

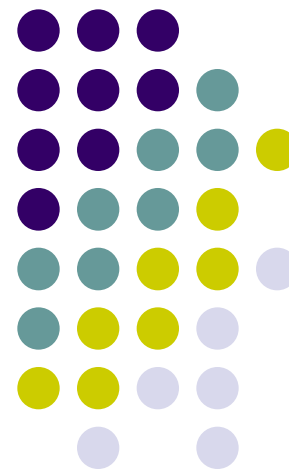
سازه های نو

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



دانشگاه سوره

سازه های کابلی



سازه های کششی

سازه های کششی معمولاً به سازه هایی اطلاق می شوند که المان اصلی آن تنها تحت کشش کار می کند. تقسیم بندی این سازه ها به شرح زیر می باشد:

- سازه های کابلی
- سازه های چادری
- سازه های هوای فشرده
- سازه های کش بستی



مزایای سازه های کابلی

- رفتار خالص کششی به علت انطباق بر جریان طبیعی نیروها و تغییر شکل با هر وضعیت بارگذاری جدید
- قابلیت استفاده در دهانه های بزرگ
- دارای عملکردهای داخلی بهتر برای فضاهای وسیع و بدون ستون
- سبک بودن سازه که منجر به مقاومت زیاد در مقابل زلزله می شود.
- سرعت زیاد در نصب و برچیدن سازه که جهت عملکردهای موقت مناسب می باشند.
- شفافیت و عدم محدود کردن مناظر اطراف (به ویژه در پل ها)
- استفاده از مصالح کمتر با توجه به نسبت وزن به دهانه آن ها، سبب می شود که اقتصادی ترین سیستم جهت پوشاندن فضا با دهانه های بزرگ باشند. در ضمن کابل آویخته فقط با کشش و فشار ساده تنیده می شود.



معایب سازه های کابلی

- عدم کنترل سازه، نوسان آن (به دلیل وزن ناچیز آن در مقایسه با دهانه اش) و انعطاف پذیری کابل آویخته در مقابل نیروهای برگشت باد، ارتعاشات، بارهای نامتقارن و متحرک
- در سازه های طبقه ای کاربرد کمتری دارند
- نگهداری پرهزینه





● سازه های کابلی به دلیل انعطاف پذیری زیاد، نیازمند پایدار سازی در برابر عوامل محیطی هستند. این پایدار سازی با ۴ روش زیر انجام می گیرد:

- اتصال کابل به زمین
- استفاده از کابل ثانویه
- اضافه کردن بار مرده به کابل
- استفاده از دمپر

انواع سازه های کابلی

سازه های کابلی با توجه به عملکرد، به دو دسته تقسیم می شوند.

○ کابل های مهارشده stayed cable

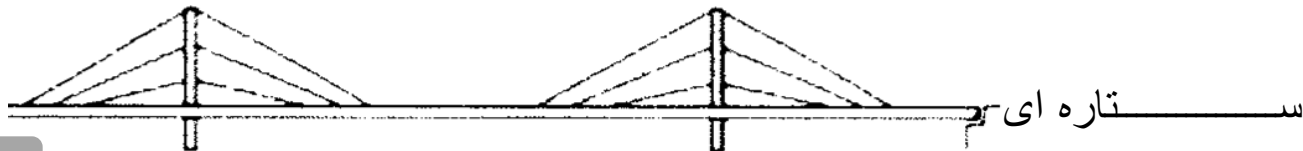
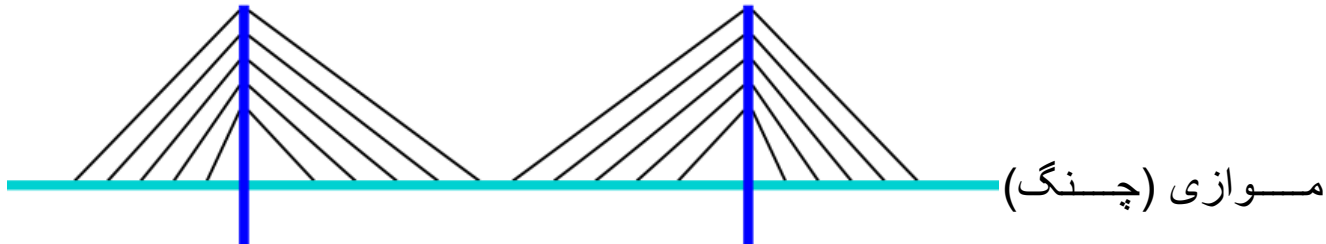
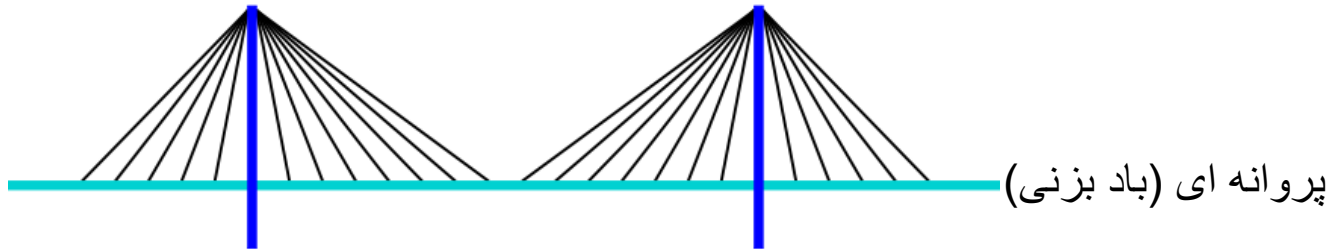
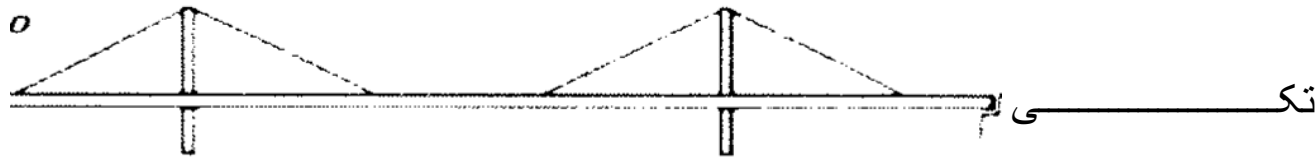
- در کابل های مهارشده، ابتدا کابل تحت نیروی پیش کشیدگی قرار می گیرد و پس از اعمال بار قائم توسط کف، کابل ها قطع می گردند تا نیروی ذخیره شده در کابل به بالا بردن کف کمک نماید. آرایش کابل ها در این نوع از سازه های کابلی به صورت موازی (چنگی) یا شعاعی (بادبزی) می باشد.

○ کابل معلق suspended cable

- کابل معلق، کابلی است که تحت بارگذاری خارجی تغییر شکل داده و هیچگونه کششی به صورت اولیه در آن وجود ندارد.



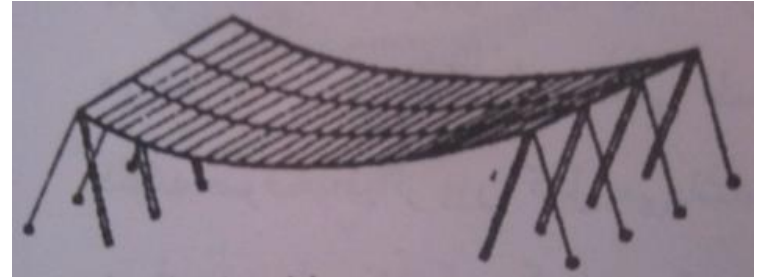
کابل های مهار شده



کابل های معلق

کابل در این سیستم نیز همانند سیستم قبل، آرایشی منحصر به فرد دارند. این آرایش به صورت زیر می باشد:

- سیستم کابل معلق با یک انحنا



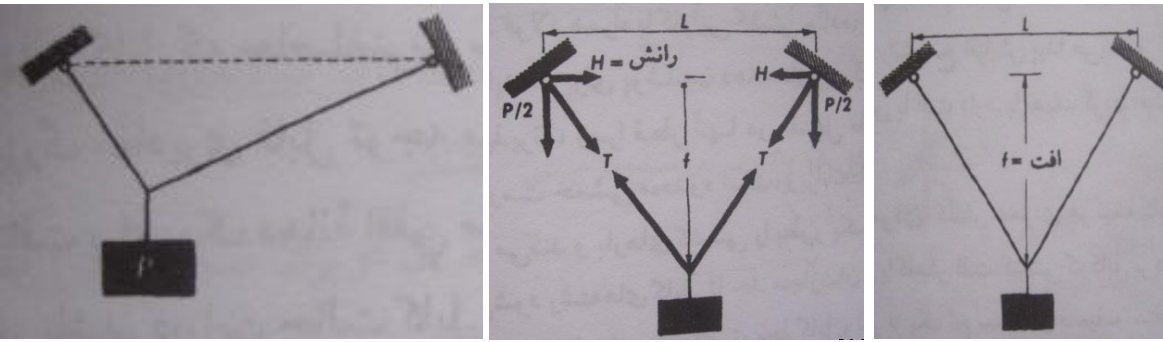
- سیستم کابل مضاعف



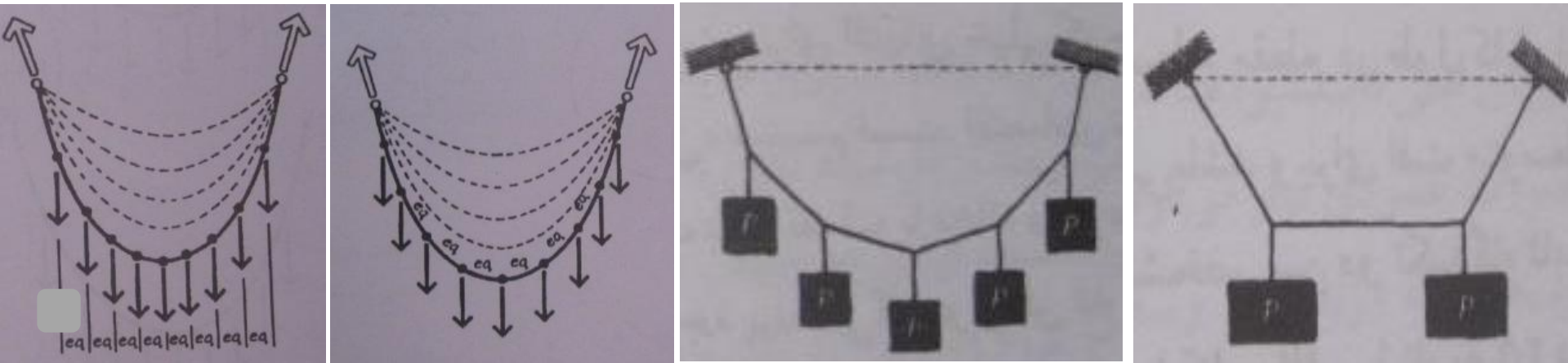
- سیستم منحنی مضاعف با انحنای دوگانه



بررسی رفتار سازه ای کابل های معلق



زنجیره واره، فرمی از منحنی طنابی است برای یک کابل بدون بارگذاری، که فقط تحت تاثیر وزن کابل ایجاد می شود. اگر دو بار یکسان در دو مکان قرینه روی کابل قرار گیرند کابل مجدداً خود را با بارگذاری جدید وفق داده و بارها را با بدست آوردن ترکیبی جدید یعنی سه ضلع مستقیم تحمل می کند. اگر تعداد بارها افزایش یابند، کابل ترکیب متعادل تازه ای پیدا می کند که دارای اضلاع مستقیم بین بارها و تغییر جهت در نقطه اثر بارها است. شکل به دست آمده کابل تحت تاثیر بارهای متمرکز را چند ضلعی طنابی می نامند. با افزایش تعداد بارهای وارده بر کابل، تعداد اضلاع چند ضلعی طنابی هم افزایش می یابند و اضلاع کوچکتر می شوند. نهایتاً شکل کابل به یک منحنی پیوسته نزدیک می شود. اگر بتوان به تعداد نامتناهی بارهای بی نهایت کوچک بر کابل وارد کرد، آنگاه چند ضلعی طنابی تبدیل به یک منحنی طنابی می شود. البته لازم به ذکر است که چند ضلعی های طنابی، تحت تاثیر مجموعه ای از بارهای یکنواخت هم فاصله در جهت افقی، به منحنی هندسی سهمی نزدیک می شوند. افت بهینه برای یک کابل سهموی برابر ۳دهم دهانه کابل است، چنانچه بارهای یکسان به جای فواصل مساوی در افق، در طول کابل در فواصل مساوی قرار گیرند، منحنی حاصل به یک منحنی بیز تبدیل خواهد شد. این منحنی در واقع ظاهری مشابه به شکل طبیعی یک کابل یا زنجیره با سطح مقطع ثابت در حالیکه تحت تاثیر وزن خود است، دارد. افت بهینه برای بیز حدود یک سوم دهانه است. یک کابل که علاوه بر وزن خود، بار یکنواخت پخش شده به طور مساوی در جهت افق را تحمل می کند، شکل میان سهمی و بیز خواهد داشت، که همان شکل کابل های دهانه میانی یک پل معلق است که وزن خود و خرپای تقویت کننده حامل سواره رو تحمل میکند.



تقسیم بندی سازه های کابلی:

۱. پل های کابلی:

۱. پل معلق (Suspension bridge)
۲. پل متکی بر کابل (Cable-stayed bridge)

۲. ساختمانهای کابلی:

۱. دکل های مهار شده با کابل (Direct cable)
۲. سقف های معلق (متکی بر کابل) (cable-supported roofs)
۳. سازه های معلق با فرم طنابی (Curvature suspension structure)

پل معلق (Suspension bridge)



نسل اول این پل ها متعلق به بومیان آمریکای جنوبی میباشد

ساختار پل های معلق:

کابل ها (متحمل نیروهای کششی): تحمل وزن سواره رو

سواره رو (متحمل نیروهای خمشی): ایجاد سطحی برای عبور و پایدار سازی کابل پل
برجها (متحمل نیروهای فشاری): انتقال دهنده ی نیرو از کابل اصلی به زمین. در حقیقت تکیه گاه پل ها هستند.

بلوک های بتنی مهار (متحمل نیروهای برشی): مهار رانش کابل ها و انتقال آن به زمین
آویزها: رابط بین سواره رو و کابل اصلی

1-Dudh khosi & trisuli bridges

پل معلق اولیه در نپال، الیاف ساخته شده از شاخه های بامبو

3- Chain bridge (Széchenyi Lanchid)

پل معلق
دکل ها از جنس سنگ
آهک



2- Clifton (mena) bridge

پل معلق از نمونه های اولیه/دکل ها از جنس سنگ آهک/ آویزها از نوع زنجیری/ عرشه پل از آهن ریخته گری (نسل اولیه ی فولاد که به چدن نزدیک است)





4- Humber bridge

سطح مقطع پل جعبه ای تو خالی/اتصالات جوشی دارای سخت کننده های (استیفر) متعدد/ طراحی سواره رو به صورت آیرودینامیک/دکل های بتنی تو خالی (ویرندیل با چهار تیر افقی)/کابل ها از سیم گالوانیزه کشیده شده/ ساخت یک جزیره مصنوعی برای یکی از دکل ها



5- Brooklyn bridge

دکل ها متشکل از قوسهای گرانیتهی/ استفاده از شبکه فولادی به جای آویز/ دارای مسیر پیاده رو، سواره رو و راه آهن



6- Akashi kaikyo Bridge

کابل ها دارای لایه لاستیکی محافظ در برابر خوردگی/ کابل اصلی از رشته های چند لایه ساخته شده که به وسیله ی هلی کوپتر از روی دکل عبور داده شده است/ هر دکل دارای 20 میراگر دینامیکی (دمپر)/ پس از وقوع زلزله و فاصله گرفتن دکل ها، یک خرابی جدید نگهدارنده به عرشه اضافه شد/ عرشه از نوع خرپا دوسطحی (دبل-دک)/ عرشه دارای مهار بندی فزاینده ی خرابایی/ بتن فنداسیون بتن خاصی است که بتواند با آب دریا ترکیب شود/ فاصله ی بین دکل ها 2 کیلومتر ارتفاع دکل ها به ارتفاع برج ایفل



7- east gate belt bridge

دکل از نوع ویرندیل



8- Golden gate bridge

نوع دکل خرپای ویرندیل/ طراحی دکل به سبک آرت دکو/ اولین نمونه استفاده از تور ایمنی حین ساخت



9- Verrazano narrows bridge

نوع دکل برج سلولار است (یعنی پیش ساخته است و در انجام پروژه بهم وصل شده است) / سواره رو از نوع خرابایی / مصرف فولاد و سنگینی غیر معمول زیاد

Ellie's House

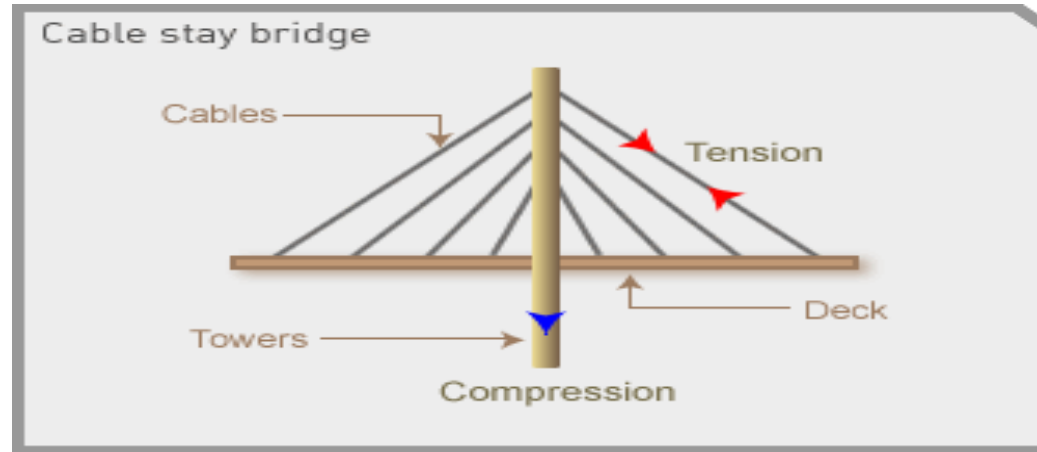


10- Millennium bridge

پل عابر معلق فلزی / ترکیبی از فولاد و آلومینیوم / کم افت ترین کابل پل معلق در دنیا (6 برابر کمتر از پلهای معمولی، 1 به 63) / آویزها بصورت موربند / پلی بسیار کم وزن ساخته شده از لوله های سبک / فنری بودن کابلها برای پیشگیری از خستگی / دارای دو دکل بیضی شکل بتنی / در هر طرف عرشه 4 کابل اصلی کشیده شده / بین مردم به پل جنبان مشهور شده است که 91 دمپر اضافه شده است تا لرزش را کمتر کند



پل متکی بر کابل (Cable-stayed bridge)



این پل در مقایسه با پلهای معلق، فاقد کابل اصلی است و در ازای آن دارای چندین کابل است که همگی آنها بطور مستقیم به سواره رو متصلند و وزن آن را متحمل میشوند.



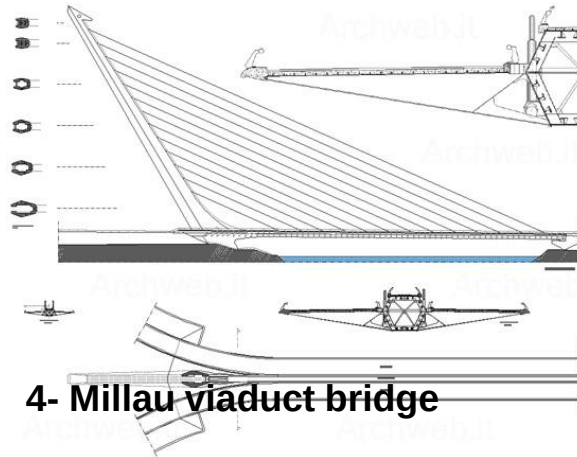
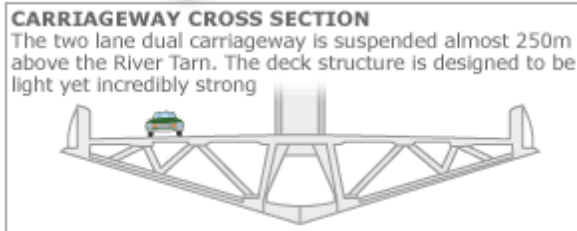
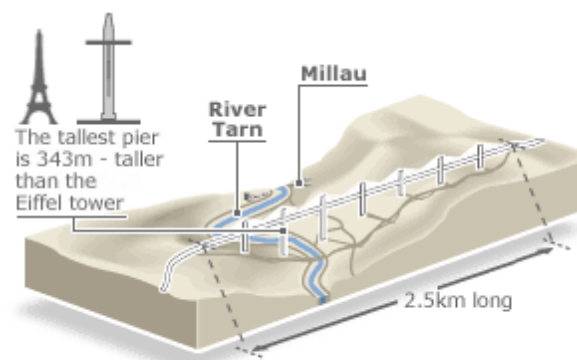
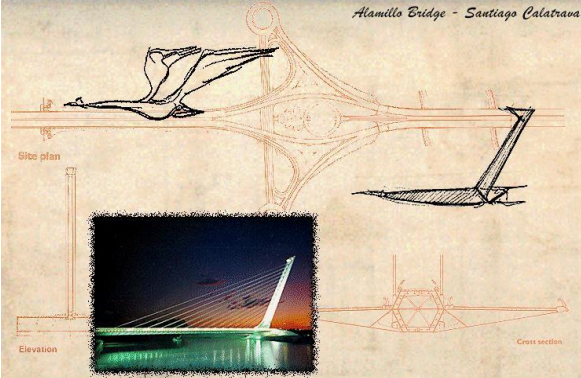
1- Normandy bridge

معکوس Y دارای دکل های بتنی به شکل عرشه ی پل در نزدیکی دکل بتنی و بقیه ی آن فولادی است
 عرشه ی پل منحنی است
 شیب دار ترین پل کابلی دنیا (با شیب ۱۵ درجه)
 Brace سواره رو آیرودینامیکی و دکل از

2- Ruck-a-chucky bridge

پلان سواره رو منحنی است. کابل ها با آرایش سهموی-هندلولی آرایش کابل ها به منظور ایجاد ترکیبی مقاوم در برابر نیروهای کششی و فشاری خالص پل دارای رفتاری خالص است یعنی در پل هیچ گونه برش، پیچش، خمش ایجاد نمی شود فقط کشش و فشار خالص. کابل ها داخل صخره ها شلیک شده اند





3- Alamillo bridge

پل از نوع متکی بر کابل چنگی است
پلی با حداقل اجزای سازه (تفکر مینیمالیستی)
عدم استفاده از آرایش متقارن کابلها
دکل های فولادی پر شده از بتن با نیروی کابلها مقابله می کند

سطح پل از ستون فقرات مرکزی طره میشود
ستون فقرات پل شش ضلعی تو خالی است
طول و فاصله ی کابلها به گونه انتخاب شده که نیروی کششی کابلها همگی برابر باشد
حذف کابلهای طرف دیگر در نتیجه مسیر غیر معمول نیروها در نتیجه هزینه ی بسیار سنگین
تعادل یک جانبه و اتصال طره ای دکل در پی، باعث زیبایی پل شده است
استفاده از اثر گشتاوری وزن
دارای شالوده ی شمعی

4- Millau viaduct bridge

Archweb.ir

Archweb.ir

Archweb.ir

Archweb.ir

Archweb.ir

Archweb.ir

Archweb.ir

Archweb.ir

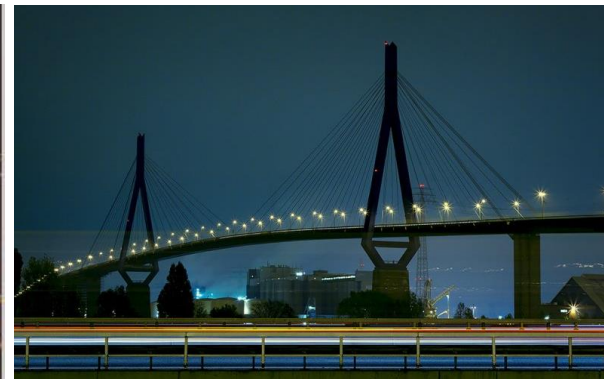
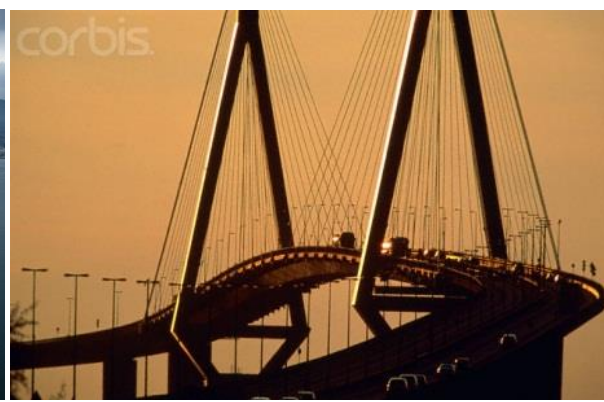
Archweb.ir

Archweb.ir

Archweb.ir

عرشه بصورت آیرودینامیک طراحی شده
پایه ها بتنی (به روش لغزنده) و دکل ها فولادی است
دکل های بتن مسلح به شکل هرم معکوس
از 3 روش برای جلوگیری از خوردگی کابل ها محافظت شده است: گالوانیزه شدن، اندودی از موم نفتی، غلافی از پلی اتیلن.

دکل بلند تر از برج ایفل
کابل ها دارای فرم بادبزی است
طول کابل ها با نوار پوشانده شده تا از ورود آب (در وزش بادهای تند) جلوگیری شود.
برای پیشگیری از ترک، در آسفالت سواره رو، از قیر طبیعی اصلاح شده استفاده شده است. که هم تراکم و چسپندگی عالی و هم هنعطاف پذیری عالی دارد.



5- Rion antirion bridge

دکل های بتن مسلح به شکل هرم معکوس دارای بزرگ ترین فنداسیون ساخته شده برای پل در دنیا
کابل ها گالوانیزه اند
عرشه ی پل از سازه ی کامپوزیت (قاب فولادی+دال بتنی پیش ساخته)

(وجود دارد Damper در هر پایه چهار میراگر)
به علت لرزه خیزی بالای منطقه، پل در بستر دریا تقویت شد (بوسیله ی نفوذ ۲۰۰ لوله ی فولادی در بستر دریا)
کابل ها بادبزی و سواره رو آیرودینامیک است
استفاده از یک سیم مارپیچ در طول کابل ها جهت هدایت آب باران

6- Kohlbran bridge

شکل هستند A. پایه ها بتنی و برجها فولادی
کابل ها پیش از موقع زنگ زده و تعویض شدند
دارای فرم بادبزی

7- Tatarabashi bridge

دکل های فولادی به شکل معکوس Y
آزمایش تونل باد مقطع دکل ها را از قوطی به صلیبی تغییر داد
دکل از نوع آیرودینامیک و شکل کابل ها بادبزی
عرشه متشکل از تیر های فولادی و تیرهای بتنی پیش تنیده با فرم آیرودینامیک
کابل ها از جنس فولاد گالوانیزه شده دارای غلاف پلی اتیلن
کابل ها دارای ناصافی های شبیه سطح توپ گلف برای جلوگیری از ارتعاشات ناشی از حرکت آب باران در روزهای بارانی

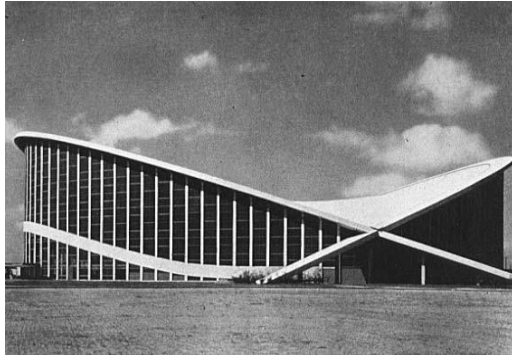
ساختمانهای کابلی

- ۱-سقف متکی بر کابل:
- ۲-دکل های مهار شده به کابل:
- ۳-منحنی طنابی تک انحنا:
- ۴-سقف های معلق دوار:
- ۵-کابل مضاعف:
- ۶-شبکه ی کابلی (منحنی مضاعف)



۱- شبکه ی کابلی (منحنی مضاعف)

کابل های تثبیت کننده ، عمود بر کابل های اصلی قرار میگیرند
انحنای این سازه ها در یک جهت مثبت و در جهت دیگر منفی است
این سازه ها دارای فرم زین اسبی است



Raleigh arena

سقف شبکه ی کابلی به شکل زین اسبی
کابل ها بر دو قوس متقاطع متکی اند
قوسها به شکل سهمی اند
دارای قوسی شیبدار است تا نیروی کابلها در
امتداد قوس قرار گیرد
کابل های تثبیت کننده برای اجتناب از تغییر
شکل در گرما، پیش تنیده شده اند
قوس ها در محل تقاطع دارای اتصالات
مفصلی اند
پای قوس ها در زیر زمین به وسیله ی کابل به
هم بسته شده است
ستون های عمودی در نما، تنها وزن قوس را
تحمل می کنند
پوشش سقف، ورق موجدار فلزی است



Yale hockey rink

سقف شبکه ی کابلی
کابل ها بین قوس سهموی بتنی و
دیوارهای پیرامونی کشیده شده اند
پوشش سقف از قطعات چوبی و سبک بود
و سقف را پایدار نمیکرد، در مرحله ی
دوم، کابل های ثانویه کشیده شد
سه کابل انتهایی دیوار را به قوس میبندد
تا از حرکت جانبی تیرها جلوگیری کند
از نظر آکوستیکی ساختمان مناسبی است
بدلیل: (1) مصالح مناسب
(2) مقطع عرضی آن محدب است



Calgary saddle dome

سقف به دو صورت عمل می کند: (1) شبکه ی کابلی
زین اسبی (پیش تنیده) (2) پوسته ی بتنی
کابل ها به یک حلقه ی بتنی پیرامونی متصلند
فرم Deformed شده است و بصورت هاپیار است
سقف شبیه راکت تنیس
کابل های ثانویه پس کشیده شده اند
پایداری A شکل + دیوار برشی زیر آن، تأمین می شود
جانبی، بوسیله ی سازه های
اتصال ستون به پی مفصلی است
حلقه علاوه بر منحنی بودن شیب دار هم هست تا
حلقه با کابل هم راستا شود

۱- شبکه ی کابلی (منحنی مضاعف)



German exhibition pavilion

شبکه ی کابلی پیش تنیده
شبکه ی کابلی بر روی 8 ستون
مدور از جنس آهن گالوانیزه
ارتفاع ستونها متفاوت است
دارای سققی قابل توسعه
الهام از تار عنکبوت



Munich Olympic stadium

سقف به دو ثورت عمل می کند:
1) سقف شبکه ی کابلی (پیش تنیده)
2) سقف چادری متکی بر کابل
سازه ی شبکه ی کابلی با رفتاری شبیه به چادر سه دسته کابل قطور به کار رفته است:

- 1) کابل زنجیره وار اصلی که لبه ی جلویی را نگه می دارد
- 2) اتصال خط الراس به دکل ها
- 3) اتصال کابل کناری به پی



۲- دکل های مهار شده به کابل:

Torre de collserola

ستون عظیم مهار شده با سه جفت کابل
کابل ها موسوم به Guy هستند
ستون عظیم از جنس بتن است (یک لوله ی بتنی تو خالی)
صلبیت ستون مرکزی توسط خرپای پیش تنیده تامین شده
کابل ها در صورت لزوم قابلیت تحمل فشار را دارند؛ به خاطر وجود شفت



skylon

یک بالون از جنس آلومینیوم
بدنه ی بالون متشکل از ۱۲ قاب + میله های ضربدری بین قابها
کابل ها پیش تنیده اند
کابل ها دو به دو با هم زاویه ی ۱۲۰ درجه می سازند
بالون در پایین با یک سیستم متشکل از ۳ کابل مضاعف به شکل گهواره نگه داشته شده
کابل ها بوسیله ی کلاف های بتنی در زمین مهار شده اند
کشش کابل ها به نحوی محاسبه شده که در حداکثر سرعت وزش باد، باز هم قدری کشش در کابل باقی بماند
کابل های تکیه گاهی پیش تنیده اند



۳- منحنی طنابی تک انحنا:

یک دسته کابل آویخته ی موازی با هم، سقف را تشکیل می دهد:

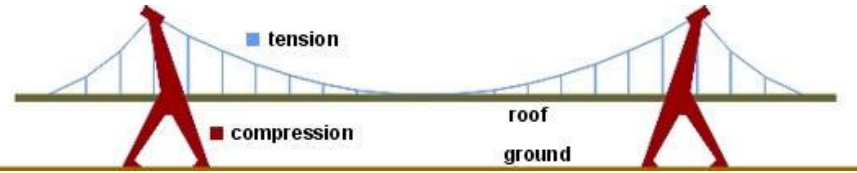
(۱) خود کابل ها سقف را تشکیل می دهد (سقف منحنی)

(۲) یا سقف با آویز به کابل ها متصل میشود (سقف مسطح)

کابل ها در جهت دهانه ی بزرگتر (طولی) قرار میگیرد

مهمترین ضعف این سیستم: ضعف در برابر نیروی رو به بالای باد

روشهای مقابله: نگین کردن سقف-پیش تنیدگی-کابل ثانویه



Burgo paper mill

سازه ای شبیه پل معلق خود مهار کننده استفاده از وزن زیاد سقف (بار مرده) برای مقابله با نیروی رو به بالای باد ستون های حجیم با اتصالات صلب در پی با رانش های کابل مقابله میکند دیوارها، مستقل از سقف و در برابر باد آسیب پذیر است دیوارها توسط پشت بند و ستون نگه داشته می شود

امکان توسعه ی آتی وجود دارد عوامل موفقیت بنا: (۱) ایده ی پل معلق (۲) شکل بسیار مناسب ستونها (۳) استفاده از بار مرده ی سقف برای مقابله با نیروی رو به بالای باد



Federal Reserve Bank

با هدف طرح فضای آزاد میدانگاهی سازه ی کابلی معلق با فرم منحنی طنابی تک انحنا دو سازه ی طنابی سهمی شکل، سازه ی اصلی ساختمان است منحنی طنابی از صفحات فولادی و کابل ساخته شده است تکیه گاه عموری ساختمان، دوبرج خدماتی در دو انتهای بناست برجهای فرم H شکل داشته و با زمین اتصالات صلب دارد سازه ی برشی H شکل، پایداری جانبی بنا را تامین میکند رانش کابل ها به وسیله ی K شکل بالای ساختمان خنثی میشود خرپای جعبه ای طبقات بالای منحنی طنابی با ستون و طبقات زیرین با آویز متصلند

در محل تقاطع کابل، خرپا و برج، یک تکیه گاه قوی طراحی شده بار جانبی توسط دیافراگم طبقات به H شکل انتقال داده می شود کف طبقات خرپایی است



Dulles terminal

سقف معلق به فرم منحنی طنابی تک انحنا دسته ی کابل های موازی با یک انحنا اتصال صلب ستون ها به زمین با رانش کابل مقابله میکنند مقابله با نیروی رو به بالای باد: (۱) وزن زیاد سقف با پوشاندن کابلها به بتن (۲) پیش تنیدگی بوسیله ی کیسه های شن پایه ها (دکل ها) وسعت نمای شیشه ای را محدود می کند ستون ها به خاطر استفاده از اثر گشتاوری وزن مایل اجرا شده اند دلایل منحنی شدن بدنه ی شیشه ای: (۱) افزودن عمق بیشتر به نما (۲) از بین بردن سنگینی بصری (۳) بازتابی از سایه بان بالا (۴) تاکید بر ورودی و فضای بین پایه ها

۴-سقف های معلق دوار

از نوع کابل های تک انحنا می باشد

شدیدا ناپایدار است

برای پایداری این سقف باید: (1)وزن زیاد سقف (2)پیش تنیدگی



Montevideo : arena

سازه ی کابلی منحنی
طنابی با یک انحنا
ناپایداری شدید در
برابر نیروهای رو
به بالا

اجرا به روش پیش
تنیدگی و سنگین
سازی به منظور
کاهش ارتعاشات

۵- کابل مضاعف

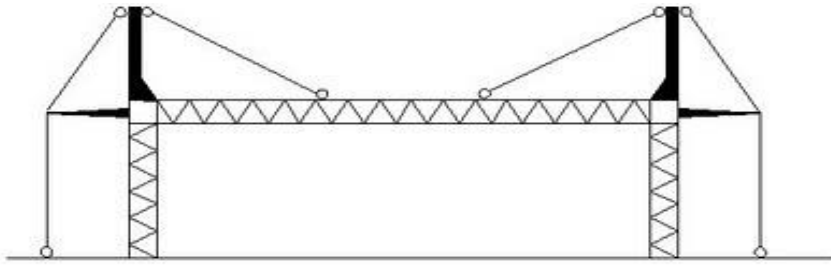
شبیه کابل با یک انحناست اما با دو ردیف کابل با انحنای معکوس هم می باشد، کابل های تثبیت کننده برای مقابله با نیروی رو به بالای باد اضافه می شود. کابل اصلی و کابل تثبیت کننده ممکن است در یک صفحه نباشد



Denver international airport

سقف معلق از نوع کابل مضاعف
تنها پوشش سقف پارچه است نه سازه ی آن
چون کابلها آرایش متقارن دارد اتصان دکل ها به پی مفصلی است
انتخاب پوشش چادری به سبب سبکی، سرعت ساخت و زیبایی
کابل های خط الرأس: تحمل وزن سقف و بار برف
کابل های خط القعر: تحمل نیروی رو به بالای باد
غشای پوششی از جنس فایبر گلاس با پوشش تفلون
تشابه طرح با قله های پوشیده از برف راکی

۶-سقف متکی بر کابل



- کابل ها وظیفه ی تحمل سقف و یا تقویت تیرهای سقف را بر عهده دارند
- کابل سازه ی اصلی نیست و تنها برای کمک به سازه استفاده میشود

1- P.A.Technology center

ستون فقرات ساختمان سازه ی A شکل است
حداکثر انعطاف پذیری در طرح و فضای بدون
ستون
پایه ی A شکل، تکیه گاه عمودی بناست
مستطیلی قاب
پایداری جانبی بنا با مهاربند ضربدری و
اتصالات صلب
اکثر قطعات ساختمان پیش ساخته است

2-J.F.K.terminal(panam hanger)

استفاده از کابل به عنوان سازه ی کمکی
به وسیله ی کابل طره ها مهار شده اند
کابل ها در وسط سقف نصب گردیده اند
تا تغییر شکل به حداقل برسد
حلقه ی خارجی متحمل نیروهای فشاری
حلقه ی داخلی متحمل نیروهای کششی

Renault distribution center

سقف به صورت تیر معلق
طراحی تابع شکل سایتاست
پوشش سقف غشایی از جنس PVC
ویژگیهای طرح: انعطاف پذیری
فضا، ترکیب مدولار، قابلیت توسعه و
الحاقات آتی، گویایی سازه ای و استفاده از
سیستم های صنعتی در ساخت بنا



۶-سقف متکی بر کابل:

Millennium dome

سقف چادری معلق

کابل های متصل به دکل مورب،سقف را نگه می دارند

ساختمانی نمادین،به عنوان نماد هزاره ی جدید

پوشش غشایی گنبد از جنس فایبر گلاس با پوشش تفلون،قابل شستشو با عمر مفید حداقل 25 سال

کج شدن دکل ها به سمت بیرون برای استفاده از اثر گشتاوری وزن

اتصال دکل به پی مفصلی است

استفاده از کابل های مهاری برای مقابله با نیروی رو به بالای باد

