با PTFE رنگ‌پذیری بهتر داشته و با پر کننده‌ها شکل‌های مختلف به خود می‌گیرد. پارچه‌های پی وی سی قیمت



۱۵ و ۱۶. یک مدل واقعی ساخته شده با نایلون (شکل دست راست) می‌تواند ایده بهتری از یک مدل کامپیوتری برای همان ساختمان بدهد (شکل دست چپ).

اولیه پائین‌تری از PTFE دارد، اما کم دوام است، و هرازگاهی به تمیزکردن نیاز داشته و بیشتر کشیده می‌شود. خشکی و محکمی کمتر یا قابلیت کش آمدن بیشتر می‌تواند یک امتیاز تلقی شود. زیرا می‌تواند اشتباهات کوچک ساخت و مونتاژ را جبران نماید. همچنین در مقابل خم‌شدن مقاومت نماید بدون آنکه صدمه‌ای ببیند.

فایبرگلاس روکش شده با PTFE

PTFE یا تفلون برای پوشش دادن به فایبرگلاس به کار می‌رود تا آنرا از صدمات فیزیکی و اثرات آب که تضعیف کننده است محفوظ بدارد. این مواد ترکیبات کمتری نسبت به P.V.C دارد، زیرا ذاتاً دوام بیشتری داشته، و نیاز به نرم کننده و جذب کننده (UV) ندارد. مواد PTFE پردوام و ضد حریق می‌باشد، اما به خاطر آنکه هنگام ایجاد روکش پارچه نیاز به حرارت بالا دارد، فقط با پارچه‌های شیشه‌ای (فایبرگلاس) می‌توان آنرا استفاده نمود.

به خاطر آنکه این پارچه‌های پوشش شده با PTFE در قطعات با طول کمتر و مقاومت کمتر در مقابل صدمات ساخته می‌شود، قابلیت انعطاف کمتری در مقابل اشتباهات اجرایی دارد. همچنین این پارچه‌ها بیشتر ترد و شکننده بوده و نمی‌توان به آنها حالت اهتزاز داد و یا آنها را تا نمود، در حالی که این حالت در مورد پلی‌استر پوشیده شده با P.V.C قابل قبول و امکان‌پذیر می‌باشد.

مشخصات سازه

خصوصیات سازه‌ای مورد نظر عبارتند از:

- مقاومت و استحکام.
- سختی، که شامل رفتار بار یا کشش پارچه است که در جهت دو محور محاسبه می‌شود. زیرا سختی، تغییر حالت در مقابل بار را مانع می‌شود.
- مقاومت در مقابل پاره شدن، که مقاومت پارچه را در مقابل به وجود آمدن و ادامه پارگی ایجاد می‌کند.
- کشش زمان اجرا، که با آنچه در مورد بعد آمده متفاوت است.
- ثابت بودن اندازه‌ها که شامل تغییرات بر اثر چروک و تغییرات درجه حرارت و رطوبت می‌باشد.

خصوصیات ذکر شده برای سازه، متأثر از بافت و مواد مصرفی برای تولید پارچه و پوشش روی آن است. هنگام بافتن پارچه، یک سری از نخ‌ها که تار نامیده می‌شود، مستقیم نگهداشته شده و سری دیگر نخ‌ها که پود نامیده می‌شود به وسیله ماسوره از بین آنها رد می‌شود.

در زمان انجام بافت، معمولاً تارها مستقیم کشیده و نگهداری شده در حالی که پودها از بالا و پائین آنها عبور می‌کند. اگر اتفاقاً پارچه در جهت تارها کشیده و بارگذاری شود، این تارها مقاومت بیشتری نشان داده و در جهت پودها برعکس مقاومت کمتر خواهد بود. این مطلب به عنوان عامل ایجاد موج شناخته می‌شود. تارها در زیر بار نیز فشرده شده و همین باعث مقاومت بیشتر خواهد شد.

مقاومت در مقابل آتش‌سوزی

ضوابط و مقررات ساختمانی بر مبنای استاندارد BS476 قسمت‌های ۶ و ۷ ذکر می‌کند که دیوار و سقف اطاق‌ها بایستی درجه 1 و سرسراها و راههای فرار درجه 0 باشد. فقط پارچه‌ها با پایه شیشه‌ای می‌تواند درجه 0 را احراز کند، زیرا مواد نباید از ترکیبات ترموپلاستیک باشد. روکش‌های P.V.C و یا پلاستیک خود به خود قابل اشتعال هستند.

برای آنکه در اشتعال آنها تأخیر افتد، می‌بایستی مقادیر قابل توجه مواد غیر اشتعال به آن افزوده شود تا نتیجه مطلوب بدست آید. پلی‌استر پوشش داده شده با P.V.C می‌تواند معادل مواد درجه 1 در نظر گرفته شود. اما نتیجه آزمایش‌های لازم قابل تأمل است زیرا در یک آتش‌سوزی واقعی پارچه می‌سوزد، اتصال‌ها باز شده و خود به خود دودکش برای آتش به وجود می‌آید.

در مواد سوختنی چه چیز مسموم کننده است؟ مخصوصاً در فایبرگلاس پوشیده شده

۱۷. پانل‌های نیمه شفاف پلیمر و فلوئور نصب شده در بیمارستان

با PTFE؟ آزمایش‌های در مقیاس کم بر روی PTFE که در آمریکا انجام شد نشان داده که مواد سوختنی بسیار سمی می‌باشند. با وجود این، پارچه به وسیله حرارت بالا که PTFE را خراب می‌کند سوراخ سوراخ شده و می‌افتد و راه خروج دود و آتش را باز می‌نماید. همچنین اولین قسمت مواد PTFE که تخریب می‌شود، شدیداً مواد سمی ایجاد می‌کند، با وجود توجه به نکات فوق، استفاده از مواد و پارچه‌های PTFE قابل قبول می‌باشد، اما بایستی با مهندسی آتش‌سوزی هماهنگی ایجاد شود.

دوام و استحکام

دوام و استحکام پارچه پوشش داده شده، ابتدا بستگی به پوشش آن دارد، زیرا هنگامی که پوشش پارچه جدا شود، پارچه با هوای آزاد در تماس بوده و خراب می‌شود. عمر مفید پارچه‌های پوشیده شده با PVC در صورتی که از بهترین مواد استفاده شود بین ۱۵ تا ۲۰ سال است، در حالی که مواد ارزانتر شاید عمر مفید ۵ سال را داشته باشد. اخیراً روکش‌های فلوئور و پلیمر جای خود را به عنوان مواد دارای عمر مناسب باز نموده است. پارچه‌های پوشش داده شده با PTFE حدود ۲۰ سال است مورد استفاده قرار گرفته و مسئله خاصی از نظر خراب شدن نشان نداده است. عمر مفید پارچه‌های روکش شده با مواد PTFE بین ۲۰ تا ۲۵ سال برآورد می‌شود. انتظار می‌رود عمر مفید ورقه‌های فلوئور و پلیمر حدود ۱۵ سال باشد.

نیم شفافیت یا مات بودن

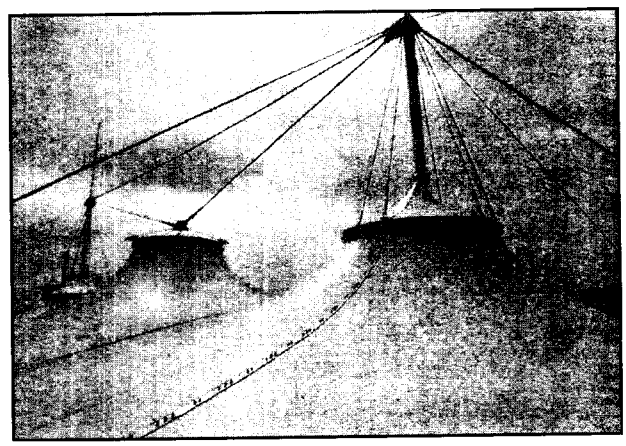
بسیاری از اوقات پارچه دارای شفافیت برای اسکلت بیشتر مورد قبول قرار می‌گیرد. این موضوع ارتباط با شفافیت و تراکم تارها و همچنین شفافیت یا مات بودن روکش نیز دارد. اگر در زیر پوشش ایجاد شرایط تاریک مورد نظر باشد، پوشش روی پارچه باید با دقت انتخاب شود، زیرا اغلب مواد مقداری نور را عبور می‌دهند. درصد شفافیت و عبور نور نوعاً عبارتست از:

- فویل‌های فلوئور و پلیمر تا ۹۷ درصد
- فایبرگلاس پوشیده شده با PTFE ۵ تا ۱۵ درصد
- پلی‌استر پوشیده شده با PVC ۸ تا ۳۰ درصد

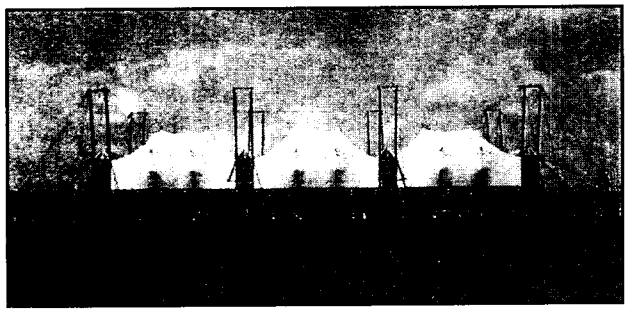
عمر و دوام پارچه پلی‌استر و PVC ارتباط معکوس با درصد شفافیت و عبور نور دارد. یک عمر ۱۵ سال شاید برای درجه شفافیت ۱۵ درصد وجود داشته باشد. در حالی که اگر درجه شفافیت به ۳۰ درجه برسد، عمر آن به ۵ سال کاهش می‌یابد.

عایق حرارتی

عایق حرارتی ایجاد شده با یک پارچه در واقع صفر است. در حالی که درجه حرارت در زیر سقف غشایی بستگی به‌شرایط خاص آن دارد و معمولاً ۲ تا ۳ درجه بالاتر از حرارت محیط خارج آن می‌باشد. ضوابط ساختمانی اجازه نمی‌دهد که یک فضای غیر عایق گرمتر



۱۸. اتصالات کاملاً دیده می‌شوند، و طراحی بایستی با دقت انجام شود تا هماهنگی لازم بین اجزاء باشد.



۱۹. پوشش Schumberger یک اسکلت پیچیده و مفصل را به فرم‌های ساده تکراری تبدیل نموده است.

از w/m 25 باشد، که کافی نیست و باید آن را چند درجه بالاتر در نظر گرفت. عملکرد غلط یک پوشش غشایی تیپ آنست که فقط یک حفاظ در مقابل باران و باد و آفتاب باشد.

یک پوشش غشایی می‌تواند درجه حرارت را پایین‌تر نیز بیاورد، به خصوص در شبهای صاف زمستان به دلیل تشعشعات موجود در آسمان، درجه حرارت پارچه می‌تواند پایین‌تر از درجه حرارت هوا شود. این امر می‌تواند باعث تعریق و حتی یخ زدن شود، و هنگامی که یخها شروع به ذوب شدن می‌کند، قطرات آب در زیر پوشش می‌چکد.

نوعی عایق حرارتی را می‌توان با افزودن یک لایه دیگر از پارچه که نازکتر باشد ایجاد نمود.

ورق‌های فلوئور و پلیمر برای سازه‌های با بالشتک فشرده شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ورقه‌ها با دادن یک لایه نازک آماده مشابه شیشه آماده شده است. لایه‌های چندتایی از این فویل‌ها می‌تواند عایق بسیار خوبی را در حد $PU= 1.5 - 2.4\ W/m^2\ c^o$ ایجاد نماید. با وجود این، حالت عایق در لبه‌های محل اتصال و قاب‌ها پایین می‌آید. این نوع اسکلت بهترین جایگزین برای پانل‌های پوشیده شده با شیشه می‌باشد.

هندسه یک سقف پارچه‌ای معمولاً طوری طراحی می‌شود که ارتفاع کافی برای راحتی در تابستان داشته و پیش‌بینی بازشوهایی در بالاترین نقاط جهت تهویه شده باشد.

اتصالات

تحلیل‌ها و نقشه‌های جزئیات بایستی اتصالات راکه در کارگاه بر روی آنهاکار می‌شود مشخص نماید. طرح و شکل اتصالات متأثر از تحلیل سازه می‌باشد، زیرا خصوصیات پارچه در جهت تارها با جهات دیگر متفاوت است. اتصالات به روشنی یک قسمت اصلی از معماری به شمار می‌آیند، بایستی آنها را با دقت انتخاب و در کل مجموعه سقف به طور هماهنگی اجرا نمود، به طوری که از نظر تکنیکی صحیح به نظر آید. اگر به این مسئله از ابتدای امر دقت شود، در مجموع فعالیت اجرائی صرفه‌جوئی زیادی خواهد شد.

اتصالاتی که در کارگاه دوخته می‌شوند می‌تواند از پلی‌استر پوشیده شده با PVC استفاده شود، زیرا در این صورت از صدمه دیدن و خرابی پوشش PVC جلوگیری می‌نماید. اتصالات دوخته شده در کارگاه نمی‌تواند از جنس شیشه پوشش شده با PTFE باشد، در این مورد بهترین نوع اتصالات جوش دادن با حرارت هوای داغ، حرارت مستقیم، و یا امواج فرکانسی می‌باشد.

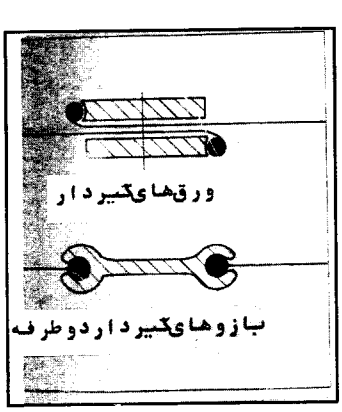
اجرای اتصالات در کارگاه ضروری است، زیرا مقداری از پوشش راکه در کارگاه می‌توان آماده نمود، محدودیت دارد. همچنین ممکن است ضرورت داشته باشد که از اجزاء سازه و اتصال قسمتی از پوشش به آنها کمک گرفته شود.

معمولاً اتصالات مکانیکی نسبت به جوش دادن پارچه ترجیح دارد، زیرا خیلی راحت‌تر آنها را می‌توان در کارگاه ساخت. رایج‌ترین فرم این اتصالات ورق‌های گیردار و یا بازوهای گیردار دو طرفه هستند.

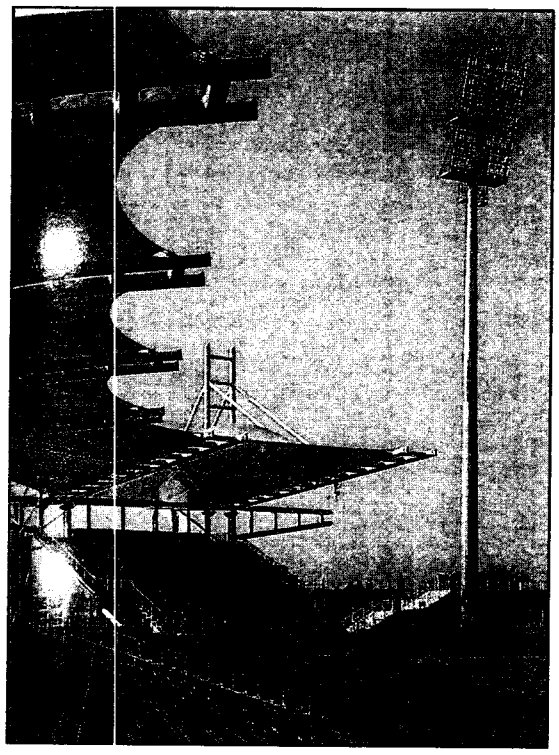
یک راه دیگر آن است که سقف را به تعدادی از پائل‌های مجزا از هم تقسیم کنیم که بوسیله یک اسکلت محکم بهم متصل شده‌اند. این کار هم می‌تواند با تقسیم یک سقف مفصل و پیچیده به تعدادی قطعات ساده تکراری، تحلیل سازه را آسان نماید. (17 و 20 و 21)

نقاط اتصال

کابل لبه سقف پارچه‌ای بار این سقف را به نقاط اتصال منتقل می‌کند. این کابل حالت ممتد و زنجیره‌ای داشته و به ورق‌های گوشه‌ها متصل می‌شود. سازه بایستی طوری طراحی شود که اتصال اسکلت سخت با پارچه‌ها بتواند اختلاف اندازه قطعات را در حال اجرا، و حرکت سقف را در حالت پیش‌تنیدگی جبران نماید. این مطالب بستگی به شکل و فرم سقف دارد و نمی‌توان آنرا تعمیم داد.



۲۱. Bari Stadium که برای جام جهانی ۱۹۹۰ ساخته شده است.



۲۰. Don Valley Stadium سقف به قطعاتی تقسیم شده که بوسیله اسکلت فلزی محکم بهم متصل شده‌اند.

نقشه جزئیات اتصالات از نظر تکنیکی و زیبایی ظاهری هر دو حائز اهمیت است. این جزئیات بایستی امکان حرکت پارچه را در زیر بار بدهد، بدون آنکه کشش‌ها در یک محل متمرکز شود، و بدون آنکه تا بخورد، و حرکت‌های لازم پیش‌تنیدگی را هر کجا که لازم باشد، امکان‌پذیر نماید. ارزش آنرا دارد که این مسائل از ابتدای طراحی در نظر گرفته شود، تا فاصله کافی بین قطعات پارچه و اسکلت اصلی مقاوم وجود داشته و دوام و استحکام کافی نیز در جزئیات اتصالات ایجاد شود. چون این اتصالات در گوشه‌ها و لبه‌ها هستند، کاملاً در معرض دید قرار دارند و با توجه به حالت تضادی که بین این دتای‌ها با اصل پارچه سقف وجود دارد، اجرای خوب آنها مجموعه سقف راگران می‌کند، و اگر خوب اجرا نشود کل طرح را خراب خواهدنمود.

نصب

طراحی بایستی روشی را دربر داشته باشد تا قطعات سقف در حالت کشش قرار گیرند و جزئیات مربوط به آنرا شامل شود. در یک مخروط ساده به عنوان مثال می‌توان کشش اولیه را در پارچه‌ها با بالا بردن مخروط یا کشیدن لبه‌ها ایجاد نمود.

سازه‌های غشایی عموماً شکننده و ظریف هستند. اصولاً می‌بایستی بر روی یک سطح تمیز و صاف پهن شده و سپس بطرف بالا کشیده شود. هیچگونه کار و عملکرد دیگری نباید در زمان انجام این کار صورت پذیرد. پس از نصب کامل، می‌بایستی برای نگهداری از صدمات اعمال دیگری انجام شود. گرد و غبار، روغن و دود بایستی از پوشش غشائی دور نگه داشته شود. بهترین حالت آن است که پوشش پارچه‌ای آخرین قسمت انجام و تکمیل ساختمان باشد.

زمان مورد نیاز

زمان مورد نیاز برای طراحی، ساخت و نصب یک سقف غشایی بستگی به شرایط و اندازه آن دارد، اما یک زمان مناسب و معقول برای طرح پوشش به اندازه متوسط، مشابه آنچه که در تصویر شماره ۱ دیده می‌شود عبارت خواهد بود از:

- طراحی و تحلیل آن ۱۲ هفته
- برش قطعات و فرمها ۴ هفته
- ساخت ۶ هفته
- نصب ۴ هفته

قیمت تمام شده

قیمت پایه برای پارچه‌های پلی‌استر پوشیده شده با P.V.C هر مترمربع بین ۸۰ تا ۱۲۰ پوند انگلیس و فایبرگلاس پوشیده شده با تفلون هر مترمربع بین ۱۶۰ تا ۲۰۰ پوند می‌باشد. اگر قیمت کامل پارچه و اسکلت فلزی را در نظر بگیریم، برای پلی‌استر پوشیده شده با P.V.C هر مترمربع حدوداً ۱۶۰ تا ۲۴۰ پوند، و فایبرگلاس پوشیده شده با تفلون هر مترمربع حدوداً ۲۴۰ تا ۳۰۰ پوند، خواهد بود که بستگی به سادگی و یا پیچیدگی آن دارد.

- نقل از مجله Architect's Journal مورخ سپتامبر 1992

پی‌نوشتها:

1. funicular shape