



مقایسه سازه های کابلی با سازه های چادری

سحر کریمی¹، دکتر امیر بهمنی چاهستانی²

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معماری، واحد بندرعباس، دانشگاه پیام نور، بندرعباس، ایران، saharkarimiii74@gmail.com

2 عضو هیئت علمی دانشگاه فنی و حرفه ای استان هرمزگان، amirbch2@yahoo.com

چکیده

هرپیشرفت جوامع بشری و افزایش اطلاعات باعث شده است که تحولات چشمگیری در زمینه های مختلف همچون ساخت و ساز صورت گیرد در بین تمامی سازه های موجود سازه های کابلی گسترده ترین دهانه را با طول بیش از 500 متر پوشش می دهد سازه های کابلی بخشی از سیستم های سازه با عملکرد کششی هستند این سازه برای طراحی پل ها پوشش دهانه های بزرگ سقفها و ... مورد استفاده قرار می گیرد این دسته از سازه های انعطاف پذیر با اتصالات غیر صلب اند که در آنها نیروها از طریق طراحی فرم ویژه و پایدار سازی فرم مشخصه توزیع میشوند سازه های چادری، یک پوسته ی کششی یکپارچه نازک است که به وسیله ی یک ستون یا قوسی فشاری نگه داشته می شود. چادر نوعی متفاوت از سازه کابلی با انحنای مضاعف است که در آن فاصله بین کابل کاهش یافته و به صفر رسیده و سطح آن یک پوسته ی پیوسته گردیده است. در چادر، پوسته تمامی بار یا بخشی از آن را حمل می نماید. چادرهای کوچک، که کاملاً از پارچه ساخته شده اند، معمولاً به وسیله ی دکل ها (ستون ها) یا قوس ها نگاه داشته می شوند در این پژوهش سعی شده است ضمن معرفی سازه های کابلی و سازه های چادری این دو سازه را از نظر توزیع نیرو و نیازهای عملکردی معماری الزامات سازه ای و ... مقایسه شود



مقدمه

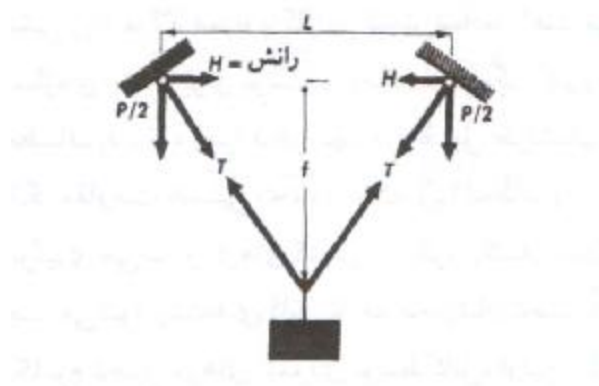
درسازه های کابلی: فولاد جزء مصالحی است که دارای مقاومت کششی بالایی می باشد. استفاده از این مزیت همراه با کارایی کشش ساده باعث شده است که کابل فولادی به عنوان یک عنصر سازه ای ایده آل برای پوشش دهانه های بزرگ به کار رود. (گلابچی، 1391) ویژگی هایی همچون استحکام، پایداری، زیبایی، قابلیت استفاده در دهانه های بزرگ و اقتصادی بودن باعث شده که سازه های کابلی برای ساخت بسیاری از بناها استفاده شوند. سازه های کابلی علاوه بر داشتن این مزیت ها دارای معایبی همچون: نداشتن مقاومت کافی در مقابل لرزش و ارتعاشات، ناپایدار بودن در مقابل باد و زلزله نیز هستند. (امیدی، دهقانی، موسوی، 1393) دلیل عملکرد ضعیف این نوع سازه ها در مقابل نیروهای آئرودینامیک (باد و زلزله و ...) ناچیز بودن قطر کابل ها نسبت به طولشان می باشد و این واقعیت انعطاف پذیر بودن کابل ها را روشن می سازد. این انعطاف پذیری سبب مقاومت خمشی کم کابل ها می گردد {2} کابل ها معمولا از جنس فولاد مرغوب می باشند، اما اخیرا مواد دیگری با مقاومت بسیار بالاتری نسبت به فولاد تولید شده اند. نانولوله های کربنی از این دسته اند. این مواد بسیار ظریف هستند و قطری در حدود 10000 بار کوچکتر از موی انسان دارند. مقاومت کششی نانولوله های کربنی، 40 برابر بیشتر از فولاد مرغوب و درجه یک می باشد. سازه های کابلی برای طراحی پل ها، پوشش دهانه های بزرگ، سقف ها، مهاربند ها، سازه های چادری و غیره استفاده می شوند. (امیدی، دهقانی، موسوی، 1393) و در سازه های چادری: یک غشای چادری به عنوان سازه و ساختار پوشاننده عمل می کند، در نتیجه با استفاده از آن وزن ساختمان، هزینه ها و تاثیرات زیست محیطی روند ساخت و ساز کاهش می یابد. پارچه هایی که در آثار معماری مورد استفاده قرار می گیرند عموما دارای رشته های فایبرگلاس با روکش پلی تترا فلوئور اتیلن (PTFE) و یا رشته های پلی استر با روکش پلی وینیل کلراید PVC می باشند. مقدار سختی خمشی و فشاری آن ها قابل چشم پوشی است. بنابراین سازه های چادری با انحنای کافی طراحی می شوند تا بارهای محیطی به صورت نیروهای کششی در داخل صفحه پارچه تحمل شوند. این امر با نحوه عملکرد سازه متداول سقف ها در تناقض است، سازه هایی که در آن ها بار معمولا از طریق رفتار قوسی فشاری و یا از طریق سختی خمشی تحمل می شود. (فولرمور، 1386)

روش تحقیق

در این پژوهش، جمع آوری اطلاعات برحسب روش کتابخانه ای می باشد که شامل مجموعه ای از کتاب های مرجع و مقاله ای است که در آن ها موضوع تحقیق به طور جزئی مورد بررسی قرار گرفته است.

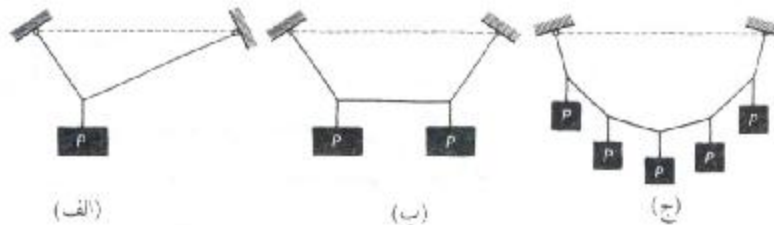
سازه های کابلی

ساده ترین مثال از یک سازه کششی وزنه ای آویزان از یک کابل می باشد. وزنه دقیقاً در امتداد نقطه اتصال کابشل در حشال سشکون قرار می گیرد. کابل هم بین نقطه اتصال و وزنه به صورت کششی در یک خط مستقیم قرار می گیشرد. یشک ترکیش کشاربردی تشر، سازه ای کابلی مابین دو تکیه گاه همتراز برای تحمل یک بار متمرکز در وسط دهانه است. کابل تحت تاثیر بشار یشک ششکل مثلثشی پیدا می کند و هر نیمه از کابل نیمی از بار را توسط کشش ساده به تکیه گاه منتقل می کند. اقتصادی ترین یا بهتشرین افشت بشرای یک دهانه افقی بین دو تکیه گاه ثابت برابر نصف دهانه و به صورت قرینه می باشد. در این حالت کابشل ششکل مثلثشی بشا زاویشه 45 درجه پیدا می کند و رانش نخ برابر با نیمی از بار می باشد. (سالوادوری، 1391)



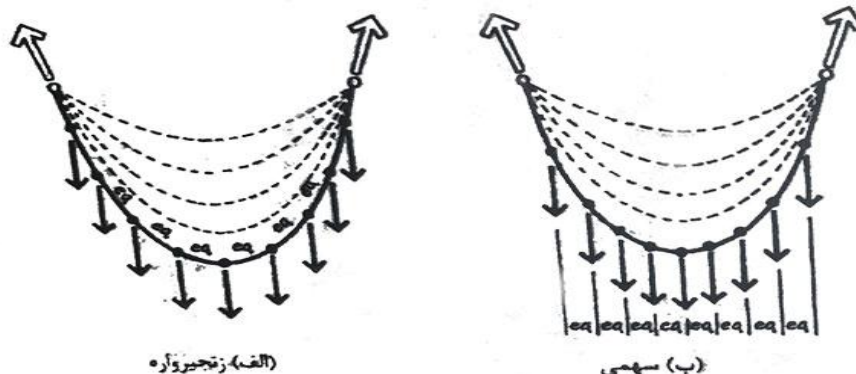
شکل 1 رانش کابل

با جابجایی بار از وسط دهانه به سمتی دیگر کابل تغییر شکل داده که در این حالت دیگر تکیه گشاه هشا بشه طشور یکسشان نیروهشای عمودی را تحمل نمی کنند. با افزایش تعداد بارهای متمرکز بر روی کابل ها، شکلی بدست می آید که بشه آن چند ضلعی طنابابی گویند. هر چه تعداد این بارها بیشتر شود تعداد اضلاع چند ضلعی طنابابی هم بیشتر و اندازه اضلاع کشوچکتر مشی ششود و در نهایت کابل با افزایش تعداد بی نهایت بارها به صورت یک منحنی طنابابی در خواهد آمد. (سالوادوری، 1391)



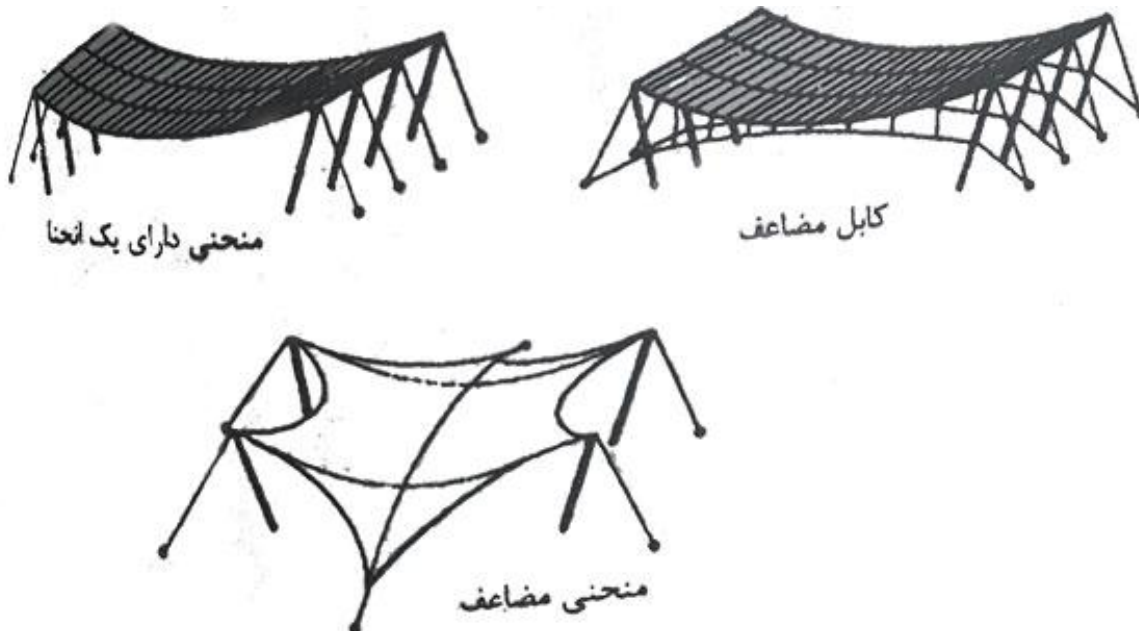
شکل 2 چندضلعی های طنابابی

کابل ها با فرم منحنی طنابابی به دو گروه کابل های زنجیره وار و کابل های سهمی قابل تقسیم بندی هستند. زمانی که یک کابل بدون بارگذاری تنها تحت تاثیر نیروی وزن خود قرار می گیرد فرمی از منحنی طنابابی شکل می گیرد که بشه آن زنجیره وار گویند. زمانی که یک کابل معلق با صرف نظر از وزن کابل تحت تاثیر بارگذاری یکنواخت در طول دهانه های افقی خودشود قشرار گیشرد، فشرم بدست آمده را سهمی گویند. هنگامی که نسبت دهانه به خیز بیشتر از 5 است هر دو فرم بسیار به هم شبیه هستند. (فولرمور، 1386)



شکل 3 انواع کابل ها با فرم منحنی طنابابی

سهمی زنجیره وارسازه های معلق با فرم منحنی را می توان به سه گروه منحنی های دارای یک انحنا، کابل هشی ماشاعف و منحنشی هشی ماشاعفتقسیم نمود. منحنی دارای یک انحنا: زمانی که دو یا چند کابل زنجیره وار موازی بین تکیه گاه های اصلی قرار گیرند، می توانند یک سطح را به صورت مستقیم یا غیر مستقیم یعنی با استفاده از کابل های ثانویه نگه دارند. پل های معلق با فرم منحنی طنابی نمونه ای از سازه های با یک انحنا هستند. کابل های ماعف: سازه های با کابل ماعف بسیار شبیه سازه های با یک انحنا هستند. تفاوتی که بشین آن هشا وجشود دارد اضشافه شدن یک سری کابل تثبیت کننده در زیر کابل های معلق اصلی است که در واقع بشرای مقابلشه در برابرش نیروی رو بشه بشالای بشاداست منحنی های ماعف: این سازه ها دارای انحنای دوگانه از نوع آنتی کلاستیک (یکپارچه) هستند. طرز قرارگیری کابل ها به صورتی است که کابل های معلق در یک جهت دهانه بین تکیه گاه ها قرار دارند و تعدادی کابل تثبیت کننده هم در جهت عمشود بشر آن قرار گرفته اند که برای مقابله با نیروی باد به سمت پایین کشیده شده اند. برای نمونه می توان به سقف هایی با فرم زین اسبی اشاره کرد که انحنا در یک جهت مثبت و در جهت دیگر منفی است. (فولرمور، 1386)

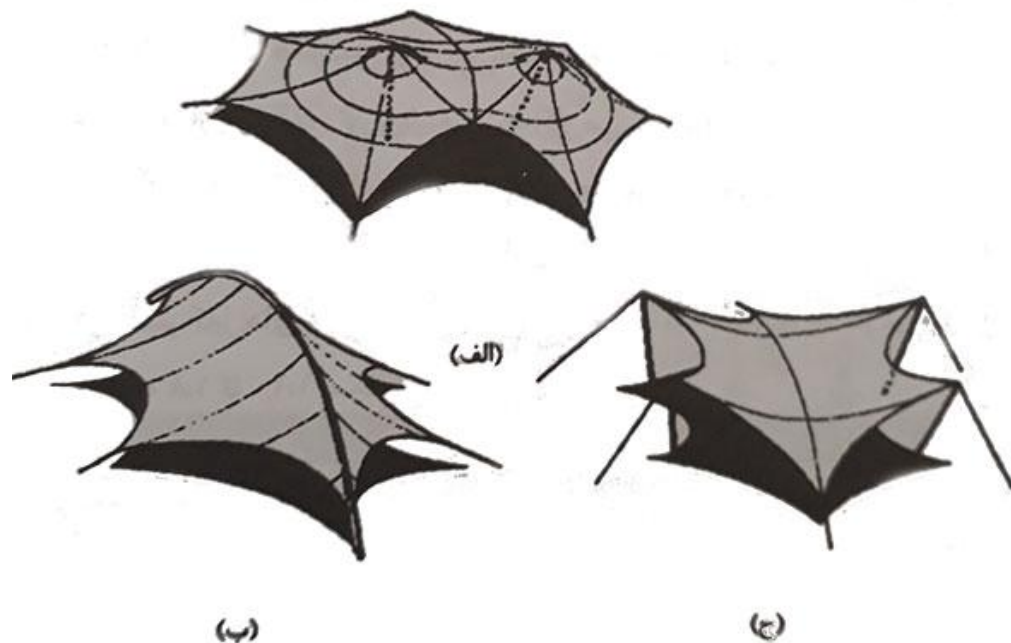




شکل 4 انواع سازه های معلق

سازه های چادری

چادر، یک پوسته ی کششی یکپارچه نازک است که به وسیله ی یک ستون یا قوسی فشاری نگه داشته می شود. چادر نوعی متفاوت از سازه کابلی با انحنای مضاعف است که در آن فاصله بین کابل کاهش یافته و به صفر رسیده و سطح آن یک پوسته ی پیوسته گردیده است. در چادر، پوسته تمامی بار یا بخشی از آن را حمل می نماید. چادرهای کوچک، که کاملاً از پارچه ساخته شده اند، معمولاً به وسیله ی دکل ها (ستون ها) یا قوس ها نگاه داشته می شوند (تصویر 5) با افزایش طول دهانه نیروهای کششی پوسته افزایش یافته و سطح آن باید به وسیله کابل هایی که بارهای اصلی کششی را انتقال میدهند با پارچه ای که فاصله بین کابل ها را می پوشاند به بخش های کوچکتر تقسیم شود لبه کاری چادر قابل انعطاف بوده (غیرمتصل) و معمولاً برای اطمینان از اینکه در کشش باقی می ماند به شکل مفعراست به علت اینکه لبه کاری تحت تنش بالایی قرار می گیرد معمولاً به وسیله کابل هایی که تا نقطه اتصال ادامه دارد مسلح میگردد نقطه اتصال ممکن است به یک کابل طنابی (که نیروهای کششی را به پی منتقل می کند) متصل شود یا از طریق دکل یا میله مهار فشاری (که بارهای فشاری را به زمین منتقل میکند نگاه داشته شود) (فولرمور، 1386)



تصویر 5 سازه های چادری با تکیه گاه های فشاری مختلف
الف) دیرک های داخلی (ب) قوس های داخلی و (ج) دیرک های خارجی

طراحی سازه های چادری

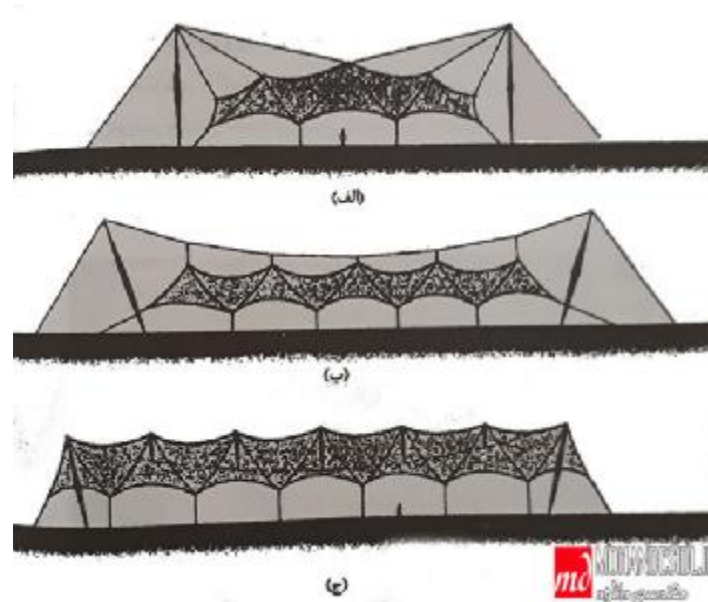
پیچیدگی سازه های چادری شامل وضعیت خط و منحنی سادگی رفتار این سازه را که مبتنی بر کشش و انحناست و توانایی آن را برای حمل بارها پنهان می سازد این سادگی فرم پوسته قابل مشاهده ای را می سازد تصویری حقیقی از اینکه نیرو از آن پیروی می کند در سازه های چادری فرم معماری و عملکرد سازه ای یکی هستند در نتیجه مهندسی ساختمان و معماری جدا نشدنی بوده و درک رفتار سازه یک ابزار اساسی در طراحی این نوع از سازه ها می باشد به علت ارتباط نزدیک بین ظاهر بصری و رفتار سازه ای درک چنین مفهومی برای استفاده از این سیستم مشکل نیست مشاهده چنین سازه هایی روشی مناسب برای شناخت توانایی طراحی آنهاست (فولرمور، 1386)

تکیه گاه ها

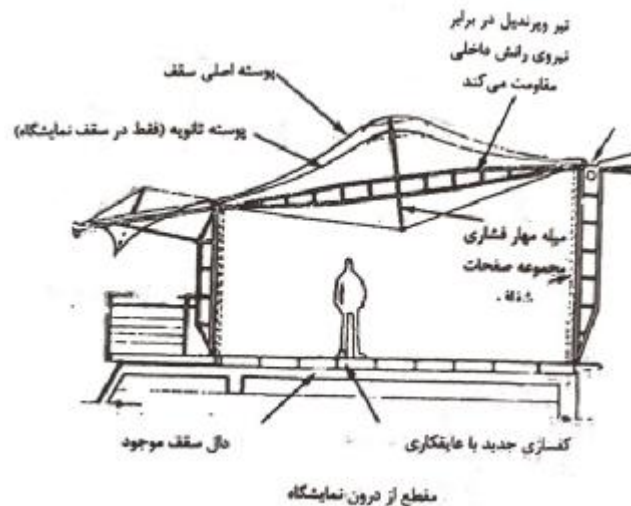
به طور ساده آنها به وسیله ستون های مرکزی نگاه داشته می شوند ولی در عمل ممکن است به دلایل غیرسازه ای ناخواسته از روش های دیگر استفاده شود قوس ها یا بیشترسازه های ترکیبی فشاری ممکن است برای تامین نکیه گاه عمودی در آنها به کار برده شوند (تصویر 6) کابل های زنجیره وار میتوانند در کنار ستون ها برای نگاهداری خط الراس چادر ها در چندین نقطه به طور معلق طراحی شوند (تصویر 7) در جایی که از تیکه گاه های مرکزی استفاده میشود تنش پوسته ممکن است با پخش بار روی یک سطح بزرگ تر به واسطه یک ستون قارچی شکل مرکزی کاهش یابد (تصویر 8) (گلابچی، 1386)



تصویر 6: غرفه سی و رلد توجه کنید که میله های مهار فشاری که برای نگاهداری خط الراس های سقف به کار رفته اند نیاز به دیرک مرکزی را از بین برده اند همچنین نیاز به کابل های طنابی که در زیر سازه پیرامونی کشیده شده اند از طریق میله های مهار افقی که مساله نیروهای رانشی داخلی را حل کرده اند از بین رفته است (فولرمور، 1386)



تصویر 7 کابل های زنجیرواره معلق از دیرک ها ممکن است برای نگاهداری خط الراس های چادر به کار روند
(الف) دیرک های خارجی (ب) دیرکهای خارجی با کابل معلق (ج) دیرک های داخلی با کابل معلق در زیر میله
های مهار نگاهدارنده پارچه سقف



تصویر 8: ساختمان خیالی مقطع از درون گالری نشان دهنده فرم قارچی میله مهار فشرده رو به بالا که برای نگهداری مرکز سقف پارچه ای به کار رفته می باشد

مصالح

چادرها معمولاً برای استفاده در سازه های موقتی در نظر گرفته می شود زیرا پارچه مقاومت کمی در برابر نور خورشید داشته و به سرعت از بین میرود پیشرفت های اخیر استفاده از پوسته ها (فایبرگلاس به میزان زیاد) و پوشش هایی که کمترین فرسایش را در برابر نور خورشید دارد (برای مثال تفلون داپونت) افزایش داده است عمر مفید پوسته های چادری پیش از بیست سال می باشد که آن ها را برای استفاده در سازه های دائمی مناسب ساخته است (فولرمور، 1386)

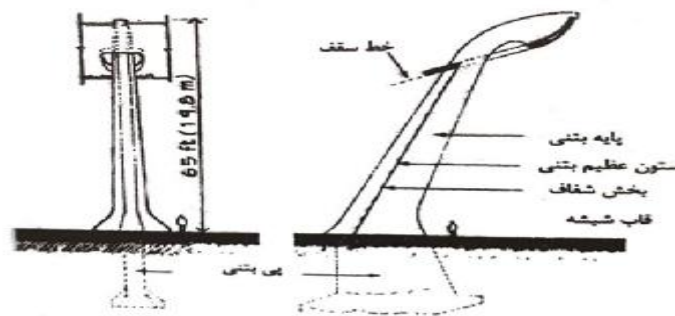
لبه ها مرزها

اگرکناره های یکد چادر قابل انعطاف باشد معمولاً به وسیله کابل ها مسلح می شود لبه چادرها معمولاً شکل مقعر را در نتیجه کشش پوسته و سیستم تکیه گاهی سازه به خود می گیرند لبه های صلب مانند دیوار ها تیرها و قوس ها میتوانند هر فرمی با طول دلخواه که قوس مناسبی را لبه پوسته ایجاد کند به خود بگیرد و در برابر تنش های وارده نیز مقاومت نمایند (گلابچی، 1386)

مطالعه موردی سازه کابلی

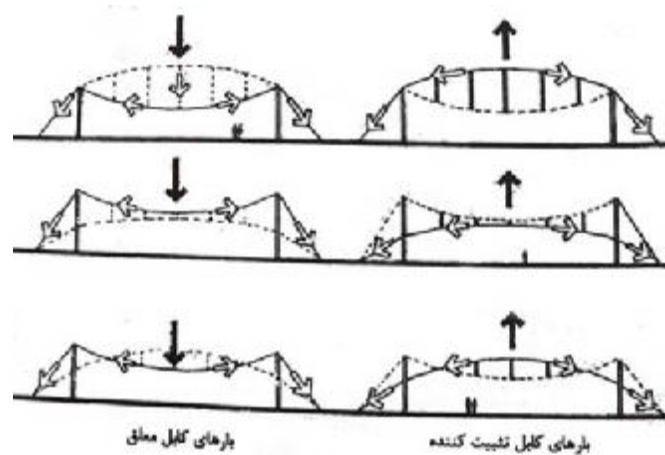
ترمینال فرودگاه بین المللی دتور

یک مثال کاربردی از سقف های کابلی با کابل های مضاعف و درخلاف جهت هم، سالن اصلی ترمینال فرودگاه دنور است که بزرگترین سازه کششی سقف و بزرگترین فضای یکپارچه درجهان میباشد (1995: دنور، کانکتیکا، مهندس معمار: فنترس، بردبرن و همکاران، مهندس سازه: سورودو همکاران). سقف پارچه ای به علت سبکی و سرعت ساخت و به دلیل زیبایی آن انتخاب شده است. مشابه قله های پوشیده از برف رشته کوه راکی، قله های این ساختمان به وسیله 34 ستون اصلی فولادی، شامل ستون های 150 فوتی (45 متر) با فاصله 60 فوت (18/3) از یکدیگر ایجاد شده اند. (فولرمور، 1386)



تصویر 9: ساختمان ترمینال دالاس، نمای پایه اصلی.

انحنای پارچه ها، بین قله ها 240 فوت (63 متر) دهانه طول سالن اصلی را می پوشاند پوشش پارچه ای سقف به وسیله کابل هایی که از خط الراس ها و خط القعرها عبور کرده که بیشترین بارهای کششی را نیز تحمل می نمایند، مسلح شده اند. کابل های خط الراس معلق بارهای ناشی از وزن ساختمان و برف را تحمل می نمایند، در صورتی که کابل های تثبیت کننده خط القعر در برابر نیروی باد مقاومت می نمایند. سومین سری از کابل ها، کابل های خط الراس و خط القعر را در فاصله 40 فوت (لندرکر 1994، استین 1993، بلیک 1995) (فولرمور، 1386)



تصویر 9: سه مثال از سازه هایی با کابل های دوتایی، مسیر بارها در کابل معلق (سمت چپ) و کامل تثبیت کننده (سمت راست) نشان می دهد.



تصویر 10: کابل معلق و کابل های تثبیت کننده در سطوح مختلف

سقف از پارچه دو لایه تشکیل شده است که جنس هر دو از فایبرگلاس با پوشش تفلون می باشند. لایه بیرونی با ضخامت 10/28 اینچ (7 میلی متر)، لایه سازه اصلی است، در حالی که لایه داخلی مانعی اکوستیکی فراهم کرده و یک لایه هوا برای جلوگیری از اتلاف انرژی ایجاد می کند. جزئیات حساس و بحرانی در این ساختمان اتصال بین سقف پارچه ای قابل انعطاف و دیوارهای صلب زیر آن میباشد. در بالای بانه های فروش بلیط یک پنجره مثلثی شیشه ای مربوط به بام وجود دارد که امکان دیدن آسمان را از کف سالن اصلی فراهم می نماید لبه بالایی پنجره بام به سقف پارچه ای متصل شده است. سطح بام به اندازه 3 اینچ (75 میلی متر) به وسیله لوله های پنوماتیک باز و بسته میشود و با حرکت سقف حرکت میکند. پارچه و کابل ها امتداد یافته و از روی دکل های (دیرک ها) فولادی با مقطع لوله ای عبور میکنند تا به سازه موجود ساختمان در هر انتها مهار شوند. این لنگرها در مقابل رانش داخلی که به وسیله فرم منحنی طنابی سقف پارچه ای ایجاد می شوند، مقاومت می نمایند دکل ها فقط تکیه گاه عمودی را تامین کرده و مانند اتصال مفصلی در تکیه گاه ها رفتار می کنند (فولرمور 1386).



تصویر 12: ترمینال فرودگاه بین المللی دنور، داخل سالن اصلی



تصویر 11: ترمینال فرودگاه بین المللی دنور، نمای خارجی

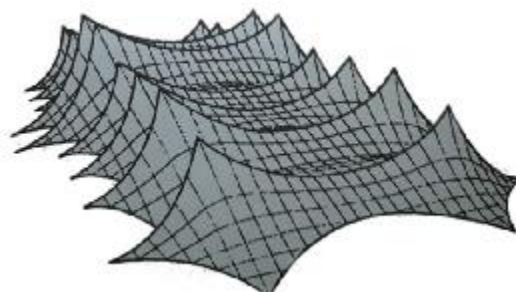
نوک چادرها را که شبیه قله های پوشیده از برف رشته کوه

راکی است، نشان می دهد



تصویر 14: ترمینال فرودگاه بین المللی دنور، مقطع از داخل سالن

اصلی، 5 طبقه پارکینگ در هر طرف وجود دارد



تصویر 13: ترمینال فرودگاه بین المللی دنور، شبکه دئودزیک

بام پارچه ای.

مطالعه موردی سازه چادری

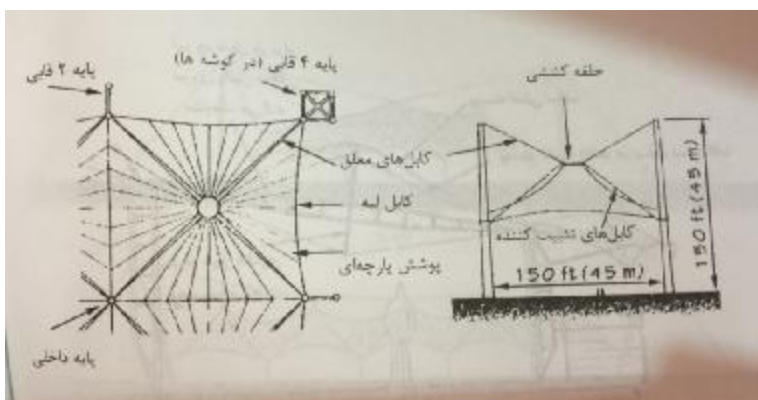
ترمینال حج، فرودگاه بین المللی سلطان عبدالعزیز

ترمینال حج (1982: جدّه، عربستان سعودی، مهندس معمار، اوئینگز، اسکیدمور و مریل، مهندس سازه، گایگربرگر و همکاران) به گنجایش 950 هزار زائرخانه خدا در سال 1985 طراحی شد. ظرفیت ترمینال در هر دوره 50 هزار مسافر برای یک دوره زمانی 18 ساعته در مدت زمان رسیدن مسافران و 80 هزار نفر برای دوره زمانی 36 ساعته در طی عزیمت آن ها می باشد. در طراحی ترمینال، معماران از سازه چادرهای سنتی چادر نشینان منطقه الهام گرفتند، همچنین این طرح، شهر موقت چادری برای هفته های زیارت در دره منا نزدیک مکه را تداعی می کند هنگام بازدید از منطقه، طراحان دریافتند که قبایل بدوی اموخته بودند که ماندن در زیر سایه یک چتر در گرمای شدید صحرا بر ماندن در یک ساختمان داغ و محصور ترجیح دارد. همچنین تأیید کردند که تهویه مکانیکی هوا و نورپردازی ساختمان مورد نیاز ترمینال با توجه به اوج استفاده در یک دوره کوتاه در طول سال بسیار گران قیمت خواهد بود. تمامی این عوامل آن ها را به استفاده از یک سقف پارچه ای که نیمه شفاف و پخش کننده نور در وز به اندازه کافی برای نور مورد نیاز ترمینال است، هدایت کرد. در شب به عنوان یک منعکس کننده برای نورهای بالا عمل می کند فرم و ارتفاع چادرها از جریان طبیعی هوا برای ایجاد سرما از طریق تهویه بیرون و درون از طریق بازشوهای مرکزی در تابستان بهره ده می برند (فولرمور، 1386)

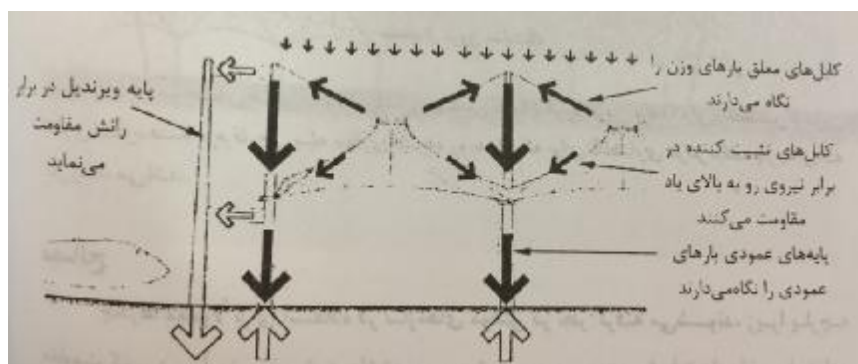


تصویر 15: ترمینال حج فرودگاه بین المللی سلطان عبدالعزیز، نمای خارجی، بخش بالایی چادرهای مخروطی روی کابل ها از چهاردیرک پیرامونی معلق هستند.

ترکیب چادرها سطحی بیش از $4/6$ میلیون فوت مربع (430 هزار مترمربع) را پوشش می دهد که بزرگتر از هر سقفی در دنیا است مدول اصلی یک پوسته چادری مربع شکل به ضلع 150 فوت ($39/4$ متر) است. 21 عدد از چنین چادرهایی یک مجموعه را تشکیل می دهند، دو ردیف از 5 گروه تقسیم شده به وسیله فضای سبز مخصوص پیاده وجود دارد (برای یک مجموعه 210 عددی چادرها) ساختمان های محصور و تهویه شده در ورودی زیر چادرها در طول لبه بیرونی واحدهای ترمینال موازی با محل توقف هواپیما قرار گرفته اند . (فولرمور، 1386)



تصویر 16: ترمینال حج و نمونه (الف) پلان و (ب) مقطع.



تصویر 17: ترمینال حج، نمودار مسیر بارگذاری روی دو مدول قاب های چهارستونی و دو ستونی در طول لبه کناری در برابر رانش های داخلی چادرها مقاومت می نمایند، دیرک های داخلی منفرد هستند زیرا رانش های داخلی به وسیله چادرها در تمامی جهات متعادل شده اند.

هرمدول متشکل از یک چادر نیمه مخروطی می باشد که در مرکز یک حلقه کششی فولادی به قطر 13 فوت (3/96 متر) متصل می گردد و در اطراف به کابل های پیرامونی مهار شده و در چهار گوشه به نیمه ارتفاع ستون های نگهدارنده سازه متصل می شود. حلقه کششی مرکزی به وسیله کابل های مضاعف به بالای هر یک از ستون های تکیه گاهی اویزان شده اند. پوسته فایبرگلاس با پوشش تفلون برای عمر مفید 20 ساله در نظر گرفته شده است. پوسته به وسیله 32 عدد کابل فولادی که به صورت شعاعی از حلقه کششی به کابل های پیرامونی کشیده شده اند مسلح گردیده است. این کابل ها نیروی کششی اصلی را انتقال می دهند در حالی که پوسته فاصله بین کابل ها را می پوشاند در حالت کشش این مجموعه به صورت یک فرم زین اسبی نیمه مخروطی با انحنای مضاعف دیده می شود که در برابر نیروی باد نیز مقاومت میکند ستون های تکیه گاهی (یا تیرها اصلی) از لوله های فولادی مدور به ارتفاع 150 فوت (46 متر) و قطری برابر 7/4 فوت (2/5 متر) در پایه



کنفرانس ملی معماری و شهرسازی معاصر ایران

29 آبان ماه 1398 - دانشگاه شهید چمران اهواز

و 3/3 فوت (1 متر) در بالا تشکیل شده اند. ستون های داخلی در چهار گوشه کناری، چادرها را نگاه می دارند نیروهای رانش داخلی ایجاد شده درون ستون ها باعث تعادل در آن ها می شوند فقط بار جانبی وارده روی این پوسته طره ای، بار ناشی از نیروی باد است. در لبه مجموعه چادرها جایی که هیچ گونه چادر دیگری وجود ندارد برای ایجاد تعادل نیروهای رانشی داخلی در پایه چادر (در میانه ارتفاع) و حلقه فشاری نگاهدارنده کابل ها (در بالا) ستون به شکل مضاعف شده است و به وسیله پانل های برشی برای ایجاد یک قاب و برنیدیل دو بعدی جهت مقاومت در برابر نیروهای جانبی غیر متعادل به هم متصل شده اند. در گوشه های مجموعه چادرها، این بارهای رانشی در دو جهت اتفاق می افتند، چهار ستون برای ایجاد یک قاب سه بعدی به هم متصل شده اند (فولر مور، 1386)

مقایسه ترمینال فرودگاه بین المللی دنور (سازه کابلی) با ترمینال حج، فرودگاه بین المللی سلطان عبدالعزیز (سازه چادری)

در ترمینال فرودگاه بین المللی دنور از کابل های مضاعف برای سقف استفاده شده که بزرگترین سازه کششی سقف و بزرگترین فضای یکپارچه در جهان است. سقف ترمینال حج نیز با ترکیب چادرها سطحی بیش از 430 هزار متر مربع یکی از بزرگترین سقف ها در دنیای باشد. سقف در هر دو ترمینال از پارچه جنس فایبرگلاس با پوشش تفلون استفاده شده که عمر مفید آن 20 سال است. اما ترمینال دنور از 2 لایه پارچه برای سقف استفاده کرده که لایه داخلی مانعی اکوستیکی را فراهم می سازد و یک لایه هوا برای جلوگیری از اتلاف انرژی ایجاد میکند. ولی در ترمینال حج برای جلوگیری انرژی، تهویه مکانیکی هوا و نور پردازی ساختمان را با استفاده از یک سقف پارچه ای که نیمه شفاف و پخش کننده نور در روزبه اندازه کافی برای نور مورد نظر ترمینال است هدایت کرده و به عنوان یک منعکس کننده برای نور های بالا عمل میکند فرم و ارتفاع چادر ها از جریان طبیعی هوا برای ایجاد سرما از طریق تهویه بیرون و درون از طریق بازشوهای مرکزی در تابستان بهره می برند. و از پارچه به دلیل سبکی سرعت ساخت و زیبایی آن انتخاب شده.



کنفرانس ملی معماری و شهرسازی معاصر ایران

29 آبان ماه 1398 - دانشگاه شهید چمران اهواز

مقایسه سازه ها

1- نیاز های عملکردی معماری

هر طرح معماری بر اساس فراهم آوردن فضای مناسب برای انجام مجموعه ای از فعالیت ها شکل میگیرد. سیستم ساختمانی که برای هر طرح پیشنهاد می شود باید برای تحقق طرح به کار گرفته شود (گلابچی، مظهریان، 1386).

سازه های چادری	سازه های کابلی	
*	*	تامین فضای معماری مطلوب و مناسب برای انجام فعالیت های مورد نظر
*	*	انعطاف پذیری برای ایجاد فضای مناسب به شکل های مختلف در زمان مورد نیاز
*		امکان برچیدن و نصب مجدد
*		امکان توسعه و گسترش
*	----	مقاومت در برابر حریق
		مقاومت در برابر انتقال صوت
*	*	امکان استفاده حداکثر از زمین طرح و فضای معماری
*	*	امکان بهره گیری از نور طبیعی
*	----	برخورداری از تهویه طبیعی
*	*	امکان طراحی داخلی به نحو مطلوب



2- الزامات سازه ای

سیستم ساختمانی مورد نظر باید در برابر بارهای قائم و افقی وارد بر ساختمان مقاومت کرده و براساس عملکرد و درجه اهمیت ساختمان در برابر انواع بار های وارده احتمالی پایدار بماند یا کمترین آسیب را ببیند تا مانع از ادامه عملکرد ساختمان نشود (گلابچی، مظہریان، 1386).

سازه های کابلی	سازه های چادری	
----	*	مقاومت در برابر نیروهای ثقلی و بارهای جانبی
*	*	اطمینان از میزان باربری و دوام سازه برای عمر مفید مورد نظر
----	*	محدودیت تغییر شکل های سازه
*	*	کنترل درجات نامعیتی سازه
----	*	مقاومت در برابر نیروهای دینامیکی

3- معیار های زیبا شناسی

اولین ساختمان های ساخته شده توسط بشر تنها برای ایجاد یک سرپناه شکل گرفتند و از سازه آنها تنها انتظار میرفت که بار های ناشی از وزن یا نهایتاً بار برف را تحمل کنند اما امروزه با شکل گیری فعالیت های فرهنگی ورزشی تفریحی و ... در زندگی بشر فضاهایی مانند موزه ها سالن های اجتماعات ورزشگاه ها و ... ضرورت میابند که بسته به عملکرد و اهمیتشان باید زیبا چشم گیر دعوت کننده و هماهنگ با معماری بومی باشند (گلابچی، مظہریان، 1386). در سازه های کابلی زیبایی سازه های کششی به علت تناسب عملکردی و زیبایی شناسانه آنهاست. توجه مستقیم به زیبایی شناسی سیستم های کابلی مانند محاسبات سازه ای ضروری است. بخش زیبای سیستم های کابلی در تجسم مستقیم خطوط نیرو در داخل کابل هاست انرژی که به طور مستقیم با کابل ها مجسم می شود هنگامی که کابل ها همگرا و واگرا می شوند مشابه چیزی است که در ادوات موسیقی سیم دار مانند ویولون هم دیده میشود همگرایی این خطوط به سوی دسته کابل ها و توزیع انرژی در آن در سطوح ضمنی علاقه را در این نوع سازه به ارمغان می آورد و در مورد سازه های چادری میتوان گفت سازه



های پارچه ای ارائه کننده اشکال منحنی و بسیار زیبا در فضا هستند این سازه ها با اشکال نامعلوم و داشتن انحنا در دنیایی که خطوط مستقیم و شکل های مستطیلی در ساختمان ها مرسوم اند شور و هیجان خاصی به فضا می بخشد.

4- نیاز ها و محدودیت های اجرایی و ساخت

نیاز های اجرایی و ساخت به طور عمده شامل مسائل اقتصادی است که بر پروژه تحمیل میشود و به صورت محدودیت زمان اجرا هزینه ساخت و دسترسی به مصالح و فناوری مورد توجه قرار میگیرد شایان ذکر است که که نیازهای اجرایی پروژه در برخی موارد رابطه ای نزدیک با نیازهای دوران بهره برداری دارد در برخی سیستم های ساختمانی هزینه اجرا هر متر مربع ساختمان بسیار کمتر از هزینه اجرای یک متر مربع پروژه با استفاده از سیستم های دیگر است اما هزینه های نگهداری آن در طی دوران بهره برداری به مراتب بیشتر از هزینه نگهداری سایر سیستم هاست (گلابچی، مظہریان، 1386).

سازه های چادری	سازه های کابلی	
*	*	هزینه مصالح
*	*	هزینه نیروی انسانی ماهر
*	*	هزینه ماشین آلات
*	*	صرفهجویی در بهره گیری از منابع
*	*	مدت زمان ساخت
*	*	دسترسی به فناوری ساخت

5- نیاز های دوران بهره برداری

میزان پاسخ گویی یک سیستم ساختمانی به نیاز های دوران بهره برداری یک پروژه یکی از مهمترین معیار ها در مرحله مقایسه و ارزیابی سیستم های ساختمانی مختلف به شمار میرود در هر پروژه باید این نیازها در طول مدت زمان بهره برداری بر حسب عملکرد آن به دقت شناسایی شده و امکان پاسخ گویی سیستم مورد نظر به آنها ارزیابی شود و در صورت لزوم تمهیدات لازم برای پاسخ گویی به این نیازها پیش بینی شود (گلابچی، مظہریان، 1386).



کنفرانس ملی معماری و شهرسازی معاصر ایران

29 آبان ماه 1398 - دانشگاه شهید چمران اهواز

سازه های کابلی	سازه های چادری	
*		انعطاف پذیری
*	*	دوام
*	*	هزینه های نگهداری سازه
*	*	هزینه ناشی از مصرف انرژی در دوران بهره‌برداری

ارزیابی این فناوری ها

برای ارزیابی مقایسه و انتخاب یک فناوری ساختمانی باید مجموعه گسترده ای از معیارها الزامات و محدودیت ها مورد توجه قرارگیرد و در ابعاد گوناگون شامل معماری سازه تاسیسات و نیز از دیدگاه شرایط محیطی ایمنی روش اجرا تامین شرایط معماری پایدار و معماری سبز تحقق اهداف و خواسته های بیان شده بررسی شود (گلابچی، مظہریان، 1386).

سازه های کابلی	سازه های چادری	
*	*	طرح معماری
----	*	پایداری سیستم سازه ای
*		مطلوبیت بصری و انعطاف پذیری
*	*	زمان و هزینه ساخت
*	*	مصالح و اجرای ساختمان
----	----	روش اجرا
*	*	تحقق معیار های معماری پایدار
*	*	امکان تحقق تولید صنعتی

متناسب بودن فناوری مورد نظر از نظر معماری

سازه های کابلی	سازه های چادری	
----	*	میزان اختیار در انتخاب شکل فضاها



کنفرانس ملی معماری و شهرسازی معاصر ایران

29 آبان ماه 1398 - دانشگاه شهید چمران اهواز

*		امکان ایجاد معماری متناسب با محیط
*	----	میزان هماهنگی با طراحی مدولار
*	----	عدم محدودیت در انتخاب ارتفاع فضاها
*	----	تنوع در شکل سقف
	*	عدم محدودیت در انتخاب ارتفاع فضاها
*	*	سازگاری با شرایط اقلیمی
*	----	انعطاف پذیری در طراحی فضاهای متنوع
*	*	قابلیت های بصری - حجمی نمای تمام شده
*	----	انعطاف پذیری در طراحی فضای باز و نیمه باز
		نیاز به پوشش برای نما یا نازک کاری داخلی
*		تنوع در نما و پوشش بدنه های خارجی
		قابلیت پرداخت نهایی سطوح دیوار و نما شامل رنگ پذیری
*	*	امکان تلفیق با شیوه های متفاوت نما سازی
----	----	قابلیت اجرای پوشش نهایی بدون پرداخت اولیه

تامین انتظارات عملکردی محیطی

سازه های چادری	سازه های کابلی	
-----	----	محدودیت های حاصل از تامین شرایط اسایش
----	----	محدودیت های حاصل از تامین ضوابط در رابطه با صرفه جویی در مصرف انرژی
----	----	محدودیت های حاصل از تامین ضوابط مربوط به انتقال صدا
*	*	محدودیت های حاصل از تامین ضوابط مقاومت در برابر آتش
*	*	محدودیت های حاصل از تامین ضوابط در رابطه با درزبندی هوابندی و ...
*	*	محدودیت های مرتبط با شرایط جوی متفاوت
*		محدودیت های مرتبط با عوامل خورنده محیطی



کنفرانس ملی معماری و شهرسازی معاصر ایران

29 آبان ماه 1398 - دانشگاه شهید چمران اهواز

انطباق با مبانی معماری پایدار و مسائل زیست محیطی

سازه های چادری	سازه های کابلی	
----	*	همسازی مصالح اصلی با طبیعت
----	----	امکان بازگشت مصالح به طبیعت
	----	میزان مصرف انرژی در مراحل تولید و اجرا
----	----	میزان اطلاق مصالح در مراحل حمل و نقل و اجرا
	----	کیفیت استفاده از منابع طبیعی
----	----	قابلیت بازیافت کاربردی مصالح

تامین نیاز های اجرایی

سازه های چادری	سازه های کابلی	
*	*	وزن مصالح و سازه
*	*	قابلیت های مربوط به حمل و نقل
*	*	امکان مرحله بندی اجرا
*	*	عدم وابستگی اجرا به شرایط جوی
	*	امکان انجام عملیات اجرایی به صورت موازی
*	*	سرعت اجرای ساختمان
*	----	قابلیت توسعه
		میزان فراوری اجزا و قطعات مورد نیاز در محل اجرا
*	*	میزان نیاز به مصالح متعدد یا تجهیزات خاص برای اجرای اتصالات
		قابلیت ایجاد تغییر و بازبینی در مراحل اجرایی
		امکان تشخیص خطاهای طراحی و ساخت و اصلاح آن



کنفرانس ملی معماری و شهرسازی معاصر ایران

29 آبان ماه 1398 - دانشگاه شهید چمران اهواز

		قابلیت ایجاد تغییر در محل قرارگیری ساختمان
*	*	سهولت استفاده از اجزا و ملحقات پیش ساخته
*	*	سهولت ترمیم و نگهداری
*	*	هزینه اجرای ساختمان
*	*	طول عمر مفید زیاد
*	*	سهولت استفاده از ماشین آلات و ابزار مهندسی
		وضعیت نصب شبکه های تاسیسات
		سهولت دسترسی به اجرای سیستم پس از ساخت
*	*	امکان تامین نیروی انسانی مورد نیاز قابلیت ترویج و آموزش
*	*	وجود ضوابط و مقررات ساختمانی و آیین نامه های اجرایی ملی و بین المللی

نتیجه گیری

باتوجه به مباحث میتوان نتیجه گرفت:

میتوان برای پوشاندن دهانه های بزرگ از سازه های کابلی استفاده کرد زیرا مقاومت کششی زیاد فولاد همبرایی با کارایی کشش ساده باعث شده که کابل فولادی به عنوان یک عنصر سازه ای ایده ال به کار رود. اگر به دنبال سازه ای برای فضای وسیع و بدون ستون می گردید سازه های کابلی می تواند این امکان را به شما دهد که که از زیبایی بسیار نیز برخوردارند و میتوان برای ساخت پل ها با دهانه های بزرگ ازان استفاده کرد و از سازه های چادری برای استادیوم ها، سکوها، مراکز خرید، پیاده روها، سقف پارکینگ ها و ... همگی می توان از غشاهای ترکیبی و ساختارهای پارچه ای با زیرساختارهایی سبک در آزادی عمل فراوان طراحی شود. میتوانید با سازه های چادری غیرمنتظره ترین و جاه طلبانه ترین پروژه ها با استفاده از ویژگی سبکی و انحنایپذیری این مصالح بسازید. میتوان سازه های کابل ها را با سازه های دیگر ترکیب کرد سازه های کابلی همانند سازه های پوسته ای غشایی چادری و ... فرم پذیر نیستند و امکان ساخت سازه های با فرم های خاص را به شما نمی دهند نمیتوان از این سازه برای ساخت فرم های خاص استفاده کرد. در مورد سازه کابلی، پیشنهاد میشود در مناطق زلزله خیز از



این سازه استفاده نشود زیرا درمقابل زلزله ناپایدار هستند ولی سازه های چادری درمقابل زلزله ایمن و مقاوم هستند و درمقابل آتش سوزی مقاومت دارند. میتوان از این سازه در مناطق زلزله خیز استفاده شود

فهرست منابع

- {1} امیدى نس ، ف، دهقانى، م، موسوى، س، (1393) ((بررسی نحوه عملکرد سازه های کابلی))، دومین همایش ملی معماری عمران و محیط زیست شهری، همدان دانشکده شهید مفتح.
- {2} سالوادوری، ماریو، (1391) سازه در معماری، محمود گلابچی، 2274، چاپ دوازدهم، انتشارات دانشگاه تهران.
- {3} گلابچی، محمود، مظاهریان، حامد (1396)، فناوری های نوین ساختمانی، 3044، چاپ دهم، انتشارات دانشگاه تهران.
- {4} مور، فولر (1386) درک رفتار سازه ها، محمود گلابچی، 2502، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران.