دانشگاه سمنان
دانشکده هنر - گروه معماری

سیستم های ساختمانی

سازه های کابلی

دکتر سعید مقیمی

نیمسال اول سال تحصیلی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

سیستم های کششی

سازه های کابلی

سازه های چادری

سازه های هوا فشره

قوس ها

طاق ها

معرفی کابل

کابل ها عناصر کششی در ساختمان محسوب می شوند.مقاومت کششی زیاد فولاد باعث می شود که کابل فولادی به عنوان یک عنصر سازه ای ایده آل برای پوشاندن دهانه های بزرگ بکار رود.

کابل ها انعطاف پذیرند زیرا قطر آن ها در مقابل طولشان خیلی کوچک است و این انعطاف پذیری نمایانگر مقاومت خمشی محدود آنها می باشد.

سیم های فلزی،رشته ها و میله های باریک مثال هایی از اعضای کششی هستند که رفتاری مانند کابل ها دارند.کابل ها از فلزاتی مثل فولاد ،نیکل و.. ساخته می شوند.

قسمت های مختلف کابل:

۱- کابل (رشته های در هم تافته)

۲- عناصر صلب (میله)

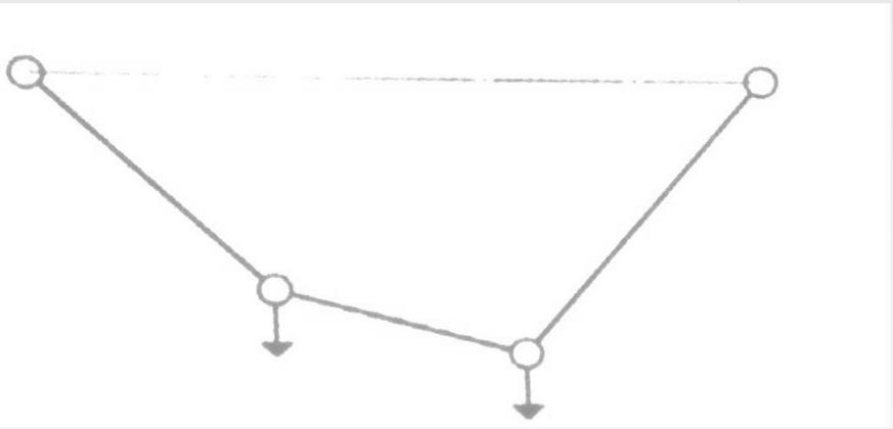
مرکز فرودگاهی مونیخ: (معمار: مرفی/یان)

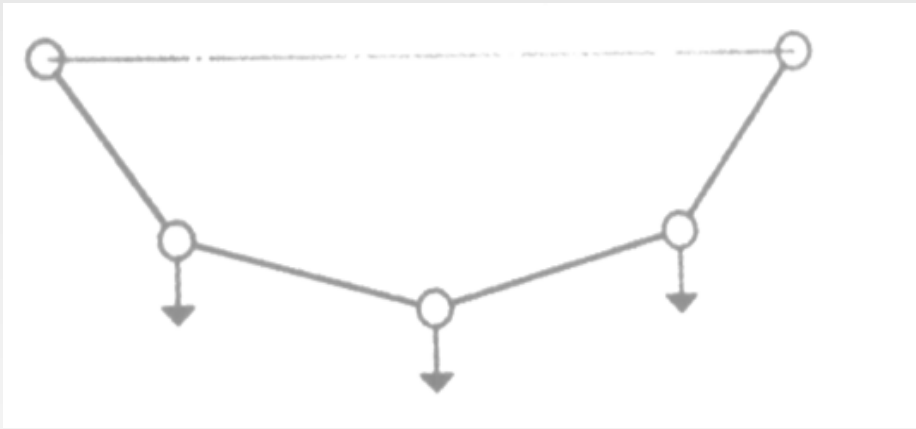
ورق تکیه گاهی اتصال کابل به شالوده

مکانیزم تحمل بار

چون کابل استحکام کششی بالایی دارد اما در برابر فشار یا خمش مقاومت نمی کند فقط باید در شرایط بارگذاری کششی محض از آن استفاده کرد.

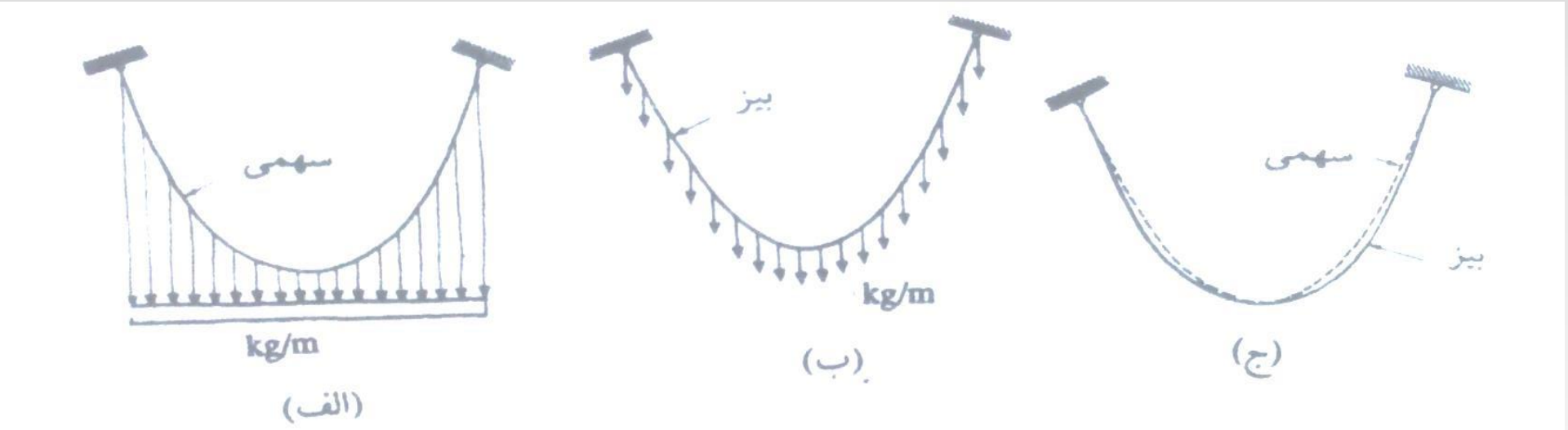
شکل کابل در معرض بارهای متمرکز به صورت پاره خط های مستقیم در می آید.





منبع: فرانسیس دی.کی.چینگ ،۱۳۸۸

تحت بار گسترده ی یک نواخت کابل شکل قوس وارونه را پیدا می کند



- منظور از شکم دادگی فاصله ی عمودی از تکیه گاه ها تا پایین ترین نقطه ی سازه ی کابل است.
- سازه ی کابل معمولا نسبت های شکم دادگی – دهانه ای بین ۱:۸ و ۱:۱۰ دارد.

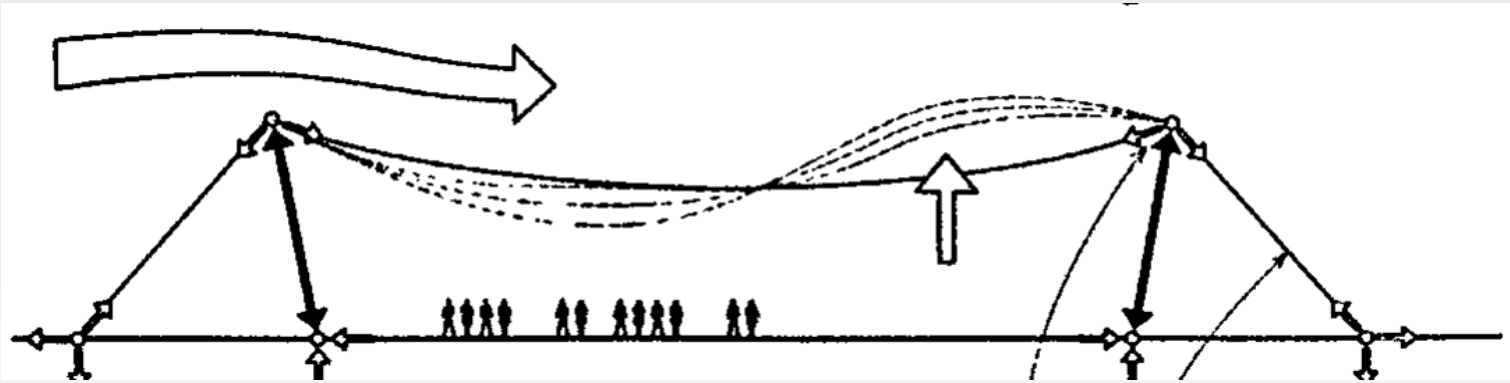
مزایای استفاده از کابل

منبع:محمود گلابچی ،۱۳۹۱

- رفتار خالص کششی ، سبکی و ظرافت و جذابیت دیداری از جمله برجسته ترین ویژگی هایی است که معماران برای سازه ای کابلی برشمرده اند.
- عناصری ایده آل برای پوشش دهانه های زیاد هستند.
- انعطاف پذیری بالا در برابر نیروهای وارده دارند.
- امکان ترکیب با مصالح و سیستم های مختلف را دارا می باشند.
- امکان ایجاد فضاهای وسیع بدون ستون را می دهند.

معایب استفاده از کابل

- یکی از ضعف های سازه های کابلی لرزش و ارتعاش آنها در اثر وزش باد و زلزله است.
- امکان ساخت سازه هایی با فرم های خاص را ندارند.



منبع: فرانسیس دی.کی.چینگ ،۱۳۸۸

نکات مورد توجه در طراحی

- از آنجا که **سازه های کابلی اغلب به صورت نمایان طراحی می شوند** ، طراحی جزئیاتی که نمایانگر مسیر انتقال نیرو هستند باید به خوبی صورت گیرد.

- از آنجا که کابل عنصری انعطاف پذیر است وامکان حرکت و دوران آن حول تکیه گاهش وجود دارد طراحی جزئیات باید به گونه ای انجام گیرد که **هم آزادی عمل ذاتی کابل از آن گرفته نشود** و هم **نیروها را به نحوی مطمئن به تکیه گاه منتقل کند.**

- به دلیل آزادی حرکت و ارتعاش احتمالی عناصر کابلی در طراحی جزییات اتصالات این عناصر مسایلی همچون ساییدگی ، خوردگی و لهیدگی احتمالی قطعات اتصالی نیز باید مورد توجه قرار گیرد بنابراین دلایل **فولاد پرآلیاژ ریخته گری شده گزینه ی مناسبی برای ساخت قطعات اتصالی** است.

منبع:محمود گلابچی ،۱۳۹۱

- نمایان و در معرض دسترس بودن عناصر سازه ای فلزی که اغلب دارای لبه های تیز و برنده هستند **<u>می تواند سبب آسیب دیدگی شود به همین دلیل در طراحی این عناصر باید دقت نمود</u>**.

- در بناهایی که از مصالح گوناگون با ویژگی های مختلف استفاده می شود باید هماهنگی مناسب بین سازه کابلی و آن مصالح برقرار شود.

ورزشگاه برمن :(معمار: رولند راینه)

هماهنگی بین غلاف های بتنی روکش کابل های نگه دارنده ی سقف و دکل های بتنی

منبع:محمود گلابچی ،۱۳۹۱

انواع کابل های معلق

سازه های کابل های معلق به سه دسته تقسیم می شوند:

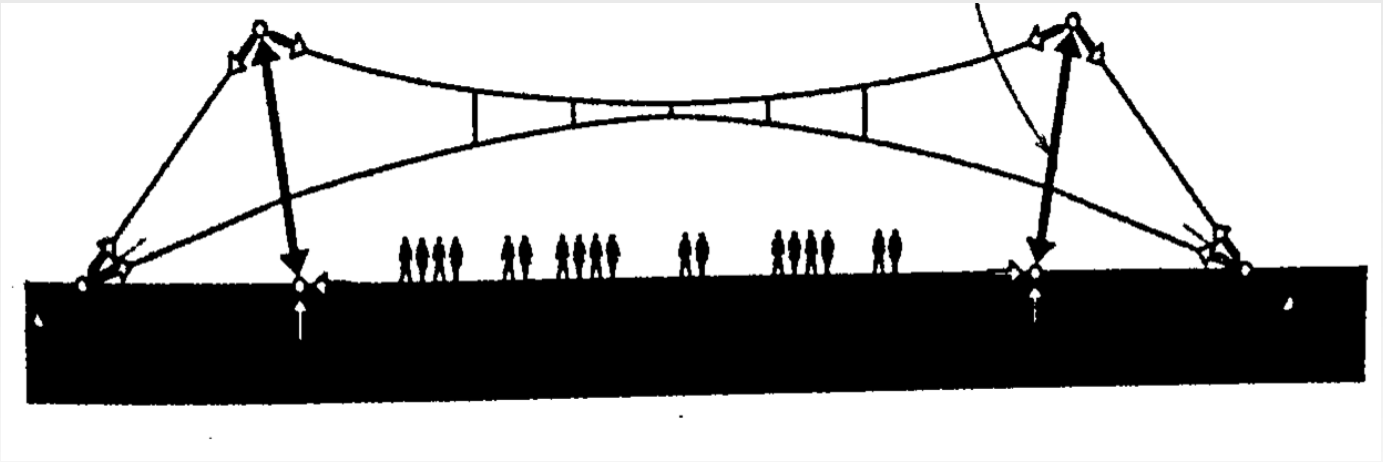
۱-سازه هایی با کابل مضاعف

۲- سازه های تک انحنایی

۳- سازه های دو انحنایی

❑ سازه هایی با کابل مضاعف:

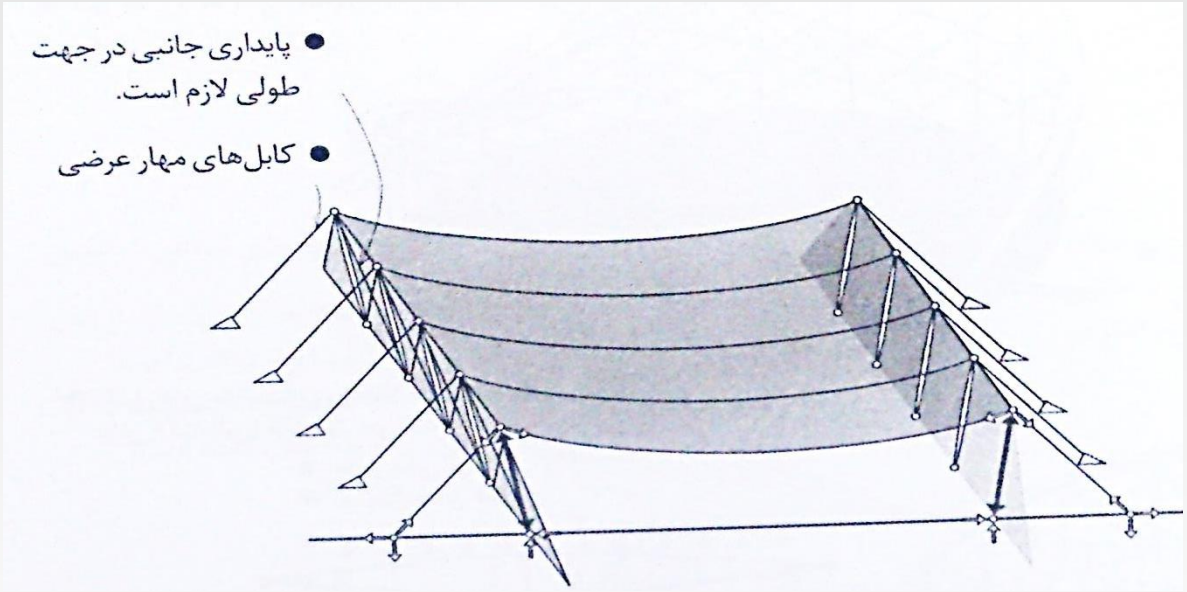
این سازه از مجموعه کابل های بالایی و پایینی با انحناهای مختلف تشکیل و توسط عضوهای کششی یا ستونک های فشاری پیش تنیده می شوند تا سیستم صلب تر و در برابر لرزش مقاوم تر شود.



منبع: فرانسیس دی.کی.چینگ ،۱۳۸۸

❑ سازه های تک انحنایی:

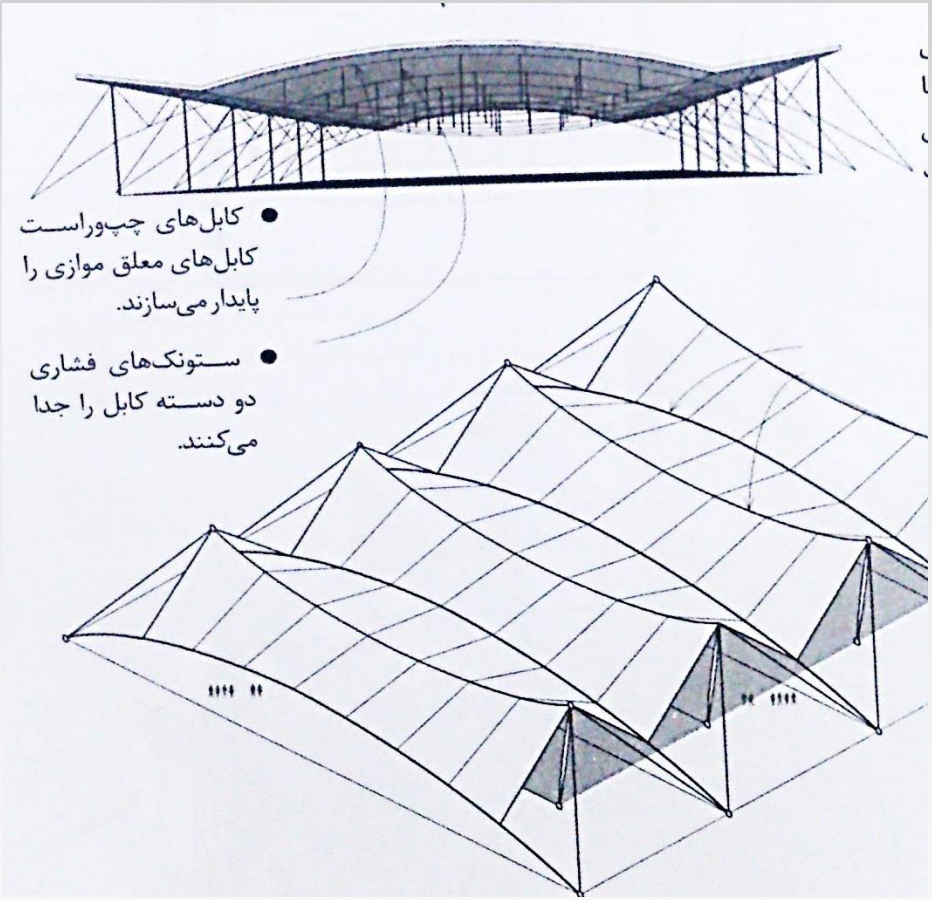
در این سازه از یک رشته کابل موازی به عنوان تکیه گاه صفحه ها یا تیرهای سطح ساز استفاده می شود.این سازه ها در معرض لرزش ناشی از آثار آئیرودینامیکی باد قرار دارند. با افزایش بار ثابت وارد بر سازه و مهار کردن کابل های اصلی به زمین با استفاده از کابل های مهار عرضی می توان این نقطه ضعف را برطرف کرد.



منبع: فرانسیس دی.کی.چینگ ،۱۳۸۸

❑ سازه های دو انحنایی:

این سازه از مجموعه ای از کابل های متقاطع با انحناهای متفاوت و غالبا معکوس تشکیل می شود. یک دسته از این کابل ها(با انحنای رو به پایین) با نیروی برکنش ناشی از باد مقابله می کنند و دسته دیگرکه انحنای معکوس دارند در برابر بارهای وزنی واردشده از بالا مقاومت می کنند.



منبع: فرانسیس دی.کی.چینگ ،۱۳۸۸

سقف های کابلی

- کابل های سازه ای ساخته شده از فولاد پر استحکام را می توان کشید ، ضربدری کرد و با مصالح پوشش سطح ترکیب کرد تا بتوان سازه های بام نسبتا سبک وزن و دهانه بلند ساخت .

انواع سقف های کابلی

منبع:فولر مور ، ۱۳۹۲

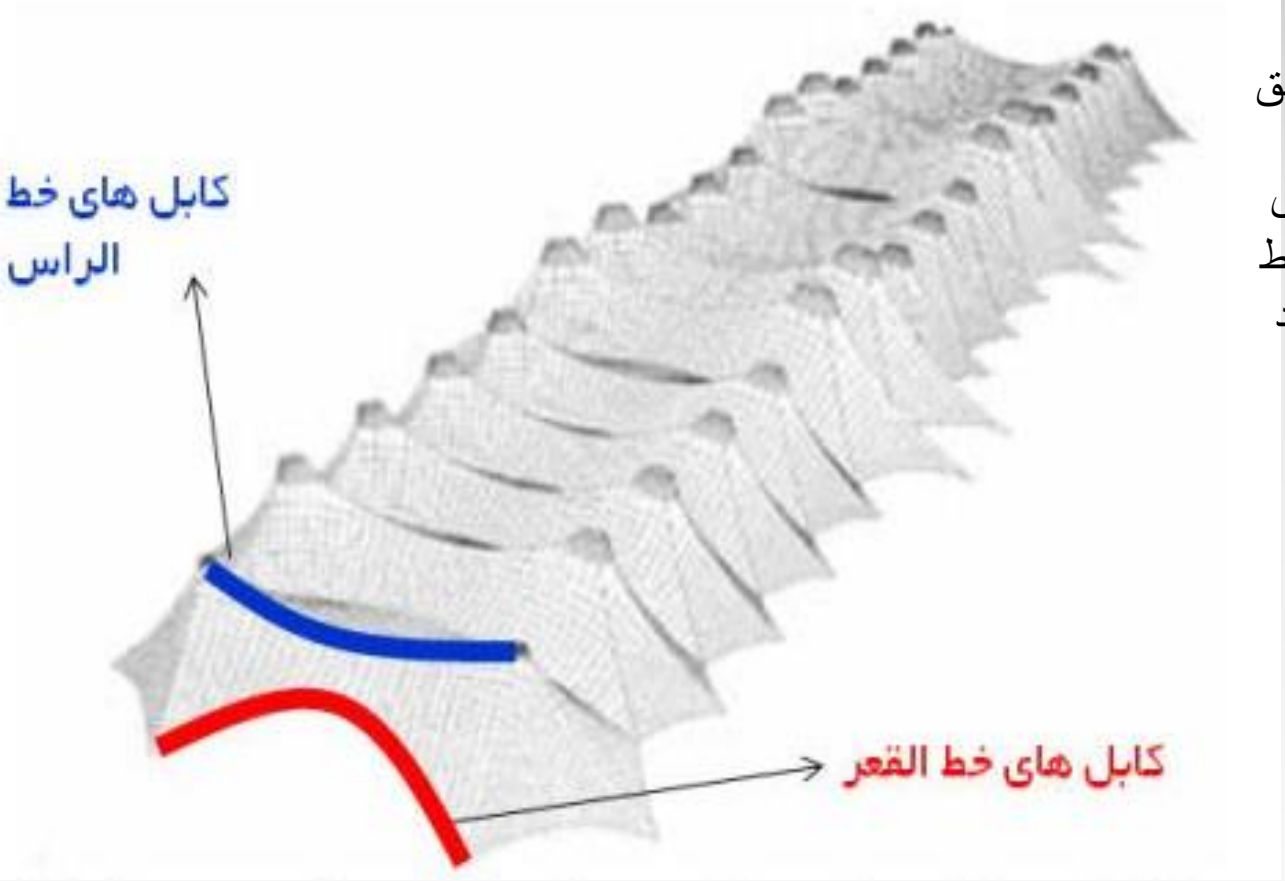
سازه با کابل مضاعف

۱- فرودگاه بین المللی دنور: (معمار:فتترس بربرن)

- سقف ترمینال این فرودگاه بزرگترین سازه کششی و بزرگترین فضای یکپارچه در جهان است.
- سقف پارچه ای است به علت سرعت، سبکی و زیبای
- ۳۴ستون فولادی به ارتفاع ۴۵ متر و فاصله ی ۱۸/۳ متر از یکدیگر قرار گرفته اند.
- دهانه سالن ۶۳ متر می باشد.

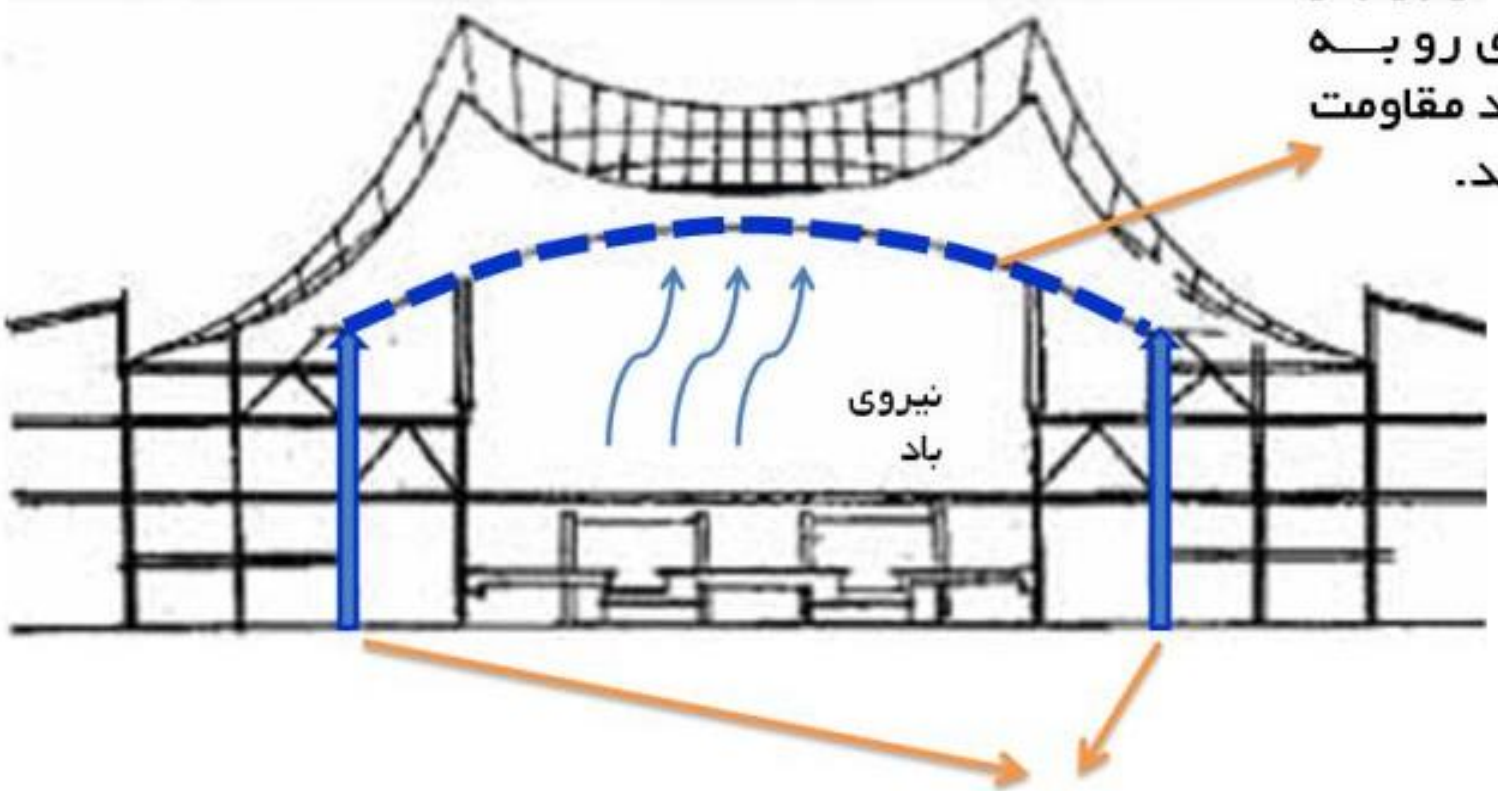
سقف های کابلی

- کابل های خط الراس معلق بار های ناشی از وزن ساختمان و برف را تحمل می نمایند و کابل های خط القعر در برابر نیروی باد مقاومت می کنند.



منبع:فولر مور ، ۱۳۹۲

کابل های خط القعر در برابر نیروی رو به بالای باد مقاومت می کنند.

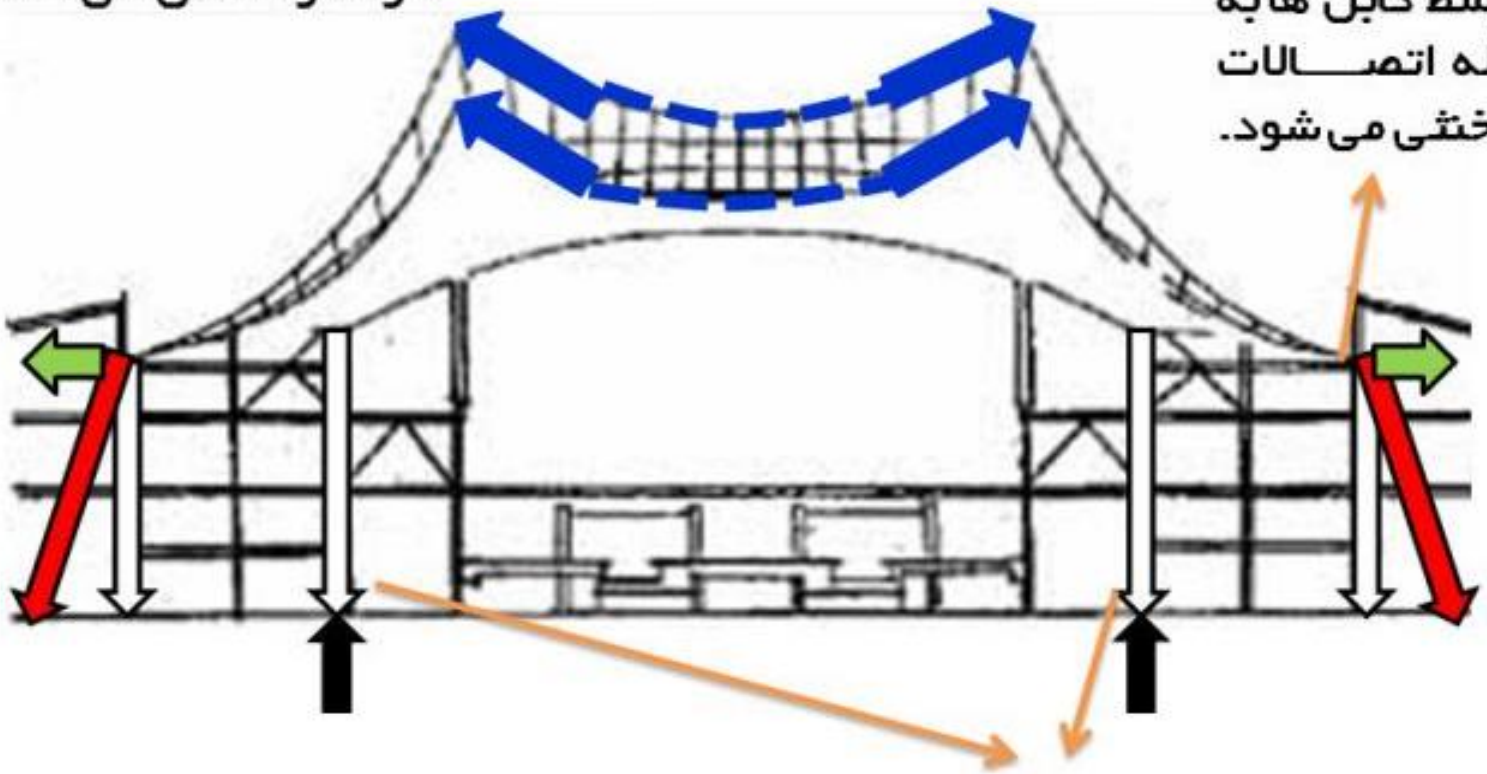


ستون ها در برابر نیروی رو به بالای باد به صورت کششی عمل می کنند.

منبع:فولر مور ، ۱۳۹۲

سطح بام بوسیله کابل های زنجیرواره معلق بار مرده را تحمل می کند.

رانش داخلی ایجاد شده توسط کابل ها به وسیله اتصالات حجیمی خنثی می شود.



ستون ها بار عمودی را به صورت فشاری به زمین انتقال داده و در برابر زلزله مقاومت می کنند.

منبع:فولر مور ، ۱۳۹۲

سازه هایی با انحنای یگانه

۱- سقف با بهره گیری از ایده ی پل معلق:

کارخانه کاغذ سازی بورگو (Burgo paper mill) : (معمار: نروی و کور)

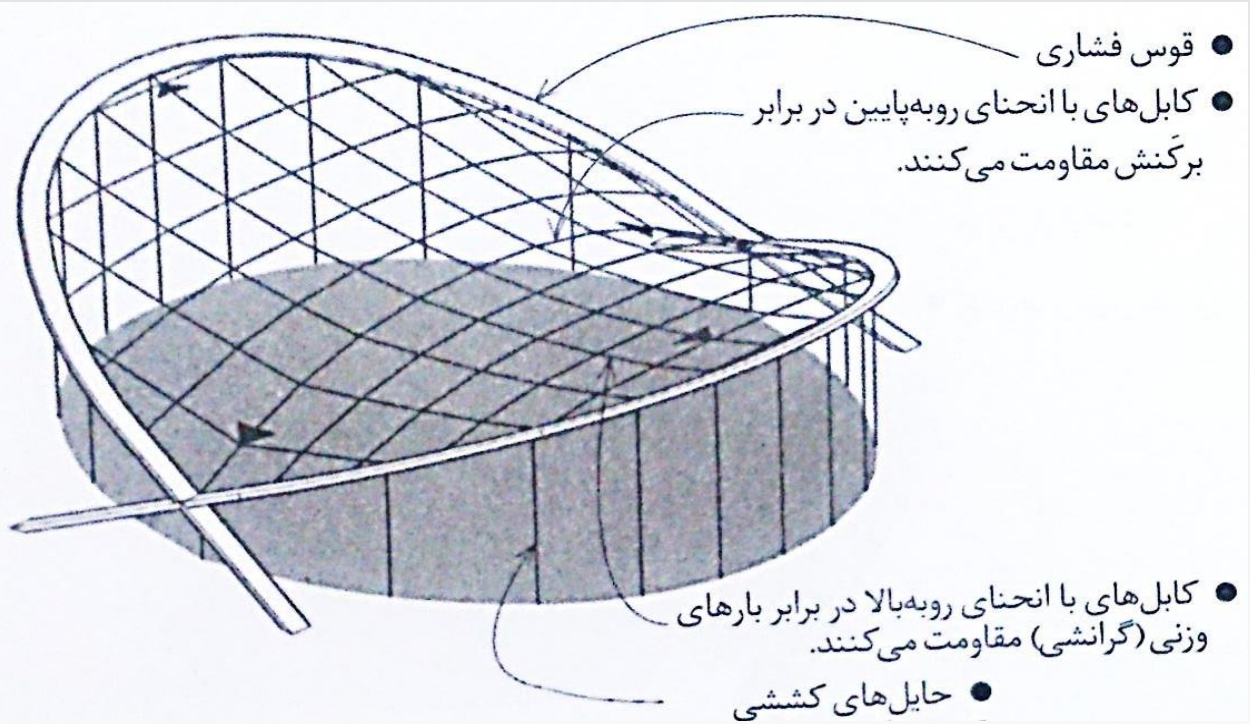
- ۴ ستون بتنی به ارتفاع ۵۰ متر تمام سازه را نگه داشته است.
- عرض سازه ۳۰ متر و طول آن ۲۵۰ متر می باشد.
- سطحی برابر ۹۳۰مترمربع بدون تکیه گاه میانی به طور اقتصادی پوشانده شده.
- سقف بتنی افقی نسبتا سنگین مانند خرپای تقویت کننده عمل می کند و به وسیله وزنش سبب پایداری کابل ها می گردد.

منبع: ماریو سالوادوری، ۱۳۹۳

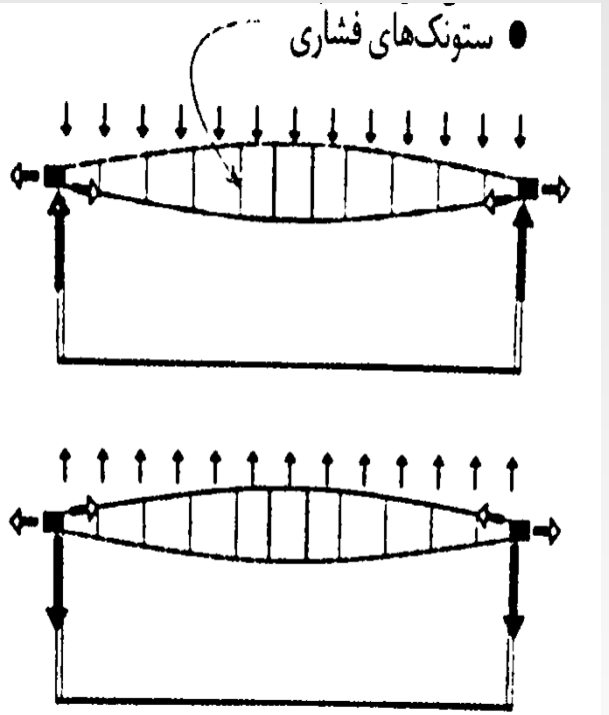
شکل ۱۱-۶ سقف با بهره‌گیری از ایدهٔ پل معلق

- **سازه با انحنای دوگانه**

۱-سقف کابلی با شکل زین اسبی:

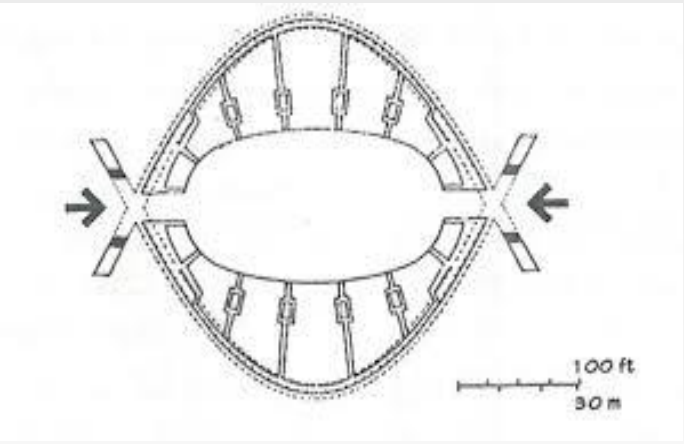


منبع: ماریو سالوادوری، ۱۳۹۳



زمین ورزشی رالی (Raleight Arena) در کارولینای شمالی: (معمار: نویکی)

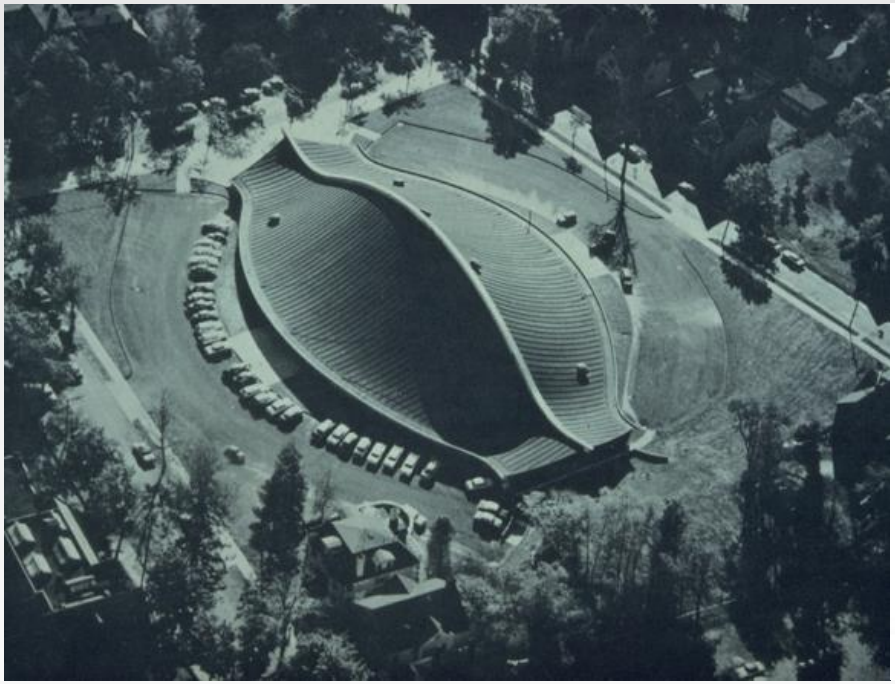
- سقف زین اسبی برای فضایی سرپوشیده به ظرفیت ۵۵۰۰ نفر
- ورود حداکثر نور به داخل سالن

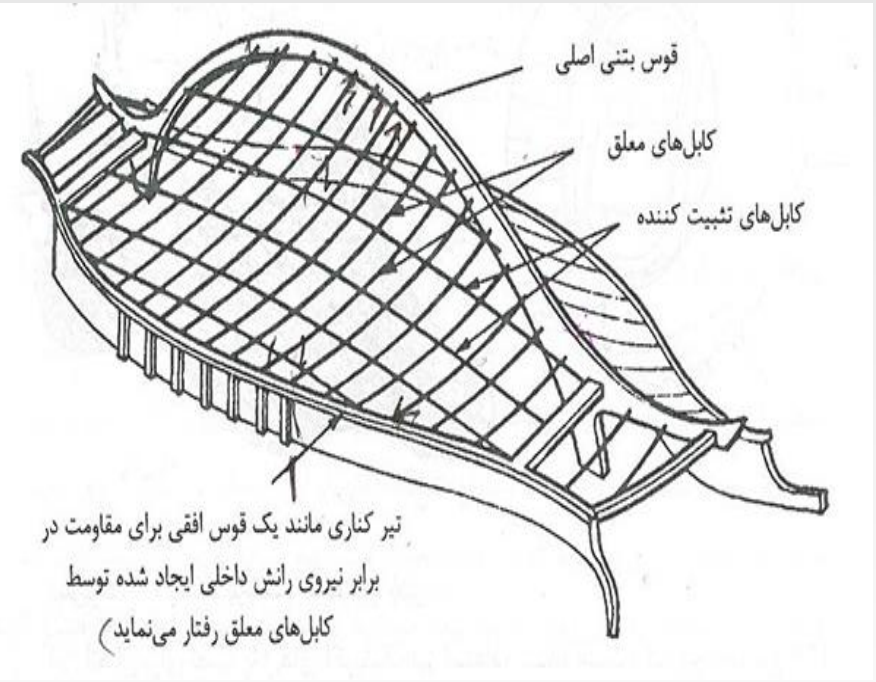


منبع: ماریو سالوادوری، ۱۳۹۳

۲- سقف کابلی با عنصر میانی قوسی شکل:

زمین بازی هاکی دانشگاه ییل(YALEHOCKEY RINK) : (معمار سارنین)

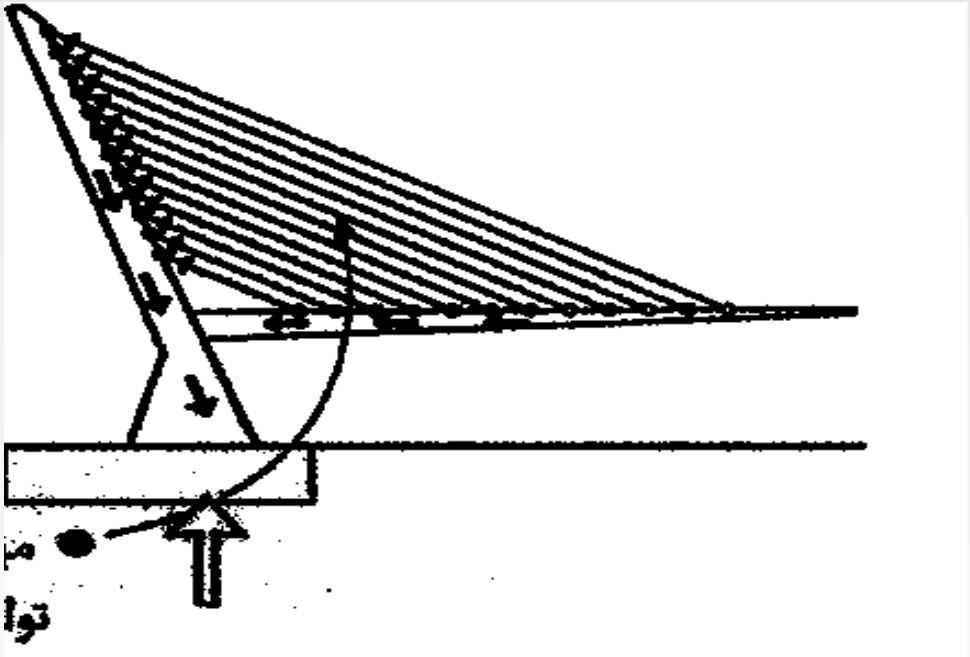




منبع: ماریو سالوادوری، ۱۳۹۳

سازه های مهار شده با کابل

- سازه های مهار شده با کابل از برج ها یا دکل هایی تشکیل شده اند که کابل هایی به آنها متصل می شوند تا تکیه گاه عضو های دهانه بند افقی باشند.این کابل ها نه تنها باید ظرفیت کافی برای حمل بار ثابت سازه را داشته باشند بلکه باید بتوانند ظرفیت ذخیره ی کافی برای حمل بار متحرک را نیز داشته باشند .



منبع: فرانسیس دی.کی.چینگ، ۱۳۸۸

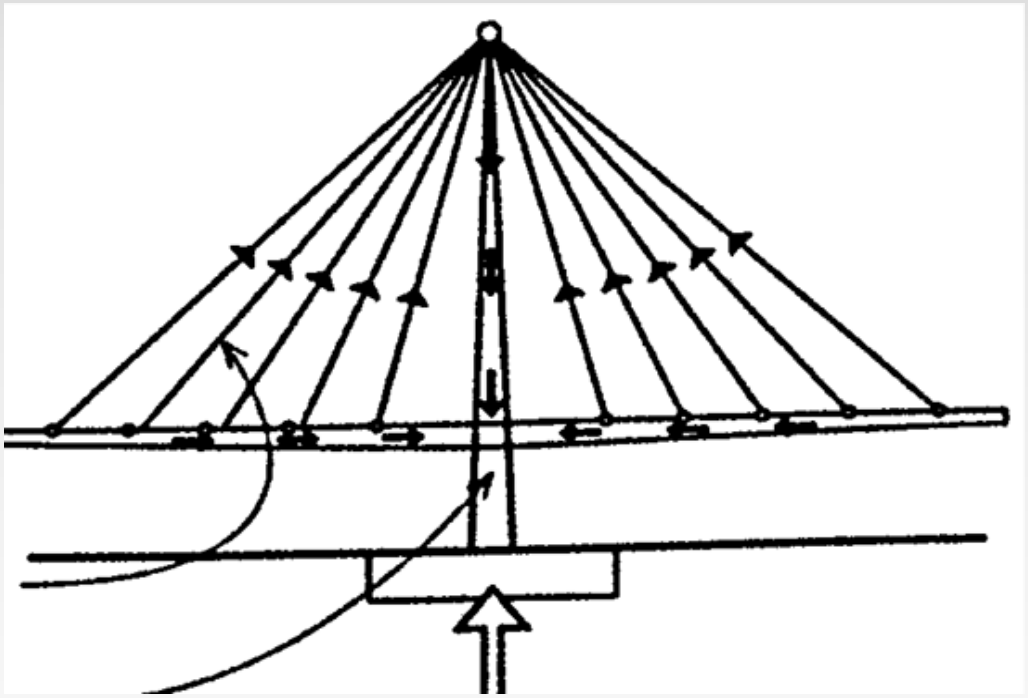
دو پیکر بندی کابلی اصلی وجود دارد

سیستم های موازی یا چنگی:

- سرهای بالایی مهارهای کابلی در تراز های مختلف به دکل متصل می شوند.
- مهارهای کابلی را از فولاد پراستحکام تولید می کنند.

۱- الگوهای شعاعی یا بادبزنی:

- مهارهای کابلی به تعداد مساوی و به صورت متقارن در دو طرف
- سرهای بالایی مهارهای کابلی به نقطه ای واحد در بالای دکل متصل می شوند.
- مولفه ی نیروی افقی کابل های مایل یکدیگر را خنثی کرده و لنگر در بالای دکل به حداقل می رسد.
- دکل ها را میتوان از بتن مسلح یا فولاد ساخت.
- ارتفاع دکل معمولا ۱/۶ تا ۱/۵ طول دهانه است.

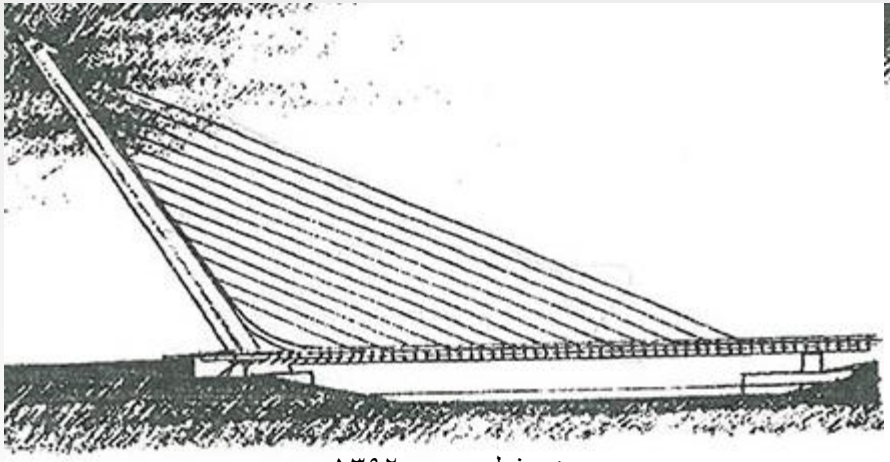


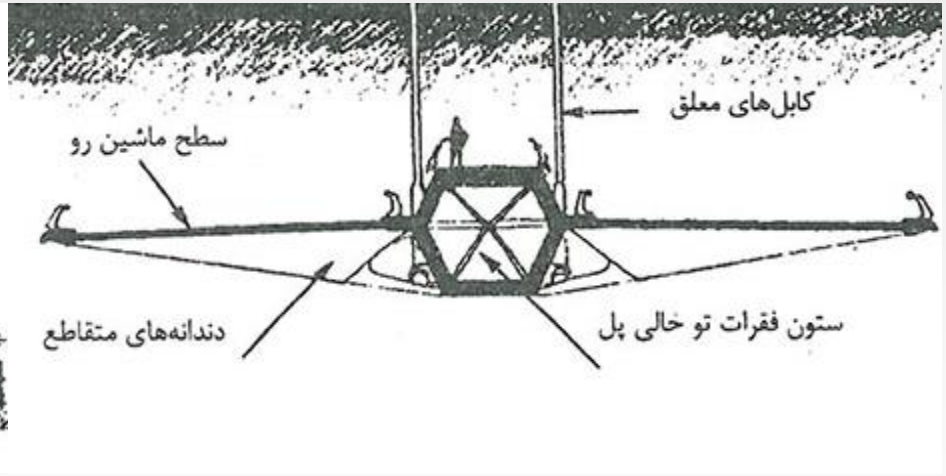
منبع: فرانسیس دی.کی.چینگ، ۱۳۸۸

پل کابلی آلامیلو

پل کابلی آلامیلو در اسپانیا : (معمار : سانتیاگو کالاتراوا)

- دارای ۲۰۰ متر دهنه که با دکلی به ارتفاع ۱۴۲ متر نگه داشته می شود.
- کابل ها به صورت موازی به دکل متصل شده اند.
- دکل تحت زاویه ۵۸ درجه نصب شده.
- وزن دکل فولادی نیروی وارده برکابل ها را خنثی می کند.
- نیروی کششی همه کابل ها برابر است.
- فارغ از محدودیت اقتصادی و با هدف نماد شهری طراحی شده است.

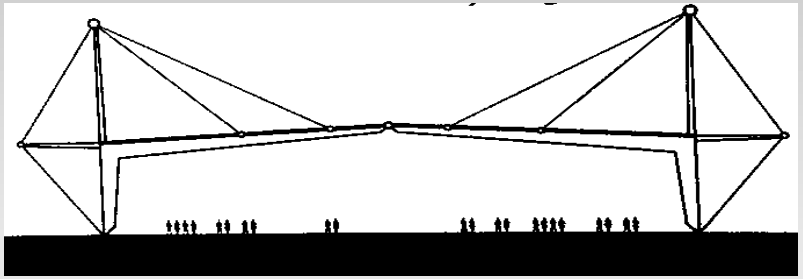




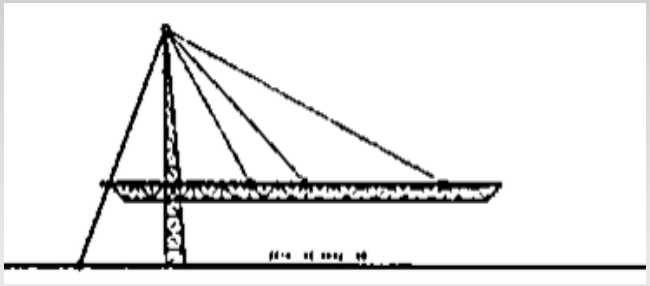
منبع:فولر مور ، ۱۳۹۲

پل کابلی آلامیلو

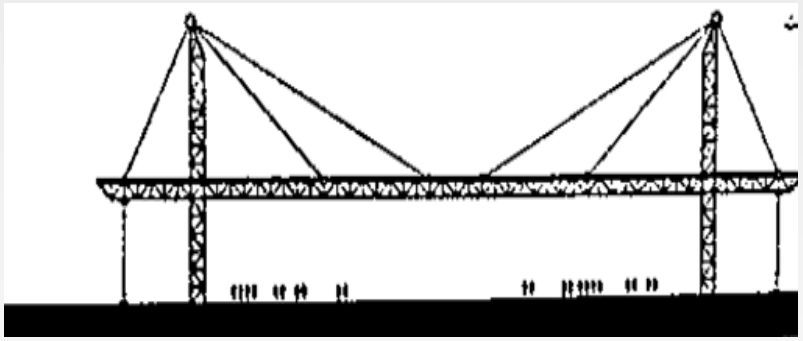
سازه های مهار شده با کابل



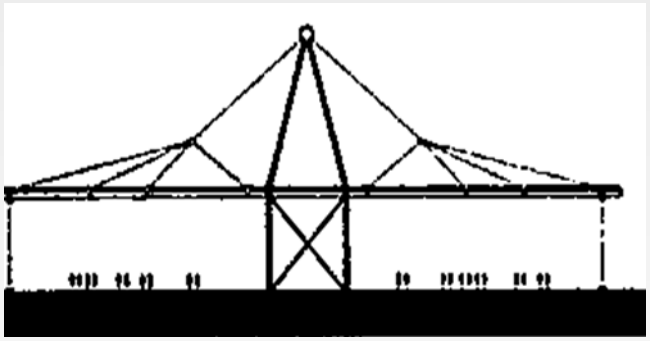
- در این سازه از یک قاب سه مفصلی استفاده شده است که دهانه افقی آن با استفاده از مهارهای کابلی افزایش یافته است.



- این سازه طره ای تکیه گاه بام وسیعی است و حداقل سازه تکیه گاهی را در تراز زمین دارد.



- افزایش سطح زیر پوشش و ایجاد فضای بدون ستون بسیار وسیع.

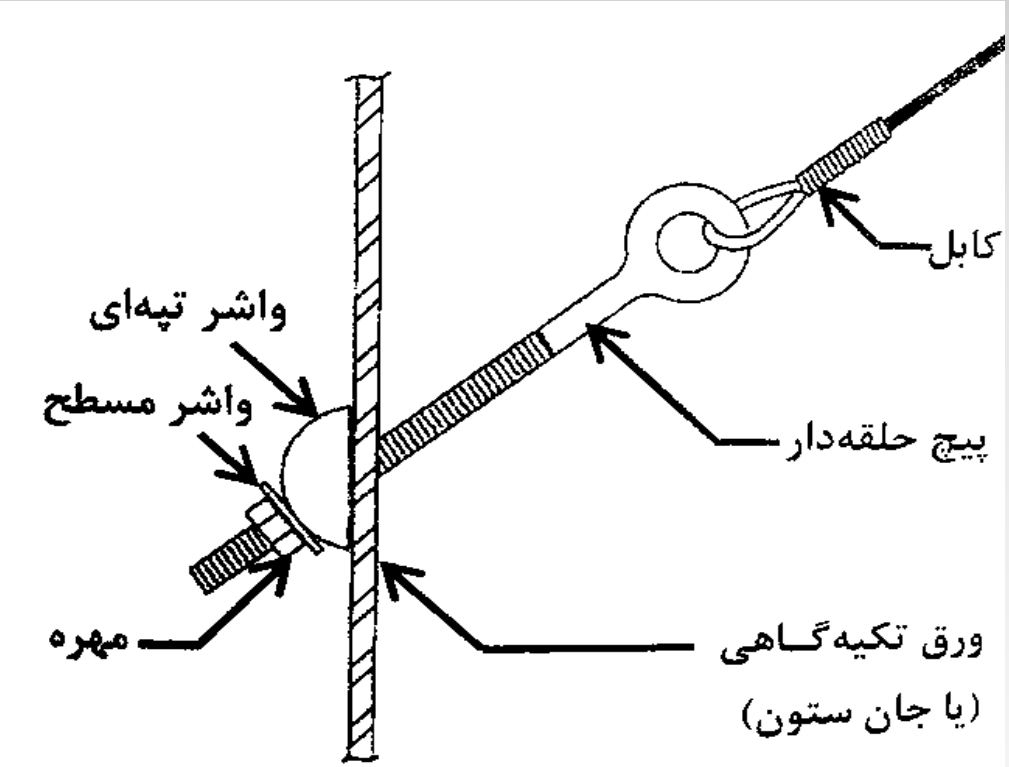


- ایجاد فضای وسیع و بدون ستون در هر طرف سیستم تکیه گاهی مرکزی

منبع: فرانسیس دی.کی.چینگ، ۱۳۸۸

❑ در انواع سازه های کششی،فرم و پیچیدگی اتصالات علاوه بر نیروهایی که باید از طریق اتصالات منتقل شود، به عوامل دیگری مانند تعداد،اندازه و جهت گیری کابل های منفرد بستگی دارد.

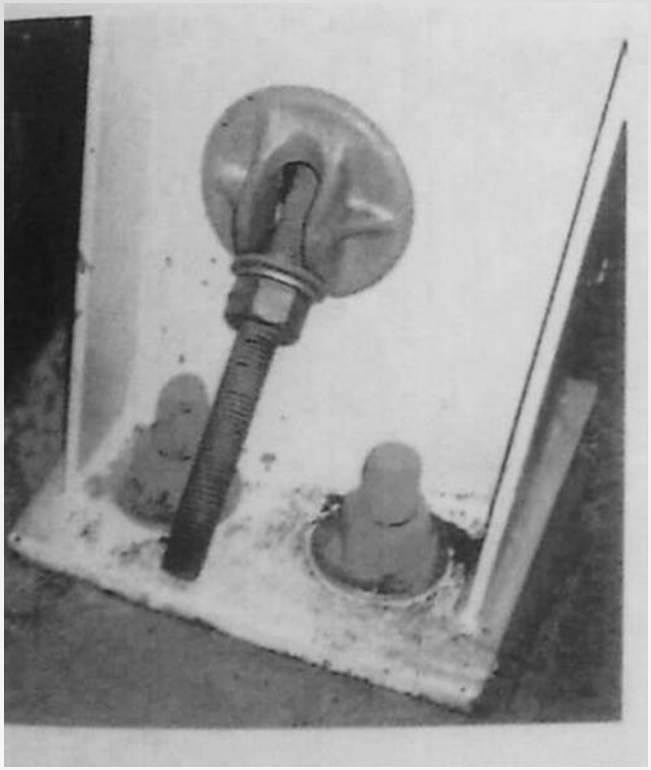
- روش ۱ :

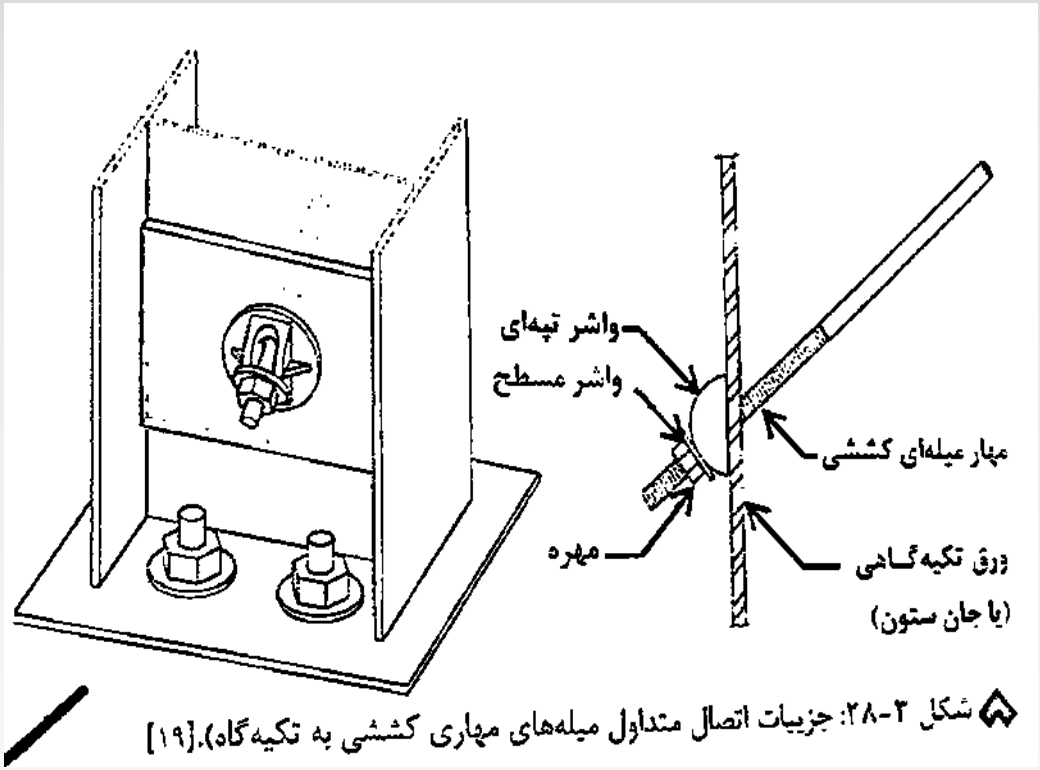


شکل ۲-۲۹: جزییات اتصال متداول مهار کابلی به تکیه‌گاه).[۱۹]

منبع:محمود گلابچی، ۱۳۹۱

- روش ۲ :





شکل ۲-۲۸: جزییات اتصال متداول میله‌های مهاری کششی به تکیه‌گاه).[۱۹]

منبع:محمود گلابچی ،۱۳۹۱

انواع اتصالات در سازه های کابلی

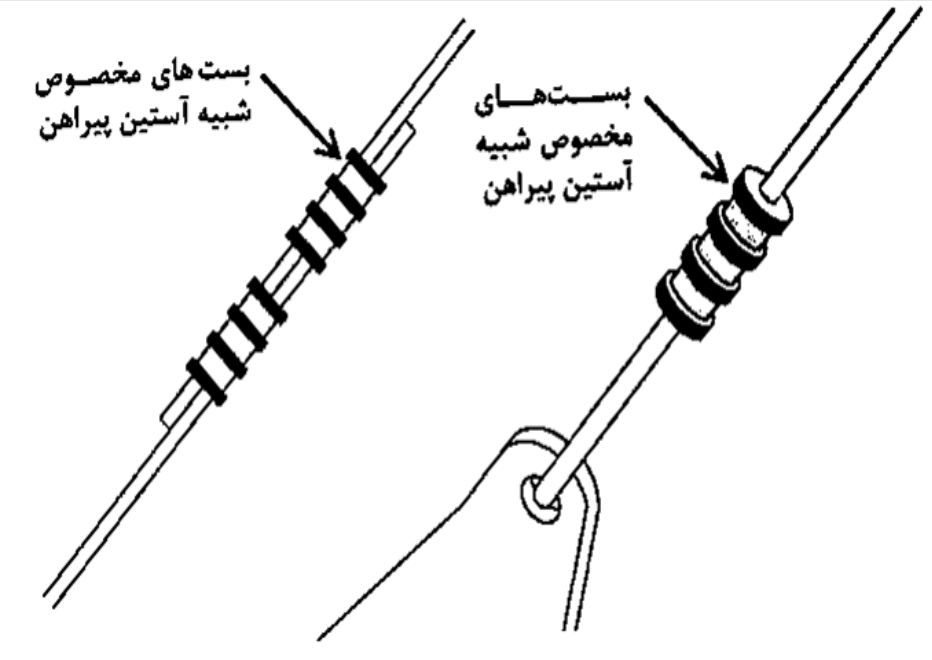
- روش ۳ : استفاده از بست های مخصوص در انتهای کابل و نصب این قطعه به کمک یک خار اتصالی به ساختار تکیه گاهی.

- فرم های چند شاخه در محل سرستون با هدف اتصال چند کابل به آن در فلیت گارد کویمپر(fleetguard/Quimper) طرح ریچارد راجرز.

شکل ۳-۳۰: بست‌های مخصوص نگهداری و اتصال کابل.[۲۰]

منبع:محمود گلابچی ،۱۳۹۱

- روش ۴ : ساده ترین روش به ویژه برای اتصال کابل به عناصر سازه ای سبک است.جوش دادن ورق فولادی بهشکل های مختلف که دارای سوراخی برای نگه داشتن کابل است.کابل از محل سوراخ عبور داده شده به کمک بست هایی شبیه به آستین پیراهن محکم می شود.



شکل ۳-۳۲: ورق‌های سوراخ‌دار جوش‌داده‌شده به مقاطع فولادی برای اتصال کابل.[۲۰]

منبع:محمود گلابچی ،۱۳۹۱

- این قبیل اتصالات در سازه های با مقیاس کوچک تا متوسط و تحمل نیروهای به نسبت کم کاربرد دارند و در سازه های بزرگتر باید اتصالات به کلی و به کمک نرم افزارهای ویژه طراحی شوند.

- به طور کلی محدوده های عمده ای که به هنگام طراحی جزئیات سازه های کششی باید مورد توجه طراحان قرار گیرد به شرح زیر است:
  - اتصال سر دکل به کابل های منفرد یا شبکه های کابلی دارای فرم زین اسبی
  - اتصال عناصر کششی به میانه دکل ها
  - اتصال مقاطع کششی به شالوده ها
  - اتصال کابل به تیرهای طره ای
  - اتصال خود کابل ها و عناصر کششی به یکدیگر
  - اتصال دکل ها و ستون ها به پایه
  - اتصال کابل ها به یکدیگر در محل هم گذری

منبع:محمود گلابچی ،۱۳۹۱

در زمین بازی هاکی دانشگاه آکسفورد در انگلستان طرح نیکلاس گریم شاو و همکاران کابل های نگه دارنده سقف پس از عبور از روی دکل به شالوده های ثقلی مهار می شوند.

منبع:محمود گلابچی ،۱۳۹۱

مهارهای کششی متصل به تیرهای طره ای در سوپرمارکت سینزبری در کمدن انگلستان طرح نیکلاس گریم شاو

منبع:محمود گلابچی ،۱۳۹۱

اتصال کابل ها به یکدیگر در محل هم گذری در ایستگاه تراموا لوریتز پلاتز در وین اتریش

منبع:محمود گلابچی ،۱۳۹۱

منابع :

- دی . کی . چینگ،فرانسیس (۱۳۸۸)/ سازه در معماری / ترجمه محمدرضا افضلی / انتشارات یزدا:تهران
- سالوادوری،ماریو (۱۳۹۳)/ سازه در معماری / ترجمه محمود گلابچی / انتشارات دانشگاه تهران
- گلابچی ،محمود و احسان سروش نیا(۱۳۹۱)/ جزئیات ارتقاء دهنده معماری / انتشارات دانشگاه تهران
- مور ، فولر(۱۳۹۲)/ درک رفتار سازه ها / ترجمه محمود گلابچی / انتشارات دانشگاه تهران

Protect pdf from copying with Online-PDF-No-Copy.com