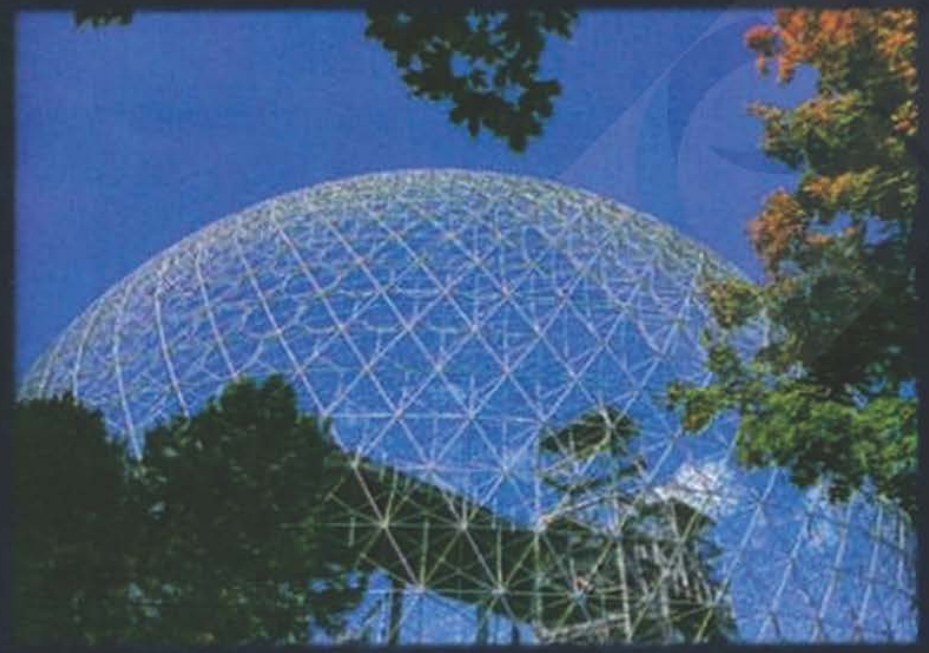
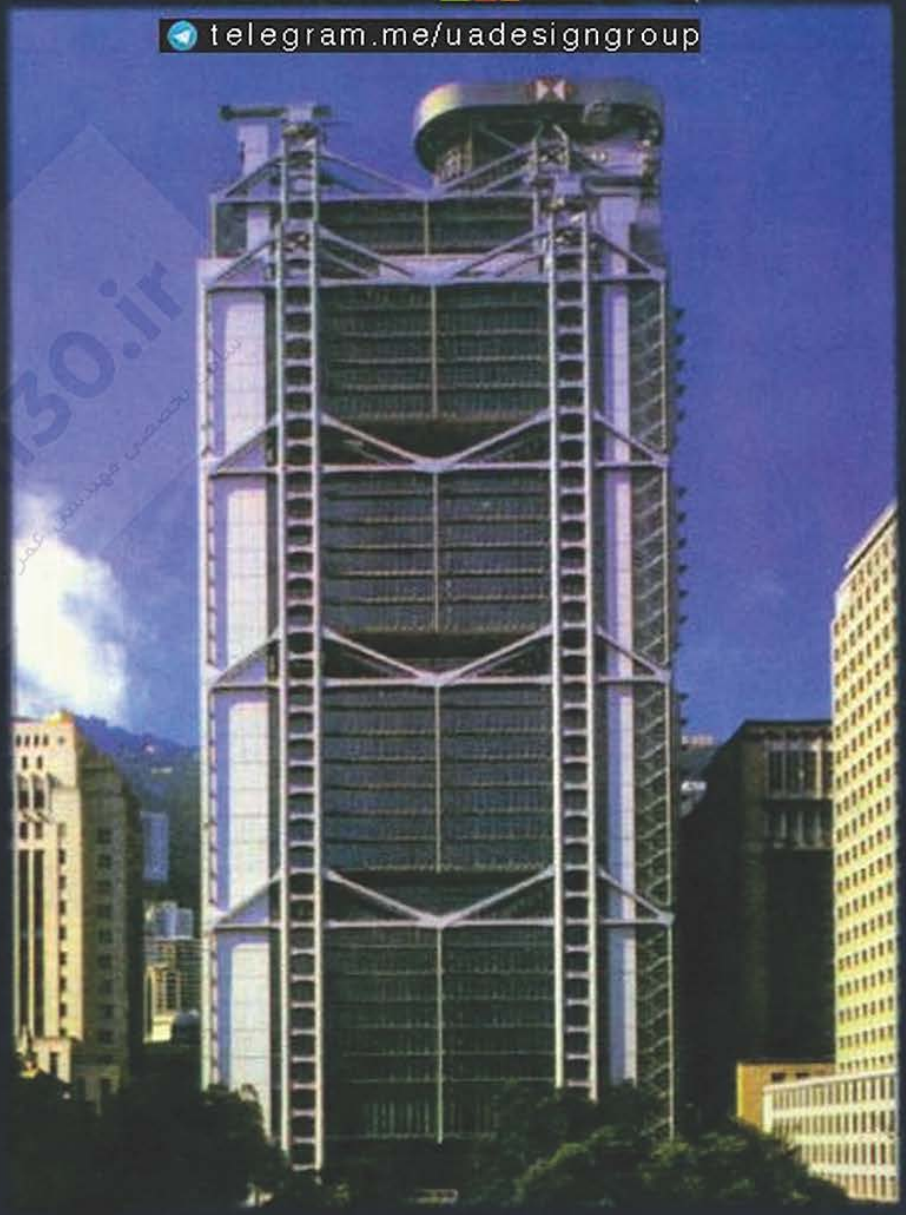
telegram.me/uadesigngroup

انتشارات دانشگاه تهران
۲۵۰۲
چاپ پنجم

درک رفتار سازه ها





فولر مور

ترجمه: دکتر محمود گلابچی

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

انتشارات دانشگاه تهران

شمارهٔ ۲۵۰۲
شماره مسلسل ۵۶۹۹

شابک ۶-۴۳۷۰-۰۳-۹۶۴ ISBN 964-03-4370-6
عنوان: درک رفتار سازه‌ها
تألیف: پروفسور فولرمور
ترجمه: دکتر محمود گلابچی
ناشر: مؤسسهٔ انتشارات و چاپ دانشگاه تهران
شمارگان: ۵۰۰۰ نسخه
تاریخ انتشار: ۱۳۸۶ (چاپ پنجم)
چاپ و صحافی: مؤسسهٔ انتشارات و چاپ دانشگاه تهران
مسئولیت صحت مطالب کتاب با مترجم است.
«کلیه حقوق برای دانشگاه تهران محفوظ است»
بها: ۴۰۰۰۰ ریال

پست الکترونیک: Press@ut.ac.ir – آدرس سایت: Press.ut.ac.ir

مور، فولر Moore, Fuller
درک رفتار سازه‌ها / تألیف فولرمور؛ ترجمه دکتر محمود گلابچی.ــ تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ، ۱۳۸۲.
و، ۳۲۳ ص.: مصور.ــ (انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره ۲۵۰۲).
ISBN 964-03-4370-6 ۴۰۰۰۰ ریال
فهرستنویسی براساس اطلاعات فیپا.
عنوان اصلی: Understanding Structures.
واژه‌نامه. کتابنامه: ص. ۳۰۳-۳۱۰.
۱. سازه. ۲. مواد صنعتی. الف. گلابچی، محمود، مترجم. ب. دانشگاه تهران. موسسه انتشارات و چاپ. ج. عنوان.
۴ د ۸ م / TA ۶۵۸ ۶۲۴/۱۷۷ ۱۳۸۶
کتابخانه ملی ایران ۸۰-۱۲۲۵۰م

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

فهرست مطالب

مقدمه مترجم ..... الف
پیشگفتار ..... ج
مقدمه مؤلف ..... د
تشکر و قدردانی ..... هـ
دیباچه ..... و
بخش یکم: نظریات سازه‌ای ۱
۱. علم مکانیک ۲
۲. مقاومت مصالح ۲۲
بخش دوم: سیستم‌های خرپایی ۳۳
۳. سازه‌های کابلی ۳۴
۴. خرپاها ۴۱
۵. سازه‌های فضاکار ۵۳
۶. گنبدهای کروی (ژئودزیک) ۶۷
بخش سوم: سیستم‌های قابی ۷۴
۷. ستون‌ها و دیوارها ۷۵
۸. تیرها و دال‌ها ۸۶
۹. قاب‌ها ۱۱۵
بخش چهارم: سیستم‌های کششی ۱۳۲
۱۰. سازه‌های کابلی ۱۳۳
۱۱. سازه‌های چادری ۱۵۶
۱۲. سازه‌های هوای فشرده ۱۶۶
۱۳. قوس‌ها ۱۸۲
۱۴. طاق ها ۲۰۲
بخش پنجم: سیستم‌های پوسته‌ای ۲۲۱
۱۵. پوسته ها ۲۲۲
۱۶. سازه‌های ورق تاشده ۲۵۰
بخش ششم: نحوه ترکیب سیستم ۲۶۰
۱۷. مصالح سازه‌ای ۲۶۱
۱۸. طراحی کلی سازه ۲۸۰
ضمیمه الف: نمودارهای طراحی اولیه ۲۹۱
منابع تصاویر ۳۰۰
کتاب‌شناسی ۳۰۳
واژه نامه ۳۱۱

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

بسمه تعالی

مقدمه مترجم

درک رفتار سازه‌ها اولین گام برای شناخت دقیق، طراحی صحیح و اجرای مطمئن و ایمن ساختمان‌ها بشمار می‌رود. در کلیهٔ مراحل طراحی و اجرای ساختمان (از اولین مراحل طراحی معماری تا محاسبه و طراحی سازه و اجرای نهایی ساختمان) و خصوصاً در مرحله انتخاب سیستم ساختمانی مناسب برای یک طرح شناخت رفتار سازه به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در انتخاب صحیح، محاسبه دقیق، طراحی درست و اجرای مطمئن و ایمن ساختمان مورد نیاز مبرم معماران و مهندسین ساختمان می‌باشد. ضمن این که درک حسی مفاهیم اساسی در رفتار ساختمان‌ها یک ضرورت برای هماهنگی میان طراحی معماری و محاسبات سازه‌ای می‌باشد و اصولاً تحقق یک معماری موفق بدون شناخت دقیق رفتار سازه ممکن نمی‌باشد.

ضرورت تدوین منابعی که رفتار سازه‌ها را به صورت حسی و بدون استفاده از محاسبات سازه‌ای پیچیده بیان نماید به عنوان مرجعی برای دانشجویان رشته های معماری و مهندسی عمران همواره مورد نظر اینجانب بوده است. انتشار کتاب **"سازه در معماری"** نیز در راستای تحقق همین هدف صورت گرفت که استفادهٔ گسترده از آن در زمینه‌های آموزشی، پژوهشی و نیز اجرایی توسط دانشجویان و دانش‌آموختگان رشته‌های معماری و مهندسی عمران با نتایج ارزشمندی همراه بوده است.

انتشار کتاب Undesrtanding Structures نوشته پروفسور فولر مور (Fuller Moore) از سوی انتشارات McGraw-Hill در سال ۱۹۹۹ گامی مؤثر در جهت ارائه درک رفتار سازه‌ها و شناخت ویژگی‌های سیستم‌های ساختمانی بدون استفاده از تئوری‌های پیچیده بشمار می رود. پروفسور مور استاد رشتهٔ معماری دانشگاه میامی در آکسفورد در ایالت اوهایو کشور امریکا می‌باشد و دارای تألیفات متعددی در زمینهٔ مهندسی ساختمان و طراحی بهینهٔ ساختمان‌ها می‌باشد.

ترجمه کتاب که اینک با عنوان **"درک رفتار سازه‌ها"** ارائه می‌گردد، می‌تواند به عنوان یک کتاب درسی در رشته‌های معماری و مهندسی عمران مورد استفادهٔ دانشجویان (و دانش‌آموختگان این رشته‌ها) قرار گیرد. این کتاب ضمن معرفی سیستم‌های ساختمانی و ارائه درک حسی از نحوهٔ رفتار سازه ها با استفاده از تصاویر مناسب به معرفی بهترین طرح‌های ارائه‌شده در زمینهٔ سیستم‌های ساختمانی می‌پردازد و دریچه‌ای به جهان خلاقیت‌ها و نوآوری، بر روی دانشجویان و دانش‌آموختگان این رشته می‌گشاید و بدون تردید کلیهٔ دانشجویان، معماران و مهندسین می‌توانند در طراحی‌های خویش از مطالب مفید و ارزشمند این کتاب بهره‌مند گردند.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

موضوع اصلی کتاب معرفی سیستم‌های مختلف ساختمانی و تلفیق آنها با طرح معماری می‌باشد. معرفی اصول اساسی مورد بحث در علوم پایه مهندسی (مانند استاتیک، مکانیک و مقاومت مصالح) که در سیستم‌های مختلف سازه‌ای استفاده شده‌اند با تأکید بر مفاهیم معماری و بدون استفاده از محاسبات پیچیده صورت می‌گیرد. سیستم‌های ساختمانی مورد بررسی شامل کابل‌ها، خرپاها، سازه‌های فضاکار، گنبدهای ژئودزیک، ستون‌ها و دیوارها، تیرها و دال‌ها، قاب‌ها، کابل‌های زنجیروار، سازه‌های چادری، سازه‌های هوای فشرده، قوس‌ها، طاق‌ها، پوسته‌ها و سازه‌های ورق تاشده می‌باشند.

بررسی و تحلیل رفتار هر سیستم با استفاده از تصاویر متعدد و نمودارهای طراحی انجام شده است. برای هر یک از سیستم‌های ارائه‌شده تعدادی از بهترین طرح‌ها و ساختمان‌های اجراشده با آن سیستم به عنوان مطالعات موردی (Case Studies) معرفی شده‌اند. ساختمان‌های بررسی‌شده در مطالعات موردی با توجه به یکپارچگی سازه و معماری در آنها و مناسب بودن آنها برای معرفی و نشان دادن رفتار یک سیستم سازه‌ای خاص انتخاب شده‌اند.

در بخش آخر کتاب مراحل مختلف طراحی سازه در جهت هماهنگ نمودن آن با فرآیند طراحی معماری از اولین مراحل شکل‌گیری طرح تا مراحل نهایی و تهیه نقشه‌های اجرایی ارائه‌شده است و نحوهٔ دستیابی به این هدف با استفاده از طرح‌های اولیه (اسکیس)، دیاگرام‌های طراحی، جداول انتخاب سیستم سازه‌ای و نمودارهای طراحی (برای تعیین ابعاد اولیهٔ اعضای سازه‌ای) توضیح داده شده است.

این کتاب همچنین شامل: ۷۶ مطالعه موردی ساختمان‌های انتخاب شده برای معرفی سیستم‌های مختلف، ۳۲ مدل نشان‌دهندهٔ اصول رفتار سازه‌ای، خلاصه مطالب در انتهای هر فصل، معرفی ۱۷۹ کتاب دربخش کتابشناسی، ۵۰۳ تصویر ترسیم‌شده توسط نویسنده، و ۴۲ نمودار برای تعیین ابعاد اولیهٔ اعضا سازه‌ای می‌باشد.

ضمناً بدین‌وسیله از همکاری بی دریغ مسئولین و کارکنان محترم مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران که امکان انتشار این کتاب را فراهم نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

دکتر محمود گلابچی

عضو هیأت علمی گروه معماری

دانشکده‌هنرهای زیبا- دانشگاه تهران

خرداد ۱۳۸۰

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

پیشگفتار

سیر تکاملی دانش سازه‌ای با درک چگونگی رفتار سازه‌ها آغاز گردید. یک دانشجوی معماری با درک رفتار سازه‌ها می‌تواند کار طراحی خود را با تصمیم‌گیری دربارهٔ نوع و چگونگی نوع سازه در یک ساختمان خاص آغاز نماید و تصمیمات اولیه‌ای در مورد ابعاد دهانه‌ها و تناسبات اعضا به وسیله روش‌های تقریبی اتخاذ نماید. او از طریق این دانش برای درک روشهایی که با استفاده از محاسبات ریاضی چگونگی رفتار سازه را بیان می‌نمایند، آماده می‌گردد.

نقش محاسبات در طراحی سازهٔ یک بنا معمولاً بدرستی درک نمی‌شود. هر مهندس سازه در زمان ما معترف است که: " محاسبات فقط پس از تصمیمات مهم در مورد شکل و تناسبات سازه می‌تواند مؤثر باشد، زمانی که انتخاب‌ها انجام شد و مشخصات دقیقاً تعیین شده اند". هنوز اغلب کتابهای سازه‌ای کوشش برای ایجاد درک عملکرد سازه‌ای نمی‌نمایند و خواننده را بدون مقدمه به محاسبات سازه‌ای هدایت می‌کنند.

در این کتاب فولر مور(Fuller Moore) با حداقل استفاده از محاسبات ، درک تازه‌ای از چگونگی رفتار سازه ارائه می‌نماید. با اجتناب از بیان تئوری‌های پیچیده، او خواننده را به درون اجزای کابل‌ها، خرپاها، تیرها، ستون‌ها و دال‌ها برای کشف چگونگی رفتار کششی و فشاری و اثر متقابل آنها در تحمل بارهای وارده بر ساختمان در اثر نیروهای وزن، باد و زلزله سوق می دهد. روشهای پایه در نحوهٔ به کارگیری انواع مختلف سیستم‌های ساختمانی در این کتاب به صورت حسی بیان شده است، تا نه فقط به وسیلهٔ ذهن بلکه با تمامی وجود احساس شود. این راه‌حل‌ها در فصل‌های آینده در ارتباط با ساختمان های فولادی، بتنی، ساختمان‌های بنایی و چوبی و هر آنچه ما در ساختمان‌ها به‌کار می‌بریم، توضیح داده می‌شود. مسیرهایی را که بارها درون ساختمان طی می‌کنند تا به پی‌ها منتقل گردند، به نحو تحسین‌برانگیزی بیان می‌نماید. این توضیحات خواننده را به سرعت به نقطه‌ای می‌برد که وی را برای فهم دقیق چگونگی پایداری و ایستایی ساختمان آماده می سازد. مهمتر این که وی را برای شروع به‌کار به عنوان یک طراح کارامد آماده می‌سازد، توانایی که به وسیلهٔ توضیح تعداد بیشماری از نمونه‌های ساختمانی معروف که اصول کلی رفتار سازه‌ای در آنها به دقت بیان شده، آسان گردیده است.

پروفسور مور به عنوان یک مهندس معمار که نه تنها با طراحی و جزئیات و نه فقط برای ایجاد فرم و فضای مناسب، بلکه با طراحی سازه، ایجاد سیستم‌های حرارتی، نورپردازی برای تأمین سایر نیازهای طراحی آشنا می‌باشد، درک جامعی از نقش و اثرات متقابل هر یک از معیارها و جنبه‌های معماری را ارائه می‌نماید. به عنوان یک استاد با سابقه در معماری او راه خویش را بیرون از کلاس‌های درس و کارگاه‌ها، درون مجموعه‌ای از کتابهای ارزشمند که تألیف کرده است، پیدا نمود. مطالعهٔ رفتار سازه‌ای کاری مستمر و پایان‌ناپذیر است که برای خواننده دانش سازه‌ای، درک صحیح رفتار سازه‌ها و خشنودی از فراگیری این اصول را در پی خواهد داشت و هیچ دستاوردی نمی‌تواند جایگزین صفحات این کتاب گردد.

ادوارد آلن

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

مقدمه مؤلف

هدف از تألیف این کتاب درک مفاهیم اساسی در رفتار ساختمان‌ها و دستیابی به هماهنگی لازم میان طراحی معماری و سازه ساختمان‌ها می‌باشد. احساس می کنم برای هماهنگی طرح معماری و سازه درک حسی مفاهیم پایه‌ای فیزیک ضروری می‌باشد و در این راستا، به طور وسیعی روی نمودارها و تصاویر نمونه‌های ساختمانی مناسب برای کمک به خواننده جهت ایجاد درک حسی از چگونگی تأثیرات سازه در طراحی ساختمان تکیه کرده‌ام.

محدودیت‌های موجود برای تحقق چنین خط مشی با کیفیت مورد نظر را تشخیص داده‌ام. درک مفاهیم اساسی رفتار ساختمان‌ها می‌باید شرط قبلی برای مطالعات کیفی و محاسبات مهندسی باشد. همچنان‌که ماریو سالوادوری(Mario Salvadori) اشاره نموده است:" هیچ درک کاملی از سازه بدون استفاده از ابزارهای محاسباتی به دست نخواهد آمد". خوشبختانه کتاب فعلی چنین علاقه‌ای را در خواننده برمی‌انگیزد و درک پایه‌ای از مفهوم طراحی و رفتار ساختمان را برای مطالعات بعدی تأمین می‌نماید.

مطالعات موردی و انتخاب تعدادی از نمونه‌های اخیر و نیز نمونه‌های قدیمی براساس اصول کلی رفتار سازه‌ای انجام شده است. به دلیل پای‌بندی به این ضوابط و معیارها، نمونه‌های انتخاب‌شده نشان‌دهندهٔ تمایل به بیان رفتار سازه‌ای به صورت قابل درک، توجه به تأثیر زیبایی و نیز کارایی و موفقیت سازه می‌باشند. این نمونه‌ها به عنوان مثال‌های کاملاً خوب معرفی نگردیده‌اند، بلکه فقط بهترین نمونه‌ها برای بیان اصول مشخصی در رفتار سازه‌ای ساختمان‌ها می‌باشند.

فولر مور

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

تشکر و قدردانی

با نگاهی به نوشته‌ها، احساس می‌کنم برای کار طاقت‌فرسای ترسیم دوبارهٔ نقشه‌ها به دیگران مدیون می‌باشم. سعی کرده‌ام نقل قول‌ها را به طور کامل بیان نمایم ولی با وجود اختصار و کوتاهی نشان‌دهندهٔ بهره‌مند شدن از یاری و مساعدت دیگران می باشد و این فرصتی است برای قدردانی من از آنها با ذکر اسامی آنان.

شاید مؤثرترین عامل توجه اساتید، دانشجویان و همکاران من باشند. کسانی که به شکل‌گیری کتاب‌های من با الویت‌هایی که در زمینهٔ آموزش‌ها و ارائهٔ تجربیات شخصی وجود داشته است به نحو مؤثری کمک کرده‌اند. به خصوص باید از افراد ذیل که در تهیه این کتاب کمک و یاری نموده اند یاد کرد:

کریس بنتون(Cris Benton) ، تام برینر(Tom Briner)، دی دینگ(Day Ding)، کریس لابکمن(Chris Lubkeman)، میشل ملاراگنو (Michele Melaragno)، چارلی میچل(Charlie Mitchell)، دان پتینگ(Don Peting)، گانتیس پلسومز (Guntis Plesums)، جک پولتن(Jack Poulton)، جان رینولدز(John Raynolds)، سرجیو سانابریا(Sergio Sanabria)، ولفگانگ شولر(Wolfgang Schueller)، مایک اوتزینگر (Mike Utzinger)، جان ویگاند(John Weigand) و چارلز ورلی (Charles Worely).

من از همکاری فیلیپ کورکیل (Phillip Corkill) برای طرح‌های اولیهٔ وی (که با اضافه کردن مقیاس متریک دوباره ترسیم شده‌اند)، ریچارد کلوگ(Richard Kellogg) رای مدل‌های نمایشی و کریگ هنریش (Craig Henrich) برای نقل قول‌های ارائه‌شده بخش‌هایی از متن سپاسگزارم.

بازنگری نوشته ها توسط تام بایبل(Tom Bible)، مارک کروولیر (Mark Cruvellier) و رابرت بنسون(Robert Benson) انجام گرفته است، من برای تکمیل متن، توضیحات و پیشنهادات بیشمار از آنها قدردانی می نمایم.

تشکر مخصوص خود را به ادوارد آلن (Edward Allen)کسی که جزئیات متن را بازنگری کرده است و همواره مشوق و حامی من بوده است و اشتیاق خود را در تمامی مراحل تدوین این کتاب نشان داده است تقدیم می‌نمایم.

فولر مور

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

دیباچه

روند تجسم یا تصور سازه یک هنر است که به طور اساسی به وسیله تجربه درونی و درک مستقیم حاصل شده است و هرگز نتیجه ای صرفاً استدلالی و قیاسی نمی‌باشد.

" ادوارد تروجا"

تکنولوژی ساخت شاخه‌ای از علم است ولی به شکل درآوردن آن هنر می‌باشد.

" آ. رودریک میلز"

سازه و طراحی معماری جدانشدنی هستند، چه دریک سرپناهی ساده و چه در یک فضای محصور برای عبادت یا تجارت. در هر صورت ساختمان از مصالح تشکیل شده است و باید در برابر نیروهای طبیعی مانند وزن، باد و آتش مقاوم و پایدار باشد. همچنان‌که ویترویوس در روم باستان فرمان داد: معماری باید ثبات و استحکام (دوام سازه‌ای)، سودمندی و (عملکرد) جذابیت و مطلوبیت (زیبایی) داشته باشد. در میان سه عامل ذکر شده، ثبات و استحکام اصلی‌ترین معیار می‌باشد. نیاز به پایداری و دوام از طریق شیوه ساخت و ساز تأمین می گردد. این ادعا که درستی سازه‌ای برای تحقق یک معماری موفق شرط اساسی است قدری اغواکننده می‌باشد. نمونه‌های بسیاری وجود دارد که طراحان اصول کلی طراحی سازه را برای رسیدن به معیارها و ملاحظات زیبایی‌شناسانه و عملکردی نادیده گرفته‌اند، مانند آثار مجسمه‌گونه‌ای که سیستم‌های تکیه‌گاهی و یا نحوه ساخت آنها مخفی نگاه داشته شده و یا استتار شده‌اند. به طور معمول در ساختمان‌های کوچک که تأمین نیازهای سازه‌ای آنها نسبتاً ساده می‌باشد این موضوع بیشتر واقع می‌گردد. در این ساختمان‌ها نیازهای سازه‌ای به طرق مختلف، تأمین می شود که بسیاری از آنها غیرمؤثر و از نظر اصول سازه‌ای نامناسب می باشند. ولی در ساختمان‌های بزرگتر، نادیده گرفتن اصول طراحی سازه و سیستم‌های سازه‌ای که تأثیر اصلی روی عملکرد و زیبایی طرح دارند غیرممکن است. در معماری سنتی معمار به عنوان سازندهٔ اصلی ساختمان و حتی مسئول طراحی فرم کلی سازهٔ قسمت‌های اساسی ساختمان شناخته می شد. این امر به علت استفاده از سیستم‌های سازه‌ای سنتی و تجارب حاصل از ساختمان‌های قبلی بود. انقلاب صنعتی باعث گردید ساختمان‌های بزرگتر و پیچیده‌تر ساخته شود.ساختمان‌ها به دلیل استفاده از قاب فضایی و آسانسورها بلندتر شدند و به سبب استفاده از تیرها و ستون های فولادی و بتنی، نورپردازی الکتریکی و تهویهٔ مکانیکی عریض‌تر گردیدند.

نتیجهٔ این افزایش پیچیدگی در طرح و اجرای ساختمان آن بود که دیگر کل مجموعهٔ معماری، سازه، مصالح و سیستم‌های مکانیکی نمی‌توانستند توسط یک نفر طراحی شوند. معمار جای خود را به عنوان سرپرست تیم طراحی با کمک مشاورین و متخصصین فنی باز کرد. ولی به منظور تقویت نقش رهبری تیم طراحی و تحت کنترل قرار دادن طرح در تمامی مقاطع، شناخت او (معمار یا آرشیتکت) از قوانین طراحی ساختمان و سازه شرط اساسی است.

برای اثبات این امر سه دلیل وجود دارد: اول این که شناخت معمار امکان ارتباط بهتر با مشاورین را فراهم می‌سازد. ثانیاً معمار می‌تواند نظرات مشاورین را درون بخش‌های مختلف طرح منظور نماید و همراه با تکمیل، مسائل مربوط به بودجه را نیز کنترل نماید. آخرین و مهمترین دلیل اینکه، طراح می‌تواند مدارک فنی را از مراحل اولیهٔ طراحی، تا هنگامی که شکل کلی و نظم هندسی ساختمان تعیین می‌گردد، کنترل نماید.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرس

بخش یکم

نظریه سازه‌ای

تنها مطالعه نظریه‌های مربوط به پایداری سازه‌ای و دانستن روشهای محاسباتی کافی نیست. باید جزئیات را به دقت درک کرد تا بتوان به طور کامل از طریق یک روش طبیعی و حسی با تمامی مسایل مربوط به تنش و تغییر شکل آشنا شد.

" ادوارد تروجا"

http://telegram.me/uadesigngrou

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

فصل۱

علم مکانیک

محاسبات دقیق چیزی بیش از یک فکر و رؤیا نیست، ما باید تحلیل‌های واقعی برای جلوگیری از اثرات زیان‌بار و خسارات جانی انجام دهیم.

" لویی کان"

علم مکانیک شاخه‌ای از علوم طبیعی است که به جزئیات نیروها و آثار آن بر اجسام می‌پردازد و شامل دو بخش استاتیک و دینامیک است. علم استاتیک شرایط تعادل اجسام را در حالت سکون و علم دینامیک وضعیت اجسام را در حالت حرکت بررسی می‌نماید. به دلیل آنکه سازهٔ ساختمان‌ها ثابت بوده و حرکتی ندارند، عمدتاً بر اساس اصول علم استاتیک تجزیه و تحلیل می‌گردند. گرچه به علت بعضی از تأثیرات دینامیکی در ساختمان‌ها (مانند نیروی باد و زلزله) باید رفتار سازه‌ای آنها با استفاده از اصول علم دینامیک نیز بررسی گردد.

نیروها

مفهوم کلی نیروها موضوعی مهم و اساسی در مطالعهٔ رفتار سازهٔ ساختمان ها می‌باشد. نیرو عاملی است که باعث ایجاد کشش، فشار و حرکت و تراکم در اجسام می‌شود. واحد محاسبهٔ نیرو، پاوند نیرو[نیرویی که در جرمی با وزن یک پاوند شتابی برابر ۳۲/۱۷ فوت برمجذور ثانیه (ft/s^2) ایجاد نماید] می‌باشد. واحدهای جرم شامل پاوند (lb) وکیپس (KIP) که معادل هزار پاوند می‌باشد، در محاسبات مهندسی و نیز در این کتاب به کار برده می‌شود.

واحد اصلی نیرو در سیستم بین المللی آحاد (SI) نیوتن است.[نیرویی که در جرمی به وزن ۱ کیلوگرم شتابی معادل ۱ متر بر مجذور ثانیه (m/s^2) ایجاد می نماید]. یک پاوند معادل ۴/۴۴۸ نیوتن می‌باشد.

نمایش برداری

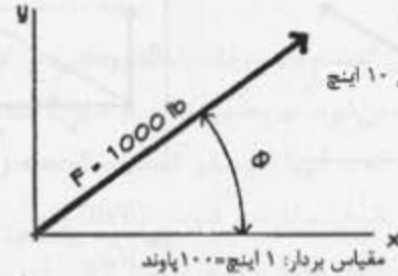
نیرو به علت داشتن بزرگی (مقدار) و جهت یک کمیت برداری محسوب می‌شود. (به عنوان وجه تمایز نسبت به یک کمیت عددی که دارای بزرگی است ولی جهت ندارد).

نیرو به صورت یک پیکان نشان داده می‌شود که جهت آن، همان جهت نیرو و طول آن معادل بزرگی (مقدار) نیرو می‌باشد (تصویر ۱-۱). راستای نیرو خطی است با طول نامحدود که نیرو در امتداد آن وارد می شود. نیرویی را که باعث حرکت یک جسم صلب می‌شود می‌توان به عنوان یک عامل مؤثر در هر نقطه از راستای (خط عمل) نیرو در نظر گرفت. این حالت انتقال‌پذیری نیرو در تصویر ۲-۱ نشان داده شده است.

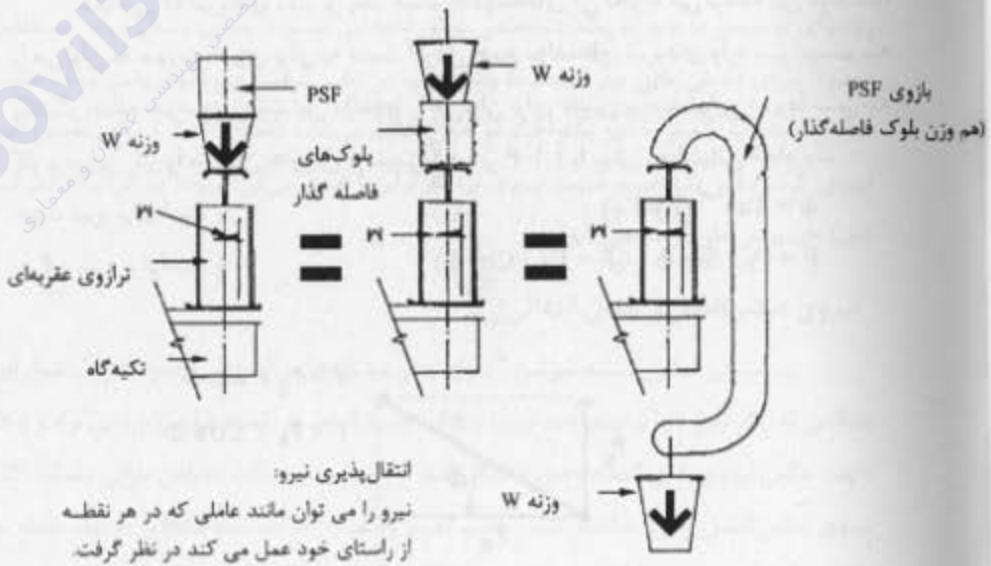
در صورتی که دو یا چند نیرو در یک نقطه تلاقی نمایند، نیروهای متقاطع نامیده می‌شوند. به علت خاصیت انتقال‌پذیری نیرو، نیروهای غیرمتقاطع و غیرموازی را می‌توان معادل نیروهای متقاطع در نظرگرفت (تصویر ۳-۱). نیروهای موازی دارای شرایط خاصی هستند که در مباحث بعدی به آنها اشاره خواهد شد.

http://telegram.me/uadesigngroup

درک رفتار سازه‌ها با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۱-۱ : نمایش برداری نیرو.



تصویر ۲-۱ : نمودار نمایش انتقال پذیری نیرو.

برآیند نیروها

هنگامی‌که راستای دو نیرو در یک نقطه متقاطع باشند، نیروی برآیند از جمع برداری دو نیروی متقاطع به دست می آید. برآیند دو نیروی غیرموازی را می‌توان به روش متوازی‌الاضلاع یعنی نمایش اندازهٔ بردارهای متقاطع بر روی دو ضلع آن به دست آورد. در این حالت برآیند دو نیرو برابر قطر متوازی‌الاضلاع می‌باشد. در صورت وجود چند نیروی اضافی دیگر تعیین نیروی برآیند به همین روش صورت می‌گیرد (تصویر ۴-۱). تعیین برآیند چند نیرو ساده‌ترین شیوه برای نشان دادن اثر چند نیرو بر روی یک جسم می باشد.

مؤلفه‌های نیرو

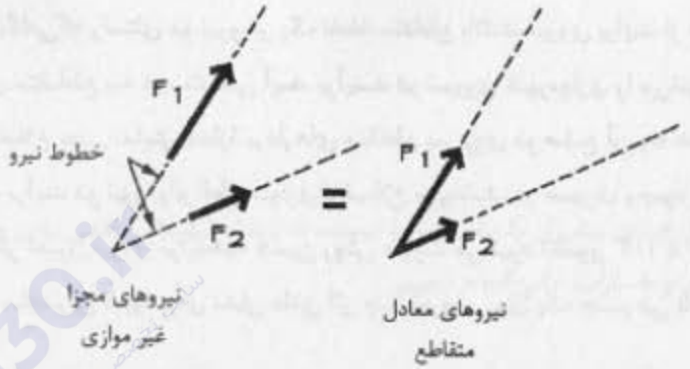
در جهت عکس روش فوق، یک نیروی منفرد را می توان به دو یا چند مؤلفه تقسیم کرد به نحوی که جمع برداری آنها برابر با همان نیروی اصلی باشد. در تحلیل اثر نیروها بر یک سازه، روش تقسیم نیروها به چند مؤلفه (در جهات مختلف) و نشان دادن آنها در سیستم مختصاتی کارتزین بسیار سودمند می‌باشد. این کار به وسیلهٔ ایجاد یک مستطیل با استفاده از نیروی اصلی انجام می‌شود. اضلاع مستطیل نشان‌دهندهٔ مؤلفه‌های نیرو و قطر آن نشان‌دهندهٔ نیروی اصلی است (تصویر ۵-۱).

در صورتی که امکان تجزیهٔ نیرو به مؤلفه‌هایی وجود داشته باشد، توابع و روشهای مثلثاتی برای محاسبهٔ مؤلفه‌های آن به کار برده می شود. برای مثال، نیروی F را می توان به دو مؤلفه در امتداد محورهای x و y به صورت زیر تجزیه کرد:

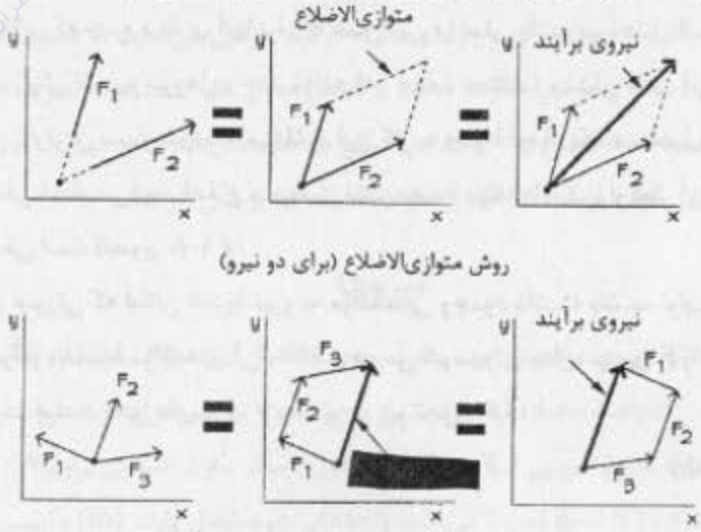
$F_x = F(\cos\phi)$ $\qquad$ $F_y = F(\sin\phi)$

http://telegram.me/uadesigngroup

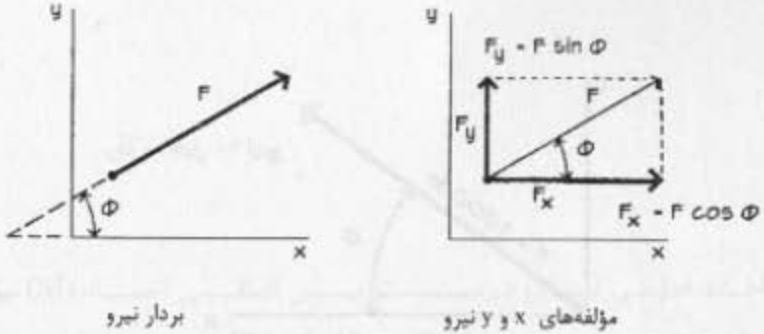
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۳-۱ : نیروهای مجزای غیرموازی و نیروهای معادل متقاطع.



تصویر ۴-۱ : روشهای تعیین برآیند نیروهای چندتایی.

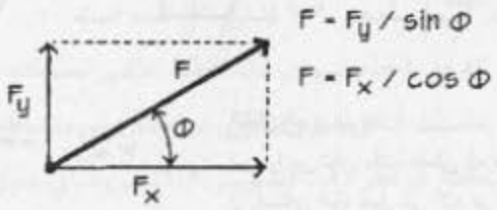


تصویر ۵-۱ : تجزیه نیرو به مؤلفه‌های آن در جهت عمودی و افقی.

هنگامی که نیروهای مؤثر بر یک جسم به مؤلفه‌های آن تجزیه می‌گردند، این مؤلفه‌ها را می‌توان به صورت جبری برای به دست آوردن جمع مؤلفه‌های نیروهای وارد بر جسم به یکدیگر اضافه نمود. در نهایت این مؤلفه‌ها را می‌توان برای تعیین برآیند نهایی نیروها نیز به کار برد. این کار را می‌توان به روش ترسیمی (تصویر ۶-۱) یا روش محاسباتی انجام داد.

جهت نیرو برابر است با: $\phi = \text{Tan}^{-1} (Fy/Fx)$

بزرگی نیرو برابراست با: $F = Fy / \text{Sin}\ \phi$ (یا $F = Fx / \text{Cos}\ \phi$)



تصویر ۶-۱ : ترکیب مؤلفه برای تعیین نیروی برآیند.

http://telegram.me/uadesigngroup

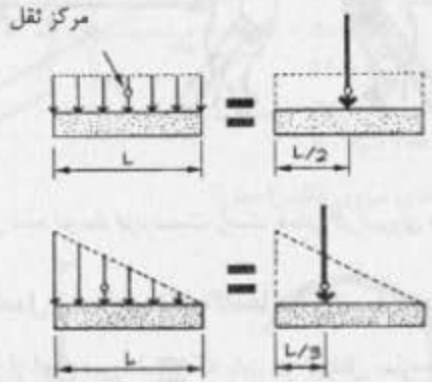
نیروهای گسترده

نیروهایی که در بخش گذشته توضیح داده شد، نیروهای متمرکز (که بر یک نقطه از جسم وارد می گردند) نامیده می‌شوند. نیروها می توانند به صورت گسترده در یک طول یا در یک سطح معین عمل نمایند که به آنها نیروهای گسترده گفته می شود. واحد نیروهای گسترده وارد شونده بر طول یک جسم پاوند بر فوت (lb/ft) [نیوتن برمتر(N/m)]و واحد نیروهای گستردهٔ وارد بر یک سطح پاوند برفوت مربع(lb/ft^2) [نیوتن برمترمربع(N/m^2)] می‌باشد.

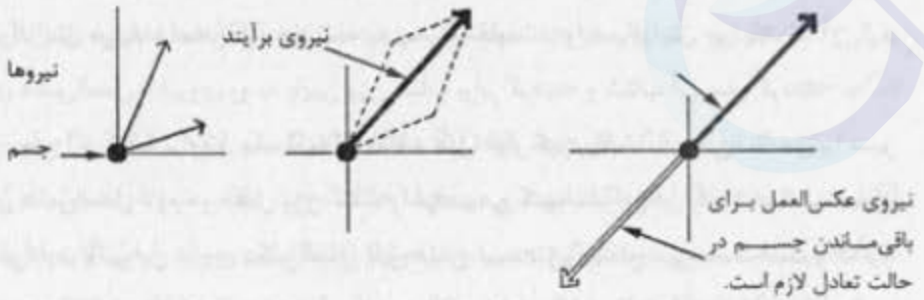
نیروهای گسترده می‌توانند یکنواخت و یا غیریکنواخت باشند و به طور معمول در روشهای ترسیمی به صورت یک چندضلعی نشان داده می شوند. برای مثال یک مستطیل معمولاً برای نشان دادن بار گستردهٔ یکنواخت در نظر گرفته می‌شود، ولی یک مثلث نمایش‌دهندهٔ بار گستردهٔ غیر یکنواخت در طول جسم می‌باشد (تصویر ۷-۱). برای تعیین اثر نیروی گسترده بر یک جسم صلب، نیروی برآیند برابر با جمع بزرگی نیروها در گرانیگاه (مرکز ثقل) جسم در نظر گرفته می شود.

نیروی عکس‌العمل و تعادل انتقالی

بر اساس قانون سوم نیوتن:" برای هر عمل عکس‌العملی وجود دارد". بنابراین هنگامی‌که یک نیرو (یا برآیند چند نیرو) بر یک جسم اثر می کند، باید نیرویی برابر و در جهت عکس نیروی عمل‌کننده وجود داشته باشد تا جسم در حالت تعادل باقی بماند. اگر نیروی عکس‌العمل وجود نداشته باشد، جسم تغییر وضعیت خواهد داد(جابجایی از یک نقطه به نقطهٔ دیگر) که در سازهٔ ساختمان‌ها امری نامطلوب است. تصویر ۸-۱ وضعیت دو نیروی مؤثر بر یک جسم را نشان می دهد. در مقابل برآیند آنها، نیروی عکس‌العملی برای آنکه جسم در حالت سکون باقی بماند لازم است (به عبارت دیگر، شرط عدم جابجایی از یک نقطه به نقطهٔ دیگر) وجود یک نیروی عکس‌العمل برابر و در جهت عکس نیروی وارد بر جسم می‌باشد). برابری نیروی عمل وعکس‌العمل در تصویر ۹-۱ نشان داده شده است.



تصویر ۷-۱ : نیروهای گسترده و نیروهای متمرکز معادل که بر یک جسم صلب عمل می‌کنند.



تصویر ۸-۱ : دو نیرو که بر یک جسم صلب اثر می‌کنند، برآیند آنها و نیروی عکس‌العمل مورد نیاز برای باقی ماندن جسم در حالت تعادل.

http://telegram.me/uadesigngroup

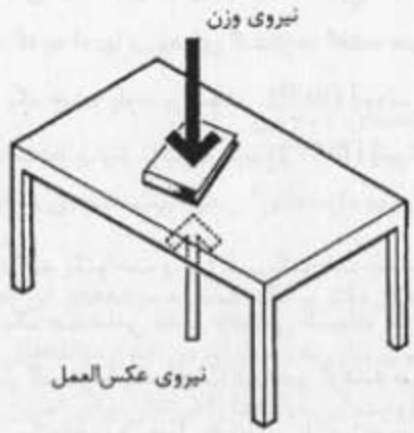
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

تصویر ۹-۱ : نیروی اعمال شده توسط فرد سمت راست همان اثر نیروی عکس‌العمل را دارد.

قانون هوک - عکس‌العمل ارتجاعی تکیه‌گاه‌ها در برابر بارهای وارده

نیروی وزن یکی از انواع نیروهاست که باید در تحلیل سازه‌ها در نظر گرفته شود. به عنوان مثال، اگر جسمی مانند یک کتاب به سمت زمین سقوط کند از آنجا که تنها نیروی وارد بر آن نیروی وزن کتاب می‌باشد و به دلیل آن که هیچ نیروی عکس‌العملی در حین سقوط در مقابل آن وجود ندارد کتاب بر زمین می‌افتد (البته، از آنجایی که سرعت سقوط کتاب افزایش می‌یابد، اصطکاک‌ایجاد شده به وسیلهٔ مقاومت هوا هم افزایش می یابد تا آن که نیروی عکس‌العمل با نیروی رو به پایین وزن کتاب برابر گردیده و شتاب آن صفر گردد).

ولی اگر کتاب بر روی یک تکیه‌گاه (مانند میز) قرار گیرد، ثابت باقی می‌ماند. زیرا میز نیروی عکس‌العمل لازم در مقابل وزن کتاب را فراهم می کند، بنابراین آن را به حالت تعادل نگاه می‌دارد. تأثیر این نیروی عکس‌العمل قابل دیدن نیست زیرا سطح میز سخت است و تأثیر نیروی وزن کتاب بر آن دیده نمی شود. ولی در واقع سطح بالای میز دارای قابلیت ارتجاعی است و به طور خیلی جزئی تغییر شکل میدهد، مانند یک فنر در زیر بار وزن کتاب. هنگامی که کتاب روی میز قرار داده می‌شود، میز با وزنی معادل وزن کتاب فشرده می شود و یک نیروی عکس‌العملی برای باقی ماندن میز در حال تعادل لازم است(تصویر ۱۰-۱).



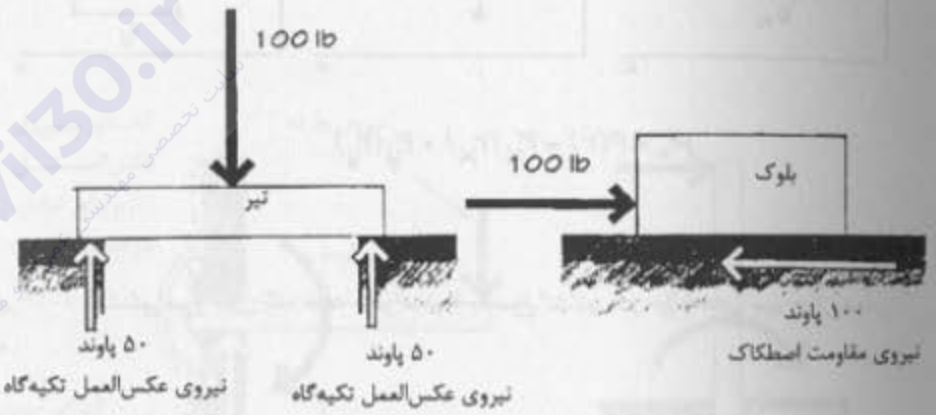
تصویر ۱۰-۱ : سطح میز در اثر نیروی عکس‌العمل فنری شکل آن وزن کتاب را تحمل می‌کند. این قانون در قرن هفدهم میلادی به وسیلهٔ رابرت هوک (Robert Hook) بیان گردید، که بحثی اساسی و مهم در ارتباط با اثر متقابل نیروها و پیچش در سازهٔ ساختمان‌ها و نیز خاصیت ارتجاعی مصالح می‌باشد.

تحلیل تعادل انتقالی

مفهوم قرارگیری اجسام در حالت تعادل در تحلیل سازه ها بسیار اساسی و مهم می‌باشد. در بالا اشاره شد که در آنالیز نیروها باید آنها را به مؤلفه‌های x و y و z در مختصات کارتزین

http://telegram.me/uadesigngroup

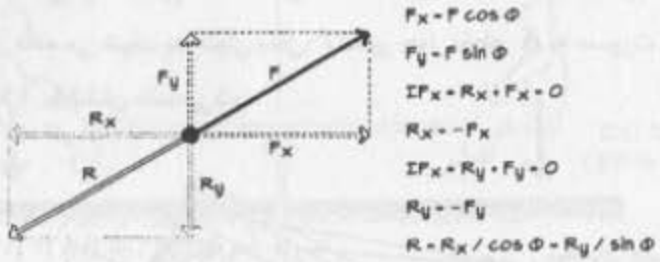
تجزیه کرد. به منظور قرار داشتن اجسام در حالت تعادل انتقالی، جمع جبری بردارهای نیرو و عکس‌العمل آن در هر سه بعد دستگاه مختصات باید برابر صفر باشد $\Sigma F_z = 0$ و $\Sigma F_y = 0$ و $\Sigma F_x = 0$ (تصویر ۱۲-۱).



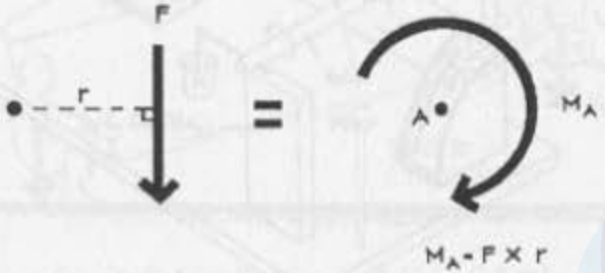
تصویر ۱۱-۱ : در تعادل انتقالی، مجموع نیروها در هر بعد باید برابر صفر باشد

گشتاور

گشتاور نیرو تمایل آن برای ایجاد چرخش در جسم می‌باشد. گشتاور نیرو (معمولاً به گشتاور واقعی اشاره می‌شود) در یک نقطهٔ معین در یک سازه برابر است با فاصلهٔ عمودی نقطهٔ مورد نظر تا راستای نیرو ضربدر بزرگی نیرو (تصویر۱۳-۱). بنابراین، اثر یک گشتاور به طور مداوم بدون در نظر گرفتن محل اعمال آن ثابت باقی می‌ماند (تصویر۱۴-۱).



تصویر ۱۲-۱ : محاسبهٔ مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل



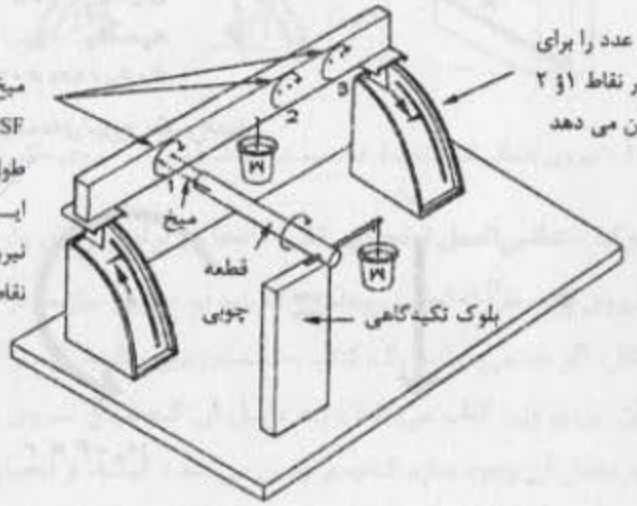
تصویر ۱۳-۱ : گشتاور یک نیرو حول یک نقطه برابر است با فاصلهٔ عمودی نقطهٔ مورد نظر ضربدر بزرگی نیرو.

واحد اندازه‌گیری گشتاور فوت پاوند (ft . lb)و فوت کیپس (ft . Kp) و در سیستم SI نیوتن متر (N.m) است. گشتاور نیرو در جهت خلاف ساعت ، مثبت و در جهت حرکت عقربه‌های ساعت، منفی در نظر گرفته می‌شود (تصویر ۱۵-۱). این مساله را می توان با قانون دست راست نیز بیان کرد: اگر دست راست را طوری قرار دهید که انگشت اشاره جهت چرخش را نشان دهد، انگشت شست نشان‌دهندهٔ گشتاور می‌باشد(جهت رو به بالا مثبت و رو به پایین منفی). تعیین جهت مثبت و منفی اختیاری است، در هر صورت نتیجه کار یکسان است. گشتاور حول یک نقطهٔ معین به صورت تئوری به شکل یک بیکان دایره‌ای حول یک

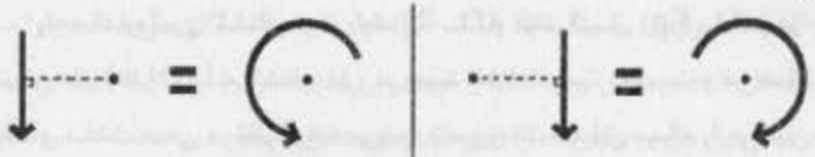
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

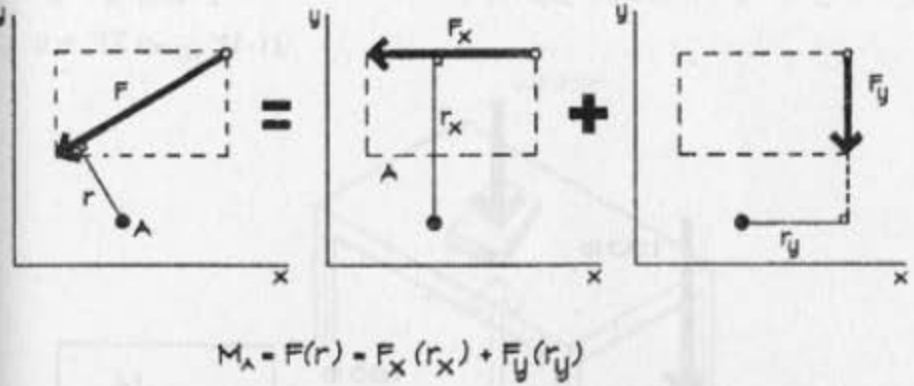
نقطه نشان داده می‌شود.گشتاورها با علامتی که مشخص‌کنندهٔ نقطه یا محور محل چرخش می‌باشد نشان داده می شوند. به عنوان مثال، گشتاور حول نقطه A به صورت M_A و گشتاور حول محور x با M_x نشان داده می‌شود.



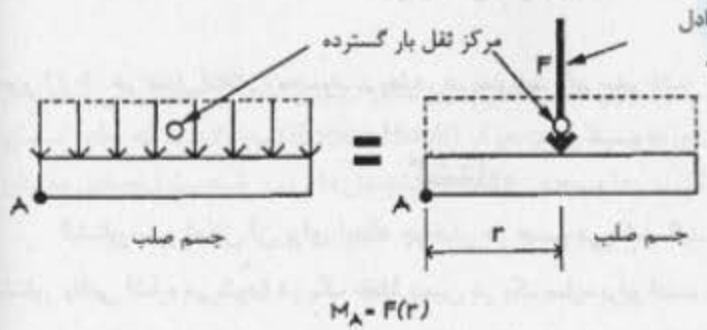
تصویر ۱۴-۱ : مدل نشان‌دهندهٔ اثرات یک گشتاورکه بدون ارتباط با محل اعمال در یک جسم ثابت باقی می‌ماند.



تصویر ۱۵-۱ : علامت‌های قراردادی گشتاور.



تصویر ۱۶-۱ : گشتاور نیرو حول یک نقطه برابر است با مجموع گشتاورهای مؤلفه‌های نیرو حول همان نقطه.

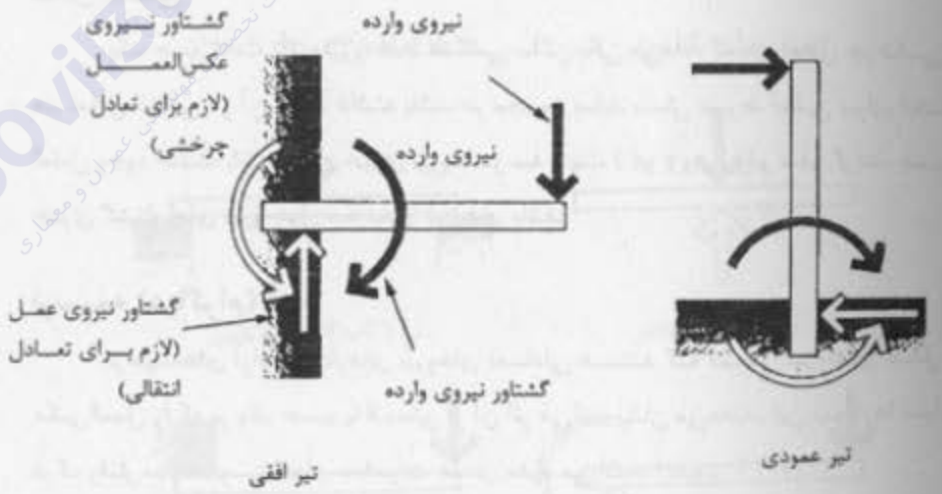


تصویر ۱۷-۱ : گشتاور یک بار گسترده.

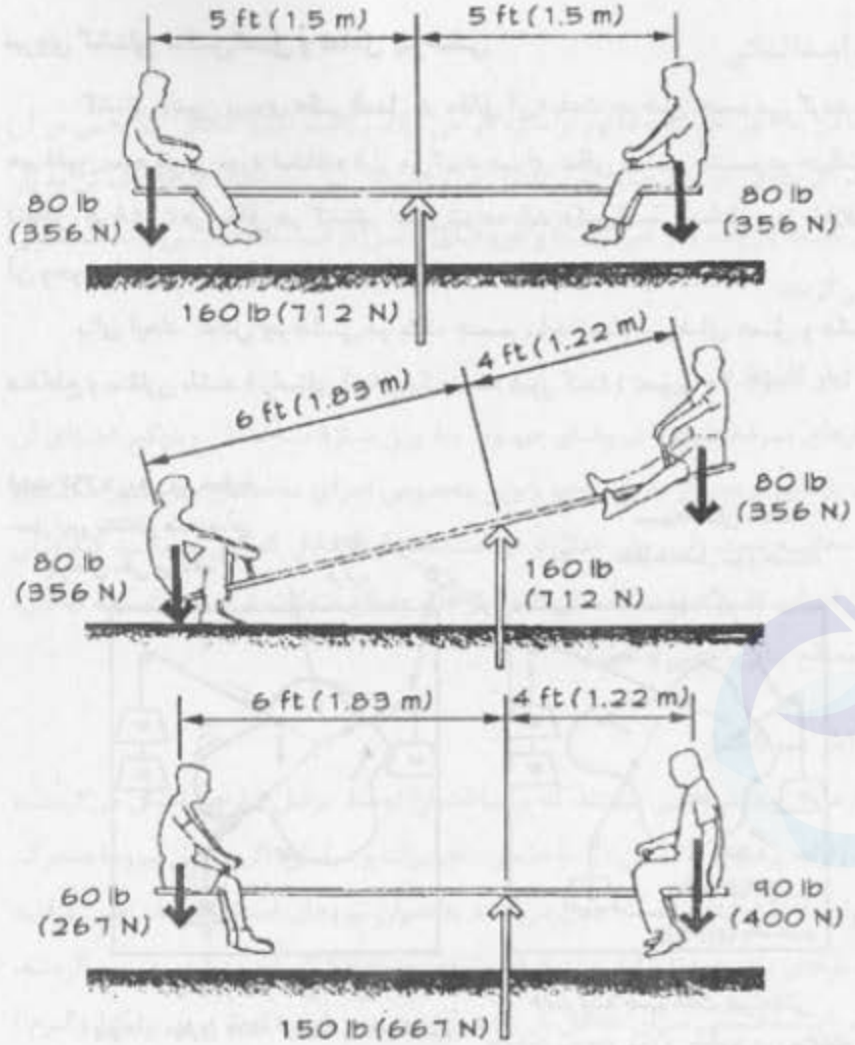
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

گشتاور نیروها معمولاً به وسیلهٔ مشخص کردن گشتاور مؤلفه‌های آن حول محورهای x و y و z تعیین می‌گردند. گشتاور نیرو حول یک نقطه برابر با جمع جبری گشتاور مؤلفـه‌های آن نیروست (تصویر ۱۶-۱). از آنجایی که بار گستردهٔ یک نیروی متمرکز معادل در گرانیگاه جسم است، گشتاور یک بار گسترده برابر گشتاور نیروی متمرکز معادل آن می‌باشد (تصویر ۱۷-۱).



تصویر ۱۸-۱ : تعادل چرخشی- برای باقی ماندن جسم در حالت سکون، گشتاور عکس‌العمل مشابه و معادل گشتاور نیروی وارده مورد نیاز می‌باشد.



تصویر ۱۹-۱ : بیان چگونگی ایجاد تعادل در الاکلنگ با ترکیب وزن‌ها(نیرو) و محل قرارگیری نقطهٔ اتکا (فاصله).

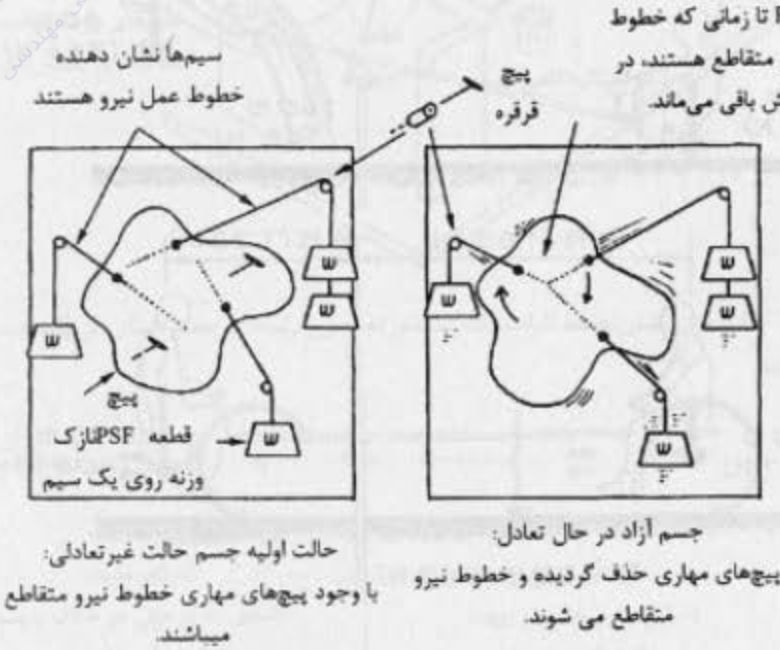
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

نیروی گشتاور عکس‌العمل و تعادل چرخشی

گشتاور (بدون نیروی عکس‌العمل در مقابل آن) باعث چرخش جسم می گردد. در اینجا هم قانون سوم نیوتن مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای باقی ماندن جسم در حالت سکون (تعادل چرخشی) در مقابل هر گشتاور اعمال‌شونده باید عکس‌العملی معادل و در خلاف جهت آن وجود داشته باشد(تصاویر ۱۸-۱ و ۱۹-۱).

برای ایجاد تعادل چرخشی در یک جسم باید تمام نیروهای عمل و عکس‌العمل متقاطع و متقارن باشند (راستای آنها از یک نقطه عبور کند) (تصویر ۲۰-۱).



تصویر ۲۰-۱ : وجود نیروهای متقارن به عنوان شرط ایجاد تعادل

تحلیل تعادل چرخشی

همانند تعادل انتقالی، مفهوم تعادل چرخشی نیز در تحلیل سازه‌ها بسیار اساسی و مهم است. تحلیل گشتاورها نیاز به تعیین مؤلفه‌های آن در تمامی نیروهای عمل و عکس‌العمل دارد. برای رسیدن به تعادل چرخشی باید جمع جبری تمام مؤلفه‌های گشتاورها حول محورهای x و y و z در مختصات کارتزین برابر صفر گردد.

$$\Sigma M_x = 0 \quad و \quad \Sigma M_y = 0 \quad و \quad \Sigma M_z = 0$$

تعادل تجمعی

یک جسم تحت تأثیر نیرو، فقط هنگامی ساکن باقی می‌ماند که هم تعادل چرخشی و هم تعادل انتقالی در آن وجود داشته باشد. در مجموع باید شش شرط اصلی برای ایجاد تعادل وجود داشته باشد: جمع جبری نیروها در سه جهت (x و y و z) برابر صفر گردد، جمع جبری گشتاورهای نیرو حول سه محور نیز صفر باشد.

ترسیمه (دیاگرام) آزاد

ترسیمه‌های آزاد، نمودارهای نیروهای تعادلی هستند که تمامی نیروهای عمل و عکس‌العمل را که بر یک جسم یا قسمتی از آن اثر می‌کند نشان می‌دهند. این نمودارها برای درک رفتار سازه‌ها و نیز انجام محاسبات عددی مفید می‌باشند (تصویر ۲۱-۱).

بارهای وارد بر ساختمان‌ها

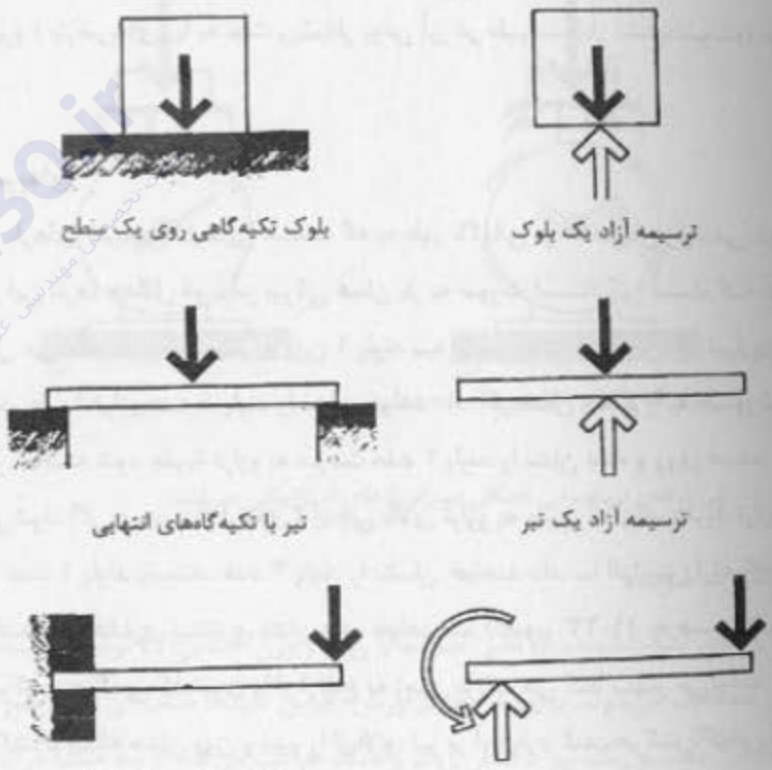
آثار هنری هرگز به وسیله محاسبات خلق نمی‌شوند.

" ادوارد تروجا"

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

بارها نیروهایی هستند که بر سازه از طریق وزن خود یا از عوامل و منابع خارجی دیگر وارد می‌شوند. بارها می‌توانند به صورت استاتیک(ساکن) یا دینامیک (متحرک)باشند.



تصویر ۱-۲۱ : نمودارهای جسم آزاد

بارهای استاتیکی

بارهای ساکن به طور آهسته و مداوم بر سازه اثر می‌کنند و باعث تغییر شکل تدریجی در آن می‌گردند. اگر میزان بار زیاد باشد تغییر شکل در ساختمان نیز زیاد است. بارهای ساکن به بار مرده (بار ثابت)، بار زنده (بار غیرثابت) و نیروهای ناشی از انبساط حرارتی و نشست پی تقسیم می‌گردند.

بار مرده (بار ثابت)

بارهای مرده، نتیجهٔ نیروهای مربوط به وزن سازهٔ ساختمان و دیگر اجزای آن می‌باشند. بارهای مرده را از طریق حجم و وزن مخصوص اجزای ساختمان به طور مستقیم می توان محاسبه نمود، ولی روش عملی‌تر آن استفاده از جداول کمکی می‌باشد که درآن واحد وزن اجزای کف و سقف ساختمان‌ها با ساز ها و مصالح متفاوت درج شده است (بتنی، فولادی، مصالح بنایی، چوبی و غیره).

بار زنده (بار غیرثابت)

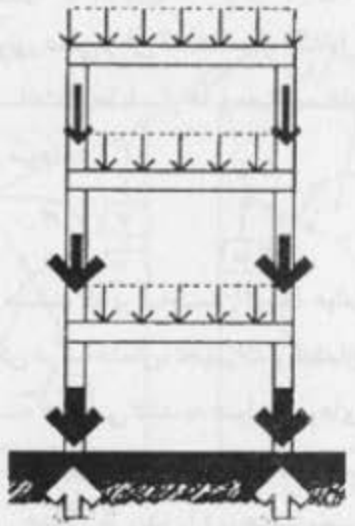
بارهای زنده، نیروهایی هستند که بر ساختمان توسط عوامل خارجی اعمال می‌گردند مانند باد، زلزله، برف، افراد ساکن در ساختمان، تجهیزات و مبلمان. اگرچه این نیروها متحرک هستند، ولی به علت اینکه آهسته عمل می‌کنند به عنوان نیروهای استاتیکی در نظر گرفته می‌شوند. بارهای زنده عمدتاً شامل وزن افراد، مبلمان، مواد انبارشده و بار برف می‌گردند. بیشتر مقررات ساختمانی میزان حداقل بار زنده را (برحسب پاوند / فوت مربع یا کیلوگرم / مترمربع) برای بام‌ها، طبقات و سطوح بر اساس عملکرد ساختمان (مترجم) تعیین می نمایند. به طور معمول، شدت و مقدار بار وزن هنگامی‌که از میان ستون‌ها و دیوارهای باربر به سمت پی میرود افزایش می یابد (تصویر ۲-۲۲).

http://telegram.me/uadesignghroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

بعضی از انواع نیروهای ناشی از باد در عمل ساکن هستند مانند جریان یکنواخت آئرودینامیکی باد در اطراف ساختمان. از آنجا که این جریان‌ها به شکل و فرم ساختمان و نیز سرعت و جهت باد بستگی دارد، پیش بینی عملکرد نیروی باد بسیار مشکل می باشد. به همین دلیل، در طراحی سازه نیروی باد تقریباً به صورت بار زندهٔ گسترده که به طور عمودی بر سطح ساختمان عمل می‌کند در نظر گرفته می‌شود.

بقیهٔ انواع نیروی باد در زیر گروه بار زنده قرار می‌گیرند، که براساس شرایط اقلیمی و آب و هوای محلی منطقه به وسیلهٔ ضوابط ساختمانی تعیین می شوند.



تصویر ۲۳-۱ : تجمع بارهای استاتیکی، رو به پایین در ارتفاع یک ساختمان.

بارهای دینامیکی (متحرک)

بارهای دینامیکی، نیروهایی هستند که به سرعت تغییر می‌نمایند. تغییر سریع و طبیعی این بارها می‌تواند سبب بعضی از رفتارهای غیرمعمول در ساختمان گردد، که اگر پیش‌بینی نشوند موجب خرابی ساختمان می‌گردد. بارهای دینامیکی می‌توانند به علت اعمال ناگهانی نیرو (بارضربه‌ای) یا به علت ریتم‌دار بودن آن در طبیعت (بار تشدیدشونده) خطرناک باشند.

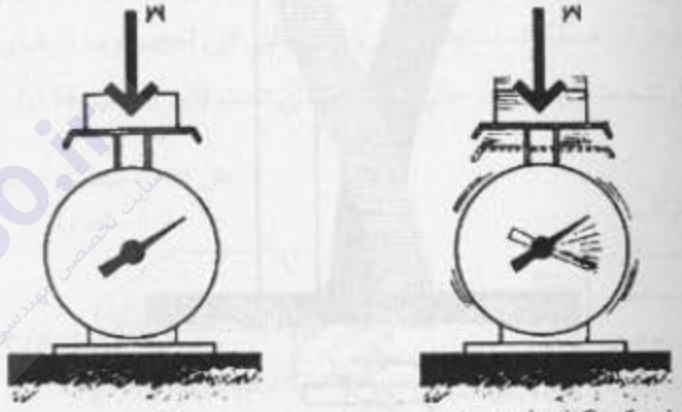
بارهای ضربه‌ای

بارهای ضربه‌ای، بارهایی هستند که به طور ناگهانی بر ساختمان وارد می شوند. اثر دینامیکی این بارها حداقل دو برابر بزرگی همان بار به صورت استاتیکی است که آهسته و بطئی عمل می‌کند. اگر یک جسم به وزن ۱ پاوند به طور آهسته روی یک ترازوی فنری جابجا شود، عقربهٔ ترازو عدد ۱ پاوند را نشان خواهد داد. اگر همان جسم را به طور ناگهانی روی ترازو گذاشته شود عقربهٔ ترازو به سرعت عدد ۲ پاوند را نشان داده و روی عدد ۱ پاوند متوقف می‌شود. اگر جسم را از ارتفاع ۳ اینچی بالای ترازو به پایین اندازید، عقربهٔ ترازو قبل از آنکه روی عدد ۱ پاوند بایستد، عدد ۴ پاوند را نشان خواهد داد. با افزایش ارتفاع، سرعت افزایش یافته و بار فشاری بیشتری نشان داده خواهد شد (تصویر ۲۳-۱). به همین دلیل یک ماشین تیرکوب هنگامی که تیری را از ارتفاع به زمین پرتاب می کند بهتر می‌تواند آن را در خاک فروکند تا اینکه همان وزن و نیرو را ازبالای تیر بر آن وارد کند. حرکت ناگهانی لایه‌های زمین که نوعی بار ضربه‌ای است، در زیر ساختمان‌باعث زلزله می‌گردد. اثر آن همانند این است که یک کامیون با سرعت زیاد ناگهان ترمز کند. چرخ‌های کامیون به طور ناگهانی متوقف می شوند، اما گشتاور ماند (اینرسی) بخش بالایی و سنگین کامیون هنوز تمایل به ادامهٔ حرکت دارد. بار موجود [illegible] می ریزد. به

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

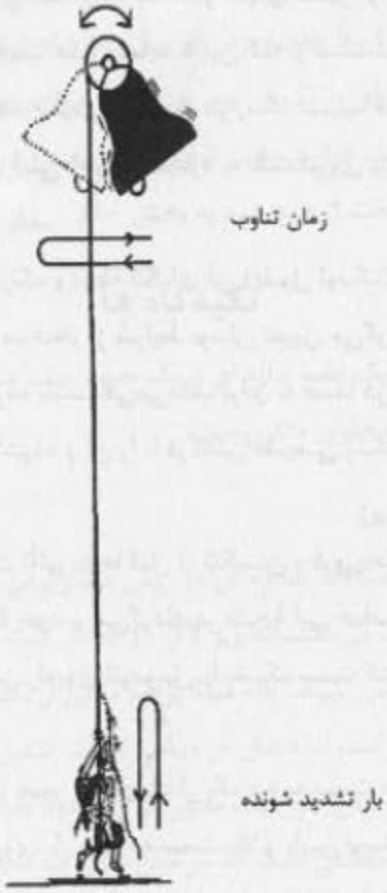
طور مشابه، هنگامی که زمین در اثر زلزله به طور ناگهانی حرکت کند، پی ساختمان نیز یکباره شروع به ارتعاش و حرکت خواهد کرد، ولی حجم بالایی ساختمان تمایل به سکون داشته سبب می‌شود که پی تحت تأثیر نیروهای بسیار شدید قرار گیرد.



تصویر ۲۳-۱ : اثر بارهای دینامیکی حداقل دوبرابربارهای استاتیکی می‌باشد.

بارهای تشدید شونده

بارهای تشدیدشونده، بارهایی هستند با ریتم و وزن خاص، با نوسان طبیعی سازهٔ ساختمان هماهنگ می‌شوند. برای به صدا درآوردن ناقوس کلیسا، طناب آن را به صورت ریتم دار حرکت می دهند و زنگ نیز با همان ریتم وآهنگ حرکت می‌کند تا به صدا درآید. خادم کلیسا با یک یا چندبار کشیدن طناب با فواصل زمانی متفاوت و غیرهماهنگ به چنین نتیجه‌ای دست نخواهد یافت. باید کشیدن طناب با فرکانس طبیعی زنگ هماهنگ شود.



تصویر ۲۴-۱ : برای به صدا درآوردن زنگ باید طناب آن را به صورت نوسانی و هماهنگ رو به پایین با فرکانس طبیعی زنگ کشید.

برای درک عمیق‌تر موضوع، باید بدانیم هنگام به نوسان درآمدن زنگ چه اتفاقی می‌افتد. زنگ مانند یک آونگ عمل می کند، هنگامی‌که زنگ به انتهای یک سمت از دامنهٔ

http://telegram.me/uadesigngroup

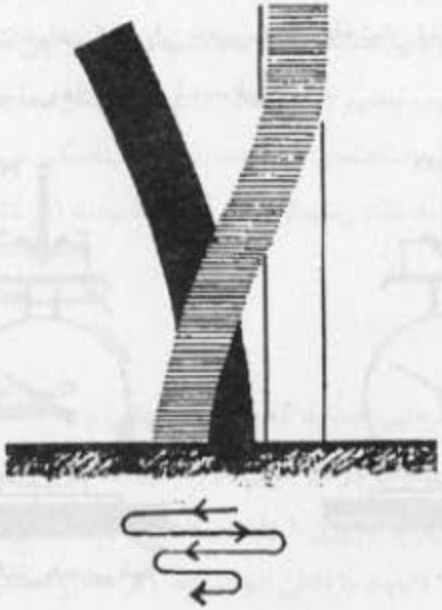
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

نوسان خود می‌رسد، حرکت آن کند می‌گردد تا در انتهای مسیر قوسی‌شکل خود متوقف شود و شروع به شتاب گرفتن در جهت عکس نماید تا این که از قسمت پایین مسیر خود عبور نماید. پس از توقف در آن نقطه، اینرسی موجود در زنگ سبب حرکت مجدد آن در مسیر منحنی‌شکل ودر خلاف جهت قبلی (حرکت دوباره به علت نیروی وزن) می‌گردد تا آنکه متوقف شود و حرکت‌های قبلی ادامه یابد.

فاصلهٔ بین مرکز ثقل زنگ و نقطهٔ اتکای آن (طول آونگ) فرکانس طبیعی زنگ را تعیین می‌نماید. این فرکانس صرفنظر از شرایط نوسان تعیین می‌گردد و این نوسان تا زمانی که نیروی وزن زنگ تغییر نکرده باشد باقی‌می‌ماند. برای به صدا درآوردن زنگ، خادم کلیسا باید طناب را به بالا و پایین کشیده و آن را با فرکانس طبیعی زنگ هماهنگ نماید(تصویر ۱-۲۴).

تمام ساختمان ها تحت تأثیر بارها قبل از شکستن و فروریختن حالت ارتجاعی دارند و پس از برداشتن به حالت اولیهٔ خود بر می‌گردند.در نتیجهٔ این خاصیت ارتجاعی، ساختمان‌ها تمایل به نوسان دارند. اگر آنتن رادیوی اتوموبیل را به یک سمت کشیده و رها کنیم، به عقب و جلو نوسان خواهد کرد.

یک آسمانخراش بعد از عبور جریان باد از یک سو به سمت دیگر نوسان می کند. پس از عبور یک کامیون سنگین از روی پل ، پل به سمت بالا و پایین نوسان می کند. زمان لازم برای حرکت آزاد و نوسان سازه بستگی به اندازه و سختی آن دارد که فرکانس طبیعی آن نامیده می‌شود. اگر اثر دینامیکی زمین لرزه با فرکانس طبیعی ساختمان هماهنگ شود تأثیر آن برابر خواهد شد (در مقایسه با نیروی استاتیکی برابرآن) (تصویر ۱-۲۵).



تصویر ۱-۲۵ : اگر اثر دینامیکی زمین لرزه با فرکانس طبیعی ساختمان هماهنگ شود ،تأثیر آن چند برابر خواهد شد.

در شرایطی مشابه، ارتعاش ماشین‌آلات و دستگاه‌ها در ساختمان ها ممکن است با نوسان طبیعی ساختمان هماهنگ شده و نوسان را افزایش دهد. طبقات، دیوارها، ستون ها، پی‌ها و حتی کل ساختمان ممکن است با یک بار نسبتاً کم ولی با زمان تناوب زیاد فروبریزد (تصویر ۱-۲۶).

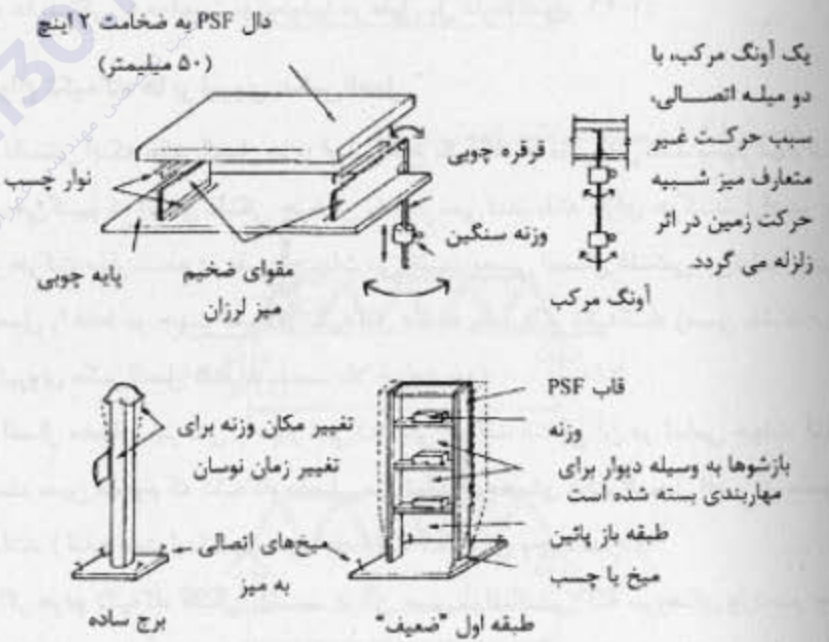
نیروی باد همچنین می‌تواند نوسانی با اثرات آئرودینامیکی ایجاد نماید. این اثر را می‌توان به وسیلهٔ دمیدن هوا به لبهٔ یک کاغذ که باعث بالا و پایین رفتن آن می‌شود اثبات

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

کرد. اگر این حرکت نوسانی با فرکانس طبیعی سازه تشدید شود، اثر آنها ممکن است سبب تغییر شکل‌های نامطلوب شود یا موجب افزایش میزان تخریب ساختمان گردد.

یک چنین ارتعاشات تشدیدشونده‌ای ممکن است به وسیلهٔ جریان هوای تنظیم‌شونده که احجام بزرگ را به قسمت بالای ساختمان به وسیلهٔ فنر متصل می‌کند ، کاهش یابد. حرکت نسبی این احجام در اثر اصطکاک استهلاک می‌یابد. ارتعاش این احجام با بارهای دینامیکی وارد بر ساختمان تشدید می شود در حالی که ساختمان تحت تأثیر این نیروها قرار نمی‌گیرد.



تصویر ۲۶-۱ : اثر زمین لرزه بر روی مدل‌های ساختمانی را می‌توان با استفاده از یک میز لرزان مطالعه نمود.

یک نمونهٔ واقعی از تخریب سازه ای با نوسان آئرودینامیکی، ریزش پل معلق تاکوما نروز (Tacoma Narrows) بود. علت ریزش این پل وزش باد غالب با سرعت نسبتاً کم و یکنواخت بر فراز سطح سازه‌ای باریک آن بود. پل با یک حرکت پیچشی شروع به نوسان نمود. نوسانات در مدت شش ساعت افزایش یافت تا اینکه یک بخش ۶۰۰ فوتی از بدنهٔ پل به داخل جریان آب در زیر آن فروریخت (رجوع شود به بخش ۱۰).

تکیه‌گاه ها

تکیه‌گاه اتصال بین یک عضو سازه ای و یک جسم صلب می‌باشد که تقویت‌کننده‌ای را برای سازه فراهم می‌سازد(به عنوان مثال زمین).

انواع شرایط تکیه‌گاه ها

تکیه‌گاه ها و نیز اتصالات سازه ای در روش مهارکردن و یا امکان ایجاد حرکت چرخشی و یا انتقالی متفاوت می‌باشند(تصویر ۲۷-۱). اتصال ثابت بسیار محدودکننده است: چرخش و انتقال هردو مهار می شوند. پایهٔ میلهٔ پرچم مثالی از تکیه‌گاه ثابت است. اتصال مفصلی چرخش را مهار نمی‌کند، اما انتقال در تمامی جهات کنترل می شود. لولا نمونه‌ای از تکیه‌گاه مفصلی است که چرخش حول یک محور در آن وجود دارد: اتصال در تریلر (بوشن یا توپی) مثالی از یک تکیه‌گاه مفصلی است که چرخش حول سه محور امکان‌پذیر است.

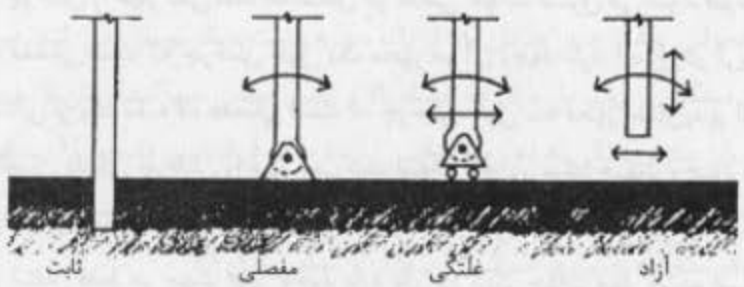
اتصال غلتکی چرخش را مهار نمی‌کند، انتقال آزاد در یک جهت وجود دارد ولی در بقیهٔ جهات مهار شده است. تک‌چرخ نمونه‌ای از اتصال غلتکی است، چرخش آزاد در تمام جهات و انتقال فقط در جهت افقی وجود دارد ولی در دیگر جهات مهار شده است. مقاومت اصطکاکی آن که باعث لغزش در یک جهت می‌گردد باعث می‌شود که به عنوان اتصال مفصلی در آن جهت عمل کند. چرخ کوچک زیر پایهٔ یک صندلی، یک اتصال غلتکی ضعیف‌تر

http://telegram.me/uadesigngroup

می‌باشد: حرکت چرخشی آزاد در تمام جهات، حرکت انتقالی آزاد در دو جهت و حرکت مهارشده در جهت سوم. وضعیت یک تکیه‌گاه آزاد اصولاً به صورت یک اتصال واقعی نیست، انتهای عضو برای انتقال و چرخش در تمام جهات آزاد است. این تکیه‌گاه حداقل تعداد عوامل مهارکننده را در اتصالات نسبت به بقیه تکیه‌گاه‌ها دارد. این عضوی است که یک سر آن ثابت و سر دیگر آن آزاد است. میلهٔ پرچم پایه‌ای عمودی است. اتصال تکیه‌گاه یک قفسهٔ دیواری نمونه‌ای از پایه افقی است.

عکس‌العمل در تکیه‌گاه ها

یک نیرو ممکن است به وسیلهٔ دو یا چند نیروی عکس‌العمل موازی درحالت تعادل نگاه داشته شود. وزن پل نیرویی در جهت پایین وارد می‌کند، هر تکیه‌گاه عکس‌العملی رو به بالا ایجاد می‌نماید: جمع جبری این عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی با وزن پل برابر است. به علت اینکه وزن پل در طول آن به طور یکنواخت توزیع می‌شود، نیروی معادل وزن پل در وسط دهانه عمل می‌کند و عکس‌العمل هر تکیه‌گاه برابر نصف وزن پل می‌باشد(تصویر ۲۸-۱).



تصویر ۲۷-۱ : انواع شرایط تکیه‌گاهی

حالت پیچیده و بغرنج هنگامی اتفاق می‌افتد که یک لوکوموتیو روی پل حرکت کند. هنگامی که لوکوموتیو شروع به حرکت می‌نماید بیشترین بار اضافی ناشی از وزن آن را تکیه‌گاهی که در نقطهٔ شروع حرکت قرار دارد تحمل می‌کند. زمانی که لوکوموتیو به وسط پل می‌رسد، عکس‌العمل های تکیه‌گاه ها برابر می‌شود و هنگامی که به انتهای پل می رسد، تکیه‌گاهی که در آن سمت قرار دارد، تمامی وزن لوکوموتیو را تحمل می‌کند. در هرحالت، جمع جبری عکس‌العمل تکیه‌گاه ها برابر جمع وزن پل و لوکوموتیو است و مقدار عکس‌العمل تکیه‌گاه ها بستگی به موقعیت لوکوموتیو در طول پل دارد(تصویر ۲۹-۱).

تأثیر انواع تکیه‌گاه ها بر نیروی عکس‌العمل

دانستن اینکه عکس‌العمل ها بر اساس نوع تکیه‌گاه ها تغییر می‌کنند بسیار مهم است. یادآوری می‌کنیم که اتصال غلتکی چرخش را مهار نمی‌کند، بلکه دارای حرکت آزاد در یک جهت و حرکت مهار شده در بقیه جهات می‌باشد. یعنی اتصال غلتکی می‌تواند نیروی عکس‌العمل را فقط در جهت عمود بر تکیه‌گاه داشته باشد (اگر تکیه‌گاه زمین باشد در آن صورت نیروی عکس‌العمل فقط به سمت بالا خواهد بود).

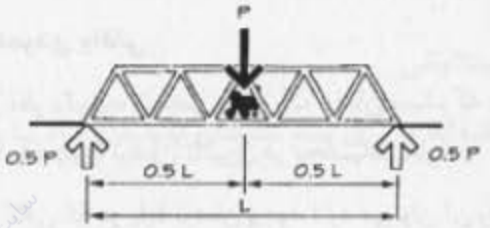
اتصال مفصلی چرخش را مهار نمی‌کند ولی حرکت انتقالی آن در تمامی جهات کنترل شده است. بدین مفهوم که تکیه‌گاه مفصلی می تواند نیروهای عکس‌العمل افقی و عمودی داشته باشد (امابه علت اینکه چرخش آزاد است گشتاوری وجود ندارد).

اگر هردو تکیه‌گاه غلتکی باشند، در آن صورت هنگامی که نیروهای وارد بر سازه عمودی باشند به حال تعادل باقی می‌ماند، اما هر نیروی وارد بر سازه از دیگر جهات باعث حرکت آن می‌گردد (زیرا تکیه‌گاه های غلتکی اجازهٔ حرکت در تمام جهات را می‌دهند). به عبارت دیگراگر هر دو تکیه‌گاه مفصلی باشند، سازه می‌تواند در برابر نیروهای جانبی مقاومت کند. این امر باعث ایجاد تنش [illegible] می گردد.

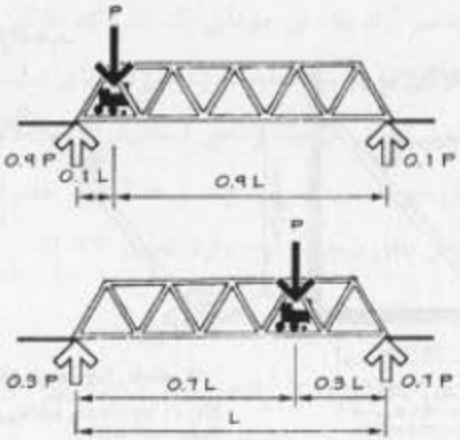
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

بنا به دلایل ذکرشده، تیرهای ساده معمولاً دارای اتصال مفصلی در یک انتها و اتصال غلتکی در انتهای دیگر می‌باشند، تا امکان تغییر شکل‌های جانبی برای انبساط حرارتی و انقباض به صورت آزاد فراهم گردد.



تصویر ۲۸-۱ : نیروهای عکس‌العمل در پل.



تصویر ۲۹-۱ : نیروهای عکس‌العمل در پل با تغییر محل لوکوموتیو تغییر می یابد.

تکیه‌گاه‌های ثابت حرکت انتقالی عمودی و افقی را مهار می‌کنند و مانع از حرکت چرخشی می‌شوند. به همین علت، تکیه‌گاه ثابت به صورت منفرد نیز استفاده می‌شود و برای تامین تعادل به هیچ تکیه‌گاهی نیاز ندارند.

نیروهای عکس‌العمل عمودی

برای محاسبه عکس‌العمل تکیه‌گاه ها در هر سازه :

۱- شرایط مهار و کنترل هر تکیه‌گاه را تعیین نمایید (یا حدس بزنید).

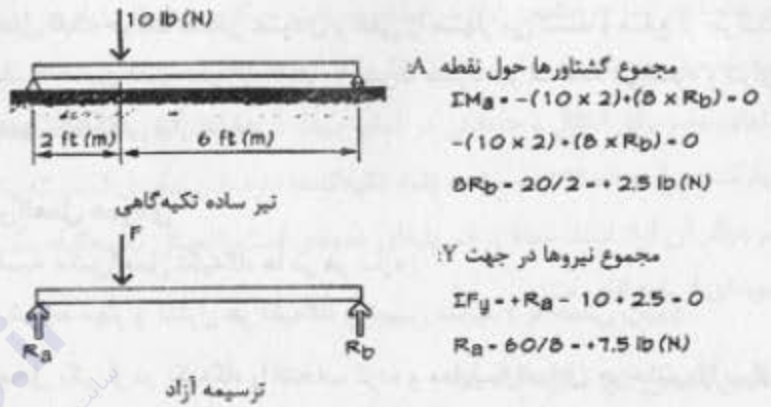
۲-محل یکی از دو تکیه‌گاه را انتخاب کرده و معادلهٔ تعادل چرخشی را برای جمع گشتاورها در آن نقطه که برابر صفر است($\Sigma M_A = 0$) برای پیدا کردن نیروی عکس‌العمل در تکیه‌گاه دیگر بنویسید. قانون دست راست را برای تعیین جهت هر یک از گشتاورها به کار برید. اینکه ابتدا کدام تکیه‌گاه را انتخاب نمایید مهم نیست. در حقیقت، گشتاورها را می‌توان حول هر نقطهٔ دلخواه محاسبه نمود. اگرچه تعیین نیروی هر یک از تکیه‌گاه ها به حل همزمان معادلات تعادل احتیاج دارد. ساده‌ترین روش انتخاب یکی از تکیه‌گاه ها برای نوشتن معادله تعادل چرخشی است.

۳-در انتها، معادلهٔ تعادل انتقالی($\Sigma F_y = 0$) را برای تعیین عکس‌العمل تکیه‌گاه دیگر استفاده نمایید. **عکس‌العمل تکیه‌گاه های پلی که در بالا توضیح داده شد را می‌توان برای موقعیت‌های مختلف لوکوموتیو در هر نقطه از پل با استفاده از معادلات** تعادل تعیین نمود(تصویر ۳۰-۱).

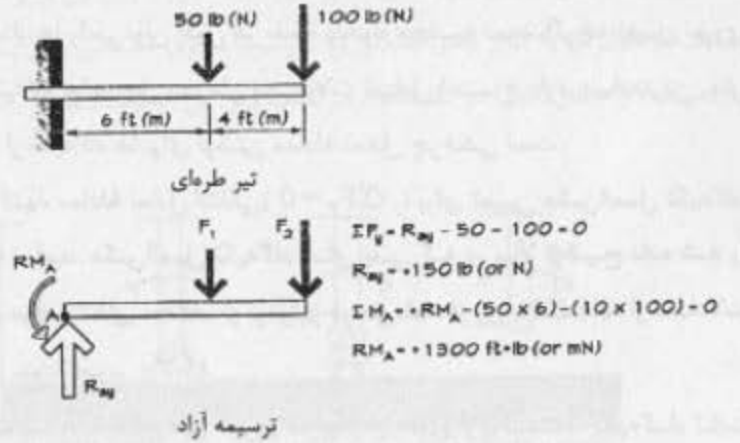
به علت اینکه تکیه‌گاه های گیردار در برابر چرخش آزاد نیستند، تکیه‌گاه ثابت دیگری برای ایجاد تعادل در سازه لازم نیست، مانند یک تیر افقی یک سر ثابت با بار گسترده یکنواخت بر روی نیمهٔ خارجی آن.(تصویر ۳۱-۱).

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۳۰-۱ : محاسبه عکس‌العمل های تکیه‌گاهی برای بارهای عمودی.



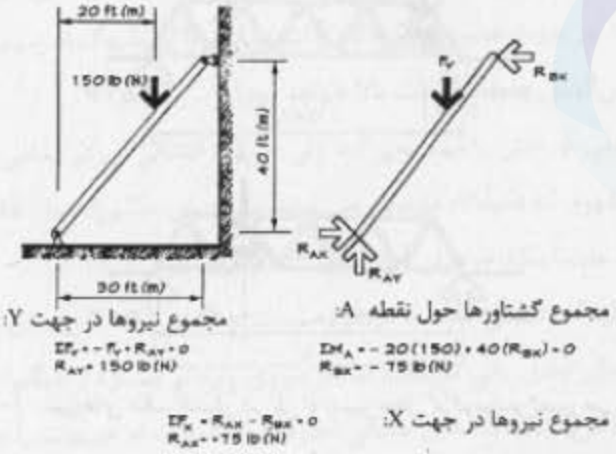
تصویر ۳۱-۱ : محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی در یک تیر طره‌ای.

به علت اینکه تکیه‌گاه های گیردار در برابر چرخش آزاد نیستند، تکیه‌گاه ثابت دیگری برای ایجاد تعادل در سازه لازم نیست، مانند یک تیر افقی یک سر ثابت با بار گسترده یکنواخت بر روی نیمهٔ خارجی آن.(تصویر ۳۱-۱).

نیروهای عکس‌العمل عمودی وافقی

مثال دیگری را در نظر بگیرید: شخصی روی یک نردبان سبک که بر دیواری تکیه دارد ایستاده است (تصویر ۳۲-۱). زاویهٔ نردبان تأثیری در محاسبات ندارد.

به دلیل اصطکاک کافی که در پایهٔ نردبان وجود دارد می‌توان آن را یک اتصال مفصلی در نظر گرفت. یک اتصال غلتکی نیز در بالا فرض کنید. تا زمانی که از بالا بار عمودی وارد نمی‌شود، هیچ نیروی عکس‌العمل عمودی در این تکیه‌گاه وجود ندارد. گشتاورهای اطراف تکیه‌گاه را جمع جبری کرده و آن را برابرصفر قرار دهید. سپس جمع جبری نیروها در جهت x و y را مساوی صفر قرار دهید.



تصویر ۳۲-۱ : محاسبه عکس‌العمل های تکیه‌گاهی عمودی و افقی برای شخصی که روی نردبان ایستاده است.

http://telegram.me/uadesigngroup

عکس‌العمل درنیروهای قطری

هر نیروی مورب و قطری را به دو مؤلفه در جهت محورهای x و y تجزیه کرده و سپس مانند مراحل بالا عمل نمایید.

سازه های نامعین استاتیکی

عکس‌العمل تکیه‌گاه ها برای تمام سازه‌های دوبعدی بالا با سه معادلهٔ تعادل قابل محاسبه می‌باشد:

$$\Sigma F_x = 0 \quad و \quad \Sigma F_y = 0 \quad و \quad \Sigma F_z = 0$$

در هر یک از مسائل بالا سه مجهول وجود دارد، اگر بیش از سه مجهول وجود داشته باشد دیگر نمی‌توان با معادلات تعادل استاتیکی آنها را تعیین نمود.

برای مثال، اگر به سر آزاد یک تیر طره‌ای یک تکیه‌گاه غلتکی اضافه شود، برای تعیین اینکه چه مقدار از بار انتهایی به وسیلهٔ مقاومت گشتاور انتهای ثابت و چه مقدار به وسیلهٔ تکیه‌گاه غلتکی اضافه شده، تحمل گردیده راه‌حل استاتیکی وجود ندارد. برای حل این مساله لازم است که تغییر شکل تیر تعیین گردد. چنین حالتی از نظر استاتیکی نامعین نامیده می‌شود و احتیاج به راه‌حل های پیچیده تری دارد(تصویر ۳۳-۱).

مکانیسم

بر عکس شرایط فوق، داشتن عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی کمتر(کمتر از سه نیروی تکیه‌گاهی) به این معنی است که سازه برای شخصی که روی نردبان ایستاده است پایداری نداشته و تمایل به حرکت و تغییر شکل دارد. چنین سیستمی مکانیسم نامیده می‌شود و هیچ‌گونه مقاومت سازه‌ای ندارد.

تصویر ۳۳-۱ : (الف) تیر طره‌ای که از نظر استاتیکی معین است، دارای سه معادلهٔ تعادل و سه مجهول (ب) تیر طره‌ای که از نظر استاتیکی نامعین است، دارای سه معادلهٔ تعادل و پنج مجهول (از نظر استاتیکی دو درجه نا معین).

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

خلاصهٔ مطالب

۱- علم مکانیک شاخه‌ای از علوم طبیعی است که در ارتباط با نیروها و اثر آنها بر اجسام بحث می‌کند.

۲- استاتیک بخشی از علم مکانیک است که در رابطه با نیروهایی که باعث تعادل اجسام می باشد، به بررسی می پردازد.

۳- دینامیک شاخه‌ای از علم مکانیک است که در ارتباط با نیروهایی که در اجسام باعث حرکت می‌گردند بررسی می نماید.

۴- کمیت عددی دارای بزرگی (مقدار) است و لی جهت ندارد.

۵- کمیت برداری هم دارای بزرگی (مقدار) است و هم دارای جهت می‌باشد.

۶- نیرو عاملی است که باعث حرکت، کشش و فشار در اجسام می شود. نیرو را می‌توان به شکل یک بردار نمایش داد که انتهای آن جهت اعمال نیرو و طول آن، بزرگی نیرو را براساس مقیاس معین نشان می دهد (مثلاً ۱ اینچ برابر ۱۰۰ پاوند نیرو).

۷- راستا (خط عمل) نیرو، خطی است با طول نامحدود که همراه با نیرو تعریف می‌گردد. نیرویی که بر جسمی صلب اثر می کند می‌تواند در هر نقطه‌ای در امتداد راستای نیرو در نظر گرفته شود.

۸- نیروهای متقاطع، نیروهایی هستند که همگی در یک نقطه با یکدیگر تلاقی می‌نمایند.

۹- برآیند نیرو، جمع برداری دو نیروی غیرموازی است.

۱۰- یک نیروی منفرد را می توان به دو یا چند مؤلفه نیرو که مجموعاً اثر نیروی اصلی را دارند تجزیه کرد.

۱۱- نیروی متمرکز بر یک نقطه و نیروی گسترده بر روی یک طول یا یک سطح از جسم اثر می‌کند. اثر نیروی گسترده روی جسم صلب را می توان با نیرویی معادل آن نشان داد.

۱۲- یک جسم هنگامی در حال تعادل است که ساکن باشد (بدون حرکت و چرخش).

۱۳- برای ایجاد تعادل یک نیروی عکس‌العمل برابر نیروی اصلی و در خلاف جهت آن لازم است.

۱۴- تعادل انتقالی به معنی عدم وجود حرکت از یک نقطه به نقطهٔ دیگر است. معادلات تعادل انتقالی به صورت زیر است: $\Sigma F_x = 0$ $\Sigma F_y = 0$ و $\Sigma F_z = 0$

۱۵- قابلیت ارتجاعی به تکیه‌گاه ها این اجازه را می دهد که هنگام اعمال نیرو از خود عکس‌العمل نشان دهند. برای مثال، هنگامی که یک کتاب روی میزی قرار گرفته، نیرویی برابر وزن خودش به میز وارد می‌کند. به علت خاصیت ارتجاعی آن، میز به طور نامحسوس تغییر شکل می‌دهد و نیرویی برابر نیروی وزن کتاب به سمت بالا وارد می نماید. این اثر به عنوان قانون هوک شناخته شده‌است.

۱۶- گشتاور نیرو تمایل اجسام برای چرخش می‌باشد. جهت مثبت گشتاور عکس جهت حرکت عقربه‌های ساعت در نظر گرفته می شود.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

۱۷- برای یک جسم در حالت تعادل چرخشی، باید هر گشتاور، عکس‌العملی برابر و در خلاف جهت داشته باشد. معادلات تعادل چرخشی به صورت زیر است:

$$\Sigma M_x = 0 \quad و \quad \Sigma M_y = 0 \quad و \quad \Sigma M_z = 0$$

۱۸- بارهای ساکن با سرعت کم و تدریجاً بر سازه اثر می‌کنند که نتیجهٔ آن تغییرشکل تدریجی سازه می‌باشد. با بزرگتر شدن بار تغییر شکل هم بیشتر خواهد بود. بارهای متحرک بارهایی هستند که باعث تغییر شکل ناگهانی می‌شوند.

۱۹- بارهای مرده (نیروهای ثابت) نیروهایی هستند که در اثر وزن ساختمان ایجاد می‌شوند. بارهای زنده (نیروهای غیر ثابت)، نیروهایی هستند که از خارج بر ساختمان اعمال می شوند مانند بار باد، برف، زلزله، وزن افراد، تجهیزات و مبلمان. بارهای تشدید شونده بارهایی هستند که دارای نوسانات مختلف بوده و با فرکانس طبیعی ساختمان هماهنگ می شوند.

۲۰- تکیه‌گاه ارتباط بین عضو سازه ای و جسم صلب است که سطح اتکایی ایجاد می‌نماید(مانند زمین).

۲۱- **اتصال ثابت بسیار محدود کننده است: انتقال و چرخش هردو مهار شده‌اند.** اتصال مفصلی چرخش را مهار نمی‌کند ولی انتقال در تمامی جهات کنترل می‌شود. اتصال غلتکی چرخش را مهار نمی‌کند، انتقال آزاد در یک جهت وجود دارد ولی در بقیه جهات مهار شده است. وضعیت یک تکیه‌گاه آزاد همیشه به صورت اتصال واقعی نیست: انتهای عضو برای انتقال و چرخش در تمام جهات آزاد است.

۲۲- پایه عضوی است که یک سر آن ثابت و سر دیگر آزاد است.

۲۳- برای حل یک سازه نامعین از نظر استاتیکی به تعداد زیادتری معادلات تعادل نیاز است.

۲۴- مکانیسم سیستمی است که در آن تعداد نیروهای تکیه‌گاهی از سه کمتر می‌باشد و در اثر نیروهای وارده تمایل به حرکت داشته و هیچ گونه مقاومت سازه‌ای ندارد.

http://telegram.me/uadesigngroup

فصل ۲
مقاومت مصالح

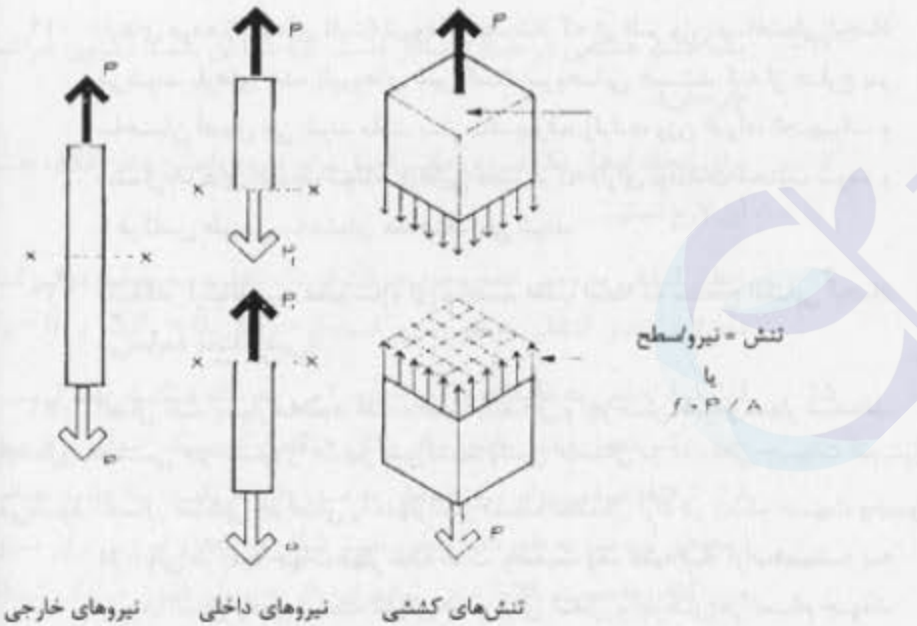
سازه چیزی نیست جز مجموعه‌ای از عکس‌العمل ها و تنش ها که در برابر نیروها با ایجاد موازنه و تعادل مقاومت می‌نماید و بنابراین باید به عنوان ترکیبی جهت‌یافته از مصالح برای رسیدن به آن هدف خاص در نظر گرفته شود.

" پیر لوئیجی نروی"

اعضای سازه‌ای در برابر نیروهای وارده به علت ترکیب مولکول‌های تشکیل‌دهندهٔ آنها می‌توانند مقاومت نمایند. اگر کابلی را از یک طرف محکم نگاه‌داشته و از طرف دیگر بکشیم، براحتی از هم جدا نمی شود. کابل به علت مقاومت داخلی در برابر کشیدگی مقاومت کرده و به طور نامحسوسی افزایش طول پیدا می کند. این خاصیت ارتجاعی کابل است که با ایجاد عکس‌العملی در مقابل نیروی کشش (تا زمانی که نیروها در طول کابل انتقال پیدا می‌کنند) مقاومت می نماید. اگر نیروی وارده بیش از مقاومت کابل باشد، کابل گسیخته خواهد شد. یک کابل ضخیم و قطور می‌تواند بار بیشتری نسبت به یک کابل نازک تحمل نماید، دلیل آن پخش نیروهای داخلی در مقطع بیشتر می‌باشد. به عبارت دیگر، تمرکز نیروی داخلی در کابل ضخیم کمتر است.

تنش

تنش عبارت است از شدت تمرکز نیروهای داخلی در یک عضو سازه‌ای (تصویر ۱-۲). این یک تعریف بنیادی برای تحلیل مقاومت اعضای سازه‌ای است. به طور ساده تر، تنش نیرو وارد بر واحد سطح است(تنش به صورت f = P / A بیان می‌شود). واحد تنش پاوند بر اینچ مربع (PSI) و پاسکال (Pa) می‌باشد (مترمربع / نیوتن = ۱ پاسکال).



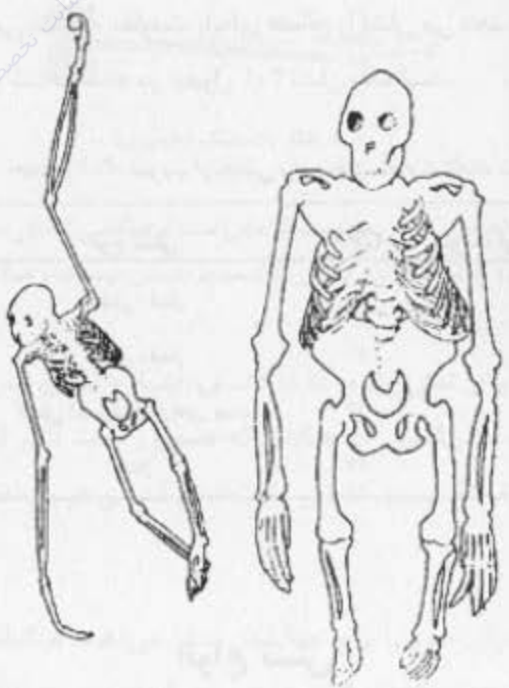
تصویر ۱-۲: نیروهای خارجی، نیروهای داخلی و تنش در یک عضو کششی.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

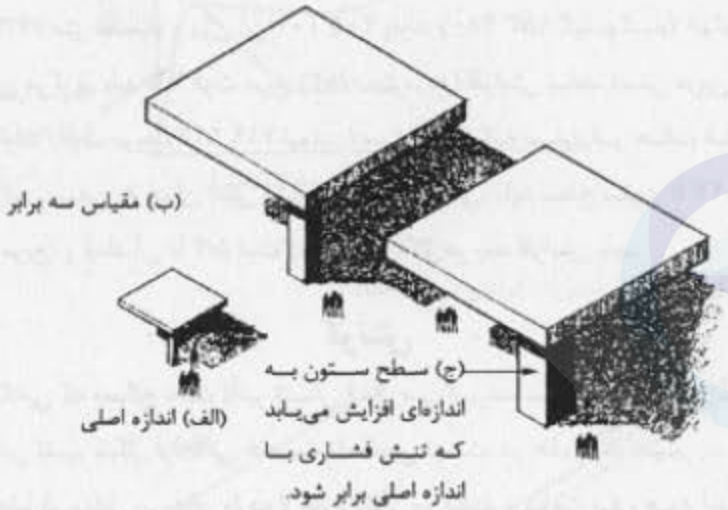
مقیاس و اثر دو-سوم

هنگامی که تمام ابعاد سازه‌ای که برای یک مقیاس مشخص طراحی گردیده اند، بزرگتر می‌شوند، نیازی نیست که تمامی اجزای آن بزرگتر شود. بارهای ساختمانی به وسیلهٔ اجزای آن، و وزن نیز به وسیلهٔ حجم مصالح تعیین می‌گردند، ولی مقاومت ساختمان به وسیلهٔ سطوح مقطع اعضای ساختمان مشخص می‌شود. هنگامی که سازه‌ای بزرگتر می شود، حجم (و بار وزن) به نسبت توان سوم افزایش می یابد، در حالی که مقاومت اعضای آن کمتر از توان دوم مقیاس افزایش خواهد یافت.



تصویر ۲-۲: اثر دو- سوم در اسکلت یک حیوان کوچک (میمون) و یک حیوان بزرگ (گوریل) که با یک مقیاس ترسیم شده‌اند.

گالیله(Galileo) برای اولین بار در سال ۱۶۳۸ میلادی متوجه این موضوع گردید. هنگامی که توضیح می‌داد اگر اسکلت حیوانی کوچک با همان شکل در بدن حیوانی که سه برابر از آن بزرگتر است قرار گیرد، چگونه به نظر خواهد رسید؟ به طور مشخص اسکلت فوق‌الذکر نمی‌تواند بار وزن حیوان بزرگتر را تحمل کند، اسکلت باید به قدری بزرگ شود تا وزن جدید را تحمل نماید. این نتیجه را می‌توان با مقایسه اسکلت حیوانات کوچک و بزرگ به دست آورد. حیوانات کوچک دارای استخوان ها نازک هستند ولی در حیوانات بزرگتر استخوان‌ها متناسباً حجیم تر و بزرگتر خواهند شد (تصویر ۲-۲).



تصویر ۲-۳: اثر دو- سوم در سازه ساختمان: (الف) سازه کوچک، (ب)سازه‌ای که تمام ابعاد آن سه برابر شده است و (ج) سازه بزرگتر با افزایش مساحت ستون، به نحوی که تنش فشاری در آن برابر سازه کوچک باشد.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

برای مثال، یک پناهگاه با فرم چتری را در نظر بگیرید(تصویر۳-۲)، که ۱۰ فوت ارتفاع(۳/۰۵ متر)، ۱۰فوت (۳/۰۵ متر) عمق، یک دال مسطح بتنی به ضخامت ۱ فوت(۰/۳۰۵ متر) و یک ستون مرکزی به مساحت ۱ فوت مربع (۰/۰۹۳ مترمربع) دارد. چگالی بتن ۱۵۰ پاوند / فوت مکعب (۲۴۰۰ کیلوگرم / متر مکعب) است. مجموع بار وارد بر ستون ۱۵۰۰۰ پاوند (۶۸۱۸ نیوتن) و تنش فشاری آن برابر ۱۵۰۰۰ پاوند / فوت مربع (۷/۳۳۱۲ نیوتن / مترمربع) است.

اگر همان ساختمان سه برابر بزرگ شود، باید هر یک از ابعاد نیز سه برابر(۳۰فوت یا ۹/۱۵ متر) گردند. ضخامت سقف نیز باید سه برابر شود. حجم دال سقف مساوی ۲۷۰۰ فوت مکعب (۷۶/۴۵ متر مکعب) و وزن آن ۴۰۵ ۰۰۰ پاوند (۱۸۳ ۴۸۰ کیلوگرم) خواهد گردید. سطح ستون مرکزی باید تا ۹ فوت مربع (۰/۸۲ مترمربع) افزایش یابد. تنش درون ستون به ۴۵،۰۰۰ پاوند / فوت مربع (۲۱۹ ۹۳۶ نیوتن / مترمربع) که سه برابر حالت قبلی است ، می‌رسد. برای رسیدن به همان تنش فشاری در حالت قبلی، باید سطح ستون تا ۲۷ فوت مربع (۲/۴۶ مترمربع) و ابعاد آن تا ۵/۲ فوت (۱/۵۸ متر) در هر بعد افزایش یابد.

کرنش

هنگامی که مصالح تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرند، به میزان جزئی تغییر شکل می‌دهند. این تغییر شکل ارتجاعی خاصیت نامطلوبی نیست. در حقیقت، تغییر شکل حالتی است که اعضا در مقابل نیروهای وارده از خود نشان می‌دهند و باعث به وجود آمدن نیروی عکس‌العمل می‌گردند. این تغییر شکل کرنش نامیده می‌شود. به طور ساده‌تر، کرنش مقدار تغییر شکل در واحد طول عضو سازه‌ای است. واحد کرنش اینچ بر اینچ (in/in) و متر بر متر(m/m) است. مصالح تحت تأثیر تنش تا حد زیادی حالت ارتجاعی دارند، به همین علت کرنش متناسب با تنش است (تصویر ۴-۲-الف). ولی اگر افزایش تنش ادامه یابد، پس از گذشتن از حد تناسب کرنش با تنش تناسبی نخواهد داشت. به عبارت دیگر، افزایش جزیی در تنش ، به میزان زیادی کرنش را افزایش می‌دهد. علاوه برآن اگر تنش حذف گردد، کرنش به طور کامل از بین نرفته و مقداری از تغییر شکل عضو باقی می ماند. این نوع رفتار، رفتار خمیری (پلاستیک) نامیده می‌شود. اگر افزایش تنش ادامه یابد، سرانجام مصالح به طور کامل فرو می‌ریزد.

ارتباط بین کرنش و تنش را می توان به صورت منحنی نیز ارائه نمود (تصویر ۵-۲). توجه داشته باشید هنگامی که کرنش با تنش نسبت مستقیم داشته باشد، شیب خط همان ضریب ارتجاعی ماده می‌باشد که مقاومت پایه‌ای مصالح را نشان می دهد. ضریب ارتجاعی در بعضی از مواد و مصالح شناخته‌شده در جدول ۱-۲ نشان داده است.

جدول ۱-۲: ضریب ارتجاعی برای چند ماده شناخته شده ساختمانی

مصالح	نوع تنش	GPA	ضریب ارتجاعی پاوند / اینچ
فولاد	کشش ، فشار	۲۰۰	۲۹،۰۰۰،۰۰۰
آلومینیوم	کشش ، فشار	۷۰	۱۰،۰۰۰،۰۰۰
الوار چوب (چوب نرم)	کشش (به موازات تارهای چوب)	۱۴	۲،۰۰۰،۰۰۰
بتن	فشار	۲۷	۴،۰۰۰،۰۰۰

انواع تنش

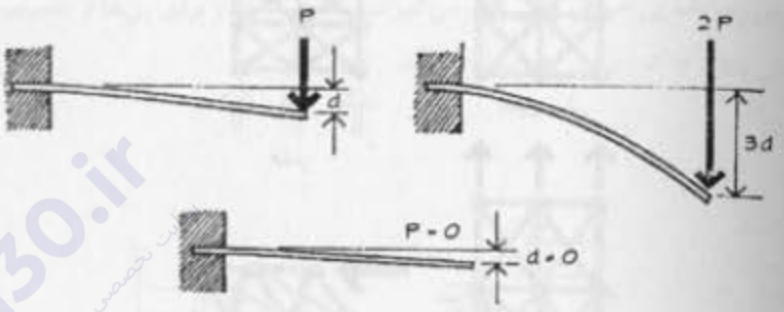
نظم برایندی از تناسبات قابل مشاهده است.

" لویی کان"

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

(الف) رفتار الاستیک (ارتجاعی)



(ب) رفتار پلاستیک (خمیری)

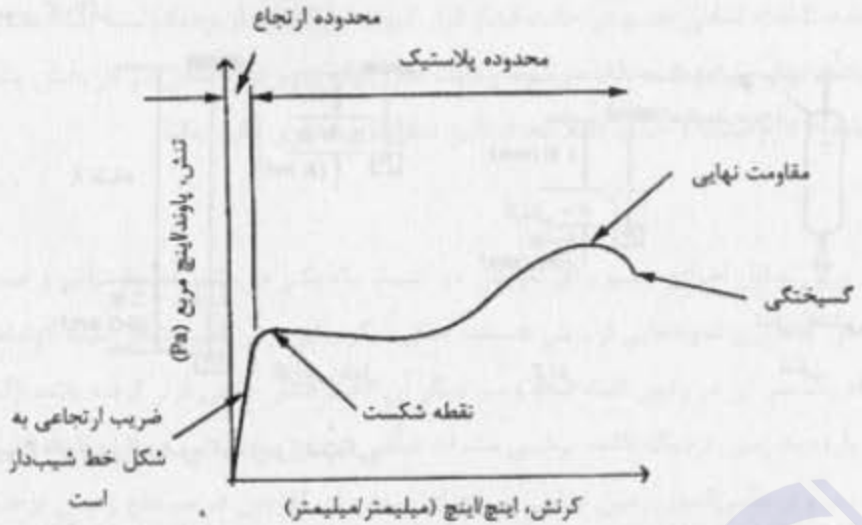
تصویر ۲-۴: (الف) رفتار ارتجاعی: کرنش متناسب با تنش است و هنگامی که بار حذف شود عضو به حالت اول برمی گردد. (ب) رفتار خمیری: کرنش متناسب با تنش نیست و هنگامی که بار حذف شود عضو به حالت اول برنمی گردد.

سه حالت اصلی برای تنش وجود دارد: کشش، فشار و برش. این اصطلاحات برای توضیح نیروهای وارده و عکس‌العمل آنها هنگامی که عضوی را تحت تأثیر قرار می دهد نیز به کار می‌رود (تصویر ۶-۲). مثلاً نیروی کششی باعث تنش کششی در یک عضو می‌گردد.

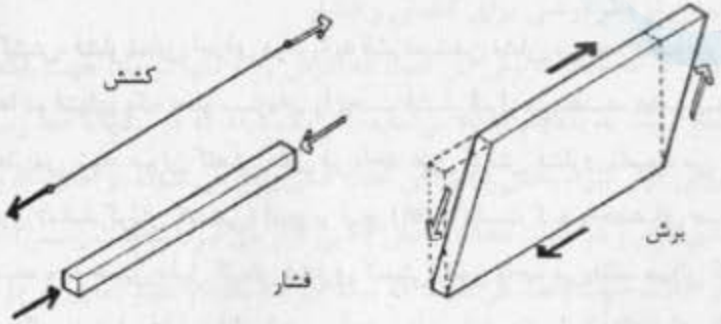
کشش

کشش تمایل اجزای جسم را برای جدا شدن نشان می‌دهد. هنگامی که دو سر یک عضو سازه‌ای در جهات مختلف کشیده شود، جسم به طور نامحسوسی تحت کشش قرار می‌گیرد (کشیده می شود). مقدار کشیدگی در واحد طول، کرنش کششی نامیده می شود.

واحد کرنش اینچ بر اینچ (in/in) یا میلیمتر بر میلیمتر (mm/mm)می‌باشد، که واحدهای صورت و مخرج با یکدیگر حذف می‌گردند و به همین دلیل کرنش کمیتی بدون واحد است.



تصویر ۲-۵: مثالی از نمودار تنش –کرنش در یک ماده.

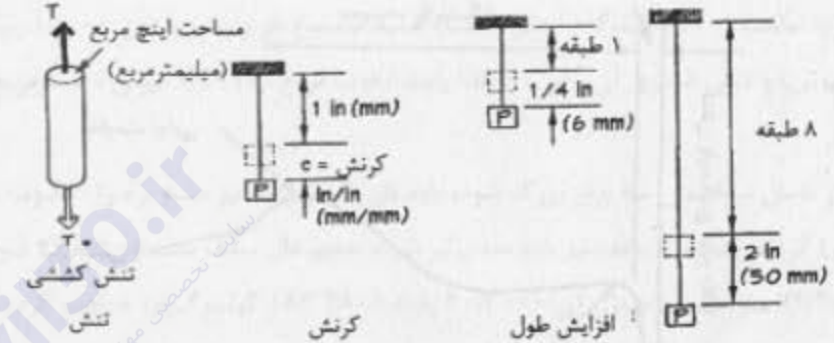


تصویر ۲-۶: نیروی تولید کننده کشش، فشار و برش.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

میزان کشیدگی یک عضو به تنش (بار وارد بر واحد سطح مقطع)، طول (اعضای بلندتر بیشتر کشیده می‌شوند) و جنس مصالح (مواد سخت‌تر کمتر کشیده می شوند) بستگی دارد (تصویر ۷-۲).

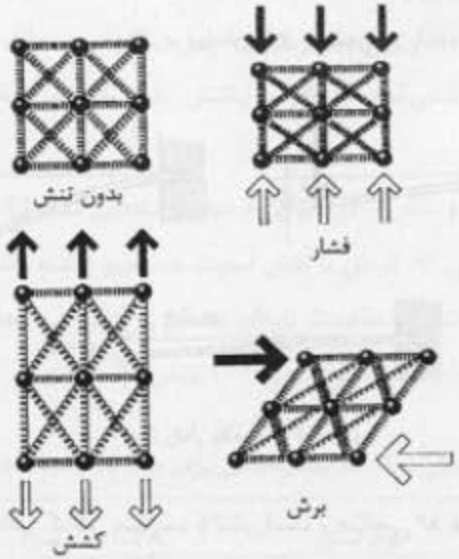


تصویر ۷-۲: تنش کششی، کرنش و کشیدگی.

فولاد ماده‌ای با مقاومت بی نظیر در برابر کشش می‌باشد: زنجیرهای فولادی، کابل‌ها و میله‌های توپر به طور معمول به عنوان اعضای کششی در ساختمان‌ها به کار می‌روند.

فشار

برعکس کشش، فشار تمایل اجزای مواد را به فشرده شدن نشان می‌دهد (تصویر ۸-۲). هنگامی که نیروها دو انتهای یک عضو سازه‌ای را تحت فشار قرار می‌دهند، عضو به طور نامحسوسی کوتاه‌تر می شود. میزان کاهش طول در واحد طول کرنش فشاری نامیده می شود. واحد کرنش فشاری (مانند کرنش کششی) اینچ بر اینچ (in/in) است که واحدهای صورت و مخرج حذف گردیده و به همین دلیل کرنش فشاری کمیتی بدون واحد می‌باشد. میزان کاهش طول یک عضو بستگی به تنش فشاری(بار وارد بر واحد سطح مقطع)، طول (اعضای بلندتر، بیشتر کاهش طول پیدا می‌کنند) و جنس مصالح (مواد سخت‌تر کمتر کاهش طول پیدا می‌کنند) دارد.



تصویر ۸-۲: مدل مولکولی که ذرات ماده را هنگامی که تحت تأثیر تنش قرار دارند نشان می دهد.

کفش اسکی و پی

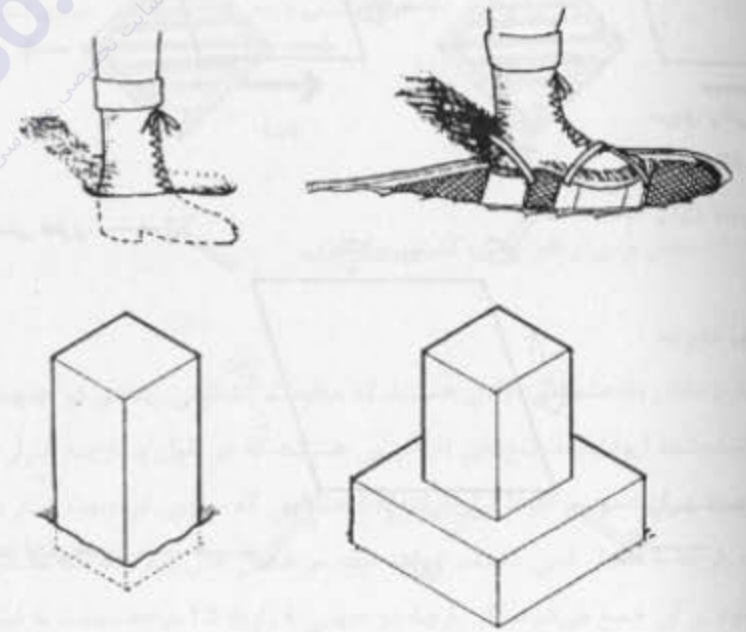
راه‌رفتن روی برف به علت فرورفتن در آن مشکل و سخت است، به این معنی که تنش (فشار) زیر چکمه‌ها بیشتر از تنش مجاز برف (ظرفیت برشی) می‌باشد. میزان تنش را می‌توان به وسیلهٔ پوشیدن کفش‌های اسکی کاهش داد. با افزایش سطح، تنش کاهش می‌یابد (تصویر ۹-۲).

ستون‌ها و دیوارهای باربر به طور معمول برای انتقال بار ساختمان‌ها (بار کف و سقف) به تکیه‌گاه‌ها (پی‌ها) مورد استفاده قرار می‌گیرند. مادامی که بارهای عمودی ساختمان‌ها افزایش می یابند، مقاومت مصالح ساختمانی شناخته شده و متداول برای دیوارها و ستون‌ها (مانند

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

چوب، فولاد و بتن) به اندازهٔ کافی افزایش می‌یابد تا تنش فشاری ناشی از بارهای متمرکز را تحمل نماید. در نهایت خاک زیر پی باید بارها را تحمل نماید و به همین علت همواره مقاومت مجاز خاک در طراحی ستون‌ها و دیوارها در نظر گرفته می شود. مشابه کفش‌های اسکی، ستون‌ها برروی یک پی عریض بتنی قرار می‌گیرند. سطح موردنیاز برای پی‌ها از تقسیم بار وارد بر پی تنش مجاز خاک زیر پی به دست می آید.



تصویر ۲-۹: کفش‌های اسکی و پی‌های سطحی به عنوان روشهای کاهش تنش‌های فشاری.

قانون یک سوم وسط

هنگامی که عضوی تحت فشار قرار می گیرد، محل اثر بار وارده باید در نزدیکی مرکز عضو باشد تا آنکه تمامی جسم در حالت فشار قرار گیرد. قرارگیری بار نزدیک لبهٔ یک ستون کوتاه باعث فشار در جهت مخالف می‌شود. رعایت قانون یک سوم (وارد شدن بار در بخش یک سوم مقطع) لازم است تا جسم کاملاً تحت تأثیر تنش‌های فشاری باقی بماند.

برش

برش تمایل اجزای جسم برای لغزیدن در کنار یکدیگر می‌باشد.نحوهٔ تأثیر و عمل قیچی‌های کاغذبری نمونه‌هایی از برش هستند. مثال دیگر برای برش تغییر شکل میلهٔ کوتاهی است که یک سر آن در زمین ثابت شده و سر دیگر آن تحت فشار جانبی قرار گرفته باشد. اگر نیروی وارده به زمین نزدیک باشد، برشی مشابه تأثیر قیچی به سبب نیروی وارده اتفاق می‌افتد. نیروی عکس‌العمل زمین تمایلی در اجزای میله برای لغزیدن در سطح زمین بوجود می‌آورد. اگر نیرو از سمت بالا وارد شود، همان حالت برشی در طول میله اتفاق می‌افتد و سعی در تغییر شکل به متوازی‌الاضلاع وجود دارد.

معادل بودن از نظر برشی برای کشش و فشار

یکی از خصوصیات برش این است که لغزش را نه تنها در یک جهت بلکه در دو جهت با زاویهٔ قائمه نسبت به یکدیگر ایجاد می‌نماید. اگر یک میله که در نزدیک خط زمین قرار گرفته، تحت نیرویی قرار گیرد، بخش بالایی آن تحت تنش واقع می شود، در حالی که بخش پایین آن تحت تنشی برابر و در جهت مخالف بخش بالایی قرار می‌گیرد(مقاومت زمین). این دو نیروی برابر و در خلاف جهت باعث می شوند که میله حرکت نکند و عضو تمایل به چرخش پیدا کند.

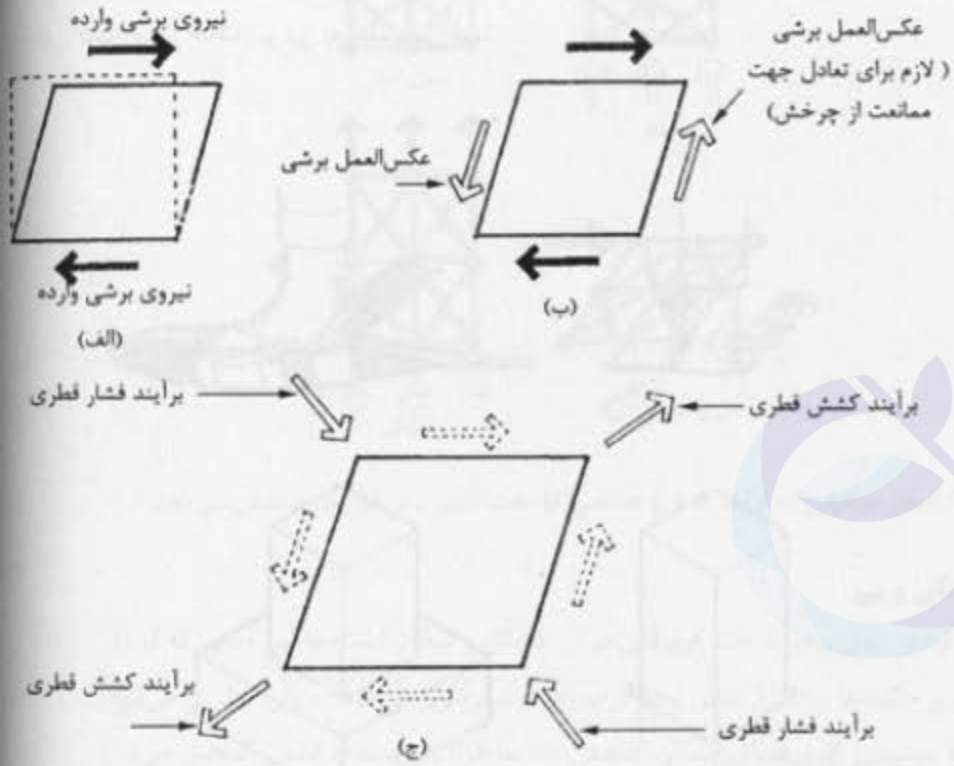
http://telegram.me/uadesigngroup

برای اینکه جسم در حال تعادل باقی بماند، وجوه مقابل هم باید مجموعه‌ای از تنش‌های برشی را تحمل نمایند، تا تمایل به چرخش خنثی گردد.

ترکیب نیروهای برشی افقی و نیروهای عمودی تشدیدشونده باعث می‌شود که جسم مربع‌شکل تمایل به تغییر شکل به متوازی الاضلاع پیداکند. تنش‌های کششی در طول قطر بزرگتر و تنش‌های فشاری درطول قطر کوچکتر و در جهت مخالف اتفاق می افتد. این دلیل آن است که چرا هرگاه تنش برشی در یک عضو اتفاق می‌افتد، ایجاد کشش و فشار تحت زاویه ۴۵ درجه (نسبت به نیروهای وارده نیروهای تشدیدشوندهٔ اصلی) می‌گردد (تصاویر ۱۰-۲ و ۱۱-۲). تمایل تنش برشی برای ایجاد به کشش و فشار تحت زاویه ۴۵ درجه را می‌توان هنگامی که یک ستون بتنی فروریختن یک دال بتنی را در برش تحمل می‌کند به خوبی مشاهده نمود. بخش بالای ستون تمایل به سوراخ کردن به صورت دال مخروطی با زاویه ۴۵ درجه دارد (تصویر ۱۲-۲). به طور مشابه، یک ستون کوتاه از مصالح شکننده مانند بتن هنگامی که تحت تأثیر نیروهای فشاری قرار می‌گیرد، تمایل به گسیختگی دارد. قسمت بالا و پایین ستون در اثر برش مخروطی ۴۵ درجه خراب خواهد شد: مخروط ها مانند گوه‌هایی برای شکافتن مابقی مصالح عمل می‌کنند (تصویر ۱۳-۲).

تنش برشی مشابه تنش های کششی و فشاری محاسبه می شود: تنش برشی برابر است با نیروی برشی تقسیم بر سطحی که تحت تأثیر برش قرار می‌گیرد ($N = P / A$) واحد تنش برشی پاوند بر اینچ مربع و نیوتن بر مترمربع است (تصویر ۱۴-۲). کرنش برشی تغییر زاویه ای است که باعث می‌گردد یک جسم مربع‌شکل به متوازی‌الاضلاع تغییر شکل دهد. این زاویه (g) معمولاً با رادیان اندازه گرفته می شود (که بدون واحد است).

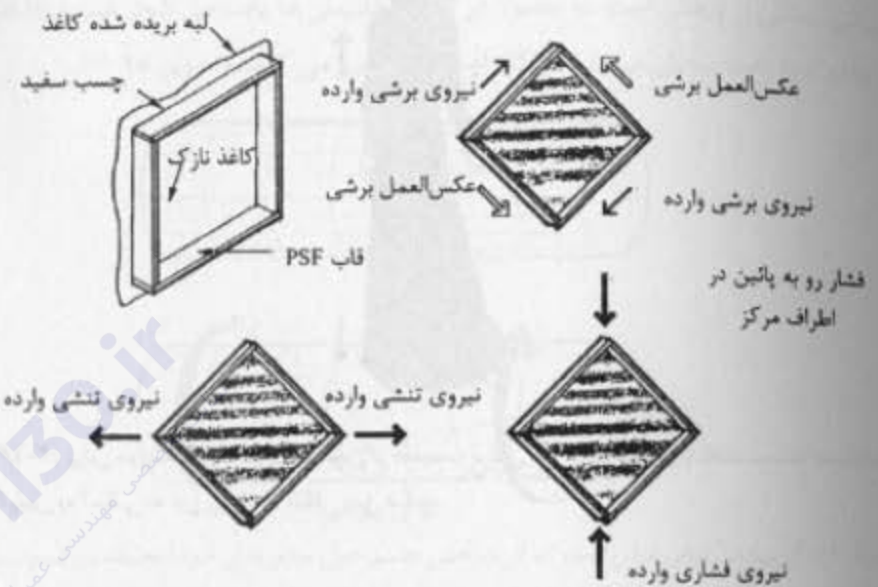
برای هر نوع مادهٔ ساختمانی، اگر کرنش برشی اندازه‌گیری‌شده در مقابل تنش برشی واردشده ترسیم گردد، منحنی تنش – کرنش برشی به دست می آید. برای مقادیر کوچک برش، قانون هوک صحیح می‌باشد و کرنش به طور خطی متناسب با تنش بوده، منحنی تنش – کرنش در ناحیه ارتجاعی یک خط مستقیم خواهد بود، همانند منحنی‌های مشابه برای تنش‌های کششی و فشاری، شیب قسمت خطی منحنی نشان‌دهندهٔ ضریب ارتجاعی در برش (Shear Modulus) می‌باشد. ($G = N / g$) (تصویر ۱۵-۲).



تصویر ۱۰-۲: معادل بودن از نظر برشی، کششی و فشاری در یک عضو مربع شکل: (الف)برش عمودی، (ب) برش عمودی با عکس‌العمل افقی مورد نیاز برای ایجاد تعادل چرخشی (ج) برآیند ۴۵ درجه کشش و فشار.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

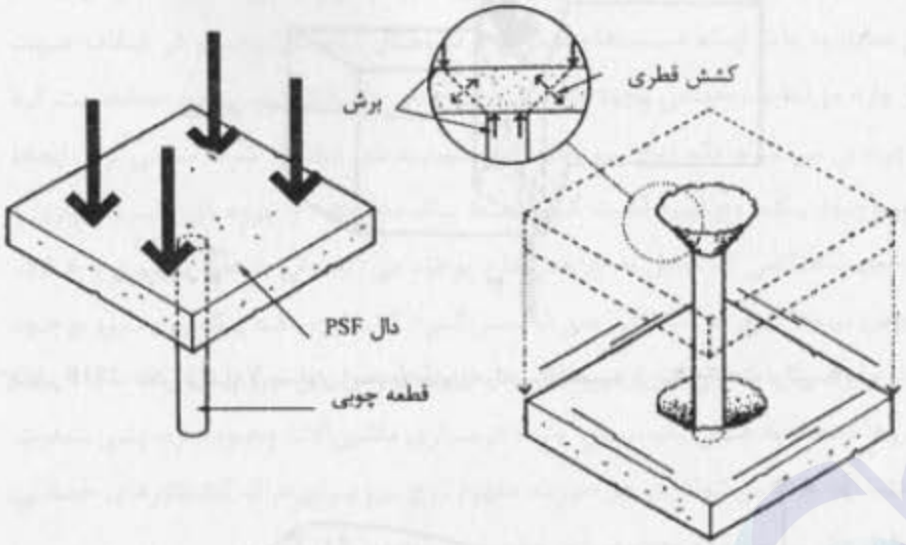


تصویر ۱۱-۲: معادل بودن از نظر برشی، کششی و فشاری.

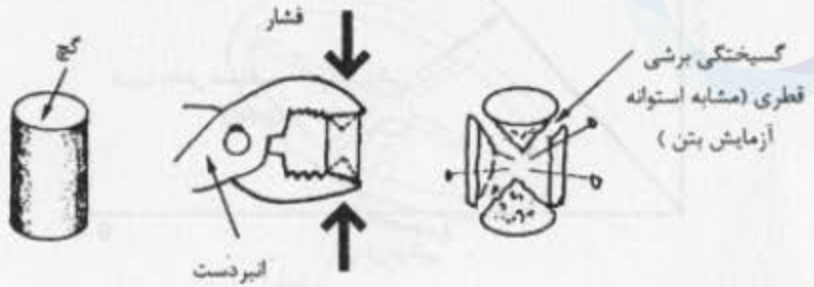
کشیدگی مورب

پارچه‌های بافته‌شده از موادی هستند که مقاومت کششی زیادی در جهت بافته‌شده (تار) یا تنیده‌شده (پود)دارند. (نخ‌های تار آنهایی هستند که در طول پارچه قرار دارند، پود نخ‌هایی هستند که عمود بر تارها قرار گرفته‌اند). هنگامی که نیرویی در جهت تار یا پود وارد می شود، پارچه به مقدار کمی کشیده خواهد شد، در همین حال پارچه به مقدار جزئی در جهت عمود بر آن جمع می‌شود. اگر پارچه در جهتی با زاویهٔ ۴۵ درجه نسبت به امتداد نخ‌ها کشیده شود اصولاً دارای مقاومت برشی اندک می‌باشد. به علاوه جمع‌شدگی بیشتری عمود بر جهت کشیدگی اصلی وجود دارد. پارچه هایی با بافت سست مقاومت یکطرفه بیشتری دارند، تور ماهیگیری مثال عملی‌تری می‌باشد. چنین عکس‌العملی کشیدگی مورب نامیده می شود.

که در طراحی و دوخت لباس‌ها برای مطابقت با اندام افراد مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (تصویر ۱۶-۲).

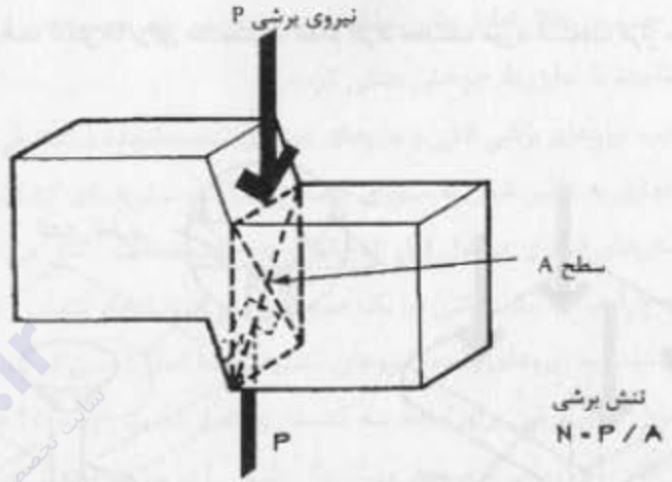


تصویر ۱۲-۲: گسیختگی برشی در سقف بر اثر برش سوراخ‌کنندهٔ ستون.

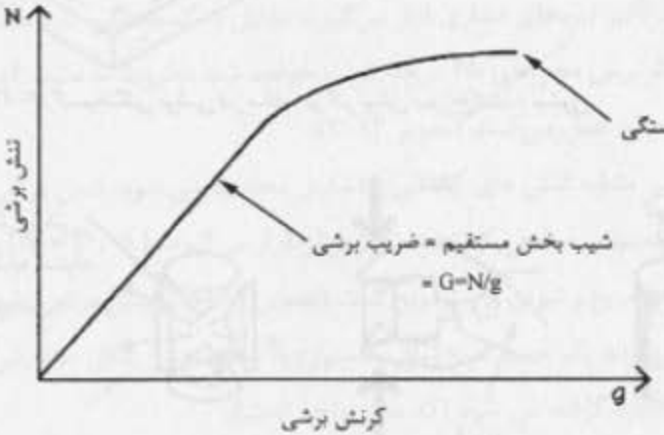


تصویر ۱۳-۲: گسیختگی فشاری در یک مادهٔ ترد و شکننده.

http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۱۴-۲: تنش برشی N مساوی است با نیروی برشی P تقسیم بر سطح تحت برش A



تصویر ۱۵-۲: نمودار تنش- کرنش در برش مشابه نمودارتنش –کرنش در کشش و فشارمی‌باشد ضریب زاویهٔ خط مستقیم در ناحیه ارتجاعی همان ضریب برش است.

تصویر ۱۶-۲: برش مورب در خیاطی، می توان از مقاومت برشی اندک پارچه ای با بافت سست استفاده کرد تا لباس به آسانی به تن رود و به شکل بدن درآید.

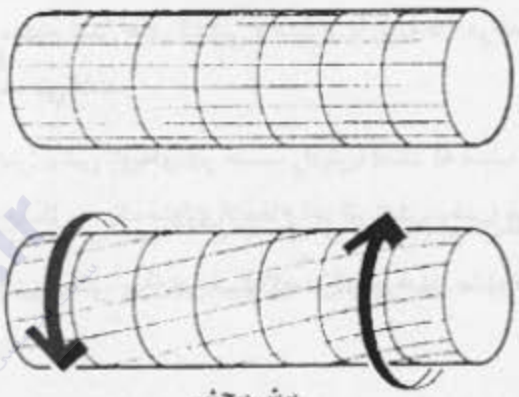
پیچش

پیچش، برشی چرخشی است که هنگام چرخش عضو حول محور اصلی خود اتفاق می‌افتد. میلگردی را که یک انتهای آن ثابت نگاه‌داشته شده و انتهای دیگر آن حول محور مرکزی میله چرخانده می‌شود را در نظر بگیرید. اگر بر روی سطح میله شبکه‌ای از مستطیل‌ها ترسیم شود، این سطوح مستطیل شکل تمایل به تغییر شکل به صورت متوازی‌الاضلاع را دارند. بخش های مربع‌شکل ، درست مانند همین اجزا در برابر برش خالص (که در بالا بیان شد) رفتار می‌نمایند. کشش در طول قطر بزرگتر و فشار در طول قطر کوچکتر افزایش می یابد. به دلیل آنکه سطح بیرونی میله بیشتر از مصالح درونی تغییر شکل می‌دهند، تنش برشی در آنجا بیشتر است. به همین علت، مقاوم‌ترین شکل‌ها در برابر پیچش، شکل‌های استوانه‌ای می‌باشند (تصویر ۱۷-۲).یک تیر پل با یک تیر کف که در وسط آن تقاطع داردو تحت پیچش قرار

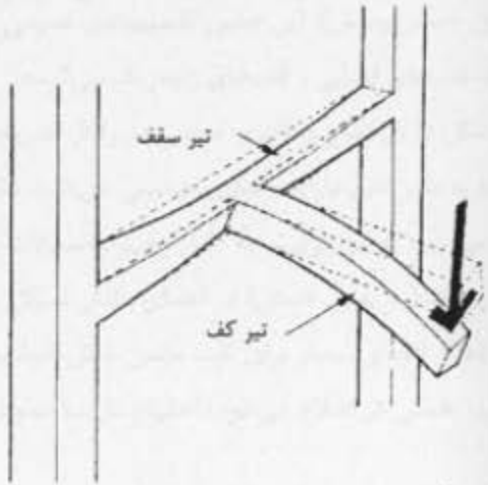
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

می‌گیرد مثالی از پیچش است که معمولاً در سازه ساختمان ها یافت می شود. عـدم تعـادل در بارها نه تنها باعث پیچش می شود، بلکه باعث خمش نیز می گردد (تصویر ۱۸-۲).



تصویر ۱۷-۲: پیچش نوعی برش است که از چرخش جسم حول محورهای خود ایجـاد می‌شـود. بـرای یک میزان مشخص از مصالح، استوانهٔ توخالی مناسب‌ترین شکل برای مقاومت در برابر پیچش می‌باشد.



تصویر ۱۸-۲: تیرهای سقف و کف تحت پیچش و خمش.

زوج نیروها

فرمان یک اتوموبیل که به وسیلهٔ راننده در جهت مخالف حرکت چرخ رانده مـی شـود، مثالی ساده از پیچش بدون خمش است. نیرو حول محور فرمان وارد می شـود تـا در آن ایجـاد پیچش نماید. به علت اینکه دسـت‌ها یـک زوج از نیروهـای متعـادل، برابـر و در خـلاف جـهت یکدیگر وارد می‌نمایند، خمشی وجود ندارد. این نیروهـای متعـادل، برابـر و مختلف‌الجـهت کـه سبب چرخش می شوند یک زوج نیرو نامیده می شوند.به طور ساده‌تر، شرط اساسی برای ایجاد گشـتاور وجـود یـک زوج نـیرو اسـت کـه توسـط یـک مجموعـه از نیروهـای برابـر، مـوازی و مختلف‌الجهت هنگامی که تمایل به چرخش دارد بوجود می آید، ولی به علت برابـری و خـلاف جهت بودن نیروها هیچ حرکت افقی صورت نمـی‌گـیرد گشـتاوری کـه یـک زوج نـیرو بوجـود می‌آورد، برابر است با اندازهٔ یکی از نیروها ضربدر فاصلهٔ عمودی بین نیروها ($M = F \times D$) زوج نیروها معمولاً به عنوان یک نیروی وارده دربسیاری ماشین‌آلات وجـود دارد، ولـی بنـدرت در ساختمان‌ها دیده می‌شوند. در هر صورت، مفهوم زوج نیرو بـرای درک گشـتاورهای خمشـی که در طول یک تیر ساده به وجود می‌آید، مفید است (تصویر ۱۹-۲).

تصویر ۱۹-۲: زوج نیرو پیچش بدون خمش ایجاد می نماید.

http://telegram.me/uadesigngroup

درک رفتار سازه‌ها با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

خلاصه مطالب

۱- تنش، نشان‌دهندهٔ شدت تمرکز نیروها درون یک عضو سازه‌ای است و با تعیین مقدار نیروی وارد بر واحد سطح مقطع جسم اندازه‌گیری می‌شود.

۲- "اثر توان دو و سه" این حقیقت را بیان می‌کند که ظرفیت سازه‌ای با توان دوم نسبت تغییر اندازهٔ اعضای سازه متناسب است، در حالی که بار وزن با توان سوم اندازهٔ اعضا متناسب می‌باشد. بنابراین مقطع عرضی سطوح اعضای سازه‌ای باید هنگامی که اندازهٔ ساختمان بزرگ می شود، به طور مناسب افزایش یابد.

۳- کرنش تغییر نسبی اندازه و شکل مصالح در اثر وارد شدن تنش بر آن می‌باشد.

۴- رفتار ارتجاعی به مفهوم متناسب بودن کرنش با تنش است و این که عضو پس از حذف تنش‌های وارده به اندازهٔ اولیه بر می‌گردد.

۵- ضریب ارتجاعی نسبت تنش به کرنش (در منطقه رفتار ارتجاعی) می‌باشد.

۶- رفتار خمیری (پلاستیک) به معنی عدم نسبت بین کرنش و تنش می‌باشد و عضو پس از حذف تنش به حالت اولیهٔ خود برنمی‌گردد.

۷- سه حالت اساسی تنش عبارتند از: کشش، فشار و برش.

۸- کشش، تمایل اجسام برای دور شدن از یکدیگر است.

۹- فشار، تمایل اجزای جسم برای فشرده شدن به یکدیگر است.

۱۰- قانون "یک سوم وسط" بیان می‌کند که یک عضو فشاری باید در محدودهٔ یک سوم میانی مقطع آن بارگذاری شود تا آنکه هیچ تنش کششی اتفاق نیفتد.

۱۱- برش تمایل اجزای اجسام برای لغزیدن نسبت به یکدیگر است. تنش های برشی به مفهوم تنش های کششی و فشاری با زاویهٔ ۴۵ درجه نسبت به تنش برشی است، می‌باشند.

۱۲- کرنش برشی زاویه‌ای (بر حسب رادیان) است که سبب تغییر شکل یک جزء مربع‌شکل به یک متوازی‌الاضلاع (در اثر تنش برشی) می‌گردد.

۱۳- پیچش، برشی چرخشی است که در اثر چرخش عضو حول محور خود بوجود می‌آید.

۱۴- زوج نیرو حالت خاصی از گشتاور است که از زوج نیروی برابر، موازی و غیرمتقاطع که تمایل به ایجاد چرخش دارند ولی تمایلی به حرکت جانبی ندارند، بوجود می‌آید.

http://telegram.me/uadesigngroup

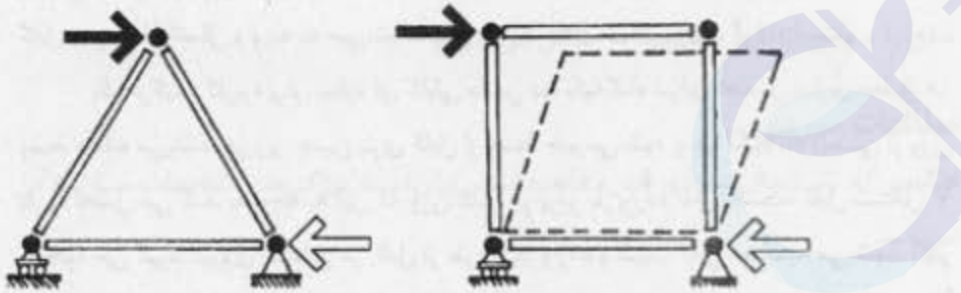
بخش دوم
سیستم‌های خرپایی

صحیح بودن از نظر فنی باعث شکل‌گیری نوعی دستور زبان در بیان معماری می‌گردد که (درست مانند خواندن و نوشتن در هر زبانی) نمی‌توان بدون آن به بیانی عالی در این ادبیات دست یافت.

"پیر لوئیجی نروی"

سازه‌های خرپایی، متشکل از اعضای کششی و اعضای فشاری می‌باشند که به شکل مثلثی با اتصال مفصلی به یکدیگر متصل شده‌اند و نیروهای درونی آنها تماماً محوری‌اند (فشار و یا کشش مستقیم بدون خمش و برش). این چنین تقسیم‌بندی عمومی از سازه‌های مثلثی‌شکل شامل: کابل‌ها، خرپاها، قاب‌های فضایی و قاب‌های ژئودزیک می‌گردد.

هندسه مثلثی‌شکل دارای نقش و تاثیری اساسی در رفتار خرپاهاست، زیرا مثلث، تنها چند ضلعی‌ای است که به طور ذاتی دارای پایداری هندسی می‌باشد. شکل مثلث فقط با تغییر طول اضلاع آن تغییر می یابد. به این ترتیب، به دلیل وجود اتصالات مفصلی، خرپا فقط به مقاومت در برابر کشش و فشار (بدون خمش) در اعضای مثلثی‌شکل برای پایداری خود نیاز دارد. چند ضلعی‌ها با تعداد اعضای بیشتر برای ثابت ماندن شکل خود به یک یا چند اتصال صلب (که در مقابل سبب بروز خمش در اضلاع می‌شود) احتیاج دارند.(تصویر شماره۱- بخش دوم). به طور معمول در صورتی که اتصالات خرپا فاقد اصطکاک نباشند یا بارها به طور مستقیم عمود بر محور اعضا وارد شوند در اعضای خرپا خمش ثانویه به وجود می‌آید. از این خمش معمولاً در خرپاها صرف نظر می شود زیرا مقادیر آنها در مقایسه با نیروهای محوری اعضا ناچیز و قابل صرف نظر کردن می‌باشد.



تصویر شماره ۱-بخش دوم: مثلث، تنها چندضلعی‌ای است که به‌طور ذاتی دارای شکل پایدار می‌باشد

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

فصل ۳

سازه‌های کابلی

زیبایی سازه‌های کششی به علت تناسبات عملکردی و زیبایی‌شناسانه آنهاست.

"ماگی توی"

سیم‌های فلزی ، رشته‌ها و میله‌های باریک مثال‌هایی از اعضای کششی هستند که رفتاری مانند کابل‌ها دارند. ساده‌ترین مثال از یک سازهٔ کششی وزنه‌ای آویزان از یک کابل می‌باشد. وزنه دقیقاً در امتداد نقطهٔ اتصال کابل در حالت سکون قرار می‌گیرد. در حالی که کابل بین نقطهٔ اتصال و وزنه به صورت کششی در یک خط مستقیم قرار گرفته است.

یک ترکیب کاربردی‌تر، سازه ای کابلی مابین دو تکیه‌گاه برای تحمل باری معلق در وسط دهانه می‌باشد. در زیر چنین باری کابل از وسط خم می شود و هر تکیه‌گاه نیمی از وزن بار را تحمل می کند. با توجه به این که وزن کابل در برابر بار وارده ناچیز است، کابل شکل V به خود می گیرد. نیروی کششی در کابل از طریق بار وارده و شیب کابل محاسبه می شود. اگر تکیه‌گاه‌ها به یکدیگر نزدیک بوده و شیب کابل هم زیاد باشد، نیروی کششی در کابل تقریباً برابر نصف بار وارده خواهد بود (هر طرف کابل نصف بار را تحمل می کند). بر عکس، اگر تکیه‌گاه ها از هم دور باشند و شیب کابل نیز کم باشد، نیروی کشش در کابل به مراتب بیشتر از حالت قبل خواهد بود.

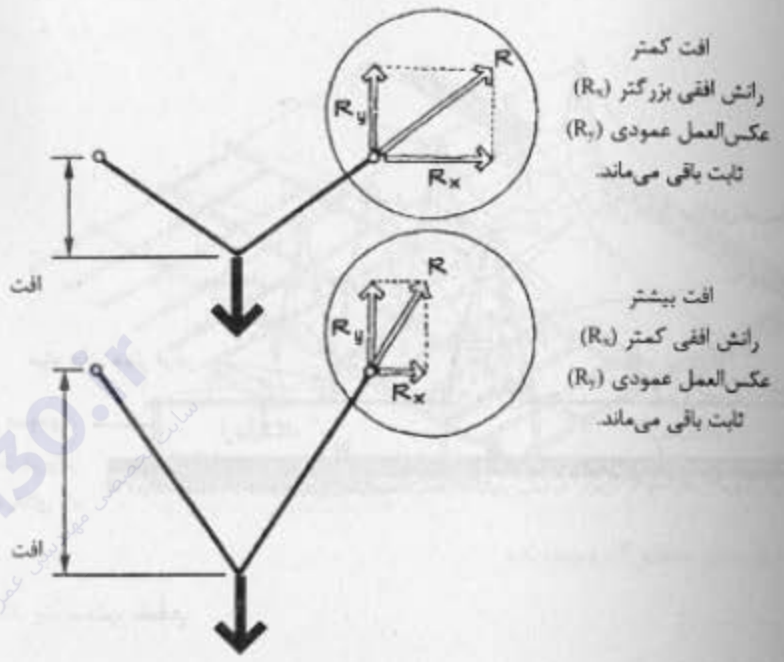
برای درک بهتر چنین مثالی، نیروهای عکس‌العمل هریک از تکیه‌گاه ها را در نظر بگیرید. (فصل ۱) به یاد آورید که یک نیرو را می توان به وسیله مؤلفه‌های مؤثر آن در جهت عمودی و افقی معرفی نمود. مؤلفه‌های عمودی عکس‌العمل‌ها در تکیه‌گاه‌ها باید با جمع نیروی عمودی وارده برابر گردد. در این حالت به علت اینکه بار وارده P در وسط دهانه قرار دارد، هر یک از مؤلفه‌های عمودی نیروی عکس‌العمل برابر P/2 می‌گردد. با توجه به اینکه کابل شیب‌دار است (عمودی نیست) یک نیروی رانشی افقی در هر یک از تکیه‌گاه‌ها به وجود می‌آید که تمایل دارد تکیه‌گاه‌ها را به هم نزدیک کند. این مؤلفه افقی نیروی عکس‌العمل است. تا زمانی که مؤلفه عمودی نیروی عکس‌العمل در هر یک از تکیه‌گاه‌ها در همان حالت صرفنظر از شیب کابل قرار دارد، مؤلفه افقی نیروی عکس‌العمل با شیب کابل متفاوت خواهد بود. اگر شیب از حالت عمودی به حالت نیمهٔ افقی نزدیک شود، مؤلفه افقی نیروی عکس‌العمل از صفر به بی نهایت خواهد رسید. نیروی کشش در کابل معمولاً برابر برآیند مؤلفه‌های عمودی و افقی نیروی عکس‌العمل است (تصویر ۱-۳).

در مثال بالا اگر بار وارده خارج از مرکز وارد شود، تکیه‌گاه‌ها مؤلفه‌های عمودی متفاوت ولی مؤلفه‌های افقی برابر خواهند داشت (مولفه‌های افقی باید برای رسیدن به حالت تعادل برابر باشند). نیروی کششی در کابل در یکی از دو قسمت متفاوت است و برابر جمع جبری نیروهای عکس‌العمل افقی و عمودی در هر طرف خواهد بود.

کابل‌هایی که بار یکنواخت بر طول آنها وارد می‌شود زنجیرواره نامیده می شوند، این سیستم به طور مجزا در فصل ۱۰ مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۱-۳: کابل با شیب زیاد، متوسط و کم. توجه کنید هنگامی که مؤلفهٔ عمودی عکس‌العمل بدون توجه به شیب ثابت باقی می‌ماند(مجموع آنها با بار عمودی برابر است)، مؤلفهٔ افقی عکس‌العمل (رانش) با نزدیک شدن شیب به خط افق افزایش می یابد. نیروی کششی در کابل همیشه برابر برآیند مؤلفه‌های عمودی و افقی نیروی عکس‌العمل است.

کابل‌ها می‌توانند دارای تکیه‌گاه در وسط دهانه باشند و برای حمل بارهای وارد بر انتهای یک میله یا عضو کششی به کار روند. به طور معمول کابل‌های اضافی برای ایستایی هر یک از دو انتها به کار برده می‌شوند. این حالت مشابه بادبان‌هایی است که در قایق‌ها و برای حفظ تعادل آن به کار می‌رود. در قایق‌های بادبانی، هدف اصلی ممانعت از واژگون شدن دکل و ایجاد یک تکیه‌گاه میانی (میله‌های رابط که پخش کننده نامیده می‌شوند) برای جلوگیری از کمانش است. در ساختمان ها، هدف مهار کردن سقف (به عنوان همان میله یا عضو خمشی) به وسیله کابل از بالای دکل نگهدارنده است.

ساختمان های مهارشده با کابل، دهانه‌های افقی را به وسیلهٔ کابل‌های قطری که از یک تکیه‌گاه بلندتر آویزان هستند می پوشانند. به کار بردن اصطلاح کابل در این حالت به طور معمول شامل عناصر انعطاف‌پذیر (کابل) و صلب (میله) می‌گردد. (این سیستم‌ها از سازه‌های زنجیرواره مانند کابل‌ها در یک پل معلق متفاوت بوده و در بخش‌های بعدی مورد بحث قرار می‌گیرند). غالب سیستم‌های مهارشده با کابل به گونه‌ای طراحی می‌شوند که دکل‌های نگهدارنده آنها با اتصال صلب به پی متصل شده‌اند. برای ایجاد مقاومت جانبی اضافی در برابر رانش، کابل‌های اضافی در جهات مختلف کشیده می‌شوند. در سازه‌های بزرگ، اقتصادی‌ترین روش استفاده از مهارهای متقارن در اطراف دکل‌های قائم است. وجود تقارن بارهای افقی روی دکل را متعادل کرده و خمش را به حداقل می‌رساند.

مطالعات موردی

هنگامی که یک اتصال سازه‌ای قابل مشاهده است، بیان‌کنندهٔ ویژگی‌ها و مشخصات سازندهٔ آن می‌باشد.

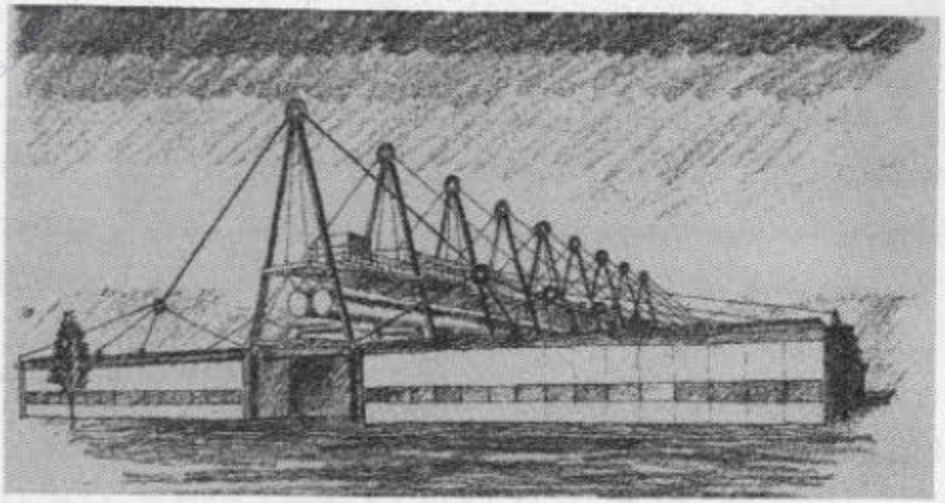
" رنزو پیانو"

پت سنتر Patcenter

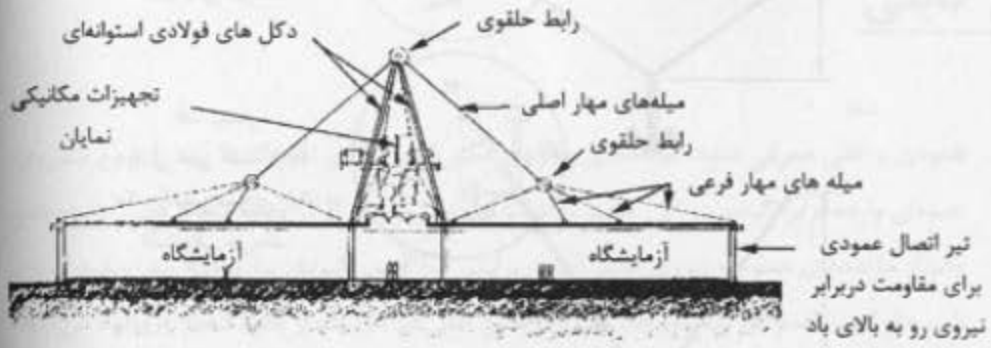
پت سنتر (۱۹۸۶: پرینستون، نیوجرسی، مهندس معمار: ریچارد راجرز و همکاران، مهندس سازه: اوو آروپ و همکاران) مرکزتحقیقات در زمینهٔ فن‌آوری .P.A است و با هدف ایجاد حداکثر انعطاف‌پذیری در ارتباطات داخلی، گردش فعالیت‌ها و استفاده از فضاها به عنوان دفاتر، آزمایشگاه‌ها و سرویس‌های خدماتی طراحی شده بود. چنین هدفی با استفاده از یک

http://telegram.me/uadesigngroup

شبکهٔ وسیع سازه‌ای از فضاهای آزاد بدون ستون تأمین گردید. سازهٔ نمایان و آشکار این ساختمان کاملاً با نظریات کارفرما برای یک حضور بصری قوی، گرایش به فن‌آوری جدید را مورد تاکید قرار می دهد. طراح با ایجاد سازه‌ای که با تاکید بسیار بیان کنندهٔ عملکرد سازه‌ای طرح در بخش خارجی ساختمان می‌باشد، در تضاد با فضای خشک و بی‌روح اطراف، وجود چنین مرکز تحقیقاتی را در اطراف پرینستون بخوبی مشخص می‌کند، بدین ترتیب به نیاز کارفرما پاسخ داده است. (بروکس و گرچ Brookes And Grech ، ۱۹۹۰) (تصاویر ۲-۳ تا ۵-۳). ایدهٔ اصلی طرح استفاده از یک ستون فقرات مرکزی به عرض ۲۹/۵ فوت (۹متر) و ایجاد مجموعه‌ای از سازه‌های A شکل با نمای شیشه‌ای می‌باشد.سیستم‌های تأسیساتی ساختمان به طور مستقیم روی قسمت مرکزی ساختمان و قاب‌های معلقی که از سازهٔ اصلی ساختمان آویزان هستند، قرار گرفته‌اند.



تصویر ۲-۳: پت سنتر، نمای خارجی

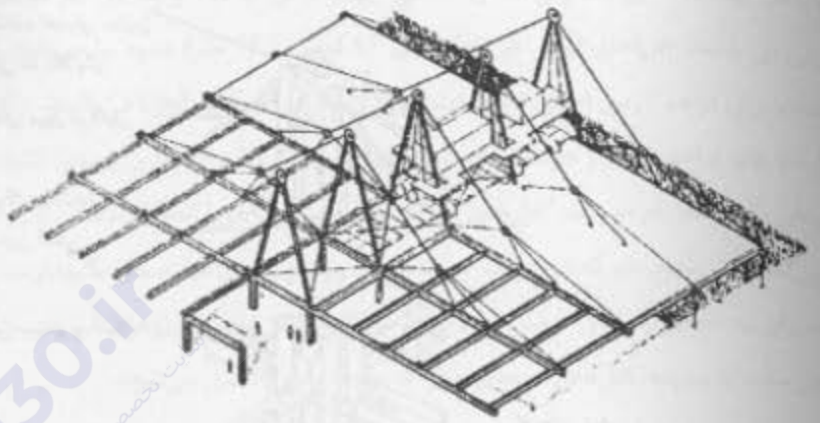


تصویر ۳-۳: پت سنتر، مقطع

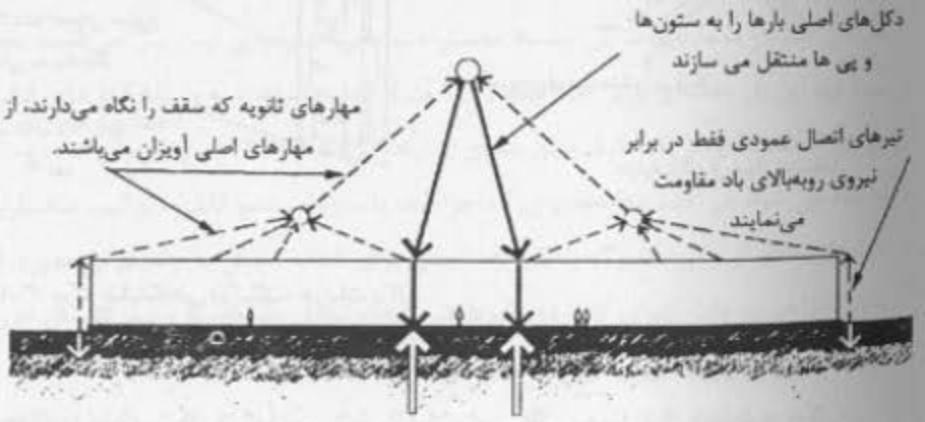
دو طرف این ستون فقرات ارتباط مرکزی ساختمان را تامین می‌کند دو فضای بزرگ یک طبقه به ابعاد ۷۴ × ۲۳۶ فوت (۲۲/۵ × ۷۲ متر) قرار گرفته اند که برای انجام تحقیقات مورد نظر به کار می‌روند. برای ایجاد انعطاف‌پذیری لازم در بخش های تحقیقاتی، از یک سازهٔ کابلی خاص (با اعضای کششی فولادی باریک ویژه) با زیبایی‌های بصری که دهانه‌های سقف را می‌پوشاند و فضاهای وسیع و عریضی را در بین ستون‌ها فراهم می‌کند، استفاده شده است. در سازهٔ اصلی یک قاب فولادی مستطیل‌شکل به عرض ۲۴/۶ فوت (۷/۵ متر) که به عنوان پایه ای برای تیر A شکل لوله‌ای بلند به طول ۴۹ فوت(۱۵ متر) عمل می‌کند، استفاده شده است. این سیستم تکیه‌گاه عمودی اصلی برای کل ساختمان می‌باشد.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۴-۳: پت سنتر، مقطع آکزونومتریک.



تصویر ۵-۳: پت سنتر، نمودار مسیر بارگذاری.

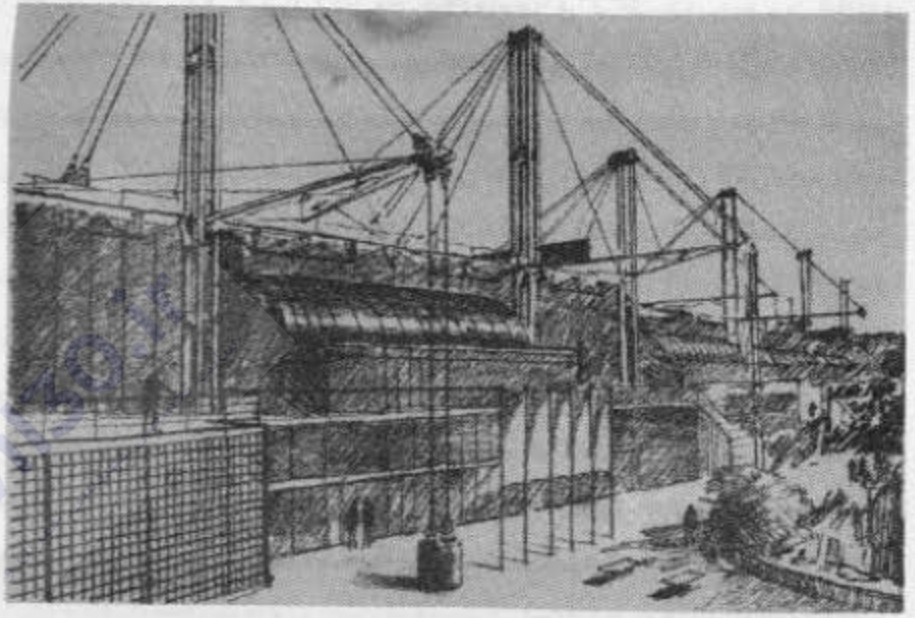
ازقسمت بالای سازهٔ A شکل، کابل‌های فولادی مجزا در هر طرف به صورت قطری کشیده شده است تا به یک عضو کششی فولادی که چهار کابل کوچکتر را نگه می‌دارد (شبیه یک درخت معکوس) متصل گردد و بدین ترتیب سقف را در دو نقطهٔ انتهایی و دو نقطهٔ میانی تحمل نماید. اتصالات موجود در سازهٔ A شکل و بین اعضای کششی اصلی و فرعی بام با دقت بسیار و به شکل صفحه‌ای فولادی مدور و توخالی (به شکل دونات) برای نگه داشتن کابل‌ها اجرا شده است.

کابل‌های عمودی متصل به پی در انتهای دهانه‌ها در برابر نیروی باد مقاومت می‌کنند: عملکرد این مهارهای باریک و بلند به وسیلهٔ جدا نمودن آنها از نمای بیرونی ساختمان مورد تأکید قرار گرفته است. ترکیب سازهٔ A شکل فوق‌الذکر در هر ۲۹/۵ فوت(۹ متر) و در مجموع ۹ مرتبه تکرار می شود. برای حفظ وضوح بصری این سیستم، پایداری طولی نه تنها به وسیلهٔ مهاربندی های ضربدری، بلکه به وسیلهٔ اتصالات صلب بین تیرهای نگهدارندهٔ سیستم‌های تاسیساتی و سازهٔ A شکل ساختمان تأمین شده است. در نتیجه دکل‌ها هریک به طور مستقل رفتار می‌نمایند تا بدین وسیله انعطاف‌پذیری هر دهانه را مستقلاً فراهم نمایند.

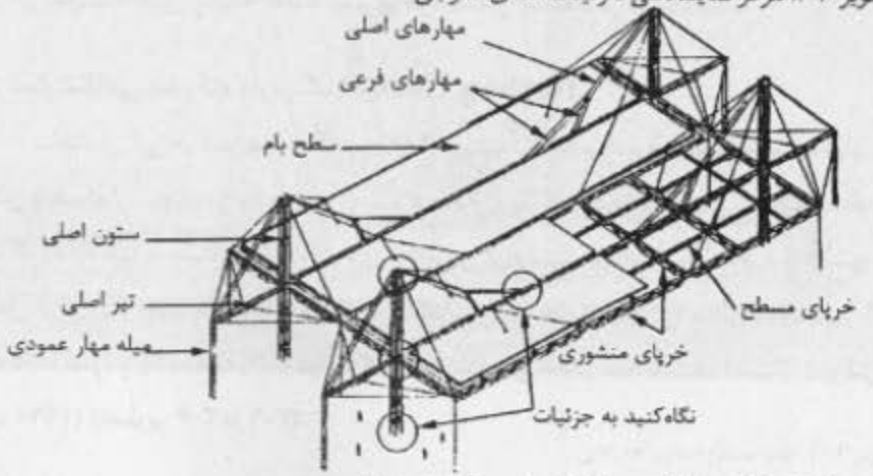
مرکز نمایشگاهی بندرگاه دارلینگ Darling Harbor

ساختمان این مرکز نمایشگاهی (۱۹۸۶: سیدنی، استرالیا. مهندس معمار: فیلیپ کوکس و همکاران، مهندس سازه: اوو آروپ و همکاران) یک مجموعهٔ مرکب از ۵ دهانه متناوب است که اندازه آنها با مقیاس ساختمان‌های مجاور بزرگراه متناسب است. هر دهانه به صورت مستقل ترکیبی از چهار دکل تکیه‌گاهی که فضاهای بزرگ نمایشگاهی را با ارتفاع مفید ۴۴ فوت(۱۳/۵ متر) و یک دهانهٔ ۳۰۲ فوتی(۹۲ متر) شکل می دهد، ساخته شده است. (بروکز و گرچ، ۱۹۹۰) (تصاویر ۶-۳ تا ۹-۳).

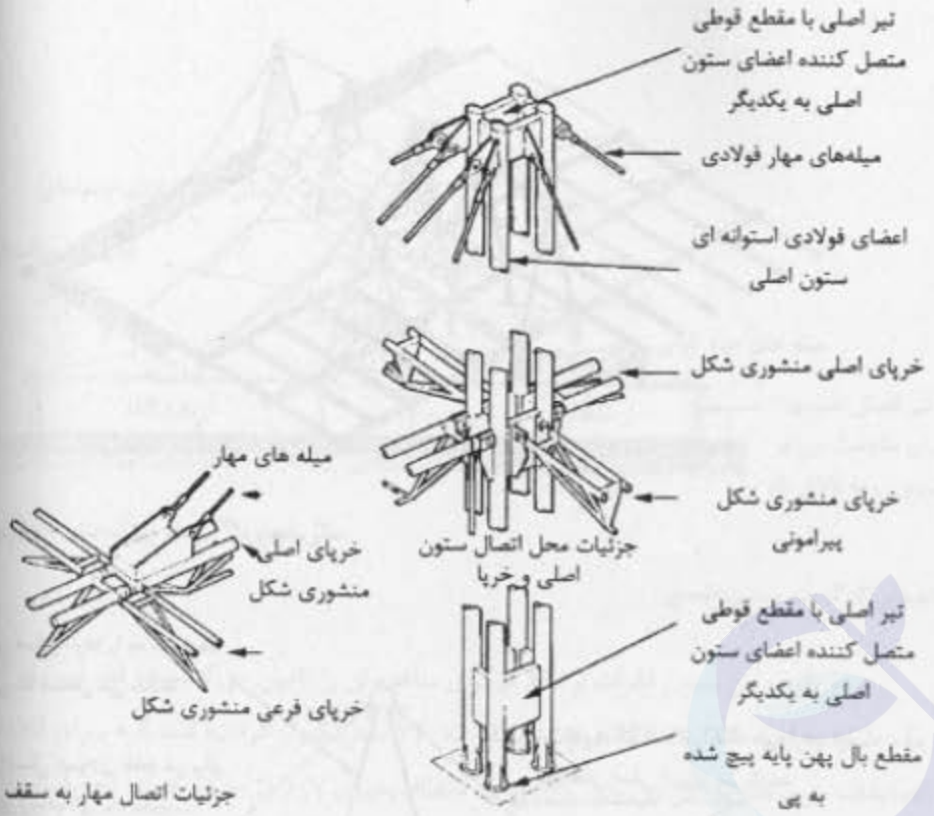
http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۶-۳: مرکز نمایشگاهی دارلینگ، نمای خارجی.



تصویر ۷-۳: مرکز نمایشگاهی دارلینگ، تصویر آکزونومتریک.



تصویر ۸-۳: مرکز نمایشگاهی دارلینگ، جزئیات دکل.

هر دهانه دارای چهار دکل مرکب است(تکیه‌گاه‌های عمودی اصلی) که هرکدام از چهار ستون فولادی لوله‌ای شکل تشکیل می شوند که در رئوس یک مربع قرار گرفته‌اند. هر دکل در پی به یک دال بتنی پیچ و مهره شده است. میله‌های قطری در بالای دکل ها دو انتهای خرپاهای فضایی اصلی را به صورت معلق نگاه می‌دارند. خرپاها دهانه‌ای برابر ۴۹ فوت (۱۵

http://telegram.me/uadesigngroup

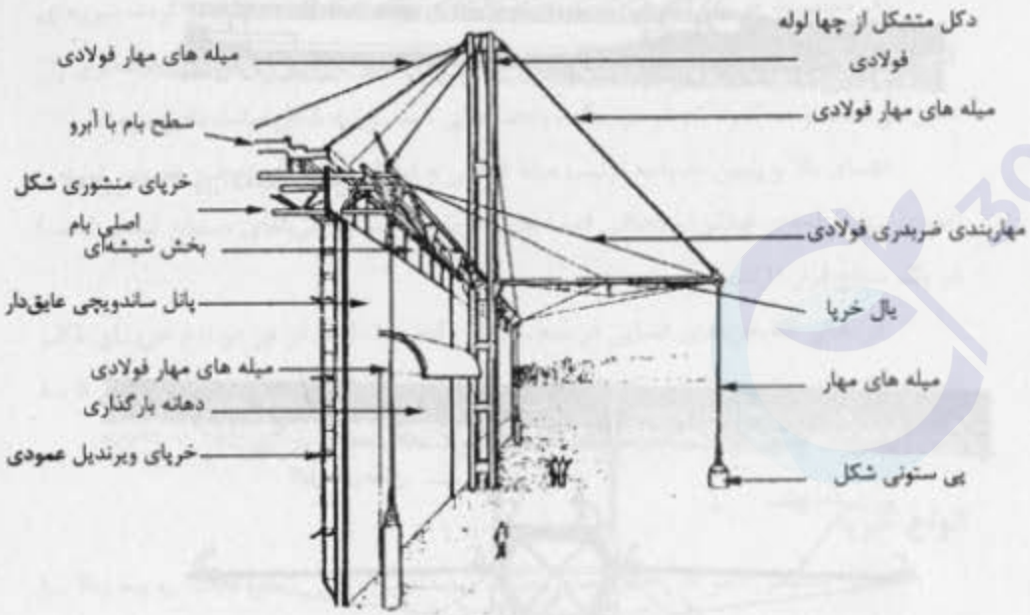
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

متر) را می پوشانند. خرپاها دارای اتصال مفصلی جهت امکان ایجاد حرکت در اثر انبساط‌های حرارتی می باشند. خرپاهای فرعی در دهانه های ۸۶ فوتی(۲۶/۳ متر) عمود بر خرپاهای اصلی هستند و برای فراهم کردن امکان تخلیه آب باران در بام دارای کمی انحنا می‌باشند. دکل‌ها که در گوشه های ساختمان قرار دارند، دارای مهارهای قطری از بالا برای توازن نیروی کششی در کابل‌های نگهدارنده بام هستند. کابل‌های مهاری به لبهٔ بیرونی خرپا اتصال دارند، این نیروی متوازن‌کننده در سطح بام که در خلاف جهت نیروی وارد از سوی کابل‌های نگهدارندهٔ سقف است، برای به حداقل رساندن خمش در دکل‌ها می‌باشد. و در نهایت میله‌های انتهای خرپای فضایی سقف به وسیله کابل‌های عمودی مهار کننده به زمین متصل می‌شوند.

پل آلامیلو Alamillo Bridge

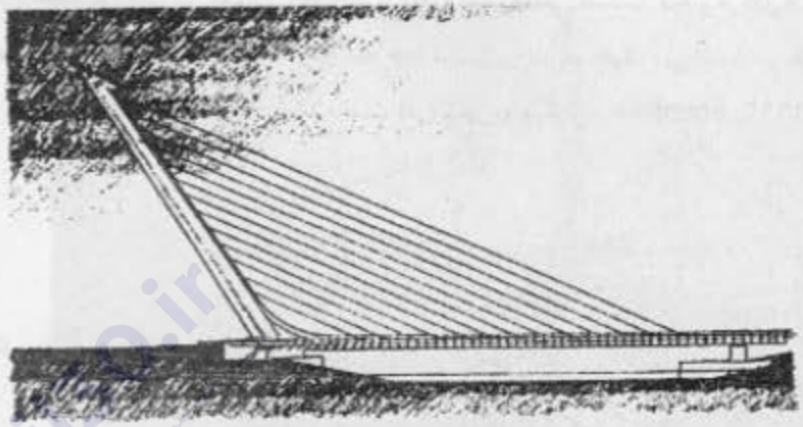
این پل زیبا، بدیع و قابل توجه (۱۹۹۲: سویل، اسپانیا، مهندس سازه: کالاتروا) برای نمایشگاه جهانی اکسپو ۹۲ طراحی شد و نشان‌دهندهٔ زیبایی و نیز ابداع، خلاقیت و مهارت در طراحی سازه و معماری یک پل توسط معمار-مهندس اسپانیایی این پل می‌باشد. بخش سوارهرو این پل دهانه‌ای برابر ۶۵۶ فوت (۲۰۰ متر) را می پوشاند و به وسیلهٔ کابل‌های قطری موازی که همه آنها از یک طرف دکل بلندی به ارتفاع ۴۶۶ فوت(۱۴۲متر) آویزان هستند، نگاه داشته می شود. در اغلب دهانه‌های بزرگ اجرا شده با سازهٔ سیستم کابلی ، ترکیب متقارنی از مهارهای معلق از دکل یا دیرک با تکیه‌گاه مفصلی برای حذف خمش به چشم می‌خورد. این شیوهٔ طراحی به علت اجرای کابل در یک طرف و ایجاد تعادل یک‌جانبه و نیز اتصال طره‌ای دکل در پی کاملاً غیرمعمول است

نیروی وارده از کابل‌ها به وسیلهٔ وزن دکل‌های فولادی که با بتن پرشده اند، خنثی گردیده است. دکل‌ها با زاویه ۵۸ درجه در جهت مخالف کابل‌ها قرارگرفته اند و نیاز به کابل‌های مهار کنندد در طرف دیگر را برطرف می‌نمایند (تصاویر ۱۰-۳ تا۱۲-۳). ستون فقرات اصلی سطح پل یک تیر فولادی جعبه‌ای با مقطع شش‌ضلعی است که به کابل‌های مهاری متصل شده است. سطح پل که دارای سه خط ماشین‌رو در هر طرف می‌باشد در طرفین این تیر اصلی به صورت طره‌ای اجرا شده است (فرامپتون و دیگران، Frampton، ۱۹۹۳).

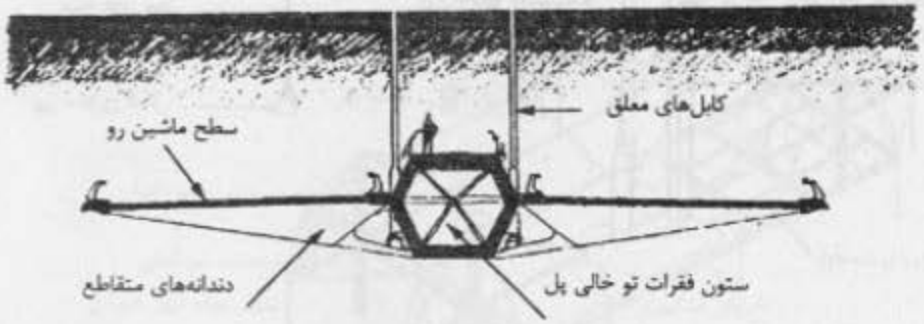


تصویر ۹-۳: مرکز نمایشگاهی دارلینگ، مقطع پرسپکتیو.

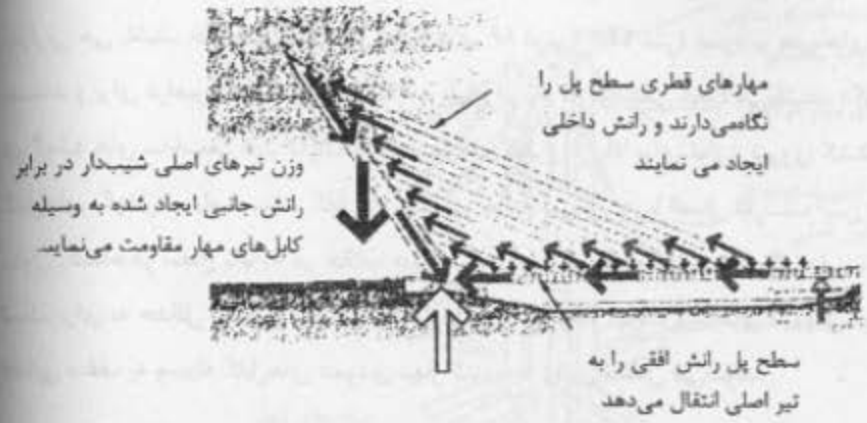
http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۱۰-۳: پل آلامیلو، مقطع عمودی.



تصویر ۱۱-۳: پل آلامیلو، مقطع افقی از مسیر ماشین رو.



تصویر ۱۲-۳: پل آلامیلو، نمودار جریان نیروها.

خلاصه مطالب

۱- کابل، عضو کششی نازکی است که ضمن مقاومت کششی در برابر نیروها در برابر فشار مقاومتی ندارد. سیم فلزی، طناب و میله‌های باریک به عنوان کابل عمل می‌نمایند.

۲- زنجیرواره‌ها، کابل‌هایی هستند که بار گسترده و پیوسته بر طول آنها وارد می‌شود.

۳- عناصر فشاری خرپا همانند دکل‌ها، ستون‌ها و دیرک‌ها، اعضایی هستند که تحت تاثیر نیروها و تنش‌های فشاری قرار دارند.

۴- سازه‌های مهارشده با کابل، معمولاً دهانه‌های افقی در ساختمان‌ها را به وسیلهٔ کابل‌های قطری معلق از یک تکیه‌گاه بلندتر می‌پوشانند.

http://telegram.me/uadesigngroup

فصل ۴

خرپاها

خرپا، مجموعه‌ای مثلثی‌شکل است که بارها را به وسیلهٔ ترکیبی مثلثی شکل از اعضا با اتصال مفصلی به تکیه‌گاه ها منتقل می کند. در اعضای خرپا فقط فشار و کشش (نه برش و خمش) ایجاد می شود و تمامی نیروهای رانشی به صورت داخلی در آن خنثی می گردد. در عمل، ممکن است تنش خمشی در بین اتصالات به میزان کمی در اثر اصطکاک آنها و بارهای وارده و پخش‌شده در اعضا بوجود آید: این نیروها معمولاً با نیروی محوری یکجا در نظر گرفته شده و در عمل در تحلیل‌ها نادیده گرفته می‌شوند.

واحد هندسی اصلی خرپا مثلث است. مثلث شکل ثابتی است که فرم آن بدون تغییر طول اضلاع حتی با اتصالات مفصلی نیز تغییر نمی‌کند. اتصالات در بقیهٔ چند ضلعی‌ها (مانند مستطیل) غیر پایدار هستند (تصویر ب-۱-۴).

اگر کابلی بین دو نقطه کشیده شده باشد، نیروی افقی به وسیلهٔ تکیه‌گاه‌ها (که ثابت شده اند، تصویر الف-۱-۴) خنثی می شود. اگر وضعیت به‌گونه ای تغییر کند که یکی از تکیه‌گاه‌ها مفصلی و تکیه‌گاه دیگر غلتکی شوند، سیستم غیر پایدار می گردد زیرا هردو تکیه‌گاه می توانند عکس‌العمل نیروی عمودی را تحمل نمایند ولی تکیه‌گاه غلتکی به وسیله نیروی افقی کابل به سمت مرکز کشیده خواهد شد. این مجموعه به عنوان یک خرپای ساده با هندسه مثلثی و دارای اتصالات گیردار و مقاومت درونی عمل می کند (تصویر ج-۱-۴).

اگر مجموعهٔ خرپایی که در تصویر ج-۱-۴ نشان داده شده است معکوس گردد، نیروهای کششی و فشاری نیز معکوس خواهند گردید. تصویر ۲-۴ سیر تکاملی خرپاهای پیچیده‌تری را نشان می دهد.توجه کنید که در هر حالت واحد اصلی هندسی به شکل مثلث باقی می‌ماند.

اعضای بالا و پایین خرپا به ترتیب میلهٔ فوقانی و تحتانی خرپا نامیده می شوند. تمامی اعضای بین میله‌های فوقانی و تحتانی اعضا جان خرپا هستند. در خرپاهای مسطح تمامی اعضا در یک سطح قرار دارند.

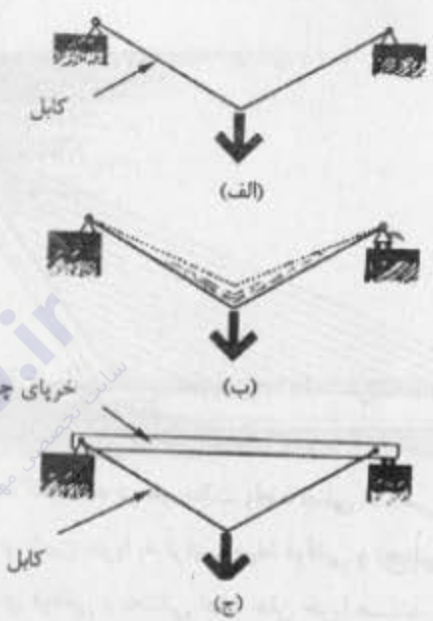
در حالی که خرپاهای فضایی در سه بعد، این اعضا را دارند. در هر دو نوع خرپای ذکر شده دهانه ها در یک جهت قرار گرفته اند (خصوصیات دهانه‌های غیرهم‌جهت در بخش ۵ به عنوان قاب‌های فضایی تحت یک سیستم مستقل مورد مطالعه قرار می‌گیرند).

انواع خرپا

شکل محیطی اکثر خرپاهای فضایی مثلث و مستطیل قوسی شکل (انحنا رو به بالا یا پایین) یا کوژ (با انحنا به سمت بالا و پایین) می‌باشد. این اشکال محیطی به مثلث‌های کوچکتر تقسیم می شوند.تمامی اعضای کششی و فشاری به وسیلهٔ اتصالات مفصلی (مانند لولای اجراشده با پیچ) به یکدیگر متصل می‌باشند (نگاه کنید به تصاویر ۳-۴ تا ۱۰-۴).

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۱-۴: کابل بارگذاری‌شده در مرکز با(الف)تکیه‌گاه‌های مفصلی(پایدار)، (ب) تکیه‌گاه‌های غلتکی- مفصلی ناپایدار (به دلیل حرکت غلتک و عدم وجود مقاومت در برابر رانش افقی، (ج) تکیه‌گاه های غلتکی- مفصلی با میلهٔ افقی برای مقاومت در برابر رانش(پایدار).

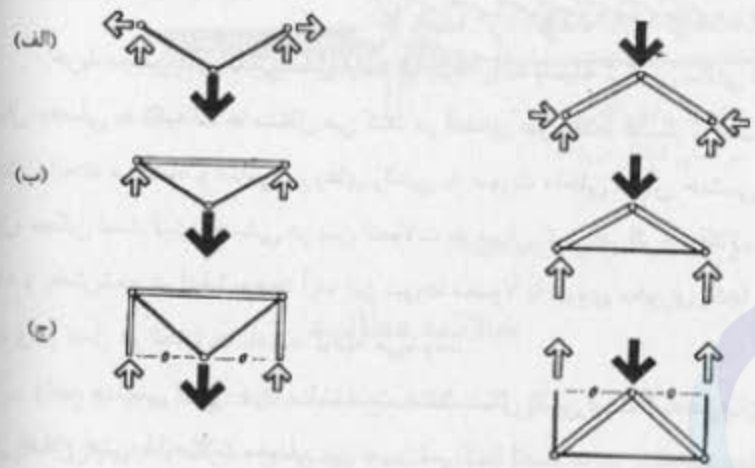
مطالعات موردی خرپا

مرکز فرهنگی ژرژ پومپیدو Centre George Pompidou

هدف ما قرار دادن سازه در بیرون ساختمان برای رسیدن به بیشترین انعطاف‌پذیری در فضاهای ساختمان می باشد، اگرچه ظاهراً به نظر می رسد در این حالت سازه عمر کوتاه‌تری نسبت به ساختمان دارد.

"ریچارد راجرز- در مرکز فرهنگی ژرژ پومپیدو"

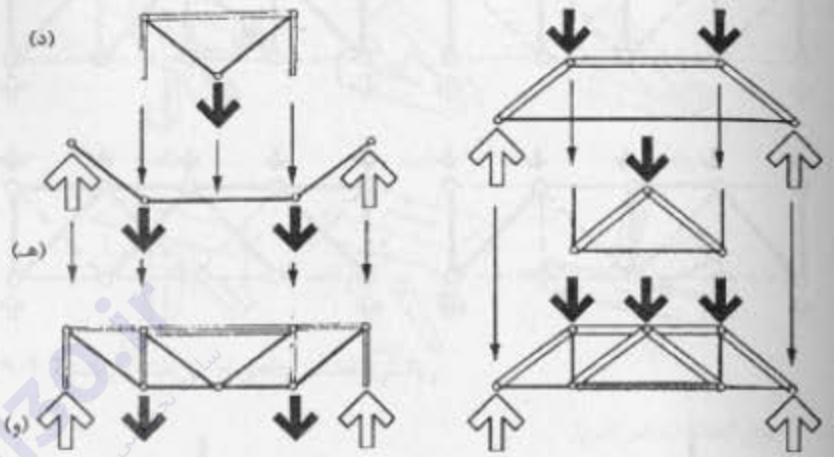
به دلیل نقش این ساختمان به عنوان یک مرکز ملی هنری، مرکز فرهنگی ژرژ پومپیدو (۱۹۷۷: پاریس، مهندس معمار: پیانو و راجرز ، مهندس سازه: اوو آروپ و همکاران) حتی قبل از اتمام کار نیز به عنوان یک ماشین غیرقابل‌انعطاف با اصول زیبایی شناسی مورد بحث قرار گرفت. تضادی مابین ساختمانی جدید با منطقه‌ای تاریخی که درون آن قرار گرفته است.



تصویر ۲-۴: خرپاها از میله‌های اتصال و گره‌ها حاصل می شوند. تمامی اتصالات درآنها مفصلی هستند. میله‌ها تحت فشار و کابل ها تحت کشش می‌باشند. خرپاهای سمت راست معکوس خرپاهای سمت چپ هستند توجه داشته باشید به دلیل اینکه نیروها دراعضا معکوس هستند میله ها به تیرهای اتصال و vice versa تبدیل می‌شوند.(الف)واحد بنیادی کابل، (راست) تعادل معکوس یک قوس سه مفصلی اصلی، ب) خرپای ساده که با افزودن میلهٔ افقی در برابر رانش درونی مقاوم گردیده است، (راست)خرپای معادل با افزودن میله افقی در برابر رانش خارجی مقاوم گردیده است، (ج) همین آرایش می‌تواند به وسیلهٔ تیرهای انتهایی به صورت عمودی ایجاد گردد (اعضای میلهٔ جدید تحتانی مستقیماً تحت تنش نبوده ولی به مقاومت جانبی نیازمند هستند)

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



ادامهٔ تصویر ۲-۴: (د) با فرض اینکه کل مجموعهٔ نشان داده شده در شکل (ج) با تیر اتصالی دیگری حمل شود،خرپای پیچیده تری می تواند ایجاد گردد. میله افقی دیگری مورد نیاز است تا در برابر رانش‌های تیر اتصالی جدید مقاومت نماید. (هـ)همین مراحل می تواند برای تشکیل خرپاهای پیچیده‌تر تکرار شود. توجه کنید از آنجا که بارهای وارده از مرکز تا دوسر خرپا ادامه دارند، نیروهای اعمالی در اعضا جان (عمودی و قطری) از میانه خرپا افزوده می شوند. (و) از طرف دیگر بزرگترین نیروها در میله‌های فوقانی و تحتانی در میانهٔ دهانهٔ واقع می شوند که در آنها میله‌های منفرد(و نیروهایی که آنها را حمل می‌کنند) یکی می شوند.

هدف طراحان این ساختمان، ایجاد بنایی "بدون ساخت" بوده است که برای رسیدن به‌آن پرده‌ای شفاف در پشت سازه قرار داده شد که می توان فعالیت‌های مختلف و نمایشگاه‌ها را با حفظ خصوصیات هریک درآن برگزار کرد. این ساختمان طرحی ابتکاری در سازه و جزئیات اجرایی دارد. حجم مکعب مستطیل شکل آن طولی برابر ۵۵۱ فوت(۱۶۸ متر) داشته و برای توسعهٔ آینده و گسترش از بخش انتهایی آن نیز تدابیری صورت گرفته است.داکت‌های عمودی و سایر خدمات مکانیکی در نمای خیابان شرقی قرار گرفته و با رنگهای روشن رنگ‌آمیزی شده‌اند.

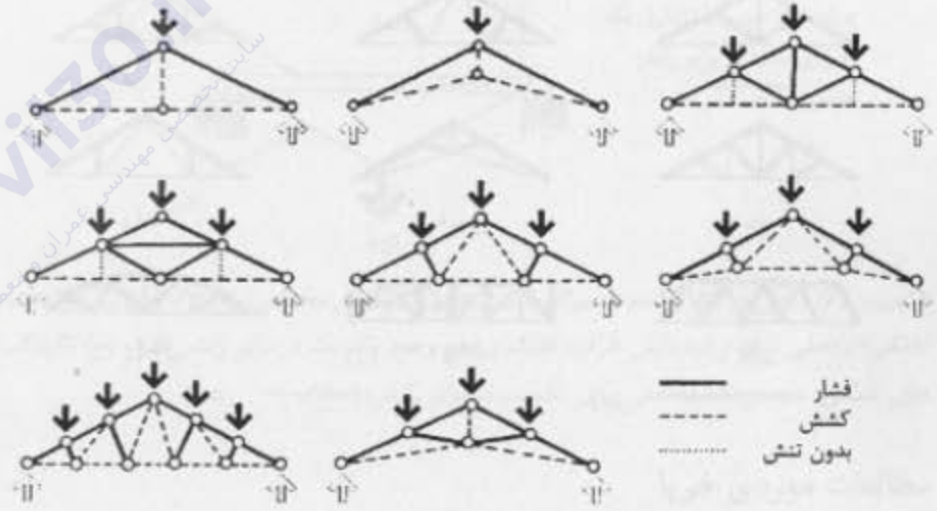
تصویر ۳-۴: انواع خرپا.

به علت اینکه پوشش فلزی دیوارها در پشت سازه نمایان آن قرار گرفته است، سیرکولاسیون داخلی و خدمات مکانیکی، نمود بسیار کمی در نمای نهایی ساختمان دارند. (اورتون Orton، ۱۹۸۸ ، ساندکر و اگن Sandker and Eggen، ۱۹۹۲) (تصاویر ۱۱-۴ و ۱۲-۴).

http://telegram.me/uadesigngroup

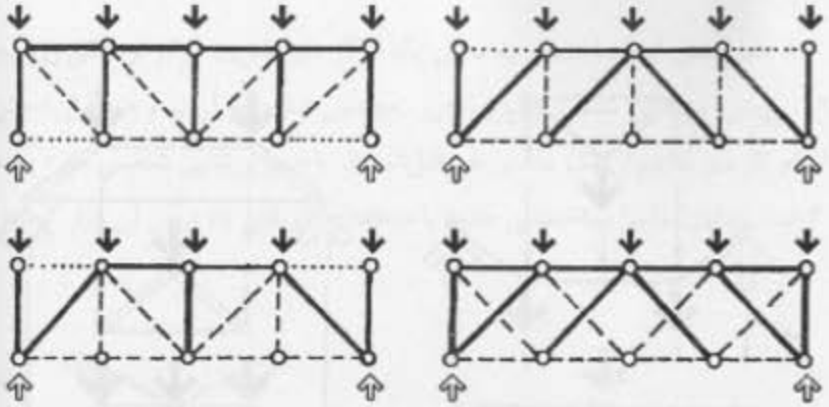
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

تصویر ۴-۴: استخوان بال کرکس، سخت شده به شکل خرپای وارن.

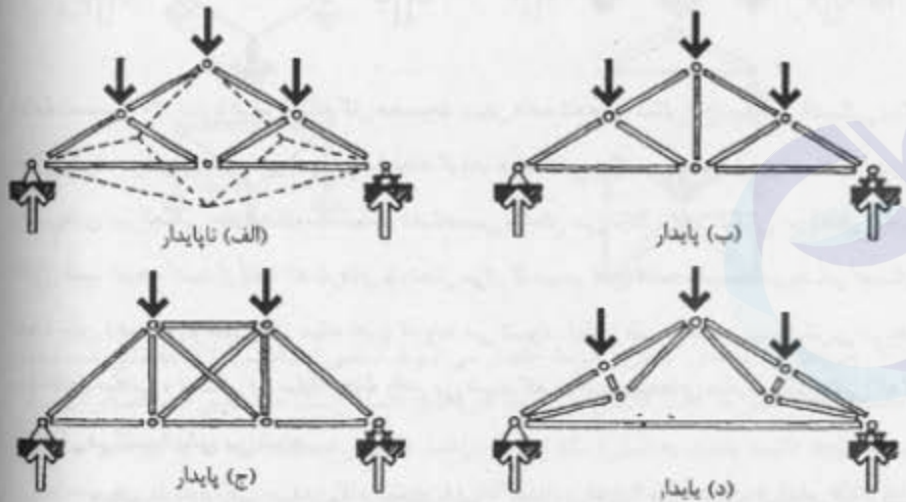


تصویر ۴-۵: کشش و فشار در خرپاهای مثلثی.

آنچه که به ساختار بصری ساختمان اهمیت می‌بخشد و بافت نما، مقیاس و جزئیات بصری را تعیین می‌کند، قاب خرپایی سازهٔ اصلی آن است که بر روی سه عضو دیگر اثر می‌گذارد. اتصالات گیردار به طور گسترده‌ای جهت ایجاد تأثیر بصری مطلوب و پاسخی به بارگذاری مناسب، مقیاس بزرگ و حرکت در اثر دما مورد استفاده قرار می‌گیرند.



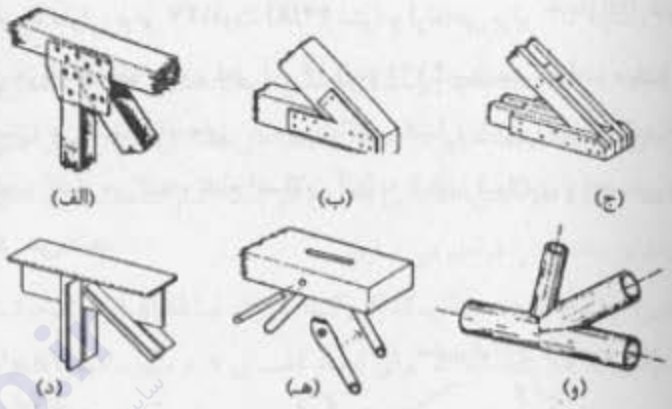
تصویر ۴-۶: کشش و فشار در خرپاهای مستطیل‌شکل.



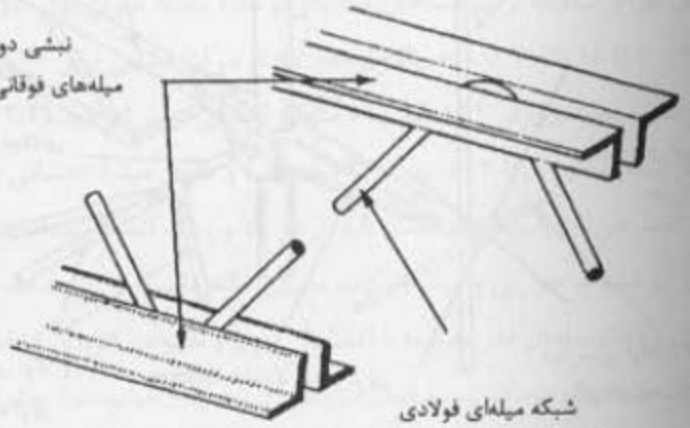
تصویر ۴-۷: پایداری در خرپاها. (الف) خرپای ناپایدار- بخش مرکزی خرپا که غیرمثلثی است تحت نیرو بشدت آسیب دیده و کاملاً فرومی‌ریزد. (ب) و (ج) خرپای پایدار- طرح عضو کاملاً مثلثی است و (د) خرپای پایدار با اعضای مثلثی- هر یک از دو خرپای ساده مانند اعضای فوقانی یک مثلث بزرگتر رفتار می‌کنند.

http://telegram.me/uadesigngroup

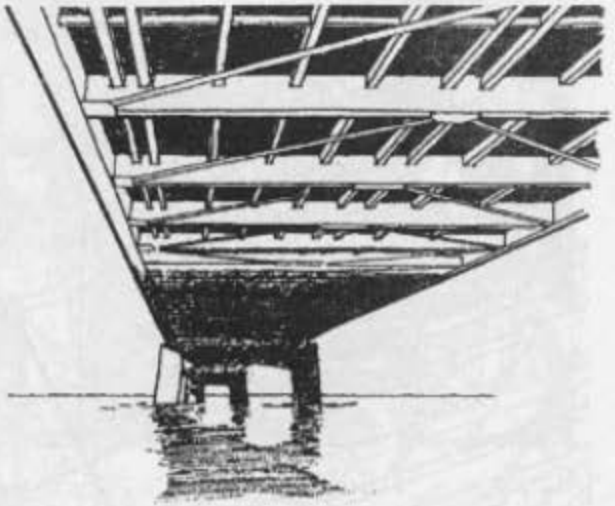
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۸-۴: انواع اتصالات در خرپا.



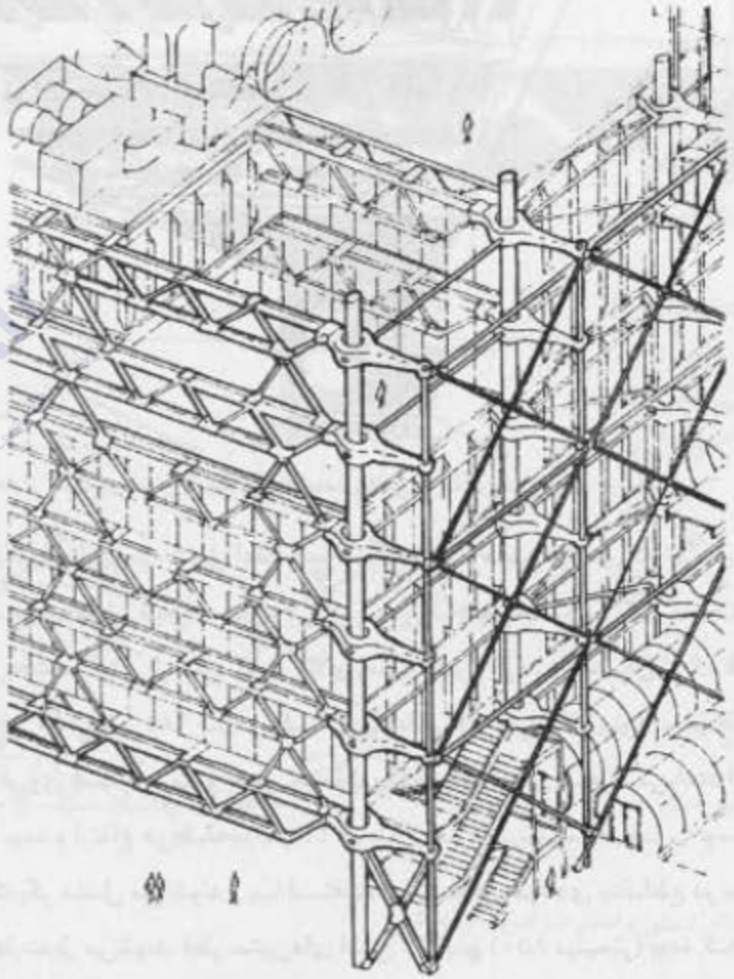
تصویر ۹-۴: تیرچه‌های فولادی با جان باز، خرپاهای سبک‌وزنی هستند که فاصله مابین آنها کم است [۸ اینچ (۱/۲ متر) در مرکز] و معمولاً سطوح فلزی هستند که روی آن بتن ریخته شده و در کف یا سقف به کار می رود.



تصویر ۱۰-۴: استفاده از خرپا به عنوان سیستم مهار بندی افقی در مقابل نیروی باد در یک پل.

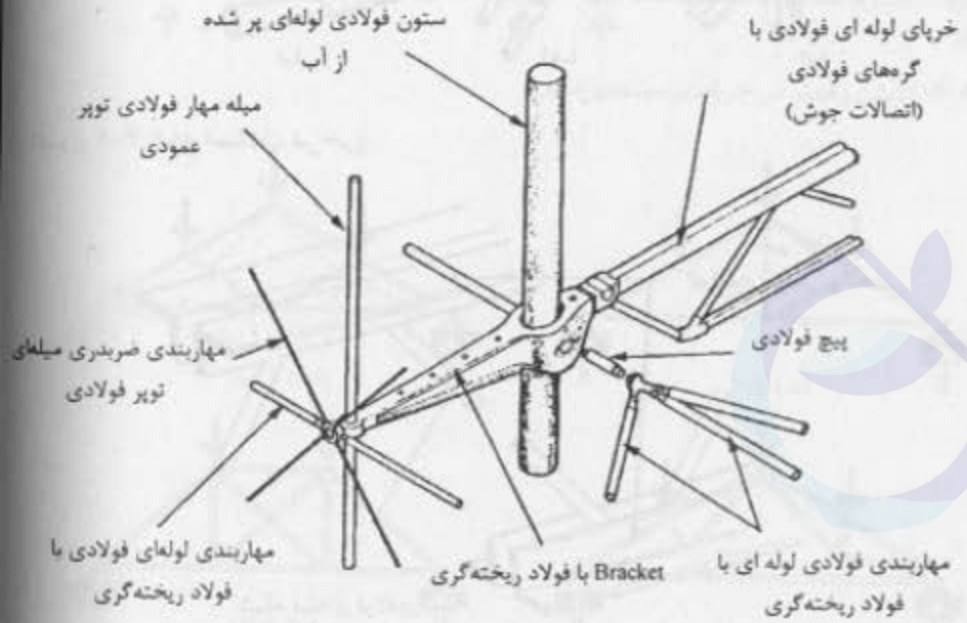
ساختمان از کل اجزای سازه شامل اعضا، اتصالات و اسکلت حجیم فولادی که تیرهایی از آن به وسیلهٔ قلاب هایی آویزان است، استفاده می کند، در نتیجه به سازه و کل ساختمان انرژی و پویایی می‌بخشد. بخشی از سازه که در بالای زمین قرار گرفته متشکل از ۱۴ قاب دوبعدی با دهانه‌های ۱۵۷ فوتی (۴۸ متر) و یک بخش الحاقی ۲۵ فوتی (۷/۶ متر) در هر طرف (برای حرکت افراد روی قسمت غربی و بخش خدمات مکانیکی در بخش شرقی) می‌باشد. این قاب‌ها شش طبقه بوده و ارتفاع هر طبقه برابر ۲۳ فوت(۷ متر) می‌باشد. قاب‌ها به وسیلهٔ دال‌های کف به یکدیگر متصل می شوند و با استفاده از میله‌های فولادی متقاطع در برابر نیروهای جانبی مهاربندی می‌شوند. قطر ستون‌های اصلی ۳۴ اینچ (۸۵۰ میلیمتر) بوده که به عنوان پایه‌های اصلی و ستون‌های لوله‌ای‌شکل فولادی با ضخامت زیاد که برای محافظت در برابر آتش‌سوزی با آب پر شده اند، عمل می نمایند. این ستون‌ها با اتصالات قاب فولادی اصلی دارای اتصال گیردار می باشند.

http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۱۱-۴: مرکز فرهنگی ژرژ پومپیدو، ترسیم اگزونومتریک از جنوب غربی

قلاب‌ها در بخش بیرونی انتهای محور اصلی به وسیلهٔ یک میلهٔ عمودی ۸ اینچی (۲۰۰ میلیمتر) نگاه داشته می‌شوند که گوشه‌های داخلی خرپای اصلی را نگاه می‌دارد. هر یک از دهانه‌های خرپا، طولی برابر ۱۴۷فوت (۴۴/۸ متر) و ارتفاعی برابر ۹/۳ فوت (۲/۸۲ متر) دارند. میلهٔ فوقانی خرپا مضاعف بوده و قطر آن ۱۶ اینچ (۴۱۹ میلیمتر) و قطر میلهٔ تحتانی ۹ اینچ (۲۲۵ میلیمتر) می‌باشد. لوله هایی به صورت تکی (فشار) یا توپر(کشش) اعضای فشاری را به صورت متناوب کامل می‌کنند. تمام اتصالات آنها به قالب فولادی و اعضای متصل به‌آن به صورت جوش می‌باشد.



تصویر ۱۲-۴: مرکز فرهنگی ژرژ پومپیدو، جزئیات ستون و اعضای احاطه‌کنندهٔ آن

http://telegram.me/uadesigngroup

تالار گاند Gund Hall

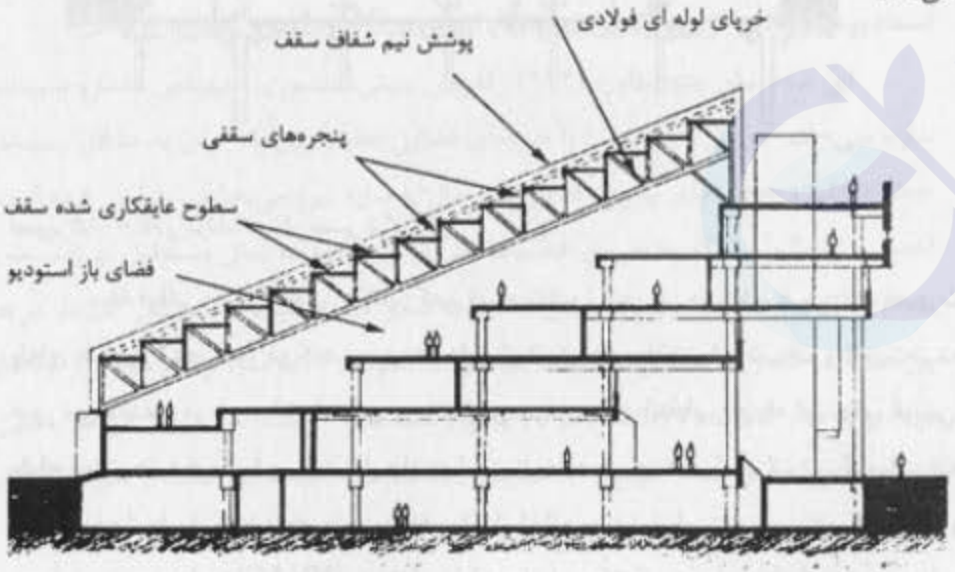
تالار گاند (۱۹۷۲: کمبریج، ماساچوست، مهندس معمار: جان اندروز) فارغ التحصیلان مدرسه طراحی هاروارد را با برنامه‌هایی در معماری، طراحی فضای سبز و طراحی شهری در خود جای می دهد. مفهوم طراحی، فضایی وسیع در یک گارگاه که ارتباطی بهتر بین دانشجویان رشته‌های مختلف را فراهم می سازد.

اندروز چنین توضیح می‌دهد:" یک گارگاه بزرگ با فضاهایی کوچکتر که برای فعالیت‌های بخصوصی به هم پیوسته اند. برای ایجاد فضای لازم مورد نیاز، گارگاه‌ها شبیه سینی‌هایی روی هم ردیف گشته و به وسیلهٔ یک سطح شیب دار پوشیده شده اند." (تیلور و اندروزTaylor and Andrews ، ۱۹۸۲).

هدف طراح استفاده از سیستم‌های مکانیکی و سازهٔ بام به عنوان ابزار آموزش بوده است (تصاویر ۱۳-۴ تا ۱۵-۴). ۹ عدد خرپای مسطح که در مرکز، فضایی برابر ۲۴ فوت(۷/۳ متر) را اشغال کرده‌اند، دهانه‌ای برابر ۱۳۴ فوت(۴۱ متر) و ارتفاعی برابر ۱۱ فوت(۳/۴ متر) دارند.

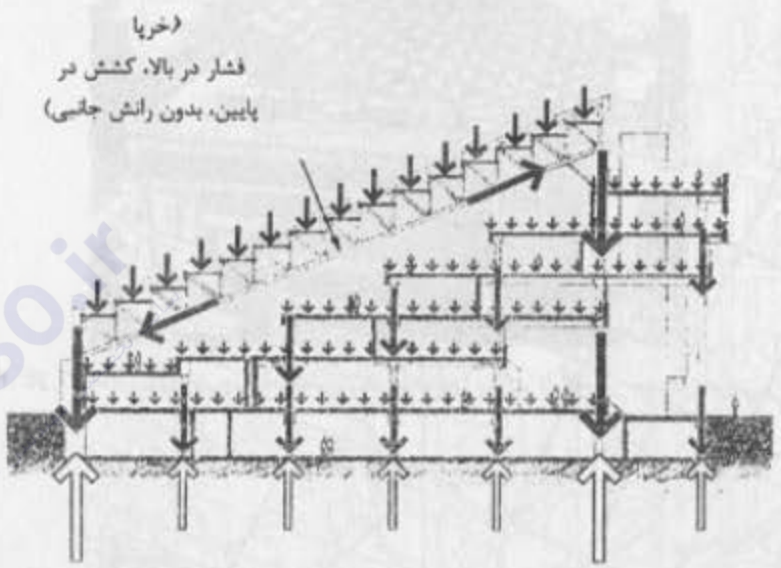
قطر میلهٔ فوقانی خرپا ۱۲ اینچ (۳۰۰ میلیمتر) و دارای میلهٔ تحتانی باریک‌تر و اعضا جان می باشد. خرپا به وسیله یک اتصال گیردار در بالا و یک اتصال ساده در پایین (امکان حرکت در اثر انبساط حرارتی و دیگر حرکات ضمنی) نگاه داشته می شود. اعضای لوله‌ای شکل برای امکان ساخت ساده‌تر (در مقایسه با اعضا بال پهن) و سهولت کاربری انتخاب شدند. روی لوله‌ها با یک لایه رنگ ضدآتش به ضخامت ۰/۱۲۵ اینچ(۳ میلیمتر) پوشانده شده است. مقاومت جانبی به وسیله گره‌های متقاطع در هر دو انتهای دهانه فراهم شده است.

تصویر ۱۳-۴: تالار گراند، نمای خارجی بام پله‌ای‌شکل و فضای بزرگ کارگاه در بخش غربی را نشان می‌دهد.



تصویر ۱۴-۴: تالار گراند، مقطع.

http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۱۵-۴: تالار گراند، نمودار مسیر بارگذاری.

میلهٔ فوقانی خرپا از درون سقفی که برای استفاده از نور روز در نمای غربی به صورت پله‌ای طراحی شده، عبور می‌کند. چنین نورهایی از شیشه‌های پلاستیکی شفاف و تقویت‌شده عبور می‌نمایند و در زیر سقف اعضای خرپا نمایان هستند. [درانتخاب بام پله ای نمای غربی، طراح بیشترجنبه فرمال آن را مد نظر داشته است تا جنبه های تکنیکی. انرژی گرمایی به دست آمده از طریق شیشه‌های بدون سایه بیش از اندازه مورد نیاز است و سیستم گرمایش و سرمایش تهویه مطبوع(HVAC) به عنوان طراحی اصلی مکانیکی جهت ایجاد آسایش در نظر گرفته شده است].

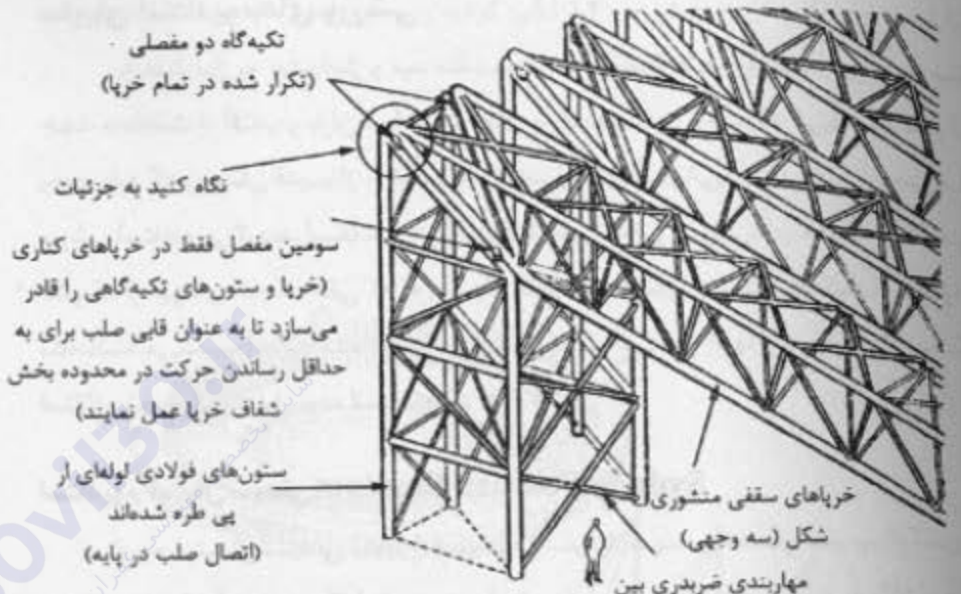
مرکز سنزبری Sainsbury Center

عملکرد اصلی این ساختمان (۱۹۷۸: نورویچ، انگلستان، مهندس معمار: فوستر و همکاران، مهندس سازه: هانت و همکاران) به عنوان گالری هنری بوده است ولی یک سوم ساختمان برای یک مدرسهٔ هنری، اتاق چندمنظوره و یک رستوران استفاده می‌شود (تصاویر ۱۶-۴ تا۱۸-۴). فرم ساختمان به صورت یک مکعب ساده با دو وجه کاملاً شفاف است. این بخش ها با جزئیات بسیار دقیق به منظور حفظ سادگی فرم و سطح در نظر گرفته شده‌اند. نور روز تحت کنترل بوده و با پنجره‌های کرکره‌ای پخش می شود. به علت وسعت زیاد ساختمان که مربوط به کیفیت بالای آن به عنوان یک شی می گردد، طراحی بسیار مهم است. اجزای ساختمان به صورت پیش‌ساخته با دقت زیاد برای ایجاد نمای مناسب، بخصوص خرپاهای فضایی و تطبیق با ستون‌های خرپایی، طراحی شده‌اند (اورتون، ۱۹۸۸).

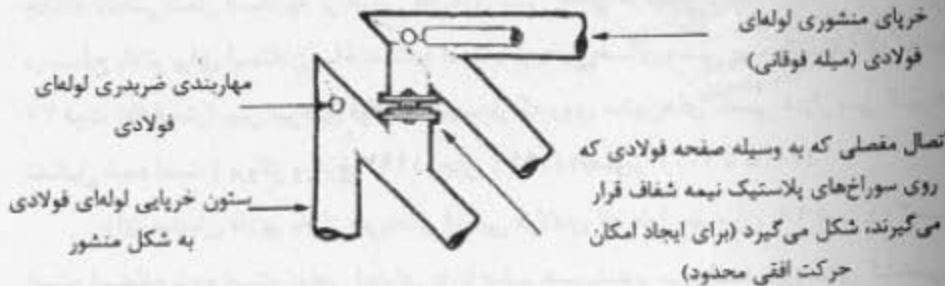
تصویر ۱۶-۴: مرکز سنزبری، نمای جنوبی.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۱۷-۴: مرکز سنزبری، مقطع اگزونومتریک از خرپا.



تصویر ۱۸-۴: مرکز سنزبری، جزئیات اتصالات بین رأس خرپا و ستون در انتهای خرپا که با شیشه احاطه شده، اتصال جدیدی اضافه گردیده تا استحکام شیشه‌های اطراف را افزایش دهد.

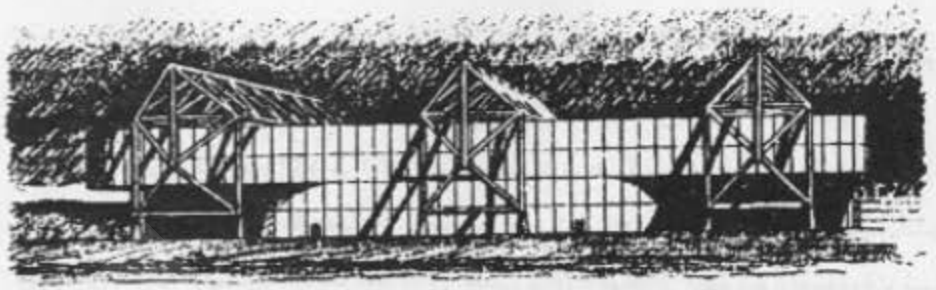
سازهٔ ساختمان براساس ۳۷ عدد خرپا (در مقطع به شکل مستطیل) در طول ۴۳۱ فوتی (۱۳۱/۴ متر) ساختمان با دهانه‌های ۱۱۳ فوتی (۳۴/۴ متر) شکل گرفته است. هر خرپا ۸/۲ فوت (۲/۵ متر) ارتفاع و ۵/۹ فوت (۱/۸ متر) عرض دارد. هریک با اتصال گیردار در بالای هر ستون خرپایی که از زمین طره شده‌اند ، متصل هستند. (خرپاهایی که در قسمت انتهای دیوارهای شفاف قرار دارند سخت‌کننده‌های اضافی برای جلوگیری از ریزش تقسیمات شیشه دارند، اتصالات گیردار به پایین خرپا برای ایجاد رفتار قاب صلب با ستون‌ها و خرپا اضافه شده‌اند). روکش فلزی نهایی، ترکیبی از آلومینیوم توپر، مشبک و عایق یا پانل‌های شفاف که به یک شبکهٔ مدولار با درزبندهای نئوپرن به ابعاد ۵/۹ × ۳/۹ فوت (۱/۸ × ۱/۲ متر) متصل شده اند، می‌باشد.

استادیوم ورزشی کرازبی کمپر Crosby Kemper Arena

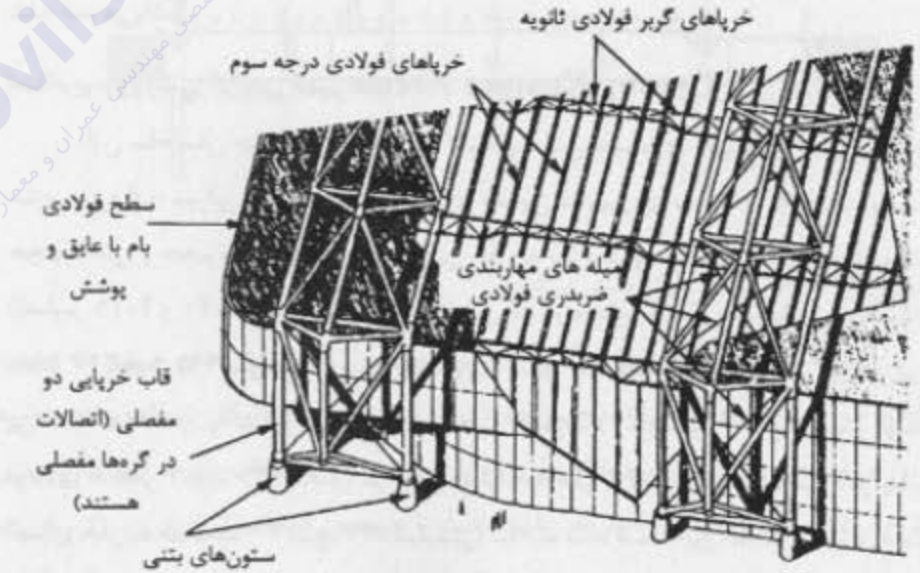
این ساختمان چندمنظوره (۱۹۷۴: کانزاس سیتی، میسوری ، مهندس معمارو مهندس سازه: سی- اف- مورفی و همکاران) با خرپاهای فضایی عظیم روی بام، برای به حداقل رساندن حجم داخلی و حجم نمای بیرونی که در عین حال به سازه نیرو می‌بخشد ، طراحی شده است (تصاویر ۱۹-۴ و ۲۰-۴).سه خرپای عظیم فضایی که در مقطع به شکل مستطیل می‌باشند، با دهانهٔ ۳۲۴ فوت (۹۹ متر) و یک ستون فضایی به شکل قاب صلب با دو اتصال گیردار در هر پی، سازهٔ ساختمان را تشکیل می دهند. هر خرپا ۲۷ فوت (۸/۲۳ متر) ارتفاع دارد و از لوله‌های فولادی به قطر ۴ فوت (۱/۲۲ متر) در بالا و دو لوله به قطر ۳ فوت(۹۱۴ میلیمتر) در پایین و اعضای جان به ضخامت ۳۰ اینچ(۷۶۲ میلیمتر) ساخته شده است. این حالت از خرپای فضایی صلبیت و مقاومت بالایی در برابر نیروهای عمودی، افقی و پیچشی دارد.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۱۹-۴: استادیوم ورزشی کرازیی کمپر، نمای غربی.



تصویر ۲۰-۴: استادیوم ورزشی کرازیی کمپر، مقطع آکزونومتریک.

سایبان استادیوم‌های ورزشی

به علت نیاز به چشم‌انداز و دید مناسب، طره‌ها از شرایط مناسبی برای ایجاد سایه جهت محافظت از آفتاب و باران در استادیوم‌های بزرگ ورزشی برخوردار می‌باشند. مدارکی وجود دارد که رومیان قدیم از ترکیب Vela (سازه‌های سایبانی) در تعدادی از زمین‌های ورزشی استفاده می‌کردند. استفاده از فن‌آوری قایق‌های بادبانی در زمان‌های مختلف، پانل‌های تاشو که از تیرهای کوچک افقی که به وسیلهٔ مهارهای طنابی از بالای دیرک‌های عمودی نگاه‌داشته می‌شدند، آویزان شده بودند و در پشت محل استقرار آنها از دیوار حائل سنگی استفاده شده بود، متداول بوده است (تصویر ۲۱-۴).

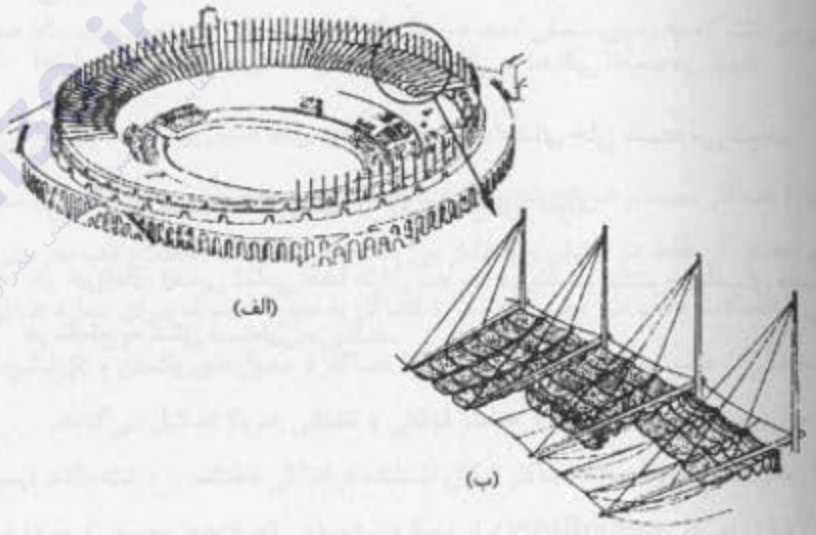
استادیوم فوتبال سیدنی Sydney Football Stadium

استادیوم فوتبال سیدنی (۱۹۸۸: سیدنی، استرالیا، مهندس معمار: فیلیپ کوکس، مهندس سازه: اوو آروپ و همکاران) به عنوان استادیومی برای بازی فوتبال و راگبی با گنجایش ۰۰۰ ۳۸ تماشاچی که سایبان آن ۶۵ درصد جایگاه را پوشش می‌داد، طراحی شد. جایگاه منحنی‌شکل استادیوم بر اساس دال‌های بتنی پله‌ای در سطح پایین‌تر برای نشستن و در سطح بالاتر برای ایستادن ساخته شده است و از بخش‌های بتنی پیش‌کشیده با دهانهٔ ۲۷ فوت (۸/۵ متر) بین تیرهای فولادی شیب‌دار که روی ستون‌های بتنی قرار می گیرند، تشکیل شده است (بروکز و گرچ ۱۹۹۲، جان ۱۹۹۱) (تصاویر ۲۲-۴ تا ۲۵-۴).

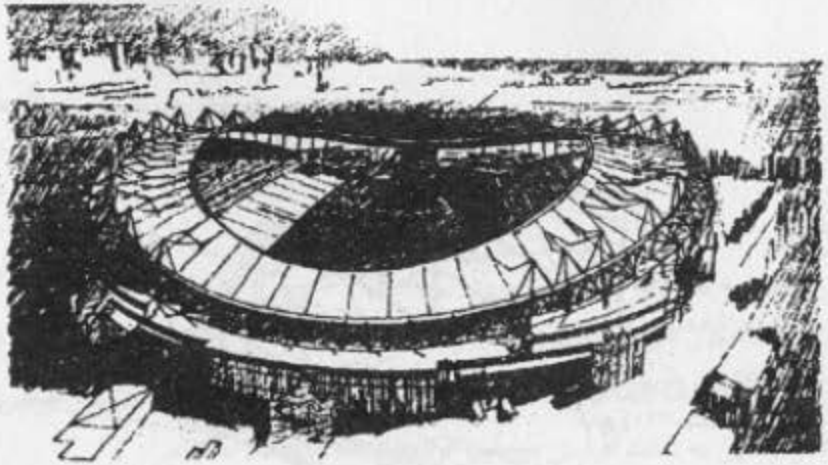
برای سایبان فلزی بام از خرپاهای فضایی فولادی که طول طره آن ۹۶ فوت (۳۰ متر) است، استفاده شده است. تمامی اعضای خرپا صلب هستند و می‌توانند نیروهای کششی یا فشاری را که به خرپاها امکان مقاومت در برابر نیروهای رو به بالای باد و نیروهای ناشی از وزن را می‌دهد، ایجاد نمایند. خرپاها، بار را به یک حلقه از ستون‌ها و دیوارهای بتنی که تیرهای نوک تیز را در جایگاه به هم متصل می‌کنند، انتقال می‌دهند. سیستم سازه ای به وسیلهٔ

http://telegram.me/uadesigngroup

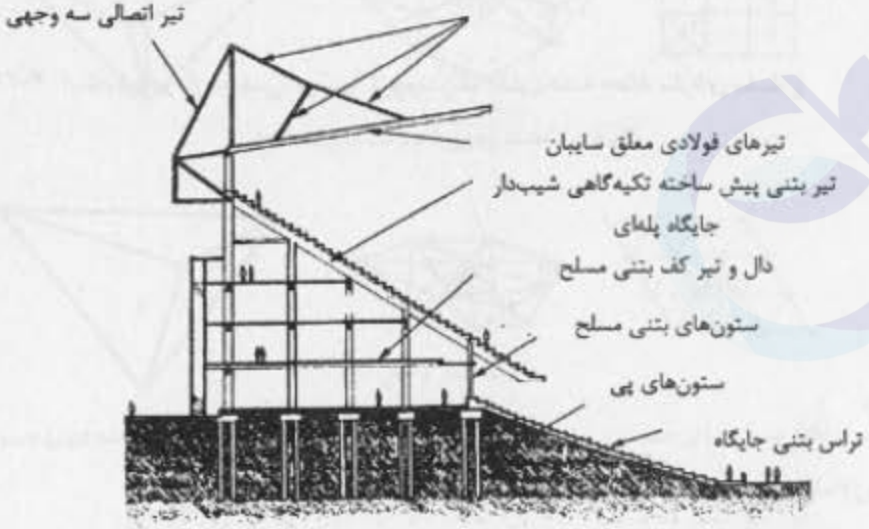
آزمایش بر روی یک مدل با مقیاس ۱:۲۰۰ آنالیز گردید و سختی اعضا بـا اسـتفاده از تجزیـه و تحلیل از مدل کامپیوتری تعیین گردید.



تصویر ۲۱-۴: آمفی تئاتر رومیان در پمپی: (الف) نصب Vela، (ب) جزئیات سیستم جمع‌شونده Vela

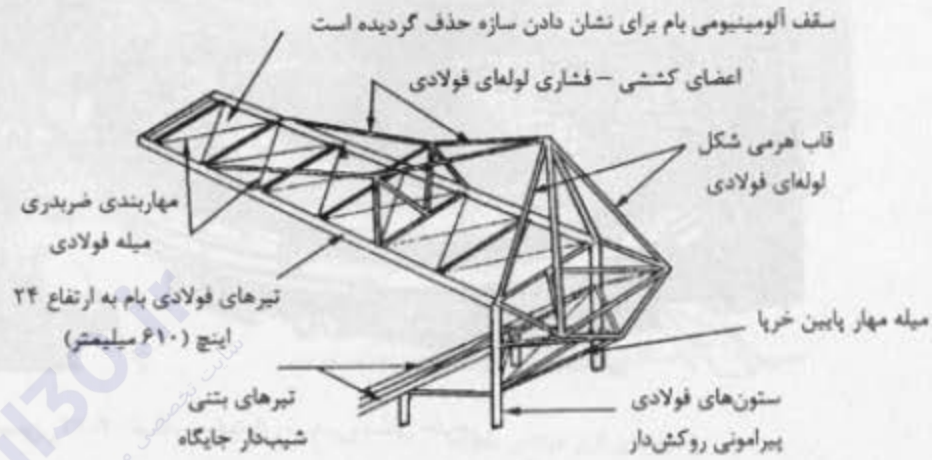


تصویر ۲۲-۴ : استادیوم فوتبال سیدنی، نمای خارجی.



تصویر ۲۳-۴ : استادیوم فوتبال سیدنی، مقطع جایگاه تماشاچیان.

http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۴-۲۴ : استادیوم فوتبال سیدنی، ترسیم آکزونومتریک نشان‌دهندهٔ دهانهٔ سازه‌ای سایبان.

خلاصه مطالب

۱- خرپا، مجموعه‌ای مثلثی شکل است که بارها را به وسیلهٔ ترکیبی از اعضا با اتصال مفصلی به تکیه‌گاه‌ها منتقل می‌کند و اعضای آن فقط تحت تاثیر نیروهای فشار و کشش (نه خمش و برش) قرار می‌گیرند. در خرپا تمامی رانش‌های داخلی خنثی می‌گردد.

۲- اعضای بالا و پایین خرپا به ترتیب، میلهٔ فوقانی و تحتانی نامیده می شود.

۳- تمامی اعضا مابین میله های فوقانی و تحتانی، اعضای جان نامیده می شوند.

۴- در خرپاهای مسطح تمامی اعضا در یک سطح قرار دارند.

۵- در خرپاهای فضایی تمامی اعضا دارای سه بعد می‌باشند. بیشتر خرپاهای فضایی در مقطع به شکل مستطیل می‌باشند.

http://telegram.me/uadesigngroup

فصل ۵

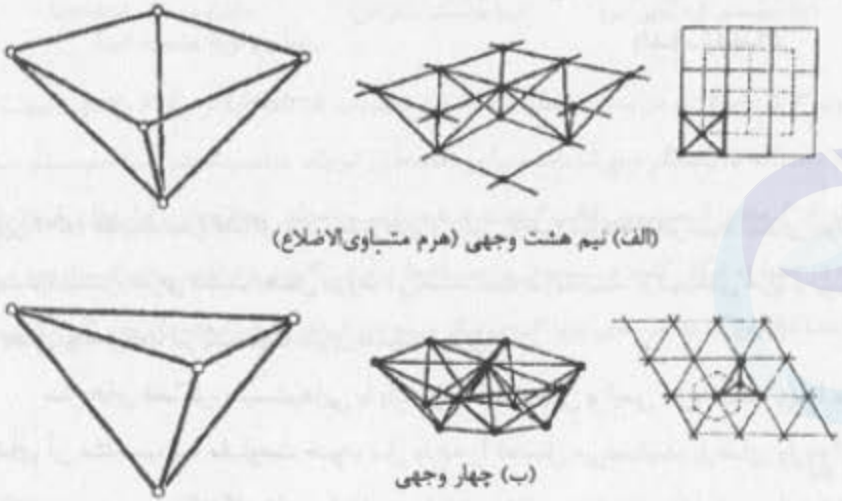
سازه‌های فضاکار

معمولاً یک ساختمان را در کشمکشی مابین سنگینی و سبکی می بینیم: بخشی از آن حجم توپری است که به زمین متصل شده، در حالی‌که قسمت دیگر آن به سمت بالا صعود می‌کند.

"رنزو پیانو"

سازهٔ فضاکار سیستم خرپای سه‌بعدی است که دهانه‌های آن در دو جهت گسترش یافته‌اند و اعضای آن فقط در کشش و یا فشار می باشند. در حالی که اصطلاح قاب بدرستی به سازه‌هایی با اتصالات صلب اشاره می کند، سازهٔ فضاکار به طور مشترک برای سازه هایی با اتصالات مفصلی و صلب به کار می‌رود. بیشتر سازهٔ فضاکار از مدول‌های یکسان و تکرارشونده با لایه‌های موازی در بالا و پایین (مشابه عناصر فوقانی و تحتانی خرپا) تشکیل می‌گردد.

تا زمانی که هندسهٔ سازهٔ فضاکار امکان استفاده از اشکال مختلف را داشته باشد (پیرس Pearce ۱۹۸۷، بورگو Borrego ۱۹۶۸)، از نیمهٔ هشت‌ضلعی (هرم چهاروجهی)، چهارضلعی (هرم سه‌وجهی) و کلیه چندضلعی‌ها به طور گسترده‌ای در ساختمان‌ها استفاده می‌شود (تصویر ۱-۵). علاوه بر آنکه با استفاده از سازه‌های فضاکار، فضاهای وسیع با سقف‌های افقی پوشانده می‌شود، از این سیستم می‌توان برای سایر قسمت‌ها مانند دیوارها و نیز سقف‌های شیب‌دار و یا دارای انحنا استفاده کرد. ارتفاع (ضخامت سقف) سازهٔ فضاکار می‌تواند تا ۳ درصد طول دهانه می‌باشد، اگرچه اقتصادی‌ترین ارتفاع در حدود ۵ در صد طول دهانه آزاد و برای طره‌ها ۱۱ درصد طول طره است. بهترین اندازه برای مدول‌ها از نظر اقتصادی بین ۷ تا ۱۴ در صد طول دهانه می‌باشد، باید توجه داشت که تعداد اعضا (و هزینهٔ دستمزد نیروی انسانی) با کاهش اندازه مدول به شدت افزایش می‌یابد(گوگلیوتا Gugliotta ۱۹۸۰).



(الف) نیم هشت وجهی (هرم متساوی‌الاضلاع)

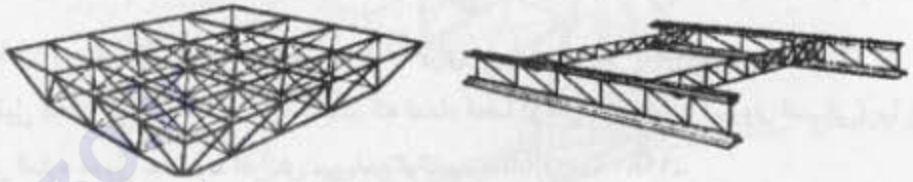
(ب) چهار وجهی

تصویر ۱-۵: مدول‌های هندسی متداول برای سازهٔ فضاکار: (الف) نیمهٔ هشت‌وجهی(هرم متساوی‌الاضلاع) و (ب)چهاروجهی.

از این دو، نیمه هشت‌وجهی دارای تصویر افقی مربع شکل بوده و برای ساختمان های مستقیم‌الخط مناسب‌تر می‌باشد.

http://telegram.me/uadesigngroup

معمولاً ارتفاع یک سازهٔ فضاکار در مقایسه با سیستم خرپایی (دردهانه‌های اصلی) و تیرهای فرعی یا خرپاهای کوچکتر (در دهانه‌های دیگر) کمتر می‌باشد (تصویر ۲-۵).



(ب) سیستم خرپا و پرلین (الف) سازهٔ فضاکار

تصویر ۲-۵ : مقایسهٔ سازهٔ فضاکار با سیستم خرپا و پرلین. (الف) سازهٔ فضاکار سه بعدی بوده ودر دو جهت (یا بیشتر) دارای قابلیت تحمل نیروها می‌باشند. (ب) در مقایسه، ترکیب‌های خرپا و پرلین اساساً دو بعدی بوده و فقط در یک جهت دارای قابلیت باربری است.

سازه‌های فضاکار، سیستم‌هایی با بازدهی سازه‌ای بالا و ایمن می‌باشند. زیرا هریک از اعضای آن متناسب با مقاومت خود، بار وارده را تحمل می‌نمایند. بارهای وارده از طریق کوتاهترین مسیر به تکیه‌گاه های مختلف و متعدد منتقل می شوند. بیشترین بارها از طریق مقاوم ترین اعضا به تکیه‌گاه‌ها منتقل می شوند. با حذف تعدادی از اعضا، ایستایی و پایداری سازهٔ فضاکار از بین نمی‌رود زیرا این امر باعث تعیین دوبارهٔ جریان نیروها می‌شود و اعضا، متناسب با مُقاومت یا سختی‌شان نیروهای اضافی را به طور مشترک تحمل می‌نمایند. این افزایش مقاومت ذاتی دلیل تعادل پایدار سازهٔ فضاکار است، حتی هنگامی که بار اضافی بر آنها وارد شود (گوگلیوتا ، ۱۹۸۰).

با وجود چنین قابلیت‌هایی تعدادی از سازه‌های فضاکار بزرگ و مهم دچار خرابی و فروریختن گردیده‌اند. سقف سازهٔ فضاکار مرکز شهری هارتفورد(Hartford) به ابعاد ۳۰۰ × ۳۶۰ فوت (۹۰ × ۱۱۰ متر) (۱۹۷۲: هارتفورد، کانکتیکات، مهندس معمار: وینسنت کلینگ، مهندس سازه: فارولی، بلوم و ویسل‌مان) در زیر بار برف به یکباره فروریخت.تحلیل‌های بعدی طراحان را به این نتیجه رساندند که فروریختن این سازهٔ فضاکار با ارتفاع برابر ۲۱ فوت (۶/۴ متر) از کمانش اعضای پیرامونی که به خوبی مهاربندی نشده بود، شروع گردیده و بتدریج گسترش یافته تا منجر به فروریختن سقف گردیده است (لوی و سالوادوری Levy and Salvadori، ۱۹۹۲).

از نظر تاریخی ، سازهٔ فضاکار چندلایه به طور مستقیم از خرپاهای مسطح در قرن نوزدهم منتج شدند. در اگوست سال ۱۸۸۱، فوپل (Foppl)قوانین خود را در مورد سازهٔ فضاکار منتشر کرد، که برای تحلیل‌های گوستاو ایفل (Gustave Eiffel) در مورد برج پاریس (گرچه برج ایفل واقعاً براساس مجموعه‌ای از خرپاهای مسطح شکل گرفته است) بسیار مؤثر بود. الکساندر گراهام بل به عنوان مخترع سازهٔ فضاکار اعتبار زیادی کسب نمود و به طراحی فرم‌های چهارضلعی با به دست آوردن حداقل وزن مواد به کار رفته به عنوان بخشی از مطالعات برای توسعه سازه های مناسب جهت شروع کرد. سازه های سازهٔ فضاکار اولیه وی شامل کایت، بادشکن و یک برج بود (شولر Schueller، ۱۹۹۶). دو پیشرفت مهم در سازه‌های فضاکار در اوایل دهه ۱۹۴۰ اتفاق افتاد. در سال ۱۹۴۲، چارلز آت وود (Charles Attwood) سیستم Unistrutرا توسعه بخشید و امتیاز آن را به ثبت رساند، این سیستم از ورق‌های فولادی خم‌شده به صورت گره‌های فولادی (اتصالات) و اعضا تشکیل می‌گردید. از سوی

http://telegram.me/uadesigngroup

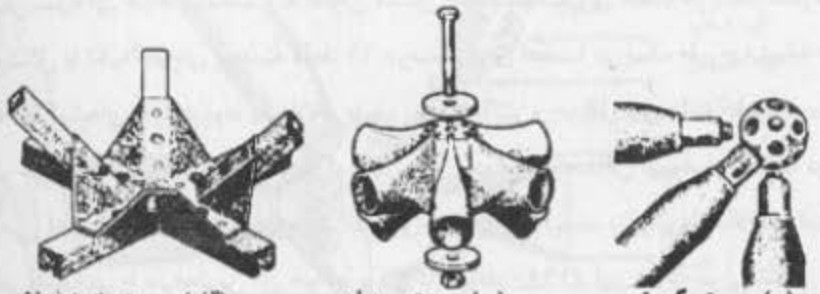
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

دیگردر سال ۱۹۴۳، سیستم مرو (Mero) اختراع شد (ویلسون Wilson، ۱۹۸۷) و اولین بار توسط دکتر ماکس منگرین گاوسن(Max Mengeringhausen) با استفاده از اعضای فولادی لوله‌ای شکل با انتهای مخروطی که به گره‌های فولادی کروی پیچ می شوند، ساخته شد (بورگو Borrego، ۱۹۶۸). هر دو سیستم هنوز هم به طور وسیع و گسترده‌ای مورد استفاده می‌باشند.

اتصالات

به دلیل ترکیب سه‌بعدی سیستم در سازه‌های فضاکار، گره‌هایی که اعضا در سه بعد به آنها متصل می شوند به طور ذاتی پیچیده می‌باشند. برای دهانه‌های کوچکتر، گره ممکن است از صفحه فولادی ساخته شود و به انتهای اعضا پیچ شود. این اعضا به طور معمول در مقطع عرضی، مستطیل شکل می باشند که به اتصال ساده‌تر عناصر پوشش‌دهندهٔ سقف، نورگیرهای سقفی، بخش‌های شفاف و دیگر اجزا کمک می‌کنند. در دهانه‌های بزرگتر، استفاده از سیستم مرو که با اعضای لوله‌ای شکل به گره‌های کروی توپر پیچ می شوند متداول‌تر می باشد. به علاوه برای قابل استفاده بودن این سیستم در دهانه‌های بزرگتر از ۶۵۰ فوت (۲۰۰ متر)، گره‌های کروی توپر و لوله‌های با قطر و ضخامت مختلف امکان ایجاد مقاومت دربرابر نیروهای موجود در هر عضو را می دهد. شرکت‌های تولیدی دیگر (به طور مثال Unistrut) بر اساس طرح اولیهٔ منگرین گاوسن سیستم های مشابهی را تولید می‌کنند.

به علت هندسهٔ پیچیده اتصالات و نیروهای نسبتاً بزرگ موجود در سیستم مرو، فولاد و آلومینیوم موادی هستند که معمولاً در سازه های فضاکار به کار می روند. گرچه سازه‌های فضاکاری هم وجود دارند که از چوب ساخته شده‌اند (به عنوان مثال، سقف مسیر پیاده دانشگاه سیمون فریزیر Simon Frazier) . سازهٔ فضاکار از جنس پلاستیک در کاربردهای داخلی که نیاز به عملکرد سازه ای ندارند استفاده می شوند (تصویر ۳-۵).



(الف) سیستم Unistrut (ب) سیستم سه‌راهی (ج) سیستم گره توپی مرو

تصویر ۳-۵ : اتصالات در سازهٔ فضاکار : (الف) سیستم Unistrut از ورق فولادی خم‌شده ساخته شده است که به یکدیگر پیچ شده‌اند و برای دهانه‌های کوچک مناسب است. (ب) سیستم سه راهی متشکل از گره‌های آلومینیومی قالب گرفته شده با سوراخ‌های دندانه‌دار و لوله‌های فولادی گالوانیزه که در انتها به شکل کلید هستندو درون سوراخ‌ها قرار می گیرند و (ج) سیستم گره کروی مرو متشکل از اعضا لوله‌ای که به گره‌های توپر کروی شکل پیچ می شوند و برای دهانه‌های بزرگ مناسب می باشند.

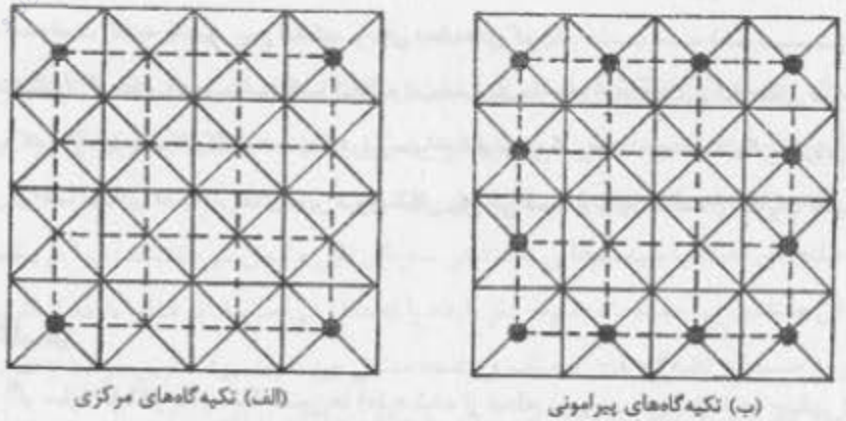
تکیه‌گاه ها

اگر سازهٔ فضاکار به وسیلهٔ ستون‌ها (طره شده از سطح زمین برای پایداری جانبی) در تعدادی نقاط مشخص نگاه‌داشته شود ، نیروهای موجود در اعضایی که تکیه‌گاه را احاطه کرده‌اند به طور قابل‌توجهی بزرگتر از دیگر اعضا می شوند. این نیروها را می توان به وسیلهٔ افزایش مقطع اعضا در نزدیکی تکیه‌گاه به طور متناسب طراحی کرد.

http://telegram.me/uadesigngroup

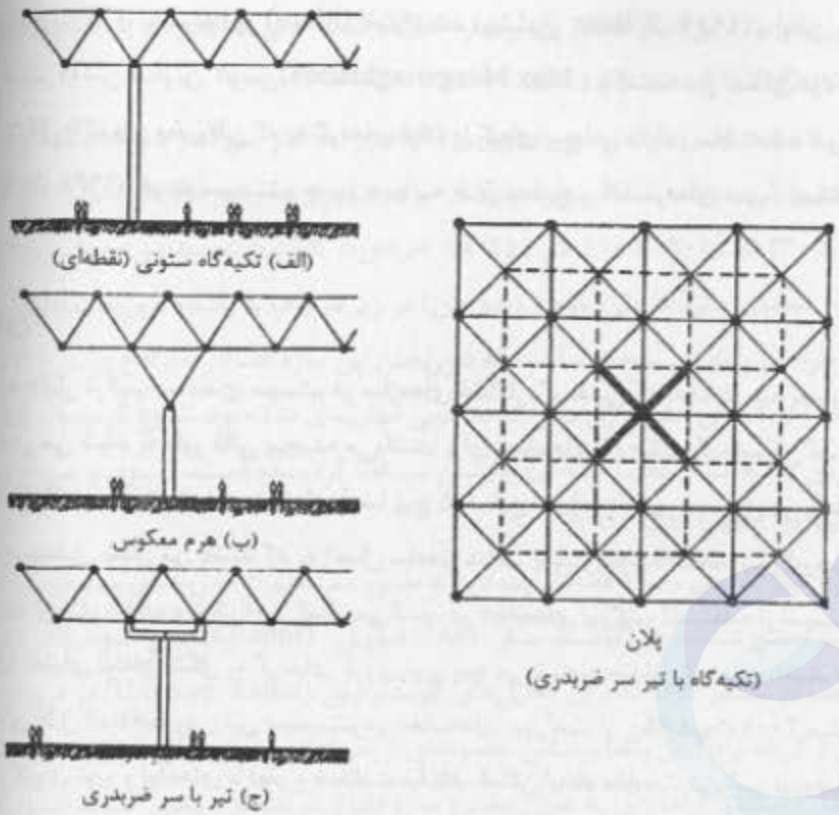
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

سازهٔ فضاکار حداقل به سه تکیه‌گاه برای پایداری نیاز دارد، گرچه بیشتر آنها دارای حداقل چهار تکیه‌گاه هستند. معمولاً تعدادبیشتر تکیه‌گاه های یک سازهٔ فضاکار تأثیر مثبتی بر پوشش سازه ای خواهند داشت، به عنوان مثال حداکثر نیروی اعضا در یک سازهٔ فضاکار مربع‌شکل با تکیه‌گاه‌های پیوسته فقط ۱۱ درصد نیروی اعضا در یک طرح مشابه با چهار تکیه‌گاه گوشه‌ای خواهد بود. به علاوه، طیف بین حداکثر و حداقل نیروها به صورت متناظری کمتر خواهد شد و به دلیل محدوده کوچک‌تر بین حداکثر و حداقل نیروهای اعضا در مرحلهٔ طراحی، اعضا اشکال یکنواخت‌تر و استانداردی به خود می‌گیرند. بنابراین اتصالات و اندازه اعضا از نظر اقتصادی با صرفه‌ترین آن خواهد بود. (گاگلیوتا، ۱۹۸۰). این صرفه‌جویی ممکن است با هزینهٔ اضافی در ساخت ستون‌هاو پی‌ها تا اندازه‌ای نقصان یابد (تصویر ۴-۵).



(ب) تکیه‌گاه‌های پیرامونی　　(الف) تکیه‌گاه‌های مرکزی

تصویر ۴-۵ تکیه‌گاه ها در سازهٔ فضاکار: (الف) تکیه‌گاه در گوشه و (ب) تکیه‌گاه در پیرامون. تکیه‌گاه‌های پیرامونی نیرو را در اعضا کاهش می دهند ولی هزینه ساخت ستون و پی را اضافه می‌گردد.



(الف) تکیه‌گاه ستونی (نقطه‌ای)

(ب) هرم معکوس

(ج) تیر با سر ضربدری

پلان
(تکیه‌گاه با تیر سر ضربدری)

تصویر ۵-۵ تکیه‌گاه‌ها در سازهٔ فضاکار: (الف) تکیه‌گاه ستونی (نقطه‌ای)، (ب) تکیه‌گاه به شکل هرم معکوس تکیه‌گاهی و (ج)تکیه‌گاه به وسیله تیرهای متقاطع.

تکیه‌گاه‌های نقطه‌ای سبب ایجاد نیروهای بزرگ در اعضا نزدیک تکیه‌گاه می شوند. این نیروها ممکن است با توزیع روی سطح بزرگتر یا به وسیلهٔ تکیه‌گاه های شاخه‌ای کاهش یابد، همچنین می‌توان با افزایش اندازه نزدیکترین اعضا به تکیه‌گاه مقاومت لازم را ایجاد نمود

http://telegram.me/uadesigngroup

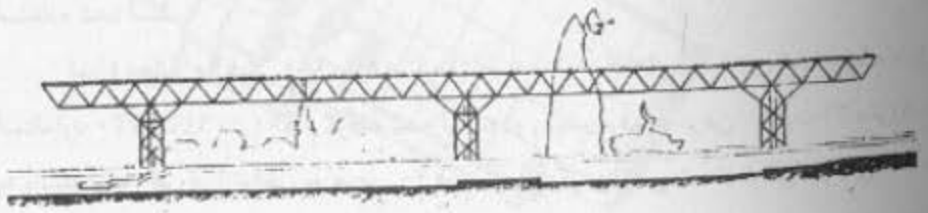
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

برای سیستم‌هایی که فقط از اعضای یکسان با تعداد محدودی ستون استفاده می کنند، تنش در تکیه‌گاه ها می‌تواند از طریق پخش نیروی عکس‌العمل تکیه‌گاه ها بر روی تعدادبیشتری از اعضا کاهش پیدا کند. این امر با استفاده از ستون‌های چندشاخه در انتها به شکل درخت برای نگاهداری سازه در چند نقطه (و نه یک نقطه) عملی می‌گردد (تصویر۵-۵).

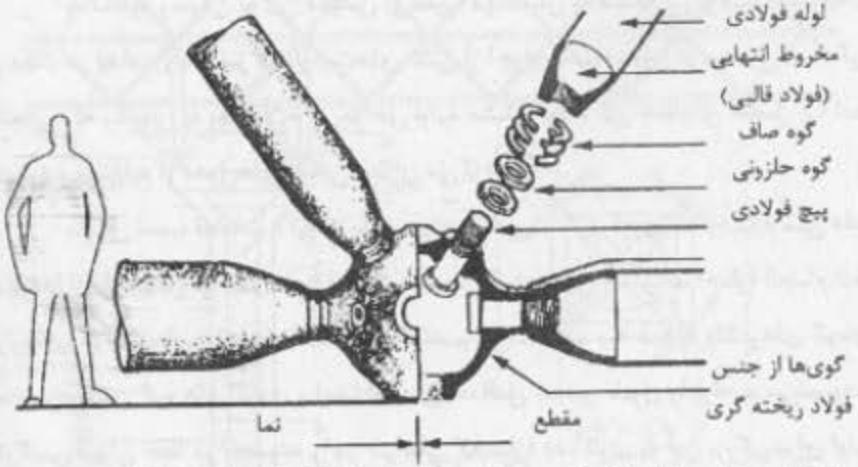
مطالعات موردی سازهٔ فضاکار

فضای مرکزی نمایشگاه اکسپو ۷۰_Expo 70 Festival Plaza

در مرکز نمایشگاهی اکسپو ۷۰ در اوزاکای ژاپن، بزرگترین سازهٔ فضاکار با اجرای سقفی بر روی فضای مرکزی نمایشگاه (مهندس معمار: کنزو تانگه و کوجی کامیا، مهندس سازه: ساداو هیراتا) برپا شده است. طراحی، برای ایجاد هماهنگی در ساختار کل مجموعهٔ نمایشگاه و برای فراهم کردن فضایی جهت توسعه و تحقیق زمینهٔ اصلی نمایشگاه یعنی پیشرفت و هماهنگی می‌باشد. این فضای مرکزی (پلازا) به فضای اصلی نمایش متصل شده است و برای جای دادن و نشستن طیف‌های مختلف افراد از ۱۵۰۰ تا ۳۰ ۰۰۰ نفر بر اساس نوع عملکرد طراحی شده است. میدان اصلی نمایشگاه از طریق پوشش سازهٔ فضاکار بام، یکپارچه می‌باشد (تانگهTange، ۱۹۶۹) (تصاویر ۶-۵ و ۷-۵).



تصویر ۶-۵ فضای مرکزی نمایشگاه اکسپو ۷۰، مقطع



تصویر ۷-۵ فضای مرکزی نمایشگاه اکسپو ۷۰، جزئیات اتصال گره‌ای سازهٔ فضاکار

این سازهٔ فضاکار از مدول‌های نیم هشت‌وجهی (هرم متساوی‌الاضلاع) با پلان مربع به ضلع ۳۳/۵ فوت (۱۰/۲ متر) و ارتفاع ۲۹/۳ فوت(۸/۹ متر) که فضایی به ابعاد ۱۰۸۲ × ۳۹۴ فوت (۳۳۰ × ۱۲۰ متر) را می‌پوشاند تشکیل شده است (کنزو تانگه و همکاران، ۱۹۸۷). درسیستم مرو از گره فولادی توخالی با اعضای لوله‌ای شکل با انتهای مخروطی که به گره‌ها پیچ می‌شوند، استفاده می‌شود. پوشش کل بام از جنس پلاستیک شفاف بادشده به شکل متکا می‌باشد که به اعضای بالایی سقف محکم گردیده است. ابعاد تقریبی اجزا به قرار زیر است: قطر گره‌های فولادی ۳/۶ فوت (۱/۱ متر)، قطر یال بالا و پایین اعضا فولادی ۲/۲ فوت (۶۷ سانتیمتر) و قطر اعضای فولادی مورب ۱/۴ فوت (۴۶ سانتیمتر). سازه، ابتدا روی زمین سرهم گردیده و سپس به وسیله جک‌های هوای فشرده به ارتفاع ۱۰۰ فوت (۳۰متر) بالا برده می شود. وزن کل سازه ۴۷۰۰تن (۴۲۶۰ تن متریک) می‌باشد که به وسیله ۶ ستون نگاه‌داشته می شود و این سازه بعد از اتمام نمایشگاه جمع آوری می‌گردد.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

به منظور رسیدن به این مقیاس بی‌نظیر، مهندسان به مشکلاتی از قبیل اندازه‌های سازه و دقت در ابعاد، زوایا و نیز محدودیت‌های ناشی از اجرای ساختمان در محل غلبه کردند. از آنجایی که رسیدن به دقت لازم در مراحل اولیه مشکل بوده، کل خطاهای حاصل با تنظیمات دوباره و استفاده از مدول‌های اضافی جبران می‌گردد.

مشکل نصب قطعات با ایجاد یک سوراخ اضافی در گره کروی که اجازه می داد پیچ و مهره‌ها از طریق آن در جای خود قرار گیرند، حل گردید. این جزئیات اجازهٔ انجام تنظیمات زاویه‌ای کوچک مابین اتصالات اعضا را فراهم می‌ساخت. به علاوه واشرهای گوه‌ای‌شکل مخصوص بین گره های کروی و اعضا امکان حداقل تغییر طول را فراهم می‌نمود. چنین ترکیبی میزان خطا در مجموعه را در شرایطی که سازهٔ فضاکاری به این بزرگی برای اولین بار به طور عملی و اقتصادی اجرا می شد، محدود ساخت (ناشر، ۱۹۷۰).

مرکز انجمن جاکوب ک. جاویتس

Jacob K. Javits Convention Center

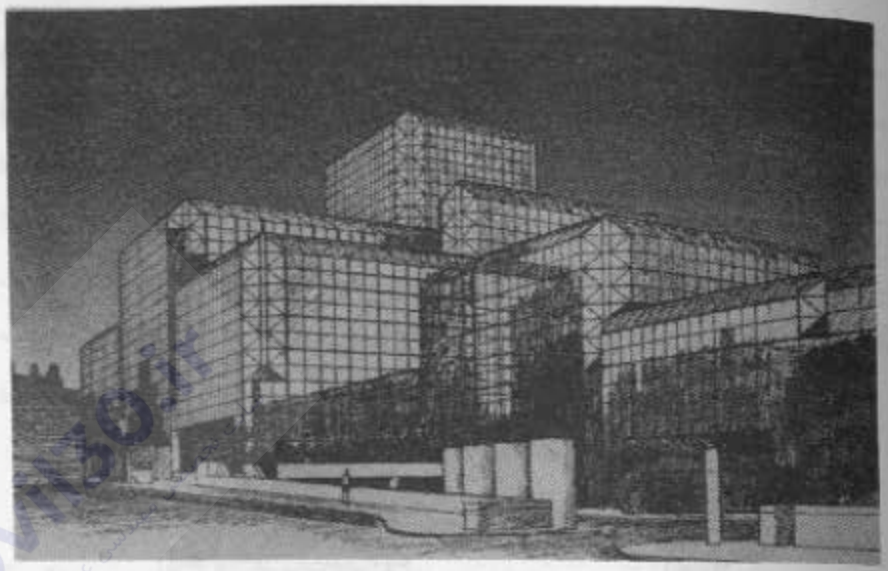
این ساختمان با طولی برابر ۵ بلوک حتی بزرگتر از فضای مرکزی نمایشگاه تانگه (Tange's Festival) نیز بزرگتر می‌باشد. مرکز جاویتس (۱۹۸۰: نیویورک، مهندس معمار: آی. ام. پی و همکاران، مهندس سازه: ویلدلینگر و همکاران) با طول ۱۲۰۰ فوت (۳۱۵ متر) در طول خیابان‌های یازدهم و دوازدهم مانهاتان و با عرض ۶۰۰ فوت (۱۵۷متر) در کنار خیابان‌های سی و چهارم و سی و نهم قرار گرفته است. در مجموع، مساحت همکف آن ۱/۶ میلیون فوت مربع (۱۴۸ هزار مترمربع) است. طراحان و کارفرما به طور جدی احساس می‌کردند که عامهٔ مردم (کسانی که هزینه ساخت بنا را پرداخته بودند) باید به ساختمان دسترسی ساده و مستقیم داشته باشند. فضایی که به بخش عمومی با سالن بزرگ مربع‌شکلی به ضلع ۲۷۰ فوت (۸۲ متر) اختصاص یافته بود، با یک ورودی و جذاب و بدیع در خیابان یازدهم مشخص می گردید. ساختمان به وسیلهٔ پلی به طول ۳۶۰فوت (۱۱۰ متر) که مشرف به سالن اصلی نمایشگاه بود تا خیابان دوازدهم ادامه می‌یافت و به یک رستوران که چشم‌اندازی از رودخانهٔ هودسون (Hudson River) داشت، منتهی می گردید و به حداکثر ارتفاع خود می‌رسید (ناشر، ۱۹۸۰) (تصاویر ۸-۵ تا ۱۰-۵).

در توصیف نمایشگاه، جیمز فرید (James Freed) به عنوان کسی که در طراحی همکاری داشته،آن را یک انبار می‌نامد که طراحان نمی توانستند به عملکردهای داخلی برای ایجاد توازن و تعادل در نمای طویل آن متکی باشند. کلید حل این موضوع قرار دادن ۵ بلوک شهری در زیر یک سازهٔ فضاکار بود که دیوارها و سقف را نگاه می داشت. سطوح گوشه دار، محل قرارگیری ستون‌ها را در طبقهٔ بالاتر نمایشگاه در فواصل ۹۰ فوتی (۲۸ متر) مشخص می‌کند.

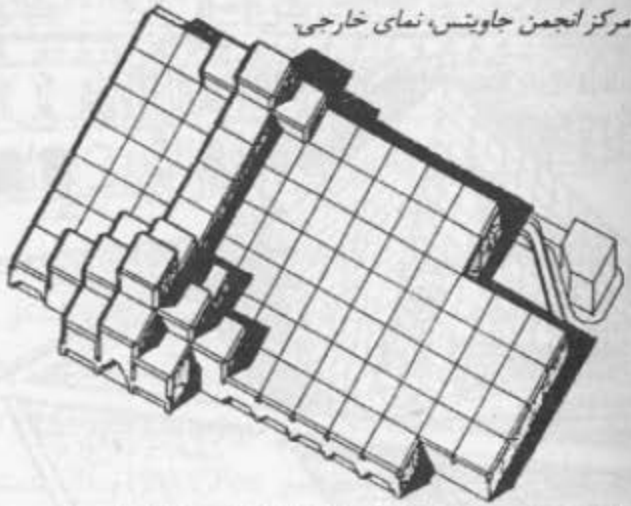
پوشش شیشه ای نیمه منعکس‌کنندهٔ ساختمان در طول روز، در اثر انعکاس نور آسمان مات به نظر می رسد. هنگام شب، در اثر نورپردازی داخلی، شیشه ها شفاف شده و دیوارها و سقف خرپای فضایی نمایان می‌گردند. ورودی‌ها شیشه‌های شفاف داشته و برای نورگیری از سقف (به وسیلهٔ پنجره سقفی) به کار رفته، برای دیوارها و فضاهای نمایشگاه از شیشه‌های مات استفاده شده است.

اندازهٔ دهانهٔ ۹۰ فوتی (۲۸ متر) سازه از ابعاد نمایشگاه‌های تجاری متعدد با مدول استاندارد ۳۰ فوت (۹ متر) الهام گرفته شده است. دو ردیف غرفه به عرض ۱۰فوت (۳ متر)که به وسیلهٔ یک راهروی ارتباطی به عرض ۱۰ فوت از یکدیگر جدا می شدند در آن طراحی شده است.

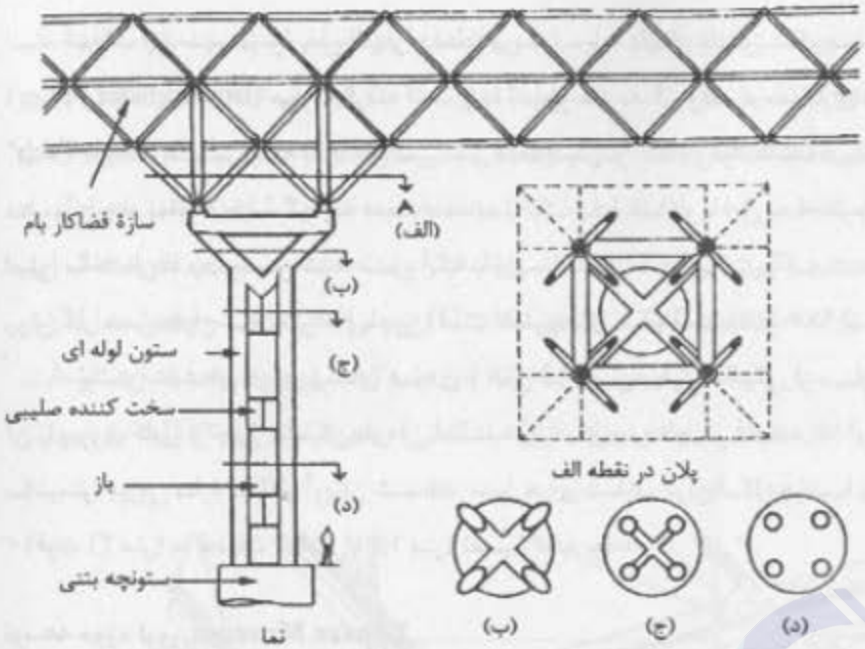
http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۸-۵ : مرکز انجمن جاویتس، نمای خارجی.



تصویر ۹-۵ : مرکز جاویتس، تصویر آکزونومتریک بام که نشان‌دهندهٔ جداره‌های بیرونی و زیبای ساختمان، شبکهٔ دهانه‌ها و محل درزهای انبساط را نشان می دهد.



تصویر ۱۰-۵ : مرکز جاویتس، جزئیات ستون: (الف) نما و (ب تا د) مقاطع پلان

ستون‌های چهارگوش که سازهٔ فضاکار سالن و فضای اصلی نمایشگاه را نگاه می‌دارند سبک و شفاف هستند. به نظر می رسد که سازهٔ فضاکار از درون این ستون‌های به شکل درخت، به طور طبیعی رشد کرده است. ستون‌های اصلی، مرکب از ۴ ستون فولادی لوله ای به قطر ۱/۵ فوت(۵۵ سانتیمتر) می‌باشند که در رئوس یک مربع ۵ فوتی (۱/۵ متر) قرار گرفته و با شبکه‌های فلزی به هم متصل شده‌اند. سر ستون‌های اصلی به شکل مربع و به ضلع ۱۰ فوت(۳ متر) عناصر قطری را نگاه می‌دارد و هنگامی که با سازهٔ فضاکار بالایی یکی می‌شوند، اندازه‌شان کاهش می یابد. مدول استاندارد این سازهٔ فضاکار مربعی به ضلع ۱۰فوت (۳متر) است. سازهٔ فضاکار به وسیلهٔ شرکت سازه‌های پی جی (PG Structures Inc.) ساخته شده

http://telegram.me/uadesigngroup

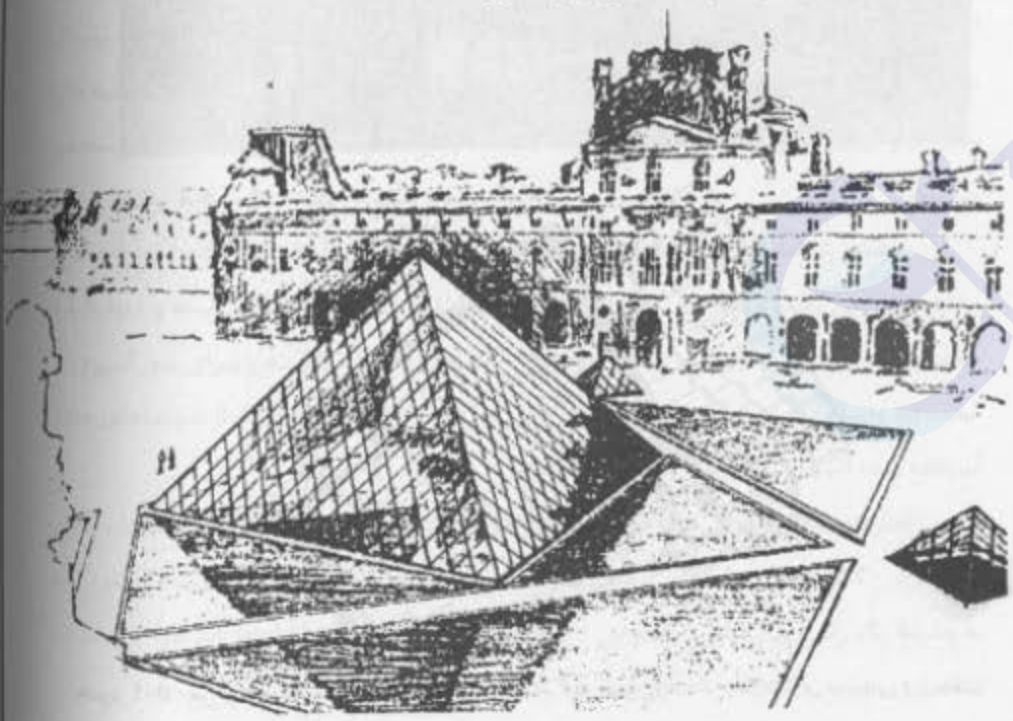
است. انتخاب این سیستم براساس اظهار جیمز فرید نه به دلیل دانش باک مینسترفولر (Buckminster Fuller) صورت گرفته است و نه بخاطر هنر به کار رفته درمعماری های‌تک "High Tech" انگلیسی بلکه به عنوان سیستمی انعطاف‌پذیر که می‌تواند شفافیت و بافت مناسبی ایجاد نماید انتخاب گردیده است. استفاده از یک سازهٔ فضاکار با این ساختار به سازهٔ اصلی ساختمان‌ها محدود می شود، ضمن آنکه داخل ساختمان با عناصر بتنی که نشان‌دهندهٔ روش کار معمار طراح ساختمان (آی.ام.پی) است تقسیم‌بندی شده است (ناشر،۱۹۸۶).

پوشش شیشه‌ای در جداره‌های عمودی و افقی ساختمان بیانی گرافیکی از سازهٔ پشت آن با پیروی کامل از چین وشکن‌های آن است. دیوارهای پرده‌ای در فاصله ۱۵ اینچ (۳۸ سانتیمتر) بیرون سازهٔ فضاکار آویزان شده‌اند. مدول‌های شفاف مربع‌شکل در نما به ضلع ۱۰فوت (۳ متر) به قطعات ۵ فوتی (۱/۵ متر) تقسیم شده بودند.

توسعه موزه لوور Louvre Museum

در مقایسه با دو پروژهٔ قبلی، بخش الحاقی موزهٔ لوور (۱۹۸۹: پاریس، مهندس معمار: آی.ام.پی و همکاران) یکی از مشهورترین و بحث انگیزترین نمونه‌ها با استفاده از سازهٔ فضاکار است. در بخش الحاقی که سطحی برابر ۶۵۰ هزار فوت مربع (۶۰ هزار مترمربع) را در زیرزمین اشغال می‌کند، هرم اصلی بیشترین توجه را به خود معطوف داشته است، وضوح و روشنی هیجان‌انگیز و شبکهٔ زیبای آن در عین نامرئی بودن به قدری جسورانه و بارز است، که ساختمان را به مثابهٔ یک نشان واقعی از جاه‌طلبی مدرنیسم برای غیرمادی کردن دیوارها و از بین بردن مرز بین درون و بیرون متجلی می سازد. ظرافت شگفت‌انگیز و بدیع این ساختمان حاکی از پیشرفت فن‌آوری، در حدی است که اجازه داده است رویاهای مدرنیسم در اوایل دههٔ ۱۹۲۰در طول دههٔ ۱۹۸۰ در این معماری عینیت بخشیده شود (کیمبال Kimball، ۱۹۸۹)

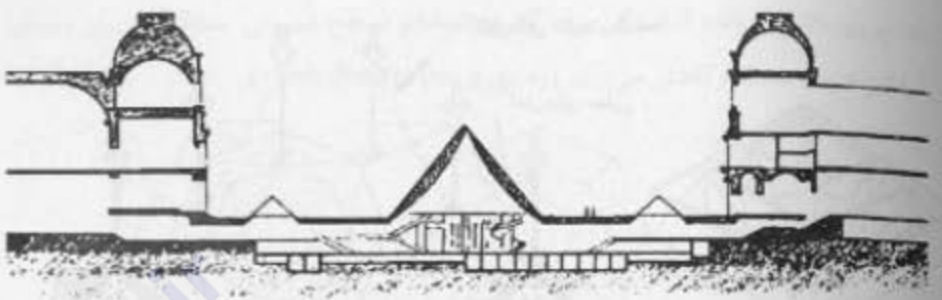
(تصاویر ۱۱-۵ تا ۱۳-۵). هرم اصلی ۷۱ فوت (۲۱/۶ متر) ارتفاع دارد و هر ضلع آن برابر ۱۱۵ فوت (۳۵ متر) با شیبی برابر ۵۱ درجه است. سازهٔ فضاکار متشکل از عناصر فشاری به صورت لوله‌ای (اعضای فوقانی و اعضای جان) و کابل‌های کششی (اعضای تحتانی) می باشد. عمق (ضخامت) سازهٔ فضاکار هرم شکل از ۵/۶ فوت (۱/۷ متر) در مرکز به صفر در لبه‌ها می رسد. نتیجهٔ آن انحنا و خمیدگی در عناصر تحتانی است، در حالی که عناصر فوقانی مستقیم می‌باشند و سطوح شیشه ای هرم مسطح هستند. به علاوه کابل‌ها برای مهار بندی ضربدری بین گره‌ها برای افزایش مقاومت جانبی نیز به کار رفته‌اند.



تصویر ۱۱-۵: بخش الحاقی موزهٔ لوور، نمای خارجی

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

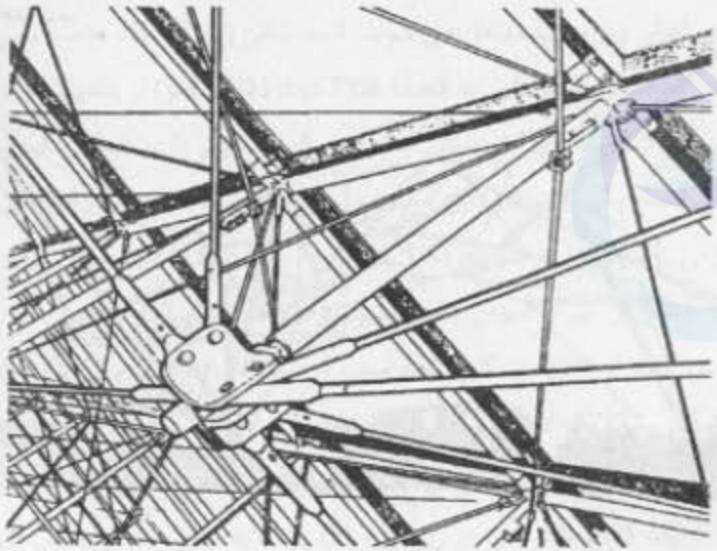


تصویر ۱۲-۵ : بخش الحاقی موزهٔ لوور، مقطع از درون هرم. به تغییر ارتفاع در سازهٔ فضاکار هرم توجه کنید.

این سازهٔ فضاکار از ۶۰۰ عدد عضو لوله‌ای با قطری مابین ۰/۴ تا ۳/۲ اینچ (۱۰ تا ۸۰ میلیمتر) و بیش از ۲۱ هزار گره، تشکیل شده است. جزئیات اتصالی آن شبیه اتصال طناب و دیرک بادبان قایق‌های بادبانی می‌باشد (ناشر، ۱۹۸۸). پوشش آبگینهٔ مخصوص آن با قاب شیشه‌ای فرم الماس را داشته و وزنی برابر ۹۵ تن (۸۶ تن متریک) دارد.

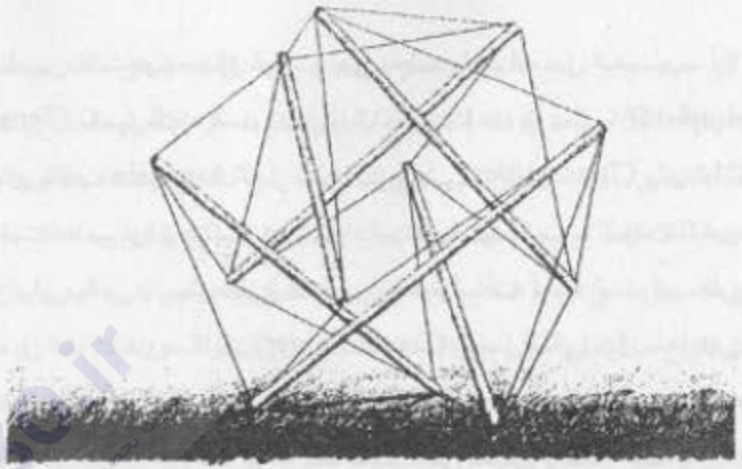
سازه کش‌بستی (Tensegrities)

سازهٔ کش‌بستی (Tensegrities) نوعی سازهٔ فضاکار سه‌بعدی پایدار، متشکل از کابل‌ها و عناصر فشاری است، که در آن کابل‌ها ممتد ولی عناصر فشاری غیرممتد هستند و با یکدیگر اتصالی ندارند. این سیستم به وسیلهٔ مجسمه سازی به نام کنت اسنلسون (Kenneth Snelson) در سال ۱۹۸۴ ابداع شد (فوکس Fox، ۱۹۸۱) و باکمینستر فولر آن را توسعه داد و حق امتیاز آن را به دست آورد (مارکس Marks، ۱۹۶۰). پایداری این‌گونه سازه ها در اثر نگاهداری میله‌های فشاری بین یک سری کابل در جهات مختلف به دست می‌آید. اسنلسون، دانشجو و همکار فولر، چندین قطعه را بر اساس هندسه سازهٔ کش‌بستی (Tensegrities) تکمیل کرده است (تصاویر ۱۴-۵ تا ۱۹-۵) در سال ۱۹۶۱، فولر امتیاز نوعی سقف سازه‌ای با نام Aspension که از سازه کش‌بستی (Tensegrities) برای تولید سازه‌ای سبک‌وزن استفاده می‌کرد و در برابر جریان باد نیز مقاوم بود، کسب کرد. تاکنون هیچ‌گونه ساختمان اجرایی واقعی با روش نظری اسنلسون و فولر ساخته نشده است. این نظریه هنگامی به عمل تبدیل شد که دیوید گایگر (David Geiger) عناصر اضافی مدل سه‌وجهی مدل فولر را حذف و این مدل را ساده کرد. در روش گایگر، کابل‌های کششی پیوسته و عناصر فشاری (برای ساده کردن جریان نیروها و ایجاد یک گنبد کابلی معین از نظر استاتیکی) به صورت شعاعی اجرا می شوند.

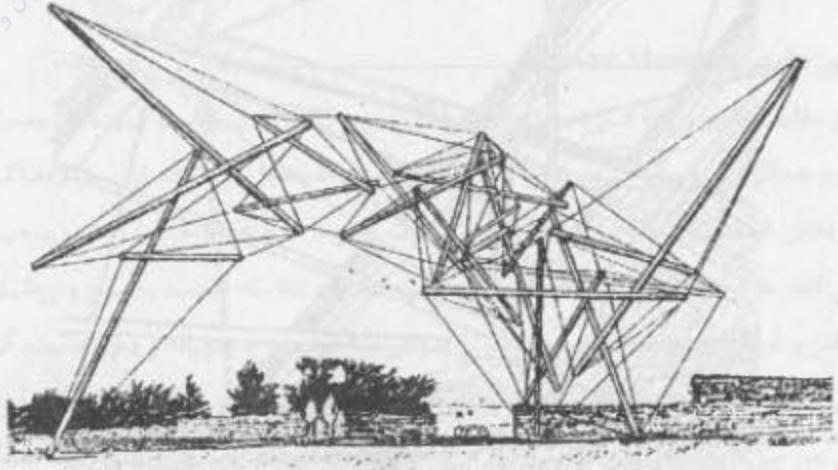


تصویر ۱۳-۵ : بخش الحاقی موزهٔ لوور، جزئیات اتصالات سازهٔ فضاکار ساختمان ورودی

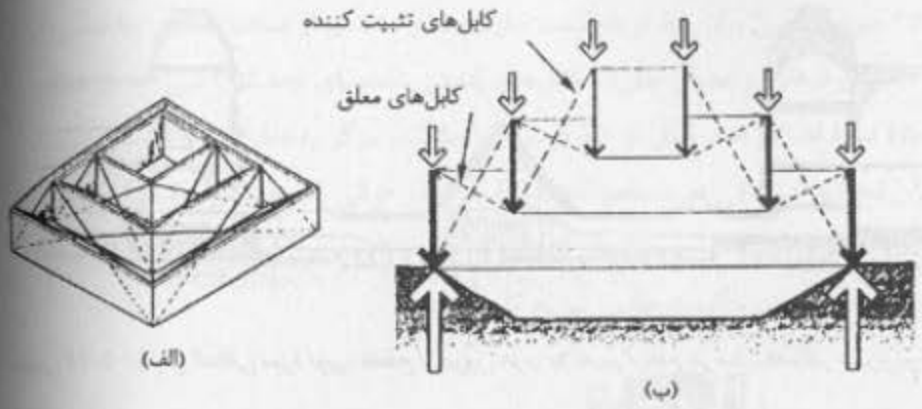
http://telegram.me/uadesigngroup



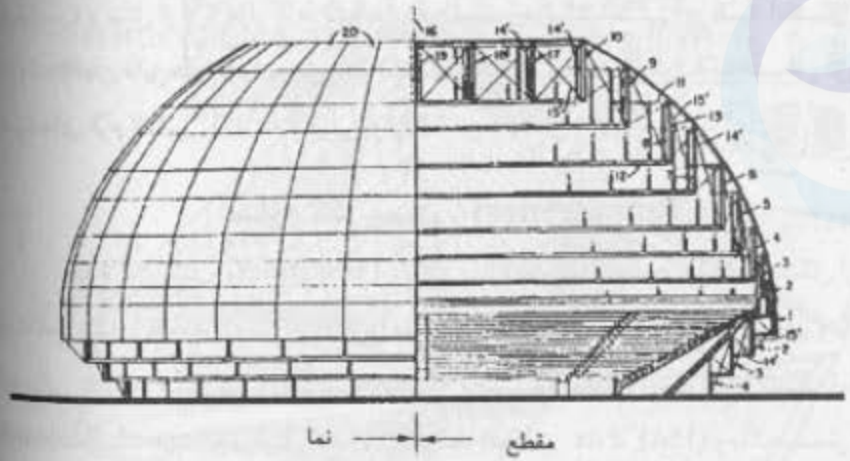
تصویر ۱۴-۵ : سازهٔ کش‌بستی (Tensegrities) بیست‌وجهی که توسط باکمینستر فولر در سال ۱۹۴۹ ساخته شد.



تصویر ۱۵-۵ :مجسمه Free Ride Home از آلومینیوم و فولاد ضد زنگ، یکی از مجسمه های کش‌بستی (Tensegrities) متعدد کنت اسنلسون.



تصویر ۱۶-۵ طرح مربع‌شکل از سیستم Aspentsion ثبت‌شده توسط فولر: (الف) تصویر ایزومتریک و (ب) دیاگرام جریان نیروها.

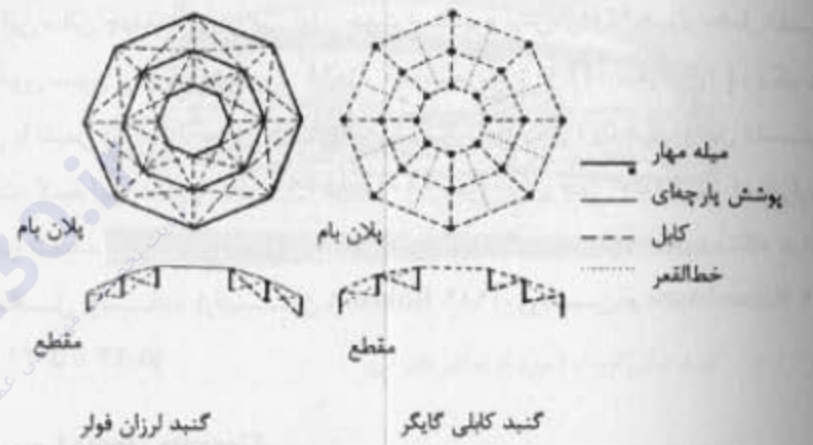


تصویر ۱۷-۵ : نقشهٔ گنبد Aspension ثبت‌شده فولر.

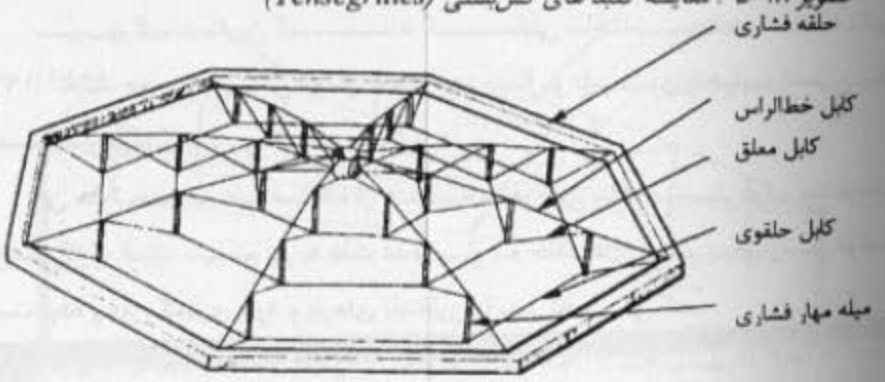
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

با این روش، امکان استفاده از فرم‌های منحنی‌های با ارتفاع کم عملی گردید و در نتیجه برآیند نیروی ناشی از باد و انباشتگی برف کمتر شده و سطح بیرونی ساختمان نیز کمتر می‌گردد و هزینه ساخت کاهش می یابد (راستورفر Rastorfer، ۱۹۸۸).



تصویر ۱۸-۵ : مقایسه گنبد های کش‌بستی (Tensegrities)



تصویر ۱۹-۵ : پرسپکتیو یک طرح هشت‌وجهی ساده شده از گنبد کابلی گایگر، دارای سه حلقهٔ کششی است.

مطالعات موردی سازه‌های کش‌بستی (Tensegrities)

سالن ژیمناستیک المپیک

گایگر، دو سقف گنبدی کش‌بستی را برای المپیک ۱۹۸۸ سئول طراحی کرد. نمونهٔ بزرگتر، سالن ژیمناستیک، به عنوان بخشی از تلاش گایگر برای طراحی سقف سالن ورزش سرپوشیده با پوشش غشایی عایق‌بندی شده که درحد سازه‌های متکی بر هوا باشد بشمار می‌رود (راستورفر، ۱۹۸۸).

گایگر به سیستمی برای پوشش به دهانه‌ای برابر ۳۸۳ فوت (۱۲۰متر) با استفاده از کابل‌های کششی ممتد و عناصر فشاری غیرممتد دست یافت. بارها، از یک حلقهٔ کششی مرکزی به یک سری از کابل های شعاعی، حلقه‌های کششی و اقطار میانی سرانجام به یک حلقهٔ فشاری اصلی پیرامونی، منتقل می شوند. گنبد سالن ژیمناستیک به سه سری کابل‌های کششی مدور به صورت حلقه‌هایی به فاصلهٔ ۴۷/۵ فوت (۱۴/۵ متر) از یکدیگر نیاز دارد. نمونهٔ کوچکتر این نوع از گنبدهای کش‌بستی که برای سالن شمشیر بازی طراحی گردید، دارای دو حلقهٔ کششی است. یکی از مزایای این سیستم آن است که، در صورت افزایش دهانه، وزن واحد سطح آن [۲ پاوند / فوت مربع (۹/۸ کیلوگرم / مترمربع)]ثابت باقی می‌ماند و هزینهٔ ساخت واحد سطح آن نیز به میزان کمی تغییر می نماید (تصویر ۲۰-۵).

پوشش گنبد از ۴ لایه تشکیل شده است: (۱) یک مادهٔ مقاوم از نوع فایبرگلاس با پوشش سیلیکون، (۲) یک لایه عایق به ضخامت ۸ اینچ (۲۰۰ میلیمتر) از فایبرگلاس، (۳) یک لایه هوا به ضخامت ۶ اینچ (۶۰ میلیمتر) با یک لایه محافظ بخار مایلرMylar و یک لایه هوا به ضخامت ۲ فوت (۶۰ سانتیمتر) در زیر آن و (۴) یک لایه عایق صدا از جنس فایبرگلاس با بافت درشت. ۶ درصد از نور روز از این پوشش عبور کرده که بیشتر نور مورد نیاز سالن را فراهم می‌سازد.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

گنبد سان کاست فلوریدا Suncoast Dome

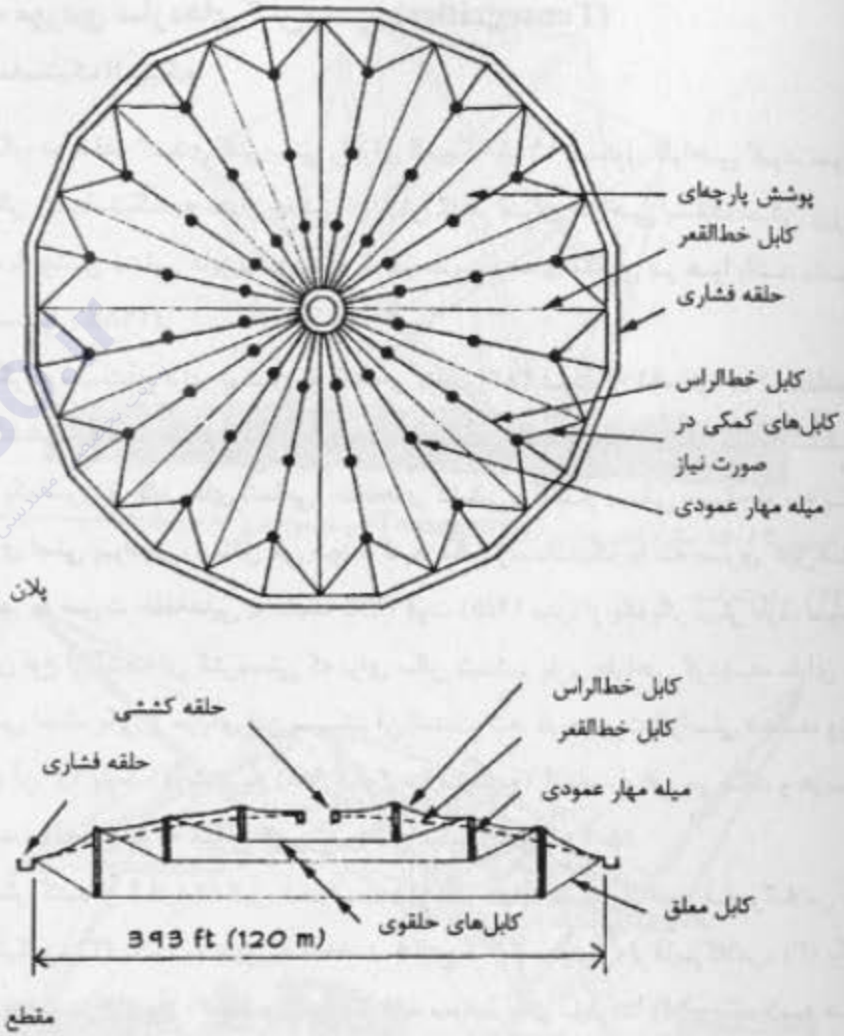
بزرگترین گنبد کابلی با سیستم گایگر (۱۹۸۹: سن پترزبورگ، فلوریدا، مهندس معمار: گروه طراحان مجموعه‌های ورزشی HOK ، مهندس سازه: گایگر گوسن هامیلتون لیانو).

این سالن چندمنظوره را می توان جهت استادیوم بیس‌بال (۴۳ هزار محل نشستن)، فضایی بدون ستون برای نمایشگاه [۱۵۰هزار فوت مربع (۱۳۴۹۰ مترمربع)] ، یک سالن بسکتبال یا تنیس (۲۰ هزار محل نشستن) یا یک سالن موسیقی (۵۰ هزار محل نشستن) در نظر گرفت. گنبد این سالن به قطر ۶۹۰ فوت (۲۱۰ متر) دارای چهار حلقه است که با زاویه ۶ درجه اجرا شده‌اند تا در ضمن تأمین روشنایی مورد نیاز سالن بیس‌بال، حجم دستگاه هواساز را به حداقل برسانند (رابیسون Robison ۱۹۸۹، روسنبام Rosenbaum ۱۹۸۹) (تصاویر ۲۱-۵ تا ۲۲-۵).

گنبد جورجیا Georgia Dome

بزرگترین گنبد کابلی ساخته‌شده تاکنون (۱۹۹۲: آتلانتا، جورجیا، مهندس معمار: هیری اینترنشنال و تامپسون ونچولت استین بک، مهندسان سازه‌های گنبدی: ویدلینگرو همکاران).

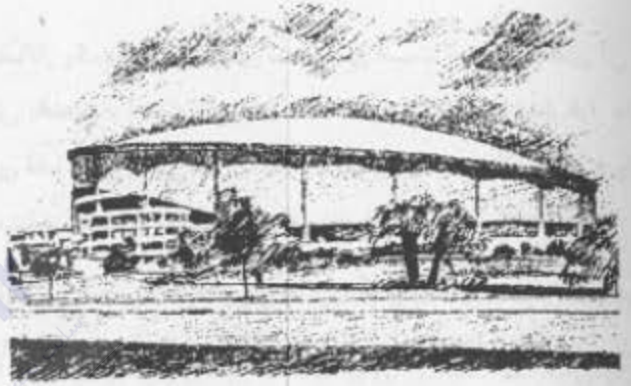
این سازهٔ عظیم به علت استفاده از هندسه سه‌وجهی باک مینستر فولر متفاوت با طرح‌های گایگر است. سیستم آن به علت عدم نیاز به حلقه‌های مدور برای زمین فوتبال مناسب بوده و وزن کمتری دارد و بارهای نامتقارن را بهتر تحمل می کند.



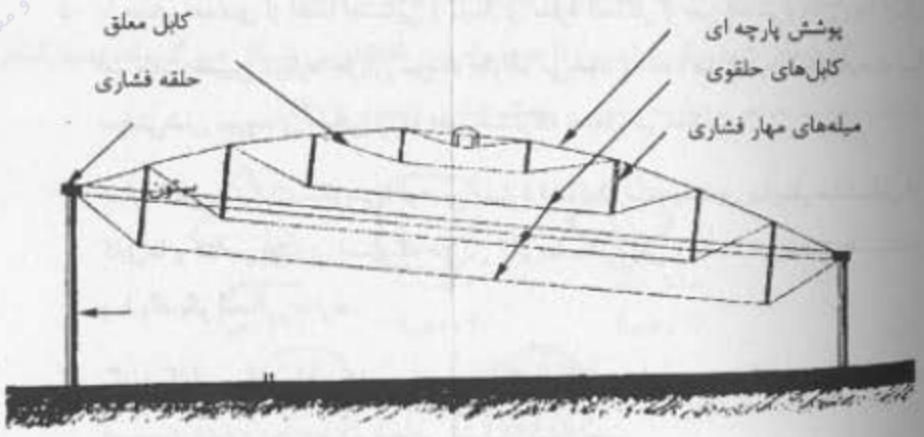
تصویر ۲۰-۵ : استادیوم ژیمناستیک المپیک سئول، پلان سقف کابلی و دیاگرام های مقطع.

http://telegram.me/uadesigngroup

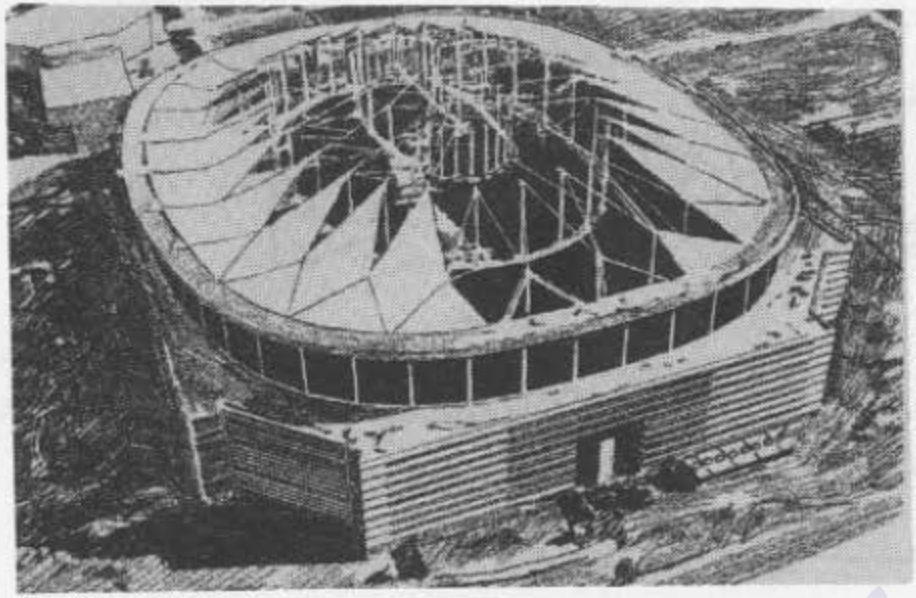
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



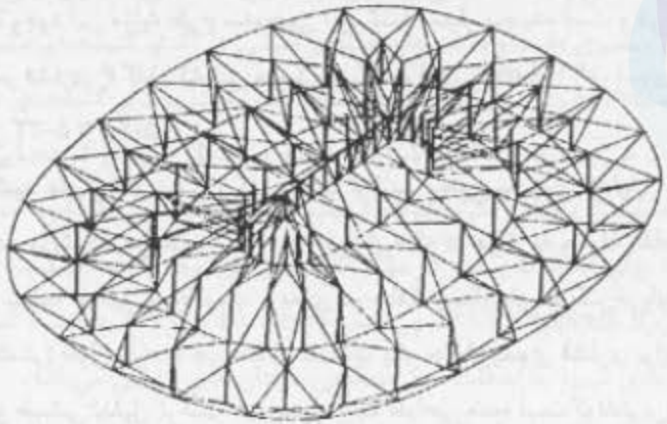
تصویر ۵-۲۱ : گنبد سان‌کاست فلوریدا، نمای خارجی.



تصویر ۵-۲۲ : گنبد سان‌کاست فلوریدا، مقطع.



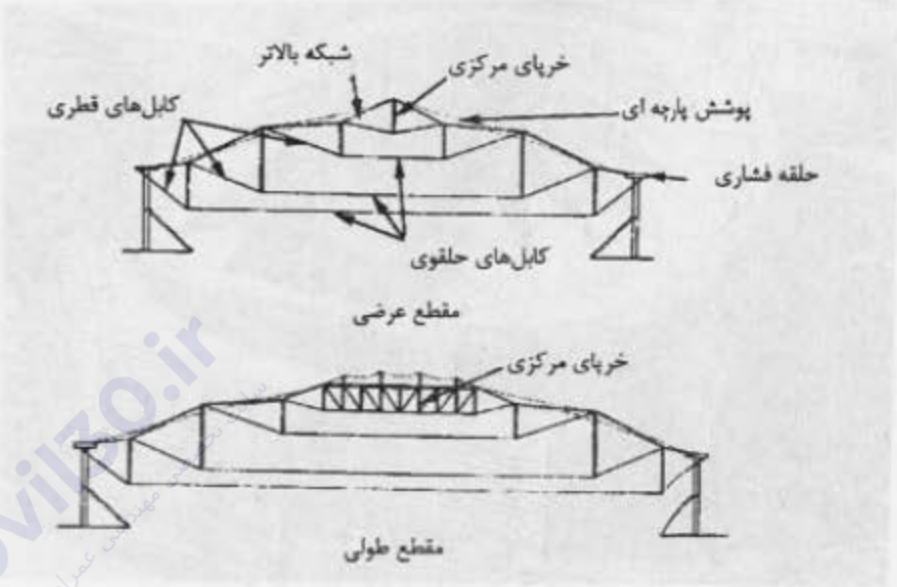
تصویر ۵-۲۳ : گنبد جورجیا، نمای خارجی هنگام ساخت.



تصویر ۵-۲۴ : گنبد جورجیا، نقشهٔ ایزومتریک نحوهٔ قرارگیری کابل‌ها و عناصر فشاری.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۲۵-۵ : گنبد جورجیا، مقاطع.

با وجود این مزایا، طرح سه‌وجهی این گنبد بسیار پیچیده است و در گره‌ها به انتهای یک عنصر فشاری ۶ کابل کششی متصل می‌گردد. لوی Levy ۱۹۹۱، لوی و دیگران ۱۹۹۴) (تصاویر ۲۳-۵ تا ۲۵-۵).

گنبد هایپار کش‌بستی (که به علت ترکیب سطوح سهموی هذلولی با کش‌بستی به این نام خوانده می‌شود)، در پلان از دو حلقه نیمدایره که در مرکز به وسیلهٔ مقاطع پروانه‌ای شکل جدا می شوند، تشکیل شده است. پره‌های دو حلقهٔ نیمدایره‌ای با یک خرپای مسطح که ۱۸۴ فوت (۵۶متر) طول دارد به‌هم متصل شده‌اند. یک حلقهٔ بیضوی فشاری برای تحمل نیروهای فشاری و خمشی بدلیل ترکیب غیر مدور گنبد طراحی شده است.کوتاه‌ترین دهانهٔ این سقف بدون ستون ۴۰۰هزار فوت‌مربعی(۳۷۱۷۵ مترمربع) برابر ۷۴۸ فوتی (۲۲۸ متر) می‌باشد.

خلاصه مطالب

۱- سازهٔ فضاکار یک سیستم خرپای سه‌بعدی است که دهانه‌های آن در دو جهت گسترش یافته‌اند و اعضای آن فقط تحت تاثیر کشش و یا فشار قرار دارند.

۲- سازه‌های فضاکار، از مدول‌های یکسان و تکرار شونده با لایه‌های موازی در بالا و پایین (مشابه میله‌های فوقانی و تحتانی خرپا) تشکیل می‌گردند.

۳- از نیمهٔ هشت‌ضلعی (هرم چهاروجهی)، چهارضلعی (هرم سه‌وجهی) و کلیه چندضلعی‌ها به طور گسترده‌ای در ساخت سازه های فضاکار استفاده می شود

۴- در یک سازهٔ فضاکار بارهای وارده در کوتاهترین مسیر به تکیه‌گاه‌ها منتقل می‌شوند. بیشترین بارها از طریق مقاوم‌ترین اعضا به تکیه‌گاه منتقل می شوند.

۵- با حذف تعدادی از اعضا ایستایی و پایداری سازهٔ فضاکار از بین نمی‌رود زیرا این امر باعث تعیین دوباره جریان نیروها اطراف می‌شود و اعضا متناسب با مقاومت یا سختی‌شان نیروهای اضافی را به طور مشترک تحمل می‌نمایند.

۶- سازه کش‌بستی (تنسگریتی) نوعی سازهٔ فضاکار سه بعدی پایدار متشکل از کابل‌ها و عناصر فشاری است که در آن کابل‌ها ممتد ولی رابط‌ها غیرممتد هستند و با یگدیگر اتصالی ندارند.

۷- گنبد کابلی، یک سقف کش‌بستی است که از کابل‌های ممتد کششی و عناصر غیرممتد فشاری به صورت شعاعی تشکیل شده است.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

فصل ۶

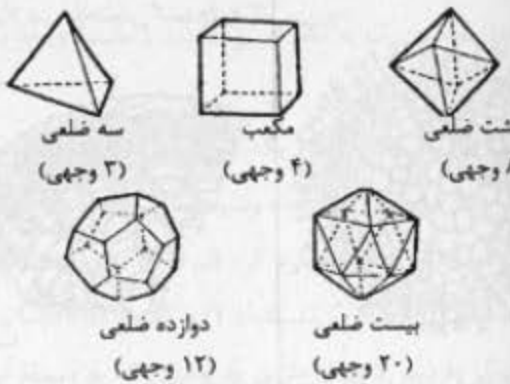
گنبدهای ژئودزیک

زیبایی ساختمان با وزن آن نسبت عکس دارد.

"باک مینستر فولر"

گنبد ژئودزیک، سازهٔ فضاکار کروی است که بارهای وارده را از طریق اعضای خطی که در یک گنبد کروی شکل قرار گرفته‌اند به تکیه‌گاه ها منتقل می کند و تمامی اعضا در آن در تنش مستقیم (کشش یا فشار) هستند. معمولاً از پوشش نازک (از جنس پلاستیک یا فلز) برای پوشش گنبد و تبدیل آن به یک فضای محدود استفاده می‌شود.

گنبدهای ژئودزیک بر اساس ۵ حجم اصلی افلاطونی شکل می‌گیرند: چهارضلعی، مکعب، هشت ضلعی، دوازده ضلعی و بیست ضلعی (تصویر ۱-۶).



تصویر ۱-۶: پنج حجم توپر افلاطونی.

در این پنج حجم (وفقط در این پنج حجم)، چند ضلعی‌ها همگی منتظم بوده و تمامی اضلاع یکسان هستند و تعداد وجوه با تعداد رئوس برابر است. چنین احجامی به هر شکلی که قرار گیرند، تمام رئوس با محیط کره در تماس می‌باشند.

هندسه

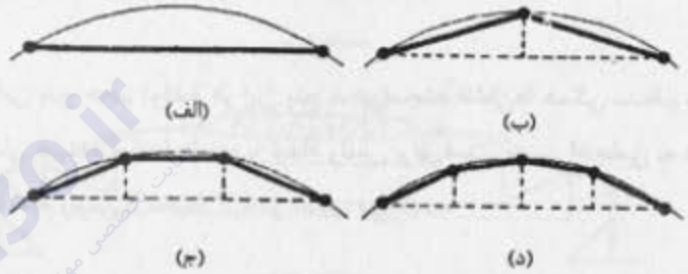
گنبدهای ژئودزیک از طریق تقسیمات فرعی به صورت یک یا چند حجم افلاطونی شکل می‌گیرند. هشت ضلعی و بیست ضلعی به دلیل آن که از مثلث‌هایی تشکیل می گردند، به طور ذاتی پایداری بیشتری دارند و به عنوان عناصر اصلی در اکثر گنبدهای مشبک در ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می گیرند. با تعداد تقسیمات بیشتر گنبدهای نرم‌تر و انعطاف‌پذیرتر به دست می‌آید (تصویر ۲-۶). شناخته شده‌ترین شکل چنین گنبدهایی، توپ فوتبال است که از تقسیمات سه‌تایی تکرار شونده از یک حجم بیست‌ضلعی به وجود آمده است (تصاویر ۳-۶ و ۴-۶). برای اطلاعات بیشتر در مورد گنبدهای ژئودزیک نگاه کنید به پیرس، ۱۹۷۸(همچنین کاپ‌رافKappraff ۱۹۹۱، ون‌لون Van Loon۱۹۹۴). هندسهٔ گنبدهای ژئودزیک به میزان زیادی شبیه به اسکلت میکروسکوپی مرجان های دریایی می‌باشد.

گنبدهای ژئودزیک واقعی از طریق توسعه و تکمیل گنبدهای دندانه‌ای مهار شده به وجود آمده‌اند. گنبد شودلر Schwedler(اقتباس از نام مهندس آلمانی، که این گنبد توسط وی در اواخر قرن نوزدهم اختراع شد) متشکل از حلقه‌ها و اعضای نصف‌النهاری می‌باشد که با

http://telegram.me/uadesigngroup

همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

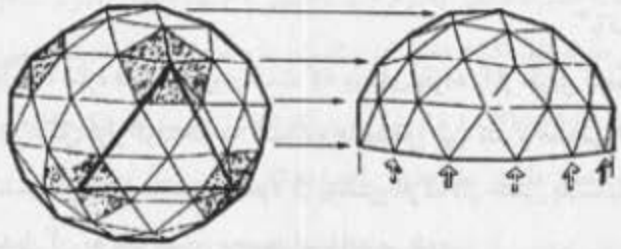
رابطهای قطری برای پایداری بیشترتقویت گردیده است. سیستم گنبد زایس- دایویداگ Zeiss - Dywidag اولین بار در سال ۱۹۲۲ به طور آزمایشی در افلاک نمای شرکت زایس به کار برده شد. این سیستم متشکل از ترکیبات مثلثی‌شکل، ساخته‌شده از اعضای بتن مسلح می‌باشد که با استفاده از بتن تکمیل‌کنندهٔ سیستم یک پوستهٔ نازک بتنی بوجود می‌آید.



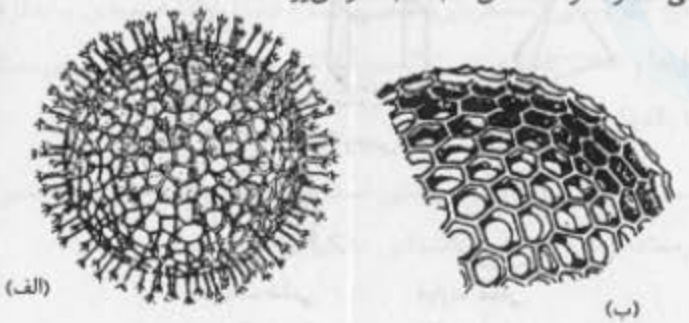
تصویر ۲-۶: تقسیمات فرعی یک فرم ژئودزیک. برای رسیدن به منحنی هایی در لبه‌های یک حجم افلاطونی باید لبه‌ها را به قطعات کوچکتر تقسیم کرده و نقاط بیشتری را روی محیط آن مشخص کرد. برش‌هایی از درون یک کره نشان‌دهندهٔ: (الف) شکل اصلی تقسیمات فرعی یک حجم هندسی. برای دست یافتن به انحنا در لبه یک حجم افلاطونی، باید لبهٔ آن را به قطعات کوچکتر تقسیم کرده و نقاط بیشتری را روی محیط آن مشخص کرد. (الف) شکل اصلی حجم افلاطونی با (ب) تقسیمات دوتایی، (ج) تقسیمات سه‌تایی و (د) تقسیمات چهارتایی.

تصویر ۳-۶: تقسیمات فرعی در نمای مثلثی یک گنبد ژئودزیک.

باک مینستر فولر، گنبدهای ژئودزیک امروزی را در سال ۱۹۵۴ اختراع و به نام خود ثبت کرد. این گنبدها در تئوری می‌توانند ابعاد بزرگی داشته باشند. ایده‌ها و طرح‌هایی که فولر طی دهه‌های ۵۰ و ۶۰ ارائه نمود، این تصور به وجود آورد که گنبدهای بزرگ و غول‌پیکر می‌توانند تمامی شهر ها را بپوشانند. به نظر می رسید چنین سازه‌هایی چشم‌اندازی بدیع و جالب از طراحی شهری و معماری ارائه می‌دهند (ون‌لون، ۱۹۹۴).

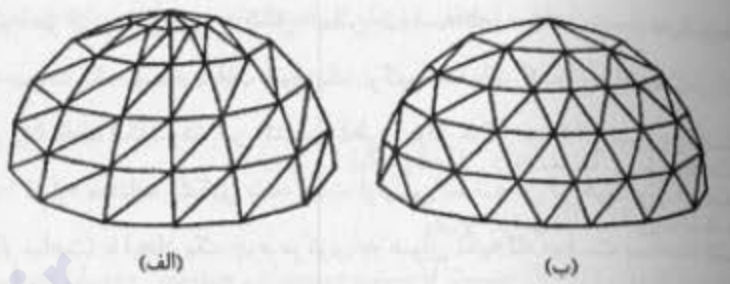


تصویر ۴-۶: توپ فوتبال از تقسیمات سه‌تایی تکرارشونده یک بیست‌ضلعی به دست می آید. نتیجه آن پنج‌ضلعی‌هایی منتظمی است که با شش‌ضلعی‌های منتظم با لبه‌های یکسان احاطه شده است. این هندسه ژئودزیکی معمولاً در ساختمان گنبدها به کار می‌رود.



تصویر ۵-۶: هندسهٔ ژئودزیک را می‌توان در اسکلت مرجان‌های دریایی پیدا کرد: (الف) مرجان دریایی با نام Aulastrum Triceros، (ب) قسمتی از یک مرجان دریایی با نام Cenosphaera

http://telegram.me/uadesigngroup



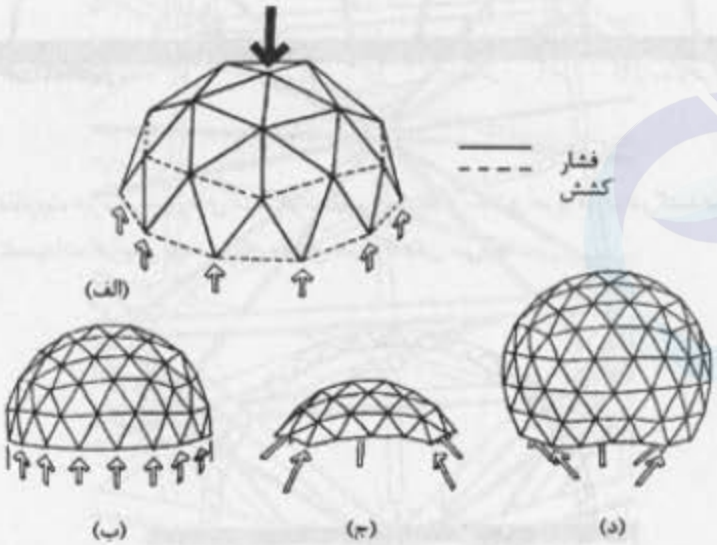
تصویر ۶-۶: گنبدهای دنده‌ای مهارشده که امکان ابداع گنبد ژئودزیک کروی را فراهم ساختند. (الف) گنبد شودلر، حدود سال ۱۸۹۰ و (ب) گنبد زایس – دایویداگ، ۱۹۲۲.

بارها، از طریق نیروهای محوری (کشش و فشار) موجود در اعضای قاب به پی‌ها منتقل می‌شوند. تمامی اعضایی که در بالای گنبد نیم‌کروی قرار گرفته‌اند (آنهایی که بالاتر از زاویه ۴۵ درجه قرار دارند) در زیر بار یکنواخت، تحت فشار و تمامی اعضای پایینی تحت کشش و اعضای نزدیک به خط عمود نیز تحت فشار قرار خواهند گرفت. شکل گنبد جهت نیروی عکس‌العمل رانشی (فشاری) را در پی تعیین می کند. گنبدهای نیم‌کره در تکیه‌گاه نزدیک به خط عمود هستند، یک خط پایه نزدیک به خط افق دارند و مقداری جزیی نیروی رانشی بیرونی ایجاد می‌نمایند.

گنبدهای ربع دایره (تقریباً نصف ارتفاع یک گنبد نیم‌کره) ۵ نقطه اتکا دارند و نیروی رانشی بیرونی قابل‌توجهی ایجاد می‌کنند و باید به وسیلهٔ پشت‌بندها یا حلقه‌های کششی در برابر این نیرو مقاوم گردد. گنبدهای سه – چهارم کره هم دارای پنج نقطه اتکا هستند ولی نیروی رانشی به سمت داخل ایجاد می‌نمایند (کورکیل Corkill و دیگران، ۱۹۹۳) (تصویر ۷-۶). بارهای متمرکز وارد بر گنبد از طریق خرپاهایی که به وسیلهٔ دو یال مجاور هم تشکیل می‌شود، مقاومت می‌گردد. در جایی که تعداد تقسیمات کم و طول میله‌های خرپا زیاد است، ارتفاع خرپا(و مقاومت در برابر بارهای متمرکز) افزایش می‌یابد.

اگر تعداد اعضا در گنبد ژئودزیک افزایش یابد، ارتفاع مقطع خرپا و مقاومت آن در برابر بارهای متمرکز کاهش می‌یابد. مسألهٔ مقاومت در برابر بارهای متمرکز در گنبدهای بزرگ با ایجاد یک لایهٔ مضاعف جهت افزایش ارتفاع مقطع خرپا حل می‌گردد. این لایه‌ها به خوبی سازهٔ فضاکار را در بر می‌گیرند و از تقسیمات هندسی روی گنبد متابعت می‌نماید (تصویر ۸-۶).

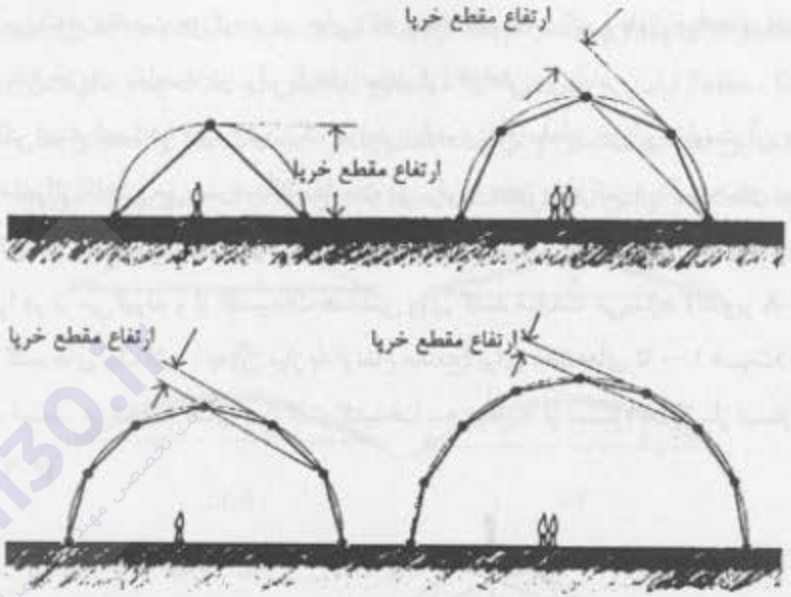
گنبدهای یک لایه (بدون نیاز به ارتفاع مقطع) برای دهانه‌های تا ۱۰۰ فوت(۳۰متر) مناسب است. در دهانه های بزرگتر گنبدها به دولایه از سازهٔ فضاکار نیاز دارند (تصویر ۹-۶).



تصویر ۷-۶ توزیع بار در گنبدهای ژئودزیک: (الف) تنش های کششی و فشاری، (ب) نیروهای عکس‌العمل در گنبدهای نیم کره، (ج)در گنبدهای ربع کره و (د)در گنبدهای سه – چهارم کره.

http://telegram.me/uadesigngroup

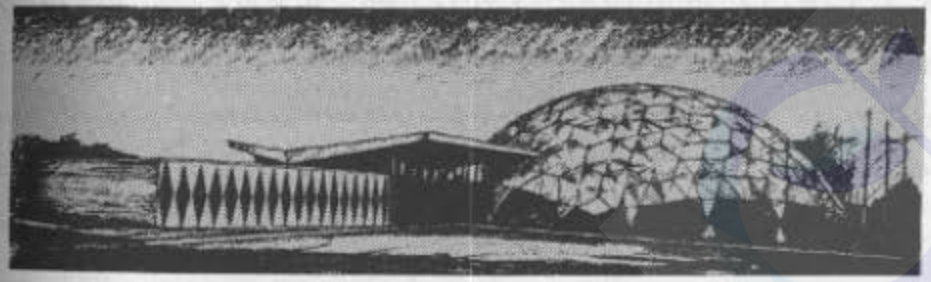
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۸-۶: مقاومت در برابر نیروهای متمرکز بستگی به ارتفاع مقطع خرپا دارد. در گنبدهای یک لایه، هرقدر تعداد تقسیمات افزایش یابد، ارتفاع مقطع خرپا کاهش می‌یابد.

تصویر ۹-۶: ارتفاع مقطع خرپا در گنبدهای بزرگ را می‌توان با اضافه کردن یک لایه دوم برای ایجاد ترکیب سازهٔ فضاکار افزایش داد

در اواخر دههٔ ۱۹۵۰، شرکت آلومینیوم کیسر(Kaiser) تولید گنبدهای ژئودزیک را تحت امتیاز فولر آغاز کرد. پانل‌هایی به شکل الماس با لبه‌های سخت‌شده و عناصر فشاری صلیبی‌شکل به صورت یک پوسته با قاب ژئودزیک ترکیب شده‌اند. گنبد اجراشده کمی کمتر از نیمکره است (و بر۵ نقطه اتکا دارد)، این گنبد با قطری برابر ۱۴۵ فوت(۴۴ متر) و با استفاده از ۵۷۵ پانل در ۱۰ اندازه مختلف تشکیل شده است. اولین نمونه آن در هونالولو در مدت ۲۰ ساعت (۵۸۸ کار ساعت) با ایجاد یک جرم مرکزی به عنوان تکیه‌گاه موقت ساخته شد. کار ساخت این مجموعه از بالا شروع شد و تا سطح زمین امتداد می‌یافت و امکان قرارگرفتن بر روی یک پی از قبل ساخته شده را پیدا کرد. در طی چند ماه، سه گنبد دیگر با این سیستم ساخته شد (ناشر، ۱۹۵۸) (تصویر ۱۰-۶)، ولی تجارت رویایی فولر وکیسر هرگز توسعه و پیشرفت پیدا نکرد و تولید چنین گنبدهایی بسرعت متوقف گردید.



تصویر ۱۰-۶: گنبد کیسر به عنوان مرکز گردهمایی‌ها در ساحل ویرجینیا.

در اواخر دههٔ ۶۰، بازدهی سازه‌ای قابل توجه گنبد های ژئودزیک به رویاهایی که در فرهنگ عامه مردم غیرممکن بود، جامه عمل پوشاند و آن هیاهوی ساخت ساختمان های گنبدی به دست خود مردم بویژه در امریکابود. با وجود جذابیت و بازدهی سازه‌ای که گنبدهای ژئودزیک دارند ولی در ساخت آنها مشکلات اجرایی متعددی از قبیل دشوار بودن ضدآب کردن آنها، سخت بودن اجرای بازشوها به علت تداوم سازه‌ای و مشکل بودن استفاده از مبلمان‌های

http://telegram.me/uadesigngroup

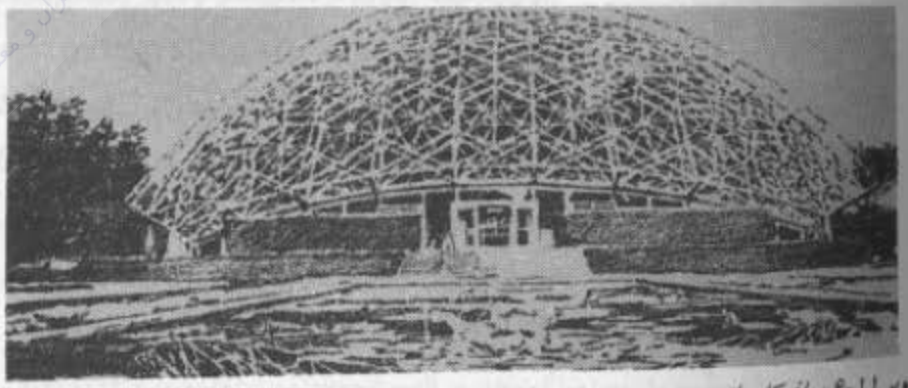
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

متداول به علت شکل داخلی خاص آنها وجود دارد. شاید بتوان بر ایـن مشـکلات در سـازه‌های بزرگ غلبه کرد، ولی در ساختمان‌های کوچک این مشکلات بر مزایای سازه‌ای چنین سیستمی غلبه دارند (ون‌لون، ۱۹۹۴).

مطالعات موردی گنبد های ژئودزیک

باغ گیاه شناسی کلیماتون میسوری

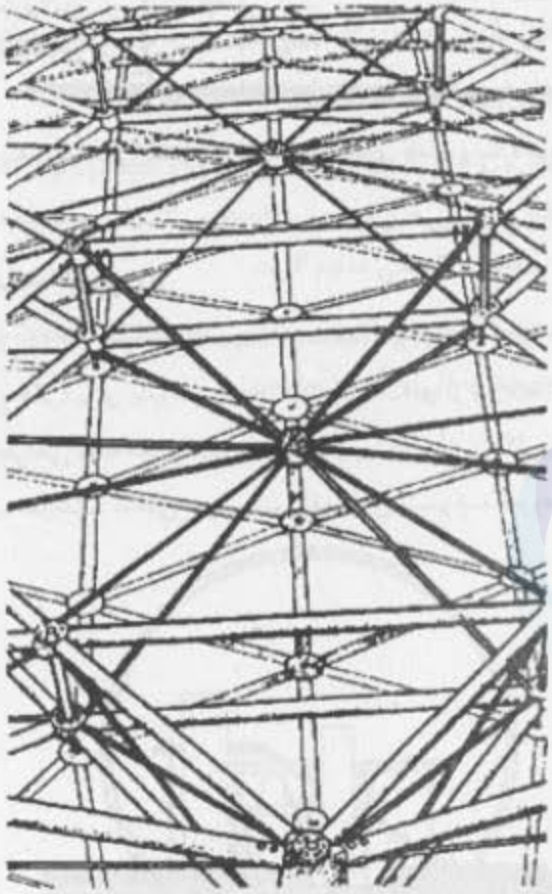
این ساختمان (۱۹۶۱: سـنت لوییـس، میسـوری، مـهندس معمـار: مورفـی و مک‌کـی، مـهندس سـازه: شـرکت‌های همکـار)، خانـه‌ای سـبزرنگ بـه شـکل ربـع کـره بـا دهانـه ۱۷۵ فوت(۵۳متر) است که محل جمع‌آوری و نگهداری گیاهـان بـاغ کلیمـاتون میسـوری می‌باشـد. سازهٔ آن از یک سازهٔ فضاکار دو لایه بر اساس الگوی هشت‌ضلعی، از لوله‌های آلومینیومی که به وسیله کابل‌های فولادی تثبیت شده‌اند و به صورت مستطیل قرار گرفته اند، تشکیل شده است.



تصویر ۱۱-۶: باغ کلیماتون میسوری، نمای خارجی.

گنبد در ۵ نقطه روی شالوده‌های بتنـی اتکـا دارد و ارتفـاع آن در مرکـز ۷۱ فـوت (۲۱ متر)است. شیشه‌های روشن آکریلیک به صورت معلـق در زیـر قـاب گنبـد بـه صـورت الگـوی مثلثی‌شکل بدون عملکرد سازه‌ای درون قاب‌هـای آلومینیومـی قـرار گرفتـه‌اند (ناشـر، ۱۹۶۱).

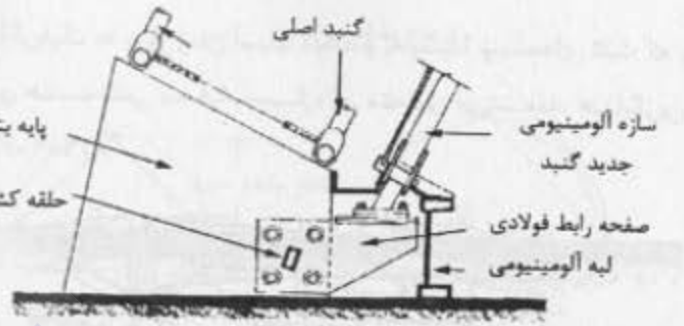
تعداد ۳۶۲۵ پانل آکریلیک به مرور زمان آسیب دیدند و به وسیلهٔ شیشه‌های ثابت که به شـکل پانل‌هـای شیشـه‌ای هشـت‌ضلعی بـه قـاب سـازه ای متصـل می‌شـدند، جـایگزین شـدند (فری‌مانFreeman، ۱۹۸۹).



تصویر ۱۲-۶: باغ کلیماتون میسوری، جزئیات خارجی پانل‌های شش‌ضلعی اصلی.

http://telegram.me/uadesigngroup

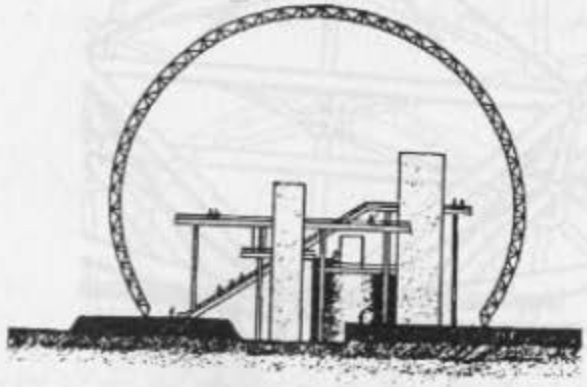
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۱۳-۶: باغ کلیمانتون میسوری، جزئیات مقطع شیشه‌های جدید و سازه قدیمی را در تکیه‌گاه نشان می‌دهد.

غرفه امریکا ، نمایشگاه اکسپو ۶۷

این ساختمان (۱۹۶۷: مونترال، مهندس معمار: فولر و سادائو، مهندس سازه: سیمپسون، گامپرتز و هگر) برای پذیرفتن تعداد قابل‌ملاحظه‌ای از بازدیدکنندگان در غرفه ایالات متحد امریکا طراحی شده است.گنبد سه - چهارم کره‌ای آن بزرگترین گنبد اجراشده توسط فولر بود و یک نمایشگاه داخلی بدون ستون(معماران: شرکت گروه ۷ کمبریج) را در خود جای می‌داد.



تصویر ۱۴-۶: غرفه امریکادر نمایشگاه اکسپو ۶۷، مقطع.

داخل نمایشگاه مجموعه‌ای از سکوها در ترازهای مختلف که از طریق آسانسورها، پله‌های برقی و پل‌ها به هم مرتبط می‌شوند، قرار دارد. این ساختمان به عنوان نمایشگاه، برای هنر، علوم و فن‌آوری امریکا مورد استفاده قرار می‌گیرد (ناشر،۱۹۶۶) (تصویر ۱۴-۶).

سازهٔ دولایهٔ گنبد از سه بخش تشکیل شده بود: لایهٔ بیرونی که ترکیبی مثلثی‌شکل از اعضاست، لایه داخلی که از ترکیبات هشت‌ضلعی تشکیل می‌گردد و اعضای جان که لایه‌های بیرونی و درونی را به هم متصل می‌کنند. گنبدی که بدین ترتیب شکل می گیرد قطری برابر ۲۵۰فوت (۷۶ متر) و ارتفاعی برابر ۲۰۰فوت (۶۰/۸) دارد. حجم آن برابر ۶/۷ میلیون فوت مکعب (۱۹۰ هزار متر مکعب) و تقریباً برابر حجم ساختمان سیگرام در نیویورک است. اعضای آن از لوله‌های فولادی که به وسیله گره‌های ستاره‌ای شکل فولادی به هم متصل می شوند، تشکیل شده است. پوشش نهایی از آکریلیک شفاف به صورت قطعات هشت ضلعی است که به لایهٔ داخلی اتصال دارد و به سمت لایه بیرونی ادامه می‌یابد.

برای کنترل نور گریزناپذیر خورشید، هرگنبد هشت‌ضلعی با ۶ سایبان مثلثی‌شکل غلتکی پلاستیکی با روکش فلزی در اطراف آن کامل شده است. یک موتور که با فتوسل فعال می‌شود سایبان‌ها را هنگامی که نیاز به سایه است، به سمت مرکز می‌کشد. هر موتور، ۱۸ سایبان مثلثی را که سه هشت‌ضلعی مجاور را می‌پوشاند، کنترل می کند. سایبان‌ها دینامیک هستند وبه حرکت خورشید در آسمان واکنش نشان می دهند.

هر اندازه که استفاده از سیستم خورشیدی قاب سازه‌ای رضایت بخش است، حفاظت سازه فولادی آن در برابر آتش سوزی مورد سوال می‌باشد. آتش سوزی بزرگی در سال ۱۹۷۷ آن را به اسکلتی تبدیل کرد. بقایای ساختمان در سال ۱۹۹۴ تعمیر شد و به عنوان مرکز تحقیقات آب در کنار رودخانه سنت لورنس مورد استفاده قرار می‌گیرد. شیشه های شکسته از قاب ژئودزیک برداشته شده و تنها اثری از قاب اولیه باقی مانده است. فضای داخلی با

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

ساختمانی که دارای سازه‌ای متصل بود جایگزین شد (معماران: بلوئین فاشرآبرتین برودئور گائوتر (Blouin FaucherAubertin Brodeur Gauther) و به عنوان نمایشگاه، دفاتر، رستوران و دیگر عملکردها مورد استفاده واقع می شود (لگر Ledger، ۱۹۹۴).

خلاصه مطالب

۱- گنبد ژئودزیک، سازهٔ فضاکار کروی است که بارهای وارده از طریق اعضای خطی که در یک گنبد کروی قرار گرفته‌اند را به تکیه‌گاه‌ها منتقل می کند و در آن تمامی اعضا در تنش مستقیم (کشش یا فشار) هستند.

۲- هندسه گنبدهای ژئودزیک بر اساس ۵ حجم افلاطونی است: چهارضلعی، مکعب، هشت‌ضلعی، دوازده‌ضلعی و بیست‌ضلعی.

۳- در این پنج حجم (وفقط در این پنج حجم)، چندضلعی‌ها همگی منتظم بوده و تمامی اضلاع یکسان هستند و تعداد وجوه با تعداد رئوس برابر می‌باشند. چنین احجامی به هر شکلی که قرار گیرند، تمام رئوس با محیط کره در تماس می‌باشند.

۴- گنبد های ژئودزیک به وسیله تقسیمات فرعی یک یا چند حجم افلاطونی شکل می‌گیرند.

۵- هشت‌ضلعی و بیست‌ضلعی به دلیل شکل مثلثی پایه، به طور ذاتی پایداری بیشتری دارند و برای گنبدهای مشبک در ساختمان‌ها بیشتر استفاده می شوند.

۶- با تعداد تقسیمات بیشتر گنبدهای نرمتر و انعطاف‌پذیرتر حاصل می شود.

۷- بارها در گنبد ژئودزیک، از طریق نیروهای محوری (کشش و فشار) موجود در اعضای قاب به پی منتقل می شوند.

۸- تمامی اعضای بالایی (آنهایی که بالاتر از زاویه ۴۵ درجه قرار دارند) گنبد نیم‌کروی، در زیر بار یکنواخت، تحت فشار و تمامی اعضای پایینی تحت کشش و اعضای نزدیک به خط عمود تحت فشار قرار خواهند گرفت.

۹- گنبدهای نیم‌کره در تکیه‌گاه نزدیک به خط عمود هستند و یک خط پایهٔ نزدیک به خط افق دارند، که مقداری جزیی نیروی رانشی بیرونی ایجاد می نماید.

۱۰- گنبدهای ربع دایره (تقریباً نصف ارتفاع یک گنبد نیم‌کره) ۵ نقطهٔ اتکا و نیروی رانشی بیرونی قابل توجهی را ایجاد می‌کنند و باید به وسیلهٔ پشت بندها یا حلقه‌های کششی مقاوم گردد.

۱۱- گنبدهای سه - چهارم کره هم دارای پنج نقطه اتکا هستند ولی نیروی رانش به سمت داخل ایجاد می‌نمایند.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

بخش سوم

سیستم‌های قابی

سیستم‌های قابی، بارهای وارده را از طریق اعضای افقی (مانند تیر و دال) و اعضای عمودی (مانند ستون و دیوار باربر) به زمین منتقل می کنند. این اعضا در مقابل خمش و کمانش به علت وجود عکس‌العمل اینرسی داخلی، مقاومت می‌نمایند

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

فصل ۷

ستون‌ها و دیوارها

اعضای عمودی سازه، شامل ستون‌ها و دیوارهای باربرمی باشد.

ستون‌ها

ستون، بخش مقاوم دیوار است که از پی به صورت عمودی به سمت بالا کشیده شده است. یک ردیف از ستون‌ها چیزی به غیر از یک دیوار غیرممتد که در چند نقطه باز شده است، نمی‌باشد.

"آلبرتی"

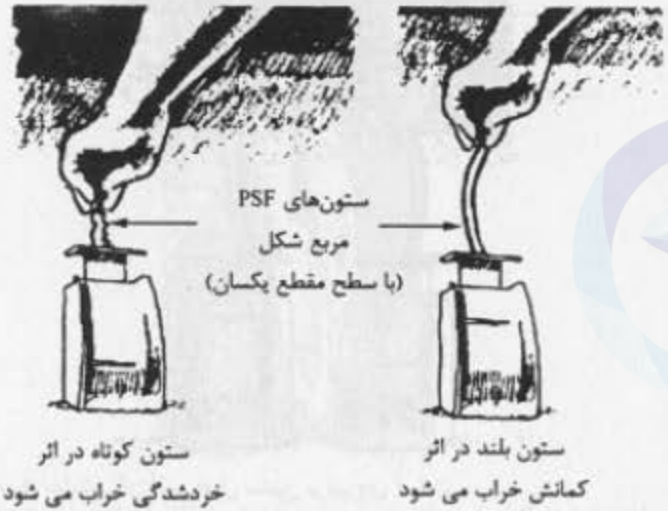
اگر یک ستون به خودی خود یک بنای یادبود نبود، بشریت برای ارزش نهادن به آن باید یک نوع از آن را برپا می‌کرد.

"ادوارد تروجا"

ستون، یک عضو سازه‌ای خطی (معمولاً عمودی) است که در امتداد محورش تحت تأثیر نیروی فشاری قرار می‌گیرد. رفتار ستون‌ها متناسب با طول آنها تغییر می‌نماید.

طول ستون

یک ستون کوتاه همانند یک آجر اگر در معرض بار فشاری بیش از اندازه قرار گیرد، با خرد شدن، دچار گسیختگی می شود. اگر یک ستون بلند در معرض بار فشاری در حال افزایش قرار گیرد، دچار کمانش ناگهانی (خمش جانبی) می شود. این بار فشاری بحرانی، بار کمانش اعضا نامیده می‌شود و برای اعضای فشاری، عامل محدودکننده ظرفیت بار محوری فشاری می‌باشد. در جایی که مصالح به اندازهٔ کافی مقاومت فشاری دارند (مانند فولاد) یک ستون باریک با سطح مقطع کوچک برای تحمل بار کافی می‌باشد (تصویر ۱-۷).

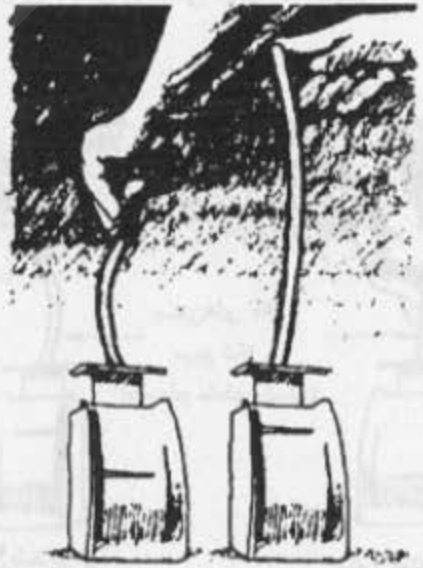


تصویر ۱-۷ : مدل نمایشی از خردشدگی و کمانش در ستون ها.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

این کمانش حتی اگر ستون بدقت و به طور کامل در طول محور مرکزی خود، بارگذاری شده باشد و عضو کاملاً متجانس باشد نیز اتفاق می افتد. هنگامی که ستون در جهت عمودی دچار کمانش می شود و از امتداد قائم منحرف می‌شود و شروع به خمش در وسط طول می‌کند، انحراف ایجادشده بین دو انتها و مرکز ستون سبب افزایش بازوی اهرم شده و افزایش خمش را تسریع می‌نماید. به همین علت هنگامی که ستون شروع به کمانش می‌کند ناگهان و بدون اخطار قبلی فرومی‌ریزد (برخلاف خیلی از خرابی‌ها در انواع دیگر سازه‌ها که تدریجی هستند).



تصویر ۳-۷ : مدل نمایشی از تأثیر طول ستون بر نیروی کمانش.

بار کمانشی یک ستون به طول، مقطع عرضی (سطح مقطع) و فرم آن و همچنین نوع اتصالات دو انتهای آن، بستگی دارد. افزایش طول ستون بار کمانش آن را کاهش می دهد. با سطح مقطع ثابت، دو برابر کردن طول ستون، بار کمانشی را در حد ۲۵ در صد (یک چهارم) کاهش می‌دهد. به عبارت دیگر، بار کمانشی با مجذور طول ستون نسبت عکس دارد . طول مؤثر ستون را می‌توان به وسیله ایجاد یک تکیه‌گاه جانبی در وسط آن نصف کرد (تصویر ۲-۷). دیرک یک قایق بادبانی رفتاری مانند یک ستون دارد : کلاف‌های توزیع‌کننده رابط‌هایی هستند که معمولاً برای مهار دیرک در مقابل نیروی کابل نگهدارنده بادبان قایق به روی پوشش آن اضافه می شوند (کابل‌هایی که بالای دیرک را نگاه‌می‌دارند). میزان افزایش نیروی بار جانبی دیرک (که به علت تمایل به کمانش در آن ایجاد می‌شود) که به بار فشاری بالای دیرک افزوده می‌گردد، از افزایش مقاومتی که به وسیله نصف کردن طول دیرک که بار کمانشی آن را به اندازهٔ ۴۰۰ درصد افزایش می‌دهد، بیشتر است (تصویر ۳-۷).

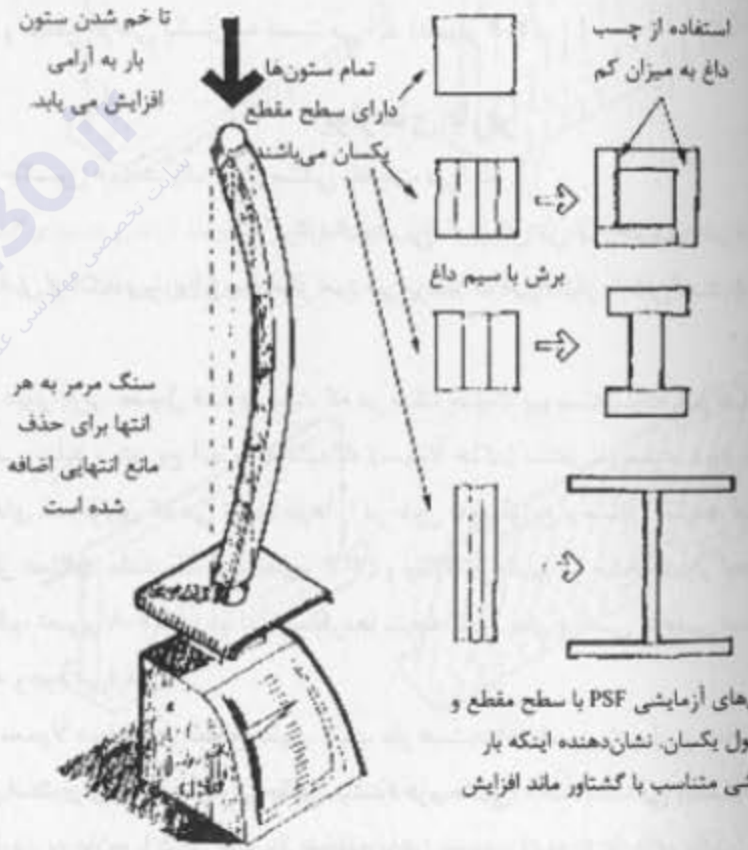
تصویر ۳-۷ : استفاده از کلاف‌های توزیع‌کننده برای ایجاد تکیه‌گاه جانبی در وسط ارتفاع دیرک قایق بادبانی.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

فرم ستون

ستون‌ها در جهتی که کمترین مقاومت را دارند، دچار کمانش می شوند. اگر سطح مقطع، دارای اندازهٔ یکسان در دو جهت نباشد، کمانش در محوری اتفاق می‌افتد که لاغرترین باشد.



تصویر ۷-۴ : مدل نمایشی از تأثیر شکل ستون بر نیروی کمانش.

برای یک میزان معین از مصالح، ستون‌هایی که بیشترین مصالح آنها در دورترین نقاط از مرکز سطح مقطع‌شان قرار دارد، حداکثر بارهای کمانشی را خواهند داشت (تصویر ۷-۴).

ممان اینرسی یا گشتاور ماند، عبارت است از میزان توزیع مصالح اطراف مرکز جسم. گشتاور ماند هنگامی که تمامی مصالح در مرکز جسم متمرکز شده باشند، حداقل است (مانند یک میلهٔ توپر). هنگامی که مصالح در دورترین نقاط از مرکز قرار گرفته باشند، میزان گشتاور ماند حداکثر است (مانند یک میلهٔ توخالی). نیروی کمانش نسبت مستقیم با گشتاور ماند مقطع ستون دارد (تصویر ۷-۵).

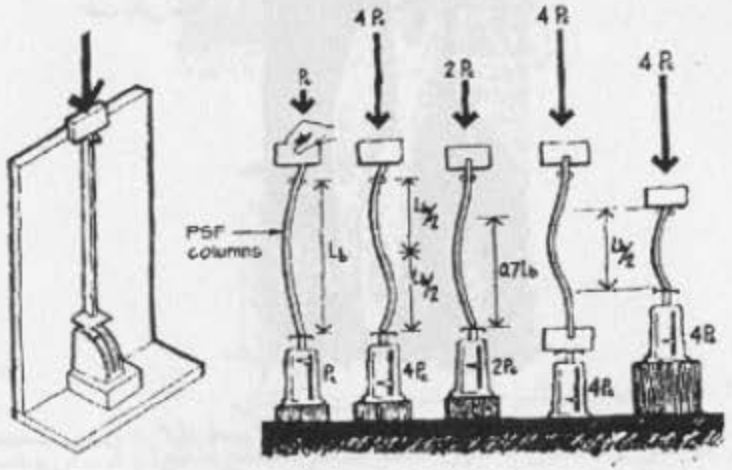
تصویر ۷-۵ : هندسهٔ موجود در گیاه بامبو آن را تبدیل به یک شکل بهینه و پربازده برای ستون می‌سازد. فرم مدور و استوانه‌ای آن مصالح را دور از مرکز، توزیع می‌نماید و حداکثر گشتاور ماند را به وجود می آورد. این شکل به وسیلهٔ صفحات توپر که به طور طبیعی در محل اتصالات درون استوانه قرار دارد، تقویت شده و آن را از کمانش و گسیختگی حفظ می‌کند.

http://telegram.me/uadesigngroup

درک رفتار سازه‌ها، اما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

تکیه‌گاه های انتهایی

میزان مقاومت در برابر حرکت جانبی و چرخش، در دو انتهای یک ستون باریک به میزان قابل‌توجهی در بار کمانشی آن مؤثر است. ستونی که دارای اتصال مفصلی (آزاد برای چرخش با ممانعت از حرکت جانبی) در دو انتهاست، به صورت یک منحنی نرم و یکنواخت دچار کمانش خواهد شد. ستونی که در یک تکیه‌گاه دارای اتصال ثابت (از حرکت انتقالی جانبی و چرخش ممانعت به عمل می‌آید) و در بالا آزاد است (آزاد برای چرخش و انتقال) رفتاری مانند نصف ستون مفصلی و طول مؤثری دو برابر طول واقعی خواهد داشت. بار کمانشی آن ۲۵ درصد زمانی است که ستون دارای اتصالات مفصلی باشد (به یاد داشته باشید که بار کمانشی نسبت عکس با مجذور طول مؤثر دارد).



تصویر ۶-۷ : مدل نمایشی از تأثیر تکیه‌گاه‌های انتهایی ستون بر بار کمانشی

اتصال ثابت در یک تکیه‌گاه و اتصال مفصلی در طرف دیگر طول مؤثر را در حدود ۷۰ درصد نسبت به یک ستون با اتصال مفصلی کاهش و بار کمانشی را تا حدود ۲۰۰ درصد افزایش می دهد. اتصال ثابت در دو تکیه‌گاه، طول مؤثر را تا نصف کاهش داده و بار کمانشی را تا ۴۰۰ درصد افزایش می دهد. بنابراین ۸ حالت متفاوت از مقاومت در دو سر ستون‌ها با طول، مصالح و مقطع عرضی یکسان به دست می آید (تصویر ۶-۷).

دیوارهای باربر

جکسون همانند یک دیوار سنگی مقاومت می‌کند.

"برنارد الیوت بی- از ژنرال تی.جی.جکسون در جنگ بال ران"

قبل از آنکه دیواری را بسازم از خود می پرسم که این دیوار داخلی است یا خارجی.

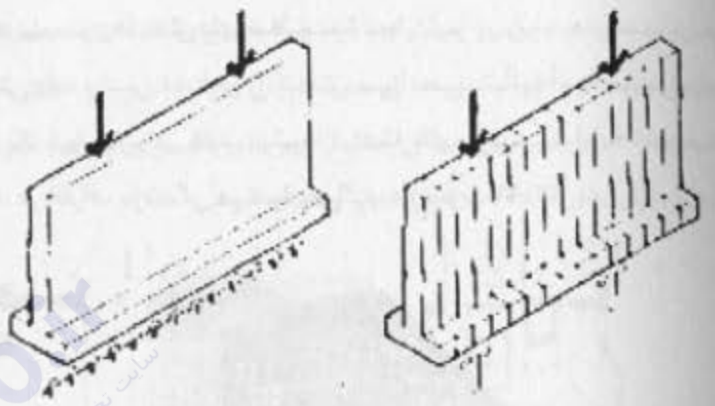
"رابرت فراست"

دیوار باربر، عضوی فشاری است که در یک جهت پیوسته بوده و بارهای عمودی را توزیع می نماید و بتدریج آنها را به تکیه‌گاه (معمولاً خاک) منتقل می‌سازد. دیوار باربر با ردیف ستون‌های همجواری که می توانند بارها را در طول خود توزیع و منتقل نمایند، متفاوت بوده (به دلیل عملکرد مانند یک تیر، تصویر ۷-۷) و مقاومت جانبی در صفحهٔ دیوار ایجاد می نمایند (دیافراگم، تصویر ۸-۷). هر دو این عملکردها نتیجه تنش های برشی داخلی است که درون دیوار به وجود می‌آید.

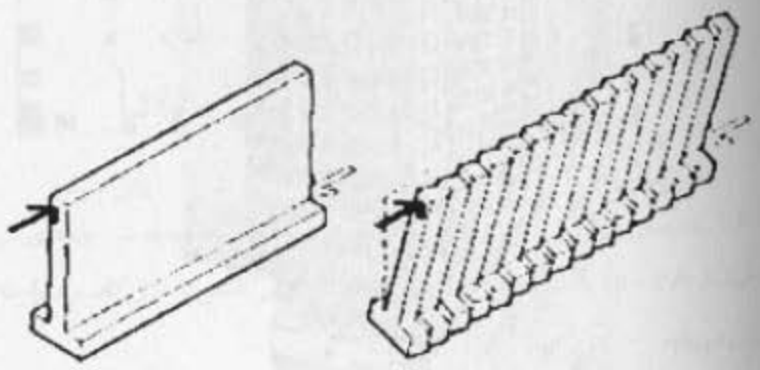
معمولاً دیوار های مصالح بنایی، شیب دار هستند (در قسمت پایین ضخیم تر). این راه‌حلی است برای ایجاد پایداری جانبی بیشتر(فرم مثلثی، ذاتاً ایستایی بیشتری نسبت به مربع دارد). به علاوه با شکل شیب‌دار منطقه برشی وسیعتری در انتها برای پخش بار در خاک تکیه‌گاهی ایجاد می‌شود. چنین حالتی در سازه‌های بنایی موقت با استفاده از پی‌های گسترده که به دیوارهای مسلح با میلگردهای فولادی پیچ شده‌اند، به دست می‌آید (تصویر ۹-۷).

http://telegram.me/uadesigngroup

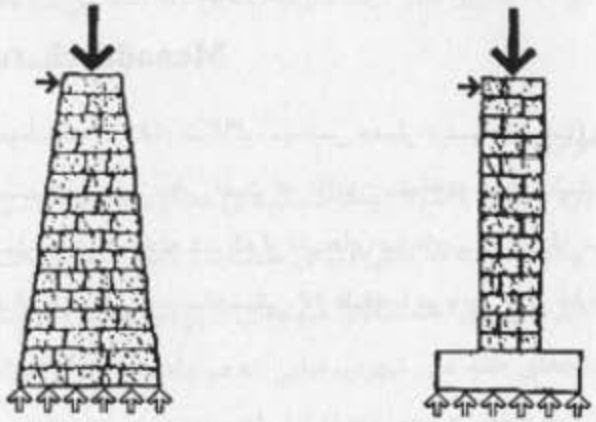
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۷-۷ : دیوار باربر، بار متمرکز را در سراسر طول خود در اثر مقاومت برشی عمودی گسترش می‌دهد. همان بار در یک ردیف از ستون‌ها به صورت منفرد در یک ستون باقی می ماند.



تصویر ۷-۸ : دیوار باربر در اثر مقاومت برشی افقی (عملکرد دیافراگمی) پایداری جانبی ایجاد می‌کند، چنین مسأله‌ای در یک ردیف از ستون‌های ممتد، دیده نمی شود.



تصویر ۷-۹ : دیوار های شیب‌دار و باربر با پی گسترده به طور معکوس مقاومت می نمایند، تا زمانی که بارهای عمودی گسترده روی یک سطح بزرگتر در پایه وارد شوند.

در ساختمان‌های چندطبقه ، دیوارهای باربر نه تنها باید وزن طبقه بالا (علاوه بر وزن خودشان) را تحمل کنند، بلکه باید مجموع وزن تمامی طبقات و دیوارهای طبقات بالاتر را نیز تحمل نمایند. به علت انباشتگی این بارها، که در بخش پایین دیوار افزایش می‌یابند، ضخامت دیوارها باید برای حمل بارهای افزوده افزایش یابد. هنگامی که دیوارهای باربر در ساختمان‌های چندطبقه به کار برده می‌شوند، معمولاً سقف هر طبقه قبل از سازه طبقه بالا اجرا می شود. بنا به دلایل فوق، در ساختمان‌های موقت، از سیستم قاب‌های سازه‌ای (تیر وستون) برای نگهداری بارهای دیوارها و کف طبقاتی که در بالا قرار گرفته‌اند، استفاده می شود.

یک استثنا در این سیستم، استفاده از ترکیب دیوارهای باربر بنایی با قسمت‌های بتنی پیش‌کشیده است. در این سیستم، دیوارها و قطعه‌های بتنی توسط کارگران ساخته می شوند که روشی اقتصادی و سریع برای آپارتمان‌ها و هتل‌های چندطبقه است.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

آخرین ساختمان بلند با سیستم دیوار باربر

ساختمان موناداناکMonadnock

ساختمان موناداناک (۱۸۹۱: شیکاگو، مهندس معمار: برنـهام و روت) یکـی از بلندتریـن ساختمان‌ها با سیستم دیوار باربر بنایی است که تاکنون سـاخته شـده اسـت (تصـاویر ۱۰-۷ و ۱۱-۷). این ساختمان زمانی ساخته شد که از قاب‌های سازه‌ای بـه عنـوان سیسـتمی برتـر در ساختمان‌های بلند استفاده می شد. ساختمانی ۱۶ طبقه با دو دیوار باربر خارجی کـه متناسـب با طول ساختمان می‌باشد.

ضخامت دیوارهای باربر به شکل مخروطی از ۲ فوت (۶۰ سانتیمتر) در طبقات بالاتر بـه ۶ فوت (۱۸۰سانتیمتر) در طبقهٔ همکف می رسد. دیوارهای باربر عمـود بـر امتـداد اصلـی کـه دارای بازشـوهای قوسی‌شـکل می‌باشـند، مقـاومت جـانبی لازم در برابـر نـیروی بـاد را ایجـاد می‌نمایند و در همین حال ستون‌های آهنی (چدنی) به عنوان تکیه‌گـاه داخلـی، بـار طبقـات را تحمل می‌نمایند. ساختمان موناداناک، محدودیت های ساختمان‌های بنـایی را کـاهش می‌دهـد زیرا وزن دیوارهای باربر خود عاملی محدودکننده در طراحی می‌باشند. افزایش ارتفاع ساختمان عدم تناسب افزایش ضخامت لازم دیوار را به دنبال خواهد داشت. به علت وزن زیـاد سـاختمان در اثر حجم دیوارها، ساختمان از زمان ساخت ۲۰ اینچ (۵۰ سانتیمتر) نشـست کرده اسـت، در حالی که طراحان حداکثر ۸ اینچ (۲۰ سانتیمتر) را پیش‌بینی کرده بودند.

مفاهیم سازه‌ای

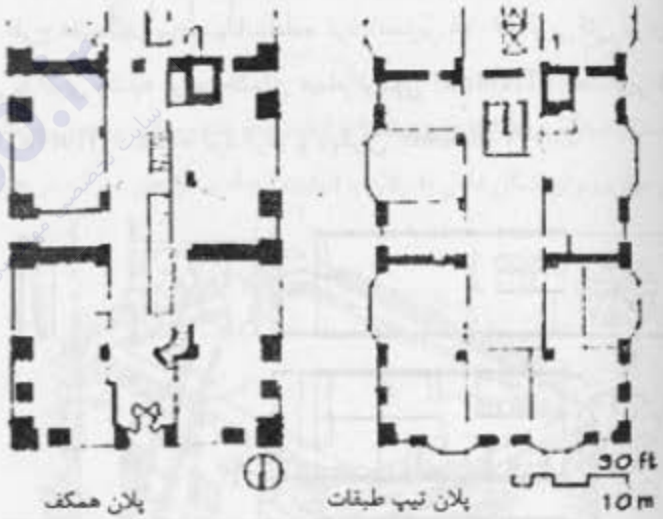
دیوارهای باربر بهترین فرم برای تحمل بار گسترده و یکنواخت می‌باشند (مانند تـیرآهن و تیر فضایی). در جایی که بارهای وارده متمرکز هسـتند، می‌تواننـد تنـش فشـاری منطقـه‌ای بالایی را ایجاد کنند، این تمرکز تنش با استفاده از صفحات برشی برای توزیع بارهـای متمرکـز بر روی سطحی وسیع‌تر کاهش می‌یابد. حتی در این منطقه سطح بزرگ بیـن بارهـای متمرکـز برشی نیستند. نیم‌ستون‌ها بخش‌های ضخیم‌شدهٔ دیوار باربر در زیر بارهای متمرکز هستند کـه سطح را افزایش داده و تنش فشـاری را کـاهش مـی دهنـد. تـأثیر آنـها مـانند اثـر سـتون‌های اضافه‌شده به یک دیوار باربر می‌باشد. بازشوها در دیوارهای باربر سبب ایجاد تنش‌هـای فشـاری موضعی شدید در اطراف بازشدگی در دیوار می‌گردند (تصویر ۱۲-۷).

تصویر ۱۰-۷ : ساختمان موناداناک، شیکاگو، یکی از آخرین ساختمان‌های بلنـد سـاخته شـده باسیسـتم دیوار باربر است.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

تا زمانی که دیوارهای باربر بارهای فشاری عمودی را حمل می‌کنند و در مقایسه با ارتفاعشان باریک هستند، ممکن است تمایل به کمانش داشته باشند (مانند ستون‌ها). دیوارهای بنایی باریک به طور واقعی در اثر ضعف درونی مصالح بنایی در کشش، تحت کمانش قرار گرفته و دچار خرابی می‌شوند. ممکن است از نیم ستون‌ها برای سخت کردن دیوارهای باربر بر علیه کمانش بدون ضخامت کامل دیوار استفاده شود.

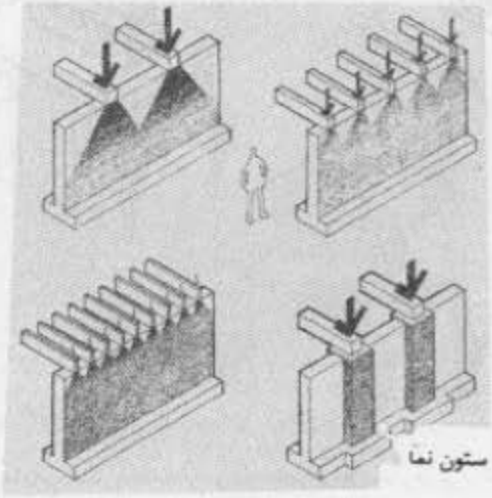


تصویر ۱۱-۷ : ساختمان موناداناک، پلان طبقات، توجه کنید که چگونه ضخامت دیوارهای باربر خارجی از ۲ تا ۶ فوت (۶۰ تا ۱۸۰ سانتیمتر) برای حمل بارهای تجمعی ناشی از وزن کف و دیوارهای طبقات بالاتر افزایش می‌یابد.

به همین ترتیب ممکن است دیوار به وسیلهٔ اجرای دو پوسته (لایه) جدا از یکدیگر که به وسیلهٔ نیم ستون‌های داخلی به هم متصل شده و دیوار را به صورت یک ستون با فرم H شکل داده‌اند، سخت گردد. پشت‌بندهای داخلی برای مقاومت در برابر نیروهای برشی، عناصری اساسی محسوب می گردند زیرا هر لایه نازک تمایل به کمانش به صورت مستقل دارد (تصویر ۱۳-۷).

دیوارهای باربر موازی

دیوارهای باربر موازی، معمولاً در ساختمان‌های مسکونی چندواحدی به کار می‌روند. این دیوارها علاوه بر ایجاد تکیه‌گاه اصلی برای طبقات و بام‌های هر واحد، آنها را در برابر آتش‌سوزی و صدا نیز عایق می‌کنند. الگوی دیوارهای باربر موازی، به طور شناخته شده‌ای برای ردیف خانه‌ها و نقشه‌های خانه های شهری، جایی که هر واحد دارای دو ورودی است که علاوه بر تأمین دسترسی، منظره و هوای تازه را نیز به عهده دارد، به کار می‌رود (چینگ Ching، ۱۹۷۹) (تصویر ۱۴-۷).



تصویر ۱۲-۷ : تأثیرات بار گسترده و بازشوها بر تمرکز تنش در دیوارهای باربر. نیم‌ستون مانند یک ستون به دیوار برای جمع‌آوری بار متمرکز اضافه می شود.

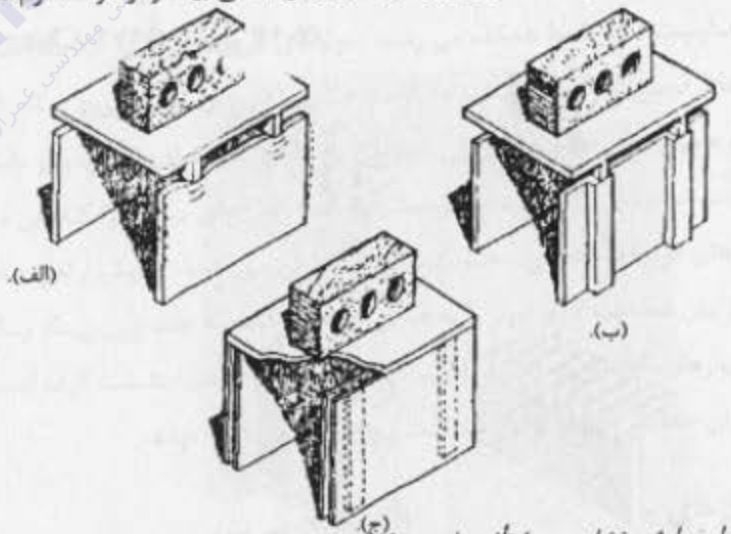
http://telegram.me/uadesigngroup

درک رفتار سازه‌ها همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

به علت این که اعضای سازه‌ای سقف و کف معمولاً عمود بر دیوارهای باربر قرار دارند، روی دیوارهای خارجی که در جهت مخالف (عمود بر دهانه) قرار دارند و به طور معمول غیرباربر هستند، قرار می‌گیرند. این سیستم ممکن است بازشوهایی را بدون در نظر گرفتن ملاحظات سازه‌ای در خود جای دهد (تصویر ۱۵-۷).

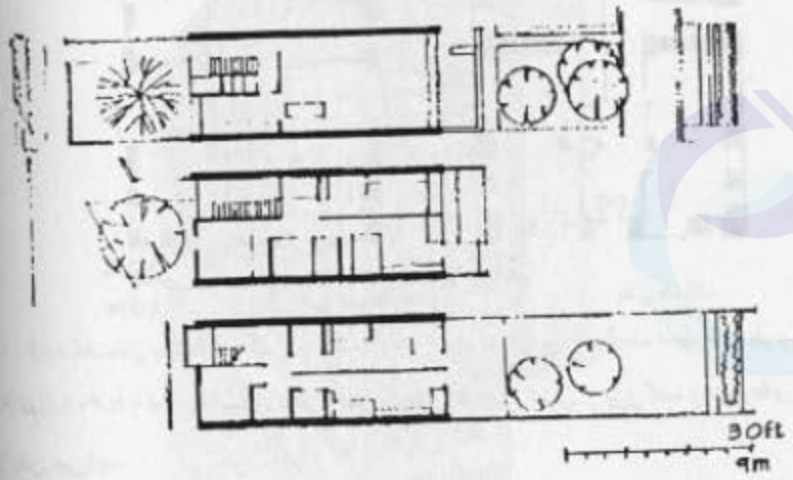
ایستایی جانبی

دیوار باربر، هنگامی فرومی ریزد که برآیند تمامی نیروهای عمودی و جانبی بیرون از پایهٔ دیوار وارد شود. اگر از گسترش نیروهای کششی ممانعت به عمل آید (دیوار باربر مسلح نباشد)، در آن صورت باید برآیند تمامی نیروهای عمودی و جانبی بیشتر از دو – سوم دیوار در هر تراز باشد.



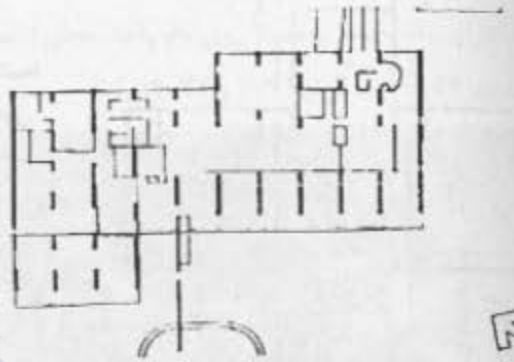
تصویر ۱۳-۷ : مدل نمایشی نشان‌دهندهٔ تأثیر بار متمرکز در دیوار باربر است: (الف) شکست ناحیه‌ای به سبب بار متمرکز در زیر تیرها، (ب) نیم‌ستون ها تنش را متناسب با افزایش سطح کاهش می دهند و (ج) دیوارهای دوجداره با سخت‌کنندهٔ داخلی برای جلوگیری از کمانش.

تا زمانی که پایداری جانبی با افزایش ضخامت دیوارها حاصل می شود (تصویر ۱۶-۷)، روش مؤثر و مناسب همان تغییر پلان هندسی دیوار به منظور تأمین مقاومت مورد نیاز می‌باشد. اضافه کردن بال‌های عمودی به مهاربندی، دیوار مقاومت جانبی را به میزان زیادی افزایش می دهد. همین تأثیر با منقاطع یا منحنی کردن دیوارها نیزبه دست می‌آید (تصویر ۱۷-۷). توماس جفرسون از این روش برای رسیدن به ضخامت یک لایه پوسته در دیوارهای مارپیچی در طرح دانشگاه ویرجینیا استفاده کرد (تصویر ۱۸-۷). لویی‌کان از دیوارهای لانگل برای رسیدن به اثری مشابه در ساختمان حمام ترنتون (Trenton) (تصاویر ۱۹-۷ و ۲۰-۷) و کنیسه هاروا (Hurva) استفاده کرد (راتر و دیگران Ronner، ۱۹۷۷).

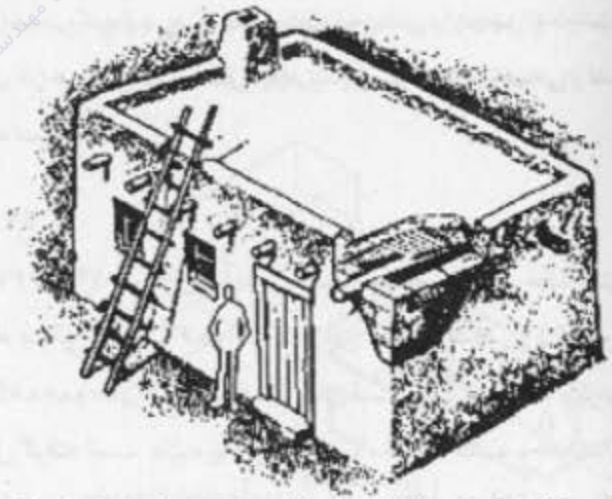


تصویر ۱۴-۷ : ساید لانگ هلن (۱۹۶۱: برن، سوئیس، مهندس معمار: آتلیه ۵) پلان. در این ساختمان چندواحدی از دیوارهای برشی، بنایی موازی برای تأمین تکیه‌گاه کف و سقف استفاده شده است. عایق صدا و دیوارهای ضدآتش به صورت مجزا بین واحدها قرار دارند و دسترسی و تهویه در عرض دو سر ساختمان قرار گرفته‌اند.

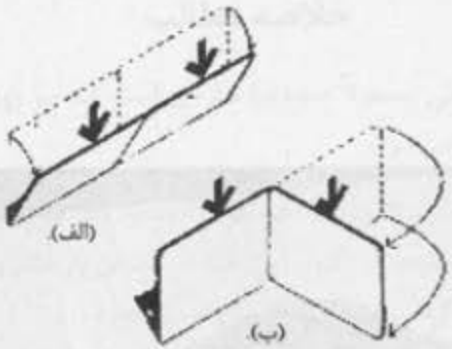
http://telegram.me/uadesigngroup



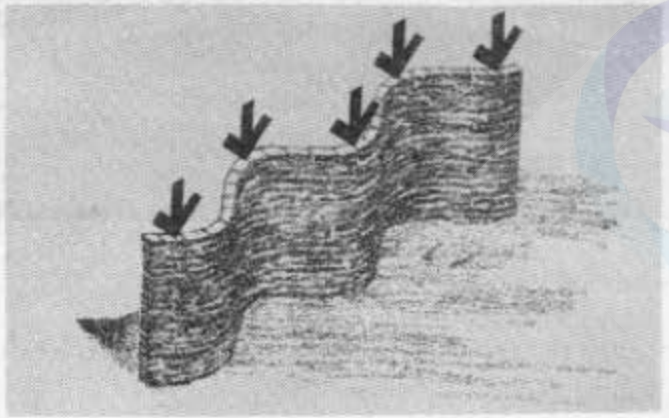
تصویر ۱۵-۷ : در منزل مسکونی *سارابهایی* (۱۹۵۵: احمدآباد، هندوستان، مهندس معمار: لوکربوزیه) از دیوارهای برشی موازی برای شکل دادن به پلان و قابلیت ایجاد پنجره‌های بزرگ در جهت عمودی استفاده شده است.



تصویر ۱۶-۷ : خشت بنایی به کار رفته در ساختمان‌های پائلیو در جنوب‌غربی، به علت ضعف فشاری خشت (ضعیف‌تر در کشش) نیاز به دیوارهای ضخیم حتی در ساختمان‌های یک طبقه است. چنین ضخامتی مقاومت لازم در برابر نیروی باد بدون نیاز به هیچ گونه مهاربندی اضافی را فراهم می‌کند.



تصویر ۱۷-۷ : مدل کاربرد پلان هندسی برای افزایش پایداری جانبی در دیوارهای برشی : (الف) مقوای نشان داده شده معرف دیوار بدون پایداری جانبی است ولی (ب) مقوا با تا کردن با زاویهٔ ۹۰ درجه پایدار می شود.

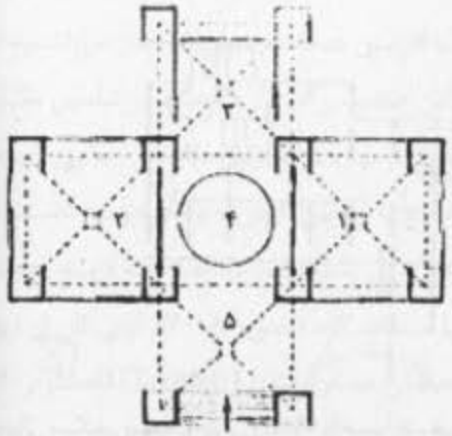


تصویر ۱۸-۷ : دیوار آجری منحنی (مشابه طرح توماس جفرسون در دانشگاه ویرجینیا) با کاربرد پلان هندسی برای رسیدن به مقاومت جانبی و امکان ساخت آن با یک ردیف آجر.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

تصویر ۱۹-۷ : ساختمان حمام انجمن یهودیان (۱۹۵۳: ترنتون، نیوجرسی، مهندس معمار: لویی کان)



تصویر ۲۰-۷ : ساختمان حمام انجمن یهودیان ، پلان. فرم U شکل دیوارهای باربرپایداری جانبی ساختمان را فراهم می کند و در عین حال فضاهای خدماتی و ارتباطی را در خود جای میدهد. مثالی از برتری طراحی لویی‌کان به دلیل ایجاد تمایز بین فضاهای خدماتی و فضاهایی که خدمات برای آنها تأمین شده است.

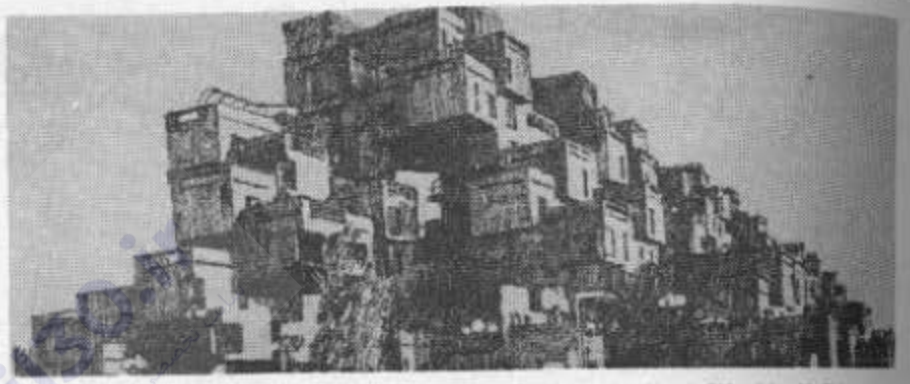
خانه شماره ۶۷

خانه ۶۷ (۱۹۶۷: مونترال، مهندس معمار: موشه سفدی)، خانهٔ پیش‌ساخته‌ای است که برای نمایشگاه جهانی اکسپو ۶۷ طراحی شد. این خانه بر اساس ۳۵۴ مدول دیوار باربر بتنی پیش‌ساخته که مجموعه‌ای شبیه ساختمان‌های اسباب‌بازی می‌باشد و برای تأمین ۱۵۸ واحد مسکونی شکل گرفته است. علاوه بر این ۱۸ تیپ مختلف خانه وجود دارد که از یک جعبه مجزا با ابعاد خارجی ۱۷/۵ × ۳۸/۵ × ۱۰/۵فوت (۵/۳ × ۱۱/۷ × ۳/۲ متر) طراحی شده است. از آنجایی که هر واحد جعبه‌ای‌شکل، قابلیت تحمل بارهای برشی را دارد، می توان آنها را در وضعیت‌های مختلف که به وسیلهٔ کابل‌های پس‌کشیده به هم مرتبط هستند پشت به پشت

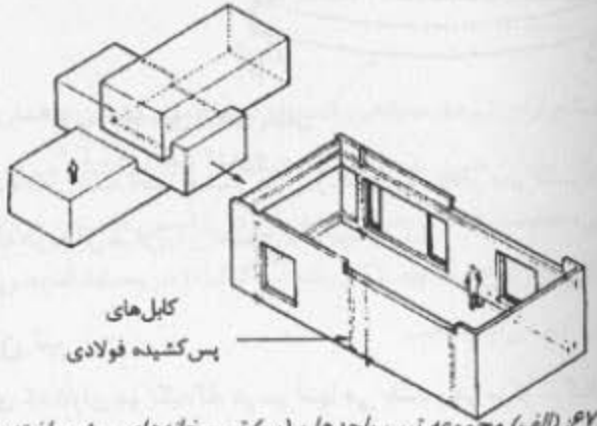
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

چند در نتیجه، هر واحد دارای یک حیاط (معمولاً روی بام واحد مجاور) است و چشم اندازی به چند جهت دارد (سفدی، ۱۹۷۴) (تصاویر ۲۱-۷ و ۲۲-۷).



تصویر ۲۱-۷ : خانه ۶۷ استفاده ازفرم‌های قوطی با دیوار های باربر برای ایجاد مجموعه‌ای از واحدهای مسکونی، هریک دارای حیاط مجزا و چشم اندازی به اطراف می‌باشد.



تصویر ۲۲-۷ : خانه ۶۷ (الف) مجموعه تیپ واحدها و (ب) تیپ خانه‌های پیش‌ساخته بتنی که محل قرارگیری کابل‌های پس‌کشیده را نشان می دهد.

خلاصه مطالب

۱- ستون، عضوخطی (معمولاً عمودی) سازه‌ای است که بر روی محور های آن بار فشاری گذارده می‌شود.

۲- یک ستون کوتاه همانند یک آجر اگر در معرض بار فشاری بیش از اندازه قرار گیرد، خرد می شود. اگر یک ستون بلند در معرض بار فشاری افزوده واقع شود، دچار کمانش ناگهانی می شود (خمش در یک طرف).

۳- با افزایش طول ستون بار کمانشی آن کاهش می‌یابد.

۴- گشتاور ماند عبارت است از میزان توزیع مصالح اطراف مرکز یک جسم. بار کمانشی نسبت مستقیم با گشتاور ماند دارد.

۵- شرایط وضعیت انتهای ستون مفصلی (آزاد برای چرخش با ممانعت از حرکت جانبی) با اتصال ثابت در پی (از حرکت انتقالی جانبی و چرخش ممانعت به عمل می‌آید) آزاد (آزاد برای چرخش و انتقال) می باشد.

۶- دیوار باربر، عضوی فشاری است که در یک جهت پیوسته بوده و بارهای عمودی را توزیع می نماید و آنها را بتدریج به تکیه‌گاه (معمولاً خاک) منتقل می سازد. استفاده از دیوارهای باربر در جایی که بارهای وارده، گستردهٔ یکنواخت هستند، مناسب می‌باشند (مانند تیرها و تیرهای فضایی).

۷- هندسه نسبت به حجم در ایستایی جانبی که در دیوارهای باربر گسترش می‌یابند، مؤثرتر است.

۸- نیم ستون‌ها، بخش‌های ضخیم شدهٔ دیوار باربر در زیر بار متمرکز هستند که سطح را افزایش داده و تنش فشاری را کاهش می‌دهند.

http://telegram.me/uadesigngroup

فصل ۸

تیرها و دال‌ها

اعضا افقی سازه شامل تیرها و دال‌هاست.

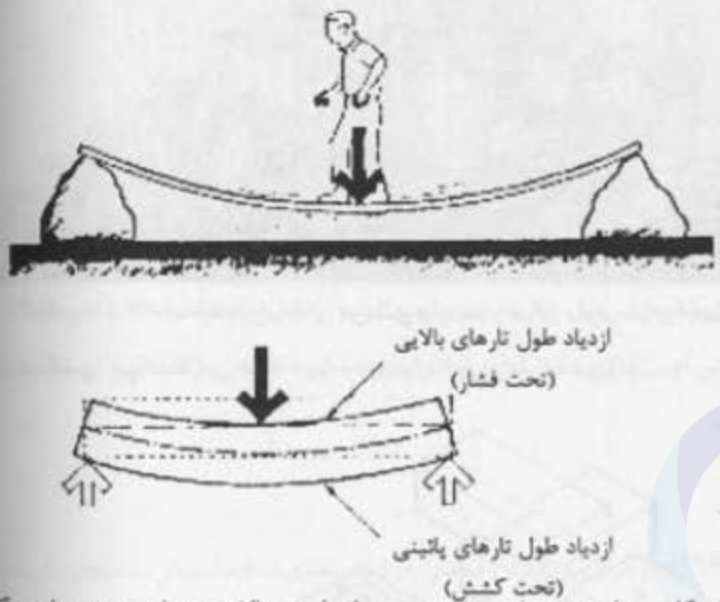
تیرها

هنگامی که یک تیر ساختمانی (این عنصر ناپیدا) بر روی دو ستون قرار گرفته و آنها را به یکدیگر ارتباط می‌دهد در کمال شگفتی، علم معماری به طور اجتناب ناپذیر مانند هنگامی که دو عنصر شیمیایی با هم ترکیب شده و یک نیرو یا ماده‌ای جدید به ناگهان ظاهر می شود، شروع به شکل‌گیری می کند.

"گوئیس اچ سولیوان"

تیر، یک عنصر سازه‌ای خطی است که بارهای وارده، عمود بر محور طولی آن اثر می‌کند، چنین باری از نوع خمشی است. خمش عبارت است از تمایل یک عضو به قوسی‌شکل شدن در نتیجه بارهای وارده بر محور طولی آن که باعث می‌گردد یک سمت عضو افزایش طول پیدا کند (تحت کشش) و جهت مقابل آن کوتاهتر گردد(تحت فشار). به همین علت تنش های کششی و فشاری به طور همزمان اتفاق می افتند، تنش برشی نیز وجود دارد.

تیر، شناخته‌شده‌ترین مثال از یک عضو سازه‌ای تحت خمش است که ساده ترین راه‌حل برای مسائل مشترک سازه‌ای در انتقال بارهای افقی ناشی از وزن که باعث خمش در اعضا می‌شود نیز می‌باشد (تصویر ۱-۸).



تصویر ۱-۸: تیر تکیه‌گاهی ساده تحت خمش در زیر بار وارده. بالای تیر فشرده و پایین کشیده می‌شود، در حالی که در بخش مرکزی آن تغییری به وجود نمی‌آید.

تنش‌های درون تیر

تیر ساده‌ای که دارای دو تکیه‌گاه در دو انتها می باشد و در مرکز بارگذاری شده است را در نظر بگیرید. بار وارده مرکزی (و بار مردهٔ ناشی از وزن تیر) باعث تغییر شکل تیر از حالت مستقیم به حالت منحنی می گردد. بر اثر این تغییر شکل ، تمامی تارهای درون تیر نیز به

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

صورت منحنی درمی‌آیند. تارهای نزدیک به سطح محدب تیر (در این مثال بخش پایینی) به علت تنش کششی همزمان در همان سطح، تمایل به کشیده شدن دارند. تارهای نزدیک به سطح مقعر تیر (بالا) به علت تنش فشاری (همزمان در همان سطح) تمایل به کوتاهتر شدن دارند. تارهایی که در مرکز تیر قرار دارند تغییر طول نداشته و به شکل اصلی خود باقی می‌مانند (بدون کشش و فشار). بیشترین میزان تنش در سطوح بیرونی اتفاق می‌افتد و به تدریج به سمت صفر در محور اصلی (مرکزی) کاهش می‌یابد (تصاویر ۲-۸ و ۳-۸).

منحنی‌های تنش

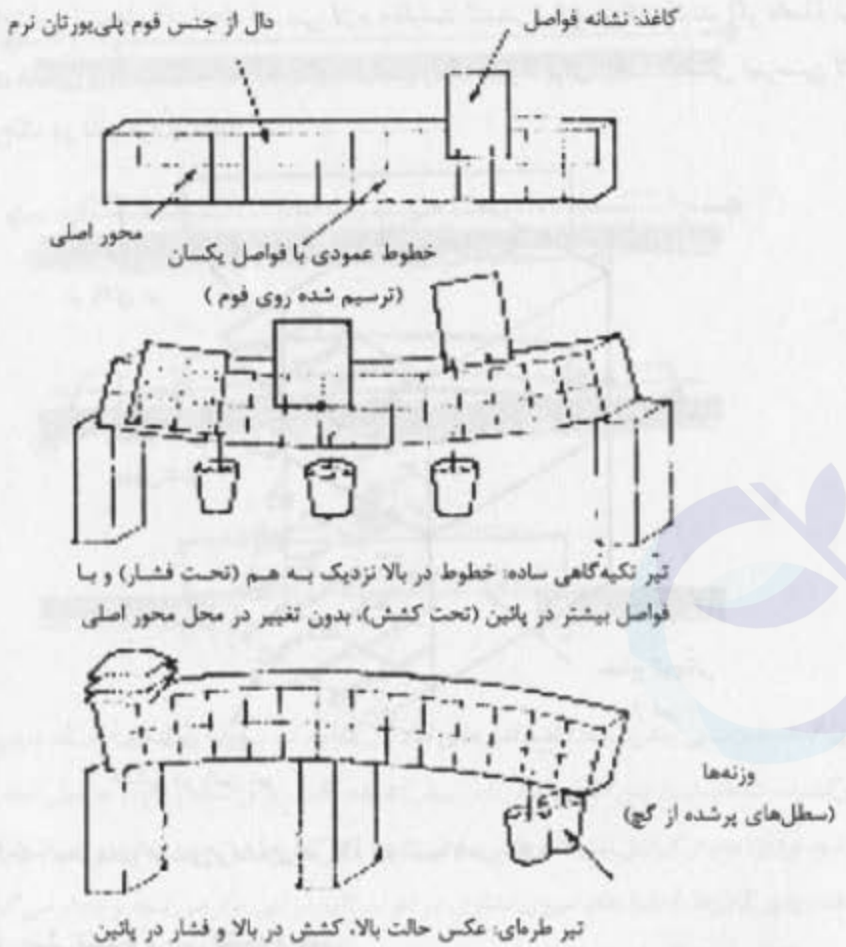
تصور کشش در بالا و فشار در پایین یک تیر ساده بسیار ساده است. در عمل، مسیر تنش، به شکل منحنی‌های متداخل است (تصویر ۴-۸). خطوط محل تلاقی تنش‌های کششی و فشاری معمولاً عمودی هستند. فاصلهٔ بین منحنی‌های مسیر تنش به تمرکز تنش در آن نقطه اشاره دارد(خطوط نزدیک به هم نمایانگر تنش های بزرگ متمرکز در آن ناحیه است).

مصالح

بهترین مصالح برای تیرها، مصالحی هستند که مقاومت کششی و فشاری یکسان داشته باشند. چوب و فولاد مصالح خوبی به علت وجود تعادل در فشار وکشش برای تیرها هستند. بتن و مصالح بنایی، مقاومت فشاری خوبی دارند ولی در کشش ضعیف می‌باشند. به همین علت، تیرهای سنگی با ارتفاع زیاد (به شکل یک تیر کوتاه) در معابد قدیمی یونان، فقط در دهانه‌هایی با عرض کم می‌توان یافت.

تقویت کششی

مقاومت ضعیف بتن در برابر کشش به هیچ عنوان در طراحی سازه‌ای در نظر گرفته نمی‌شود. تیرهای بتنی باید به وسیله فولاد برای جلوگیری از شکستگی ناشی از کشش تقویت شوند. به علت عملکرد میلگردهای تقویتی به عنوان مقاومت در برابر تنش کششی، معمولاً آنها را در سطح محدب تیر کار می گذارند (تصویر ۵-۸).

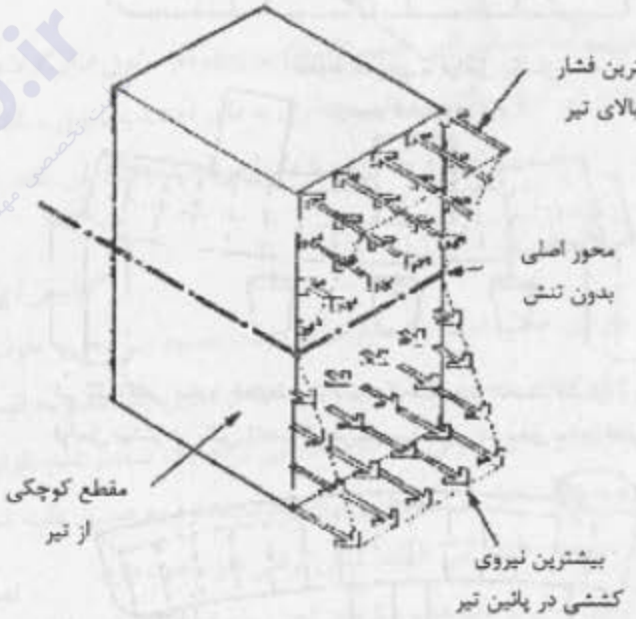


تصویر ۲-۸: مدل نمایشی از تنش‌های کششی و فشاری و افزایش طول نسبی در یک تیر ساده.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

نیروهای داخلی در خلاف جهت نیروهای وارده باعث ایجاد مقاومت گشتاوری (ماند) داخلی می شوند. اگر فاصلهٔ بین نیروهای فشاری و کششی داخلی کم باشد (مانند یک تیر کم‌ارتفاع) این نیروها برای ایجاد اینرسی لازم مقاومت کششی، باید بزرگ باشند. اگر فاصلهٔ بین نیروهای داخلی زیاد باشد (مانند یک تیر با ارتفاع زیاد) نیروها برای ایجاد ممان اینرسی لازم باید کوچک در نظر گرفته شوند.

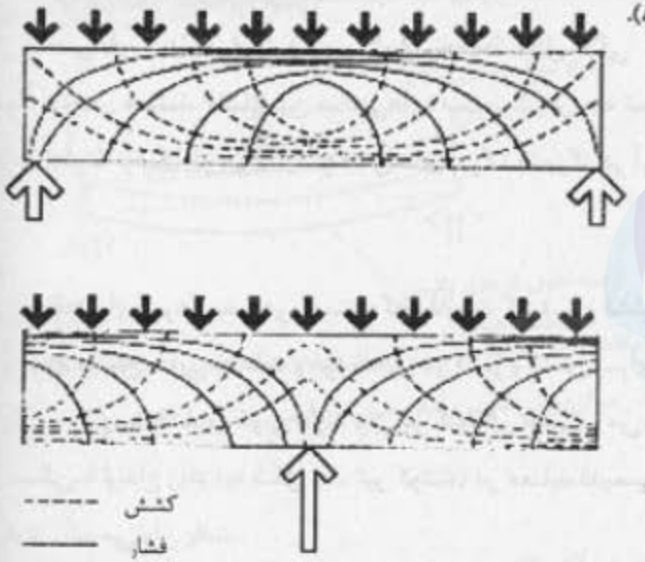


تصویر ۳-۸: تنش‌های کششی و فشاری در یک تیر تکیه‌گاهی ساده

تیرهای پیش‌تنیده و پس‌کشیده بتنی

علی‌رغم استفاده از میلگردهای تقویتی اضافه شده به تیر، باز هم شکستگی‌های کوچک در سطح محدب تیر اتفاق می افتد. علت آن این است که فولاد قبل از ایجاد مقاومت در برابر خمش شروع به کشیده شدن می‌نماید، بنابراین مقدار کمی خمش (و تغییر شکل) در برابر مقاومت کششی فولاد ایجاد می‌گردد. به وسیلهٔ کشیدگی (پیش تنیدگی) فولاد هنگامی که در داخل قالب تیر قبل از ریختن بتن کار گذاشته شود، می‌توان از بروز چنین امری جلوگیری کرد و میلگردها را تا زمان گرفتن بتن در حالت کشش قرار داد. هنگامی که نیروهای کششی بر دو سر فولاد وارد می شوند، میلگردها آزاد شده و بتن اطراف را جمع می‌کنند (تصویر ۶-۸).

فولاد تقویتی را همچنین می‌توان با قرار دادن در بتن در قالب زیر کار به طوری که بین فولاد و بتن هیچ مانعی وجود نداشته باشد، پس‌کشیده کرد. پس از آنکه بتن سفت شد، فولاد کشیده شده و باعث ایجاد پس‌کشیدگی می گردد (اثری مشابه پیش تنیدگی) (تصاویر ۷-۸ و ۸-۸).



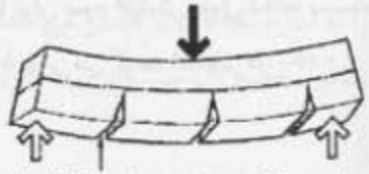
تصویر ۴-۸: خطوط تنش در یک تیر: (الف) تکیه‌گاه در دوانتها و (ب) تکیه‌گاه مرکزی. توجه داشته باشید: در محل تقاطع، خطوط منحنی معمولاً عمودی هستند، خطوط منحنی کششی و فشاری به یکدیگر متقارن هستند، فاصله کم بین خطوط اشاره به تمرکز تنش دارد.

http://telegram.me/uadesigngroup

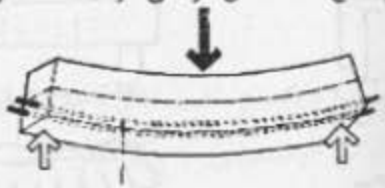
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

تنش‌های برشی در یک تیر

به علت اینکه تنش‌های کششی و فشاری در بالا و پایین تیر همزمان و در خلاف جهت هم اتفاق می‌افتند، باعث ایجاد نیروهای برشی در طول تیر می‌گردند. همان‌گونه که قبلاً توضیح داده شد، این حرکت برشی افقی باید به وسیلهٔ نیروهای برشی عمودی برای متعادل ماندن عنصر مربع‌شکل درون تیر، خنثی گردد (تصویر ۹-۸).



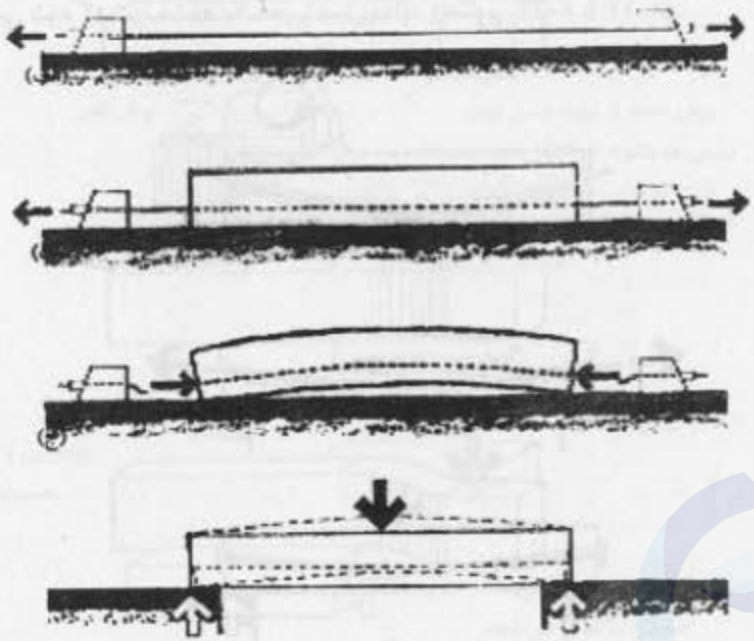
تیر بتنی غیر مسلح تحت کشش خرد می شود (شکاف‌ها در پایین تیر



میلگرد های تقویتی باعث مقاومت پائین تیر در برابر کشش می‌شوند

تصویر ۵-۸: خمش در یک تیر بتنی با میلگردهای تقویتی و بدون آن(ارماتور بندی).

این مقاومت در برابر برش برای مقاومت تیر در برابر خمش، مؤثر می‌باشد. یک تیر توپر با یک تیر مرکب مشابه آن، متشکل از لایه‌های نازک با مصالح یکسان را در نظر بگیرید. در هنگام بارگذاری مشابه، لایه‌های نازک تمایل به لیز خوردن دارند و در نتیجه تغییر شکل بیشتری نسبت به تیر توپر خواهند داشت. به این دلیل یک تیر چوبی مرکب از ورقه‌های نازک به هم چسبیده نسبت به تیری که دارای لایه‌های جدا از هم می‌باشد مقاوم‌تر است (تصویر ۱۰-۸). پیش از رسیدن به دستاوردهای جدید در زمینهٔ ساخت چسب‌های مقاوم، اثری مشابه با استفاده از عناصر (کلیدهایی) برای اجتناب از لغزش برشی بین تیرهای چوبی مرکب چندلایه‌ای به دست آمده بود (تصویر ۱۱-۸).

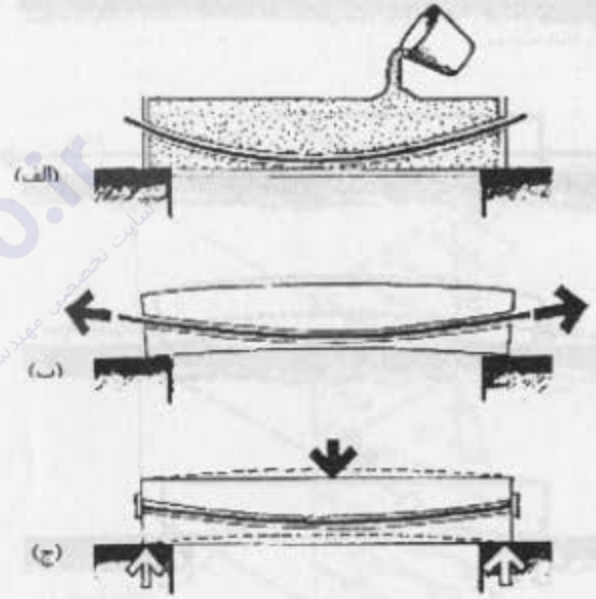


تصویر ۶-۸: تیر بتنی پیش‌تنیده: (الف)کابل‌های فولادی مقاوم که بین دو نقطه با جک هیدرولیکی پیش‌کشیده شده‌اند.(ب) بتن اطراف کابل‌های پیش‌کشیده قالب ریزی شده و باعث به عمل آمدن بتن می شود و (ج) بعد از گرفتن بتن کابل‌ها بریده می شود. اگر کابل‌ها در بخش پایین تیر قرار گرفته باشند، بریدن کابل‌ها باعث ایجاد نیروی فشاری در دو سر تیر در این تراز می شود و باعث می گرد تیر به سمت بالا قوسی شکل شده و ایجاد تحدب کمی نماید و شکست را خنثی نماید. (د) نتیجهٔ آن تیری است که به صورت عمودی عمودی بارگذاری شده است.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

نیروهای برشی تمایل به تغییر مقطع مربع‌شکل به یک متوازی‌الاضلاع با نیروهای فشاری وکششی برابر (که در طول اقطار متوازی‌الاضلاع گسترش می یابند) دارند. این مسأله باعث می شود که تیر، مشابه یک خرپا عمل نماید (تصاویر ۱۲-۸ تا ۱۴-۸).



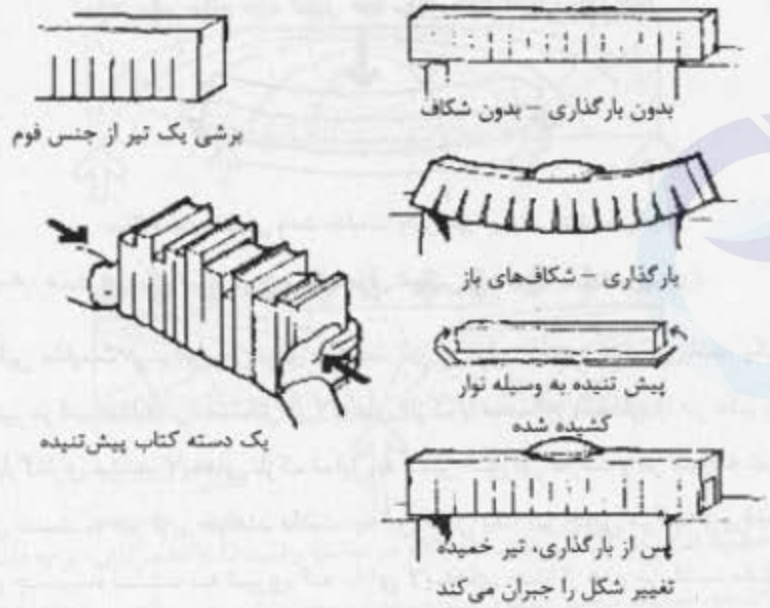
تصویر ۷-۸ : تیر بتنی پس‌کشیده : (الف)قالب جایگذاری‌شده، قالب‌بندی از کابل‌های بدون تنش که در جای خود قرار گرفته‌اند، بتن اطراف آن را فراگرفته است، (ب) بعد از گرفتن بتن، کابل ها به وسیله جک‌هایی در دو سر تیر کشیده می‌شوند و (ج) پس از برداشتن قالب و جک‌ها، نیروی کابل به وسیله مهارهایی در دو سر تیر باقی می‌ماند.

تغییر شکل در تیر

عوامل مؤثر در تغییر شکل یک تیر با تکیه‌گاه ساده عبارتند از: دهانه، ارتفاع و عرض مقطع، مصالح، محل بارگذاری، شکل سطح مقطع و شکل تیر در طول آن.

دهانه

تغییر شکل در یک تیر، با توان سوم افزایش طول دهانه نسبت مستقیم دارد. اگر طول دهانه دو برابر شود، تغییر شکل ۸ برابر می گردد (تصویر ۱۵-۸).•



تصویر ۸-۸ : مدل نمایشی برای مقایسه تیرهای بتنی مسلح و غیرمسلح.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

ارتفاع و عرض مقطع

شکل یک تیر مستطیلی با تغییر ابعاد سطح مقطع تیر، تغییر می‌کند. تغییر شکل نسبت عکس با بعد افقی تیر دارد. با دو برابر کردن عرض افقی تیر، تغییر شکل نصف می‌گردد، سه برابر کردن عرض، تغییر شکل را یک سوم کاهش می دهد. تغییر ارتفاع تأثیر بیشتری در تغییر شکل دارد، به گونه‌ای که تغییر شکل با توان سوم ارتفاع نسبت عکس دارد. دو برابر کردن ارتفاع تغییر شکل را به اندازه یک هشتم کاهش می دهد. بنابراین با اضافه کردن مصالح به ارتفاع تیر نسبت به عرض مقطع آن، می‌توان به میزان زیادی به مقاومت آن افزود (تصویر ۱۶-۸).

مقاومت مصالح

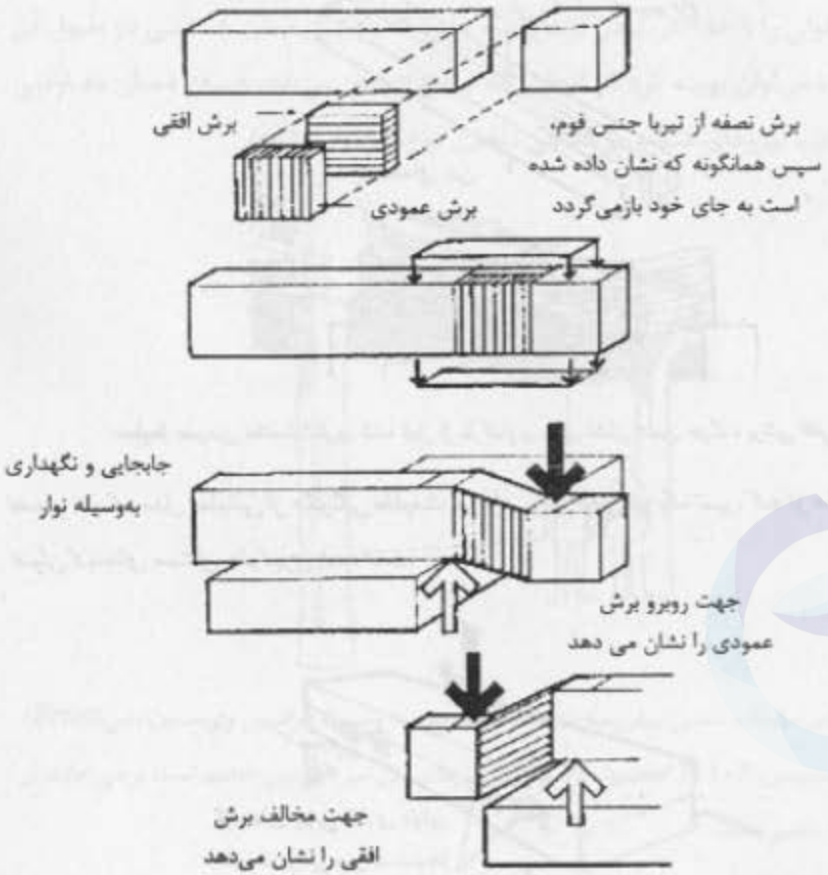
در تیرهایی با اندازهٔ یکسان، تغییر شکل با ضریب ارتجاع مصالح نسبت عکس دارد (تصویر ۱۷-۸). یک تیر آلومینیومی سه برابر بیش از تیر فولادی مشابه دچار تغییر شکل می‌شود (ضریب ارتجاعی فولاد سه برابر ضریب ارتجاعی آلومینیوم است).

محل بارگذاری

تغییر شکل در وسط دهانه با توجه به محل بارگذاری تحت تأثیر قرار می گیرد و با حرکت محل بارگذاری از تکیه‌گاه به سمت مرکز افزایش می یابد (تصویر ۱۸-۸).

فرم سطح مقطع

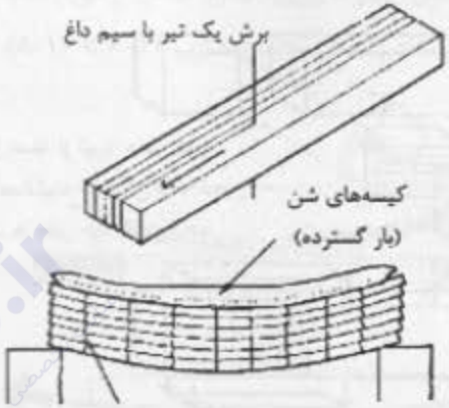
یکی از مسائل مهم در تیرها تنش درونی ناشی از مصالح نزدیک به مرکز سطح مقطع آنهاست. همان گونه که در بالا اشاره شد، بیشترین میزان نیروهای فشاری و کششی داخلی یک تیر تحت خمش، در بیرونی‌ترین تارهای آن اتفاق می‌افتد و در مرکز به سمت صفر میل می‌کند (روی محور اصلی).



تصویر ۹-۸: مدل نمایشی از برش عمودی و افقی ناحیه‌ای در یک تیر

http://telegram.me/uadesigngroup

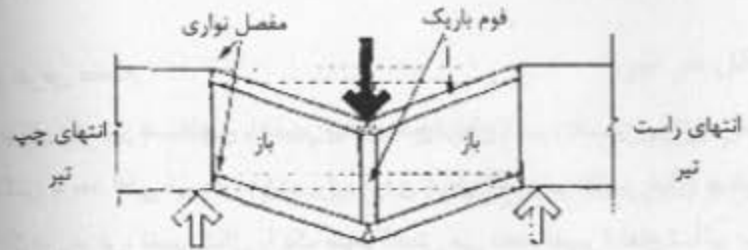
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



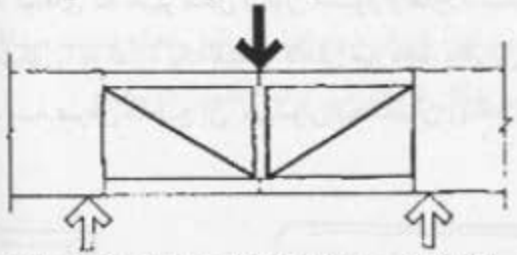
خطوط عمودی علامت‌گذاری شده قبل از بارگذاری برای نشان دادن حرکت برشی افقی

تصویر ۸-۱۰: مدل نمایشی از چگونگی مقاومت در برابر برش افقی در یک تیر، که از عملکرد آن به عنوان لایه‌های مستقل جلوگیری شده است.

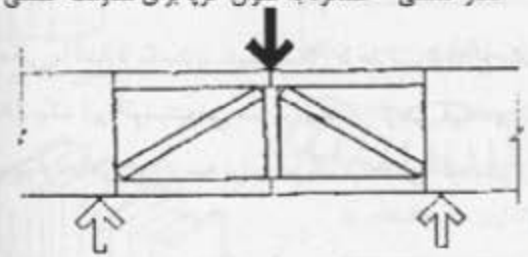
تصویر ۸-۱۱: تیر چوبی چندلایه، از لغزش برشی بین لایه‌ها با استفاده از گوه‌های چوبی ممانعت به عمل آمده است.



بازشوهای مستطیل شکل (بدون مقاومت خمشی)



اقطار کششی – عملکرد به عنوان خرپا برای مقاومت خمشی



اقطار فشاری – دارای مقاومت خمشی

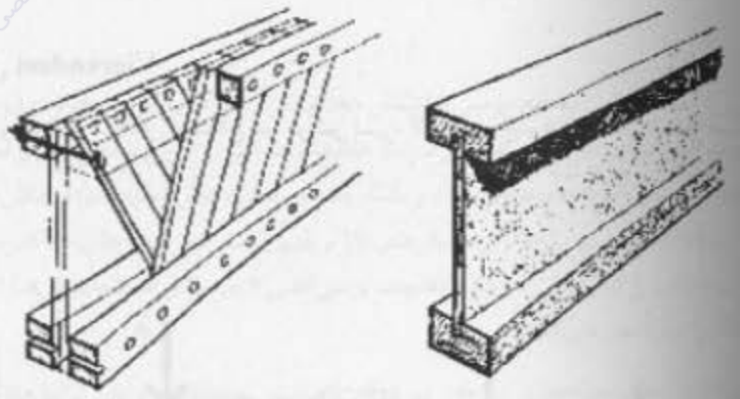
تصویر ۸-۱۲: مدل نمایشی از رفتار خرپا در مقاومت خمشی در مرکز یک تیر.

اگر تیر دارای مقطع یکنواخت باشد (مثلاً یک مستطیل)، در آن صورت تارهای بیرونی تحت تأثیر بیشترین تنش قرار دارند در حالی که در مرکز مقطع قسمت تحتانی تیر، تنشی وجود ندارد. از آنجا که مقاومت بخش مرکزی مورداستفاده قرار نمی‌گیرد، فرم مستطیل‌شکل در مقاومت خمشی نسبتاً غیرمؤثر است. بیشتر مصالح نزدیک محور اصلی را می‌توان بدون

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

تاثیرگذاری بر مقاومت خمشی تیرها حذف کرد. به عبارت دیگر، توزیع مصالح یک تیر دور از محور اصلی به طور عملی مقاومت خمشی را افزایش می دهد. بنابراین سطح مقطع تیرها که بیشترین مواد آنها تاحد ممکن دورتر از محور اصلی است(مقطع قوطی و I شکل) کارایی بیشتری دارند. به علت اینکه ساخت فرم I شکل از مقطع قوطی مشکل‌تر است، فرم بال پهن به عنوان فرم انتخابی برای تیرهای فولادی در ساختمان‌های امروزی به کار می‌روند (تصاویر ۱۹-۸ و ۲۰-۸).

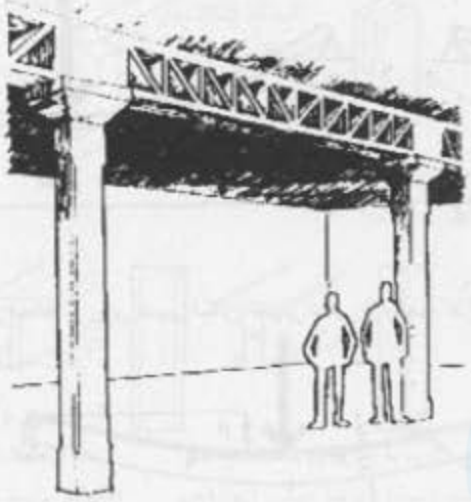


(الف) تیرچه چوبی چند لایه (ب) تیر مرکب رایج

تصویر ۱۳-۸: (الف) تیر چوبی مرکب، رفتاری شبیه به خرپا برای مقاومت افقی برشی بین تارهای بالایی و پایینی دارد. این نوع تیر با تیرچه‌های چوبی چندلایه جانشین شده است.

فرم طولی تیر

سطح مقطع تیرها را فقط با حداکثر کردن مصالح در تارهای بالاتر و پایین‌تر محور اصلی و فرم طولی را با حداکثر کردن ارتفاع تیر، جایی که بالاترین ممان خمشی در طول آن اتفاق می افتد، می‌توان بهینه کرد (از آنجایی که ارتفاع افزایش می‌یابد، همان ممان مقاومتی داخلی می‌تواند با نیروهای فشاری و کششی داخلی کوچکتر تولید شود).



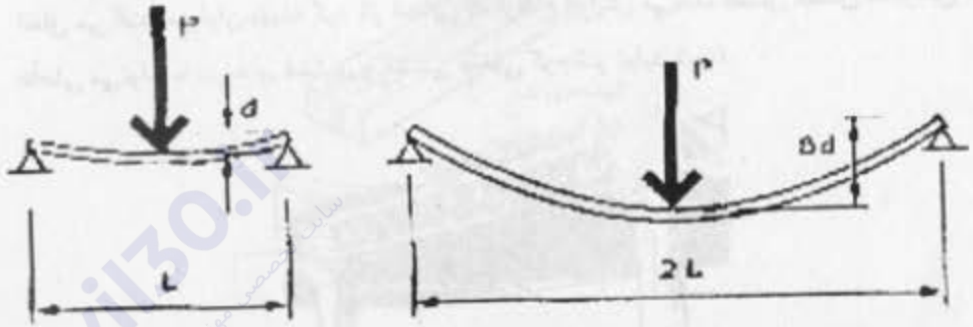
تصویر ۱۴-۸: تیر مشبک بتنی پیش‌ساخته، ساخته‌شده به وسیلهٔ فرانس وی‌سین‌تینی (Franz Visintini) (سوییس، ۱۹۰۴). ضخامت بالا و پایین تارهای این تیر خرپایی حجیم است و می تواند بر اساس بار وارده متغیر باشد.

در یک تیر ساده که بار گستردهٔ یکنواخت بر طول آن وارد می شود، این حداکثر ارتفاع در مرکز که بتدریج به سمت انتها مخروطی شکل می‌شود، دیده می شود. گشتاور در تکیه‌گاه‌های دو سر صفر است (با در نظر گرفتن اتصال مفصلی یا غلتکی)، بنابراین برای

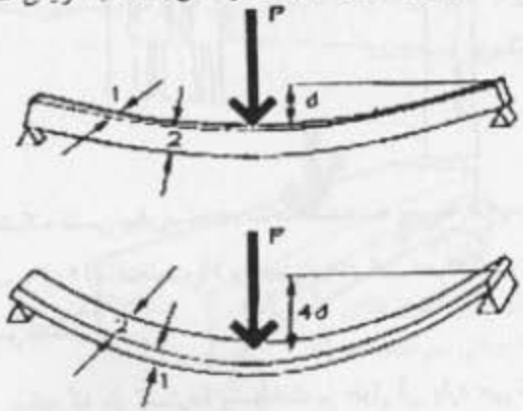
http://telegram.me/uadesigngroup

درک رفتار با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

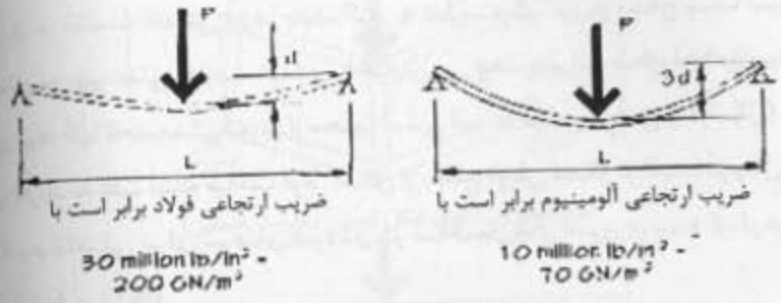
مقاومت گشتاوری به بعد اضافی نیاز نیست. در این نقطه میزان مقاومت برشی حداکثر ارتفاع را تعیین می‌کند (تصاویر ۲۱-۸ و ۲۲-۸).



تصویر ۱۵-۸ : تأثیر طول دهانه بر روی تغییر شکل. تغییر شکل با مکعب افزایش طول نسبت مستقیم دارد.



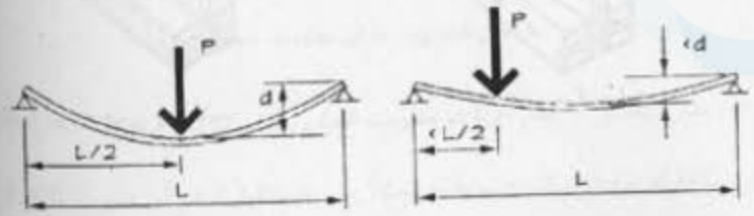
تصویر ۱۶-۸ : اثر ارتفاع و عرض بر روی تغییر شکل تیر. تغییر شکل نسبت عکس با عرض و توان سوم ارتفاع دارد.



تصویر ۱۷-۸ :تأثیر مقاومت مصالح در تغییر شکل تیر. تغییر شکل نسبت عکس با ضریب ارتجاع دارد.

تیرهای ویرندیل Vierendeel

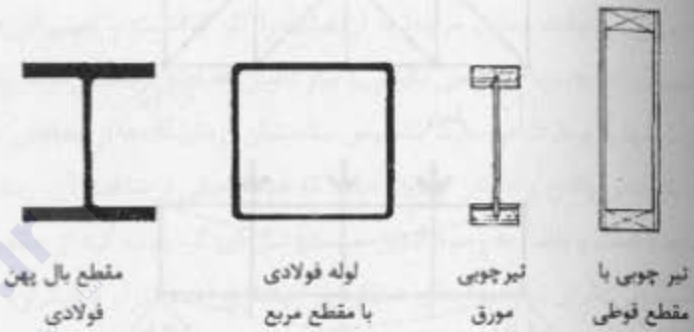
یکی از روشهای کاهش مصالح در مرکز تیر، لاغرتر کردن جان تیر است (تصویر ۱۹-۸).



تصویر ۱۸-۸ : تأثیر محل بارگذاری در تغییر شکل تیر. اگر بار وارده در وسط دهانه باشد، تغییر شکل افزایش می‌یابد.

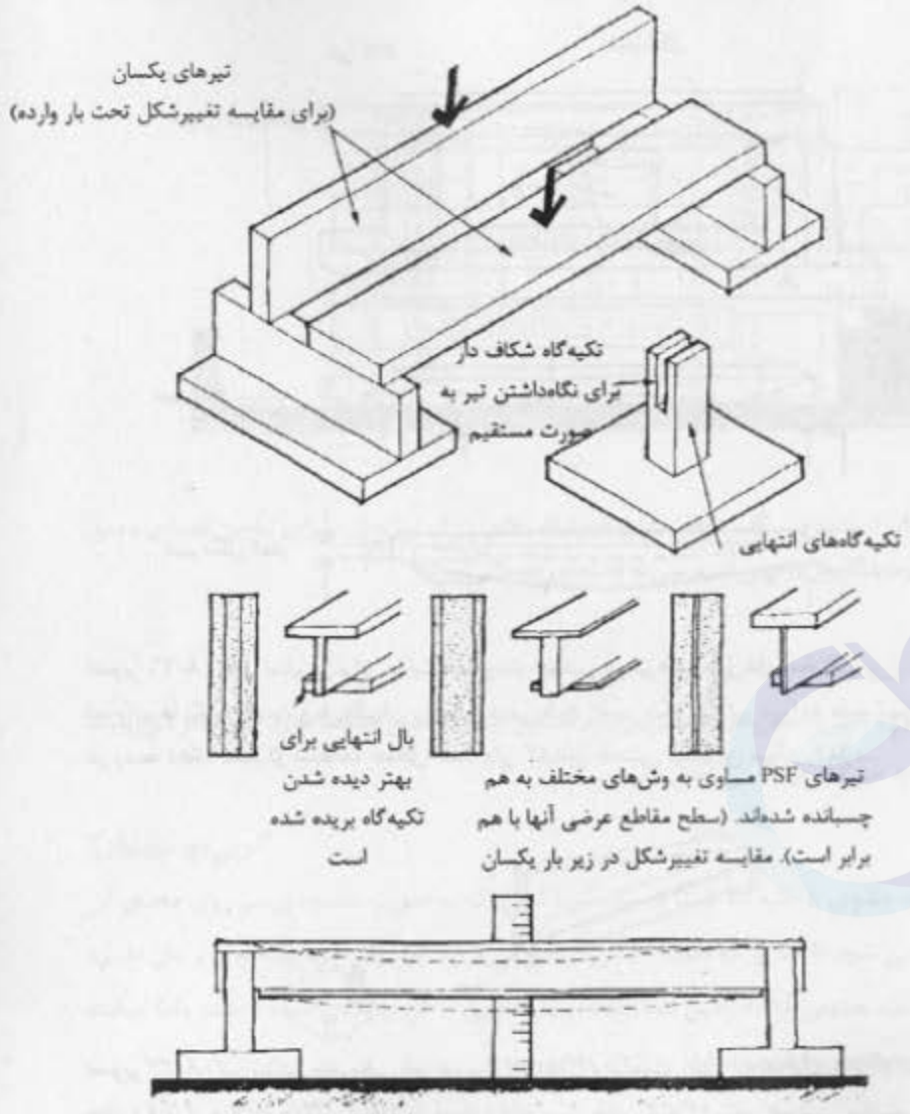
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



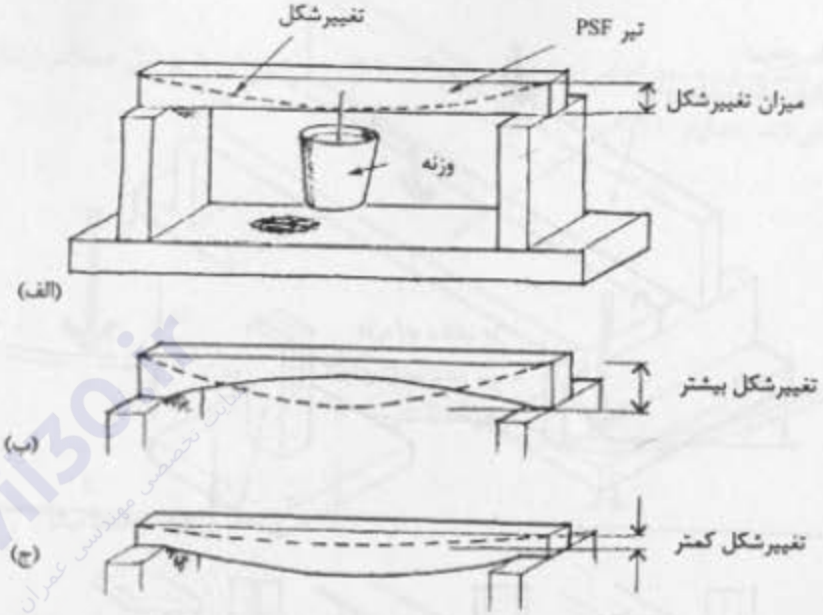
تصویر ۱۹-۸: کارایی مقاطع عرضی با اشکال مختلف برای تیرهای چوبی و فولادی(و دیگر مصالح که مقاومت قابل قبولی در کشش و فشار دارند). مقاومت خمشی با توزیع مصالح دور از محور اصلی افزایش می‌یابد، تا زمانی که به هم متصل بوده و مانند یک تیر منفرد عمل نمایند. برای مثال،هدف از عضو جان یک تیر فولادی بال پهن، جدا کردن بال‌های بالا و پایین است (در عین حال حداکثرمقاومت ششی و فشاری داخلی را تأمین می نماید) و مقاومت برشی افقی لازم برای ممانعت بال‌ها از لغزش به روی یکدیگر را نیز تأمین می‌کند.

روش دیگر، ایجاد سوراخ‌هایی در جان تیر و باقی گذاشتن میله‌های ارتباطی (رابط‌ها) بین بال‌های بالا و پایین می‌باشد. اگر این سوراخ‌ها مثلثی‌شکل باشند، تیر مانند خرپا عمل می‌کند که از هندسهٔ مثلثی نه تنها برای جدا کردن اعضای (میله های) فوقانی و تحتانی بلکه برای ایجاد مقاومت برشی استفاده می‌کند. اعضایی از جان که صرفاً عمودی هستند، ممکن است برای ایجاد فاصلهٔ لازم بین میله‌ها مورد استفاده قرار گیرند، ولی برای مقاومت برشی افقی بین میله‌ها باید اتصالات اعضای عمودی جان و اعضای افقی با اجتناب از تغییر شکل مثلث ها در اثر برش به شکل متوازی‌الاضلاع صلب گردند (به علت شکل پایداری هندسی مثلث، اتصالات خرپا می توانند مفصلی باشند).

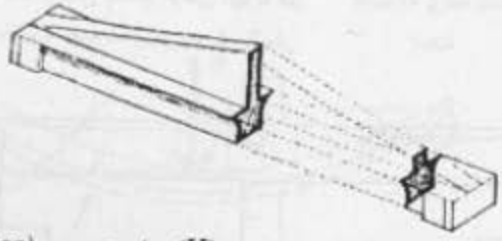


تصویر ۲۰-۸: مدل نمایشی از ارتباط مقاومت خمشی در تیرها با مقاطع مختلف.

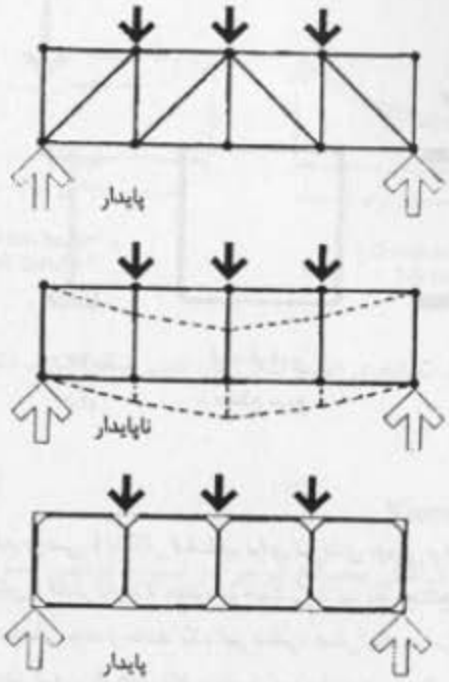
http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۸-۲۱: مدل نمایشی برای مقایسهٔ مقاومت خمشی در تیرها با طول‌های مختلف. وزن مصالح در تمام تیرها یکسان است و بار یکسان برآنها وارد می شود. تغییر شکل در تیر (ب) به علت اینکه مصالح در وسط دهانه متمرکز شده‌اند، حداقل است ولی گشتاور خمشی بیشترین میزان را دارد.



تصویر ۸-۲۲: تیر سنگی مخروطی بام هیرون (Hieron) ساموت ریس (Samothrace) (اواخر قرن چهارم قبل از میلاد). حداکثر ارتفاع در وسط دهانه است جایی که گشتاور خمشی بیشترین میزان است. قسمت پایین برای جبران ضعف سنگ در برابر کشش ضخیم‌تر شده است.



تصویر ۸-۲۳: مدل نمایشی برای مقایسهٔ خرپای مثلثی (ایستا با اتصالات مفصلی) با تیرهای ویرندیل (ناپایدار با اتصالات مفصلی، پایدار با اتصالات گیردار).

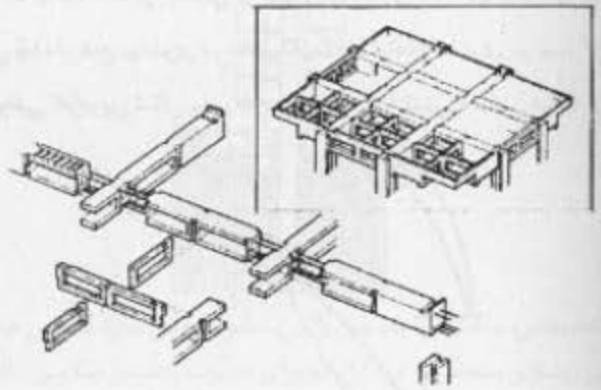
مطالعات موردی تیر ویرندیل: انستیتوی سلک Salk

در این ساختمان (۱۹۶۵: لاجولا، کالیفرنیا، مهندس معمار: لویی کان، مهندس سازه: آ. کومندانت) کان، تیرهای مرتفع ویرندیل را در سازهٔ کف آزمایشگاه‌ها برای جای دادن خدمات لازم جهت تحقیقات آزمایشگاهی و امکان بازسازی که در طول عمر چنین ساختمان هایی اتفاق می‌افتد، به کار برد (تصویر ۸-۲۵). سیر تکاملی طراحی چنین سازه‌ای را کان این گونه

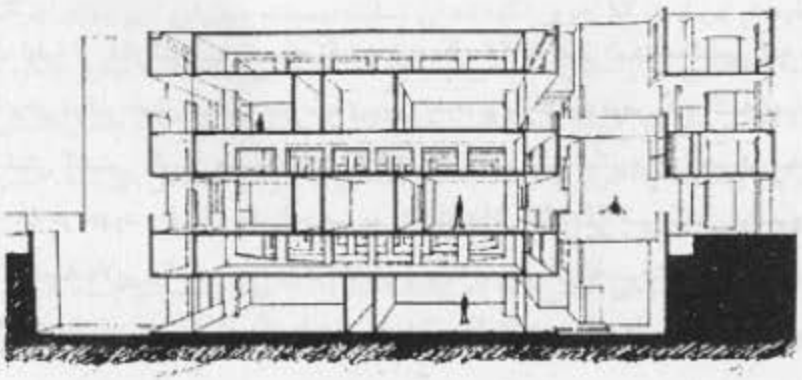
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

توضیح می‌دهد: " آزمایشگاه‌ها به دو بخش سطوح کار و سطوح خدمات تقسیم شده است. هر سه سطح کار به باغ یا چشم اندازی از آن ارتباط دارند. فضای زیر هر آزمایشگاه، جایی که کارگران خدماتی می‌توانند وسایل مربوط به آزمایشها را کار گذاشته و تغییراتی در کانال‌ها و لوله‌ها به‌وجود آورند. چنین سیستمی نگرانی و نیاز تأمین فضاهای خدماتی لازم برای خدمات مکانیکی آزمایشها را برطرف می‌سازد. تشخیص ساختمان آزمایشگاه‌ها از فضاهای خدماتی لازم برای لوله‌ها تا حدی واضح و آشکار گردیده است که هدف اصلی از ساخت آن، رساندن خدمات به این مشخصه است و باعث به وجود آمدن سیستم سازه‌ای گردیده که از جذابیت کمتری برخوردار است ولی دارای مشخصه های عملکردی بیشتری است ((رانر و دیگران، ۱۹۷۷).



تصویر ۲۴-۸: تیرهای ویرندیل پس‌کشیده، پیش‌ساخته، به کار رفته در آزمایشگاه دارویی ریچاردز برای تأمین فضای مناسب و قابل دسترسی جهت کانال‌ها و دیگر وسایل خدماتی (۱۹۶۴، فیلادلفیا، مهندس معمار: لویی کان).



تصویر ۲۵-۸: انستیتوی سلک، مقطع نشان‌دهندهٔ قاب‌های بزرگ ویرندیل برای تأمین فضای بدون ستون در آزمایشگاه‌ها در عین دسترسی به فضاهای خدماتی است.

طره‌ها

ستون، تیر و قوس در ساده‌ترین فرم ممکن جهت تأمین اهداف مورد نظر بکار می‌روند. اما طره‌ها به حوزهٔ فرم‌شناسی تعلق دارند.

"لویی اچ سولیوان"

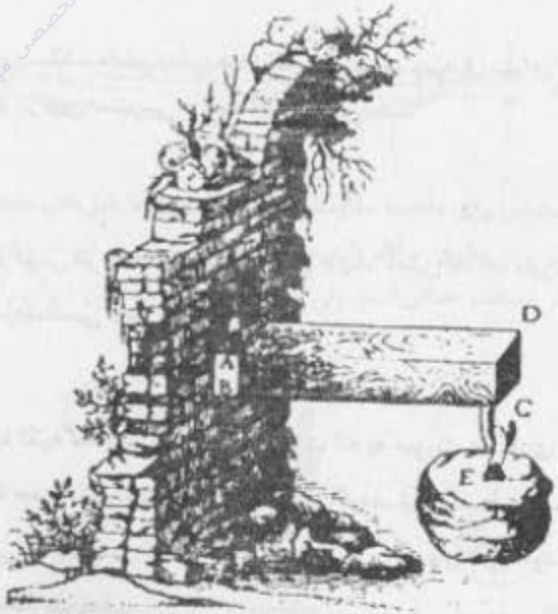
طره عضوی با تکیه‌گاه ثابت در یک انتها است که به صورت عمودی بر روی محور آن بارگذاری می شود تا حدی که باعث خمش در آن می‌گردد. تیر یک طره یک‌بعدی و دال طره دوبعدی است. ستونی که به زمین ثابت شده و بار جانبی بر آن وارد می شود (مانند باد) مانند تیر طره‌ای عمودی رفتار می‌نماید.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

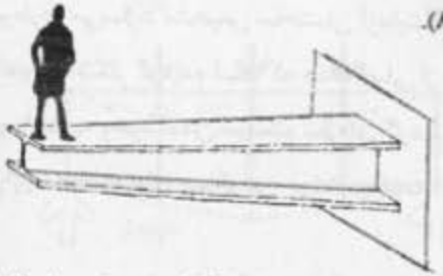
توزیع تنش

درک اولیه از رفتار تیر به وسیله گالیله در سال ۱۶۳۸ آغاز شد. هنگامی که وی نظریه‌ای را برای درک خمش در یک تیر طره‌ای بیان نمود. او به اشتباه فرض کرد که تمامی تارها تحت تنش کششی یکسان هستند و فشار توزیع‌شده در تیر تأثیری در خمش ندارد (تصویر ۲۶-۸). در حدود ۵۰ سال بعد ادم ماریو (Edme Marriote)، فیزیکدان فرانسوی، اثبات کرد که نیمهٔ بالایی یک تیر طره‌ای در کشش و نیمهٔ پایینی آن تحت فشار قرار می‌گیرد (الیوت، ۱۹۹۲). بنابراین تنش‌ها در یک طره شبیه به تیر تکیه‌گاهی ساده ولی به صورت وارونه هستند.



تصویر ۲۶-۸: مطالعات گالیله برای خمش در یک تیر طره‌ای.

بیشترین میزان گشتاور در نزدیک تکیه‌گاه (ریشه) اتفاق می افتد زیرا بازوی گشتاور (فاصله تا بار انتهایی) در آنجا بیشتر است و اگر عضوی دارای سطح مقطعی ثابت در طول خود باشد، حداکثر تنش خمشی در همین محل اتفاق می افتد. بقیهٔ طول به نسبت کاهش فاصلهٔ بار تحت تنش‌های کمتری قرار دارد. به علت این که قسمت زیادی از طول طره تحت تأثیر تنش قرار دارد، استفاده از سطح مقطع ثابت در طول برای آن مناسب نیست. برای دستیابی به حداکثر تأثیر و کارایی، ارتفاع عضو باید کاهش یابد تا میزان تنش‌های خمشی ثابت باقی بمانند (تصاویر ۲۷-۸ و ۲۸-۸).



تصویر ۲۷-۸: به علت اینکه گشتاور خمشی در انتهای بارگذاری شدهٔ تیر طره‌ای با افزایش فاصله از تکیه‌گاه افزایش می یابد، ارتفاع بیشتری در محل تکیه‌گاه و ارتفاع کمتری در سر آزاد تیر مورد نیاز است. این فرم مخروطی کاراترین شکل برای طره می‌باشد، زیرا تنش خمشی نسبتاً یکنواخت در طول آن باقی می‌ماند.

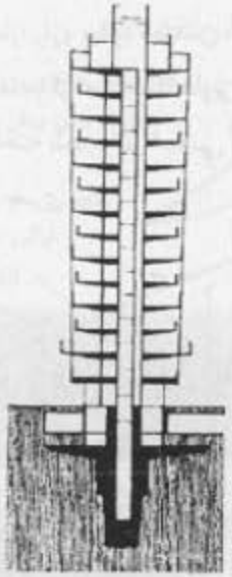
تصویر ۲۸-۸: یک درخت نخل و یک میله پرچم و دیرک ناپایدار یک قایق بادبانی، نمونه‌هایی از طره‌های عمودی با اتصالات صلب در پایه هستند. توجه داشته باشید که تمامی بخش مخروطی بیشترین تأثیر را در طره دارند.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

تغییر شکل در طره‌ها

تغییر شکل در طره‌ها درست همانند تیرهای ساده تحت تأثیر طول، ارتفاع و عرض، مصالح، محل بارگذاری و شکل مقطع عرضی تیر می‌باشد. تیر طره‌ای دقیقاً مانند نیمه یک تیر معکوس با تکیه‌گاه ساده رفتار می نماید (نگاه کنید به تصاویر ۱۵-۸ تا ۱۸-۸).

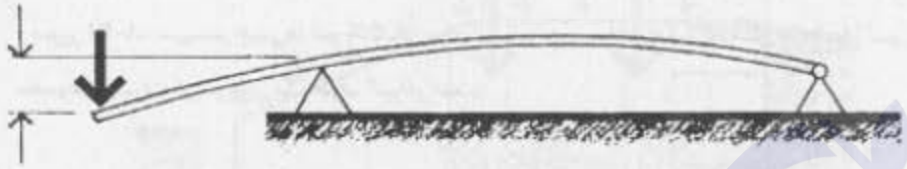


تصویر ۲۹-۸: برج تحقیقاتی، ساختمان جانسون وکس، شالودهٔ اصلی سازهٔ عمودی هستهٔ مرکزی از بتن مسلح است که از پی ریشه‌ای منحصر به فرد آن که برای مقاومت گشتاور معکوس مقاومت در برابر بار جانبی باد طراحی شده، طره گردیده است.

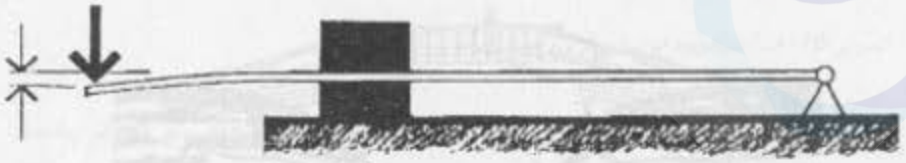
طره‌ها در مقایسه با تیرهای یک طرف گیردار

اصطلاح طره گاهی به غلط برای تیرهای یک طرف گیردار به کار می رود. تیر یک سر گیردار چند تکیه‌گاه دارد و به سمت آخرین تکیه‌گاه ساده مفصلی کشیده شده است. تفاوت آن با طره در این است که آخرین تکیه‌گاه آن ثابت نیست، بنابراین تیر برای چرخش (دارای پاشنه) هنگامی که از ستون عبور می‌کند آزاد است (تصویر ۳۰-۸). به عبارت دیگر، اگر آخرین تکیه‌گاه تیر یک سر گیردار ثابت باشد، بخش گیردار به عنوان یک طره واقعی عمل می‌نماید. بنابراین، وضعیت را آخرین تکیه‌گاه (ساده، مفصلی یا گیردار) تعیین می‌کند، حتی اگر تیر گیردار مانند یک طره باشد.

سیستم سازه‌ای چینی‌ها به نام Tou-Kung ، از تیرهای گیردار چندتایه برای توزیع بار استفاده می کند، که باعث می گردد دهانه مؤثر تیر کاهش یافته و در نتیجه یک سیستم سازه‌ای تزئینی غنی به وجودآید (تصاویر ۳۱-۸ و ۳۲-۸).



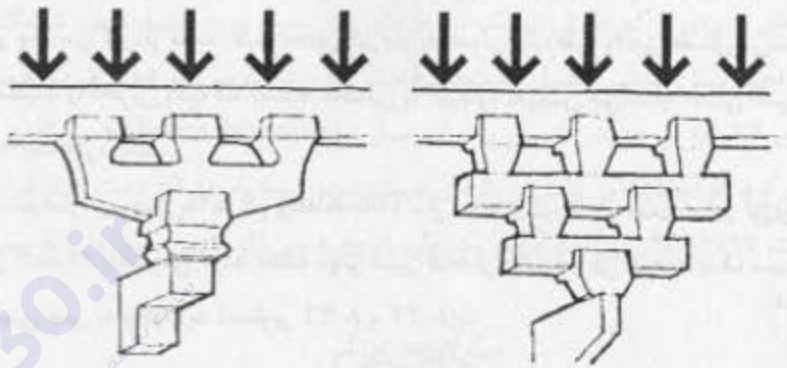
تیر یک طرف گیردار (تیر برای چرخش در تکیه‌گاه سمت چپ آزاد گذاشته شده است)



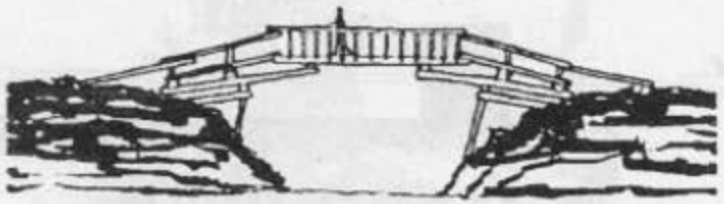
تیر طره‌ای (تیر در تکیه‌گاه سمت چپ ثابت شده است)

تصویر ۳۰-۸: مقایسهٔ تیرهای طره‌ای و تیرهای یک سر گیردار. خمش در تیر یک سر گیردار به علت چرخش تیر یک سر گیردار در تکیه‌گاه ساده بزرگتر از تیر طره‌ای است. اگر تکیه‌گاه تیر یک سر گیردار صلب باشد، خمش در آن به اندازهٔ تیر طره‌ای خواهد بود.

http://telegram.me/uadesigngroup



صویر ۸-۳۱ : سیستم چینی‌ها (نو-کانگ) : بر اساس توزیع نیروهای عکس‌العمل در طول تیر یک مجموعه پیشرفته از تیرهای یک طرف گیردار است.

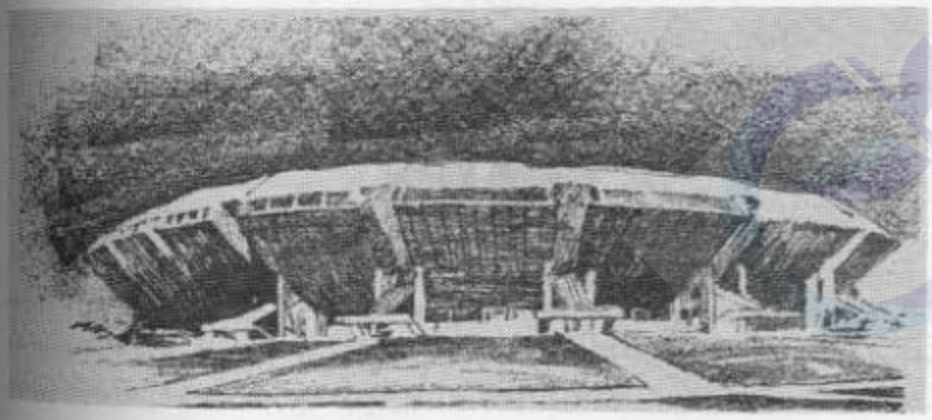


تصویر ۸-۳۲ : پل چوبی طره‌ای (Dudh Khosi ، نپال)، یک سمت تیرهای چوبی طره‌ای به زیر سنگ مهار شده است، انتهای پیش آمده دهانهٔ مرکزی را نگاه می دارد.

مطالعات موردی طره ها

استادیوم فوتبال باری Bari

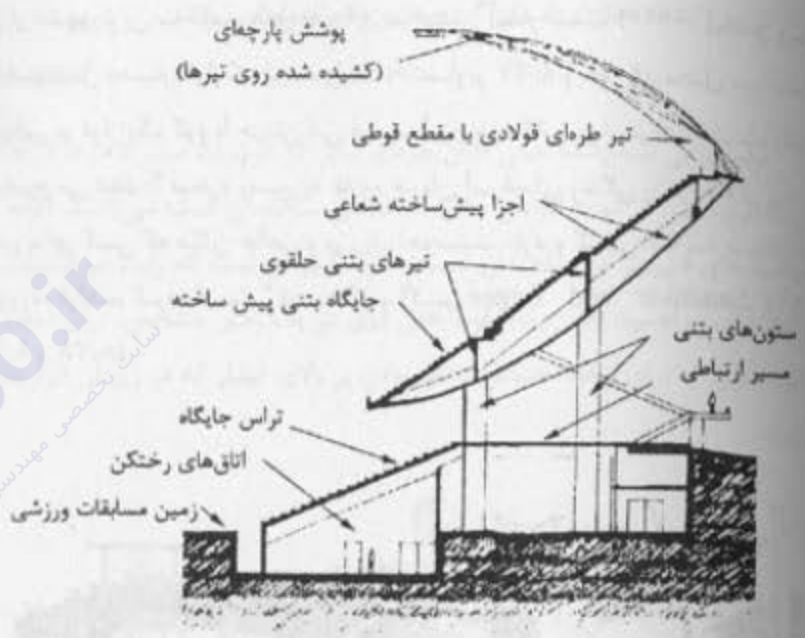
یکی از مزایای سازه‌ای طره قابلیت آن برای پایدار نگه‌داشتن سقف و در عین حال ایجاد دید بدون مانع به وسیلهٔ ستون‌ها در یک سمت می باشد. ساختمان استادیوم فوتبال باری (۱۹۸۹: باری، ایتالیا، مهندس معمار: رنزو پیانو، مهندس سازه: اوو آروپ و همکاران) از طره‌ها به عنوان عوامل اصلی طراحی استفاده کرده است (تصاویر ۳۳-۸ تا ۳۶ -۸). این استادیوم برای جام جهانی فوتبال سال ۱۹۹۰ ساخته شد، عامل اصلی در طراحی آن، هندسه تاکید شده متناسب با خطوط سایت و فواصل بصری بود.



تصویر ۸-۳۳ : استادیوم فوتبال باری (معمار:رنزو پیانو). فضای بین ردیف جایگاه‌ها در بالا با پله‌های دسترسی تطبیق یافته است.

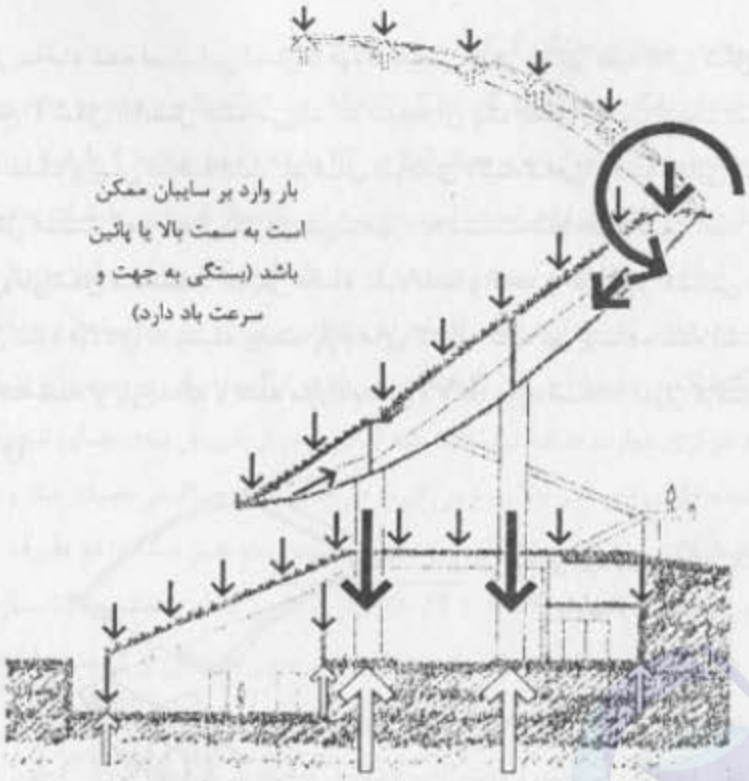
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۸-۳۴: استادیوم فوتبال باری، مقطع از درون جایگاه تماشاچیان.

تقسیم کردن جایگاه تماشاچیان به دو بخش با استفاده از طره‌های بالایی و پایینی امکان افزایش تعداد صندلی‌ها با رعایت فاصلهٔ دید مناسب را فراهم نمود. به علاوه، این طرح نیاز به پوشاندن درصد بالایی از جایگاه‌ها با یک سایبان را دارد، برای رسیدن به این هدف از طره‌های با مقاومت بالا برای رسیدن به ردیف‌های بالایی و سایبان بدون ستون‌های تکیه‌گاهی در جایگاه که ممکن است خطوط دید را کور کنند، استفاده شده است (بروکز و گرچ، ۱۹۹۲).



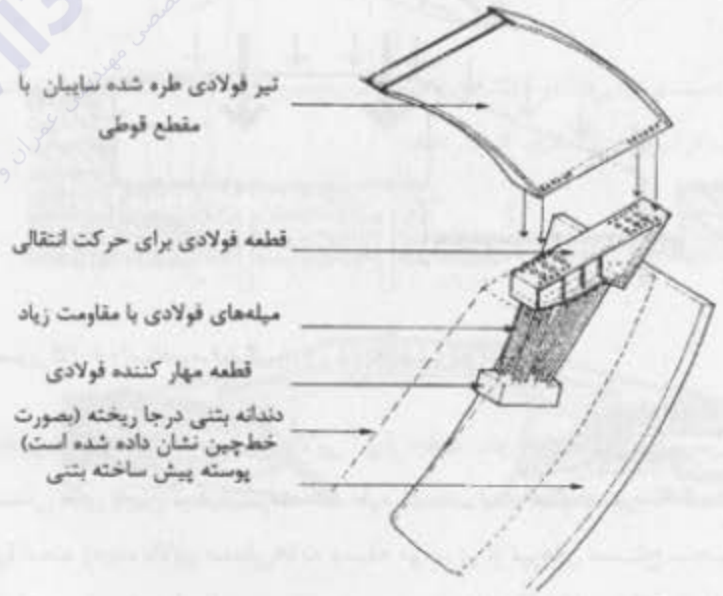
تصویر ۸-۳۵: استادیوم فوتبال باری، نمودار مسیر بارگذاری.

بخش بالایی جایگاه و سایبان بالایی آن از جفت ستون‌های بتنی حجیم که در پشت ردیف صندلی های پایین تر قرار گرفته اند، طره شده‌اند. ابعاد هر ستون ۳/۳ × ۶ فوت (۱/۸ × ۱ متر) است. ردیف بالای صندلی‌ها به وسیله دو سری از تیرهای مسلح منحنی‌شکل نگاه داشته می شوند. این تیرهای منحنی، تیرهای بتنی با مقطع T شکل را نگاه می‌دارند (ترکیبی از بتن پیش ساخته و بتن اجرا شده در محل) که طره آنسوی هر انتها از تکیه‌گاه قرار دارد. هر تیر با مقطع T شکل از سه بخش پیش ساخته که در تکیه‌گاه تیرهای منحنی به هم متصل

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

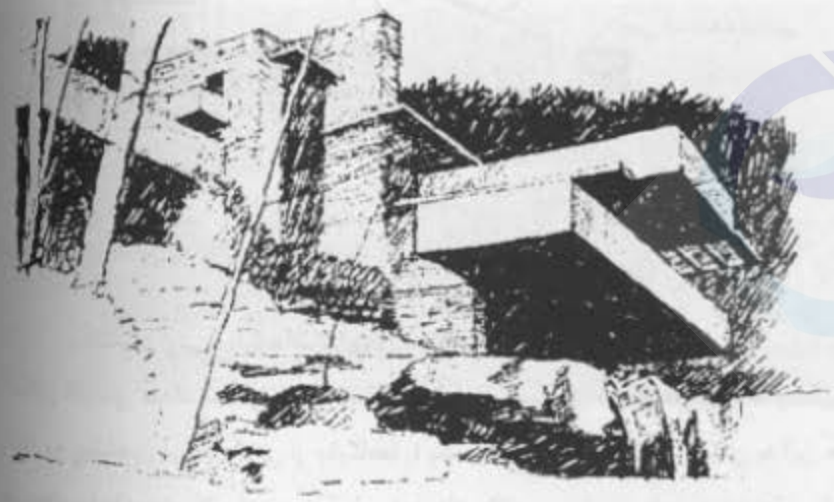
شده‌اند، پیش‌ساخته شده است. این اتصال با فولاد تقویتی از هر دو تیر تکیه‌گاهی شکل گرفته است و مقاطع T شکل تا اتصال ادامه می‌یابد که نتیجه آن یک اتصال صلب است. سایبان از جنس فولاد سبک و پیش ساخته است. تیرهای فولادی تکیه‌گاهی جعبه هایی با مقطع مخروطی‌شکل هستند که با اتصال گیردار پیچ و مهره به سمت بالا طره شده اند. تیرهای منحنی مخروطی‌شکل متناسب با افزایش فاصله تکیه‌گاه‌ها و کاهش گشتاور خمشی طراحی شده اند. این سازه فولادی به وسیله پوسته پارچه ای کشیده شده ای پوشانده شده است [فیبر شیشه ای بافته شده از پارچه که با اشعه ماوراء بنفش (UV) مورد استفاده قرار گرفته است، پوشش مقاوم].



تصویر ۸-۳۶: استادیوم فوتبال باری، جزئیات اتصال گیردار در پایهٔ تیر سایبان طره‌شده.

ساختمان آبشار

یکی از مشهورترین ساختمان‌های طره ای ساختمان آبشار است (۱۹۳۶: کانلس ویل، پنسیلوانیا، مهندس معمار: فرانک لوید رایت) (تصاویر ۸-۳۷ و ۸-۳۸). محل ساختمان صخره‌ای رویایی بر فراز یک کوه با جریان آبی در زیر آن و در مکانی پر از درخت است. رایت این گونه توضیح می دهد: " صخره وسیع به علاوه جریان آب فضای زندگی را در بالای رود با چندین تراس برای کسی که مکان خالص و بی‌ریا را دوست دارد و کسی که به صدای آب عشق می‌ورزد، فراهم کرده است." (سنداکر و اگن Sandaker and Eggen، ۱۹۹۲) (تصاویر ۸-۳۷ و ۸-۳۸).



تصویر ۸-۳۷: ساختمان آبشار، نمای خارجی.

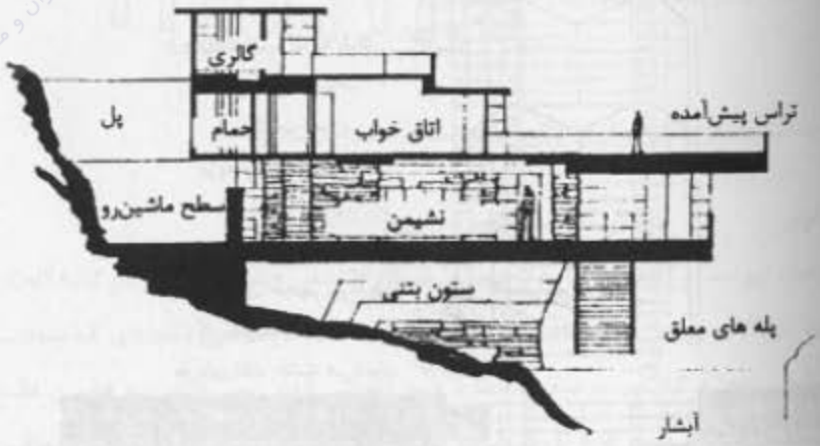
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

ساختمان‌هایی با تراس‌های طره‌ای پیش‌آمده که به نظر می رسد در هوا شناور هستند تداعی کنندهٔ عبارت داستان " جعبه در حال انهدام" می‌باشند.

"فرانک لوید رایت"

تراس بتنی مسلح‌شده اصلی طول طره‌ای برابر ۱۶ فوت (۵ متر) دارد. تیرهای کف و جان‌پناه توپر بتنی هر دو به افزایش مقاومت خمشی ساختمان کمک می کنند. آنچه که بیش از موفقیت‌های فنی در این ساختمان اهمیت دارد، شیوه‌ای است که رایت در استفاده از طره به کار گرفته است. اهمیت دادن به خطوط افقی قوی در یک زمین مشخص، برای ایجاد فرم‌های رویایی بصری که برای ایجاد احساس شناور بودن بر بالای آبشار که در زیر آن قرار دارد به کار می روند.

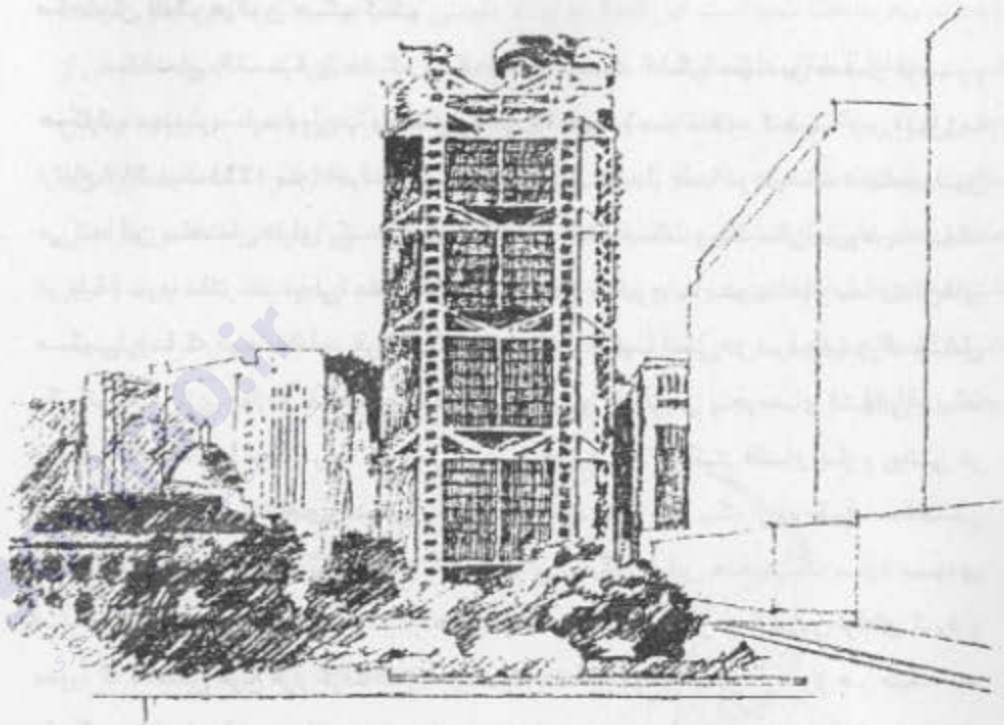


تصویر ۸-۳۸: ساختمان آبشار، نمایش تراس‌های طره‌ای در مقطع.

ساختمان بانک مرکزی هنگ کنگ

ساختمان بانک مرکزی هنگ کنگ (۱۹۸۶: هنگ کنگ، مهندس معمار: فوستر و همکاران، مهندس سازه: اووآروپ و همکاران) در ۴۳ طبقه (به علاوه ۴ طبقه زیرزمین) با ارتفاع ۵۸۷ فوت (۱۷۹ متر) اجرا شده است. نوع استفاده از فضا در طبقات مختلف فرق می‌کند. این ساختمان دارای یک سرسرای بزرگ در طبقهٔ همکف و یک سالن مربوط به بانک در طبقه سوم، دفاتر کار محلی، دفاتر کار اجرایی، دفاتر مرکزی با سوئیت‌ها و ساختمان‌های مسکونی رؤسا که در طبقهٔ آخر قرار گرفته‌اند، می‌باشد. ترکیب اصلی در سرسرای بزرگ شامل یک آتریوم مرکزی دوازده طبقه می‌باشد که از نور روز از طریق پنجره‌های انتهایی و یک منعکس‌کننده دارای انحنا در بالا بهره می‌گیرد. طرح، نیاز به حداکثر فضای باز و روشن در مرکز سطح طبقات و فضاهای خدماتی و ارتباطات عمودی در هر یک از دو طرف ساختمان دارد (اورتون، ۱۹۸۸) (تصاویر ۳۹-۸ تا ۴۲-۸). برای رسیدن به این هدف، یک سازهٔ عمودی متشکل از هشت ستون عظیم به کار برده می‌شود. هر ستون متشکل از ۴ ستون لوله‌ای گرد و مدور، که به شکل مربع قرار گرفته‌اند و به وسیلهٔ مقاطع قوطی‌شکل در تراز هر طبقه به یکدیگر متصل شده‌اند، می‌باشد و مانند قاب ویرندیل سه‌بعدی رفتار می‌نماید. از این ستون‌ها، خرپاها با ۵ طبقه ارتفاع طره شده‌اند که بخوبی ساختمان را به ۵ بخش سازه‌ای تقسیم می‌کنند. کف طبقات در هر ۵ بخش از خرپاهای طره‌ای بالایی به صورت معلق قرار گرفته‌اند. این ساختار سازه‌ای به طور روشن در نمای خارجی دیده می شود. چنین ترکیبی در کل ساختمان چهار بار تکرار شده است. طبق گفتهٔ فوستر، "مسیر نیروی وزن، طبقات معلق، بازوهای کششی شیب‌دار و برج های تحمل‌کنندهٔ نیروی عمودی به طور کامل در نما دیده می‌شود و همراه با آویزهای نگهدارندهٔ سقف‌های معلق عملکردهای خود را بخوبی مشخص می‌کند (تورنتون، ۱۹۹۳).

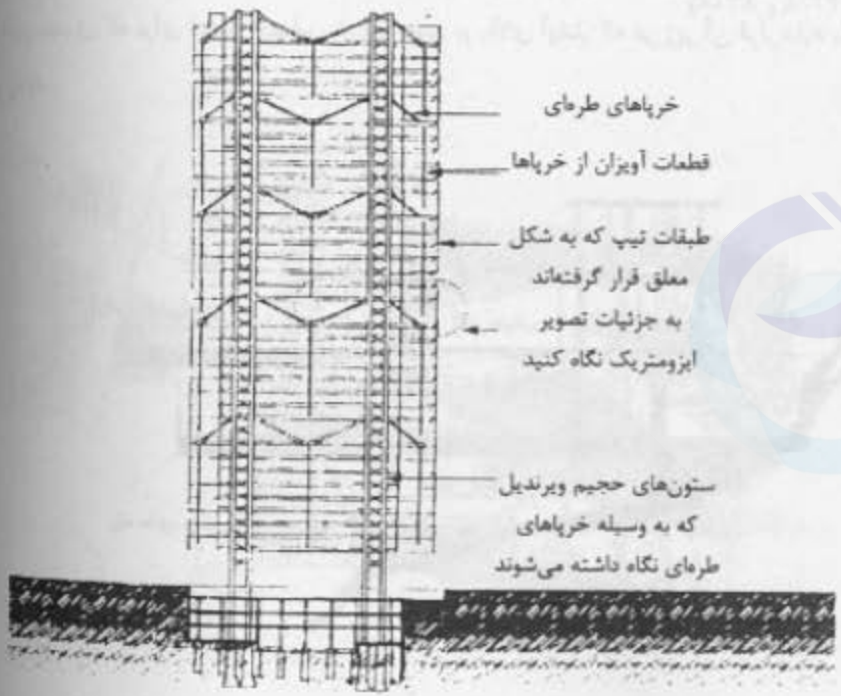
http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۳۹-۸: ساختمان بانک مرکزی هنگ کنگ، سازه بوضوح در نما دیده می شود. ستون‌ها، خرپاهای طره‌ای و خرپاهایی طبقات معلق را نگاه می دارند.

تیرهای ممتد

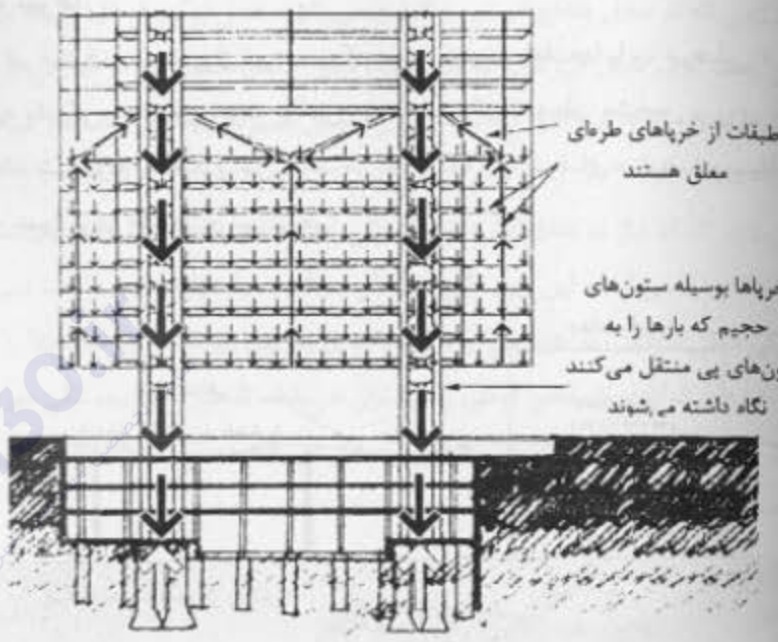
تیرممتد، تیر منفردی است که بر روی چند تکیه‌گاه قرار گرفته است. این نوع تیر در مقایسه با تیرهای تکیه‌گاهی ساده که بین دو تکیه‌گاه قرار گرفته‌اند رفتاری متفاوت دارد (تصویر ۴۳-۸). از آنجایی که تیر ممتد از روی یک تکیه‌گاه عبور می کند، باعث ایجاد کشش در بالا، فشار در پایین و یک خیز تغییر شکل با خیز منفی می گردد (مقعر به سمت پایین). در وسط دهانه، عکس این عمل اتفاق می افتد، کشش در بالا، فشار در پایین و تغییر شکل با خیز مثبت. بیشترین میزان گشتاور خمشی در بالای تکیه‌گاه و در وسط دهانه اتفاق می افتد. گرچه، گشتاور در هر نقطه ذکر شده کمتر از حداکثر گشتاور در یک تیر تکیه‌گاهی ساده می‌باشد (در وسط دهانه). به همین دلیل تیرهای ممتد می توانند سطح مقطع کوچکتری نسبت به تیرهای تکیه‌گاهی ساده داشته باشند و از این نوع تیرها معمولاً به منظور کاهش هزینه ساخت استفاده می‌شود.



تصویر ۴۰-۸: ساختمان بانک مرکزی هنگ کنگ، مقطع.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

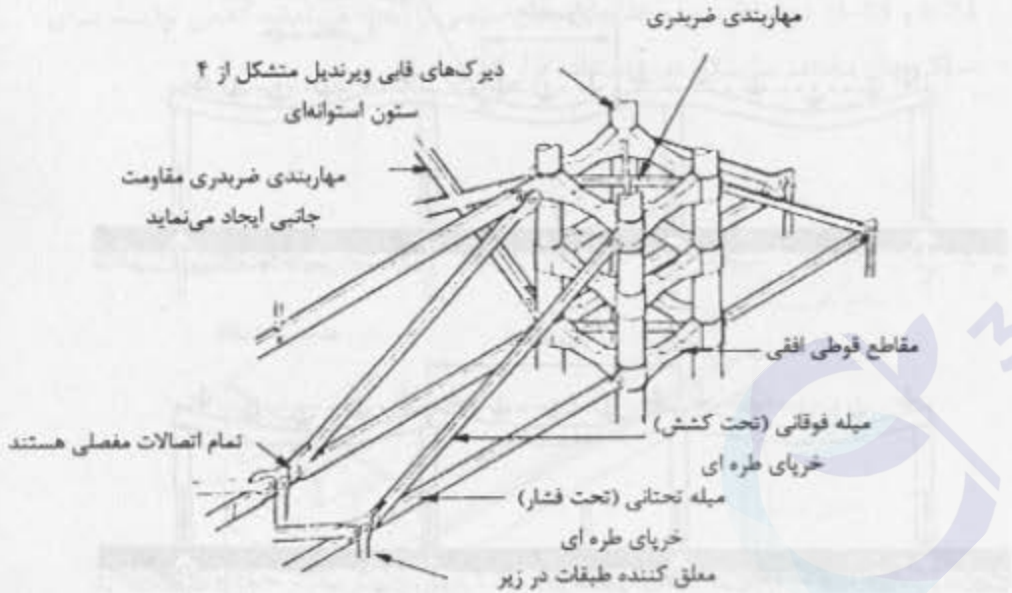


تصویر ۴۱-۸: ساختمان بانک مرکزی هنگ کنگ، نمودار مسیر بارگذاری.

تیرهای گربر

در یک تیر ممتد (تصویر ۴۳-۸)، منحنی خمش از منفی (تقعر به پایین در تکیه‌گاه) به مثبت (تقعر به بالا در وسط دهانه) تغییر می کند. در نقطه عطف منحنی (نقطه‌ای که منحنی تغییر جهت می دهد)، گشتاور به صفر رسیده و هیچ خمشی اتفاق نمی افتد. به همین علت، یک اتصال مفصلی بدون هیچ گونه تغییر در سازه می تواند در این نقطه عطف مورد توجه قرار گیرد. بنابراین تیر ممتد به ترکیبی از یک تیر تکیه‌گاهی ساده با دهانه کوچک که به وسیله تیرهای معلق نگاهداری می شود، تبدیل می گردد. به علت اینکه دهانه مؤثر کوچک است،

مرکز تیر می تواند مقطع عرضی کوچکتری نسبت به یک تیر ساده که دهانه‌ای بین دو نقطه دارد، داشته باشد. چنین تیرهایی برای بزرگداشت مهندس آلمانی هنریش گربر (Heinrich Gerber) کسی که اولین بار آن را طرح کرد نامگذاری شده است. اولین پل راه‌آهن فورث، یک نمونه خرپایی با استفاده از روش گربر است (تصاویر ۴۴-۸ و ۴۵-۸).



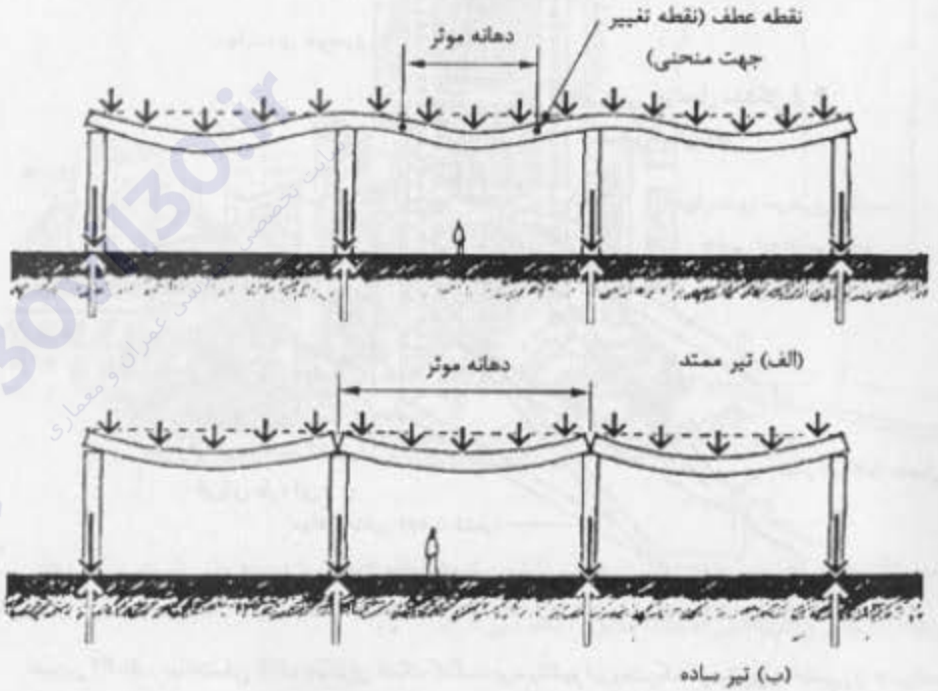
تصویر ۴۲-۸: ساختمان بانک مرکزی هنگ کنگ، پرسپکتیو ایزومتریک از ستون داخلی و خرپاهای معلق.

تیرچه‌ها

تاکنون تیرها به عنوان عناصری با باربری یکطرفه در نظر گرفته شده‌اند. برای تحمل نیروهای وزن یک سطح (مانند یک طبقه)، تیرها معمولاً به صورت موازی نسبت به یکدیگر

http://telegram.me/uadesigngroup

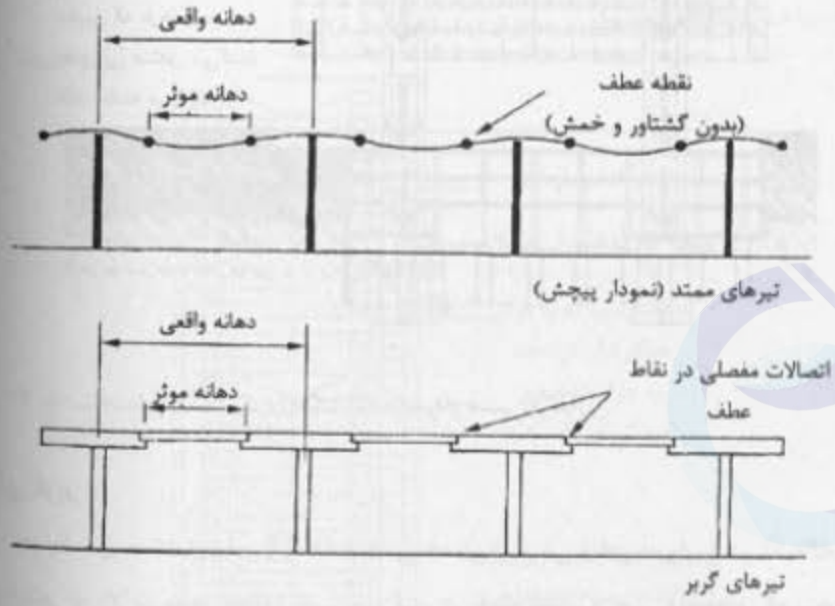
قرار می‌گیرند. تیرچه ها، تیرهای نزدیک به هم هستند که در یک جهت قرار می گیرند. به علت اینکه ظرفیت برشی نسبت عکس با مجذور دهانه دارد، این امر در قرارگیری تیرچه‌ها مؤثر (ومعمولاً اقتصادی تر) می باشد به حدی که تیرچه‌ها کوتاه‌ترین جهت از یک دهانه مستطیل شکل را می‌پوشانند (تصویر ۴۶-۸).



تصویر ۴۳-۸ : مقایسه بین (الف) تیر ممتد و (ب) تیرهای تکیه‌گاهی ساده با اندازه‌های یکسان. گشتاورخمشی هنگامی بزرگترین مقدار را دارد که حداکثر انحنا وجود داشته باشد. در تیر ممتد، هیچ گشتاوری وجود ندارد، در نقطهٔ شکست، جایی که خیز مثبت (تحدب به بالا) به خیز منفی (تحدب به پایین)تغییر کند.

شبکه تیرها

تیر مشبک سیستمی از تیرهاست که در دو جهت، دهانه‌ها را با تیرهایی که در هر جهت به یکدیگر متصل می شوند، پوشش می دهد. شبکه‌ها به طور مشخص بر روی چهار ضلع یک دهانه شبه مربع نگاهداری می شوند. در یک شبکه تیر، تیرهای منفردبه وسیلهٔ تیرهای متقاطع عمود برهم نگاهداری می شوند.

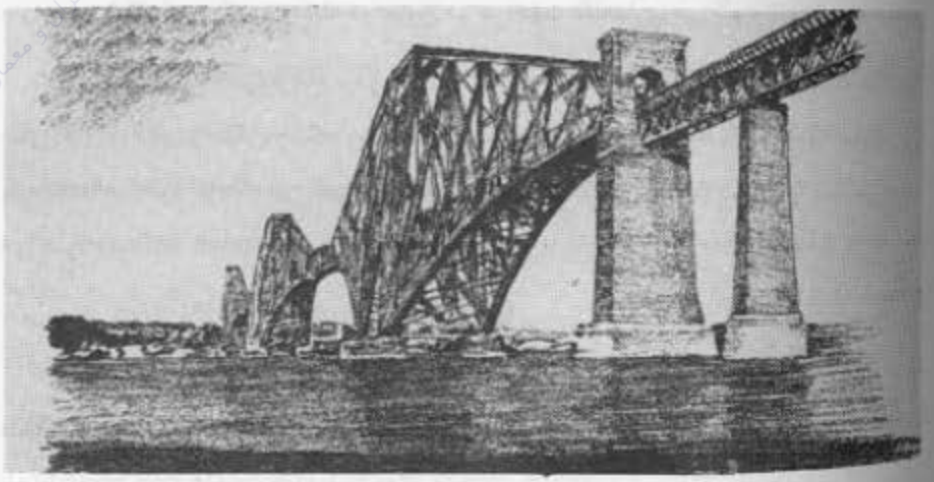


تصویر ۴۴-۸ : تیر گربر در نقطه اتصال مفصل شده است، به طور مؤثر دهانهٔ کوچکتری بین دو انتها از تیرهای گیردار را ایجاد می کند. مقطع عرضی مرکز تیر به طور قابل‌توجهی کاهش می یابد. (الف) نمودار انکسار در تیر ممتد نقاط شکست را نشان می دهد و (ب) تیر گربر با اتصالات در نقاط شکست.

http://telegram.me/uadesigngroup

هنگامی که در محل تقاطع دو تیر بارگذاری می شود، هر دو به اندازهٔ بقیهٔ تیرهای نزدیک آن تحت تغییر شکل قرار می گیرند.به علاوه برای خمش، نتایج این اثر متقابل در تغییر شکل تیرهای مجاور اتفاق می افتد که نتیجهٔ آن اتصال گیردار در محل تقاطع تیرهاست (تصویر ۴۷-۸).

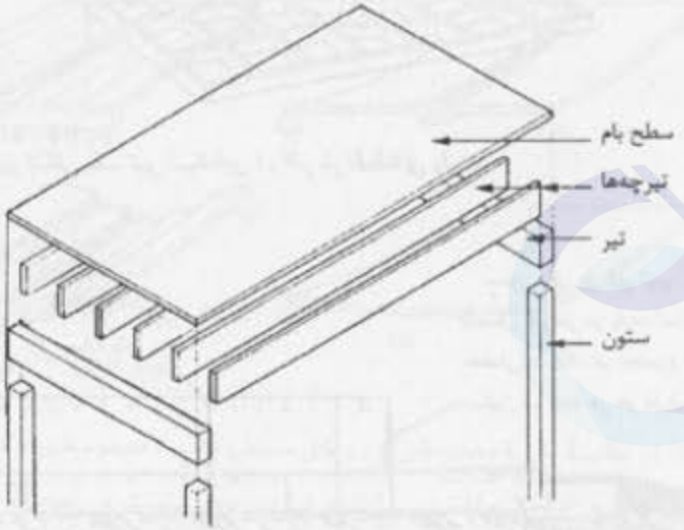
تیرها در شبکه نیاز به تقاطع دارند و پیوستگی آنها به یکدیگر برای خصوصیت رفتار دوبعدی، خمش اساسی است. این پیوستگی در دیگر مصالح بسیار ساده‌تر به دست می آید. بتن بسادگی شکل شبکه را به خود می‌گیرد و فولادهای تقویتی پیوستگی در تقاطع‌ها را فراهم می نماید. تیرهای فولادی با مقاطع قوطی را می توان در نقطه تقاطع برای پیوستگی مورد نیاز جوش داد. تیرهای چوبی نیاز به عدم پیوستگی (حداقل در یک جهت) در نقاط تقاطع دارند و بنابراین به طور ذاتی برای شبکهٔ تیرها نامناسب هستند.



تصویر ۴۵-۸: خرپاهای عظیم طره‌ای از پل راه‌آهن فورث مانند تیر گربر رفتار می کند. ساخته‌شده در سال ۱۸۹۰، دهانه مرکزی ۱۷۰۸ فوت (۵۲۱ متر) است.

گالری ملی جدید

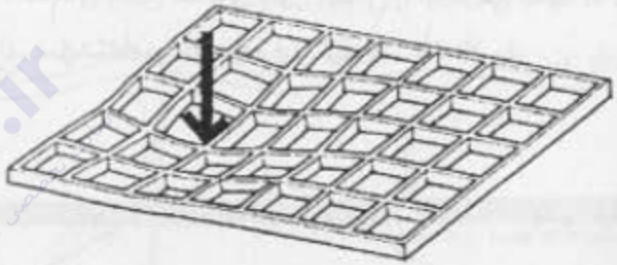
گالری ملی جدید (۱۹۶۸: برلین، مهندس معمار: میس وندروهه) یک شبکهٔ تیر فولادی را برای رسیدن به دهانه‌های بزرگتر به کار برده است. این طرح تحقیق میس وندروهه را برای یک " پوشش کلی و جامع برای محصور کردن یک فضای کلی" به اوج خود رساند (تصاویر ۴۸-۸ و ۴۹-۸). دهانه‌های وسیع فضاهای بدون ستونی را ایجاد می نماید که می توانند برای عملکردهای مختلف نمایشگاه مورد استفاده قرار گیرند.



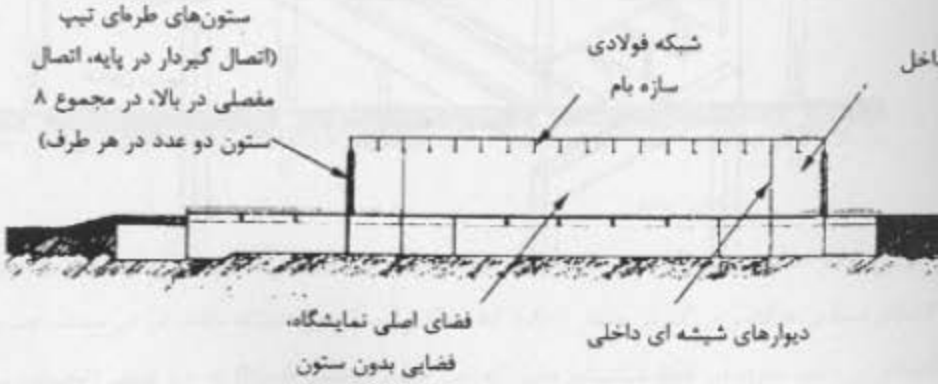
تصویر ۴۶-۸: تیرچه‌ها، تیرهایی با فواصل نزدیک هستند که در یک جهت دهانه را پوشش می دهند و هنگامی کارآتر هستند که جهت کوچکتر را پوشش دهند.

http://telegram.me/uadesigngroup

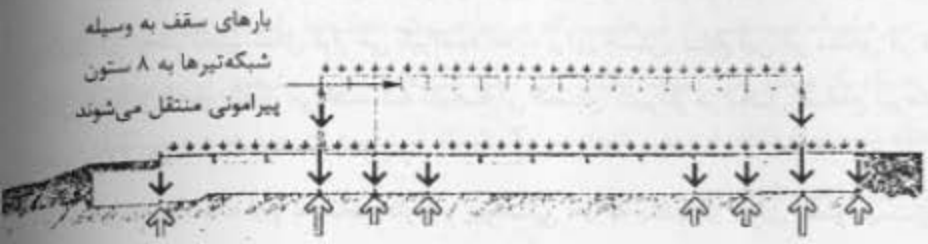
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۴۷-۸ : تغییر شکل یک تیر شبکه‌ای در اثر بار نقطه‌ای وارده.



تصویر ۴۸-۸ : گالری ملی جدید، مقطع.



تصویر ۴۹-۸ : گالری ملی جدید، نمودار مسیر بارگذاری.

یک دیوار شیشه‌ای در زیر بام قرار گرفته است و تمامی چهار جهت را به ارتفاع ۲۶ فوت (۸/۴ متر) محصور می کند، ضمن آنکه بر فقدان هرگونه عضو تکیه‌گاهی به جز هشت ستون اطراف را تأکید می‌نماید. سازهٔ سقف، شبکه بزرگ از تیرهای فولادی به اندازهٔ ۲۱۳ فوت (۶۴/۸ متر) مربع شکل است که به وسیله دو ستون در هر جهت نگاهداری می شود. تیرهایی با مقطع شکل ۶ فوت (۱/۸ متر) ارتفاع و در هر جهت از مرکز ۱۲ فوت(۳/۶ متر) فاصله دارند. ستون‌های فولادی از بالکن جایگاه ویژه برای نگاهداری سازهٔ سقف به وسیلهٔ اتصالات مفصلی طره شده‌اند. اندازهٔ کوچک این اتصالات موفقیت رسیدن به این دهانهٔ بزرگ را به نمایش می‌گذارد (فوتاگاوا Futagawa،۱۹۷۲).

دال ها

دال، عنصری خمشی است که بارها را به صورت افقی در یک یا چند جهت درون یک سطح توزیع می‌کند. در حالی که مقاومت خمشی یک دال مشابه تیر است ولی دال در مقایسه با مجموعه‌ای از تیرهای مستقل، در امتداد در دو جهت متفاوت است. اگر یک سری از چنین تیرهای موازی مستقل تحت اثر یک بار منفرد قرار گیرند، فقط تیری که بار بر آن وارد می‌شود، دچار شکست خواهد شد.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

به دلیل این که تیرهای تشکیل‌دهندهٔ دال‌ها به هم متصل می باشند، به صورت یکپارچه عمل می کنند، هنگامی که باری بر یک نقطه وارد می شود، بخش‌های اطراف بار در دال برای مقاومت در برابر بار وارده و خمش به طور مشترک عمل می کنند.

بار وارده به صورت جانبی (در اثرمقاومت برشی بین بخش بارگذاری شده و بخش‌های دیگر دال) درون دال توزیع می‌شود. بنابراین بارگذاری متمرکز باعث خمش عمود بر جهت دهانهٔ اصلی باعث تغییر شکل در آن می‌شود (تصویر ۵۰-۸). در ساختمان‌ها معمولاً از دال‌های بتنی مسلح استفاده می‌شود، اگرچه از دیگر مصالح مانند چوب نیز استفاده می‌شود.

انواع دال

دال‌ها با توجه به نوع و محل قرارگیری تکیه‌گاه آنها که رفتار خمشی دال را تعیین می‌کند، طبقه بندی می شوند (تصویر ۵۱-۸).

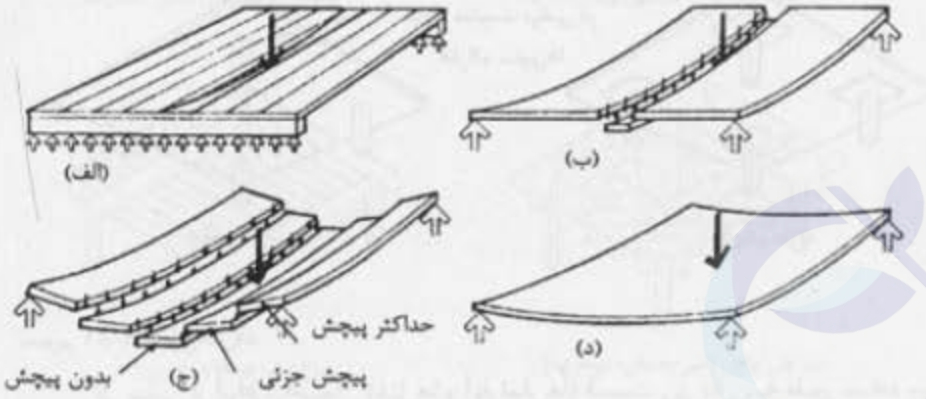
دال های یکطرفه و دوطرفه

دال‌های یکطرفه به طور ممتد به وسیلهٔ دو تکیه‌گاه موازی (تیرها و دیوارها) نگاه داشته می شوند و به صورت عمده در یک جهت در برابر خمش مقاومت می نمایند. دال‌های دوطرفه ممتد روی چهار جهت (به وسیلهٔ تیرها یا دیوارها) نگاه داشته می شوند و مقاومت خمشی در دو جهت دارند.

دال‌های دوطرفه در مقایسه با دال‌های یکطرفه مقاوم تر هستند (و شاید باریکتر). دال‌های دوطرفه هنگامی بازدهی سازه‌ای بیشتری دارند که فرم قرارگیری تکیه‌گاه ها تقریباً مربع باشد. اگر فرم دهانهٔ سازه‌ای کشیده‌تر باشد. دال‌های دوطرفه به میزان زیادی شبیه دال یکطرفه عمل می کند.

صفحات مسطح (تخت)

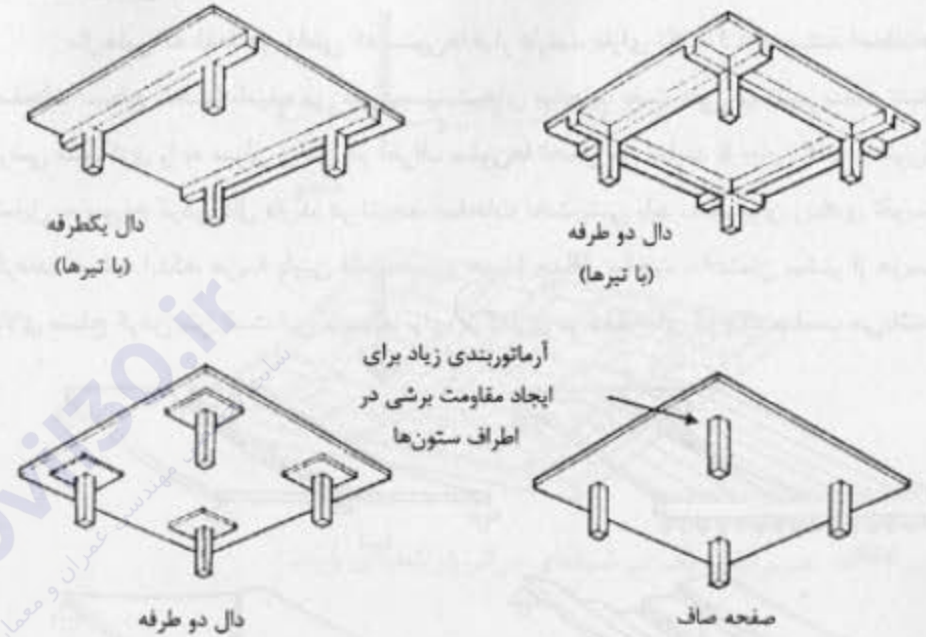
دال‌هایی که فقط در نقاطی که ستون‌ها قرار دارند دارای تکیه‌گاه هستند اصطلاحاً صفحات مسطح (تخت) نامیده می شوند. سیستم‌های صفحات تخت علی‌رغم ظاهر ساده، تنش برشی متمرکزی را به میزان زیادی در اطراف ستون‌ها تحمل می نمایند تا جایی که ستون‌ها تمایل به سوراخ کردن دال دارند. در نتیجه، صفحات تخت بتنی باید به میزان زیادی تقویت گردند. به علت اینکه، هزینهٔ پایین قالب‌بندی و هزینهٔ حداقل ساخت و اختمان بیشتر از هزینهٔ بالای مسلح کردن بتن است این سیستم برای بارگذاری در دهانه‌های کوچک مناسب می‌باشد.



تصویر ۵۰-۸: مقایسهٔ دال با مجموعه‌ای از تیرهای مستقل: (الف) مجموعه‌ای از تیرها در زیر بار نقطه‌ای. توجه کنید که چگونه فقط تیر بارگذاری شده‌ای دچار شکست می شود که از کنار تیرهای مجاور دچار لغزش شود. (ب) در یک دال، سطوح مجاور برای بخش بارگذاری شده به هم متصل شده‌اند و مقاومت خمشی خود را توزیع می نمایند. (ج) بخش‌های مجاور به عنوان نتیجه برشی پیچیده می‌شوند. (د) در نتیجه خمش در دال در دو جهت اتفاق می‌افتد و مقاومت بیشتری در مقایسه با یک مجموعه تیر مجزا دارد (با ضخامت یکسان).

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

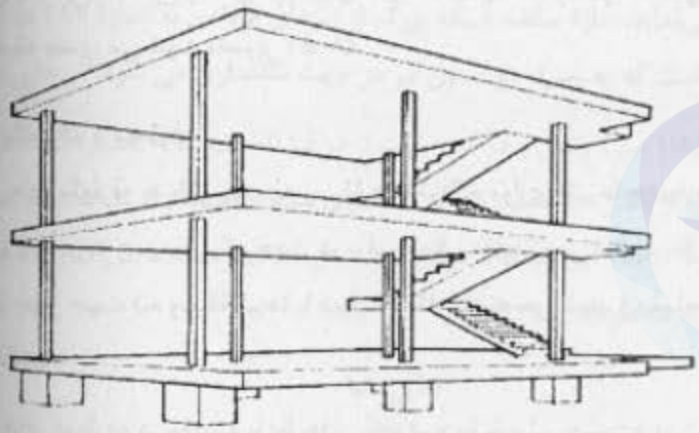


تصویر ۸-۵۱: انواع دال‌ها.

در بعضی از انواع ساختمان (هتل‌ها و آپارتمان‌ها) قسمت زیر دال به طور ساده برای شکل دادن به سقف با هزینه بسیار پایین رنگ‌آمیزی می‌شود. تناسبات صفحات تخت برای عملکردهای معماری که نیاز به فضای غیرمعمول ستون‌گذاری دارند یکی دیگر از مزایای این سیستم است. برای دهانه‌های بزرگتر و یا بارهای بیشتر، ترجیحاً مقاومت در برابر تنش‌های برشی حول ستون‌ها با افزایش سطح بالای ستون به وسیله اضافه کردن تقویتی ها افزایش می‌یابد. راه‌حل آن عریض‌تر کردن بالای ستون به شکل سرستون یا به وسیله ضخیم کردن دال یا دال‌های دارای افتادگی یا ترکیبی از هردو است (تصویر ۸-۵۲) (چنین وضعیتی هنوز در دال‌ها استفاده می شود، اصطلاح صفحات تخت برای دال‌هایی با تکیه‌گاه ستونی بدون هیچگونه افزایش ضخامت در ستون یا دال حفظ شده است).

دال های دندانه ای

دال ها را برای کاهش مصالح، وزن و هزینه می‌توان به شکل دندانه‌ای کرد. در دال‌های بتنی مسلح، چنین شکل دندانه‌ای در نقاطی از بتن در بالا (بال، جایی که این مصالح فشاری حداکثر تأثیر را دارند) و بیشترین فولاد تقویتی در پایین جان (دنده‌ها) جایی که اقتصادی‌تر است، وجود دارد. دال‌های دندانه‌ای بر اساس اینکه یکطرفه (تیرچه ها) یا دوطرفه (دال‌های دندانه‌ای) باشند طبقه بندی شده‌اند.



تصویر ۸-۵۲: پروژه دومینو، لوکربوزیه (۱۹۱۴)، صفحهٔ تخت بتنی طبقات به طور مستقیم روی ستون‌ها قرار گرفته اند و سازهٔ ساختمان را برای ساختمان‌های مسکونی شکل می دهد. این طرح تأثیر کلی روی گسترش استفاده از بتن به عنوان ماده برشی در منازل مسکونی و ساختمان‌های اداری داشته است.

http://telegram.me/uadesigngroup

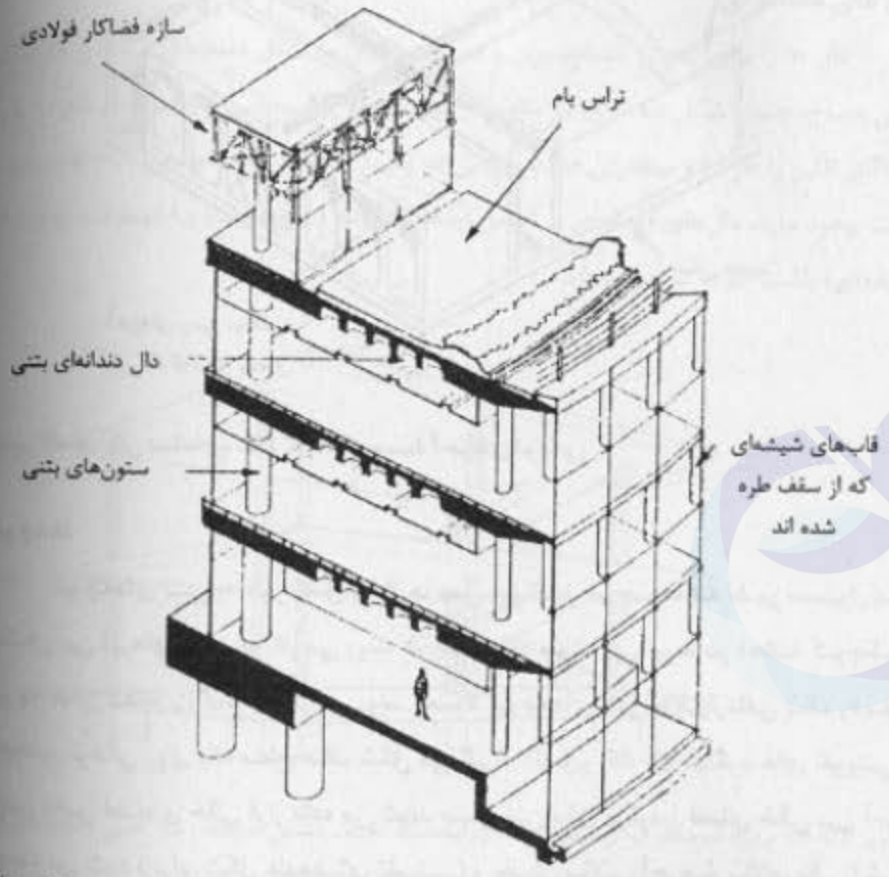
فرم آجری، تقویت‌های فولادی در بین طشتک ها قرار داده شده و بتن در بین و روی قالب‌ها ریخته شده است. پس از به عمل آمدن بتن قالب طشتک ها برای نمایان بودن بتن برداشته می‌شود. وجود فاصله بین قالب‌ها نقص و عیب ظاهری است که در این سیستم به طور معمول وجود دارد و پس از ساخت به طور نمایان دیده می‌شود (تصویر ۵۴-۸ الف). بتن پیش‌تنیده با مقطع T شکل دوتایی‌پیش ساخته، با تیرچه‌های در جا ریخته به میزان زیادی در ساختمان‌ها به کار می‌رود (تصویر ۵۴-۸ ب). از تیرچه‌های چوبی معمولاً در ساختمان های مسکونی استفاده می شود. تخته چندلایی، به بالای تیرچه میخکوبی (ترجیحاً چسبانده) شده و باعث افزایش مقاومت خمشی در تیرچه می‌گردد (تصویر ۵۴-۸ ج).

دال‌های وافل (دندانه ای)

دال‌های بتنی دندانه‌ای دوطرفه در اصطلاح دال‌های وافل (دندانه‌ای) نامیده می‌شوند (تصاویر ۵۴-۸ د و ۵۵-۸). عملکرد این نوع دال‌ها مشابه شبکه تیرها است، با این استثنا که دال ممتد بالایی جز لاینفک بخش ممتد سیستم می‌باشد. دال‌های وافل در دو جهت دارای دهانه بوده و مربع اقتصادی‌ترین شکل دهانه برای این سیستم است. گنبد های توخالی با استفاده از فایبرگلاس مربع‌شکل و یا طشتک های فلزی شکل گرفته اند، بتن نهایی در روی چنین گنبدهایی به خوبی شکل گرفته و هدف نمایان بودن بتن را به شکل مناسبی فراهم می‌سازد. در گنبدها ستون‌های مجاور برای افزایش مقاومت برشی حذف گردیده اند.

تیرچه های ایزواستاتیک

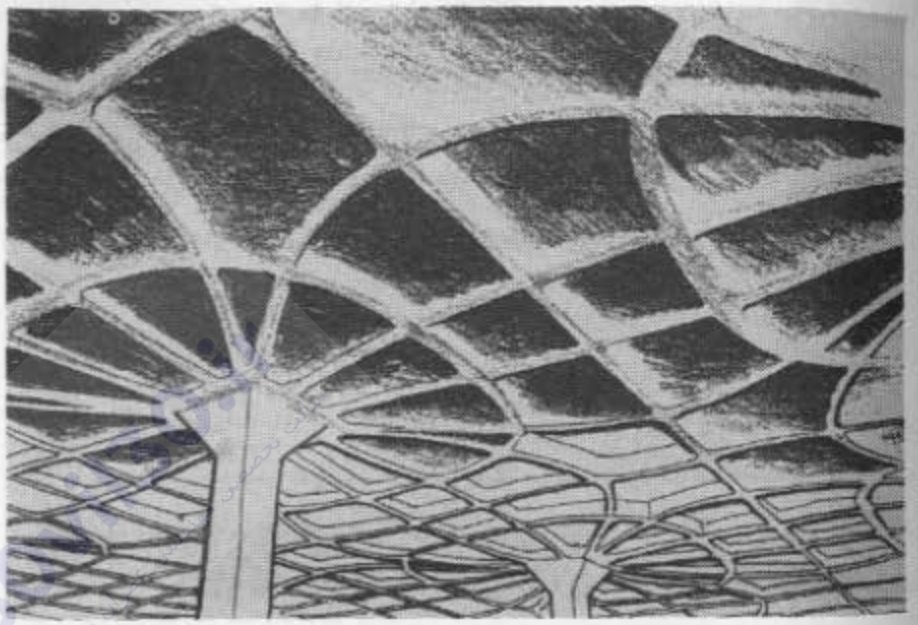
یک نوع دیگر از الگوی مربع‌شکل دال‌های وافل فرم منحنی دلپذیری از دندانه‌ها، اولین بار به وسیله مهندس ایتالیایی آرکانجلی (Arcangeli) طرح گردید، که از خطوط ایزواستاتیک (خطوط اصلی تنش) دال پیروی می‌کند (تصویر ۵۶-۸). پیر لوئیجی نروی از چنین تیرچه‌هایی در طرح‌های خود استفاده کرد (نروی ۱۹۶۳، هاکس تبل Huxtable، ۱۹۶۰).



تصویر ۵۵-۸ : استفاده از دال دندانه‌ای در سازه یک ساختمان اداری (۱۹۷۴، ایپسویچ، انگلستان؛ مهندس معمار: فوستر و همکاران)، مقطع.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۸-۵۶ : دال دندانه‌ای که از خطوط ایزواستاتیک در دال کف متابعت می‌کند که نشانگر خطوط اصلی تنش‌های خمشی است (۱۹۵۳، رم، کارخانه نخ گانی، مهندس سازه: پیر لوئیجی نروی). از انجایی که هیچ گونه برشی در طول خطوط ایزواستاتیک وجود ندارد، دال‌ها به صورت یک شبکهٔ منحنی از تیرها در زاویه‌های راست گوشه با یکدیگر تلاقی دارند ولی هیچ گونه بار انتقالی به تیرهای اتصالی به وسیله اعمال برش ندارند. به این علت، چنین حالتی بیشتر از دال دندانه‌ای کارایی دارد، ولی قالب آن گرانتر از دال دندانه‌ای مشابه آن است.

خلاصه مطالب

۱- تیر، یک عنصر سازه‌ای خطی است که بارهای وارده عمود بر محور طولی آن اثر می‌کند، چنین باری خمشی است.

۲- خمش عبارت است از تمایل یک عضو به قوسی‌شکل شدن در نتیجه بارهای وارده بر محور طولی آن.

۳- خمش در یک تیر در اثر برآیند تنش‌های کششی در سطح محدب و فشاری در سطح مقعر آن است.

۴- تیرهای بتنی باید به وسیلهٔ فولاد برای ممانعت از شکستگی کششی مسلح شوند.

۵- فولادهای تقویتی را با استفاده از خاصیت کششی آن - پیش‌تنیدگی - هنگامی که در قالب تیر قبل از ریختن بتن کار گذاشته می شود و در همان حالت کششی تا هنگام گرفتن بتن باقی می ماند.

۶- فولاد تقویتی را می توان در بتن به صورت پس‌کشیده به گونه‌ای که هیچ‌گونه فاصله‌ای بین بتن و فولاد نباشد، کار گذاشت.

۷- مقاومت خمشی در یک تیر را می توان به وسیلهٔ توزیع بیشترین مقدار مصالح تیر، دور از محور اصلی افزایش داد. به این علت، مقطع I شکل فرم مناسب‌تری برای تیر است.

۸- تیر ویرندیل دارای سوراخ‌هایی مستطیل شکل در جان تیر است. این حالت در مقایسه با خرپای مثلثی سازه‌ای با کارایی کم می‌باشد، مجموع سوراخ ها ممکن است برای دیگر مقاصد مؤثر باشد (مانند فضاهای خدماتی یا دسترسی).

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

۹- فرم طولی یک تیر می تواند با بـه حداکـثر رسـاندن ارتفـاع تـیر جـایی کـه حداکثر گشتاور خمشی در طول تیر اتفاق می افتد بهینه کرد.

۱۰- طره، عضوی است دارای یک تکیه‌گاه گیردار در یک سر که عمود بر محـور آن بارگذاری می شود تا حدی که باعث خمش می‌گردد.

۱۱- عواملی که در تغییر شکل یک طـره اثـر مـی گذارنـد عبـارتند از : طـول، ارتفاع و عرض مقطع، مصالح و محل بارگذاری.

۱۲- تیر ممتد، تیری است که بر روی چند تکیه‌گاه قرار می گیرد.

۱۳- تیر گربر بر اساس تیرهای گیردار با دهانه‌های کوتاه با تکیه‌گاه سـاده از دو سر طره‌ها شکل می‌گیرد.

۱۴- تیرچه‌ها، تیرهـایی بـا فواصـل کـم هسـتند کـه در یـک جـهت دهانـه را می‌پوشانند.

۱۵- شبکه تیر، سیستمی از تیرها اسـت کـه در دو جـهت بـا تیرهـایی در هـر جهت که به یکدیگر متصل می‌باشند، دهانه را می پوشاند.

۱۶- دال عنصری خمشی است که بارها را به صورت افقی در یک یا چند جهت درون یک سطح توزیع می‌کند.

۱۷- دال‌های یکطرفه به وسیله دو تکیه‌گاه موازی (تیرها یا دیوارها) نگـاهداری می شوند و مقاومت خمشی اصلی آن در یک جهت است.

۱۸- دال‌های دوطرفه در چهار گوشه (تیرها یا دیوارها) نگاهداری مـی شـوند و مقاومت خمشی اصلی آنها در دو جهت است.

۱۹- صفحات تخت، دال‌هایی هستند که فقط در نقاطی که ستون ها قرار دارند دارای تکیه‌گاه می‌باشند و هیچگونه افزایش ضخامت در دال یا ستون وجود ندارد.

۲۰- دال‌ها را می توان برای کاهش مصالح، وزن و هزینهٔ ساخت، دندانه‌ای کرد.

۲۱- دال‌های دندانه‌ای بر حسب یکطرفه (تیرچه‌ها) یا دو طرفه بودن (دال‌هـای وافل) طبقه‌بندی می‌شوند.

۲۲- تیرچه‌های ایزواستاتیک، دال‌های دندانه‌ای هسـتند کـه بـرای متـابعت از خطوط اصلی تنش به شکل منحنی ساخته شده اند.

http://telegram.me/uadesigngroup

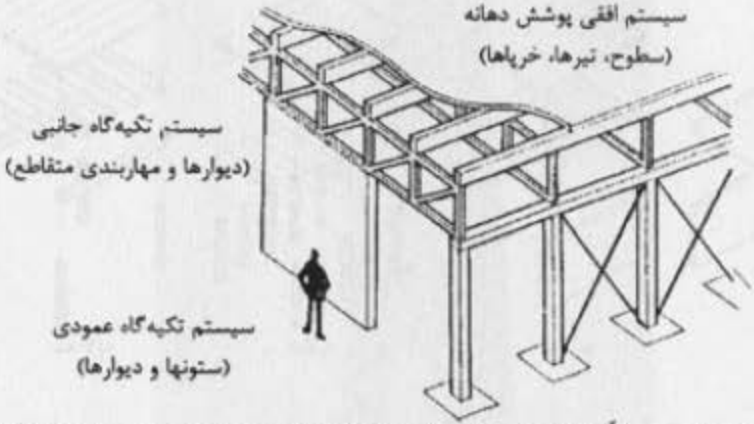
فصل ۹
قاب ها

هنگامی که یک تیر بر روی دو ستون قرار می گیرد، معماری شروع به شکل گیری می‌کند.

"لوئیس اچ سولیوان"

تیرها، دال‌ها، ستون‌ها و دیوارهای باربر برای شکل دادن به قاب‌های راست‌گوشه (خطوط مستقیم) که شناخته شده ترین سیستم تکیه‌گاهی است و در ساختمان‌ها به کار می‌رود، با یکدیگر ترکیب می‌شوند. قاب‌ها، بارها را به صورت افقی (از طریق تیرها) به ستون‌ها و ستون‌ها نیروها را به صورت عمودی (به پی) منتقل می کنند. چنین سیستمی با عنوان سازه تیر و ستون شناخته شده است. دال‌ها ممکن است جانشین تیرها و دیوارهای باربر جانشین ستون‌ها گردند ولی در هر صورت رفتاری مشابه دارند. به علاوه چنین اجزا عمودی و افقی باید مقاومت جانبی در برابر نیروهایی مانند نیروی زلزله و نیروی باد را داشته باشند (تصویر ۱-۹).

سیستم های راست‌گوشه بر اساس تعداد لایه‌های آنها (سطوح) از اعضا افقی در سیستم تقسیم بندی می‌شوند. سیستم‌های تک لایه‌ای معمولاً از ترکیب دال یک طرفه که دهانه بین دو دیوار باربر موازی را می‌پوشاند، تشکیل شده اند. سیستم‌های دو لایه‌ای بر اساس یک دال که به وسیله تیر های موازی نگاه داشته می شوند شکل گرفته‌اند که روی دو دیوار باربر موازی یا یک ردیف از ستون‌ها قرار گرفته اند (یک ستون در زیر هر تیر). سیستم های سه لایه‌ای معمولاً شامل یک دال تکیه‌گاهی با تیرچه‌های نزدیک به هم که به وسیلهٔ تیرها نگاه داشته می‌شوند (عمود بر تیرچه‌ها) و در آخر به وسیله ستون‌ها حمل می‌شوند می‌باشند (تصاویر ۲-۹ و ۳-۹).



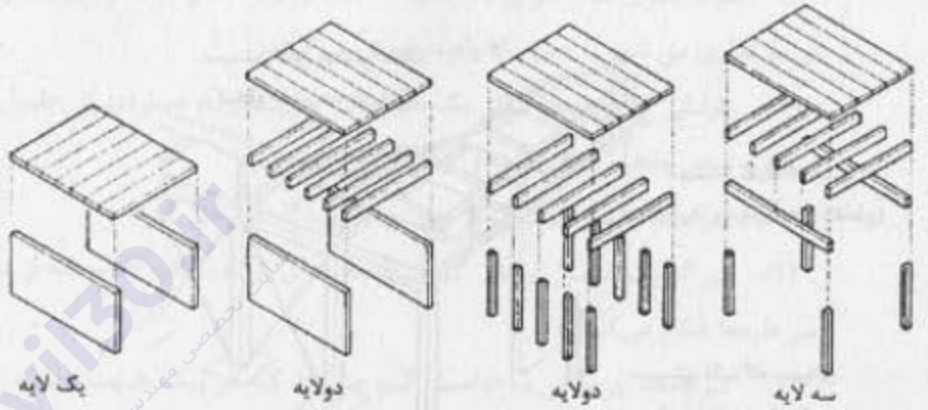
تصویر ۱-۹ : سیستم قابی معمولاً شامل یک پوشش افقی دهانه (دال یا تیر)، یک سیستم تکیه‌گاهی عمودی (ستون و دیوار) و یک سیستم تکیه‌گاهی جانبی می‌باشد.

پایداری جانبی

مقاومت در برابر نیروی باد و دیگر نیروهای افقی برای پایداری قاب‌های راست گوشه لازم است. به طور معمول، این امر با استفاده از یک یا چند قانون کلی زیر به دست می آید : تقسیمات مثلثی شکل (تقسیم کردن قاب به مثلث‌هایی که ذاتاً دارای فرم هندسی ثابت و پایدار هستند)، اتصال صلب (ایجاد یک اتصال صلب در نقطه تقاطع اعضا) و دیوارهای برشی (به کار گرفتن مقاومت برشی درونی یک سطح صاف مانند دیوار برای تغییر شکل آن) (تصاویر ۴-۹ تا ۱۴-۹).

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

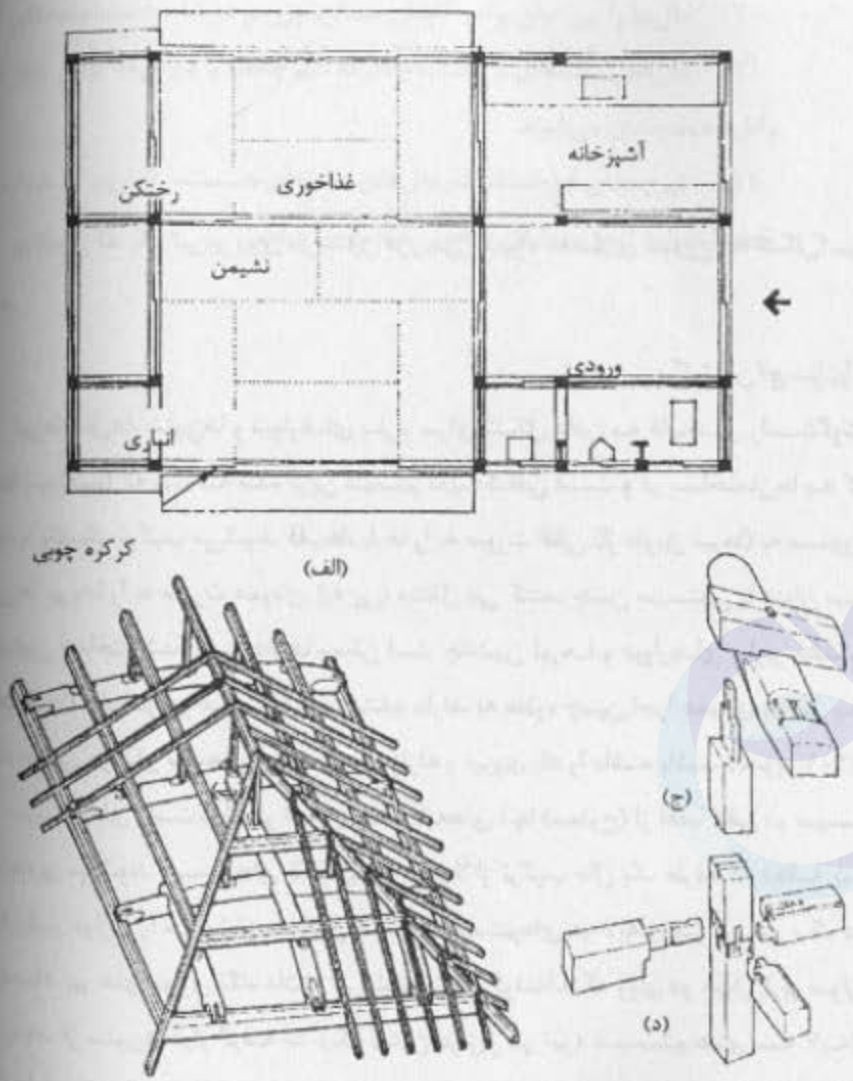


تصویر ۲-۹ : سیستم قابی به وسیله تعداد لایه‌های افقی اعضا طبقه‌بندی می شوند.

دهانه‌ها

دهانه عبارت است از تقسیم داخلی از قاب‌های تکراری که به وسیله فضای بین ستون‌ها (دیوارهای باربر) تعریف می‌شوند. دهانه‌های ساده سازه‌ای بر اساس ستون‌هایی که در طول چهار جهت دهانه سازه‌ای قرار گرفته اند شکل می‌گیرند (تصویر ۱۵-۹).

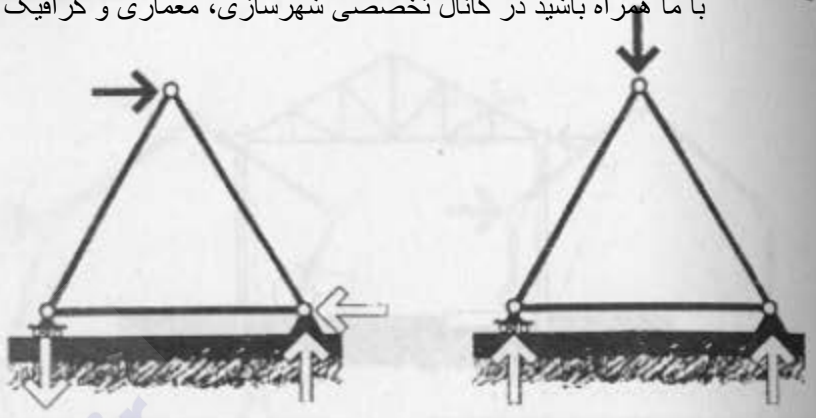
این گونه دهانه‌ها در عین اینکه در ظاهرساده به نظر می رسند، ولی باعث می شوند که ستون‌های مرکزی بیشترین بار را تحمل نمایند (نسبت به کل دهانه)، ستون‌های کناری نصف بار ستون‌هایی را که در مرکز قرار گرفته اند، تحمل می‌کنند (دهانه‌های یک - چهارم). برای یکسان نمودن بار تمامی ستون‌ها، می‌توان نیم دهانه‌هایی را با استفاده از تیرهای گیردار ایجاد نمود. چنین سیستمی بار را بر روی تمام ستون‌ها متعادل کرده و تعداد ستون‌های مورد نیاز (و پی‌ها) را کاهش می‌دهد.



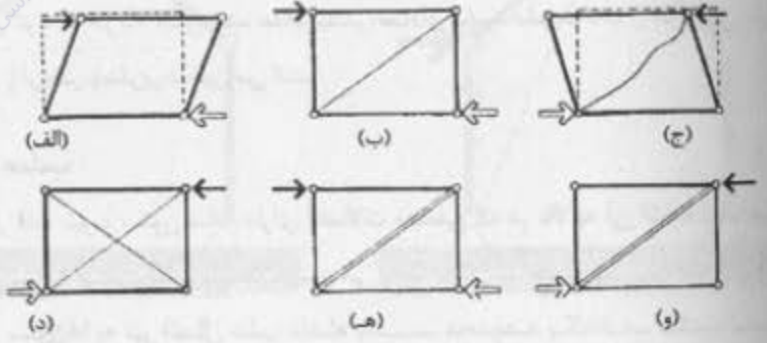
تصویر ۳-۹ : سازه با تیر و ستون چوبی در یک خانهٔ سنتی ژاپنی: (الف) پلان تیپ برای یک خانواده سه نفره (ب) بام تیرهای چند بر، (ج) اتصال Orioki-gake تیر بام و (د) اتصال ashi-gatane کام و زبانه تیر کف به ستون

http://telegram.me/uadesigngroup

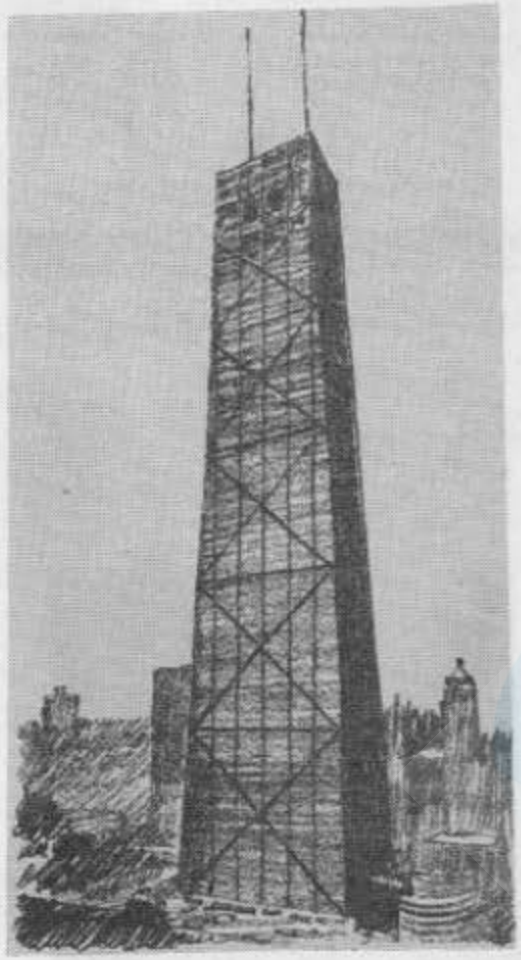
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۴-۹ : ایجاد پایداری جانبی در اثر تشکیل مثلث: قاب مثلثی ذاتاً به وسیلهٔ اتصالات مفصلی پایدار است. به یاد آورید که شکل مثلث بدون تغییر طول یک یا چند ضلع آن تغییر نمی کند.



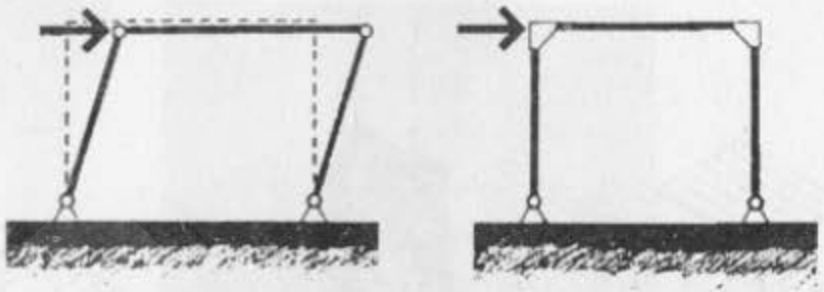
تصویر ۵-۹ : ایجادپایداری جانبی در اثر تشکیل مثلث: (الف) یک قاب مثلثی ذاتاً با اتصالات مفصلی پایدار است، (ب) اضافه کردن کابل قطری پایداری را در یک جهت ایجاد می‌کند(هنگامی که کابل کشیده می شود)، (ج) ولی در جهت دیگر کابل در برابر فشار مقاومت ندارد، (د) اضافه کردن کابل دیگری پایداری را در دو جهت فراهم می نماید و (هـ) یک میله مهار قطری پایداری را در دو جهت فراهم می‌نماید زیرا میله مهاری در برابر فشار و کشش مقاومت دارد.



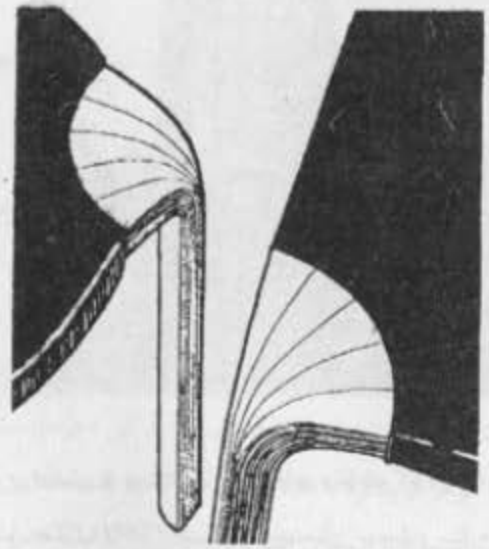
تصویر ۶-۹ : ایجاد پایداری جانبی به وسیلهٔ مهاربندی‌های متقاطع که در نمای خارجی ساختمان نشان داده شده است. مرکز جان هنکاک (۱۹۶۶: شیکاگو، مهندسان معمارو سازه : اسکید مور، اوئینگز و مریل). سازه ساختمان طوری در نظر گرفته شده که در برابر بار جانبی نیروی باد با توجه به فرم بلند و باریک خود مقاومت نماید. طرح معماری آن بر اساس نیازهای سازه‌ای بوده است.

http://telegram.me/uadesigngroup

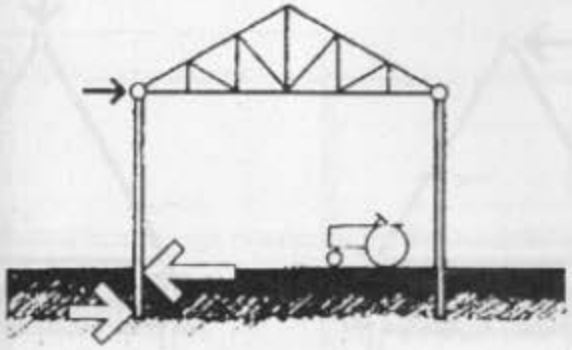
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۷-۹ : ایجادپایداری جانبی به وسیلهٔ اتصالات صلب. اتصالات صلب در بالا شکل یک میز را تشکیل می دهند. پایداری به وسیلهٔ یکی از اتصالات صلب در بالا به دست می آید (قابی را می‌سازد که به عنوان یک مثلث پایدار عمل می کند). تعداد بیشتر از یک اتصال صلبیت قاب را افزایش می دهد ولی سیستم را از نظر استاتیکی نامعین می‌کند.



تصویر ۸-۹ : ایجاد پایداری جانبی به وسیلهٔ اتصالات صلب. جزئیات طراحی مبلمان از چوب مورق طراحی شده به وسیله معمار فنلاندی : الوار آلتو.



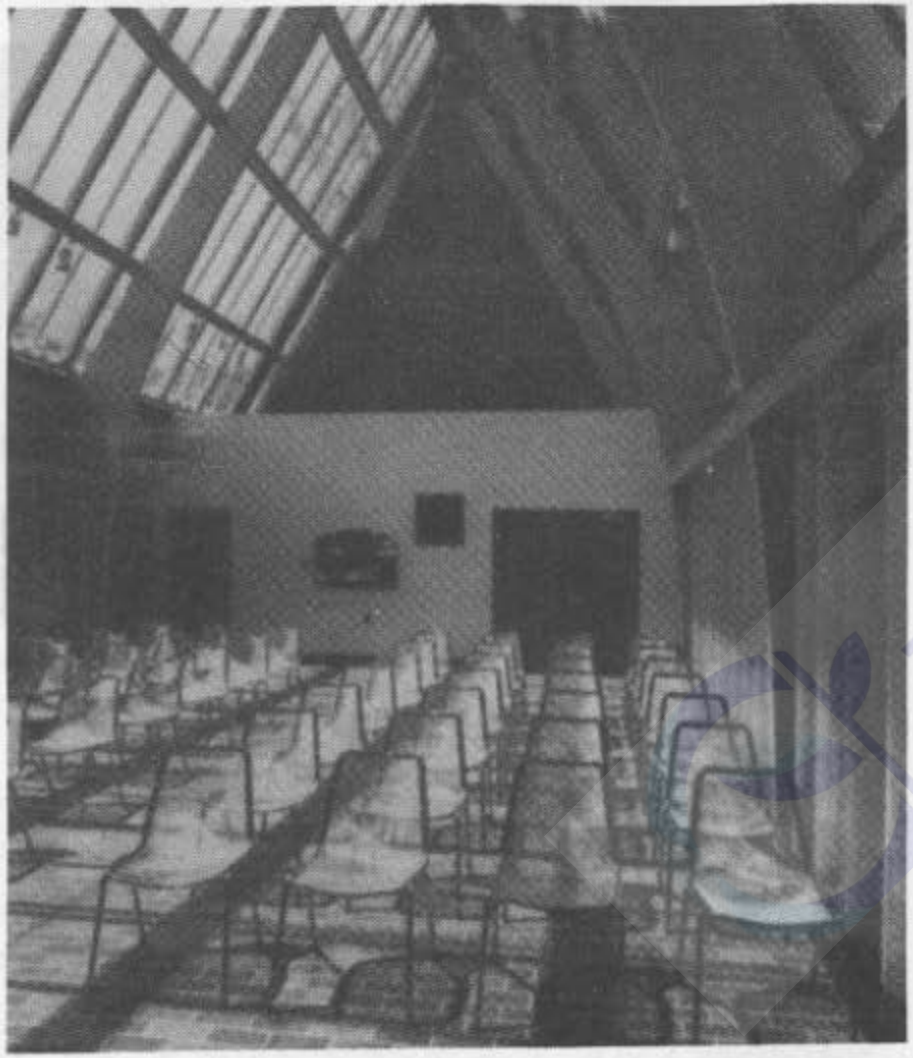
تصویر ۹-۹ : ایجاد پایداری جانبی به وسیله اتصالات صلب. ستون‌های طره شده از زمین در پایین اتصال صلب ایجاد می‌کنند. این سیستم به طور مشترک در ساختمان انبارها استفاده می‌شودپایداری به وسیله یکی از اتصالات پایین به دست می‌آید (که باعث می‌شود قاب به عنوان یک مثلث پایدار عمل نماید). همان گونه که در بالا اشاره شد، تعداد بیشتر اتصالات صلب، صلبیت قاب را افزایش می دهد ولی سیستم را از نظر پایداری نامعین می کند.

قاب‌های صلب

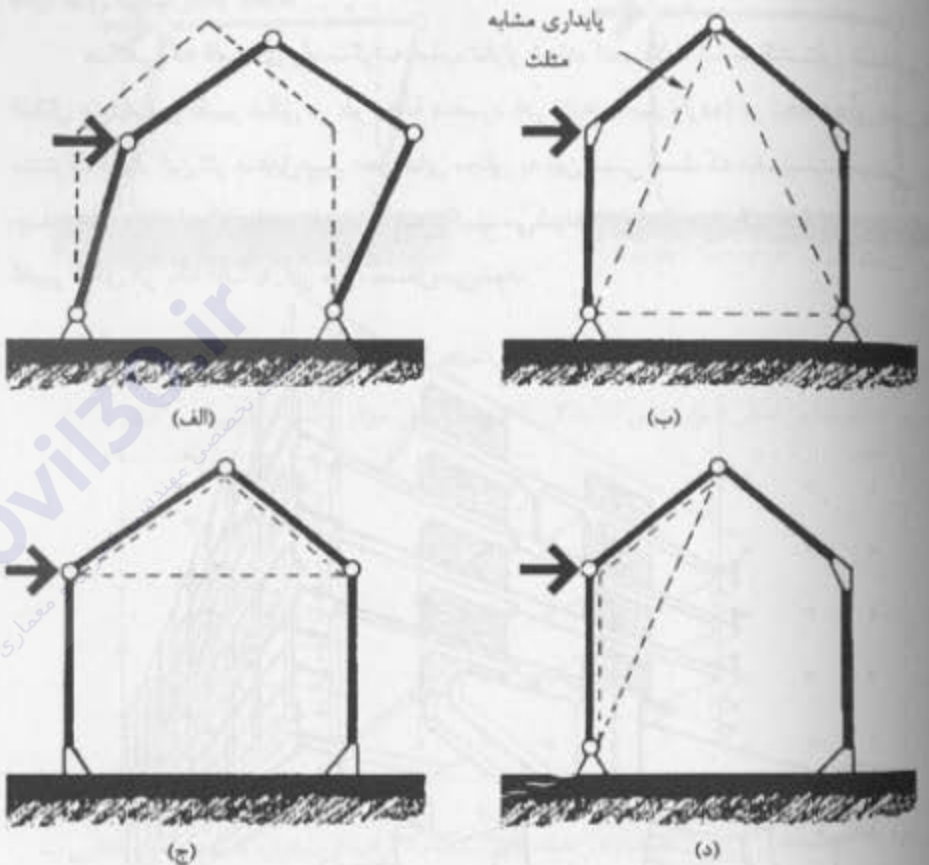
رفتار قاب تیر و ستون ساده دارای اتصالات مفصلی که در بالا به آن اشاره شد، هنگامی که اتصالات تیر به ستون صلب باشند تغییر می‌کند. مدل نمایشی تصویر ۱۶-۹ را در نظر بگیرید. اگر ستون‌ها به تیر اتصال صلب داشته باشند، مجموعه یک قاب صلب است. اگر تکیه‌گاه‌ها در دو سر تیرقرار داشته (ستون برای چرخش آزاد است) و بار یکنواخت در طول تیر وارد شود، تیر تغییر شکل خواهد دادو ستون‌ها دچار جابجایی می گردند. یک قاب صلب با اتصالات غلتکی در پی‌های ستون نیز رفتاری مشابه خواهد داشت. اگر از حرکت پایه‌ها ممانعت به عمل آید (اتصالات مفصلی باشد)، تغییر شکل آنها به صورت خمش خواهد بود و بنا براین مقاومت خود را به صورت خمشی در کل قاب به کمک گرفته و در نتیجه تغییر شکل کمتری در بالای تیر به وجود خواهد آمد.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



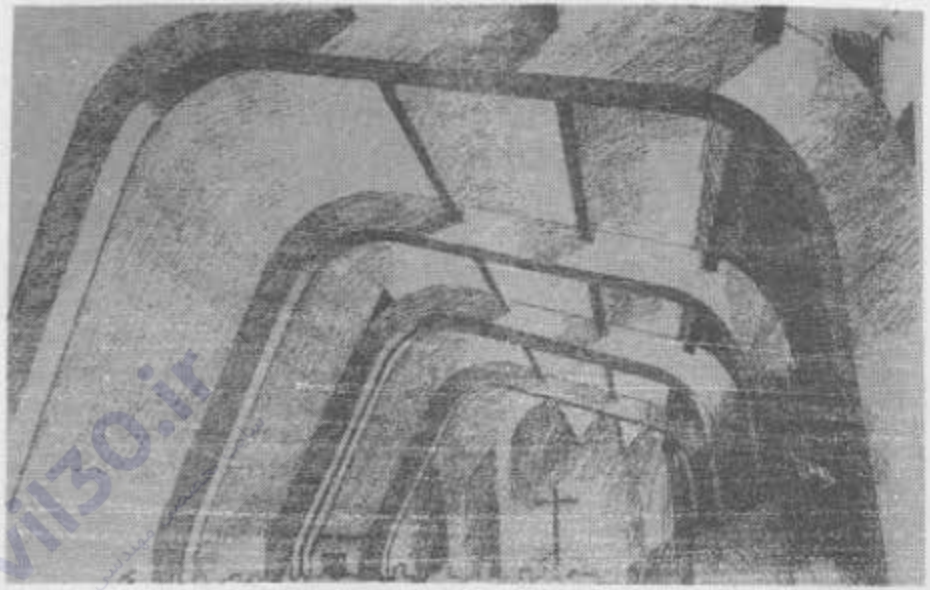
تصویر ۹-۱۱ : ایجاد پایداری جانبی به وسیلهٔ اتصالات صلب: قاب سه‌مفصلی با سازهٔ چوبی، مرکز پاتوکا نیچر (Patoka Nature) (۱۹۸۰: بردز آی ،ایندیانا، مهندس معمار: فولر مور)، تصویر داخلی. قاب‌های چوبی چندلایه اتصالات صلب را در بخش قطور طاق ایجاد می‌کنند. در نتیجه سازه ذاتاً پایدار می‌شود.



تصویر ۹-۱۰ : ایجاد پایداری جانبی به وسیلهٔ اتصالات صلب: قاب سه‌مفصلی (الف) قاب پنج ضلعی با چهار اتصال مفصلی یا بیشتر، ناپایدار است. (ب) گیردار کردن دو عدد از اتصالات قاب را پایدار کرده و عملکردی مانند مثلث پیدا می‌کند (به صورت خط‌چین نشان داده شده است). (ج) به طور مشابه، گیردار کردن دو عدد از اتصالات پایین نیز باعث پایداری می شود. (د) به عنوان یک قاعدهٔ کلی برای پایداری، قاب‌های باز نباید بیش از ۳ اتصال مفصلی داشته باشند. به عبارت دیگر چنین قاب‌هایی باید برای رسیدن به پایداری به مثلث‌هایی تقسیم شوند.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

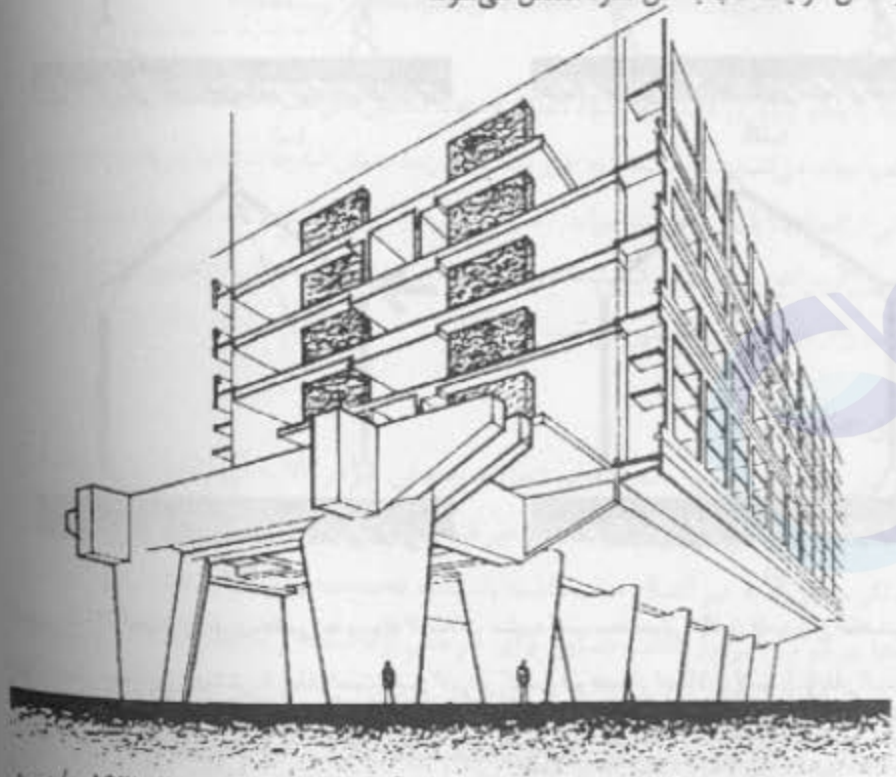


تصویر ۱۲-۹ : ایجادپایداری جانبی به وسیله اتصالات صلب. قاب صلب در ساختمان بتنی، کلیسای ریولا (Riola) (۱۹۷۵: ریولا، ایتالیا، مهندس معمار: آلوار آلتو)

سهمی خط‌چین‌شده در تصویر ۱۷-۹ نشان‌دهنده فرم مناسب قوسی برای چنین بارهای یکنواختی است. اگر قاب از چنین شکلی پیروی کند، هیچ گونه خمشی وجود نخواهد داشت. مقدار خمش (گشتاور) به طور مستقیم به میزان جابجایی قاب از چنین فرم مناسبی بستگی دارد.در جایی که بیشترین تغییر مکان (در مرکز دهانه و در اتصالات صلب تیر و ستون) وجود دارد، گشتاور خمشی حداکثراست و تیر نیاز به ارتفاع بیشتری دارد. در جایی که تغییر مکان حداقل است (در پی‌های ستون و در نقطه یک چهارم دهانه در تیر)، گشتاور خمشی صفر است و اتصال قاب می‌تواند به شکل مفصلی باشد. ولی همین علت، باعث ناپایداری قاب می شود. در قاب چهار مفصلی، اتصالات در بالا دارای ضخامت یکسان با قاب با اتصال صلب می باشند.

قاب های صلب چند دهانه

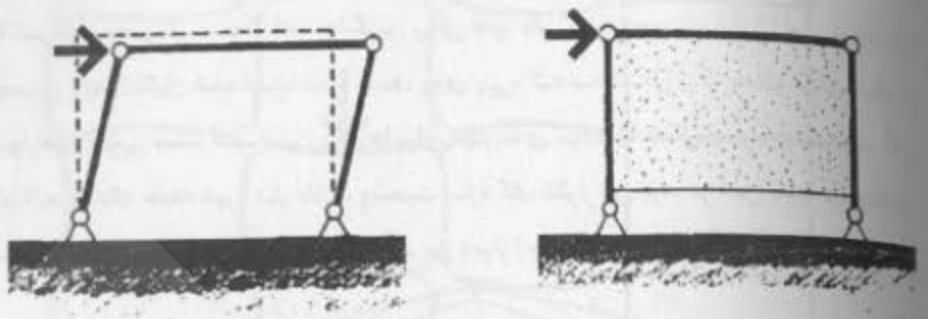
هنگامی که قاب‌های راست‌گوشه صلب تکرار شوند، اتصالات ثابت گشتاور خمشی را انتقال می‌دهند و تغییر شکل در هر دهانهٔ منفرد (در نتیجه بار وارده) در دهانه‌های اطراف مشترک است. این اثر متقابل بین دهانه‌های مجاور به این معنی است که مقاومت خمشی در چند دهانه برای ایجاد سازهٔ مقاوم‌تر با هم ترکیب می‌شوند. همچنین بیان‌کنندهٔ این است که تغییر شکل در یک قاب به کل سازه منتقل می‌شود.



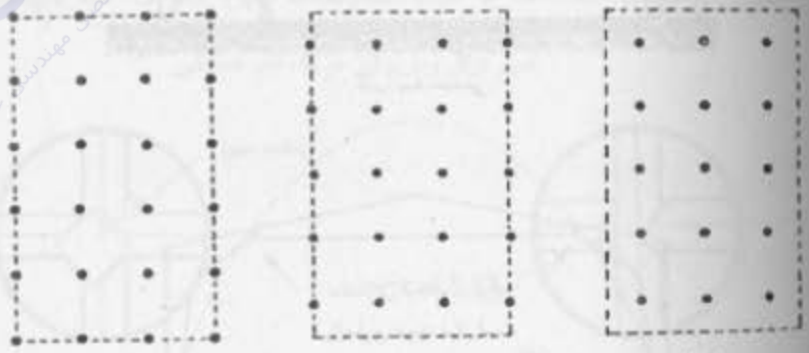
تصویر ۱۳-۹ : مقطع از درون قاب صلب برای نمایش اجزای آن. ساختمان مسکونی ملل (۱۹۲: ماریسی، فرانسه، مهندس معمار: لوکربوزیه)

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

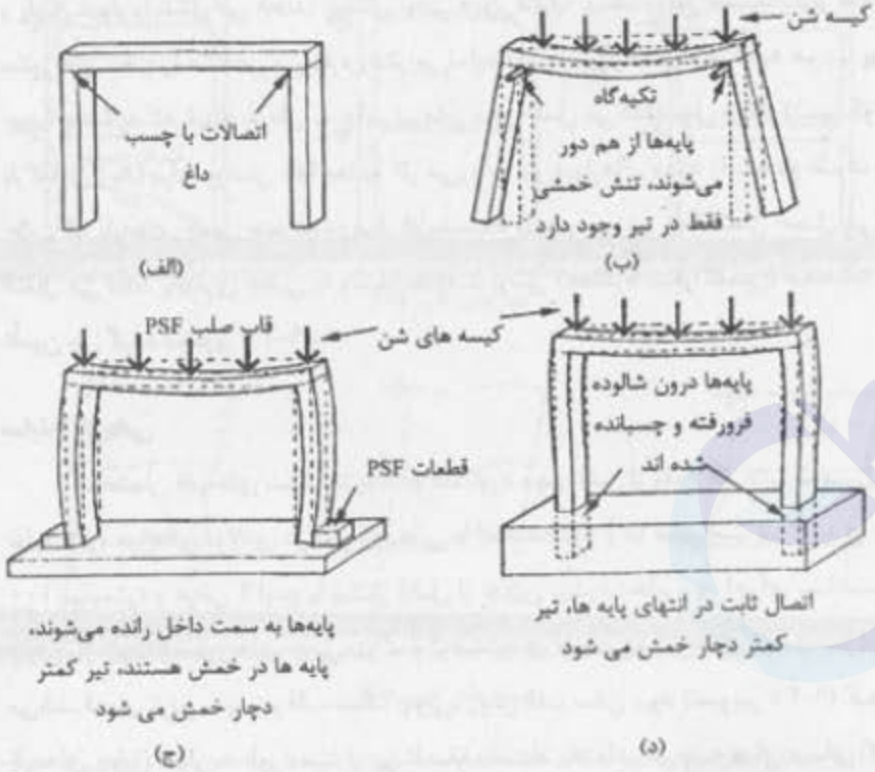


تصویر ۱۴-۹ پایداری جانبی با استفاده از دیوار برشی. اضافه کردن یک دیوار تویر اثری مشابه مهاربندی ضربدری را دارد، زیرا شکل دیوار بدون کشیدگی یا فشار بر روی مواد پرکننده تغییر نمی کند.



تصویر ۱۵-۹ : دهانه‌های سازه‌ای : (الف) در دهانه‌های ساده، ۲۴ عدد ستون، (ب) در دهانه‌هایی با اتصال گیردار در دوجهت، ۲۰عدد ستون و (ج) در دهانه‌هایی با اتصال گیردار در چهار جهت، ۱۵ عدد ستون مورد نیاز است.

مدل ارائه‌شده در تصویر ۱۸-۹ نشان می‌دهد که نوع اتصالات یک قاب (صلب یا مفصلی) چگونگی تقسیم بارهای خمشی در سازه‌های متشکل از چندین قاب را مشخص می‌کند. اگرچه یک قاب صلب بخوبی از مصالح استفاده می نماید اما نیاز به نیروی کار اضافی برای تأمین و تضمین صلبیت کافی اتصالات تا حدی بازدهی این تأثیر را کاهش می‌دهد. تصمیم گیری در مورد این که آیا از قاب‌های صلب استفاده شود پیچیده بوده و نیاز به تجزیه و تحلیل و نیز تجربهٔ بسیار دارد (تصویر ۱۹-۹).



تصویر ۱۶-۹ : مدل نمایشی از رفتار قاب صلب. (الف) قاب صلب بدون بار، (ب) بار یکنواخت، تکیه‌گاه ساده در بالای ستون‌ها (ستون‌ها تغییر شکل می‌دهند)، (ج) بار یکنواخت روی قاب صلب، پایهٔ مفصلی (ستون‌ها در خمش، تغییر شکل تیر کمتر) و (د) بار یکنواخت بر قاب صلب، اتصال پایهٔ ثابت (ستون‌ها در دو جهت دچار خمش می شوند، تیر کمترتغییر شکل می دهد).

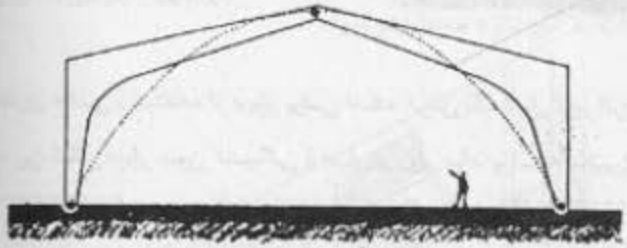
http://telegram.me/uadesigngroup

ساختار قاب‌های سبک

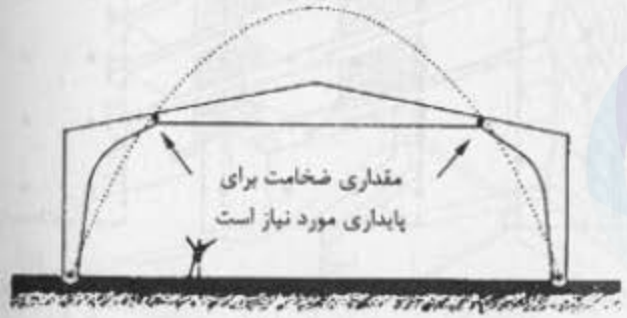
در دیوارهای با ساختمان قاب چوبی سبک‌وزن که متشکل از پایه‌های چوبی منفرد (مانند ستون) هستند، پایه‌ها با فواصل کم به وسیلهٔ صفحات ممتد به یکدیگر متصل شده و بالا و پایین دیوار را شکل می دهند، پوشش نهایی دیوار مشابه یک دیوار ممتد باربر که جای ستون‌های مجزا را مشخص می‌سازد رفتار می‌نماید (شبیه تیرچه‌های نزدیک به هم با پوشش چوب چندلایه که شبیه به دال به جای تیرهای مجزا عمل می‌کند). نعل درگاه (تیر کوتاه با بارگذاری زیاد) برای پوشش دهانه‌ها به کار می‌رود و بار دیوارهای ممتد را به دو طرف بازشو جایی که پایه‌های چوبی چند عددی، بار افزوده‌شده را به پی زیر ساختمان حمل می‌کنند، انتقال می دهد. پایداری جانبی به وسیله مقاومت برشی (عملکرد دیافراگمی) صفحات صلب تأمین می گردد (تصویر ۲۰-۹).

سابقهٔ تاریخی

ساختمان قاب‌های سبک، نتیجهٔ دو دستاورد مهم ناشی از وقوع انقلاب صنعتی است: تولید انبوه میخ‌های فولادی نازک و الوارهایی با ابعاد محدود [۲با ضخامت تا ۴ اینچ (۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر) و عرض ۲ اینچ یا بیشتر]قبل از چنین پیشرفت‌هایی، در اجرای ساختمان‌های چوبی از تیرها و ستون‌های چوبی بزرگ و از بست‌های چوبی و میخ‌های دست‌ساز استفاده می‌شد. قدیمی‌ترین سیستم قاب سبک چوبی، روش قاب بالن بود (تصویر ۲۱-۹) که در آن پایه‌های چوبی دیوار به طور ممتد از پی تا سقف امتداد یافته‌اند، تیرچه های میانی کف به پایه‌های چوبی دیوارهای کناری متصل شده‌اند. این سیستم نیاز به پایه‌های چوبی بسیار بلندو صاف دارد که برای استفاده در ساختمان‌های دوطبقه نامناسب بوده زیرا دیوارهای بلند باید بدون عملکرد خاصی از طبقهٔ میانی برای استفاده به عنوان سکوی کار ساخته شوند. سرانجام، فضای باز بلند بین پایه‌ها، شیاری را ایجاد کرد که سرعت شعله‌های آتش در حادثهٔ آتش‌سوزی را تسریع نمود. روش صفحهٔ قاب جایگزین روش قاب بالن شده (تصویر ۲۲-۹) این صفحه از چندین لایه تشکیل شده است: سازهٔ کف روی پی، که به شکل یک سکو برای ساخت دیوارهای چوبی ممتد است . این دیوارها برای مهاربندی موقت به شکل اریب اجرا شده‌اند. اگر دو لایه در یک طبقه مورد نیاز باشد، وضعیت سازهٔ کف تکرار می‌شود. در آخر، بام و تیرچه‌های سقف (امروزه، خرپای شیب‌دار) بر روی آخرین دیوار اجرا می‌گردد.



قاب سه مفصلی

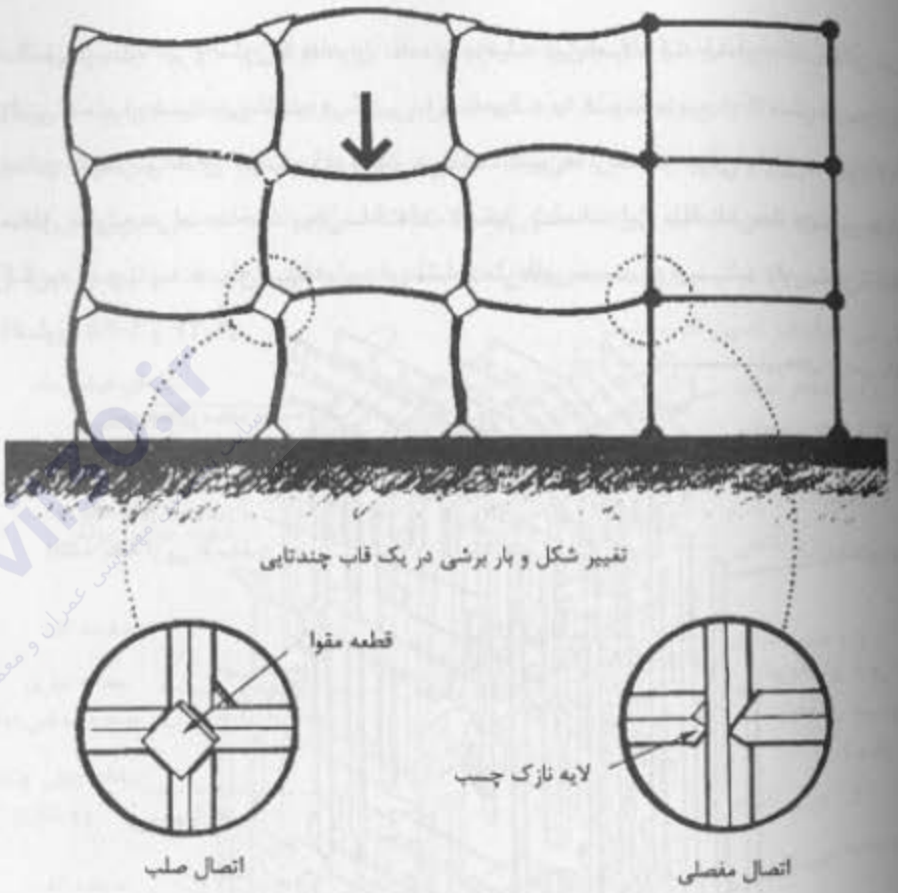


قاب چهار مفصلی

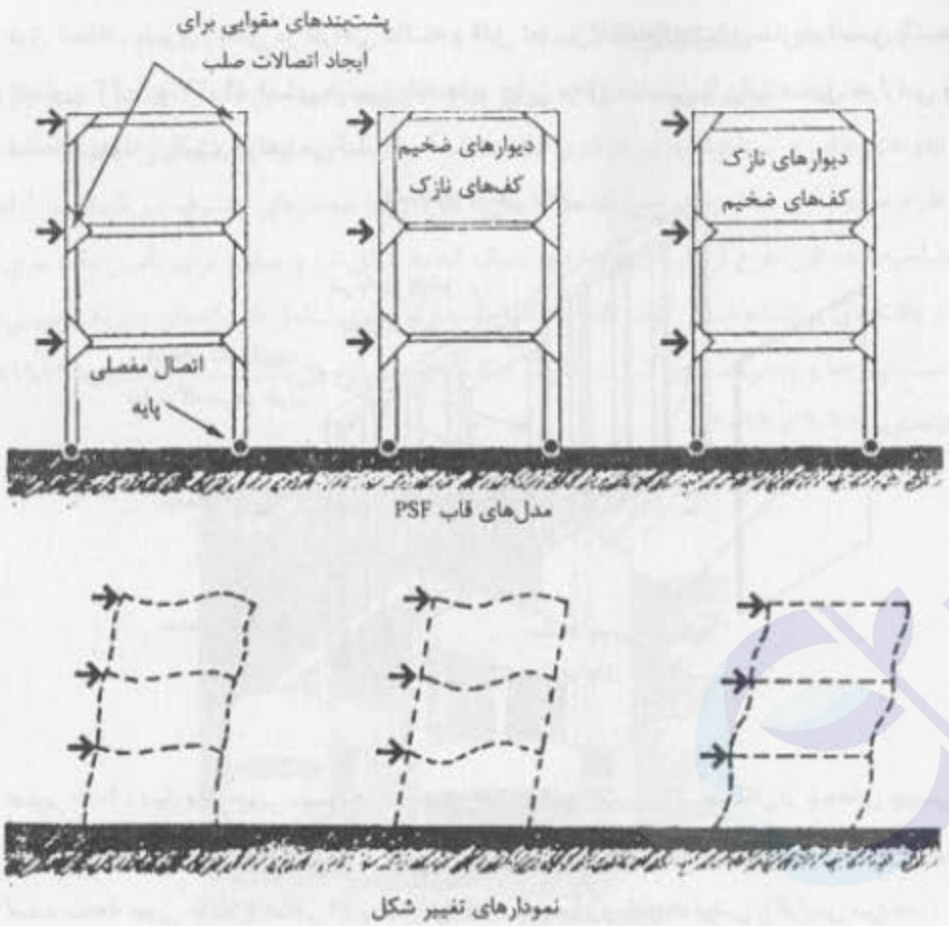
تصویر ۱۲-۹ : گشتاور خمشی در هر نقطهٔ یک قاب صلب به وسیلهٔ تغییر شکل قاب نسبت به یک قوس مشخص که در آن خمش اتفاق نمی‌افتد (در حالت سهمی) تعیین می‌گردد. در بخش‌هایی که قاب بخشی از یک سهمی است، در نتیجه گشتاور بیشتر نیاز به افزایش ارتفاع عضو دارد. در جایی که سهمی با قاب تداخل دارد، گشتاور خمشی صفر است و یک اتصال مفصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در یک قاب چهارمفصلی برای تأمین پایداری نیاز به ضخیم کردن اتصالات می‌باشد.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۱۸-۹ : مدل نمایشی از بار برشی در یک قاب چندتایی. نیمهٔ سمت چپ قاب اتصال صلب دارد، توجه کنید چگونه گشتاور خمشی که در عرض اتصالات انتقال می‌یابد، باعث تغییر شکل در اعضا مجاور شده و به آنها اجازه می دهد که مقاومت خمشی خود را در برابر بار مؤثر توزیع نمایند. نیمهٔ سمت راست قاب دارای اتصالات مفصلی است، توجه کنید که چگونه گشتاور خمشی در همان منطقه با حداقل تأثیر روی اعضای مجاور باقی می‌ماند. به عنوان یک نتیجه، عضو بارگذاری‌شده برای مقاومت خمشی عضو اصلی توزیع‌کننده می باشد.



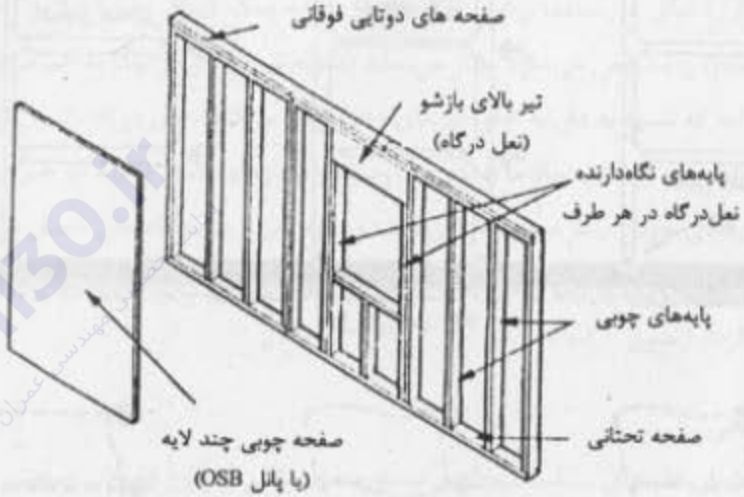
تصویر ۱۹-۹ : مدل نمایشی از اثر سخت‌کننده‌های مختلف در تیرها و ستون‌ها هنگامی که یک ساختمان برای بارهای جانبی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

سهولت و سادگی اجزا و اجرای قاب چوبی، قابلیت اتصالات متنوع با دیگر سازه‌ها، چوبهای چندلایه و الوارهایی با چوب صاف و دارای ابعاد مناسب و طبقه بندی شده، این سیستم را برای خانه‌های مسکونی یک خانوار در امریکا و کانادا منتخب کرده است. سیستم

http://telegram.me/uadesigngroup

همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

فوق انعطاف پذیری زیادی در طراحی داشته و قابل تطبیق با انواع روشهای سازه‌ای مـی باشـد (تصاویر ۲۳-۹ و ۲۴-۹). فضای باز بین پایه های چوبی محل مناسبی را برای عـایق حرارتـی و استفاده بهینه از انرژی فراهم می‌کند.

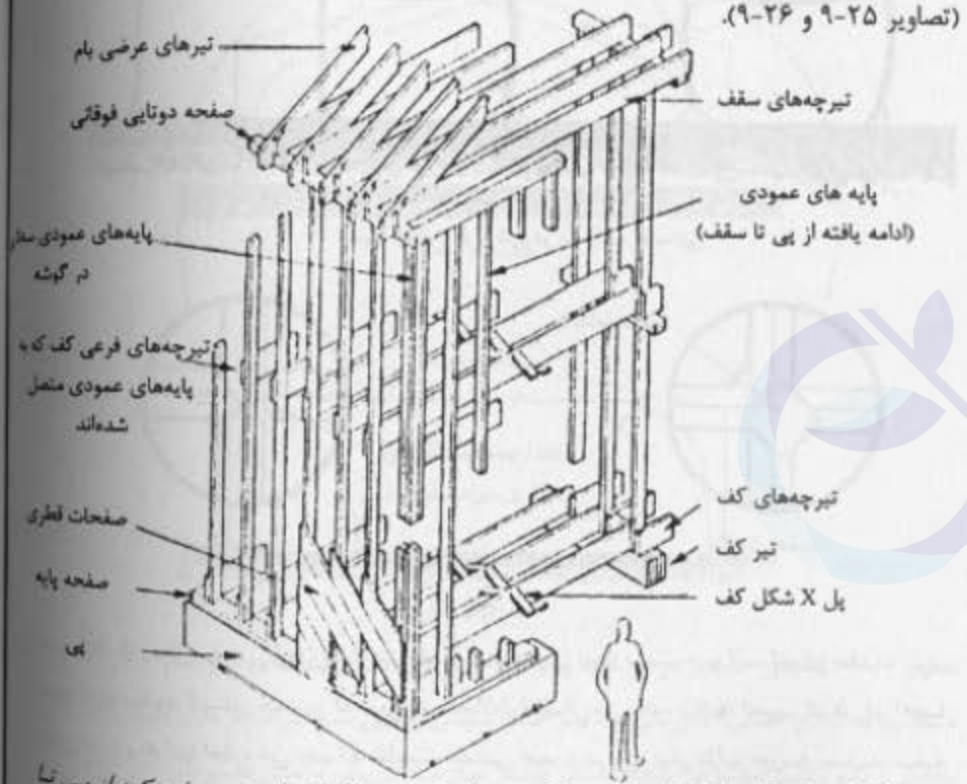


تصویر ۲۰-۹ : دیوارهای چوبی معمولاً در ساختمان‌هایی با قاب چوبی سبک متشکل از پایه‌های چوبـی نزدیک به هم با صفحات یکسره در بالا و پایین به کار می روند و رفتار سازه‌ای آنها مشـابه دیـوار بـاربر است. صفحهٔ چوبی چندلایهٔ اضافی (یا معادل آن) ظرفیت تحمل و مقاومت برشی را افزایش می‌دهد.

مطالعات موردی تیر و ستون

کابین‌های جنگلی کلدی کاستل Keldy Castle

این کابین‌ها (۱۹۷۹: کرپتون، انگلستان، مهندس معمار: هیرد و بروکـز، مـهندس سـازه: چاپمن و اسمارت) بخشی از توسعه ۵۸ عدد کابین‌هـای جنگلـی بوده‌انـد. بـه علـت نمونـه‌ای مناسب از سازهٔ تیر و ستون با ظاهری ساده و جزئیات فوق‌العـاده کـه یـادآور خانـه‌های سـنتی ژاپنی است، ارزشمند می‌باشند. هر کابین با مساحت ۱۰۰ فـوت مربـع (۳۰ متـر مربـع) دارای فضای نشیمن و فضای خواب برای ۵ نفر می‌باشد. کابین‌ها از عناصر چوبی و پانل‌هـایی کـه بـه منظور تسریع در امر ساخت، پیش‌ساخته‌اند، تشکیل شده اند. این ساختمان‌ها، مثـالی عـالی از کـاربرد چـوب بـه عنـوان مـاده‌ای بـرای سـاختمان‌های صنعتـی هسـتند (اورتـون، ۱۹۸۸) (تصاویر ۲۵-۹ و ۲۶-۹).

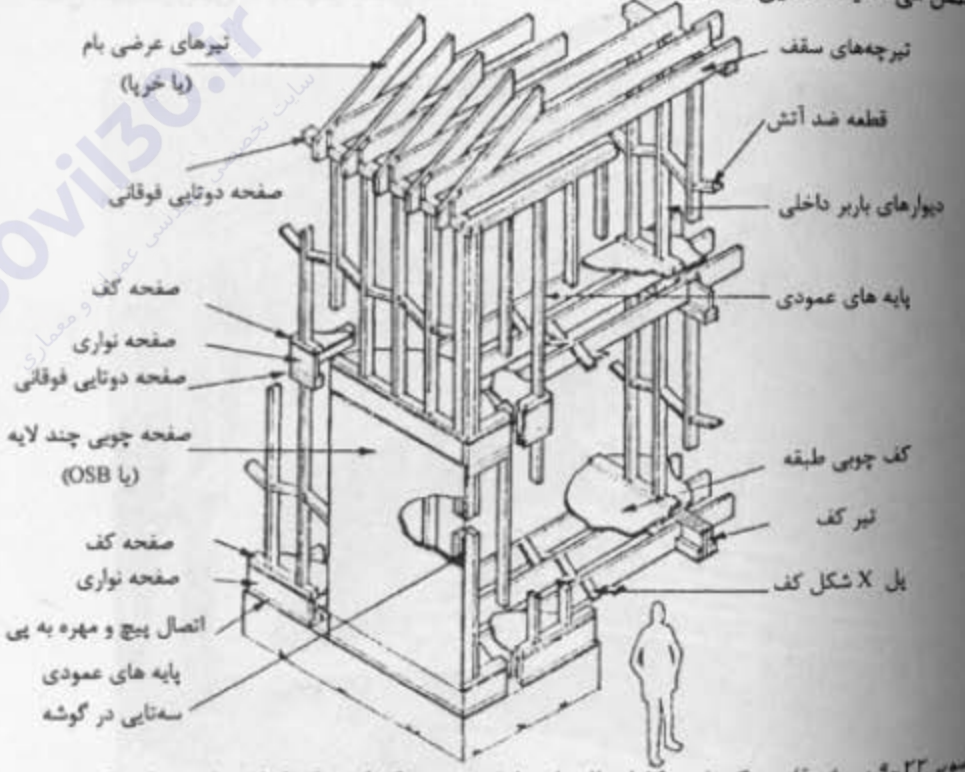


تصویر ۲۱-۹ : روش قاب بالن اولین قاب سبک چوبی است. به وسیلهٔ پایه‌های چوبی بلند کـه از پـی تـا سقف، یا قاب طبقات به سمت اطراف پایه‌های چوبی دیوار امتداد یافته، شکل گرفته است.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

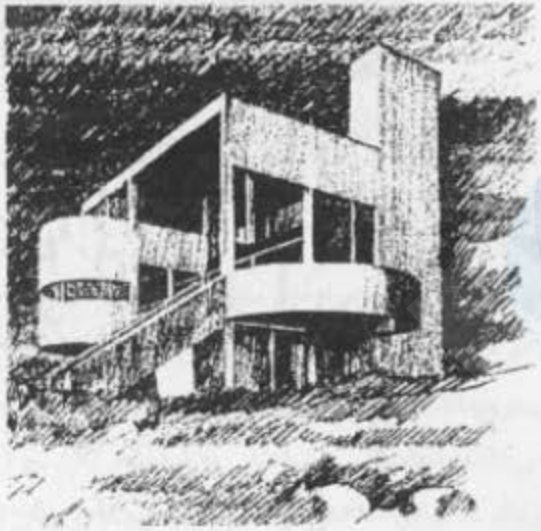
کابین‌ها به وسیلهٔ تیرهای چوبی به ابعاد ۱۲ × ۴ اینچ (۱۰۰ × ۳۰۰ میلیمتر) نگاه داشته می‌شوند، که بر روی شبکهٔ تیرهای بتنی و یا برروی ستون‌های چوبی متکی بر شالوده‌های بتنی قرار گرفته‌اند. این امر سبب می‌شود کابین‌ها بتوانند با حفظ پایداری جانبی بر روی سطوح شیبدار قرار گیرند. تمامی اتصالات، مانند اتصالات مفصلی عمل می‌کنند. مقاومت جانبی در برابر نیروی باد به وسیله کف، سقف و دیوارهایی که مانند پانل‌های برشی عمل می نمایند، تأمین شده است.



تصویر ۲۲-۹ : روش قاب سکو، فرم تکامل یافته از سازهٔ چوبی سبک است که از لایه‌های متناوب کف و دیوار تشکیل شده است. هر طبقه، سکویی را برای ساخت دیوارهای چوبی برای همان سطح فراهم می‌کند.

منزل مسکونی شولیتز Schulitz

منزل مسکونی شولیتز (۱۹۷۸: بورلی هیلز، کالیفرنیا، مهندس معمار: اچ. سی. شولیتز) نمونه‌ای عالی از استفادهٔ اجزای فولادی ساخته شده برای ساختمان‌های مسکونی است. مانند طرح متقدم آن، خانه چارلز ایمز که در سال ۱۹۴۹ روی صخره‌ای مشرف بر اقیانوس آرام ساخته شد، این طرح از خرپاهای فولادی سبک که به شکل تیر و ستون برای تأمین یک سری از بافت‌های پرکننده قرار گرفته‌اند تشکیل شده است و شامل شبکه‌های باریک چوبی، سایبان‌ها و پنجره‌های کرکره‌ای و دیگر مصالح می‌باشد (اورتون، ۱۹۸۹) (تصاویر ۲۷-۹ تا ۲۹-۹).

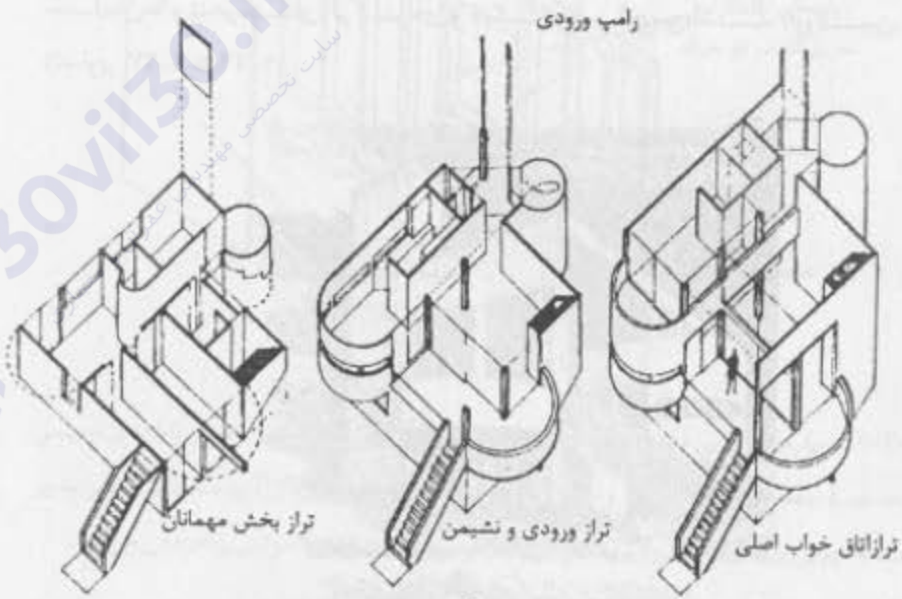


تصویر ۲۳-۹ : منزل مسکونی شولیتز(۱۹۶۸، اورلتان، ماساچوست، معمار: چارلز گوانمی). نشان‌دهندهٔ چوبهای قالب‌بندی سبک، دیوارهای برشی و قابلیت انعطاف آنها.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

به علت قرارگیری آن در یک منطقهٔ زلزله‌خیز، سازه نه تنها باید در برابر نیروهای باد و وزن مقاومت می‌نمود، بلکه در برابر نیروهای ناشی از فعالیت زمین و حرکت‌های آن نیز باید مقاوم می‌گردید. سبکی ذاتی سازه، میزان نیروهای داخلی را به حداقل می رساند. مهاربندی‌های قطری متقاطع مقاومت جانبی لازم را فراهم کرده و باعث می‌شوند که اتصالات بین تیرها، خرپاهاو ستون‌ها مانند اتصالات مفصلی عمل نمایند نتیجهٔ آن سازه‌ای اقتصادی با مقاومت بالاست.



تصویر ۲۴-۹ : منزل مسکونی شولیتز. پلان‌های اکزونومتری.

این خانه در سراشیبی تپه‌ای قرار گرفته است و دارای سه طبقه می‌باشد که طبقهٔ بالای آن در تراز خیابان قرار دارد. قاب سازه‌ای فولادی از ستون‌های لوله‌ای‌شکل به ابعاد ۶ × ۶ اینچ (۱۵۰ × ۱۵۰ میلیمتر) تشکیل شده است که دو تیر اصلی در هر طرف را نگاه می‌دارد.

انتهای تیرها از ستون‌ها عبور کرده تا در نما تأثیر بصری داشته باشد. تیرها، خرپاهای فولادی سبک (با تیرچه‌هایی با جان باز) فضایی برابر ۴ فوت (۱/۲ متر) را در مرکز نگاه می‌دارند. خرپاها نیز سطح فلزی با بتن سبک را در بالا نگاه می دارند. چهار ردیف از ستون‌های فولادی به وسیلهٔ سه ردیف از ستون‌های کوتاه بتنی و دیوارهای تکیه‌گاهی در سطح زیر خیابان نگاه داشته می شوند. چنین تکیه‌گاه‌های بتنی به وسیله یک شبکه از تیرهای بتنی مسلح در روی سطح شیب‌دار زمین به یکدیگر متصل شده‌اند.

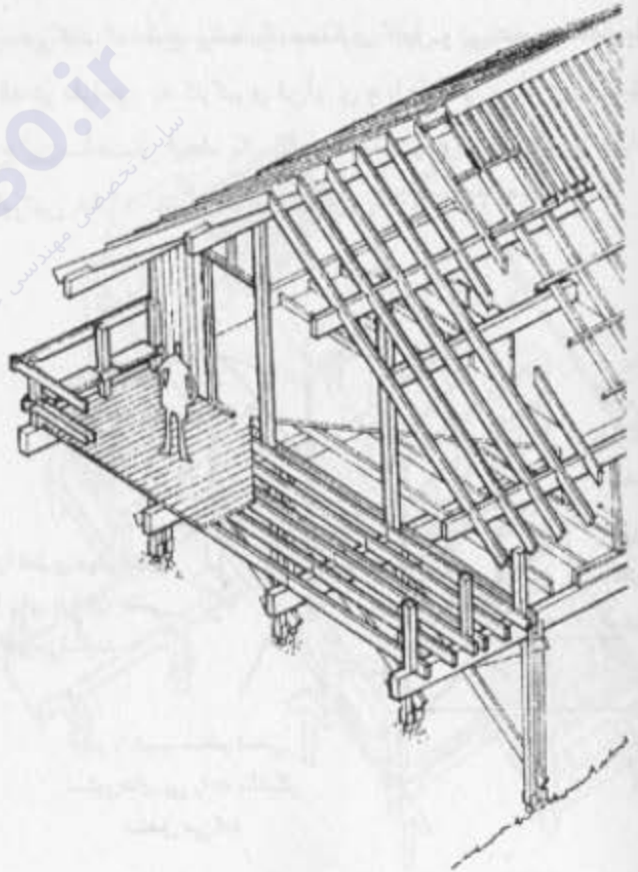
تصویر ۲۵-۹ : کابین‌های جنگلی کلدی کاستل، نمای خارجی.

http://telegram.me/uadesigngroup

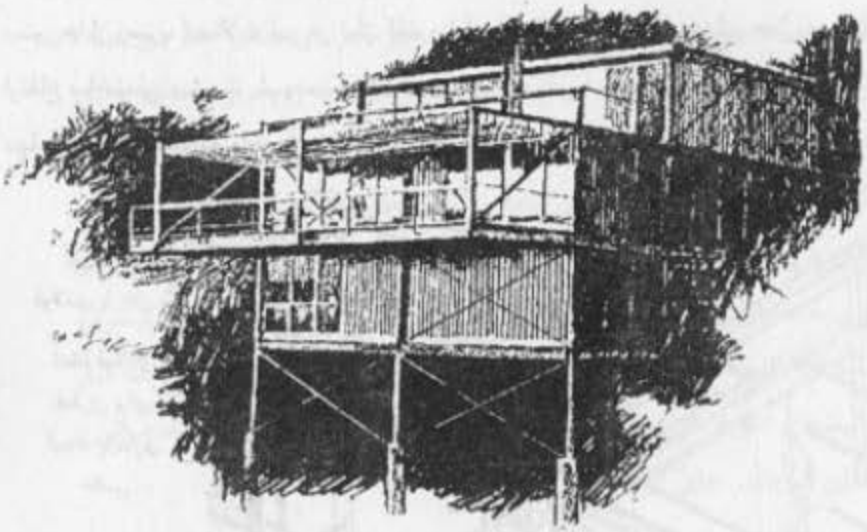
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

حمام ساحل غربی(West Beach)

این ساختمان یک طبقه بتنی پیش‌ساخته (۱۹۷۷: پرینستون، ایندیانا، مهندس معمار: هاوارد، نیدلز، تامن و برگندوف) عملکردهای متنوعی را برای بازدیدکنندگان از این ساحل فراهم می‌کند. این ساختمان به گونه‌ای طراحی شده است که با توده های شن اطراف ترکیب گردیده تا حداقل تغییر در توده های شن در زمان ساخت را داشته باشد.



تصویر ۲۶-۹ : کابین‌های جنگلی کلدی کاستل، مقطع آکزونومتری.



تصویر ۲۷-۹ : خانه مسکونی شولیتز، نمای خارجی.

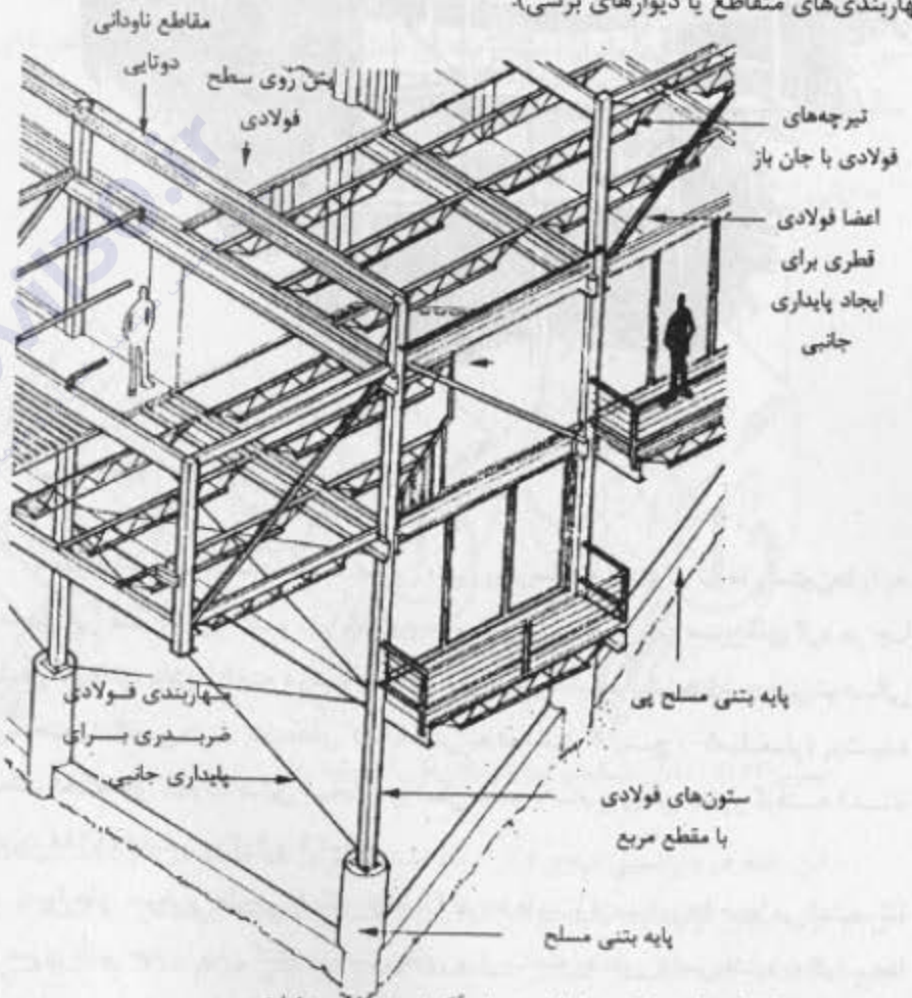
عنصر شاخص ساختمان، یک سرستون بتنی پیش‌ساخته است که تیرها و ستون‌ها را به هم متصل می کند. در تراز کف و تراز بام، این سرستون برای اتصال بین ستون‌های گرد در جا ریخته و تیرهای پیش‌ساخته هزینه زیادی را نیاز دارد. تیرها، الوارهای چوبی توخالی پیش‌ساخته را نگاه‌می دارند. تخته‌های کف با بتنی به ضخامت ۲ اینچ (۵۰میلیمتر) پوشیده شده‌اند، تخته‌های بام با عایق سختی روکش شده و بام روی آن قرار گرفته است (اورتون، ۱۹۸۸) (تصاویر ۳۰-۹ و ۳۱-۹).

دیوارهای غیرباربر خارجی با یک زاویه ۴۵ درجه خود را از ستون‌ها جدا می‌کنند، تا بیان بصری تأثیر خود را بیان کنند. سرستون‌های پیش‌ساخته به طور خاصی اشاره به گوشه‌ها دارند زیرا در چهارطرف برای اتصال به تیرها شیار دار شده‌اند. شیارهای نمایان در گوشه

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

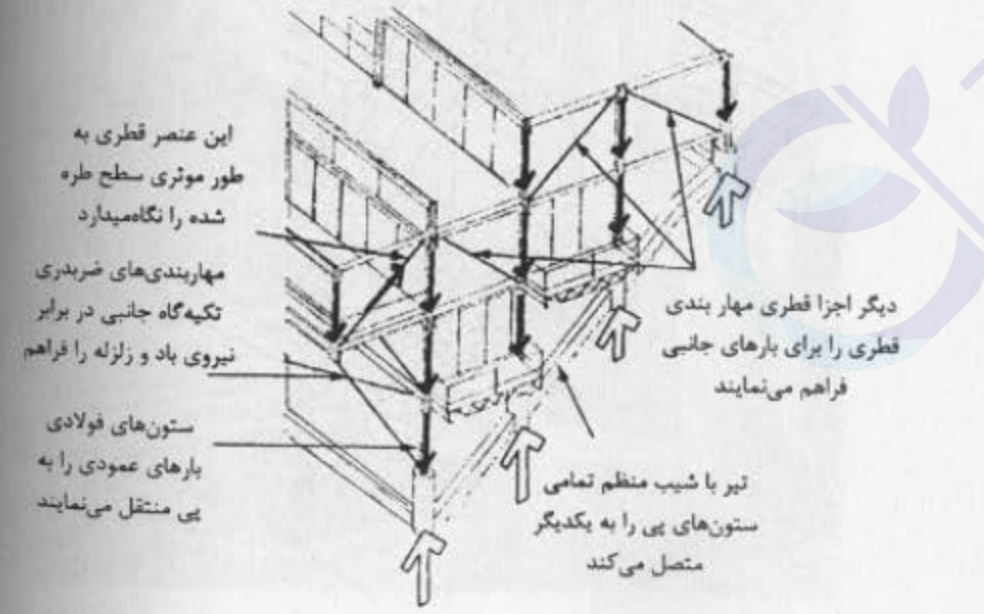
ستون‌ها، مفاصلی هستند که چگونگی اتصالات سازه را بیان می‌کنند. به علت طره شدن ستون‌ها از زمین، اتصالات تیر در تراز کف و تراز بام مانند اتصالات مفصلی عمل می‌نمایند. اگر ارتفاع ساختمان بیشتر شود، تکیه‌گاه جانبی اضافی مورد نیاز خواهد بود (به وسیله مهاربندی‌های متقاطع یا دیوارهای برشی).



تصویر ۲۸-۹ :خانه مسکونی شولیتز، برش آکسونومتریک و جزئیات.

تالار شهر بوستون(Boston City Hall)

برندهٔ مسابقهٔ طراحی تالار شهر بوستون که تمامی معماران مشهور از سراسر دنیا را به سوی خود جلب کرد، (۱۹۶۹: بوستون، مهندس معمار: کالمان، مک کنیل و نولز، مهندس سازه: میسوری و همکاران) و به تغییر تمایل انتقال منابع شهری به بیرون شهرها به نحو موثری کمک کرد. به علت اهمیت این ساختمان به عنوان یک مقر حکومتی در یک شهر بزرگ، ایجاب می‌کرد که طرح برنده یک معماری کامل و بی عیب و نقص باشد و نه صرفاً یک تمرین ماهرانه در طراحی، به کارگیری فن‌آوری و یا طراحی معماری شگفت‌انگیز و موثر. هدف اصلی از طرح این ساختمان ایجاد یک بنای یادبود شهری و نشانه‌ای از حیات و انرژی در شهر بوده است (اورتون ۱۹۸۸، ناشر ۱۹۶۹) (تصاویر ۳۲-۹ تا ۳۴-۹).

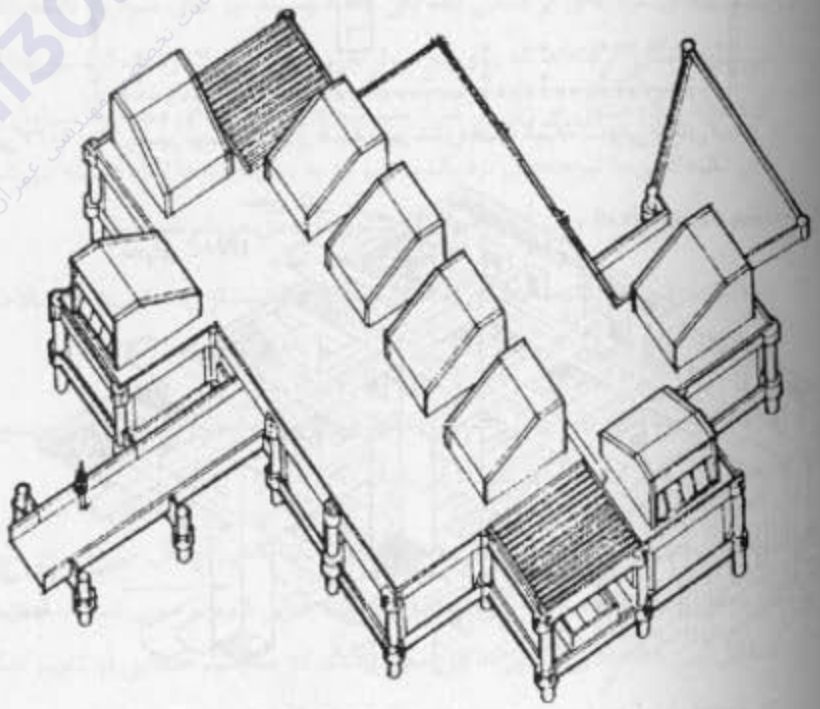


تصویر ۲۹-۹ : خانه مسکونی شولیتز، نمودار مسیر بارگذاری.

http://telegram.me/uadesigngroup

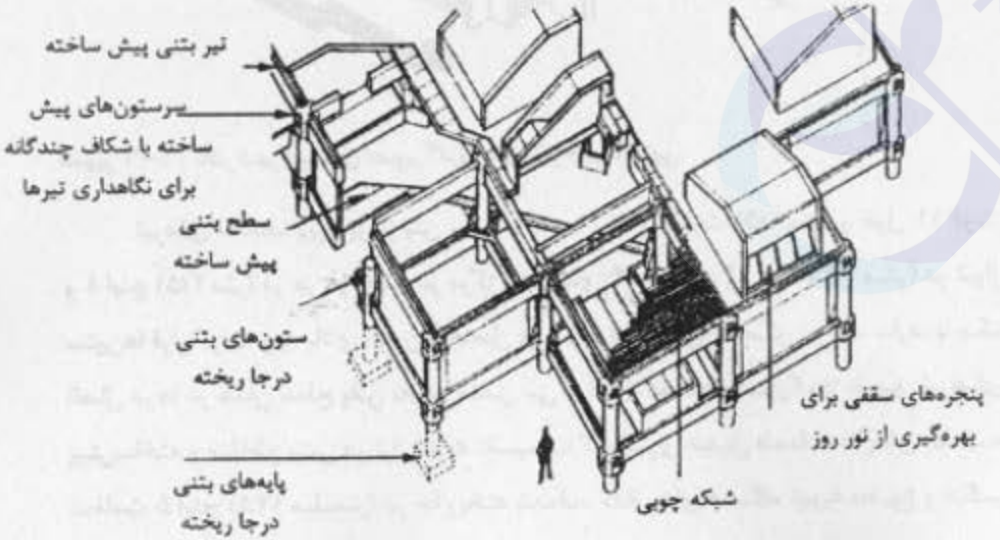
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

ساختمان در یک زمین بزرگ و آجرفرش که از ساختمان‌های مجاور به منظور دیده شدن از فواصل دور ، فاصله گرفته است و فضای پیاده‌رو وسیعی را در دو ورودی اصلی در شمال و غرب فراهم کرده، طراحی شده است. مدخل دو ورودی به راهروهای بیشماری منتهی می‌شود که به وسیلهٔ پله‌های عظیم وپله‌های برقی به هم ارتباط دارند. به علاوه فضای بازی که از طریق پله‌های بیرونی غربی از پلازا به طبقهٔ چهارم می رسد، ساختمان را برای عموم قابل دسترسی تر می نماید. این فضا همچنین برای جدا کردن دفاتر طبقات بالا از فضای عمومی‌ترطبقات پایین به کار می رود.



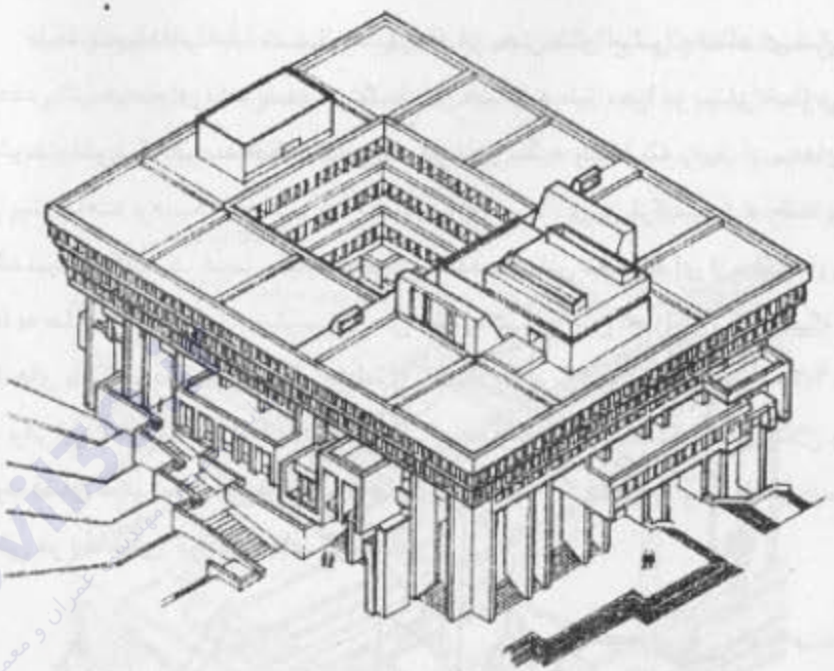
تصویر ۹-۳۰ : حمام ساحل غربی ، جزئیات آکزونومتری.

طبقهٔ پنجم دفاتر اعضا شورای شهر، دفاتر بخش‌های اصلی و فضاهای نمایشگاه و کتابخانه را در خود جای داده است. هر یک از این فضاها به طور مجزا در نمای خارجی دیده می شوند. دفاتری که در سه طبقه بالایی قرار دارند در نما به وسیلهٔ سه ردیف از پره‌های پله‌ای بتنی پیش‌ساخته نزدیک به هم که با کتیبه‌ای در بالای آن ترکیب شده اند پوشانده شده‌اند.سیستم کف یک عنصر یکپارچه طراحی شده بر اساس مجموعه ای از ستون‌های بتنی در جا به ضلع ۳۲ اینچ (۸۱۰ میلیمتر) می باشد، تمامی این اجزا در یک شبکه تارتان (دهانه‌های باریک و دهانه‌های بزرگ متناوب) با فضایی برابر ۱۴ فوت و ۱۴ اینچ (۴/۳۷ متر) و یا دو برابر این اندازه قرار گرفته‌اند. این فضا برای سازماندهی به عملکردهای پلان به کار می‌رود، فضای فعالیت‌ها و اتاق‌ها در دهانه‌های بزرگتر قرار گرفته اند و فضاهای خدماتی و ارتباطی در دهانه‌های کوچکتر جای گرفته‌اند.



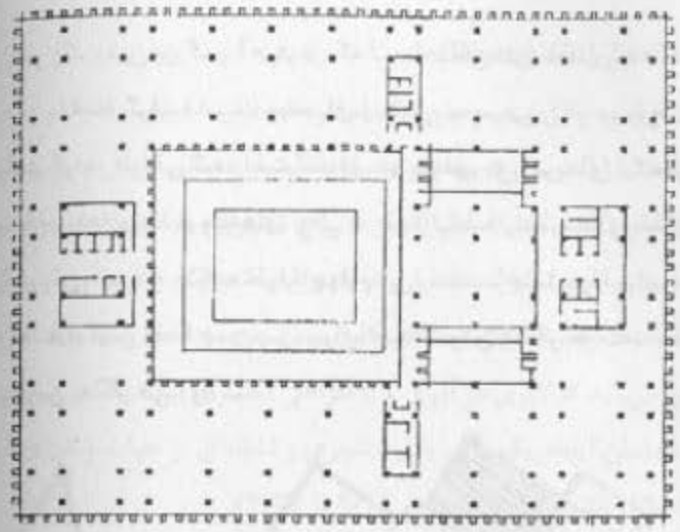
تصویر ۹-۳۱ : حمام ساحل غربی، جزئیات آکزونومتری.

http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۳۲-۹ : تالار شهر بوستون، تصویر آکزونومتری از جنوب غربی.

تیرهای مضاعف ویرندیل از بتن پیش‌ساخته با ارتفاع ۵ فوت (۱/۵ متر) و طول ۱۱ فوت و ۸ اینچ (۳/۵ متر) در هر دو جهت در مرکز دهانه‌های ۱۴ فوت و ۴ اینچ (۴/۳۷ متر) در تراز ستون‌ها قرار گرفته و به بالای ستون‌ها متصل می‌شوند (در جایی که ستون وجود ندارد، با یک اتصال درجا در همان سطح پلان به هم متصل می گردند). دهانه‌های بزرگ از طریق تیرهای پیش‌ساخته و متقاطع بتنی در تراز بام به تقسیمات کوچکتری تبدیل شده‌اند. دال‌های کف به ضخامت ۵ اینچ (۱۲۵ میلیمتر) در جا ریخته شده‌اند. کانال های دستگاه تهویهٔ مطبوع و دیگر کانال‌های خدماتی از درون تیرهای ویرندیل پیش ساخته عبور می‌کنند. بارهای وزن به صورت افقی به وسیله شبکه تیرهایی که هر دو جهت را می پوشانند، انتقال می‌یابند.



تصویر ۳۳-۹ : تالار شهر بوستون، پلان طبقهٔ نهم نشان‌دهندهٔ شبکهٔ ستونی تارتان است.

تصویر ۳۴-۹ : تالار شهر بوستون، جزئیات آکزونومتری داخلی نشان‌دهندهٔ سازهٔ کف است.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

خلاصه مطالب

۱- قاب‌ها، بارها را به صورت افقی (از طریق تیرها) به ستون‌ها و ستون‌ها، نیروها را به صورت عمودی (به پی) منتقل می کنند.

۲- سیستم های راست‌گوشه به وسیله تعداد لایه‌ها (سطوح) از اعضای افقی در سیستم تقسیم بندی می‌شوند. سیستم‌های تک لایه‌ای معمولاً از ترکیب دال یکطرفه که دهانه بین دو دیوار باربر موازی را می‌پوشانند تشکیل شده اند. سیستم‌های دولایه‌ای بر اساس یک دال که به وسیله تیر های موازی نگاه داشته می‌شوند شکل گرفته‌اند که روی دو دیوار باربر موازی یا یک ردیف از ستون‌ها قرار گرفته‌اند (یک ستون در زیر هر تیر). سیستم های سه‌لایه ای معمولاً شامل یک دال تکیه‌گاهی با تیرچه‌های نزدیک به هم که به وسیله تیرها نگاه داشته می‌شوند (عمود بر تیرچه‌ها) و در آخر به وسیله ستون‌ها حمل می‌شوند، است.

۳- پایداری جانبی در قاب‌ها ممکن است به وسیلهٔ مثلث‌سازی، صلبیت اتصالات یا دیوارهای باربر تأمین گردد.

۴- یک دهانه، تقسیم داخلی از قاب‌های تکراری که به وسیلهٔ فضای بین ستون‌ها (دیوارهای باربر) تعریف می‌شوند، می‌باشد.

۵- یک قاب صلب، گشتاور را از تیر به ستون‌های تکیه‌گاهی منتقل می‌کند، در نتیجه در ستون‌ها در مقاومت خمشی (و تغییر شکل) با تیر شریک می شوند. این اثر متقابل بین دهانه‌های مجاور به این معنی است که مقاومت خمشی (و تغییر شکل) در نتیجه بار وارده در بین چند دهانه تقسیم می‌شود.

۶- روش قاب بالن، یک سیستم سازه‌ای ابتدایی از قاب سبک چوبی است که در آن پایه‌های چوبی از پی تا سقف به طور ممتد ادامه دارند.

۷- قاب مسطح، نوع پیشرفته روش قاب بالن است که هر طبقه به صورت یک لایهٔ مجزا ساخته شده است، با کفی که به عنوان سطحی برای ساخت دیوارهایی که در محل به صورت کج قرار گرفته‌اند به کار می‌رود.

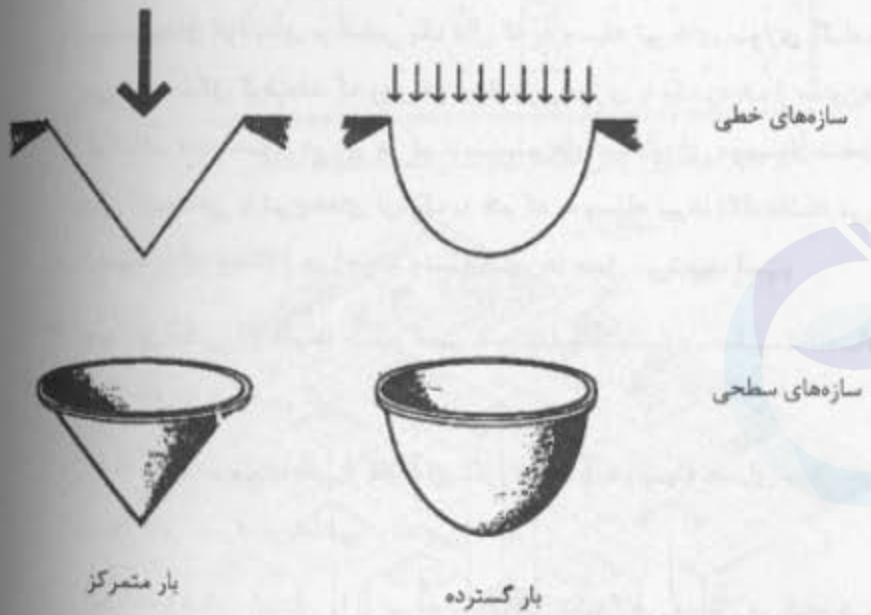
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

بخش چهارم

سیستم‌های کششی

سازه‌های با فرم منحنی طنابی (شناخته‌شده با عنوان فرم‌های فعال) سازه‌هایی هستند که در برابر بارهای وارده از شکل و ترکیبی استفاده می‌کنند که تنش‌های داخلی حاصله فقط به صورت فشار و کشش مستقیم باشد. کابلی را در نظر بگیرید که بین دو تکیه‌گاه کشیده شده و باری را تحمل می‌کند. کابل تحت باری که از پایین وارد می‌شود شکل V به خود می‌گیرد و فقط تحت کشش واقع می‌شود. اگر بار دیگری به آن اضافه شود شکل بارگذاری تغییر کرده و به صورت سه بخش که هریک قسمتی از بار را تحمل می‌کنند تقسیم می‌شود. بارهای اضافی دیگر تعداد تقسیمات را افزایش داده تا به فرم منحنی کامل که عمل توزیع را به عهده دارد تبدیل شود. در هر حالت کابل فقط تحت کشش است (تصویر ۱-۴).



تصویرشماره ۱- فصل چهارم: سازه‌های معلق با فرم منحنی طنابی.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

فصل ۱۰

سازه‌های کابلی

بهترین مهندس در دنیای حیوانات عنکبوت است، تار عنکبوت مانند آب لطیف و همچون درخت قابل انعطاف است و سازه‌ای شگفت انگیز است که تمامی مهارت‌ها در آن به کار رفته است.

"هورست برگر"

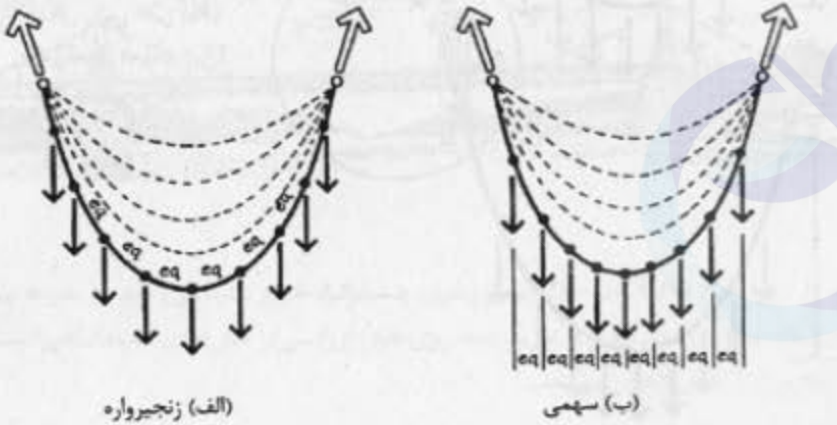
کابل‌های با فرم منحنی طنابی

زنجیروار، فرمی از منحنی طنابی برای یک کابل بدون بارگذاری است که تحت تاثیر وزن کابل (وفقط وزن کابل) ایجاد می‌شود (باری که به طور یکنواخت در طول کابل وارد می‌شود). سهمی فرمی از منحنی طنابی یک کابل معلق با بارگذاری یکنواخت در طول افقی دهانه صرف نظر از وزن کابل می‌باشد. در جایی که نسبت دهانه به خیز بیشتر از ۵ است، هر دو فرم به طور نزدیکی یکسان و شبیه هستند و با محاسبات سادهٔ ریاضی می توان به تعیین فرم و تحلیل آنها پرداخت (تصویر ۱-۱۰).

در عمل (ودر این کتاب)، عبارت زنجیروار (Catenary) برای هر عضو معلق منحنی شکل که در طول آن بارگذاری شده صرف نظر از نحوهٔ توزیع بارها به کار می‌رود. برای مثال، کابل‌های اصلی یک پل معلق از نوع کابل‌های زنجیروار هستند. گرچه شکل منحنی آنها نزدیک به یک سهمی است.

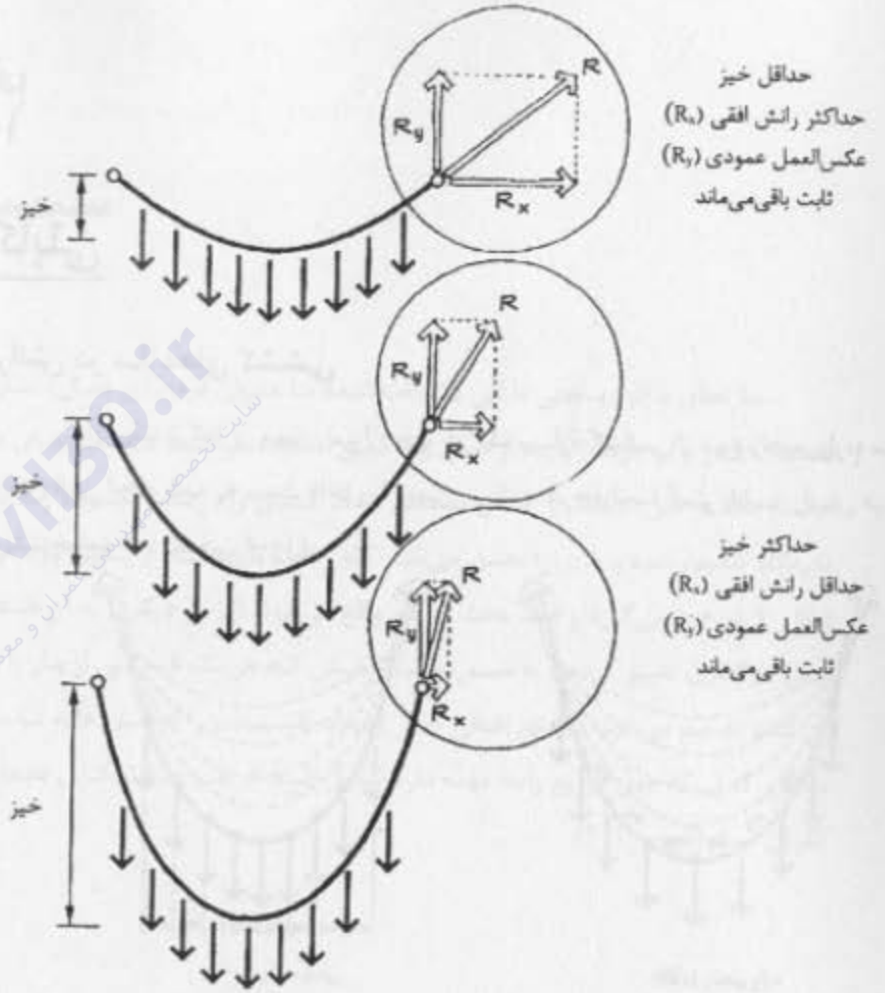
رانش در سازه‌های کششی

برای یک بارگذاری معین، میزان خیز در یک سازه کششی از نوع زنجیرواره، مقدار رانش افقی ایجاد شده به سمت داخل را تعیین می‌کند، هرچه انحنا کمتر باشد رانش درونی بیشترخواهد شد (تصویر ۲-۱۰).



تصویر ۱-۱۰ :فرم منحنی‌های طنابی برای بارهای گسترده برروی کابل‌های معلق: (الف) زنجیرواره برای بارهایی که در طول منحنی کابل یکنواخت هستند و (ب) سهمی برای بارهایی که به صورت یکنواخت در یک دهانهٔ افقی وارد می‌شوند در جایی که نسبت دهانه به خیز در آنها از ۵ بیشتر است، شکل آن با حالت قبل یکسان می‌باشد.

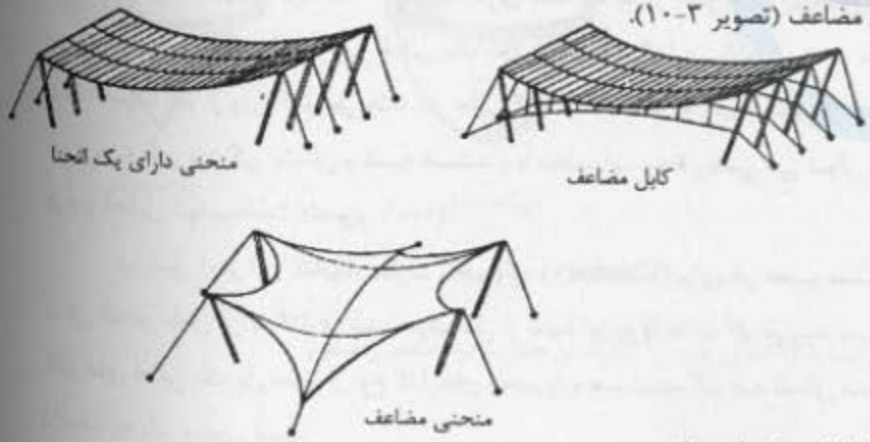
http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۳-۱۰ : عکس‌العمل های رانشی و فشاری نسبت عکس با عمق میزان خیز کابل دارد.

سازه‌های کابل‌های زنجیرواره قابلیت پوشاندن دهانه‌های متنوعی را دارند. در دهانه‌ها و شرایط بارگذاری معمولی، نسبت خیز به دهانه یکی از مسائل مهم در طراحی اولیهٔ سازه است. نیروهای وارد بر کابل، طول و قطر آن کاملاً به این نسبت بستگی دارند. این نسبت ارتفاع ستون‌های اصلی، نیروهای فشاری و میانگین مقاومت داخلی فشاری که در کابل به وجود می‌آید را نیز تعیین می کند.

معمولاً نیروهای کابلی نسبت عکس با خیز دارند، به عبارت دیگر، با کاهش طول کابل، قطر آن باید افزایش یابد. این مسأله در به حداقل رساندن مجموع فولاد به کار رفته در کابل مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک کابل کوتاه با حداقل خیز، به علت وجود نیروهای کششی بسیار بزرگ به قطر زیادی نیاز دارد. برعکس این حالت، یک کابل با خیز بسیار زیاد می تواند قطر کوچکی برای تحمل نیروهای کششی کم داشته باشد که کاملاً طولی عمل می کند. برای بار متمرکز که در وسط دهانه وارد می‌شود، خیز مناسب در حدود ۵۰ درصد طول دهانه است، برای بار یکنواخت روی یک کابل سهمی‌شکل، خیز مناسب تقریباً ۳۳ در صد طول دهانه می‌باشد. گرچه در عمل، دیگر عوامل فنی (ارتفاع مفید خیز و محل تکیه‌گاه عمودی) این نسبت را به طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می دهد. در بیشتر کابل‌هایی که در سازهٔ سقف ساختمان‌ها به کار می روند، نسبت ارتفاع به دهانه ۱:۸ تا ۱:۱۰ است. سازه‌های معلق با فرم منحنی طنابی به سه بخش تقسیم می شوند: منحنی دارای یک انحنا، کابل‌های مضاعف و منحنی‌های مضاعف (تصویر ۳-۱۰).



تصویر ۳-۱۰ : انواع سازه‌های معلق.

http://telegram.me/uadesigngroup

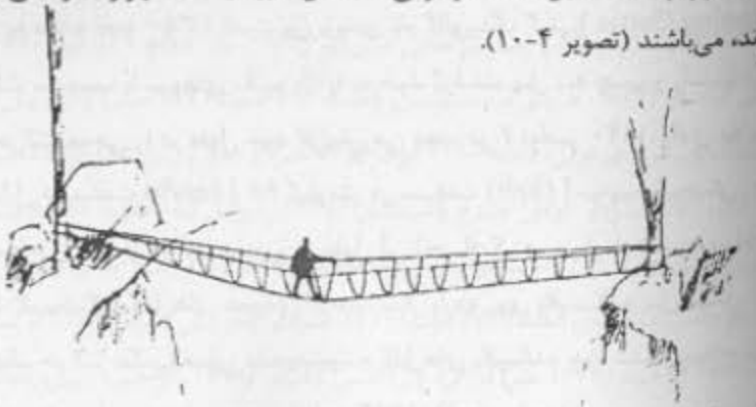
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

سازه‌هایی با یک انحنا

سازه‌های با یک انحنا عبارتند از دو یا چند کابل زنجیرواره موازی که بین تکیه‌گاه‌های اصلی کشیده شده‌اند. آنها ممکن است یک سطح را به صورت مستقیم (منتج از سقف منحنی) یا به صورت غیرمستقیم (استفاده از کابل‌های عمودی ثانویه برای نگاه داشتن بام مسطح یا سطح پل) نگاه دارند.

پل‌ها

پل‌های معلق با فرم منحنی طنابی (نمونه‌های اولیهٔ آن در چین، هند و امریکای جنوبی شناسایی شده‌اند) نمونه‌هایی از سازه‌های با یک انحنا می باشند. نمونه‌ای موجود در بخش دورافتاده در هندوستان متشکل از یک طناب بافته‌شده از جنس بامبو است که دهانه‌ای به طول ۶۶۰ فوت (۲۰۰ متر) را می پوشاند. مسافران از حلقه‌ای پایین رفته و از سمت مخالف آن خود را به سمت بالا می‌کشند. در نمونه‌های دیگر از دو طناب بلند به عنوان جان‌پناه استفاده شده است. پل‌های پیشرفته بعدی شامل یک کف و دو سطح جانبی که از تعداد زیادی طناب به هم پیچیده تشکیل شده‌اند و فرمی Uشکل شبیه یک گهواره طولانی را به خود می‌گیرند، می‌باشند (تصویر ۴-۱۰).



تصویر ۴-۱۰ : پل طنابی اولیه.

سطح سخت شده فایندلی(Findley)

مشکل اصلی در یک پل با چنین قابلیت انعطافی آن است که با حرکت مسافران، فرم آن در واکنش به بار متحرک وارده تغییر می‌کند. سطح سخت‌شدهٔ پل که در سال ۱۸۰۱ به وسیله جیمز فایندلی مورد استفاده قرار گرفت، کلید پیشرفت در سیر تکاملی پل‌های معلق است. طول دهانه در اولین پل فایندلی ۲۰۰ فوت (۶۱ متر) می‌باشد که بر روی رودخانه ژاکوب در یونیون تاون پنسیلوانیا ساخته شده است. سطح سخت‌شده از تغییر شکل در زیر بار متحرک با تکیه‌گاهی از جنس زنجیر آهنی به وسیلهٔ توزیع بارها روی یک بخش بزرگ از دهانه ممانعت به عمل می‌آورد (براونBrown، ۱۹۹۳) (تصویر ۵-۱۰).

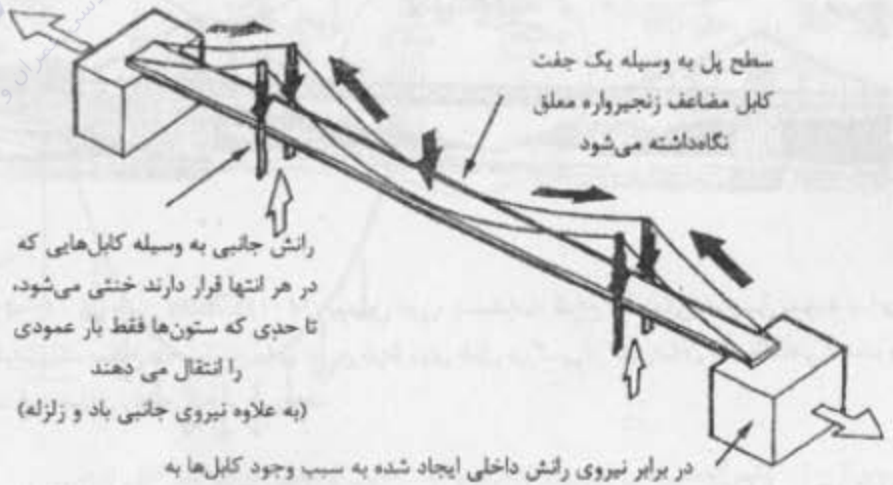
تصویر ۵-۱۰ : پل چین Chain (۱۸۰۱: یونیون تاون، پنسیلوانیا، طراح : فایندلی) اولین نمونه برای یکی کردن یک سطح سخت‌شده برای توزیع بارها روی طول بزرگی از کابل‌های تکیه‌گاهی است و حرکت را به میزان زیادی کاهش می‌دهد.

پل فایندلی از همان هندسهٔ اصلی که در تمام پل‌های معلق بعدی به کار برده شد، استفاده کرد. دو یا چند برج که یک جفت از کابل‌های معلق اصلی را نگاه‌می‌دارند و از آنها هم کابل‌های ثانویه معلق که سطح پل را نگاه می‌دارند آویزان هستند. برای تعادل عکس‌العمل‌های جانبی در بالای برج‌ها، کابل‌های اصلی ادامه یافته و در هر انتها به پشت‌بندهای حجیم بتنی

http://telegram.me/uadesigngroup

متصل شده‌اند . به علاوه به علت نیاز به سختی عمودی (به منظور توزیع بار) سطح پل باید برای مقاومت در برابر تغییر شکل در اثر نیروی باد سختی جانبی داشته باشد (تصویر ۶-۱۰).

پس از اعلام نوآوری فایندلی در سال ۱۸۲۳، پل‌های معلق بسرعت ساخته شدند، که نمونه‌هایی از آن شامل پل منائی استریت توماس تلفورد [۱۸۲۶، ولز، طول دهانه ۳۲۷ فوت (۹۹ متر)]، پل جیمز روبلینگ در سینسیناتی [۱۸۶۶، طول دهانه ۱۰۵۷ فوت (۳۲۲ متر)] ، پل روبلینگ در بروکلین [۱۸۸۳، طول دهانه ۱۲۶۸ فوت (۳۸۶ متر)] می‌باشد. با وجود گیرایی و جذابیت چنین نمونه‌هایی در قرن نوزدهم، دهانه‌های آنها در مقایسه با نمونه‌های ساخته‌شده در قرن بیستم بسیار کوتاه‌تر می‌باشند (تصویر ۷-۱۰).



تصویر ۶-۱۰ : نمودار مسیر بارگذاری در پل معلق.

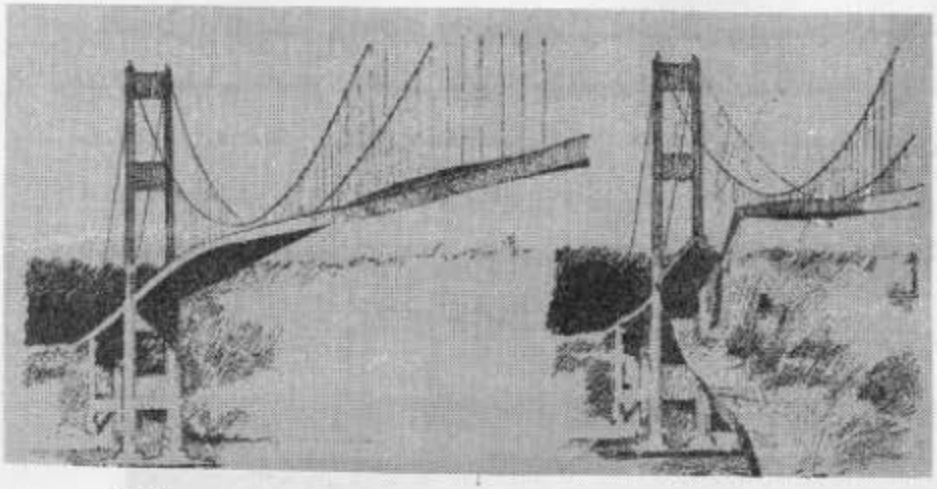
با کم شدن محدودیت‌ها در طراحی، طول دهانه‌ها افزایش یافته و هردو برج تکیه‌گاهی و سطوح پل به میزان قابل‌ملاحظه‌ای سبک‌تر شدند. هنگامی که سازه ابتکاری پل گلدن‌گیت در سال ۱۹۳۷ سطح خرپایی را برای سختی با نسبت ارتفاع به دهانه ۱:۱۶۸ به کار برد، (که هنوز هم نسبت به نمونه‌های قبلی کم ارتفاع‌تر می‌باشد). یک حرکت جانبی موجی غیر قابل انتظار (حتی با وزش بادی ملایم) نیاز به ۴۷۰۰ تن (۴۲۶۲ تن متریک) مهار بندی جانبی اضافی در زیر تمامی طول پل را الزامی نمود. هنوز هم طراحان برای طرح پل‌هایی سبک‌تر تلاش می‌کنند. با هدف رسیدن به سبکی و زیبایی، در پل برونکس – وایت استون (۱۹۳۹، نیویورک، مهندس سازه : امان) نسبت عمق به دهانه تا میزان ۱:۲۰۹ کاهش یافت.

گالوپینگ گرتی(Galloping Gertie)

پل تاکومانرو (۱۹۴۰: تاکوما، واشنگتن، مهندس سازه: ال. موی سیف) به باریک‌ترین سطح پل دست یافت. با وجود آنکه طول دهانه ۲۸۰۰ فوتی (۸۵۳ متر) آن طولانی‌تر از پل برونکس – وایت استون است، ولی برای ترافیک کمتری طراحی شده و فقط دو خط ماشین رو با یک پیاده رو دارد. صفحهٔ تیرآهن سطح پل فقط ۸ فوت (۲/۴ متر) ارتفاع دارد، در نتیجه نسبت ارتفاع به دهانه فقط ۱:۳۵۰ است. پل بزودی نام گالوپینگ گرتی(Galloping Gertie) به علت حرکت متناسب با نیروهای ملایم باد را به خود گرفت. پل به چپ و راست تکان می‌خورد و حرکت موجی را در طول خود افزایش می دهد. در ۷ نوامبر ۱۹۴۰، بادی ملایم با سرعت ۴۲ مایل در ساعت (mi/h) [۶۸ کیلومتر در ساعت (kph)] موجب پیچش جانبی شدیدی در سطح پل شد و حرکت موجی در طول آن ایجاد کرد. حرکت شدید سطح پل بسرعت باعث گسیختگی کابل‌های عمودی گردید، بار وارده روی باقیمانده پل بیش از حد گردید و در یک حرکت عکس‌العملی تشدیدشونده کابل‌های باقیمانده جدا شده و سطح بزرگی از دهانه مرکزی درون آب زیر پل ریخت. (براون،۱۹۹۳) (تصویر ۸-۱۰).

http://telegram.me/uadesigngroup

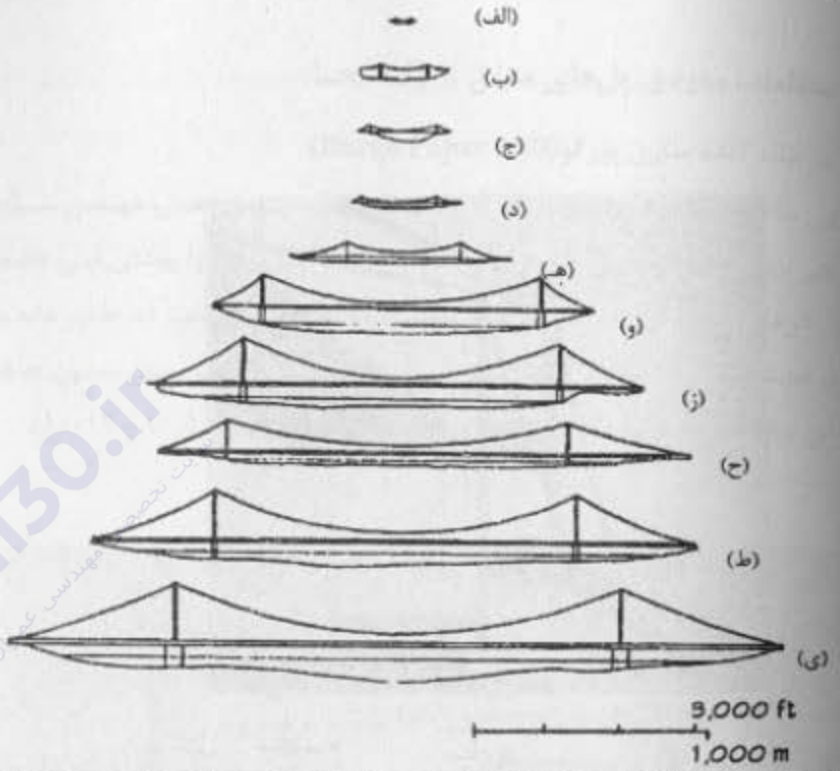
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



(الف) (ب)

تصویر ۸-۱۰ : پل تاکوما نروز : (الف) چند ثانیه قبل از فروریختن، سطح پل حرکت پیچشی را نشان می دهد که (ب) سرانجام باعث ریزش پل گردید.

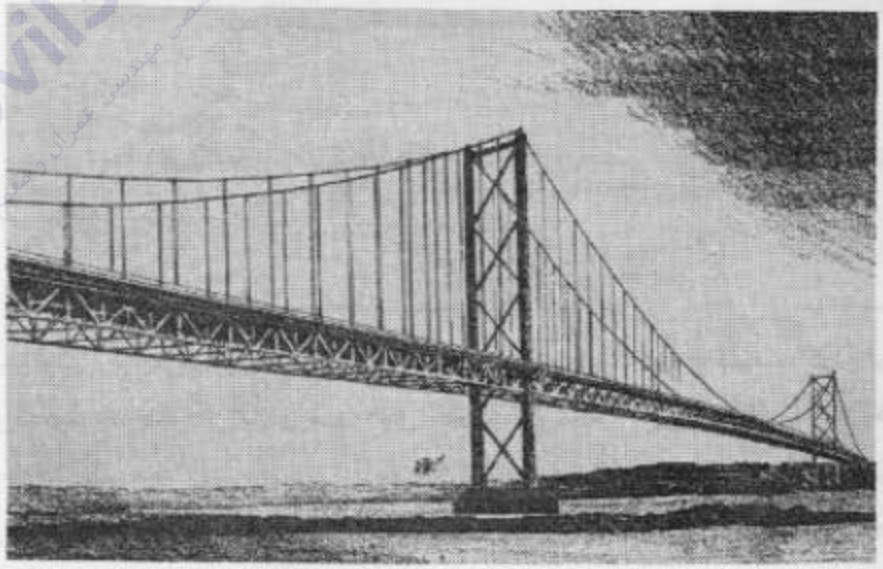
از آنجایی که پل با قابلیت انعطاف محدودی طراحی شده بود، آنچه را که مهندسین در پیش‌بینی آن دچار اشتباه شدند، لرزش آئرودینامیکی پل بود که سرانجام باعث ریختن آن شد. در شرایطی که سطح پل دارای تغییر شکل جانبی بود و تمایل به پیچش افقی داشت،سطح پل با حرکتی شبیه بالا رفتن بال پرندگان بالا و پایین می رفت تا آنکه سطح پل شروع به پیچش در جهت عکس نمود و سبب فروریختن آن در آب گردید. به دلیل همراه شدن با حرکت عمودی (و پیچشی) که به طور چشمگیری افزایش یافته است، آزمایش تونل باد مشخص کرد که وضعیت تیرآهن‌های اصلی پل سبب افزایش تأثیر نیروهای آئرودینامیکی (در مقایسه با خرپاهای باز که جریان باد را به جریان‌های کوچکتری تقسیم می کند) گردیده است.



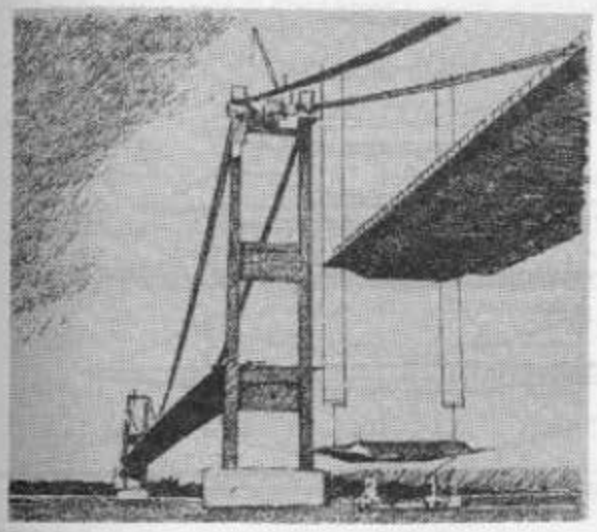
تصویر ۷-۱۰ : سیر تکاملی افزایش دهانه‌ها در پل‌های معلق: (الف) پل زنجیرواره جیمز فایندلی [۱۹۱۱، دهانه ۲۱ فوت (۶۱ متر)]، (ب) پل منائی استریت [۱۸۶۲، ولز، دهانه ۵۷۹ فوت (۱۷۶ متر)]، (ج) پل معلق گراندپو [۱۸۳۴، فرانسه، سوئیس، دهانه ۸۹۶ فوت (۲۷۳ متر)]، (د) پل ویلینگ [۱۸۴۹، ویلینگ،ویرجینیای غربی، دهانه ۱۰۱۰ فوت (۳۰۸ متر)]، (هـ) پل بروکلین [۱۸۸۳، بروکلین دهانه۱۲۶۸ فوت (۳۸۶ متر)]، (و)پل جرج واشنگتن [۱۹۳۱، نیویورک، دهانه۳۵۰۰ فوت (۱۰۶۷ متر)]، (ز)پل گلدن گیت [۱۹۳۷، سانفرانسیسکو، دهانه۴۲۰۰ فوت (۱۲۸۰ متر)]، (ح) پل هامبر [۱۹۸۱، خلیج هامبر، انگلستان، دهانه۴۶۲۴ فوت (۱۴۱۰ متر)]، (ط) پل شرقی [۱۹۹۷، اسپروگو، دانمارک، دهانه۵۳۲۸ فوت (۱۶۲۴ متر)]، (ی) پل آکاشی کایکو [۱۹۹۸، آواجی، ژاپن، دهانه۶۵۲۹ فوت (۱۹۹۰ متر)].

http://telegram.me/uadesigngroup

پس از فروریختن پل تاکومانروز، رفتار آئرودینـامیکی بـرای طراحـان پل‌هـای معلـق در سراسر جهان مورد توجه قرار گرفت. بعضی از مهندسین قصد داشته‌اند با استفاده از خـرپاهـای باز لرزش آئرودینامیکی را کاهش دهند (تصویر ۹-۱۰)، در حـالی کـه بقیـهٔ مهندسـین امـروزه استفاده از آزمایش تونل باد در طراحی سطح پل برای رسیدن به نیروی رو به پـایین و کـاهش گرداب های تولیدی نوسانی شدید راترجیح می دهند. نتیجهٔ آن ساختمانی است که ۵۰ درصد سبک‌تر از طرح‌های مشابه امریکایی آن می‌باشد (تصویر ۱۰-۱۰).



تصویر ۹-۱۰ : پل فورث رود [۱۹۶۴، اسکاتلند، طول دهانه ۳۳۰۰ فـوت (۱۰۰۶ متر)]: استفاده از خرپاهای آزاد برای به حداقل رساندن حرکت پل.



تصویر ۱۰-۱۰ : پل سورن ریور (۱۹۶۶: انگلستان، مهندس سازه: فرایمان، فاکس و همکـاران) از فرم تونل هوا و صفحه نازک برای رسیدن به ایستایی آئرودینامیک استفاده کـرده اسـت. نسـبت ارتفاع به دهانه ۱:۳۲۴ است، مشابه دهانه پل فروریخته تاکوما(۱:۳۵۰). (الف) سـازه نشـان‌دهندهٔ مقطـع صفحه بلند شده است. (ب) مقطع از درون صفحه که ۱۰ فوت (۳ متر)ارتفاع در مرکز دارد.

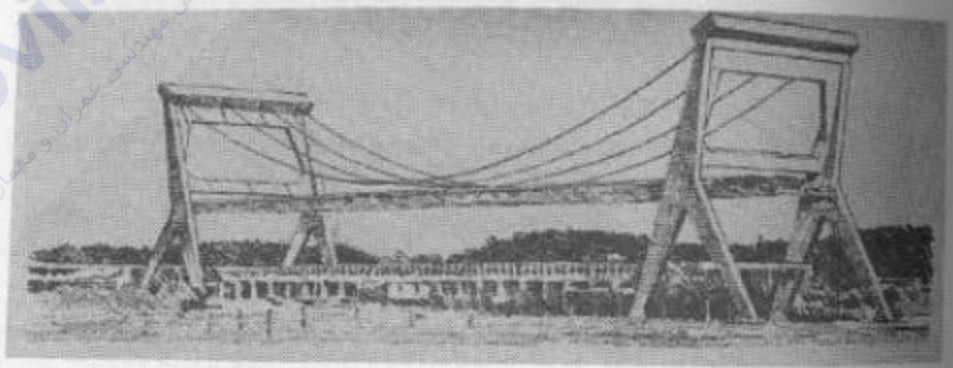
http://telegram.me/uadesigngroup

درک رفتار سازه‌ها با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

مطالعات موردی پل‌های معلق با یک انحنا

کارخانه کاغذ سازی بورگو(Burgo Paper Mill)

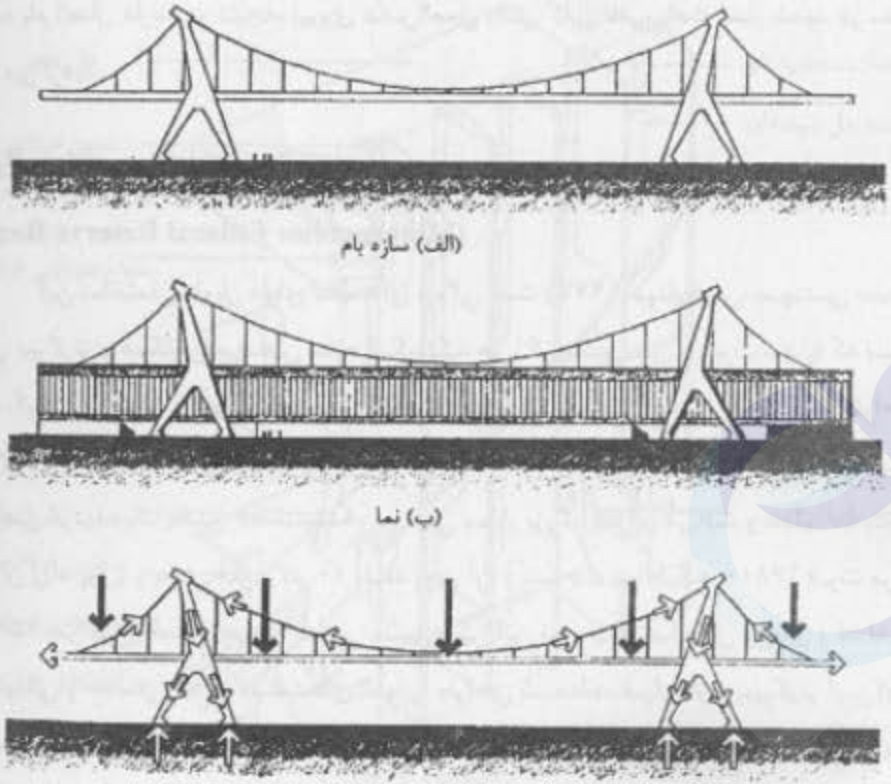
این ساختمان با سقفی شبیه پل (۱۹۶۲: مانتوا، ایتالیا، مهندس معمارو مهندس سازه : پیر لوئیجی نروی) سطحی معادل ۸۶ هزار فوت مربع (۷۹۹۲ متر مربع) را پوشش می دهد و به عنوان کارخانI کاغذسازی استفاده می‌شود. پوشش دهانه در جهت بلندتر (به طور معمول نسبت به جهت کوتاه‌تر اقتصادی‌تر است) برای ایجاد فضایی مرکزی و بدون ستون جهت توسعهٔ آتی برای خطوط تولید اضافی در نظر گرفته شده است (تصاویر ۱۱-۱۰ و ۱۲-۱۰).



تصویر ۱۱-۱۰ : سقف معلق کارخانه کاغذ بورگو هنگام ساخت.

طول دهانهٔ مرکزی این ساختمان ۵۳۵ فوت (۱۶۳ متر) است که از چهار کابل اصلی معلق با کابل‌های ثانویه عمودی که سطح صاف فولادی بام را در زیر را نگاه می دارند، تشکیل شده است. در هر یک از آنها یک طره به طول ۱۴۰فوت (۴۳ متر) طراحی شده است.

از بار مردهٔ سطح بام برای خنثی کردن نیروهای رو به بالای باد استفاده شده است. تکیه‌گاه‌های بتنی با قاب صلب پایداری جانبی مورد نیاز را عمود بر دهانه اصلی فراهم می‌کنند. تمامی سازه اصلی روی چهار ستون بتنی به ارتفاع ۱۶۴ فوت (۵۰ متر) نگاه داشته شده است.



(الف) سازه بام

(ب) نما

(ج) نمودار مسیر بارگذاری

تصویر ۱۲-۱۰ : کارخانهٔ کاغذسازی بورگو، (الف) مقطع سازهٔ سقف، (ب) نما و (ج) نمودار مسیر بارگذاری.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

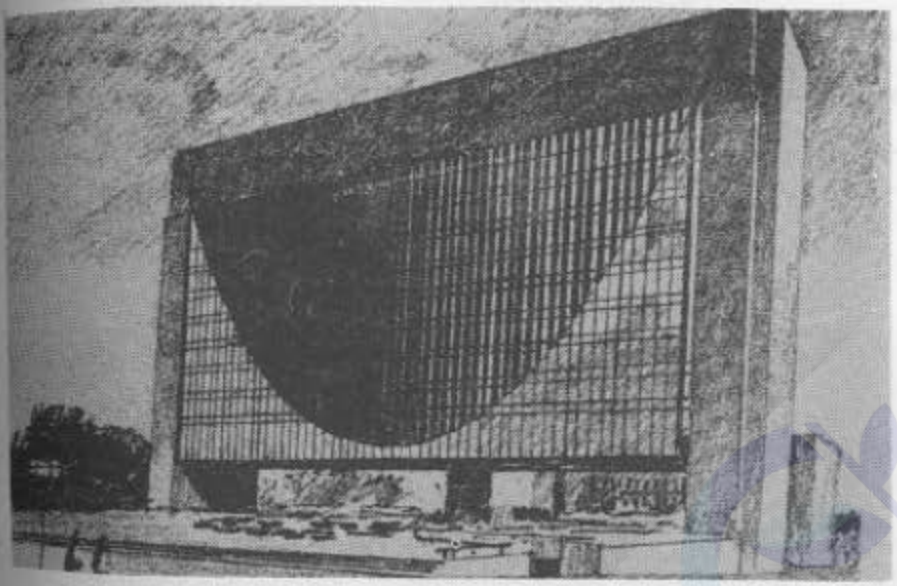
با وجود آنکه رفتار سازهٔ کابلی در پل‌های معلق یکسان است ولی رفتار عکس‌العمل فشاری آنها که در هر دو انتها حل شده است، متفاوت می‌باشد. کابل‌های پل در هر انتها با پایه‌های حجیم بتنی برای مقاومت در برابر نیروی رانش داخلی به زمین محکم شده اند. کابل‌های سقف کارخانه کاغذسازی بورگو به زمین متصل نمی‌باشند ولی به دو سر سطح طره شده بام اتصال دارند. در نتیجه، نیروی عکس‌العمل رانش کابل افقی باعث فشار شدید در سطح بام می‌گردید.

فدرال ریزرو-میناپولیس

(Minneapolice Federal Reserve Bank)

این ساختمان طویل دارای دهانه‌های بزرگی است (۱۹۷۳: میناپولیس، مهندس معمار: جی. بیرکرتز و همکاران، مهندس سازه: اسکیلنگ، هل، کریستین سن و رابرت سون) که برای آزاد کردن زیر میدان عمومی شهری از انسداد و حذف ستون‌هایی که امکان تداخل با طراحی بخش زیرزمینی ساختمان در زیر میدان مذکور را داشتند، طراحی شد. ساختمان در دو بخش طراحی گردید: یک بخش حفاظت‌شدهٔ زیرزمینی بسیار بزرگ (برای دریافت و عملیات بانکی میزان زیاد پول) و بخش اداری در ۱۰ طبقه روی آن [مساحت هر طبقه ۱۶۸۰۰ فوت مربع (۱۵۶۰ متر مربع) است]. میدان عمومی وسیعی بین این دو بخش با هال ورودی و فضاهای پشتیبانی و خدماتی که در قسمت‌های انتهایی طراحی شده‌اند، قرار دارد. بیرکرتز این‌گونه توضیح می دهد :" از یک سو مبهم بودن و امنیت ساختمان مد نظر بوده و از طرف دیگر شفافیت و گویا بودن آن" (مک‌کوی،۱۹۷۳) (تصاویر ۱۳-۱۰ تا ۱۶-۱۰).

این ساختمان بیشتر به علت پوشاندن دهانهٔ ۲۷۰ فوتی (۸۲/۳ متر) در طول میدان عمومی با استفاده از سازهٔ معلق بخش اداری مورد توجه قرار گرفته است. دو برج خدماتی در دو انتهای ساختمان (شامل : پلکان، سرویس های بهداشتی، آسانسورهای خدماتی و فضاهای تاسیساتی) کل تکیه‌گاه‌های عمودی و پایداری جانبی را برای بخش اداری تأمین می‌کنند. هریک از این برج‌ها با نمایی از جنس سنگ گرانیت، سازه‌ای برشی به شکل H از جنس بتن مسلح دارند که به طور عمودی از سطح زمین طره شده‌اند.



تصویر ۱۳-۱۰ : ساختمان بانک فدرال ریزرو، نمای خارجی.

دو سازهٔ زنجیرواره معلق اصلی (به علت بار یکنواخت افقی که بر آنها وارد می‌شود بیشتر به شکل سهمی نزدیک هستند) متشکل از صفحه فولادی جوش داده شده که به طور متوسط ۳ فوت (۰/۹۱ متر) عمق دارد و شامل کابل‌های پس کشیده به قطر ۴۰اینچ (۱۰۰ میلیمتر) است، می‌باشند. ۸ کابل در بالای هر منحنی طنابی وجود دارد که به ترتیب به ۶، ۴ و ۲ عدد کابل در پایین کاهش می‌یابند.

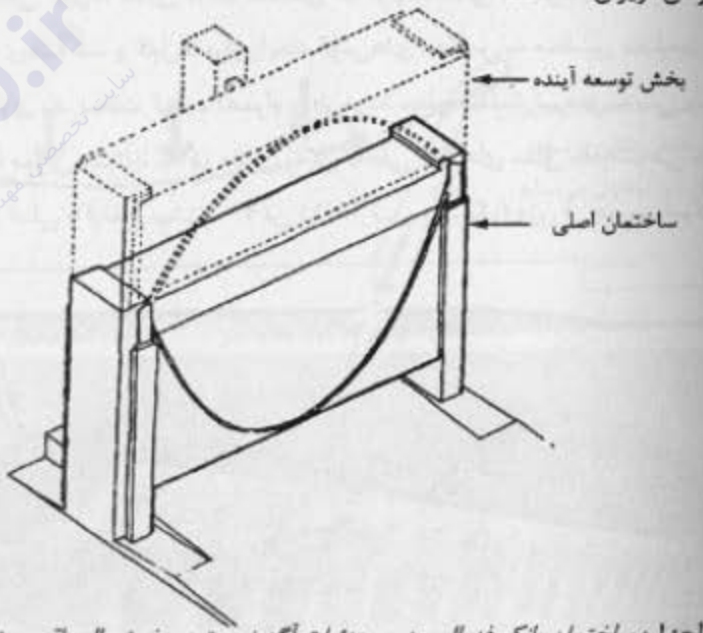
نیروی افقی رانشی درونی در بالای فرم منحنی طنابی به وسیله یک خرپا به شکل جعبه در بالای ساختمان خنثی می گردد. این خرپا ۲۸ فوت (۸/۵ متر) ارتفاع و ۶۰ فوت

http://telegram.me/uadesigngroup

ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

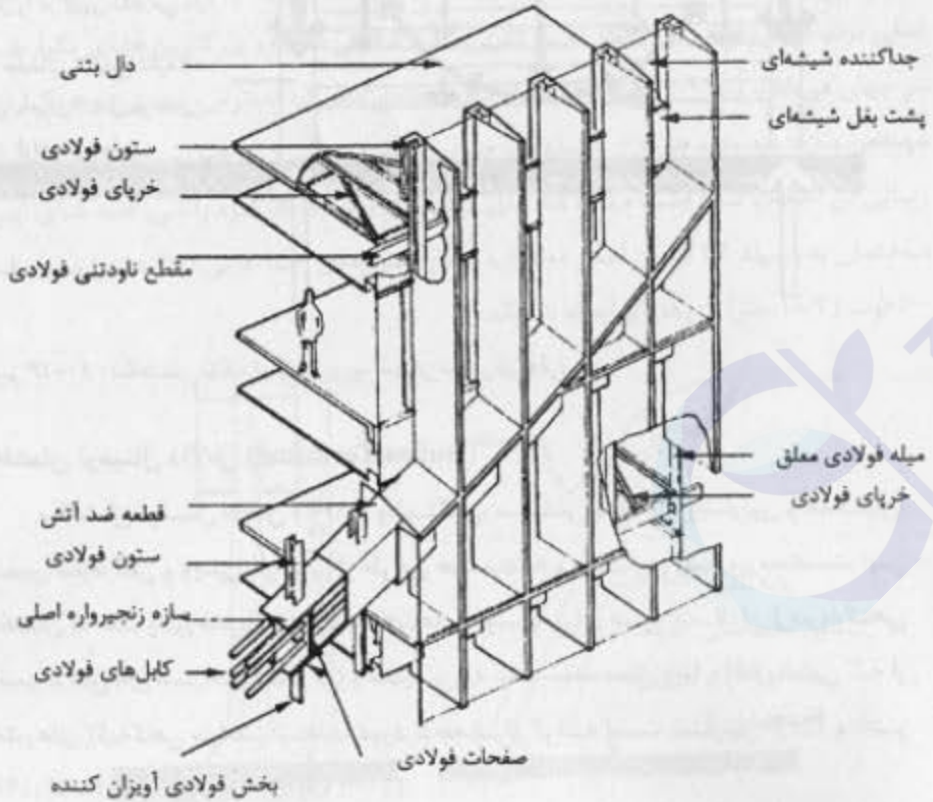
(۱۸/۳ متر) عرض و ۲۷۰ فوت (۸۲/۳ متر) طول دارد. راستای برج‌ها، خرپـا و منحنـی طنـابی روی یک خط در هر انتها با هم تلاقی دارند. اتصال بحرانی این سه عـامل اصلـی در بـالای هـر گوشه از ساختمان یک لنگر فولادی به وزن ۹۲۰تن (۸۵ تن متریک) است.

طبقات بالای فرم منحنی طنابی به وسیله ستون‌هایی نگـاه داشـته مـی شـوند (کـه در بالای فرم منحنی طنابی باقی می‌مانند)، طبقات زیر فرم منحنی طنابی به وسیله مقاطع عرضی فولادی از آن آویزان شده اند.



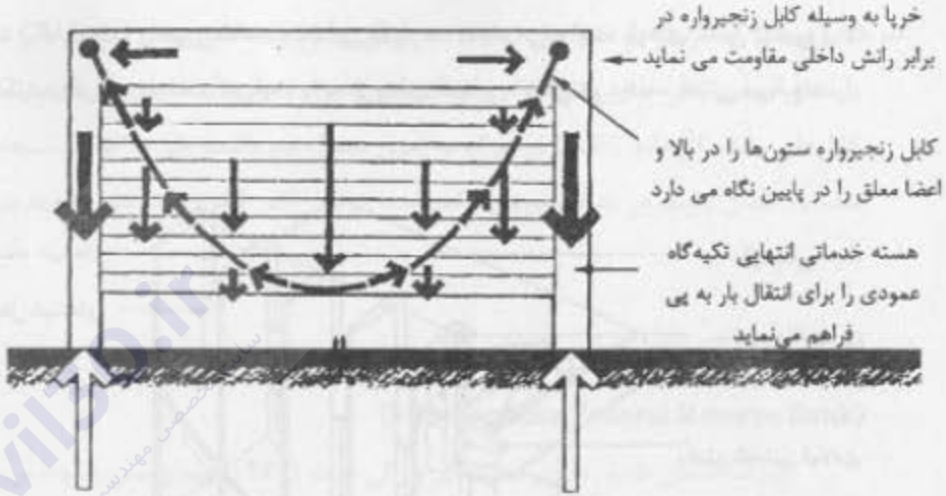
تصویر ۱۴-۱۰ : ساختمان بانک فدرال ریزرو، جزئیات آکزونومتری بخش الحاقی پیشنهادی را به صورت خط‌چین نشان می‌دهد.

برای ایجاد تأثیر بصری ناشی از رفتارهای متفاوت سازه‌ای، شیشه‌ای کـه بـا سـطح زیـر منحنی طنابی در یک تراز قرار دارد و در بخش بالایی عقب‌تر نشسته است، طراحی شده است. کف طبقات متشکل از بتن سبک روی سطح فولادی و خرپاهای فولادی سـبک بـه ارتفـاع ۱۰ فوت (۳ متر) در مرکز است. این خرپاها سرتاسر فضای داخلی بدون ستون دفاتر بـه عـرض ۶۰ فوت (۱۸/۳ متر) را می‌پوشانند و فضایی یکپارچه ایجاد می‌نمایند. بارهای ناشی از نیروی باد بـا عملکرد دیافراگم طبقات که بارها را به برج‌های انتهایی انتقال می‌دهند، خنثی می‌شوند.



تصویر ۱۵-۱۰ : ساختمان فدرال ریزرو، برش ایزومتریک با جزئیات دیوار دفاتر.

http://telegram.me/uadesigngroup



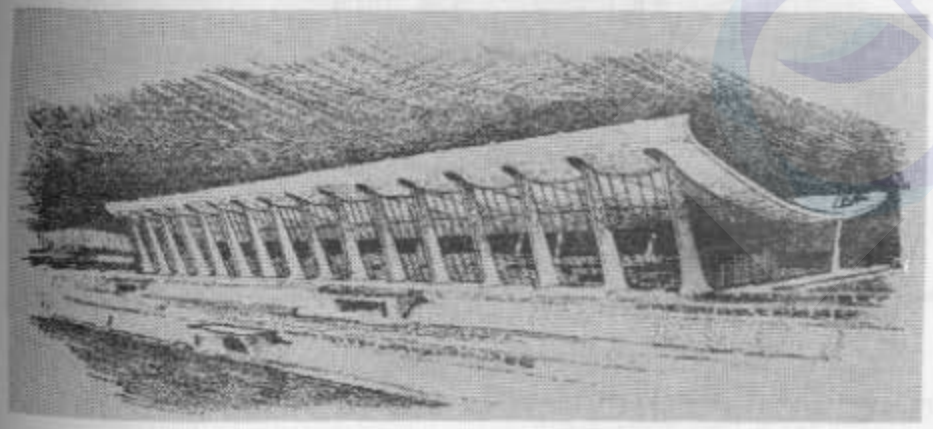
تصویر ۱۶-۱۰ : ساختمان بانک فدرال ریزرو، نمودار مسیر بارگذاری.

ساختمان ترمینال دالاس (Dulles Terminal)

ساختمان ترمینال دالاس (۱۹۶۲: واشنگتن، مهندس معمار: اروسارنین و همکاران، مهندس سازه: امان و ویتنی) ترکیبی از طرحی هوشمندانه و معماری رسا وپرمعناست. این ساختمان به علت پلان فشرده و ایجاد مسافت‌های کوتاه برای عبور مسافران (فرودگاهی مناسب با اتاق‌های استراحت متحرک) و همچنین به علت سقف معلق زیبا و راهروهایی که از شاه‌تیرهای تکیه‌گاهی منشعب شده‌اند، مورد توجه قرار گرفته است (سارنین ۱۹۶۳ و ناشر ۱۹۶۰، ۱۹۶۳) (تصاویر ۱۷-۱۰ تا ۱۹-۱۰).

سقف به وسیلهٔ یک ردیف از تیرهای اصلی بتنی با فواصل ۴۰فوت (۱۲/۲ متر) از یکدیگر نگاه داشته می‌شود. ارتفاع آنها ۶۵ فوت (۱۹/۸ متر) در قسمت دسترسی اصلی و ۴۰ فوت (۱۲/۲ متر) در جهت مخالف آن می‌باشد. این ساختمان شبیه به یک گهوارهٔ معلق در بین درختانی از بتن، متشکل از ستون‌های با فرم منحنی طنابی موازی از جنس کابل فولادی با قطر ۱ اینچ (۲۵ میلیمتر) با فاصله ۱۰ فوت (۳ متر) از یکدیگر و پانل‌های پیش‌ساختهٔ بتنی که بین آنها را پوشانده است، می‌باشد. لبه بیرونی بام از بتن در جا است که به شکل یک تیر انتهایی برای نگاهداری سه ستون از کابل‌های بین تیرها طراحی شده است.

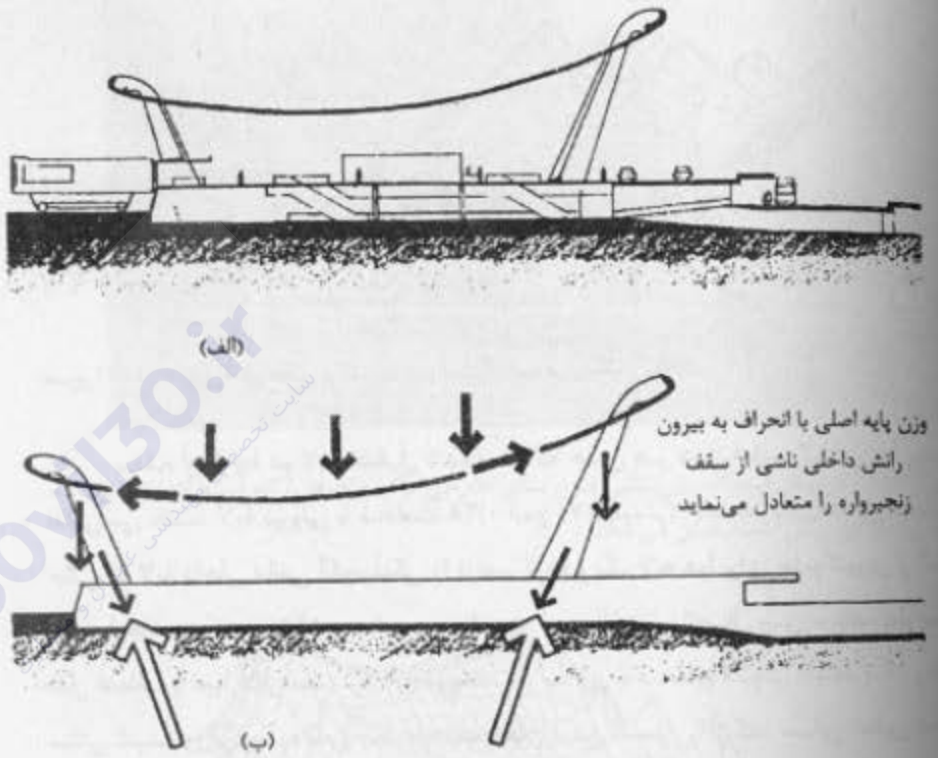
در مدت زمان ساخت، کیسه‌های موقتی شن روی سطح پیش‌ساخته توزیع شده بود تا فرم منحنی طنابی کابل‌ها تأمین گردد. هنگامی که فرم منحنی دلخواه به دست آمد، بتن اطراف کابل‌ها، ریخته شد و کابل‌ها برای ایجاد قوس‌های معکوس به منظور مقاومت در برابر نیروی رو به بالای باد، سخت گردید (همراه با بار مردهٔ سطح سقف). تیرهای بتنی ستون‌های عظیم طره‌شدهٔ موربی هستند که در مقابل رانش داخلی کابل‌های معلق مقاومت می‌نمایند. هر یک از ۱۶ برج اصلی با ارتفاع بیشتر، ۲۰ تن (۱۸/۱ تن متریک) وزن از جنس فولاد مسلح دارند.



تصویر ۱۷-۱۰ : ساختمان ترمینال دالاس، نمای خارجی.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر۱۸-۱۰ ساختمان ترمینال دالاس، (الف) مقطع و (ب) نمودار مسیر بارگذاری

سازه‌های با کابل مضاعف

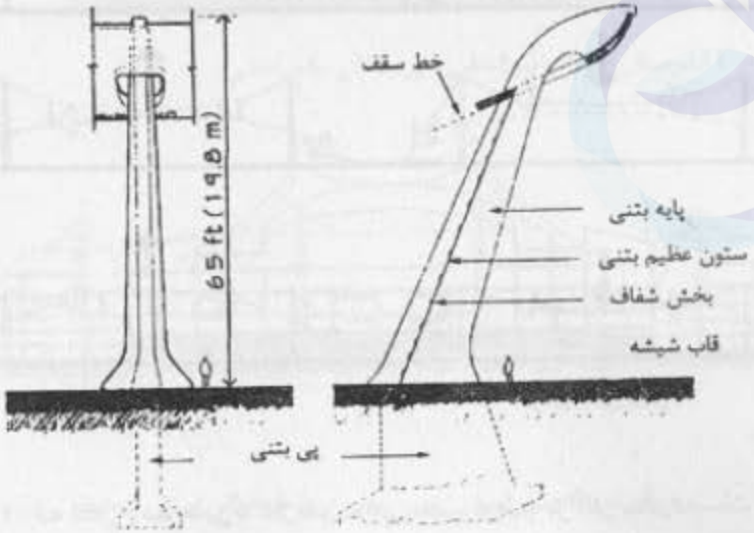
سازه‌های با کابل مضاعف شبیه به سازه‌های با یک انحنا هستند با این تفاوت که کابل‌های تثبیت‌کننده در زیر کابل‌های معلق اصلی برای مقاومت در برابر نیروی رو به بالای باد به آن اضافه شده است (تصویر ۲۰-۱۰). اگر هر دو سری کابل‌ها در یک سطح باشند، تعدادی کابل اضافی برای تأمین پایداری جانبی (عمود بر این دهانه) باید استفاده شود (تصویر ۲۱-۱۰).

مطالعات موردی سازه‌های معلق با کابل‌های مضاعف

ترمینال فرودگاه بین‌المللی دنور

(Denver International Airport)

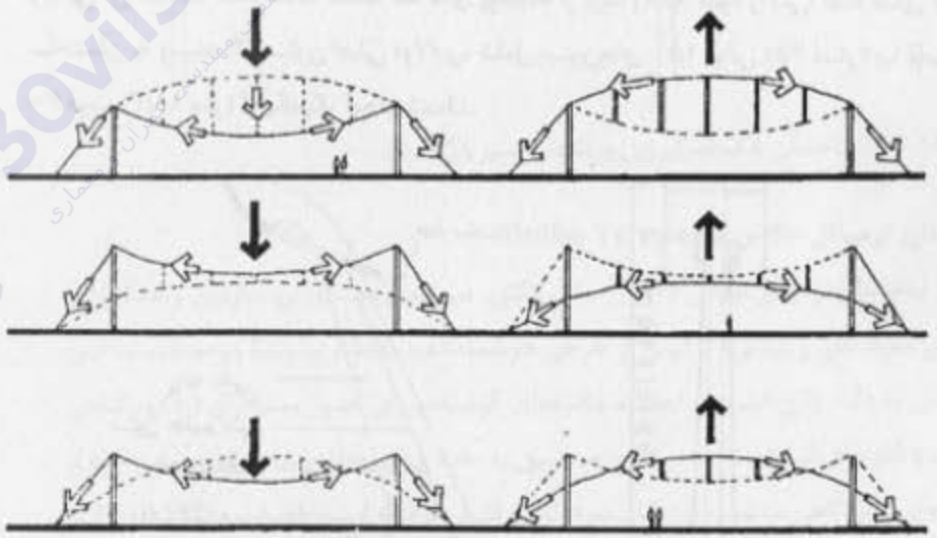
یک مثال کاربردی از سقف‌های کابلی با کابل‌های مضاعف و در خلاف جهت هم، سالن اصلی ترمینال فرودگاه دنور است که بزرگترین سازهٔ کششی سقف و بزرگترین فضای یکپارچه در جهان می‌باشد (۱۹۹۵: دنور، کانکتیکات، مهندس معمار: فنترس، بردبرن و همکاران، مهندس سازه: سورود و همکاران). سقف پارچه‌ای به علت سبکی و سرعت ساخت و به دلیل زیبایی آن انتخاب شده است. مشابه قله های پوشیده از برف رشته کوه راکی، قله های این ساختمان به وسیله ۳۴ ستون اصلی فولادی، شامل ستون‌های ۱۵۰ فوتی (۴۵ متر) با فاصله ۶۰ فوت (۱۸/۳ متر) از یکدیگر ایجاد شده‌اند.



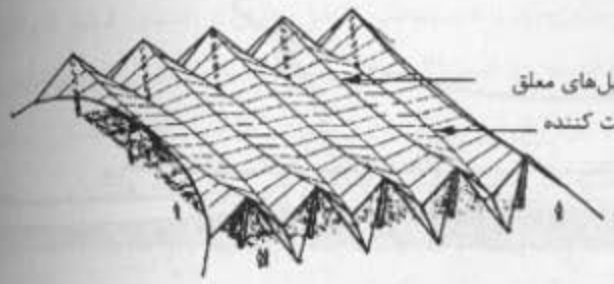
تصویر۱۹-۱۰ : ساختمان ترمینال دالاس، نمای پایه اصلی

http://telegram.me/uadesigngroup

انحنای پارچه‌ها، بین قله‌ها ۲۴۰ فوت (۶۳ متر) دهانهٔ طول سالن اصلی را می‌پوشاند. پوشش پارچه‌ای سقف به وسیلهٔ کابل‌هایی که از خط‌الرأس‌ها و خط‌القعرها عبور کرده که بیشترین بارهای کششی را نیز تحمل می نمایند، مسلح شده‌اند. کابل‌های خط‌الرأس معلق بارهای ناشی از وزن ساختمان و برف را تحمل می نمایند، در صورتی که کابل‌های تثبیت‌کننده خط‌القعر در برابر نیروی باد مقاومت می‌نمایند. سومین سری از کابل‌ها، کابل‌های خط‌الرأس و خط‌القعر را در فاصله ۴۰ فوت (۱۲/۲ متر) سقف پارچه‌ای مسلح به هم متصل می‌کنند (لندکر Landeker ۱۹۹۴، استین Stein۱۹۹۳، بلیک Blake ۱۹۹۵) (تصاویر ۲۲-۱۰ تا ۲۵-۱۰).



تصویر۲۰-۱۰ : سه مثال از سازه‌هایی با کابل‌های دوتایی، مسیر بارها را در کابل معلق (سمت چپ) و کابل تثبیت‌کننده (سمت راست) نشان می دهد.



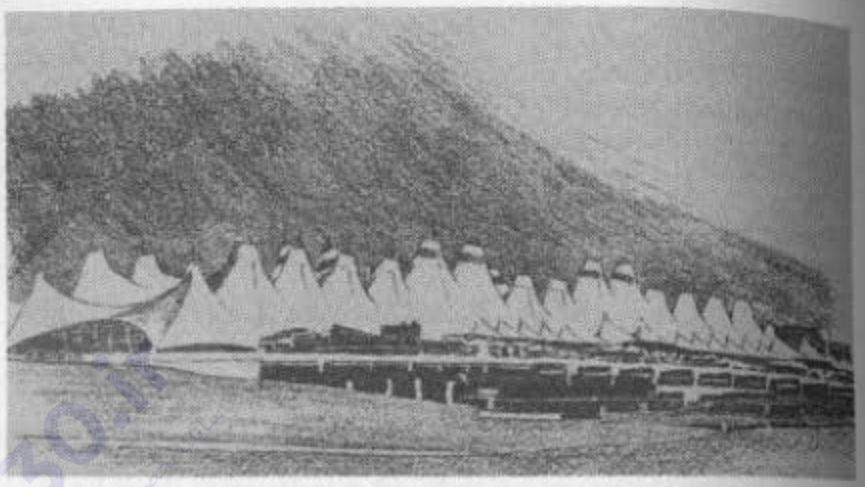
تصویر۲۱-۱۰ : کابل‌های معلق و کابل‌های تثبیت‌کننده در سطوح مختلف.

سقف، از پارچهٔ دو لایه تشکیل شده است که جنس هر دو از فایبر گلاس با پوشش تفلون می باشند. لایهٔ بیرونی با ضخامت ۰/۲۸ اینچ (۷ میلیمتر)، لایه سازه‌ای اصلی است، در حالی که لایهٔ داخلی مانعی آکوستیکی را فراهم کرده و یک لایه هوا برای جلوگیری از اتلاف انرژی ایجاد می کند.جزئیات حساس و بحرانی در این ساختمان اتصال بین سقف پارچه‌ای قابل انعطاف و دیوارهای صلب زیر آن می‌باشد. در بالای باجه‌های فروش بلیط یک پنجره مثلثی شیشه‌ای مربوط به بام وجود دارد که امکان دیدن آسمان را از کف سالن اصلی فراهم می‌نماید. لبهٔ بالایی پنجرهٔ بام به سقف پارچه‌ای متصل شده است. سطح بام به اندازه ۳ اینچ (۷۵ میلیمتر) به وسیله لوله های پنوماتیک باز و بسته می‌شود و با حرکت پارچه سقف حرکت می کند.

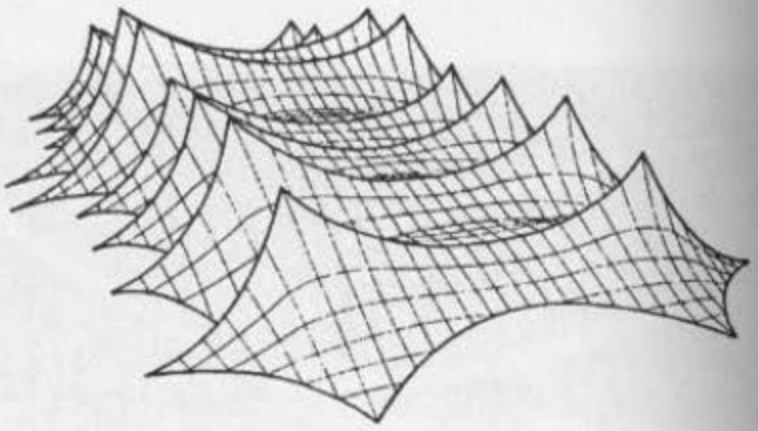
پارچه و کابل‌ها، امتداد یافته و از روی دکل‌های (دیرک ها) فولادی با مقطع لوله‌ای عبور می‌کنند تا به سازهٔ موجود ساختمان در هر انتها مهار شوند. این لنگرها در مقابل رانش داخلی که به وسیله فرم منحنی طنابی سقف پارچه‌ای ایجاد می‌شوند، مقاومت می‌نمایند دکل‌ها فقط تکیه‌گاه عمودی را تأمین کرده و مانند اتصال مفصلی در تکیه‌گاه‌ها رفتار می‌کنند.

http://telegram.me/uadesigngroup

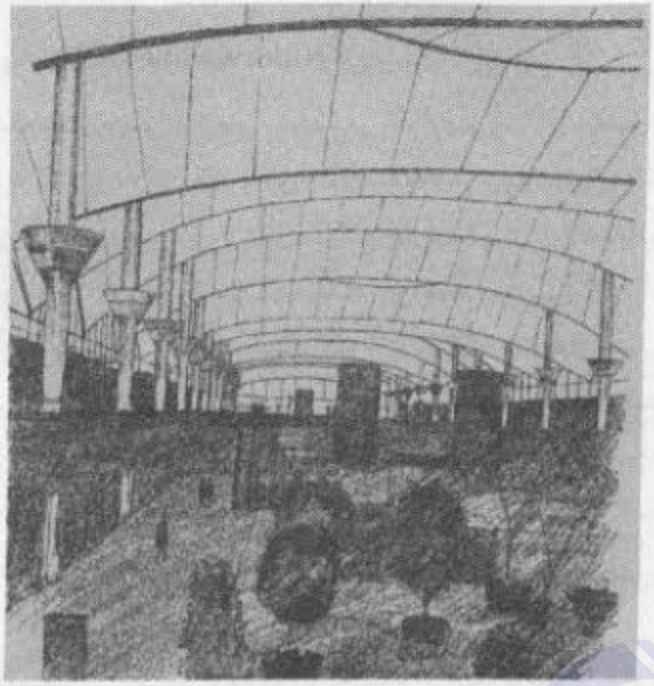
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



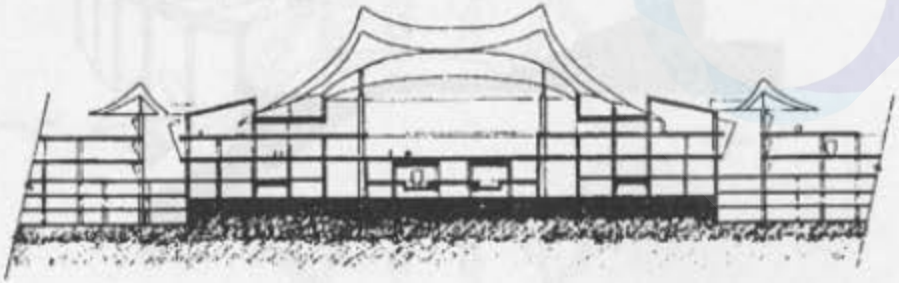
تصویر۲۲-۱۰ : ترمینال فرودگاه بین‌المللی دنور، نمای خارجی نوک چادرها را که شبیه قله‌های پوشیده از برف رشته کوه راکی است، نشان می دهد.



تصویر۲۳-۱۰ : ترمینال فرودگاه بین‌المللی دنور، شبکهٔ ژئودزیک بام پارچه‌ای.



تصویر۲۴-۱۰ : ترمینال فرودگاه بین‌المللی دنور، داخل سالن اصلی.



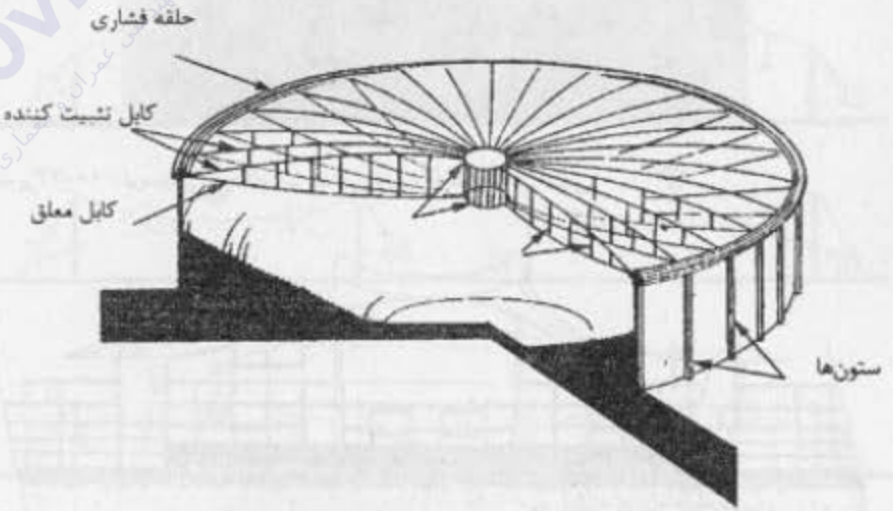
تصویر۲۵-۱۰ : ترمینال فرودگاه بین‌المللی دنور، مقطع از داخل سالن اصلی، ۵ طبقه پارکینگ در هر طرف وجود دارد.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

سالن کنفرانس یوتیکا(Utica Auditorium)

یکی از مشکلات در چیدن کابل‌های مضاعف در یک آرایش موازی مانند آنچه که در سازهٔ ساختمان فرودگاه دنور به کار رفت، تأمین مقاومت لازم در برابر نیروی رانشی داخلی کابل‌های معلق می‌باشد. در حالت دایره‌ای‌شکل، این نیروهای رانشی می‌توانند به وسیلهٔ یک حلقهٔ فشاری بدون نیاز به کابل‌های طنابی یا تیرهای طره‌شده حجیم (مانند آنچه که در ساختمان ترمینال دالاس به کار رفته است) متعادل گردند. یک نمونه از چنین سیستمی "سقف چرخ دوچرخه‌ای" تالار کنفرانس یوتیکاست (۱۹۶۲: یوتیکا، نیوجرسی، مهندس سازه: لولتلین و همکاران) (تصویر ۲۶-۱۰).

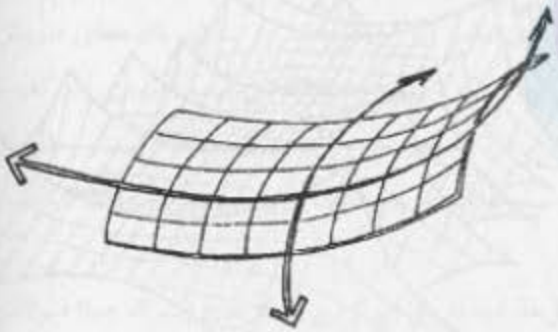


تصویر۲۶-۱۰ : تالار کنفرانس یوتیکا، برش ایزومتریک.

در این سقف از کابل‌های معلق شعاعی استفاده شده است که از حلقه فشاری پیرامونی به قطر ۲۴۰ فوت (۶۳متر) به یک حلقه کششی پایین تر مرکزی برای نگاهداری بارهای وزن آویزان شده‌اند. نیروهای رو به بالا، به وسیله یک الگوی مشابه از کابل‌های تثبیت کننده از حلقه فشاری به حلقه کششی پایین‌تر خنثی می شوند. این کابل‌ها با انحنای دوگانه و در خلاف جهت و دو حلقه مرکزی کششی به وسیله میله های مهار عمودی از هم جدا شده اند. حلقه فشاری از جنس بتن مسلح است و از طریق ستون‌های پیرامونی نگاه داشته می‌شود.

سازه‌های با انحنای دوگانه

سازه‌های با انحنای دوگانه از نوع آنتی‌کلاستیک(یکپارچه و تقسیم ناشدنی - Anticlastic) می‌باشند(مانند فرم زین‌اسبی، که انحنا در یک جهت مثبت و در جهت مخالف آن منفی است)، کابل‌های معلق در یک جهت دهانه بین تکیه‌گاه ها قرار گرفته‌اند، در ضمن این که کابل‌های تثبیت کننده در جهت عمود بر آن برای ممانعت در برابر نیروی باد به سمت پایین کشیده می شوند (تصویر ۲۷-۱۰).



تصویر ۲۷-۱۰ : فرم آنتی‌کلاستیک که از کابل با انحنای دوگانه و سازه‌های چادری تشکیل شده و در برابر نیروی باد مقاومت می کند.

http://telegram.me/uadesigngroup

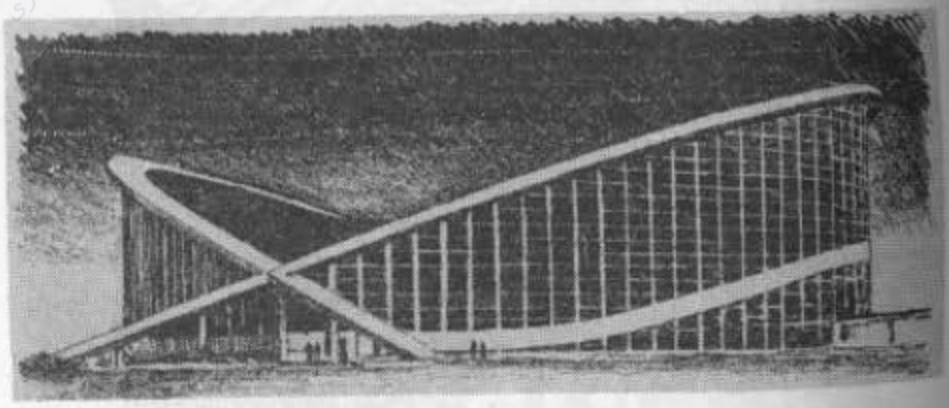
درک رفتار سازه‌ها با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

مطالعات موردی سازه‌های معلق با انحنای دوگانه

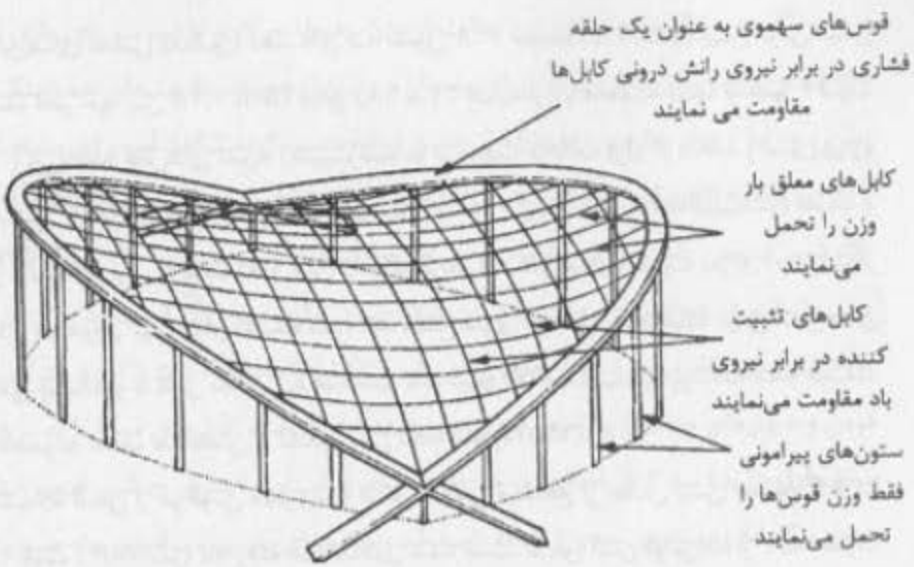
زمین ورزشی رالی (Raleigh Arena)

به عنوان غرفه نمایشگاهی جهت محلی برای کارشناسی چهارپایان طراحی شد (۱۹۵۲: رالی، کارولینای شمالی، مهندس معمار: دیتریک و نوویکی، مهندس سازه: سورود، الستاد و کرونگر). این ساختمان ابتدایی به عنوان یکی از پرمعناترین نمونه‌ها از سازه‌های معلق حفظ و نگهداری شده است. قوس تکیه‌گاهی فشاری و سقف تکیه‌گاهی کششی کاملاً از هم متمایز می‌باشند (ناشر، ۱۹۵۲) (تصاویر ۲۸-۱۰ تا ۳۰-۱۰).

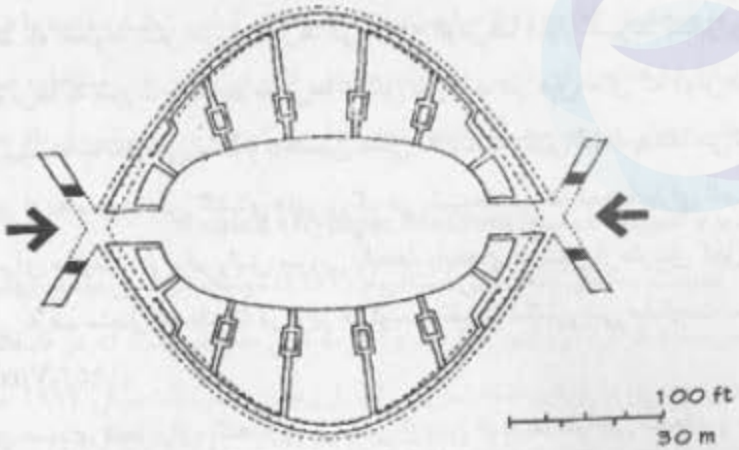
سقف زین اسبی ساختمان نه تنها پاسخی به نیروهای سازه‌ای است که بر آن وارد می‌شوند، بلکه پاسخی به نیاز به فضایی سرپوشیده که ۵۵۰۰ نفر را در خود جای می دهد، نیز می‌باشد. بر خلاف گنبد، این نوع سقف فضای بیشتری را برای حداقل تا حداکثر تعداد تماشاچی فراهم می‌کند. به علاوه، حداکثر نور نیز از بالای جایگاه فراهم می‌شود (ناشر، ۱۹۵۴).



تصویر ۲۸-۱۰ : میدان ورزشی رالی، نمای خارجی.



تصویر ۲۹-۱۰ : میدان ورزشی رالی، ترسیم اگزونومتری سازه.



تصویر ۳۰-۱۰ : میدان ورزشی رالی، پلان.

http://telegram.me/uadesigngroup

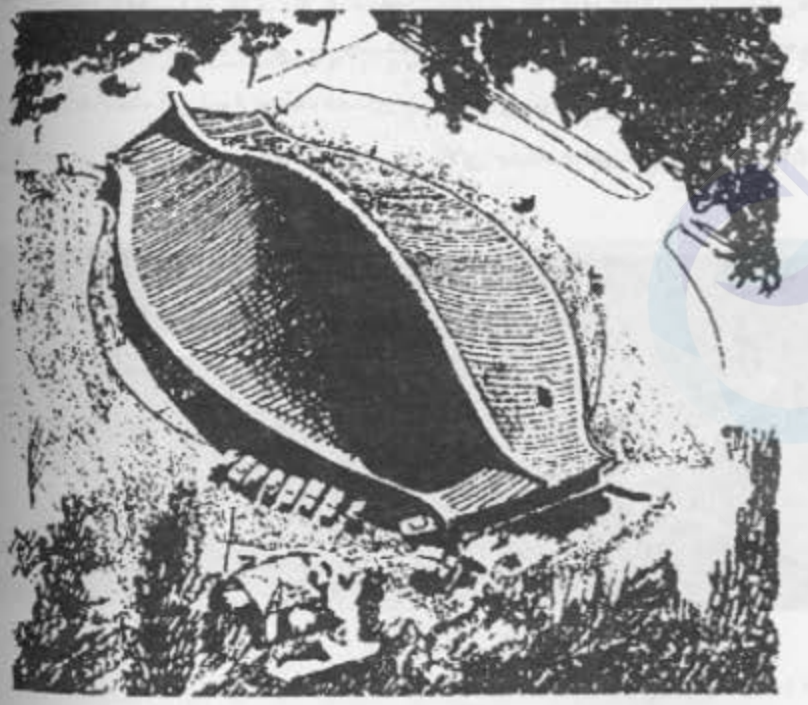
کابل‌های اصلی (معلق) دهانه‌ای به طول ۲۹۸ فوت(۹۰/۱ متر) بین قوس‌ها را می‌پوشانند. قطر آنها بین ۰/۷۵ تا ۱/۳ اینچ (۱۸ تا ۳۲ میلیمتر) و فاصلهٔ آنها از هم ۶ فوت (۱/۸ متر) می‌باشد. کابل‌های ثانویه (تثبیت‌کننده) در جهت مخالف قرار گرفته‌اند و نیروی رو به بالای باد را کاهش می‌دهند. قطر آنها بین ۰/۵ و ۰/۷۵ اینچ (۱۲ و ۱۸ میلیمتر) است و همچنین فاصله ای برابر ۶ فوت (۱/۸ متر) از یکدیگر دارند. کابل‌های ثانویه برای اجتناب از تغییر شکل در هوای گرم، پیش‌کشیده شده اند. سطح فلزی موجدار بام فاصله بین کابل‌های اصلی را می پوشاند و با عایق سختی به ضخامت ۱/۵ اینچ (۳/۷ سانتیمتر) پوشانده شده است. کل این مجموعه سقف ساختمان را تشکیل می دهد (ناشر،۱۹۵۳).

تکیه‌گاه اصلی از دو قوس فشاری، به شکل سهمی متقاطع از جنس بتن مسلح که تا ارتفاع ۹۰ فوت (۲۷/۴ متر) بالا رفته اند، تشکیل شده است. عرض این قوس‌ها از ۱۵/۱ فوت (۴/۶ متر) نزدیک محل تقاطع تا ۱۲ فوت (۷/۶ متر) در بالا متغیر است. ضخامت آن ۳۰ اینچ (۷۶ سانتیمتر) می‌باشد. قوس‌ها برای کاهش وزن دارای مقطع جعبه‌ای هستند و به‌قدری شیب‌دار گشته اند که خطوط تنش درون کابل‌ها در سطح قوس‌ها قرار گیرند. بنابراین بار سقف از طریق قوس‌ها به صورت مستقیم به پی‌ها منتقل می‌شود. در عین حال که قوس‌ها در محل تقاطعشان پیوسته به نظر می‌رسند و با همین شکل به سمت زمین ادامه پیدا می‌کنند، اما برای جلوگیری از به وجود آمدن گشتاورهای بزرگ در پایه‌ها، در تقاطع‌ها دارای اتصالات مفصلی هستند. برای مقاومت در برابر رانش بیرونی پایه‌ها، پایه‌های ستون از طریق کابل‌های فولادی زیرزمینی به هم متصل شده‌اند تا در برابر هرگونه تغییر مکان پی مقاومت نمایند (وشینین Voshinin،۱۹۵۲).

ستون‌های عمودی فقط برای نگاهداری بار ناشی از وزن قوس‌ها طراحی شده‌اند و هیچ باری را به تکیه‌گاه سقف توزیع نمی‌کنند. فاصلهٔ بین ستون‌ها از حد مورد نیاز سازه‌ای کمتر در نظر گرفته شده است و در عوض از آنها برای تأمین نور مورد نیاز استفاده می‌شود.

زمین بازی هاکی دانشگاه ییل(Yale Hockey Rink)

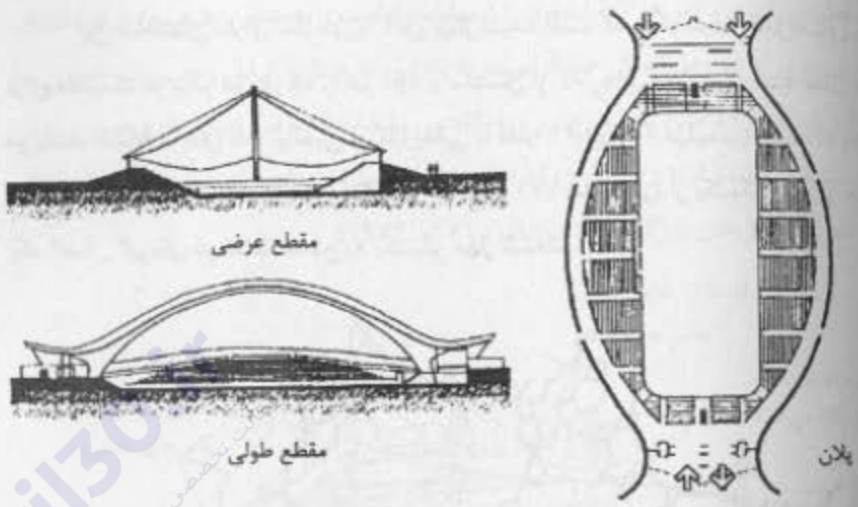
مانند کشتی به گل نشسته وایکینگ‌ها (۱۹۵۸: نیو هاون، کانکتیکات، مهندس معمار: اروسارنین و همکاران، مهندس سازه: سوردو، الستاد، کروتگرو همکاران)، فرم این ساختمان با توجه به نوع عملکرد آن، زیبایی‌شناسی و ملاحظات سازه‌ای تعیین گردیده است (تصاویر ۳۱-۱۰ تا ۳۳-۱۰). کاربری اصلی آن استفاده به عنوان زمین بازی هاکی است. پلان تخم مرغی‌شکل ساختمان بیشترین تعداد جایگاه را با حداکثر ۲۹۰۰ نفر تماشاچی در وسط فراهم می‌کند. منحنی‌های محدب جانبی از انعکاس صدا از کانون آن و برگشت صدا به تماشاچیان جلوگیری به عمل می‌اورد (مساله‌ای مهم در گنبدها و دیگر فرم‌های گنبدی).



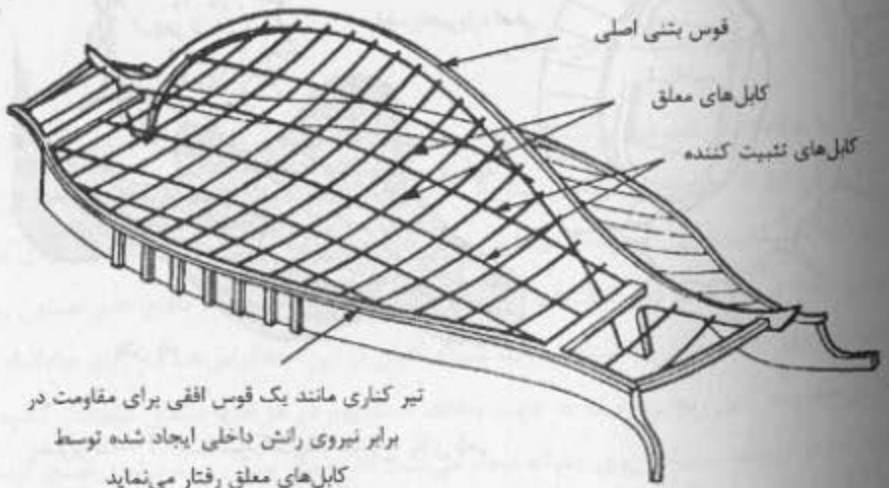
تصویر ۳۱-۱۰ : زمین بازی هاکی دانشگاه ییل، نمای خارجی.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۳۲-۱۰ : زمین بازی هاکی دانشگاه ییل، پلان همکف و مقاطع.



تصویر ۳۳-۱۰ : زمین بازی هاکی دانشگاه ییل، مقطع - پرسپکتیو.

اگرچه ویژگی‌های خاص این ساختمان در محوطهٔ مرکزی با فرم سازه‌ای طاق استوانه‌ای (که البته برای زمین هاکی روی یخ معمول و متداول می‌باشد) چندان هماهنگ به نظر نمی‌رسد، اما از نظر سارنین، استفاده از چنین فرم مجسمه‌گونه شگفت‌آور برای ساختمان لازم و دارای توجیه کافی است (مک کوئید Mc Quade ۱۹۵۸، سارنین و سورود ۱۹۵۸). در اولین نگاه قوس سهمی بتنی بزرگی به چشم می‌خورد که دهانه‌ای به طول ۲۴۰ فوت (۷۳ متر) را می‌پوشاند. در دو انتها، قوس منحنی یک طره ۴۰ فوتی (۱۲/۲ متر) را که سایبان ورودی‌هاست، نگاه می‌دارد. کابل‌های زنجیرواره متقاطع با فاصلهٔ ۶ فوت (۱/۸۳ متر) بین مرکز قوس و دیوارهای منحنی پیرامونی معلق می‌باشند. به علاوه به کابل‌های معلق (که درون سازه سقف قرار دارند) سه کابل اضافی در هر طرف برای افزایش پایداری جانبی قوس بتنی (به عنوان یک فکر مهندسی بعدی) اضافه شده‌اند. دیوارهای بتنی پیرامونی به صورت مورب ساخته شده‌اند که در بالا به یک قوس افقی با عرض ۷ فوت (۲/۱ متر) و عرض ۱۸ اینچ (۴۶ سانتیمتر) برای مقاومت در برابر رانش داخلی کابل‌های معلق تبدیل می‌گردند. یک صفحهٔ چوبی به ضخامت ۲ اینچ (۵۰ میلیمتر) با اتصالات کام و زبانه دهانه را در جهت کوتاه‌تر می‌پوشاند. به علاوه برای تأمین مقاومت خمشی لازم بین کابل‌های متقاطع، صفحهٔ چوبی با ۹ کابل ثابت طولی در هر سمت تحت کشش قرار می‌گیرد و در برابر نیروی باد مقاومت می‌کند.

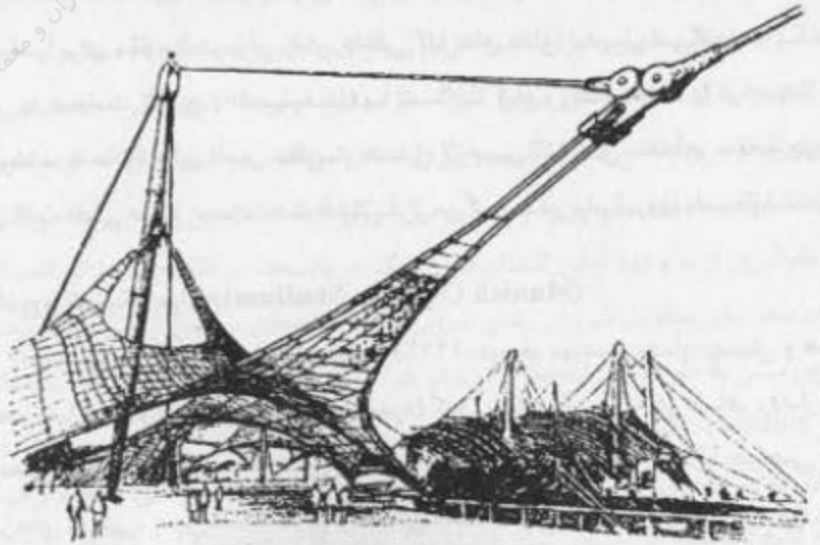
استادیوم المپیک مونیخ(Munich Olympic Stadium)

سیستم سازه‌ای سقف این استادیوم (۱۹۷۲: مونیخ، مهندس معمار: بهنیش و همکاران، مهندس سازه: فرای‌اوتو ، لئون هاردت و آندره) کابل مضاعف است که در ظاهر رفتاری مانند سازه‌های چادری دارد. این ساختمان برای بازی‌های المپیک سال ۱۹۷۲ طراحی شد که زمین‌های ورزشی، زمین مسابقات دو و میدانی ، اسب سواری و فوتبال را در خود جای می‌دهد. این استادیوم از آن زمان تاکنون برای مسابقات و فعالیت های اوقات فراغت به کار می‌رود

http://telegram.me/uadesigngroup

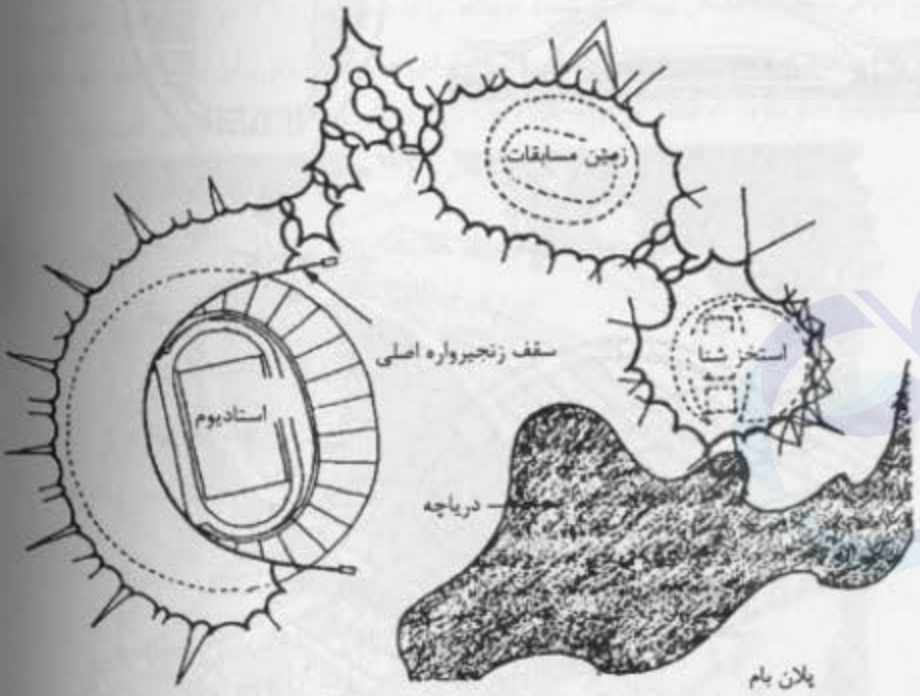
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

(تصاویر ۳۴-۱۰ تا ۳۸-۱۰). در حقیقت مجموعه طراحی شده به وسیله بهنیش برای المپیک شامل استادیوم، یک سالن ورزشی (با ظرفیت ۱۴۰۰ نفر برای ژیمناستیک، هندبال، بسکتبال و دیگر فعالیت‌های داخل سالن) و یک سالن شنا (با ظرفیت ۸۰۰۰ نفر برای شنا و شیرجه) است. تمامی این فعالیت ها در زیر زمین قرار داده شده است. فعالیت‌های خدماتی و پشتیبانی در زیر زمین و در زیر جایگاه‌ها قرار گرفته‌اند. سقف‌های کابلی، یک بخش مرکزی برای مسابقات و یک فضای وسیع با ایجاد سایبان در محوطه را فراهم می‌سازند. با مساحت ۸۰۰۸۰۰ فوت مربع (۷۴ هزار متر مربع)، یکی از بزرگترین سازه‌های کششی در جهان در زمان ساخت خود به شمار می‌رود (تصویر ۳۵-۱۰). طراحی و اجرای این سقف، پیشرفت مهم و قابل‌توجهی در توسعه و گسترش سازه‌های کششی که برای اولین بار در کتاب فرای اوتو مطرح گردیده بود، محسوب می شد (اوتو،۱۹۵۴).



تصویر ۳۴-۱۰ : استادیوم المپیک مونیخ، نمای خارجی.

این ساختمان دارای سازه‌ای با کابل پیش‌تنیده است که خصوصیات کابل‌های مضاعف برای مقاومت در برابر نیروی باد را نیز دارد و متشکل از کابل‌های فولادی با سه قطر مختلف می‌باشد. شبکهٔ عریض بام، ترکیبی از کابل‌هایی با قطر ۱ اینچ (۲۵ میلیمتر) است که به صورت جفت‌های ۲ اینچی (۵۰ میلیمتر) با فاصله ۳۰ اینچ (۷۶ سانتیمتر) از یکدیگر در هر جهت با یک اتصال گیره‌ای در نقاط تقاطع به یکدیگر مهار شده‌اند.



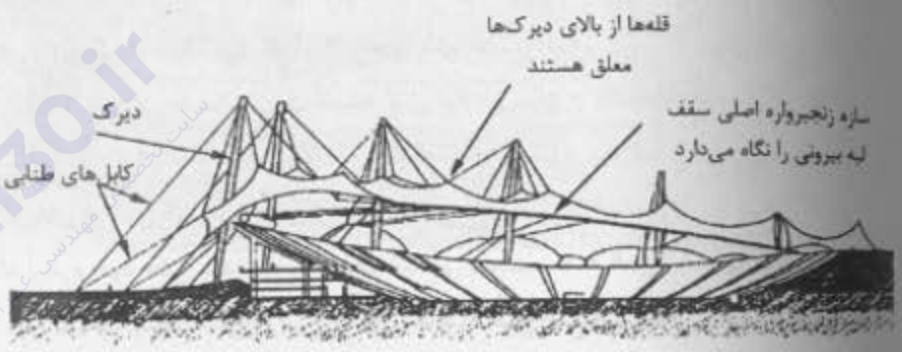
تصویر ۳۵-۱۰ : استادیوم المپیک مونیخ، پلان بام.

این اتصال برای نصب پانل‌های آکریلیک نیز استفاده شده است، که در مجموع ۱۳۷ هزار عدد از آنها مورد نیاز بوده است. قطر کابل‌های مورب کناری برابر (۳/ اینچ (۸۰ میلیمتر)

http://telegram.me/uadesigngroup

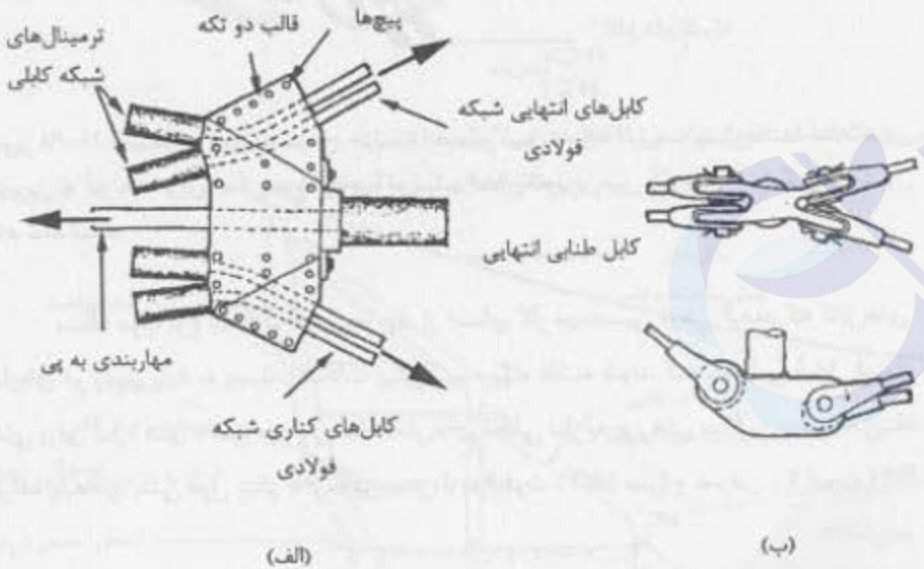
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

می‌باشد. قطر بزرگترین کابل‌ها ۴/۷ اینچ (۱۲۰ میلیمتر) است و به عنوان طناب‌ها (برای اتصال کابل کناری به پی)، مهارها (اتصال خط‌الراس‌ها به بالای دکل‌ها) و کابل زنجیرواره اصلی با طول ۱۴۴۰ فوت (۴۳۹ متر) که لبه جلویی را نگاه می دارد به کار رفته است. کابل اصلی برای تحمل بار کششی بیشتر از ۵۰۰۰ تن (۴۵۳۰ تن متریک) طراحی شده است و متشکل از یک دسته ده تایی از کابل‌های بزرگ می‌باشد (ناشر، ۱۹۷۲،۱۹۷۱).



تصویر ۳۶-۱۰ : استادیوم المپیک مونیخ، مقطع.

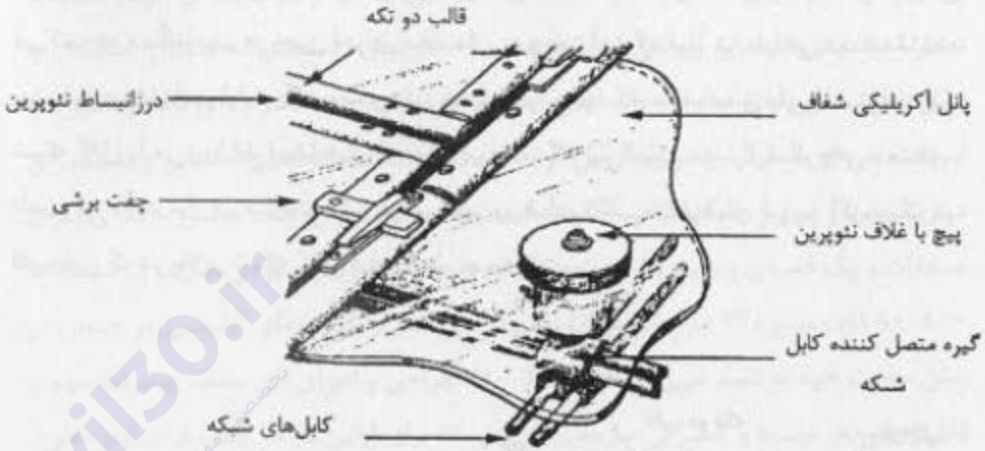
تکیه‌گاه اصلی عمودی به وسیلهٔ دوازده ستون با لولهٔ فولادی با ارتفاع متغیر از ۱۶۵ تا ۲۶۲ فوت (۵۰ تا ۸۰ متر) و با قطری بیش از ۱۱/۵ فوت (۳/۵ متر) با ضخامت دیوار بیش از ۳ اینچ (۷۵ میلیمتر) تأمین گردیده است. این ستون‌های عظیم در پشت جایگاه تماشاچیان به منظور ایجاد دید مناسب قرار گرفته‌اند. کابل‌های مهار به صورت قطری از بالای هر ستون به خط‌الراس‌های شبکهٔ کابلی کشیده شده‌اند. شبکه کابلی از این خط‌الراس‌ها بر روی جایگاه از طریق مجموعه کابل زنجیرواره که به جهت مخالف استادیوم در هر انتها متصل شده‌اند، کشیده شده اند. در نتیجه، سایبانی روی جایگاه ایجاد می‌شود که به نظر می رسد بدون هیچ گونه تکیه‌گاه نمایانی شناور می‌باشد. سقف در جهت مخالف بر روی جایگاه قرار دارد که فاصله آنها در پشت جایگاه کمتر می‌شود، در نتیجه رانش قابل ملاحظه کابل اصلی را در جلو متعادل می‌کند. دو مسأله مهم در حین اجرای ساختمان به وجود آمد که قبلاً در طراحی دیده نشده بود. طرح پیشنهادی اولیه یک پوشش پلی وینیل کلراید بود که سقف معلق پلی استر در زیر شبکه کابل را می پوشاند (مشابه غرفهٔ آلمان در نمایشگاه بین‌المللی مونترال). گرچه، به منظور تأمین نور مورد نیاز و رضایت‌بخش برای تلویزیون‌های رنگی، پانل‌های توپر آکریلیک در قاب‌هایی که در بالای شبکه کابل قرار دارند، نصب گردید.



تصویر ۳۷-۱۰ : استادیوم المپیک مونیخ، جزئیات (الف) اتصال بین کابل‌های کناری و مهار پی و (ب) قالب فولادی انتهایی یک برج کوچک در زیر، سقف استادیوم را نگاه می‌دارد.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۳۸-۱۰ : استادیوم المپیک مونیخ، جزئیات اتصال بین شبکه کابل‌ها نشان‌دهندهٔ غلاف‌های نئوپرین به کار رفته برای اتصال به پانل‌های آکریلیک. اتصال نئوپرین بین پانل‌های آکریلیکی نیز نشان داده شده است.

مسأله دوم، نوع اتصالات در پی‌ها بود. از ابتدای کار مهندسین فرض کردند که کابل‌های سازه‌ای در زمین باید به وسیله اتصالات پیش تنیده نگاه داشته شوند که راه‌حلی قابل قبول حتی برای سازه های دائمی بود ولی ساختمان‌های محلی نیاز به پی های سنگین و هزینه زیاد دارند، پایه‌های بتنی غول پیکر با ارتفاعی بیش از ۶۰ فوت (۱۸/۳ متر) و عرض ۲۰ فوت (۶/۱ متر).

ولی این مشکلات چیزی از زیبایی‌های بصری و موفقیت‌های مهندسی این ساختمان کم نمی‌کند. آنچنان که یک منتقد اشاره می‌کند:" دور تر از استادیوم المپیک، سقف آن شبیه به باله نهنگ به نظر می رسد، با پوسته‌ای عظیم که در زیر نور خورشید شبیه سطحی پهناور از ژلاتین دیده می‌شود، هشت ستون عظیم آن به طور مشخص حالت کششی را در آن نشان می‌دهد. بهترین منظری که از پایین می توان دید، زمین دو و میدانی است. از این نقطه سایبان به طور شناور بر روی استادیوم، بدون وزن و شفاف شبیه تمامی شاهکارهای مهندسی به نظر می رسد. ولی آیا ورزشکاران فرصت دیدن آن را دارند؟".

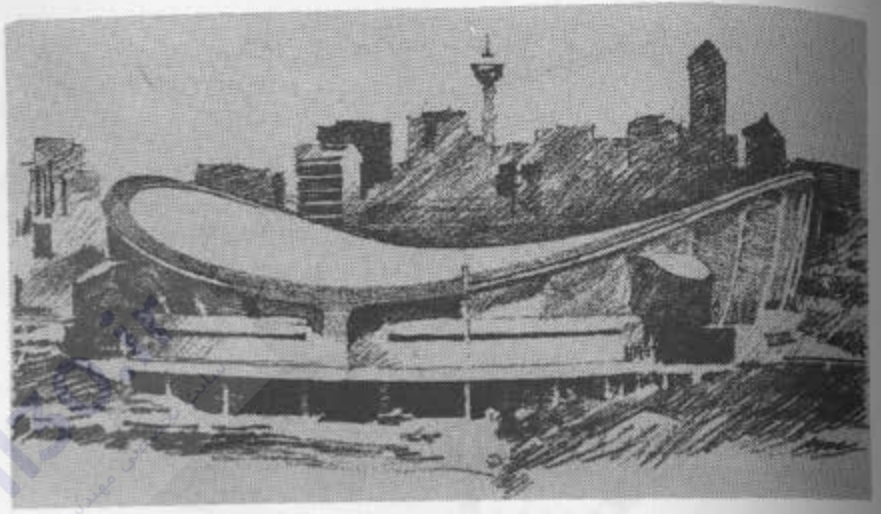
سقف زین اسبی کلگری(Calgary Saddledom)

این سازهٔ عظیم (۱۹۸۳: کلگری، آلبرتا، کانادا، مهندس معمار: جی. مک کورت، مهندس سازه: جان بابروسکی و همکاران) یک استادیوم ورزشی است که به وسیلهٔ بامی به شکل منحنی سهموی هذلولی متشکل از یک شبکه کابل فولادی معلق از یک حلقه پیرامونی بتنی پوشیده شده است. لبهٔ سطح زین‌اسبی، محل تقاطع با سطح کروی دیوارها را تعیین می‌کند. شبکهٔ کابل‌های فولادی که پانل‌های پیش‌ساخته بتنی را نگاه می‌دارد را می‌توان با یک راکت تنیس که از فرم خود خارج شده مقایسه نمود. اشکالی با هندسه خالص نه تنها برای فرم ظاهری بلکه به علت منطق سازه‌ای و راهی که بارها به طور مستقیم به پی منتقل شود، انتخاب شدند (اورتون ۱۹۸۸، ناشر ۱۹۸۳) (تصاویر ۳۹-۱۰ تا ۴۳-۱۰).

جزء اصلی سازهٔ سقف حلقهٔ فشاری بتنی است. این حلقه به طور عمودی در دو نقطه در سطح پایین‌تر نگاه‌داشته می‌شود. پایداری جانبی با استفاده از دیوارهای برشی (با مهاربندی با قاب A شکل در انتهای هر یک از دیوارها) به دست آمده است. ستون‌های پیرامونی فقط حلقه فشاری را نگاه می دارند. فرم سقف یک سهموی هذلولی تقریباً کامل است، به طوری که کابل‌های معلق (تقعر به بالا) و کابل‌های تثبیت‌کننده (تقعر به پایین) فرم سهمی عمودی را دارند. بیشترین دهانهٔ کابل ۴۴۳ فوت (۱۳۵ متر) است. کابل‌ها در یک شبکهٔ ۲۰ فوتی (۶ متری) قرار گرفته اند. کابل‌های معلق مضاعف هر یک ۱۲ لایه ۶ اینچی (۱۵ میلیمتری) و کابل‌های تثبیت‌کنندهٔ منفرد از ۱۹ لایه ۶ اینچی (۱۵ میلیمتری) تشکیل شده اند.

http://telegram.me/uadesigngroup

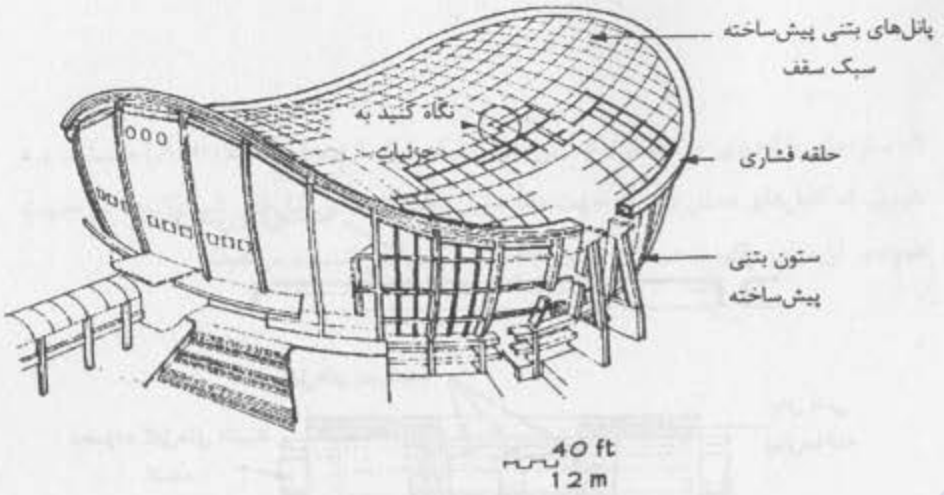
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



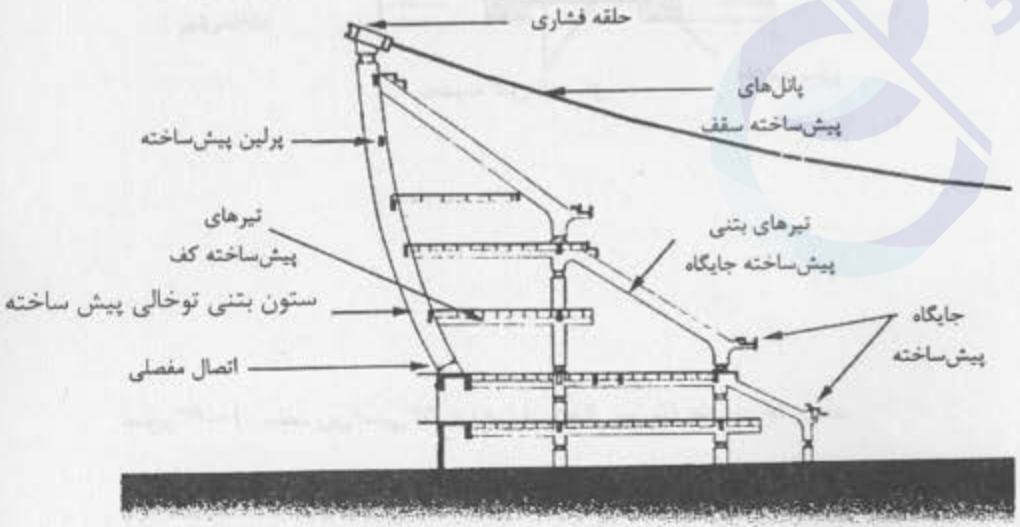
تصویر ۳۹-۱۰ : سقف زین اسبی کلگری، نمای جنوب شرقی.

پانل‌های سبک پیش‌ساختهٔ بتنی مربع‌شکل با طول ضلع ۱۸/۶ فوت (۵/۵۷ متر) و ضخامت ۱۴ اینچ (۳۵۰ میلیمتر)، به وسیلهٔ سه کابل در هر جهت نگاه داشته می شوند. این کابل‌های ثانویه پس از آنکه شکاف بین پانل‌ها به وسیله بتن سبک درجا پر شد، پس‌تنیده می‌شوند. با اتمام این عمل، سقف مانند یک پوسته رفتار می‌نماید. در حقیقت سقف در مقابل بارها به دو صورت عمل می کند : کابل‌های شبکه ای یا پوسته.

در زمان ساخت، سقف یک شبکهٔ کابلی قابل انعطاف است که به وسیله حلقه فشاری نگاه داشته می‌شود و بنابراین تمامی بار مرده سازه در این حالت نگاه داشته می‌شود. با تکمیل سقف، برای بارهای اضافی مانند یک پوسته صلب رفتار کرد که به وسیله کابل‌های اصلی و کابل‌های ثانویه پس‌کشیده مسلح شده اند. تمامی بارهای زنده به وسیله این پوسته نگاه داشته می‌شوند.



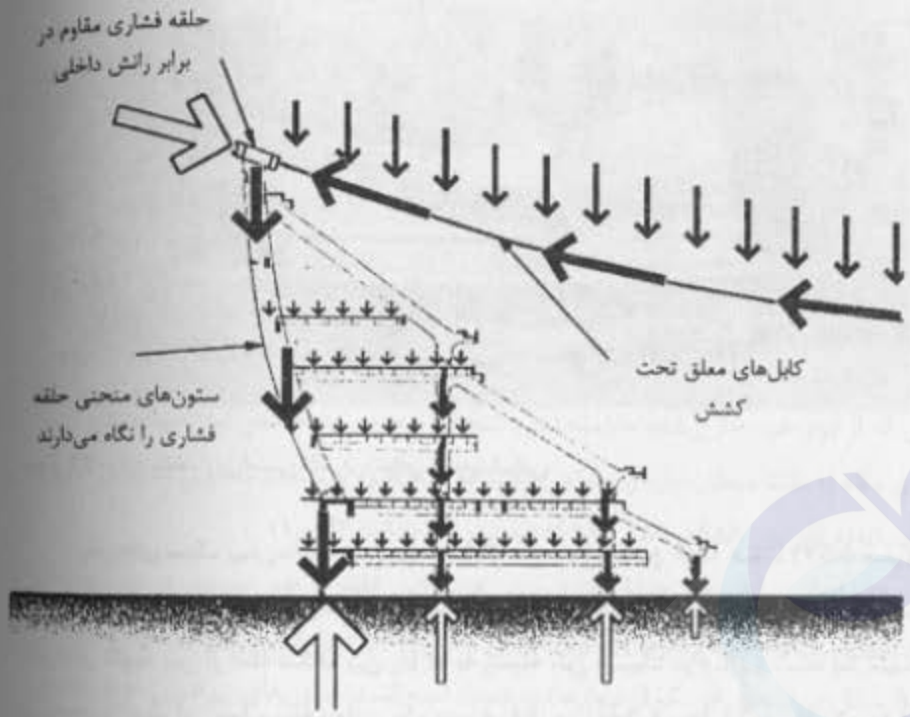
تصویر ۴۰-۱۰ : سقف زین اسبی کلگری، برش آکزونومتری.



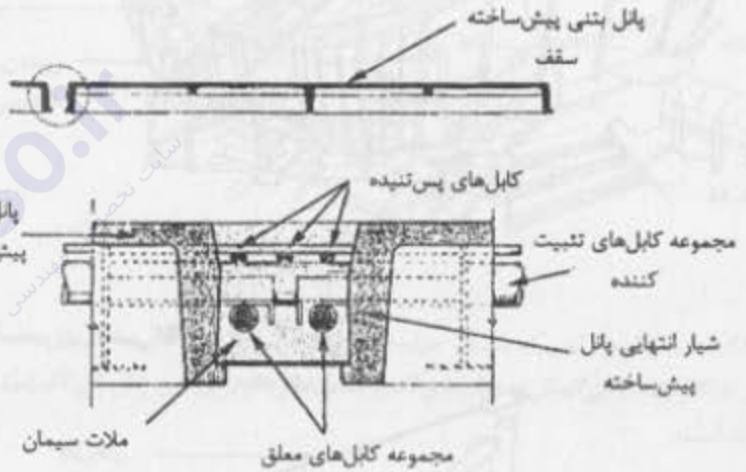
تصویر ۴۱-۱۰ : سقف زین اسبی کلگری، مقطع از بالاترین نقطهٔ بام.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۴۳-۱۰ : سقف زین اسبی کلگری، نمودار مسیر بارگذاری.



تصویر ۴۲-۱۰ : سقف زین اسبی کلگری، جزئیات اتصال بین پانل‌های در جا ریخته.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

خلاصه مطالب

۱- سهمی، شکلی از فرم منحنی طنابی از یک کابل معلق با بارگذاری یکنواخت در طول افقی دهانه صرف نظر از وزن کابل می‌باشد.

۲- زنجیرواره، شکلی از فرم منحنی طنابی برای کابل بارگذاری نشده است و به وسیلهٔ وزن خود کابل تعیین می‌شود.

۳- واژه Catenary همچنین برای هر عضو معلق منحنی که در طول آن بارگذاری شده صرف نظر از بار واقعی توزیع‌شده نیز به کار می‌رود. برای مثال کابل‌های اصلی یک پل معلق، کابل‌های زنجیرواره می‌باشند، گرچه منحنی نزدیک به سهمی‌باشد.

۴- خیز یک سازهٔ زنجیرواره، رانش افقی ایجاد شده را تعیین می‌کند: خیز کمتر، رانش بیشتر.

۵- در بیشتر کابل‌های زنجیرواره که برای سازه سقف ساختمان‌ها به کار می‌روند نسبت خیز به دهانه ۱:۸ تا ۱:۱۰ است.

۶- سازه‌های معلق با منحنی طنابی به سه بخش تقسیم می شوند: سازه‌های با یک انحنا، کابل‌های مضاعف و سازه‌هایی با انحنای دوگانه.

۷- سازه‌های با یک انحنا متشکل از دو یا چند کابل زنجیرواره موازی که بین تکیه‌گاه های اصلی کشیده شده‌اند ، می‌باشند.

۸- سازه‌های با کابل‌های مضاعف شبیه به سازه‌های یک انحنا می باشند، که کابل‌های تثبیت کننده در زیر کابل‌های معلق اصلی برای مقاومت در برابر نیروی باد اضافه شده‌اند. اگر هر دو سری کابل در یک سطح باشند، تعدادی کابل اضافی برای تضمین ایستایی جانبی (عمود بر این دهانه) باید استفاده شود.

۹- سازه‌های با انحنای دوگانه از نوع آنتی‌کلاستیک (یکپارچه) (Anticlastic) هستند، به طوری که کابل‌های معلق در یک جهت دهانه بین تکیه‌گاه ها و کابل‌های ثبیت‌کننده در جهت عمود بر آن برای مقاومت در برابر نیروی باد به سمت پایین کشیده می‌شوند.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

فصل ۱۱

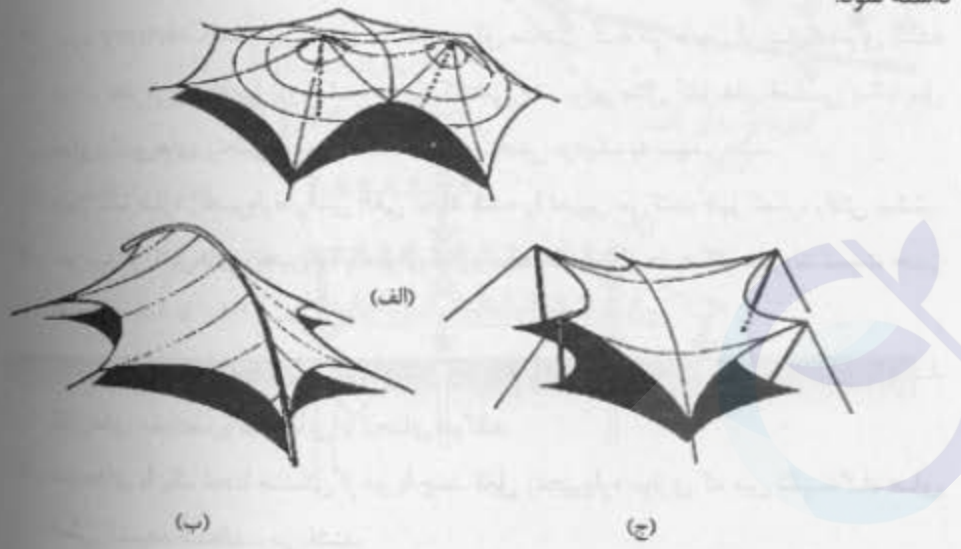
سازه‌های چادری

بادبان‌ها و طناب‌های کشتی سازه‌های کششی هستند که هیچکس بهتر از یک ملوان نمی‌تواند طبیعت آن را درک نماید.

"هورست برگر"

چادر، یک پوستهٔ کششی یکپارچه نازک است که به وسیلهٔ یک ستون یا قوسی فشاری نگاه داشته می‌شود. چادر نوعی متفاوت از سازه کابلی با انحنای مضاعف است که در آن فاصله بین کابل‌ها کاهش یافته و به صفر رسیده و سطح آن یک پوستهٔ 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 دکل‌ها (ستون‌ها) یا قوس‌ها نگاه داشته می‌شوند (تصویر ۱-۱۱). با افزایش طول دهانه، نیروهای کششی پوسته افزایش یافته و سطح آن باید به وسیله کابل‌هایی که بارهای اصلی کششی را انتقال می‌دهند با پارچه‌ای که فاصله بین کابل‌ها را می‌پوشاند به بخش‌های کوچکتر تقسیم شود.

لبهٔ کناری چادر قابل انعطاف بوده (غیرمتصل) و معمولاً برای اطمینان از اینکه در کشش باقی می‌ماند به شکل مقعر است. به علت این که لبهٔ کناری تحت تنش بالایی قرار می‌گیرد، معمولاً به وسیله کابل‌هایی که تا نقطهٔ اتصال ادامه می یابد، مسلح می‌گردد. نقطهٔ اتصال ممکن است به یک کابل طنابی (که نیروهای کششی را به پی منتقل می‌کند) متصل شود یا از طریق دکل یا میلهٔ مهار فشاری (که بارهای فشاری را به زمین منتقل می‌کند) نگاه داشته شود.



تصویر ۱-۱۱ : سازه‌های چادری با تکیه‌گاه های فشاری مختلف : (الف) دیرک‌های داخلی، (ب) قوس‌های داخلی و (ج) دیرک‌های خارجی.

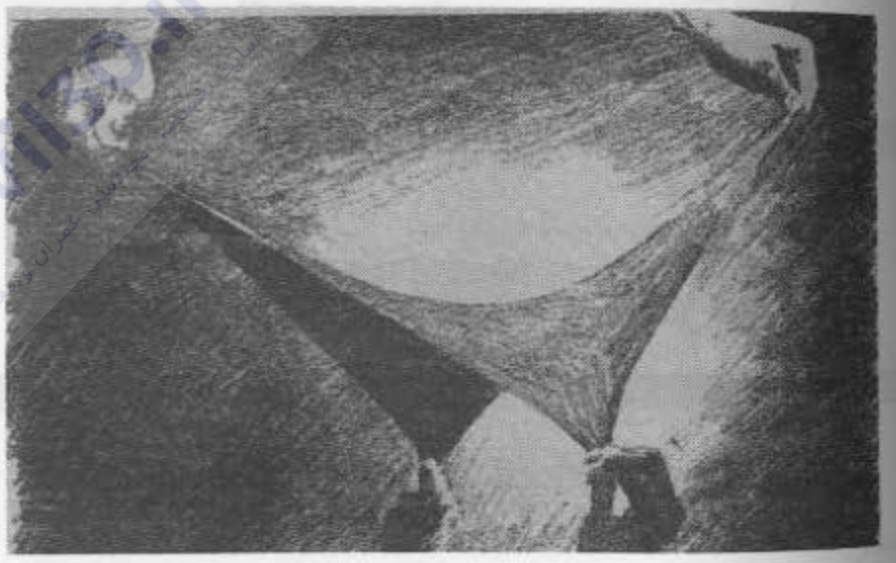
طراحی سازه‌های چادری

هورست برگر، یکی از مهندسین درگیر با طراحی تعداد زیادی از سازه‌های چادری اخیر می‌نویسد:" با وجود پیشرفت بسیار زیاد مصالح ساختمانی و فن‌آوری در سالهای اخیر، فقدان

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

اساسی از شناخت طراحی و رفتار سازه‌های چادری در بین بیشتر معماران وجود دارد. طبیعت موقتی و آسیب پذیری با کلمات پوسته و چادر برای مبهم کردن این حقیقت که چنین سازه‌هایی امن‌تر و قابل اطمینان تر از بسیاری از سیستم‌های سنتی می‌باشند، ترکیب شده‌است. زیرا آنها در عمل بسیار سبک بوده و یک پوستهٔ ضدآب یکپارچه و قابل انعطاف را فراهم می‌سازند.

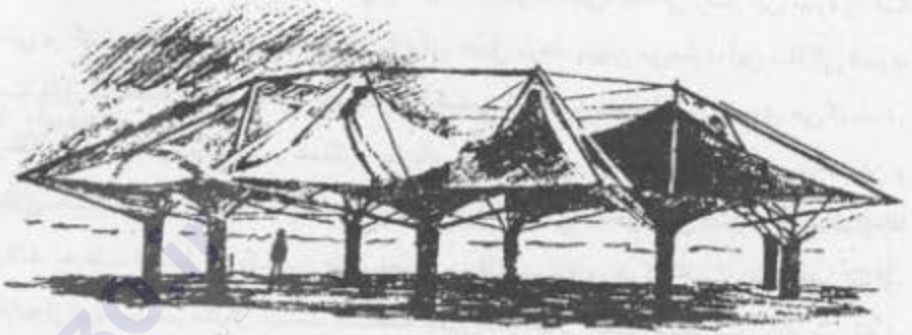


تصویر ۲-۱۱ : خصوصیات فرم زین اسبی در بیشتر سازه‌های چادری را می‌توان با کشیدن چهارگوشه یک جسم قابل ارتجاع مطالعه کرد. توجه داشته باشید که، به علت اینکه لبه‌ها به طور طبیعی با مقطع مقعر در نظر گرفته می‌شوند، در کشش باقی می‌مانند (لبه‌های مستقیم تمایل به لرزش خواهند داشت). در چادرهایی با اندازهٔ کامل، این لبه‌ها سطوحی هستند که در تنش بالا قرار گرفته‌اند و از طریق کابل‌های زنجیروار فولادی مسلح شده اند.

پیچیدگی سازه‌های 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 می‌سازد. این سادگی فرم، پوستهٔ قابل مشاهده‌ای را می‌سازد. تصویری حقیقی از اینکه نیرو از آن پیروی می‌کند. در سازه‌های چادری، فرم معماری و عملکرد سازه‌ای یکی هستند. در نتیجه، مهندسی ساختمان و معماری جدانشدنی بوده و درک رفتار سازه یک ابزار اساسی در طراحی این نوع از سازه‌ها می‌باشد. به علت ارتباط نزدیک بین ظاهر بصری و رفتار سازه‌ای، درک چنین مفهومی برای استفاده از این سیستم مشکل نیست. مشاهدهٔ چنین سازه‌هایی روشی مناسب برای شناخت توانایی طراحی آنهاست (برگر،۱۹۸۵). روش دیگر برای درک حسی شکل مناسب برای سازه‌های چادری آزمایش بر روی یک مدل با مقیاس کوچکتر است که از یک پوستهٔ دولایه متصل به هم، کشدار و سبک که به وسیله طناب، ستون‌ها یا قوس‌ها نگاه داشته می‌شود، تشکیل شده است. در مقیاس واقعی ساختمان‌ها، گرچه، حداقل کشش مورد نظر است ولی در حقیقت، پوستهٔ چادرها برای مقاومت در برابر کشش زیر بار (در بین دیگر کمیت‌ها) انتخاب شده اند. فرم سه‌بعدی که در مدل نمونه به وسیله پارچه کشیده شده ارائه شده است، از طریق منطبق ساختن فرم و موقعیت پانل‌های منفرد قبل از یکپارچه کردن و اتصال اجزای مجموعه با مقیاس واقعی ساخته شده است. همچنین این شیوه در طراحی و ساخت بادبان قایق‌ها برای تأمین فرم مناسب آئرودینامیکی به کار می رود. در سازه‌های چادری امروزی، مدل های سه بعدی کامپیوتری برای طرح فرم چادر و پانل های منفرد و محاسبه تنش‌های کششی داخلی به کار برده می‌شوند. برای مقاومت در برابر نیروی باد (همچنین افزایش عمر ساختمان)، شرط اساسی آن است که چادرها مانند یک سازه با انحنا مضاعف طراحی شوند (تصویر ۲-۱۱). چادرها به گروه سازه‌هایی با تکیه‌گاه مرکزی مانند پل‌های معلق و کابل‌های تثبیت کننده و طره‌های مضاعف تعلق دارند.

http://telegram.me/uadesigngroup

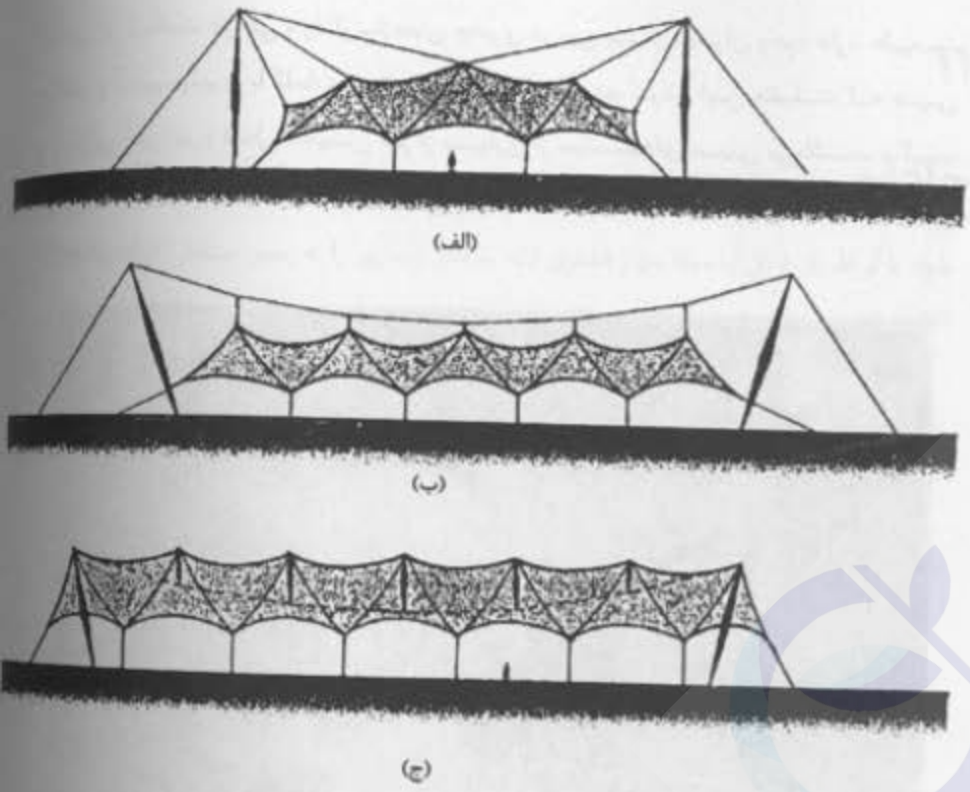
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۳-۱۱ : غرفه سی ورلد (۱۹۸۰، ساندیه‌گو، کالیفرنیا، مهندس سازه: هورست برگر). توجه کنید که میله‌های مهار فشاری که برای نگاهداری خط‌الرأس‌های سقف به کار رفته‌اند، نیاز به دیرک مرکزی را از بین برده‌اند. همچنین نیاز به کابل‌های طنابی که در زیر سازه پیرامونی کشیده شده‌اند از طریق میله‌های مهار افقی که مساله نیروهای رانشی داخلی را حل کرده‌اند، از بین رفته است.

تکیه‌گاه‌ها

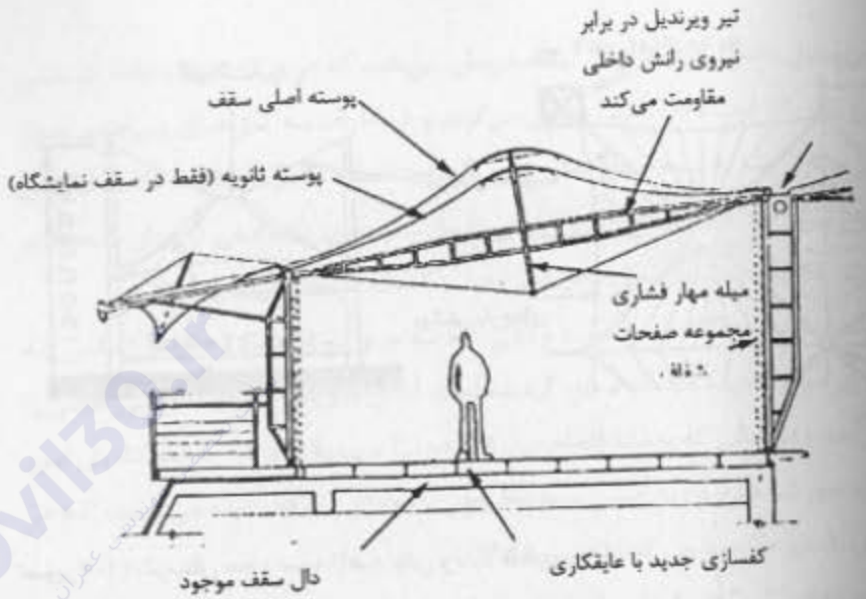
به طور ساده آنها به وسیلهٔ ستون‌های مرکزی نگاه داشته می‌شوند، ولی در عمل ممکن است به دلایل غیر سازه‌ای ناخواسته از روش‌های دیگر استفاده شود. قوس‌ها یا بیشتر سازه‌های ترکیبی فشاری ممکن است برای تأمین تکیه‌گاه عمودی در آنها به کار برده شوند (تصویر ۳-۱۱). کابل‌های زنجیرواره می توانند در کنار ستون‌ها برای نگاهداری خط‌الرأس چادرها در چندین نقطه به طور معلق طراحی شوند (تصویر ۴-۱۱). در جایی که از تکیه‌گاه‌های مرکزی استفاده می‌شود، تنش پوسته ممکن است با پخش بار روی یک سطح بزرگتر به واسطهٔ استفاده از یک ستون قارچی شکل مرکزی کاهش یابد (تصویر ۵-۱۱).



تصویر ۴-۱۱ : کابل‌های زنجیرواره معلق از دیرک‌ها ممکن است برای نگاهداری خط‌الرأس‌های چادر به کار روند: (الف) دیرک های خارجی، (ب) دیرک‌های خارجی با کابل معلق، (ج) دیرک‌های داخلی با کابل معلق در زیر میله‌های مهار نگاهدارنده پارچه سقف.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



مقطع از درون نمایشگاه

تصویر ۵-۱۱ : ساختمان خیالی (۱۹۹۴: لندن، مهندس معمار: گروه هرون و همکاران). مقطع از درون گالری نشان‌دهندهٔ فرم قارچی میله مهاری فشرده رو به بالا که برای نگاهداری مرکز سقف پارچه‌ای به کار رفته، می‌باشد.

مصالح

چادرها معمولاً برای استفاده در سازه‌های موقتی در نظر گرفته می‌شوند، زیرا پارچه مقاومت کمی در برابر نور خورشید داشته و بسرعت از بین می رود. پیشرفت‌های اخیر، استفاده از پوسته ها (فایبر گلاس به میزان زیاد) و پوشش‌هایی که کمترین فرسایش را در برابر نور خورشید دارد (برای مثال، تفلون داپونت) افزایش داده است. عمر مفید پوسته‌های چادری بیش از ۲۰ سال می‌باشد که آنها را برای استفاده در سازه‌های دائمی مناسب ساخته است.

لبه‌ها، مرزها

اگر کناره‌های یک چادر قابل انعطاف باشد، معمولاً به وسیلهٔ کابل‌ها مسلح می‌شوند. لبهٔ چادرها معمولاً شکل مقعر را در نتیجه کشش پوسته و سیستم تکیه‌گاهی سازه به خود می‌گیرند. لبه‌های صلب، مانند دیوارها، تیرها و قوس‌ها می‌توانند هر فرمی با طول دلخواه که قوس مناسبی را در لبه پوسته ایجاد کند به خود بگیرند و در برابر تنش‌های وارده نیز مقاومت نمایند.

مطالعات موردی چادرها

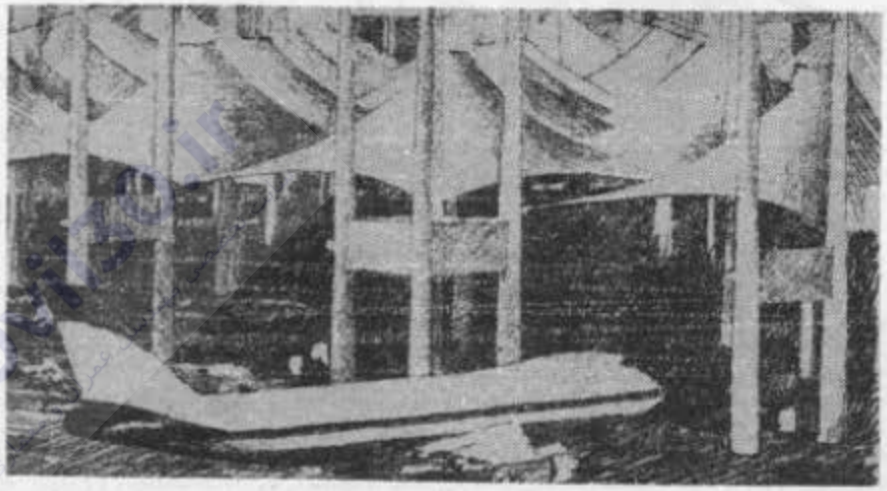
ترمینال حج، فرودگاه بین‌المللی سلطان عبدالعزیز

ترمینال حج (۱۹۸۲: جده، عربستان سعودی، مهندس معمار: اوتینگز، اسکیدمور و مریل، مهندس سازه: گایگر برگر و همکاران) به گنجایش ۹۵۰ هزار زائر خانه خدا در سال ۱۹۸۵ طراحی شد. ظرفیت ترمینال در هر دوره ۵۰ هزار مسافر برای یک دوره زمانی ۱۸ساعته در مدت زمان رسیدن مسافران و ۸۰هزار نفر برای یک دوره زمانی ۳۶ ساعته در طی عزیمت آنها می‌باشد (تصاویر ۶-۱۱ تا ۸-۱۱).

در طراحی ترمینال، معماران از سازهٔ چادرهای سنتی چادرنشینان منطقه الهام گرفتند، همچنین این طرح، شهر موقت چادری برای هفته‌های زیارت در دره منا نزدیک مکه را تداعی می‌کند. هنگام بازدید از منطقه، طراحان دریافتند که قبایل بدوی آموخته بودند که ماندن در زیر سایهٔ یک چتر در گرمای شدید صحرا بر ماندن در یک ساختمان داغ و محصور ترجیح دارد. همچنین تأئید کردند که تهویهٔ مکانیکی هوا و نورپردازی ساختمان مورد نیاز ترمینال با توجه به اوج استفاده در یک دوره کوتاه در طول سال بسیار گرانقیمت خواهد بود. تمامی این عوامل آنها را به استفاده از یک سقف با [illegible] در روز به

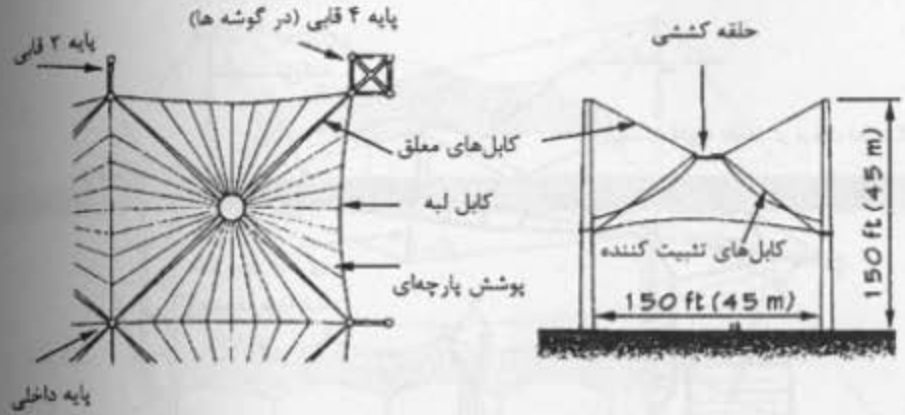
http://telegram.me/uadesigngroup

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 می‌برند (ناشر ۱۹۷۹).

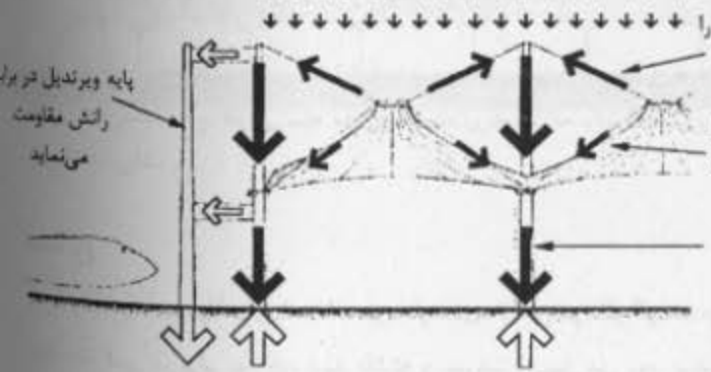


تصویر ۶-۱۱: ترمینال حج ، فرودگاه بین‌المللی سلطان عبدالعزیز، نمای خارجی. بخش بالایی چادرهای مخروطی روی کابل‌ها از چهار دیرک پیرامونی معلق هستند.

ترکیب چادرها سطحی بیش از ۴/۶ میلیون فوت مربع (۴۳۰ هزار متر مربع) را پوشش می‌دهد که بزرگتر از هر سقفی در دنیاست. مدول اصلی یک پوستهٔ چادری مربع‌شکل به ضلع ۱۵۰ فوت (۳۹/۴ متر) است. ۲۱ عدد از چنین چادرهایی یک مجموعه را تشکیل می‌دهند. دو ردیف از ۵ گروه تقسیم شده به وسیلهٔ فضای سبز مخصوص پیاده وجود دارد (برای یک مجموعه ۲۱۰ عددی چادرها). ساختمان‌های محصور و تهویه شده در ورودی زیر چادرها در طول لبه بیرونی واحدهای ترمینال موازی با محل توقف هواپیما قرار گرفته‌اند (ناشر، ۱۹۸۳).



تصویر ۷-۱۱: ترمینال حج و نمونه (الف) پلان و (ب) مقطع.



تصویر ۸-۱۱: ترمینال حج، نمودار مسیر بارگذاری روی دو مدول. قاب‌های چهارستونی و دوستونی در طول لبه کناری در برابر رانش های داخلی چادرها مقاومت می‌نمایند. دیرک‌های داخلی منفرد هستند زیرا رانش‌های داخلی به وسیله چادرها در تمامی جهات، متعادل شده‌اند.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

هر مدول متشکل از یک چادر نیمه‌مخروطی می‌باشد که در مرکز به یک حلقه کششی فولادی به قطر ۱۳ فوت (۳/۹۶ متر) متصل می‌گردد و در اطراف به کابل‌های پیرامونی مهار شده و در چهار گوشه به نیمهٔ ارتفاع ستون‌های نگهدارندهٔ سازه متصل می‌شود. حلقه کششی مرکزی به وسیله کابل‌های مضاعف به بالای هر یک از ستون‌های تکیه‌گاهی آویزان شده اند. پوسته فایبر گلاس با پوشش تفلون برای عمر مفید ۲۰ ساله در نظر گرفته شده است.

پوسته به وسیله ۳۲ عدد کابل فولادی که به صورت شعاعی از حلقه کششی به کابل‌های پیرامونی کشیده شده‌اند مسلح گردیده است. این کابل‌ها نیروی کششی اصلی را انتقال می‌دهند، در حالی که پوسته فاصله بین کابل‌ها را می‌پوشاند. در حالت کشش این مجموعه به صورت یک فرم زین اسبی نیمه مخروطی با انحنای مضاعف دیده می‌شود، که در برابر نیروی باد نیز مقاومت می کند (تصویر ۱۹۸۰).

ستون‌های تکیه‌گاهی (یا تیرهای اصلی) از لوله‌های فولادی مدور به ارتفاع ۱۵۰ فوت (۴۶ متر) و قطری برابر ۷/۴ فوت (۲/۵ متر) در پایه و ۳/۳ فوت (۱ متر) در بالا تشکیل شده اند. ستون‌های داخلی در چهار گوشه کناری، چادرها را نگاه می‌دارند. نیروهای رانش داخلی ایجاد شده درون ستون‌ها باعث تعادل در آنها می‌شوند و فقط بار جانبی وارده روی این پوسته طره‌ای، بار ناشی از نیروی باد است.

در لبهٔ مجموعهٔ چادرها جایی که هیچ گونه چادر دیگری وجود ندارد برای ایجاد تعادل نیروهای رانشی داخلی در پایهٔ چادر (در میانهٔ ارتفاع) و حلقهٔ فشاری نگاهدارندهٔ کابل‌ها (در بالا) ستون به شکل مضاعف شده است و به وسیلهٔ پانل‌های برشی برای ایجاد یک قاب ویرندیل دو بعدی جهت مقاومت در برابر نیروهای جانبی غیرمتعادل به هم متصل شده‌اند. درگوشه‌های مجموعهٔ چادرها، این بارهای رانشی در دو جهت اتفاق می‌افتند. چهار ستون برای ایجاد یک قاب سه بعدی به هم متصل شده‌اند.

هیأت قضاوت برای یکی از جوایز بیشماری که این ساختمان دریافت کرده است این گونه می نویسد: "برداشتی بصری از یک بنای یادبود نرم و سبک. این ساختمان شبیه سرابی است که بر فراز سطح صحرا شناور است. تطابق تجربهٔ پرواز و انعکاس کیفیت معنوی زیارت" (ناشر،۱۹۸۳).

استادیوم ریاض

همکاری هورست برگر در طرح ترمینال حج به توسعهٔ استفاده از سازه‌های چادری کمک کرد و وی را به عنوان مهندس آخرین طرح سعودی معرفی نمود (۱۹۸۶: ریاض، عربستان سعودی، مهندس معمار: فریزر، رابرتزو همکاران، مهندس سازه: گروه هورست برگر).

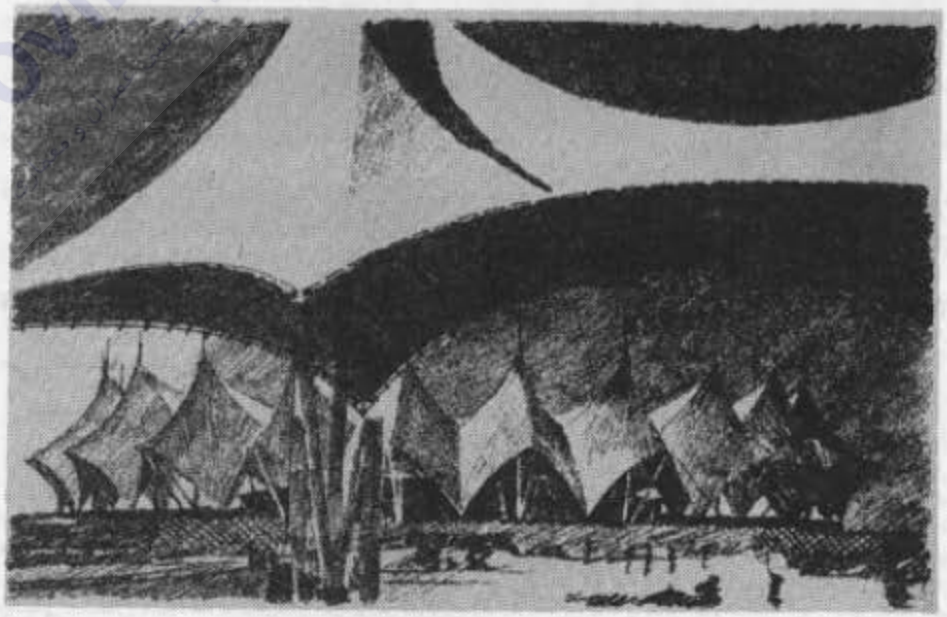
این ساختمان متشکل از ۲۴ مدول چادر یکسان است که حول یک دایره برای ایجاد سایبانی مدور که جایگاه تماشاچیان را می پوشانند، تکرار شده‌اند. زمین بازی در وسط چادرها قرار گرفته و بدون سقف است. ستون‌ها، مشابه استادیوم المپیک مونیخ، برای ایجاد فضایی باز و بدون ستون و دید مناسب از جایگاه به زمین‌های ورزشی در پشت جایگاه ۶۰ هزار نفره آن قرار گرفته‌اند. چادر این ساختمان سطحی برابر ۵۰۰ هزار فوت مربع (۴۶۵۰۰ مترمربع) را می‌پوشاند (تصاویر ۹-۱۱ تا ۱۱-۱۱).

پوستهٔ پارچه‌ای بین کابل‌های تیزهٔ سقف، کابل‌های مقعر لبه و کابل‌های زنجیرواره کناری کشیده شده است. کابل‌های تیزه سقف به ستون اصلی متصل شده اند و در پلان به صورت شعاعی می‌باشند. کابل‌های مقعر لبه که بین کابل‌های تیزه سقف قرار دارند به مهار پائینی متصل شده‌اند و سازه را در برابر نیروی رو به بالای باد پایدار نموده‌اند. این کابل‌ها هم، در پلان به شکل شعاعی هستند. لبه بیرونی کابل‌های تیزهٔ سقف و لبه بیرونی کابل‌های زنجیرواره کناری در یک نقطه ثابت که به وسیله ستون‌های شیب‌دار و دو کابل طنابی مثلثی

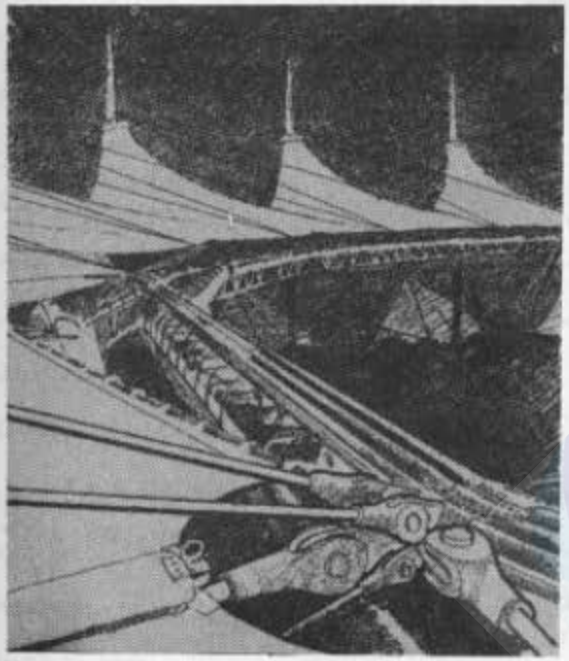
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

ایجاد شده‌اند، نگاه داشته می‌شوند. انتهای داخلی پوسته به یک کابل حلقه‌ای که نیروی رانش بیرونی ستون شیب‌دار و طناب‌ها را متعادل می‌کند، رسیده است. برای افزایش سختی هنگام ساخت یک سیستم کابل اضافه گردیده است. این سیستم، متشکل از یک کابل معلق، یک کابل تثبیت‌کننده و یک کابل تکیه‌گاهی بالاتر که همگی با کابل‌های کناری هر مدول در یک ردیف قرار گرفته‌اند می‌باشد. کل این مجموعه (متشکل از ستون‌ها، کابل‌های تکیه‌گاهی پشت و کابل حلقه ای) با یکدیگریک سیستم سازه‌ای پایدار که نیازی به مشارکت پوسته ندارد را به وجود می‌آورد (ناشر، ۱۹۸۵).



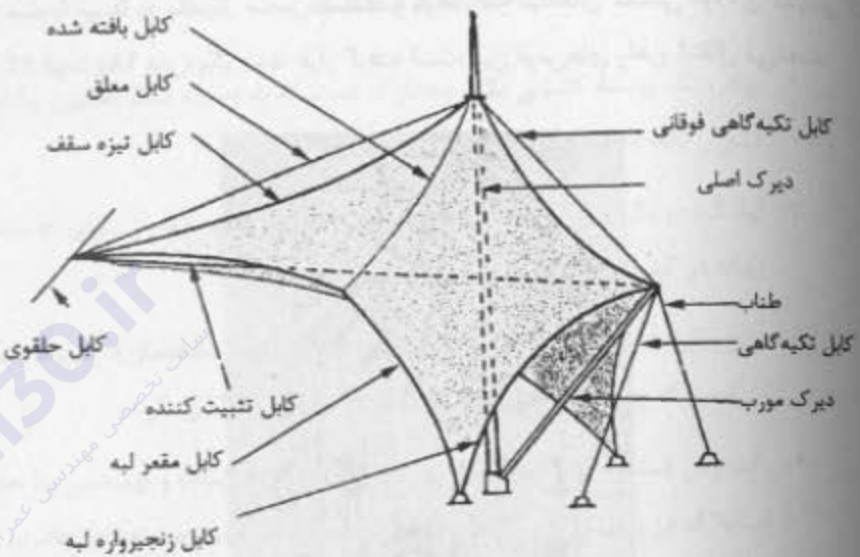
تصویر ۹-۱۱ : استادیوم ریاض، نمای خارجی از سایبان ورودی.



تصویر ۱۰-۱۱ : استادیوم ریاض، جزئیات داخلی نشان‌دهنده کابل‌های حلقه مرکزی.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



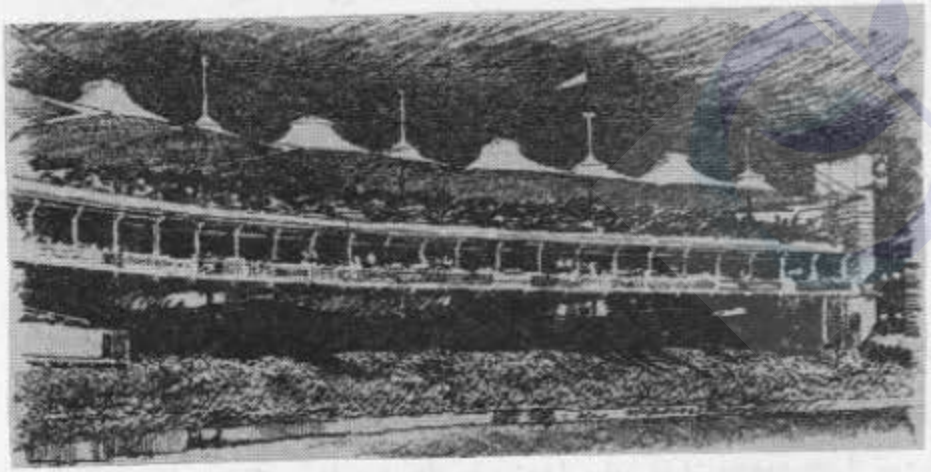
تصویر ۱۱-۱۱ : استادیوم ریاض، یکی از مدول‌ها یکی از ۲۴ عدد).

این ساختمان دارای سیستم شستشوی سقف است که برای نگاهداری ۸ درصد انتقال نور روز و ۷۵ درصد انعکاس نور خورشید طراحی شده است. انعکاس بالای نور خورشید با یک تهویهٔ هوای طبیعی به بازشوهایی در خطالرأس برای کمک به آسایش و راحتی تماشاچیان متصل شده است. آب باران در بالا جمع‌آوری شده و به اتصال زمین منتقل می‌شود و به آبگیر آبروی باران در اطراف بنا می رسد. کابل حلقوی مرکزی بلندگوها و سیستم‌های روشنایی زمین‌های بازی را نگاه می‌دارد. نورهای انعکاسی در سطح زیرین چادر روشنایی جایگاه‌ها را در شب تأمین می‌نمایند.

ماوندز استاندز (Mounds Stands).

زمین بازی کریکت لرد

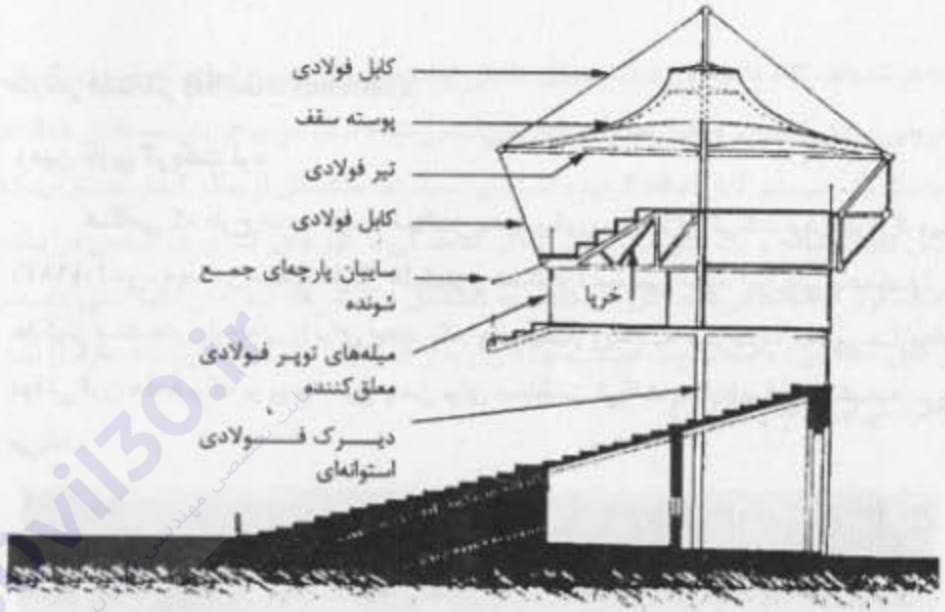
هنگامی که طرح جدید ماوندز استاندز جدید برای زمین بازی کریکت لرد مطرح گردید (۱۹۸۷: لندن، مهندس معمار: مایکل هاپکینز و همکاران، مهندس سازه: اووآروپ و همکاران)، هاپکینز سقف‌های پارچه‌ای را برای ایجاد یک چادر بسیار زیبا به کار برد، یادآور سازه‌های موقتی قرن هفدهم که بر روی زمین چمن برای مسابقات کریکت بعدازظهرهای یکشنبه برپا می‌شد.



تصویر ۱۲-۱۱ : ماوندز استا... زمین بازی.

http://telegram.me/uadesigngroup

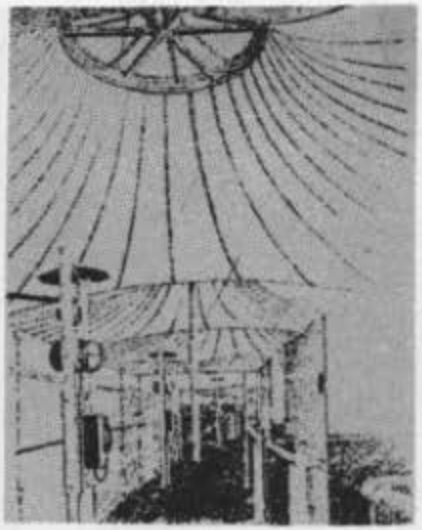
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۱۳-۱۱ : ماوندز استاندز، مقطع.

هاپکینز با همکاری مشترک دیگر مهندسین ، یک ابر سازهٔ فولادی در بالای استادیوم موجود برای جای دادن دو ردیف جایگاه جدید، یک نیم طبقه برای بخش خدماتی و سقفی که مشخص کنندهٔ سازهٔ آن بود طراحی کرد (داوی Davey، ۱۹۸۷، ۱۹۸۸) (تصاویر ۱۲-۱۱ تا ۱۴-۱۱).

بر اساس شرایط سازه‌ای تراس آجری موجود، چادر به وسیلهٔ ستون‌های لوله‌ای فولادی به قطر ۱۶ اینچ (۴۰۶ میلیمتر) نگاه داشته می‌شود که این ستون‌ها، ستون فقراتی از تیرآهن‌های فولادی را نگاه می‌دارند. تیرهای طره شده از ستون فقرات مجموعه‌ای از تیرهایی هستند که کف طبقهٔ بالایی و سقف بالای آن را شکل می‌دهند. در پشت ساختمان، تیرها به وسیلهٔ صفحهٔ تیرها به یکدیگر متصل هستند و بارها را به میله‌های کششی فولادی عمودی که در هر ۵۹ فوت (۱۸ متر) یک عدد قرار گرفته است، بین قوس‌های راهرو انتقال می‌دهند.



تصویر ۱۴-۱۱ : ماوندز استاندز، جزئیات داخلی از خط الرأس چادر نشان‌دهندهٔ حلقه کششی - بالا رو.

ردیف جایگاه بالایی با چادر پارچه‌ای متشکل از یک قاب فولادی از میله‌های مهار و کابل‌های زنجیرواره پوشیده شده است. پوشش نهایی در طرح اولیه، فایبر گلاس با پوشش تفلون بود ولی سرانجام از پلی‌استر با پوشش پی-وی-سی به علت مقاومت مناسب آن در برابر آتش استفاده شد. پارچه سقف با استفاده از نمونه های کامپیوتری و جوش اولتراسون به هفت بخش تقسیم گردید که بین ۶ دکل را می‌پوشاندند. به وسیلهٔ حلقه‌های فولادی بالارونده حول هر دکل کشیده شده و چادر به شکل مخروطی برافراشته شده بود (ناشر،۱۹۸۷).

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

خلاصه مطالب

۱- چادر، یک پوستهٔ کششی یکپارچه نازک است که به وسیله یک ستون یا قوسی فشاری نگاه داشته می‌شود.

۲- لبهٔ کناری یک چادر قابل انعطاف (غیرمتصل) است و معمولاً برای اطمینان از اینکه در کشش باقی می‌ماند به شکل مقعر است.

۳- برای مقاومت در برابر نیروی باد (همچنین افزایش عمر ساختمان)، شرط اساسی آن است که چادرها مانند یک سازه با انحنا مضاعف طراحی شوند.

۴- گسترش استفاده از پوسته‌ها (فایبرگلاس به میزان زیاد) و پوششی با حداقل استهلاک در برابر نور خورشید (تفلون دوپونت) عمر مفید پوسته‌های چادری را به بیش از ۲۰ سال افزایش داده است.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

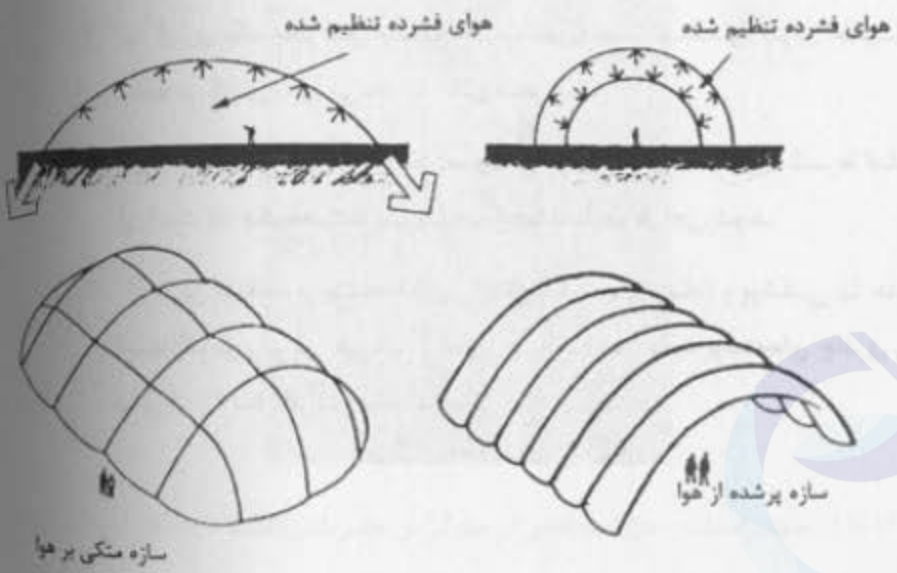
فصل ۱۲
سازه‌های هوای فشرده

سازه‌های هوای فشرده، بارها را به تکیه‌گاه‌ها از طریق پوسته‌هایی با تنظیم داخلی به وسیلهٔ هوا منتقل می‌کند. مشابه کابل‌ها، آنها فقط نیروهای کشش را از طریق سطح پوسته انتقال می دهند. به علاوه، به علت آنکه سازه‌های هوای فشرده به صورت مستقیم برای حمل بارها و تنظیم هوای داخل آنها شکل گرفته‌اند دارای فرم منحنی طنابی نیز می‌باشند.

درک چگونگی عملکرد فشار نیروهای درونی روی یک پوستهٔ محصور اصل مهمی برای طراحی و تحلیل سازه‌های هوای فشرده می باشد. اصل کلی به این صورت است: فشار هوا بار یکنواخت گسترده‌ای را که عمود بر هر نقطه از پوسته است بر آن وارد می‌کند.

دو نوع کلی از سازه‌های بادی وجود دارد: سازه‌های متکی بر هوا و سازه‌های محصور باد شده (تصویر ۱-۱۲). در سازه‌های متکی بر هوا پوسته سقف یک لایه است که در اطراف هوابندی شده و با تنظیم فشار داخلی که کمی بیشتر از فشار هوای بیرون است نگاه داشته می‌شوند. در نتیجه تمامی حجم داخلی سازه با فشار هوای داخل تنظیم می‌گردد.

سازه‌های بسته باد شده بر اساس عناصر سازه‌ای (مانند قوس‌ها و ستون‌ها) که فشار هوای داخل آنها تنظیم شده است، شکل گرفته‌اند. بنابراین به صورت یک فرم صلب هستند که برای نگاهداری فضای داخلی محصور که هوای داخل آن ثابت نیست به کار می روند.



تصویر ۱-۱۲ : انواع سازه‌های بادی

سازه‌های متکی برهوا

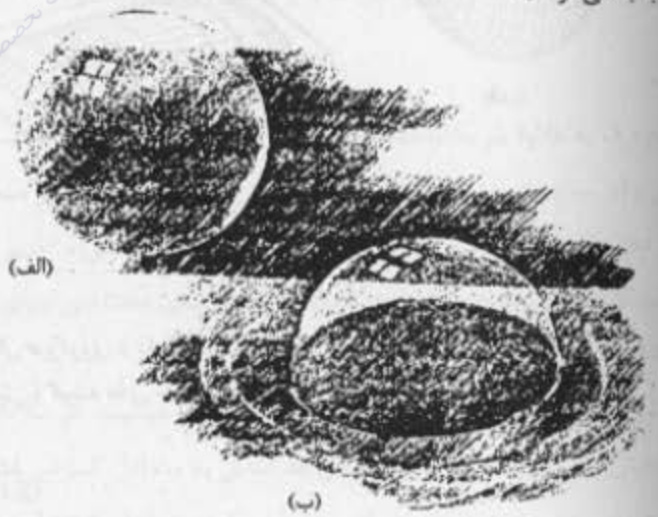
حباب‌های صابون

حباب صابون، فرمی طبیعی از سازه متکی بر هواست که به وسیله فشارهای نامتعادل در هر سمت پوستهٔ آب شکل گرفته‌است. کشش سطحی آب باعث محدودیت گسترش حباب

http://telegram.me/uadesigngroup

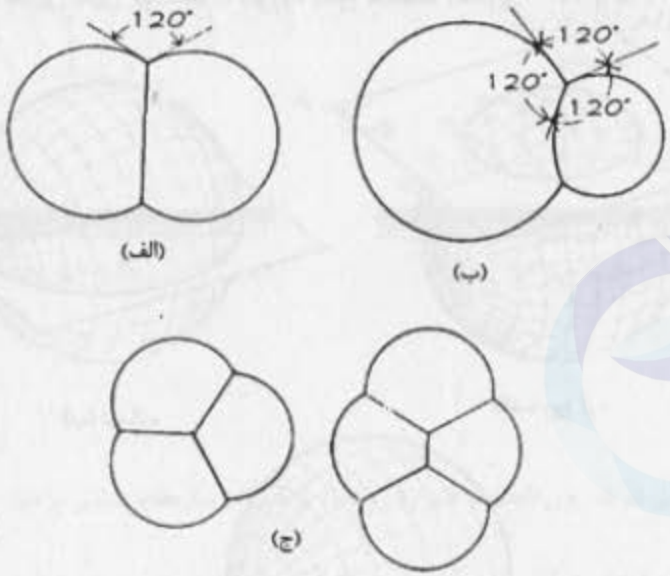
درک رفتار سازه‌ها با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

می‌گردد. هنگامی که کشش سطحی به حد مقاومت کششی آب می‌رسد (کشش سطحی‌آن)، حباب از هم پاشیده می‌شود. به علت فشار داخلی که در تمام جهات به میزان برابر عمل می‌کند، پوسته تمایل به شکلی با حداقل مساحت سطح را پیدا می‌کند. برای یک حباب در هوا، این فرم کروی است: برای یک حباب که روی سطحی افقی قرار گرفته، فرم طبیعی نیمکره است (تصویر ۲-۱۲). نیروهای فشاری داخلی حباب همیشه عمود بر سطح عمل می‌کنند. اگر شکل حباب به شکلی غیر از دایره تغییر پیدا کند، حباب به طور طبیعی به شکلی با حداقل سطح بر اساس فرم پیرامونی و فشار داخلی شکل می‌گیرد (فشار بالاتر باعث ارتفاع بیشتر در حباب می‌گردد).



تصویر ۲-۱۲ : حباب صابون (الف) یک کره شناور در هوا و (ب) نیمکره روی یک سطح

ترکیب هندسی حباب‌های صابون جالب است و با سازه‌های بادی عظیم تر مشابه می‌باشد. اگر دو حباب شناور با اندازه برابر (فشار داخلی برابر) به یکدیگر نزدیک شوند، به هم ملحق شده و سطح پوستهٔ آن دو با زاویه ۱۲۰ درجه با هم برخورد می کنند و سطح تقسیم کننده آنها ساخته می‌شود (سطحی دو وجهی با حباب‌هایی با اندازه و فشار برابر). صفحهٔ تقسیم‌کننده داخلی به علت اینکه فشار برابر در هر دو سمت آن وجود دارد، مسطح است. اگر اندازه حباب‌ها متفاوت باشد، فشار داخلی متفاوت بوده و سطح جداکننده دو حباب به صورت یک منحنی خواهد شد، اما زاویهٔ بین سطوح بیرونی حباب‌ها و صفحه داخلی همیشه ۱۲۰درجه خواهد بود (تصویر ۳-۱۲). حجم عظیمی از حباب‌ها با اندازه و تعداد متفاوت معمولاً از این هندسه ۱۲۰ درجه پیروی می‌کنند (دنت Dent، ۱۹۷۱).

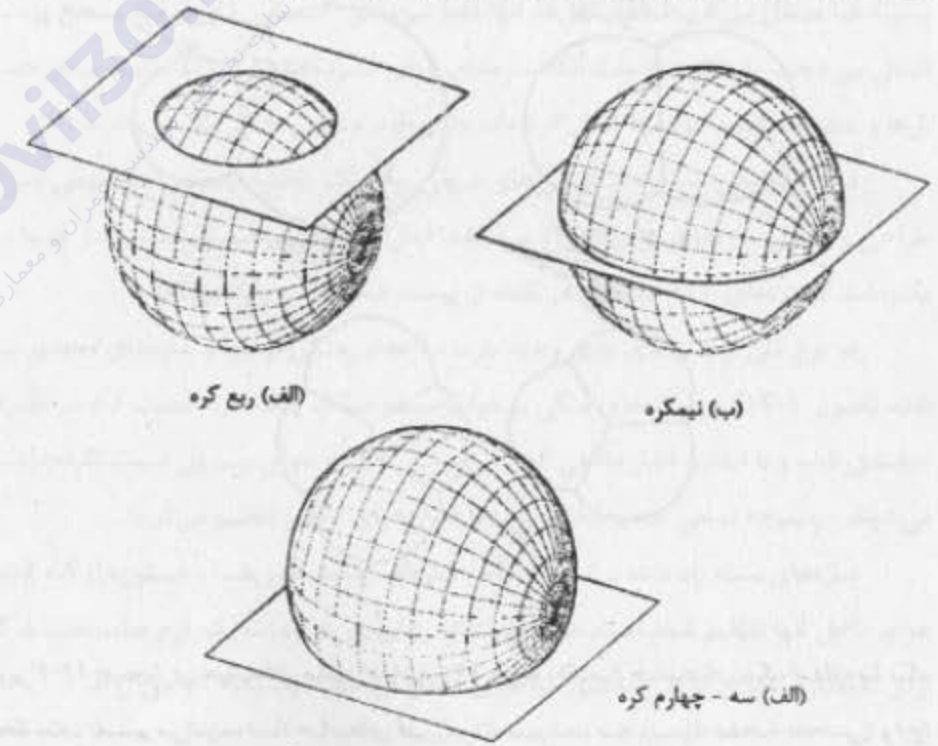


تصویر ۳-۱۲ :همجواری حباب‌های صابون با زاویهٔ ۱۲۰ درجه : (الف) حباب‌های یک اندازه با یک صفحهٔ صاف تقسیم می‌شوند، (ب) حباب‌های غیربرابر (تقسیم شده به وسیلهٔ صفحهٔ منحنی) و (ج) احجام سه‌تایی و چهارتایی حباب‌ها.

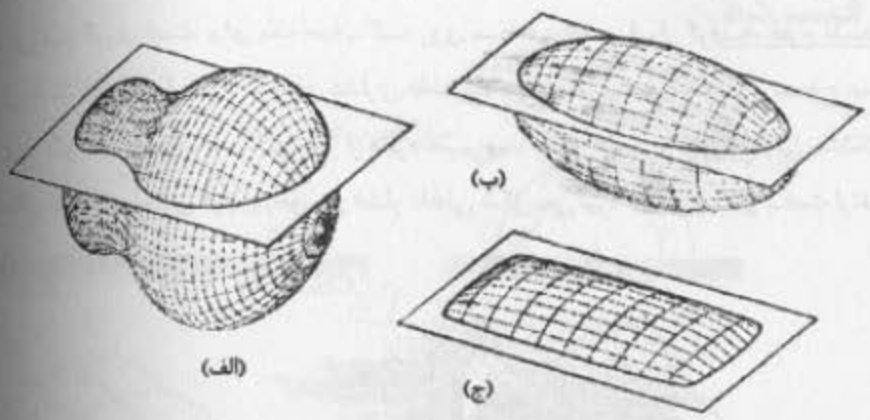
http://telegram.me/uadesigngroup

اشکال گوناگون

تمامی سازه‌های متکی بر هوا تمایل به شکل نیمکره دارند انحنای آنها باید حداقل در یک جهت محدب باشد (فرم‌های زین‌اسبی امکان پذیر است): منحنی محدب در هر دو جهت شناخته شده‌تر است. معمولاً بیشتر اشکال از طریق دوران یک فرم خطی حول یک محور به دست می‌آیند با پوسته‌ای متکی بر هوا که شکل نهایی آن را می‌سازد. چنین فرمی حداقل در یک جهت محدب است. اشکال محیطی زاویه‌دار تنش‌های متمرکز زیادی را در گوشه ها ایجاد می کنند، به همین دلیل گوشه‌ها به صورت مدور هستند (تصاویر ۴-۱۲ و ۵-۱۲).



تصویر ۴-۱۲ :سازه‌های کروی متکی بر هوا (الف) ربع کره و (ب) نیمکره و (ج) سه – چهارم کره.



تصویر ۵-۱۲ :اشکال غیرکروی با تکیه‌گاه بادی: (الف) فرم زین‌اسبی دوران یافته، (ب) بیضی دوران یافته و (ج) مستطیل با گوشه های مدور جهت کاهش تنش.

شرایط بارگذاری

مشابه دیگر سازه‌ها، در سازه‌های متکی برهوا، بارهای مرده (وزن پوسته و بارهای دائمی معلق از پوسته) و بارهای زنده (بار برف، باران، باد و بارهای وارده موقت) مورد مطالعه قرار می‌گیرند. به علاوه، سازه برای بارهای ناشی از فشار هوا که برای باقی ماندن پوسته در کشش ذخیره می‌گردد و بارهای مرده و زنده را نگاه می‌دارد نیز تحت بررسی قرار می‌گیرد.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

درک رفتار سازه‌ها

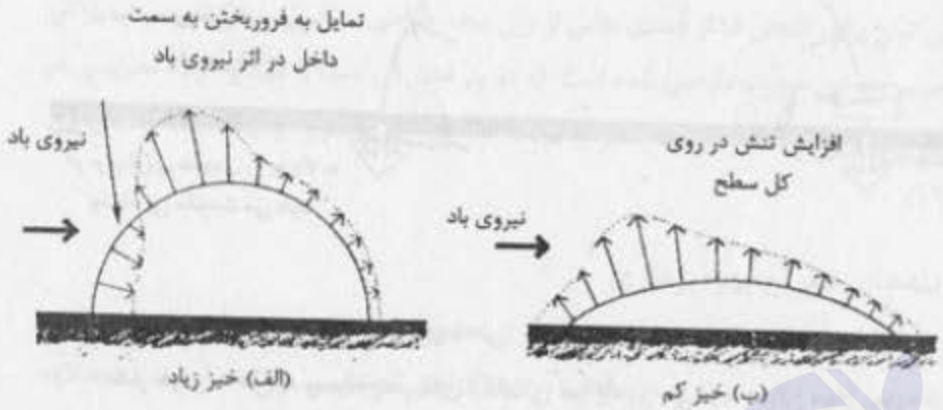
بارهای مرده

در پوسته‌های قابل انعطاف (مانند پارچه) سازه‌های متکی برهوا، بار وزن پوسته در مقایسه با دیگر بارها قابل اغماض است. در حقیقت تمامی سازه‌های متکی برهوا که در گذشته ساخته شده و یا امروزه ساخته می‌شوند از این نوع هستند، اما اگر مصالح مقاوم تر برای سازه‌هایی که در آینده ساخته می شوند، به کار رود (برای دلایل عایق و یا طول عمر بیشتر) در آن صورت وزن پوسته باید در نظر گرفته شود. معمولاً از وارد کردن بارهای مردهٔ متمرکز برای جلوگیری از میزان زیاد تغییر شکل و تنش متمرکز باید اجتناب شود. در جایی که چنین باری لازم است، بار باید روی سطح بزرگی پخش شده و پوسته نیز تقویت گردد.

بارهای زنده

تجمع برف به علاوهٔ بار یکنواخت و قابل پیش‌بینی نسبی ناشی از انباشته شدن برف، مسأله مهمی برای سازه‌های متکی بر هواست، بخصوص هنگامی که خیز منحنی کم باشد (خصوصاً در دهانه‌های طولانی). برف‌های توده شده تمایل به انباشتگی و تغییر شکل پوسته در یک حالت غیر قابل پیش‌بینی دارند. در نتیجه، راه‌حل‌های مختلفی برای برداشتن برف گسترش یافته است.

بار ناشی از نیروی باد امری مهم در سازه‌های متکی بر هواست. در سازه‌ای با خیز تند، فشار باد بر بخش پایین‌تر گنبد در جهت مقابل باد تمایل به متعادل کردن فشار تکیه‌گاهی داخلی دارد و سبب فروریختن داخلی در اثر فشاری که متعادل شده است در هر جهت می‌گردد. فشار داخلی باید به اندازه کافی جهت مقاومت در برابر این نیرو بزرگ باشد. در سازه‌هایی با خیز کم، هوا به هنگام عبور از روی سازه سرعت گرفته و دامنهٔ آئرودینامیکی بالایی تولید می‌کند (شبیه به آنچه در بال هواپیما اتفاق می‌افتد)، در نتیجه مکش در بالای پوسته به فشار تکیه‌گاهی در پایین اضافه می شود و کشش در آن افزایش می یابد (تصویر ۶-۱۲).

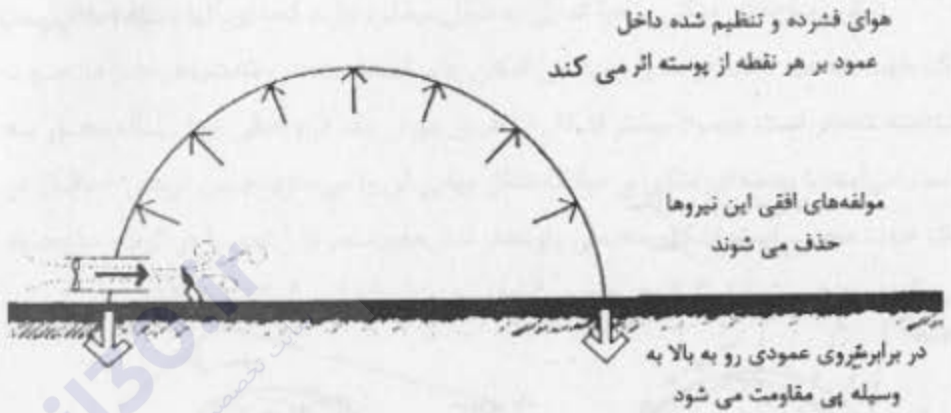


تصویر ۶-۱۲: تأثیر بار باد روی (الف) با خیز زیاد و (ب) با خیز کم سازه‌های متکی بر هوا.

بارهای ناشی از فشار هوا

بارهای ناشی از فشار هوا عمود و به طور یکنواخت بر پوسته عمل می‌نمایند. برای شرایط بارگذاری بدون بار برف، فشار واقعی مورد نیاز برای نگاهداری چنین سازه سبک وزنی تقریباً کم است [۰/۰۳ پاوند بر اینچ مربع (۱۰/۵ نیوتن بر متر مربع) یا ۱/۵۰۰ فشار اتمسفر] (تصویر ۷-۱۲). این اختلاف فقط معادل فشار بین طبقه اول و ششم ساختمان است.

http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۷-۱۲ : دیاگرام جریان نیروی فشاری داخل.

فشار هوای داخل به وسیله پمپ‌های مکانیکی هوا تأمین می‌شود. میزان هوای مورد نیاز برای نگاهداری سقف بستگی به حجم داخلی ساختمان دارد و فقط برای جبران اتلاف هوا محاسبه گردیده است. هزینه چنین پمپهایی تقریباً برابر هزینه دستگاه تهویه مطبوع در آب وهوای یکسان می باشد (هامیلتون Hamilton، ۱۹۹۴). در بعضی از تجارب سازه‌ای از نیروی باد جهت تنظیم فشار داخل استفاده کرده‌اند (تصویر ۸-۱۲)، ولی سرعت متغیر باد استفاده از چنین سیستمی را غیر عملی نموده است.

شیوهٔ دیگر تنظیم فشار هوای داخل به کار گیری تفاوت دمای بیرون و درون است (در نتیجهٔ استفاده از گرمای تلف شدهٔ خورشیدی منابع داخلی گرم کننده به دست می‌آید)، که در نتیجه هوای درون را سبک‌تر می‌نماید. برای تأثیر چنین سیستمی باید اختلاف دما و دهانهٔ هر دو به اندازه مناسبی بزرگ باشند.

بازشوهای دسترسی

مشکل اساسی در سازه‌های متکی به هوا تأمین دسترسی ها به فضای داخلی در عین ثابت نگاه داشتن فشار داخلی می‌باشد. درهای لولایی معمولی برای این سیستم مناسب نمی‌باشند، زیرا تحت فشار نسبتاً کم هم برای باز شدن به سمت داخل مشکل دارند و هنگامی که لولا به سمت بیرون می‌چرخد ، غیرقابل کنترل می‌باشند. به علاوه در زیر بار ازدحام مردم، درها معمولاً به طور مداوم باز هستند و در نتیجه میزان اتلاف هوا زیاد خواهد بود.

تصویر ۸-۱۲ : گنبد با تنظیم فشار هوای داخل. بازشو با دریچه‌های داخلی که در پیرامون گنبد قرار گرفته‌اند. در جهت رو به باد، هوا وارد می‌شود، در جهت پشت به باد فشار داخلی و قسمت خارجی دریچه‌ها را می‌بندد، با استفاده از هوابند که از افت فشار ممانعت به عمل می‌آورد. این سیستم به صورت خودکار با تغییر جهت باد عمل کرده و دریچه‌های مختلف باز و بسته می‌شوند. یک گنبد نیمدایره به قطر ۶۰ فوت (۱۸ متر) از این طرح از جنس فیلم پلی اتیلن به وسیلهٔ دانشجویان معماری دانشگاه اورگان و پروفسور دونالد پتینگ ساخته شد و به طور موفقیت‌آمیزی در ساحل اورگان آزمایش گردید.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

قفل‌های هوایی (راهرویی با دو مجموعه در) مشکل باز شدن درها را حل کرده و باعث کم شدن ازدحام بحدی گشته‌اند که در هر زمان فقط یک سری از درها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این راه حل به طور گسترده‌ای با درهای مضاعف در جایی که دسترسی جهت وسائط نقلیه مورد نیاز می باشد، استفاده می‌شود.

بعضی از سازه‌ها در جایی که پمپ‌های مکانیکی بزرگ در هر طرف در های لولایی جریان شدیدی از هوا را ایجاد می‌نمایند، از پره های هوا برای ممانعت از افت فشار هنگامی که درها باز هستند استفاده می‌شود. اگرچه، آشفتگی منتج از آن برای استفاده در ساختمان‌های عمومی بسیار زیاد است. درهای چرخان، هوای کنترل شده مورد نیاز را تأمین کرده و به میزان زیادی در مناطق با ازدحام بالای جمعیت در سازه‌های متکی بر هوا استفاده می شوند.

کنترل افت فشار

کاهش هوا به خودی خود یک خرابی نیست، زیرا پوستهٔ سقف برای حرکت به بالا و پایین طراحی شده است. مسأله مهم هنگام تخریب یا زمان سرویس کردن است. کاهش فشار هوا به صورت تصادفی در اثر سه مسأله به وجود می‌آید. یکی از آنها افت فشار در اثر شکاف یا بریدگی در سقف می‌باشد. تحلیل‌های پیشرفتهٔ سازه‌ای و مقاومت پوسته، بریدگی و شکاف را در آن به حداقل رسانده‌اند. شکاف‌های عمدی بندرت به اندازه‌ای بزرگ هستند که سبب افت فشار گردند و بسادگی قابل تعمیر می‌باشند. دلیل دیگر افت فشار در اثر سوء عمل وسایل مکانیکی یا قطع برق است. این مشکل با استفاده از پمپ های مکانیکی یدکی و استفاده از ژنراتورهای الکتریکی حل شده است.

مسأله سوم فرو ریختن سازه در اثر وزن برف می‌باشد. این مشکل باعث خرابی در تعدادی از سقف‌های متکی بر هوا گردیده است (میناپولیس، مترودام در سال های ۱۹۸۱ و ۱۹۸۲، گنبد داکوتا در ورمیلیون، داکوتای جنوبی در سال ۱۹۸۲، گنبد نقره‌ای در پونتیاک، ماساچوست در سال ۱۹۸۵). در اغلب موارد، این امر در نتیجه خرابی و نقص در سیستم دستگاه‌های برداشت برف می‌باشد. برای اجتناب از فروریزی در اثر برف، یک سیستم برداشت برف به سیستم برداشت مکانیکی یا ذوب اضافه شده است. به علاوه، فشار داخلی برای جبران بار اضافی سقف می تواند افزایش یابد. در نهایت، در مناطق مستعد برای انباشتگی برف، سازه را می توان برای کاهش فشار عمدی ناشی از وزن برف طراحی نمود. گنبد کاریر در سیراکوز نیوجرسی به این صورت طراحی شده است که دو بار فشار آن عمداً با هیچ گونه تخریبی در سقف کاهش یافته (۱۹۸۲ و ۱۹۹۲) و بسرعت تحت کنترل قرار گرفته است (هامیلتون، ۱۹۹۴).

هزینه‌های دوران بهره‌برداری

از اواسط دهه ۷۰، هزینه‌های مصرف انرژی مربوط به تنظیم فشار هوای داخل سقف و به خصوص ذوب برف نسبت به هزینه‌های ساخت افزایش نامتناسبی داشته است. به علاوه، دستمزد افراد مربوط به تعمیرات و عملیات مربوطه به طور ثابت بیشتر از میزان پیش‌بینی شده می‌باشد. در نتیجه عوامل ذکر شده و لزوم جابجایی و تغییر پوسته سقف پس از عمر مفید آن (۲۰ سال)، هزینه دوران بهره‌برداری برای دهانه‌های بزرگ در سقف‌های متکی بر هوا به طور معمول بیشتر از میزان قابل انتظار بوده است (هامیلتون، ۱۹۹۴).

مصالح

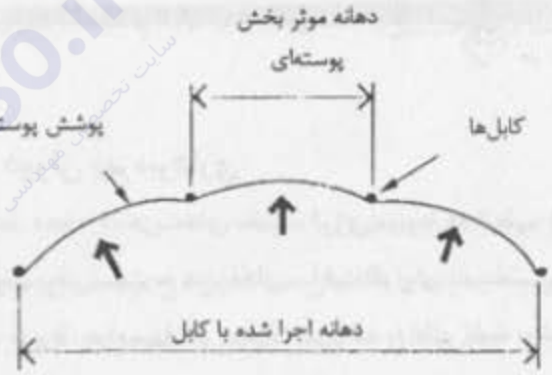
در عین اینکه استفاده از پوسته‌های قابل ارتجاع برای مدل‌های مطالعاتی مفید است، در واقعیت تمامی سازه‌های بزرگ پوسته‌ای از مصالح با حداقل کشش در زیر بار ساخته می شوند. شکل نهایی به وسیلهٔ شکل‌گیری پانل‌های پارچه‌ای یک لایه قبل از ساخت، تقریباً با همان حالتی که چادرها شکل می‌گیرند، تعیین می‌گردند. به علاوه، مشابه سازه‌های چادری، از سال

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

۱۹۷۴، تمامی سازه‌های هوای فشرده بزرگ از پوستهٔ فایبرگلاس با پوشش تفلون ساخته‌شده‌اند. این پوسته در برابر آتش سوزی و استهلاک در برابر نور خورشید به خوبی مقاوم است و عمر مفیدی بیش از ۲۵ سال دارد.

کشش در پوسته با افزایش دهانه افزایش یافته و با افزایش خیز کاهش می‌یابد. سازه‌هایی با دهانه‌های بزرگ، کابل‌هایی با خیز کم را برای کاهش تنش ها در پوسته به‌کار می‌برند، دهانهٔ مؤثر پوسته به وسیلهٔ فضای بین کابل‌ها تعیین می‌شود (تصویر ۹-۱۲).

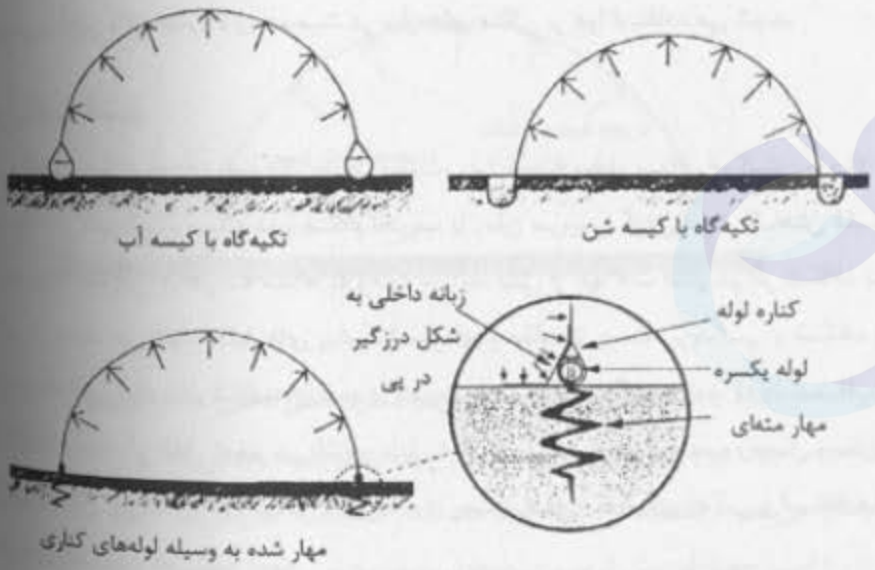


تصویر ۹-۱۲ : مقطع از گنبد متکی بر هوا نشان‌دهندهٔ کاربرد کابل‌ها برای کاهش تنش در پوسته است. دهانه مؤثر پوسته برای پوشش کابل‌ها کاهش یافته است.

مهار کردن(تکیه‌گاه)

به علت اینکه پوسته های متکی برهوا فقط نیروهای کششی را منتقل می نمایند (در سطح پوسته) نیروی رانشی داخلی قابل ملاحظه ای ایجاد می شود و باید در برابر آن نیروی مقاومی وجود داشته باشد. نیروی رانش افقی تابعی از دهانه است و نسبت عکس با خیز دارد (خیز کمتر نیروی رانشی بیشتر). علاوه بر نیروی رانش جانبی، در تمامی سازه‌های متکی بر هوا نیرویی برابر با حاصلضرب سطح اتکا آنها بر روی زمین در فشار داخلی سازه وجود دارد.

در ساختمان‌های کوچک، در برابر چنین خمشی می‌توان با مهار کردن پیرامون ساختمان به زمین، مقاومت کرد (تصویر ۱۰-۱۲). در ساختمان‌های بزرگتر، از یک حلقه فشاری از بتن مسلح (رفتاری مانند یک قوس ممتد)، برای مقاومت در برابر نیروی رانش داخلی استفاده می‌شود. به همین دلیل، پلان چنین ساختمان‌هایی معمولاً به شکل دایره یا بیضی است. حلقه‌های فشاری که در پلان به شکل مقاطع مستقیم‌الخط هستند، موضوعی اساسی و قابل توجه در تنش‌های خمشی می‌باشندو باید در طراحی مانند تیرهایی که بارگذاری افقی شده‌اند، در نظر گرفته شوند.



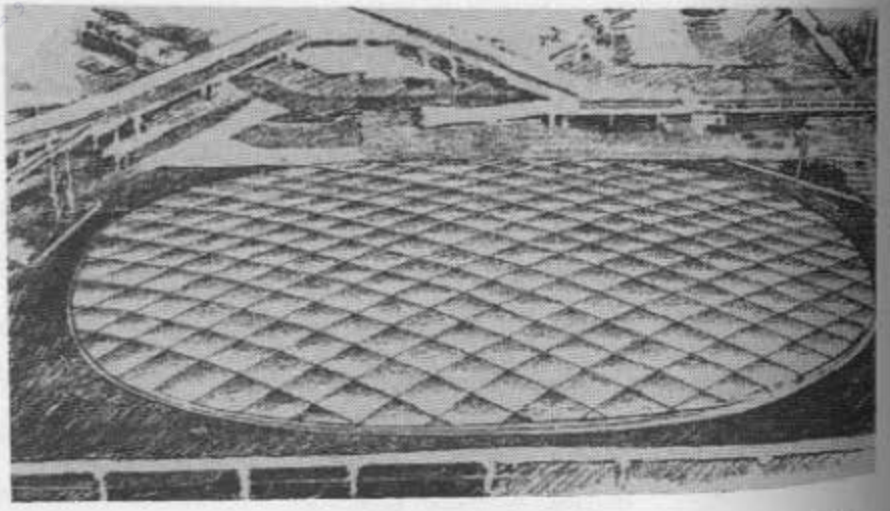
تصویر ۱۰-۱۲ : سیستم‌های اتصال به زمین برای سازه‌های متکی بر هوا.

http://telegram.me/uadesigngroup

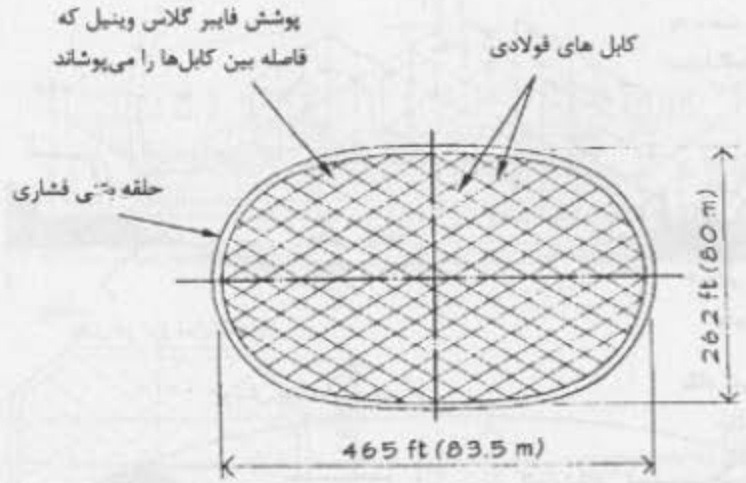
مطالعات موردی سازه‌های متکی بر هوا

غرفهٔ ایالات متحد، نمایشگاه اکسپو ۷۰

این غرفه (۱۹۷۰: اوزاکا، ژاپن، مهندس معمار: دیویس، برادی و همکاران، مهندس سازه: گایگربرگر و همکاران) اولین نمونه از ساختمان‌های با دهانهٔ بزرگ و کابل‌های مهاری متکی بر هوا بود. ساختمان در پلان به شکل تخم‌مرغی (یک بیضی بزرگ که بین یک بیضی و یک مستطیل قرار گرفته بود) با ۴۶۵ فوت (۱۴۲ متر) طول در ۲۶۵ فوت (۸۳/۵ متر) عرض با خیزی کم بود. این فرم پلان متناسب با فرم مستطیل شکل سایت و نیاز به یک حلقه فشاری منحنی ممتد برای مقاومت در برابر نیروی رانش داخلی به دست آمده بود. مقطع عرضی کم ارتفاع داخلی، مقاومت سازه در برابر نیروی باد با سرعت ۱۲۵ مایل / ساعت (۲۰۰ کیلومتر / ساعت) و زمین لرزه را تأمین می‌نماید (دنت ۱۹۷۱Dent، ویله‌کو Villeco ۱۹۷۰، گایگر ۱۹۷۰) (تصاویر ۱۱-۱۲ تا ۱۴-۱۲).



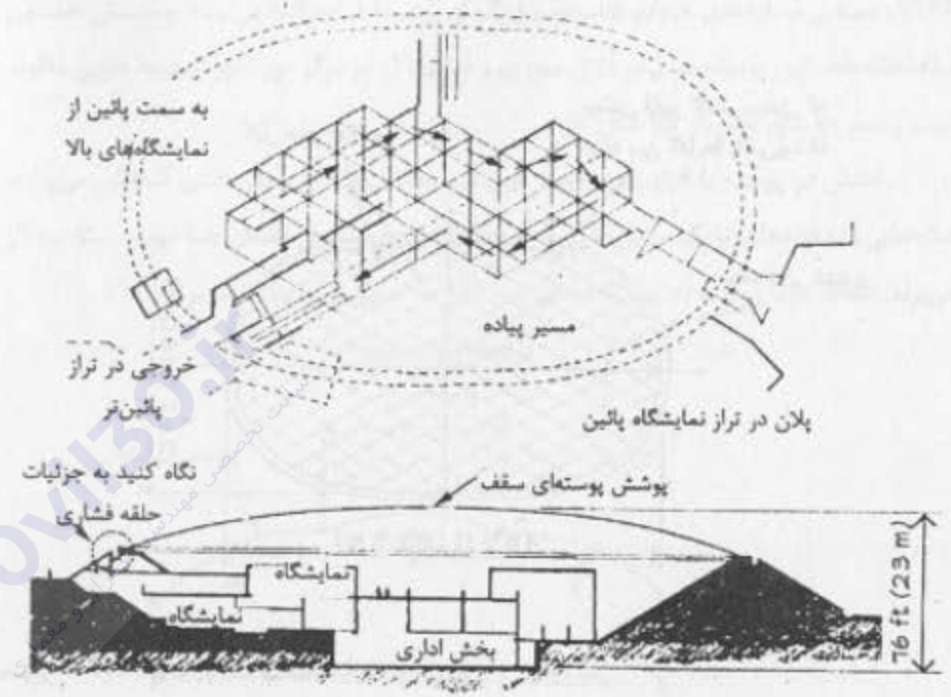
تصویر ۱۱-۱۲ : غرفهٔ ایالات متحد، نمایشگاه اکسپو ۷۰ ، نمای خارجی.



تصویر ۱۲-۱۲ : غرفهٔ ایالات متحد، نمایشگاه اکسپو ۷۰ ، پلان بام.

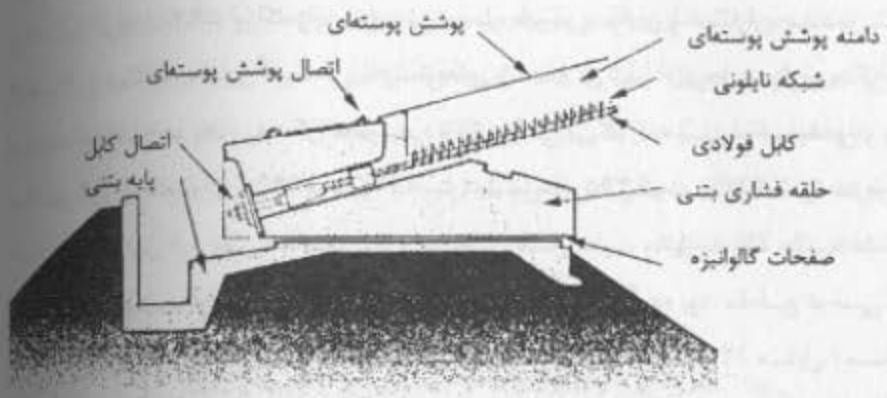
پوشش سقف، متشکل از یک پوستهٔ فایبرگلاس با پوشش وینیل تشکیل شده است. سقف به وسیلهٔ کابل‌های فولادی که به شکل الماس چیده شده اند، مهار شده است که نمایی مشابه شکل ابر را ایجاد می‌نماید. کابل‌ها به فاصلهٔ ۲۰ فوت (۶متر) از یکدیگر با قطری مابین ۱/۵ اینچ (۳۸ میلیمتر) برای کوتاهترین تا ۲/۲۵ اینچ (۵۶ میلیمتر) برای طولانی‌ترین آنها قرار گرفته‌اند. فرم الماس‌گونهٔ کابل‌ها باعث صرفه‌جویی در مصالح (۲۵ درصد کمتر از فولاد)، اصلاح تخلیهٔ آب باران، کاهش تعداد کابل‌های لازم در حلقه و فراهم کردن یک مقطع عرضی آئرودینامیک بهتر، نسبت به حالت‌های گوناگون گردید (مانند یک فرم شعاعی با یک حلقهٔ کششی مرکزی یا یک فرم مستطیلی شبیه راکت تنیس).

http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر۱۳-۱۲ : غرفه ایالات متحد، نمایشگاه اکسپو ۷۰ ، پلان همکف و مقطع.

نیروی رانشی داخلی پوسته به وسیلهٔ یک تیر فشاری محیطی از جنس بتن مسلح مقاوم شده است. مقطع عرضی حلقه ۴۰ فوت (۱/۲ متر) ارتفاع و ۱۱/۵ فوت (۳/۵ متر) عرض دارد و روی یک پی بتنی در بالای یک دیواره خاکی تکیه دارد. حلقهٔ فشاری برای لغزیدن روی پی برای ایجاد امکان حرکت مناسب برای بارگذاری‌های مختلف و انبساط حرارتی طراحی شده است. الگوی کابل‌های مهاری، فرم حلقهٔ فشاری منحنی برای بارهای یکنواخت است (مناسب برای تنظیم فشار و بارهای ناشی از وزن) در نتیجه در تنش‌های فشاری بدون خمش باقی‌می‌ماند.



تصویر ۱۴-۱۲ : غرفهٔ ایالات متحد، نمایشگاه اکسپو ۷۰ ، جزئیات حلقه فشاری بتنی مسلح

. بارگذاری نامتقارن (باد) ایجاد خمش می‌نماید و به وسیلهٔ فولاد موجود در حلقه فشاری در برابر آن مقاومت شده است. وزن حلقه برای مقاومت لازم در برابر نیروی باد و تنظیم فشار هوای داخل کافی می باشد. فضای داخل به وسیله چهار پمپ هوا با فشار ۰/۰۳ پاوند / اینچ مربع (۱۰/۵ نیوتن / متر مربع یا حدود ۱/۵۰۰ فشار اتمسفر) ، هر یک با ظرفیتی برابر ۸۰۰۰ فوت مکعب / دقیقه (۳/۷۷ مترمکعب / ثانیه) پرشده است. دو پمپ یدکی مشابه و یک ژنراتور در مواقع قطع برق در دسترس می باشند. مسیر پیاده از درون چندین در گردان عبور می نماید. فضای داخلی نمایشگاه بدون ستون بوده و برای نگاهداری پوسته سقف در مواقع تغییر فشار تصادفی طراحی شده است.

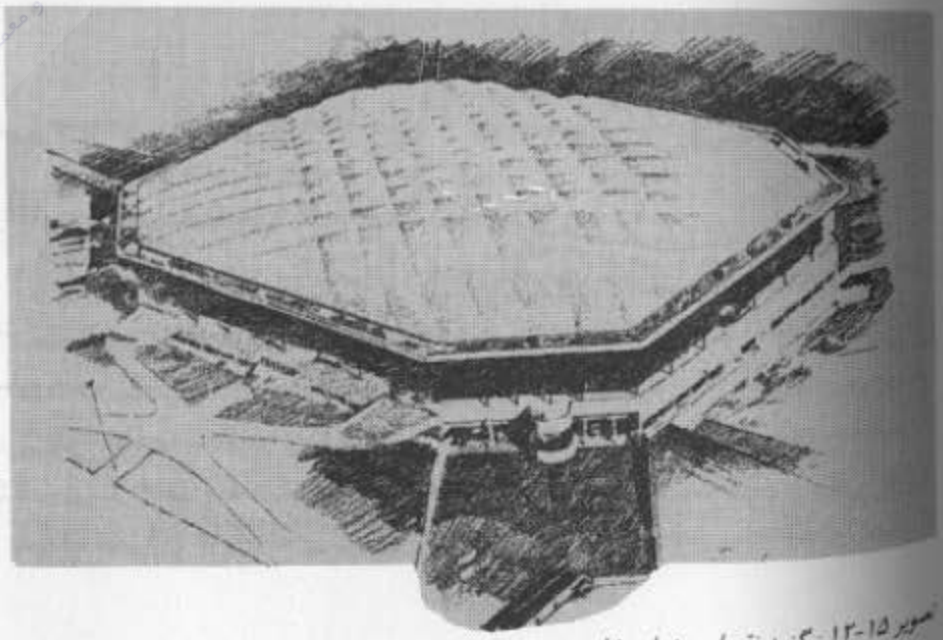
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

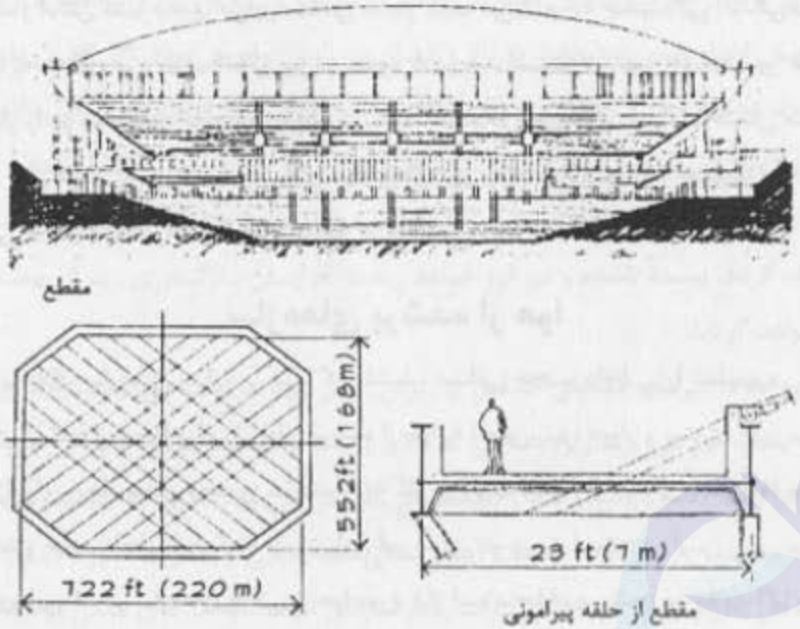
گنبد نقره‌ای Silverdome

این ورزشگاه سرپوشیده (۱۹۷۴: پونتیاک، مینه سوتا، مهندس معمار: اودل / هولت و لاکن‌باخ، مهندس سازه: گایگر برگر و همکاران) مشخصه‌های زیادی از پروژه‌ای که توسط دیوید گایگر در غرفه اوزاکا معرفی شد دارد: خیز کم، سقف متکی بر هوا، کابل‌های مهار الماس‌گونه و یک حلقه پیرامونی. ابعاد گنبد در مقایسه با نمونه‌های ابتکاری دیگر دوبرابر است ۷۲۲ فوت (۲۲۰ متر) طول در ۵۲۲ فوت (۱۵۹ متر) عرض. سقف از سطح زمین ورزشی در مرکز ۲۰۲ فوت (۶۱/۵ متر) ارتفاع دارد (ناشر ۱۹۷۶) (تصاویر ۱۵-۱۲ و ۱۶-۱۲).

حلقهٔ پیرامونی یک هشت‌ضلعی غیرمنتظم محاط در یک بیضی بزرگ است. در نتیجه تحت نیروهای خمشی حتی در زیر بارهای متقارن (هوا و وزن) قرار می‌گیرد و مانند یک قوس ممتد رفتار می‌کند. سازه آن ترکیبی از بتن مسلح و مقاطع فولادی ساخته‌شده است و دارای مقطعی به شکل H می‌باشد.



تصویر ۱۵-۱۲ : گنبد نقره‌ای ، نمای خارجی.



تصویر ۱۶-۱۲ : گنبد نقره‌ای ، (الف) مقطع، (ب) پلان بام و (ج) مقطع از حلقه پیرامونی.

به علت ارتفاع زیاد سقف برای تأمین جایگاه‌های مورد نیاز، حلقه پیرامونی روی ستون‌های فولادی و میله‌های مهار مورب (شبیه غرفهٔ ایالات متحد در اوزاکا با پایداری بیشتر) قرار گرفته‌اند. تمامی این مجموعه همراه با پایه‌های ستون مورد نیاز برای حمل بارهای متمرکز ناشی از وزن ساختمان، هزینه ساختمان را به طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌دهند.

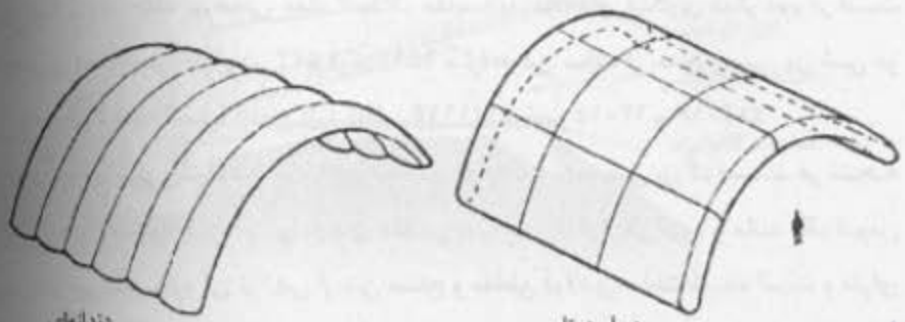
http://telegram.me/uadesigngroup

پوسته‌سقف از جنس فایبرگلاس با پوشش تفلون است. این پوشش مزایای زیادی نسبت به پوشش قبلی، یعنی پوشش وینیل داشته است. به علاوه، برای مقاومت بیشتر در برابر نور خورشید و امکان تمیز شدن، دارای سطحی بسیار صاف می‌باشد که چسبندگی آلودگی‌ها روی سقف را به حداقل می‌رساند. انتقال نور در حدود ۸ در صد است، در عین اینکه نور طبیعی مورد نیاز را در مسابقاتی که در روز انجام می‌گیرد به حداقل می‌رساند. این ساختمان متشکل از ۱۰۰ پانل است که به وسیلهٔ کابل‌های مهاری فولادی به قطر ۳ اینچ (۷۵ میلیمتر) که به تیر پیرامونی متصل شده‌اند شکل گرفته است.

سازه‌های پرشده از هوا

برخلاف سازه‌های متکی بر هوا که فشار، تمامی حجم داخلی را تنظیم می‌نماید، سازه‌های پرشده از هوا، اجزای سازه‌ای پرشده از هوا را (قوس، تیر، دیوار و ستون) یکی می‌کنند. این اجزا برای ایجاد شکل محصور ساختمان به کار می‌روند. فقط اجزا، دارای فشار تنظیم شده می‌باشند و حجم داخلی این گونه نیست. این امر دارای دو مزیت است : در این روش نیاز به هوابندی‌هایی که در سازه‌های متکی بر هوا مورد نیاز است، حذف می‌شود. به علاوه، اگر یکی از اجزای پرشده از هوا خالی شود (به عنوان مثال در اثر پارگی)، بخش های مجاور مقاومت کافی برای جلوگیری از ریزش ساختمان را دارند.

سازه‌های پرشده از هوا به دو بخش اصلی تقسیم می‌شوند: سازه‌های دندانه‌ای پرشده از هوا و سازه‌های با دیواره دوجداره. سازه‌های دندانه‌ای پرشده از هوا از مجموعه‌ای از لوله‌های پرشده از هوا (معمولاً قوسی شکل) که فضایی محصور را به وجود می‌آورند (طاق یا گنبد)، تشکیل شده اند. سازه‌های با دیواره دوجداره متشکل از پوسته‌های موازی می‌باشند، پوسته‌ها به وسیله رشته‌ها یا دیافراگم‌ها و فضای میانی که دارای فشار تنظیم شده است نگاه‌داشته می‌شوند (تصویر ۱۷-۱۲).



تصویر ۱۷-۱۲ : سازه‌های پرشده از هوا.

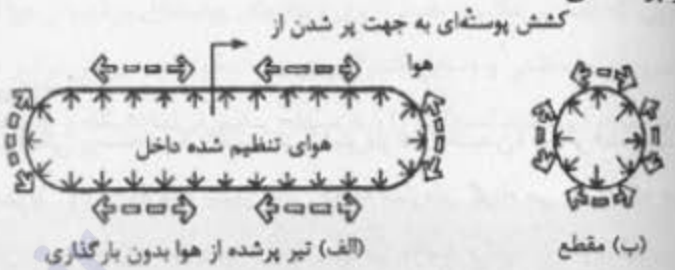
رفتار سازه ای

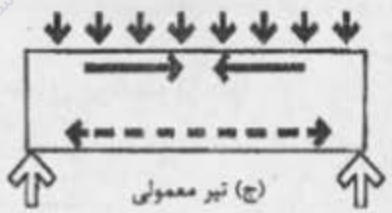
در حالی‌که سازه‌های متکی بر هوا به فشاری کم برای نگه‌داشتن پوسته سقف نیاز دارند، فشار در اجزا سازه‌های پرشده از هوا باید مقدار قابل توجهی باشد تا سختی لازم برای پایداری سازه و اعضا تکیه‌گاهی تأمین گردد.

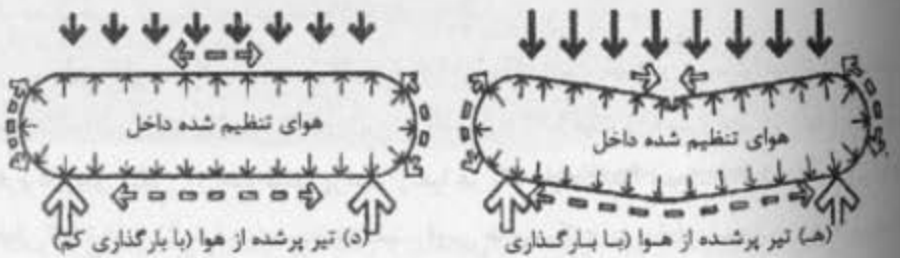
یک لولهٔ پرشده از هوا را در نظر بگیرید(تصویر ۱۸-۱۲). هنگامی که از هوا پرشده (ولی بارگذاری نشده)، فشار داخلی در دو انتها سبب کشش طولی در پوسته می‌شود. در همان زمان،

http://telegram.me/uadesigngroup

فشار داخلی در جهت جداره استوانه‌ای لوله تمایل به تبدیل پوسته به شکل دایره دارد و ایجاد کشش شعاعی در پوسته می‌کند.







تصویر ۱۸-۱۲ : رفتار یک تیر پرشده از هوا در برابر بارگذاری: (الف) بدون بار، تیر پرشده از هوا با کشش طولی مناسب برای فشار در مقابل دو انتها و کشش شعاعی لازم جهت فشار در جهات مختلف، (ب) تمایل به دایره‌ای شکل شدن در مقطع عرضی در کشش شعاعی، (ج) خمش در تیرهای معمولی تکیه‌گاه در هر انتها سبب فشار در بالا و کشش در پایین می‌شود، (د) یک تیر پرشده از هوا، تحت بارگذاری کم، کشش القایی فشاری بیشتری نسبت به فشار خمشی القایی دارد و پایدار است، در حالیکه (هـ) یک تیر پرشده از هوا، تحت بارگذاری زیاد، کشش فشاری القایی کمتری نسبت به فشار خمشی القایی دارد و بنابراین خم می گردد.

اگر لوله در هر انتها دارای تکیه‌گاه باشد و مانند یک تیر به صورت یکنواخت بارگذاری شود، خمش ایجاد شده باعث فشار در بالا و کشش در پایین لوله می‌گردد. اگر کشش طولی در لوله (ایجاد شده به وسیله فشار دو انتها) بزرگتر از خمش فشاری تولید شده در بالای لوله باشد، بخش بالای پوسته در کشش باقی می‌ماند و تیر لوله‌ای بار را حمل خواهد کرد.

اگر فشار به قدری کاهش یابد که کشش طولی کمتر از فشار خمشی تولیدشده در بالای لوله گردد، پوستهٔ تاشده و تیر فرو خواهد ریخت. افزایش بارگذاری ریزش مشابهی را سبب خواهد گردید.

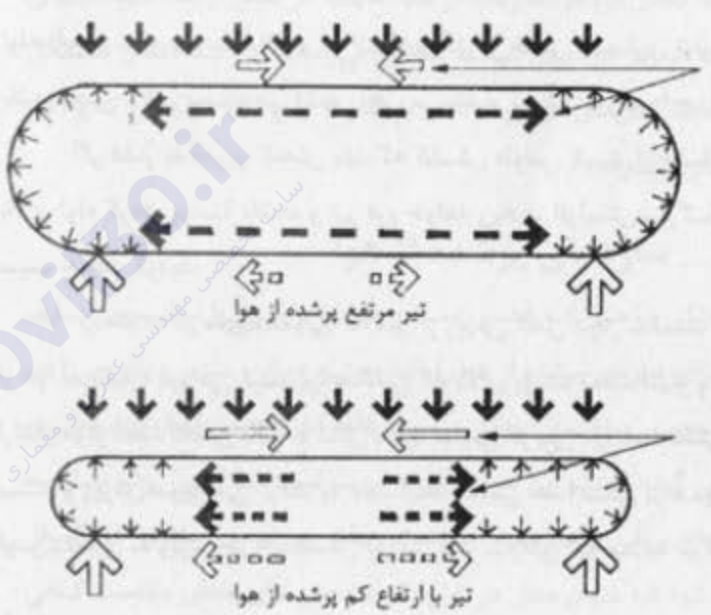
بر خلاف تیرهای معمولی که قبل از ریزش کامل دچار شکست می‌گردند، اعضا پرشده از هوا به یکباره فرو می‌ریزند.زیرا هنگامی که بالای پوسته تحت فشار و تاشدگی قرار می‌گیرد، ارتفاع مؤثر اعضا کاهش یافته و تنش های خمشی افزایش می‌یابد، عاملی که سبب تاشدگی بیشتر و ریزش سریع می گردد. به علت اینکه تمامی اعضا متکی بر هوا (ستون، دیوار، دال و قوس) تمایل به ریزش در اثر خمش دارند، رفتار سازه‌ای آنها مشابه تیرهای متکی بر هواست.

تأثیر ارتفاع

افزایش ارتفاع یک تیر پرشده از هوا ظرفیت آن را در دو جهت افزایش می‌دهد. به علت افزایش سطح انتهای تیر، تنش طولی فشار القایی نیز افزایش می‌یابد. به علاوه، به علت افزایش فاصله بین بالا و پایین تیر، فشار خمشی القایی در بالا متناسب با آن کاهش می‌یابد.

به طور عکس، با بارگذاری مشابه، فشار داخلی باید با کاهش ارتفاع کمتر شود. معمولاً، اجزا پرشده از هوا(تیر، قوس و غیره) باید ابعاد بزرگتری نسبت به اجزا معمولی مشابه داشته باشند (تصویر ۱۹-۱۲).

http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۱۹-۱۲ : افزایش ارتفاع یک تیر پرشده از هوا کشش طولی فشار القایی را افزایش و فشار القایی خمشی را کاهش می‌دهد.

اهمیت توزیع بار

بارهای متمرکز عمود بر پوسته سبب شکست ناحیه‌ای و کاهش ارتفاع مؤثر می‌شوند. بنابراین باعث تضعیف عضو پرشده از هوا می‌گردند. به این دلیل، بارهای متمرکز و تکیه‌گاه ها برای توزیع نیرو روی یک سطح بزرگ و به حداقل رساندن شکست ناحیه‌ای باید بدقت طراحی شوند.

گسیختگی پوسته

گسیختگی پوسته ممکن است در کشش(از هم پاشیدن) در اثر فشار بیش از اندازه یا بارگذاری مفرط روی دیوارها و ستون‌هایی که به اندازه‌ای کوتاه می باشند که در ابتدا شکست در آنها اتفاق نمی‌افتد، رخ دهد. عوامل دیگر که می‌تواند باعث گسیختگی پوسته شود نور خورشید و فرسودگی می‌باشند که باعث تکرار خم‌شدگی، سایش و سوراخ شدن می‌گردند.

مطالعات موردی سازه‌های پرشده از هوا

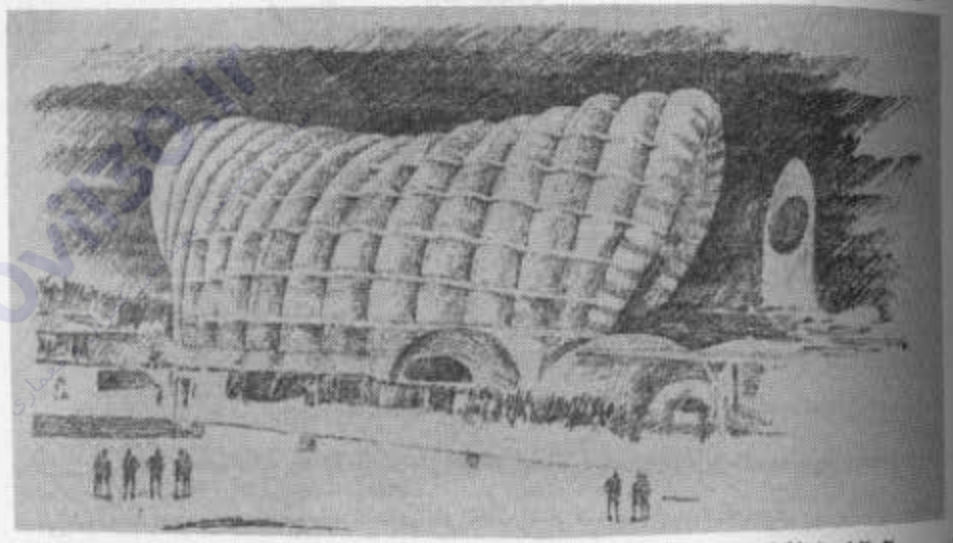
چندین نمونه مورد توجه و مبتکرانه در نمایشگاه اکسپو ۷۰، اوزاکا ژاپن ساخته شد ولی تعداد کمی از آنها هنوز باقی مانده‌اند.

غرفه فوجی، نمایشگاه اکسپو ۷۰

این سازه پنوماتیک مجسمه‌گونه (۱۹۷۰: اوزاکا، ژاپن، مهندس معمار: موراتا، مهندس سازه: کاواگوچی) در پلان به شکل دایره می‌باشد [با ۱۶۴ فوت (۵۰متر) قطر در پایه] . از این فرم دایره‌ای شکل ۱۶ عدد قوس پرشده از هوا هر یک دارای ۲۵۶ فوت (۷۸ متر) طول و به قطر ۱۵/۲ فوت (۴متر) منشعب شده است. قوس های مرکزی در مقطع نیمدایره می‌باشند، در هر پایهٔ انتهایی، قوس‌ها بیشتر نزدیک به هم بوده و به طور جسورانه‌ای بالای قوس با ارتفاع بیشتر طراحی شده‌اند. دیوارهای پوسته به وسیلهٔ ستون‌های نزدیک به انتهای سازه، مسلح گردیده‌اند (ناشر۱۹۶۹، دنت۱۹۷۱) (تصاویر ۲۰-۱۲ تا ۲۲-۱۲).

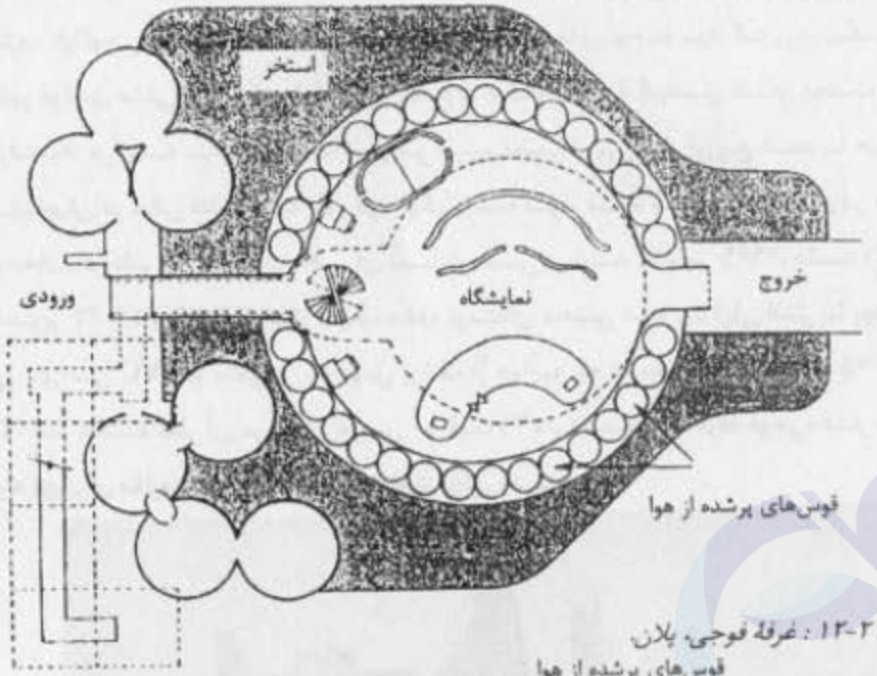
http://telegram.me/uadesigngroup

بازدیدکنندگان از شرق ساختمان از طریق یک رامپ به سطح بالاتر فضای نمایشگاه وارد می‌شوند، جایی که تصاویر عکاسی بخوبی روی دیوارهای پوسته‌ای پرشده از هوا ارائه شده است. رستوران، سرویس بهداشتی و وسایل کنترل روی یک سکوی مدور در مرکز جای داده شده اند. یک رامپ متحرک بازدیدکنندگان را به سطح پایین‌تر نمایشگاه و خروجی غربی منتقل می‌کند.

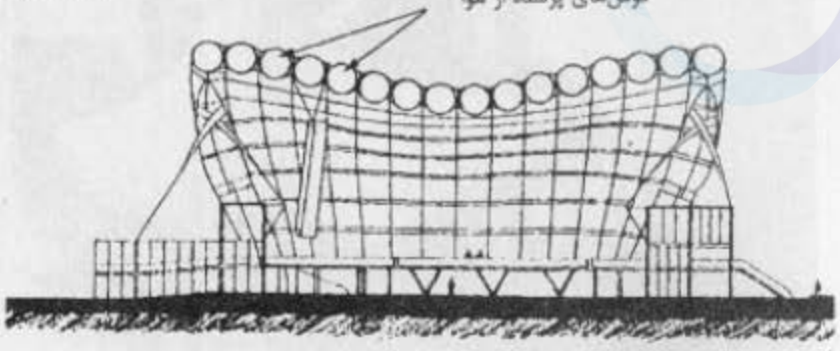


تصویر ۲۰-۱۲ : غرفهٔ فوجی، نمای خارجی.

قوس‌های لوله‌ای با قطر زیاد از پوستهٔ پلی وینیل با رنگ‌های قرمز و زرد روشن با یک پوشش ضدآب بیرونی و یک پوشش پی-وی-سی داخلی برای کاهش اتلاف هوا ساخته شده‌اند. لوله‌ها از طریق استوانه‌های فولادی متصل به یک پایه بتنی نگاه داشته شده‌اند. هر لوله از یک مجرای هوای ثانویه پیرامونی پر هوا شده است. این فشار از ۲۳ تا ۷۱ پاوند / اینچ مربع (۸۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰ نیوتن / مترمکعب) برای فشار مورد نیاز جهت مقاومت در برابر نیروی باد متغیر می‌باشد. فشار بالاتر سازه را قادر می سازد در برابر گردباد با سرعت بیش از ۱۲۵ مایل / ساعت (۲۰۰ کیلومتر / ساعت) مقاومت کند.



تصویر ۲۱-۱۲ : غرفهٔ فوجی، پلان.



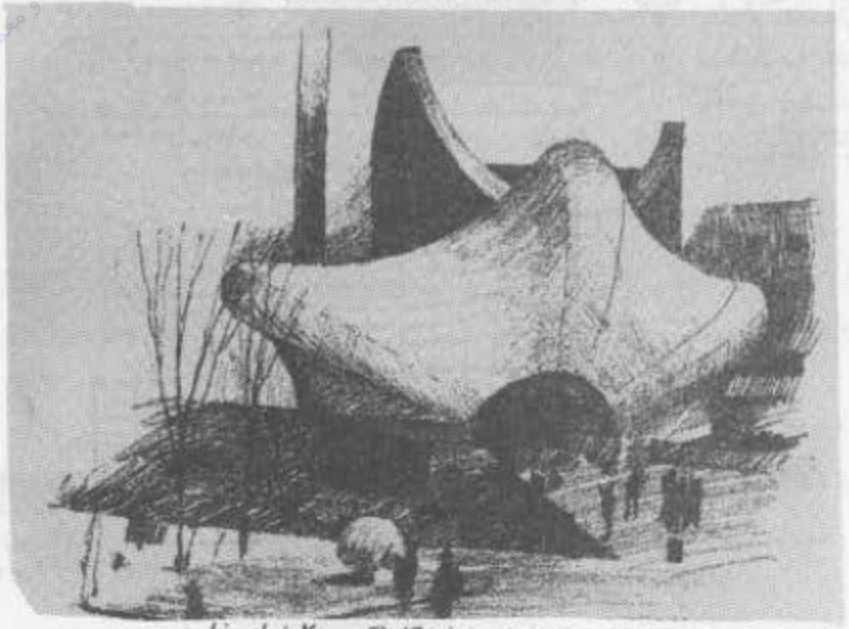
تصویر ۲۲-۱۲ : غرفهٔ فوجی، مقطع.

http://telegram.me/uadesigngroup

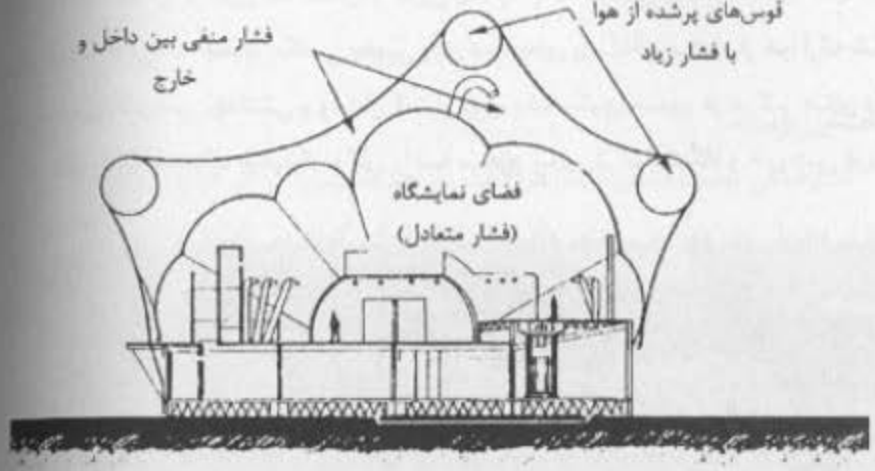
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

تئاتر شناور، نمایشگاه اکسپو ۷۰

مبتکرانه ترین سازهٔ هوای فشرده (۱۹۷۰: اوزاکا، ژاپن، مهندس معمار: موراتا، مهندس سازه: کاواگوچی) در نمایشگاه جهانی اکسپو ۷۰ این سازه قابل توجه بود که روی یک قاب مدور فولادی متکی بر ۴۸ کیسهٔ شناور که روی یک دریاچهٔ کم‌عمق شناور بودند، قرار گرفته‌بود. هرکیسه برای مقاومت در برابر تغییر ناشی از وزن بار توزیع شده با حرکت تماشاچیان در سالن تئاتر بالا به طور اتوماتیک پرشده بود. سازه شناور به تدریج در طول رودخانه در طی ۲۰ دقیقه اجرای نمایش می‌چرخید (ناشر ۱۹۶۹، دنت ۱۹۷۱) (تصاویر ۲۳-۱۲ و ۲۴-۱۲). تئاتر با یک سقف پوسته‌ای محصور شده بود (پلی استر با پوشش پی-وی-سی PVC) و متکی بر سه قوس پرشده از هوا بود که در مقطع قطری برابر ۷۵ فوت (۲۳ متر)داشت. قطر آن در مقطع عرضی ۱۰ فوت (۳ متر) بود. مشابه غرفه فوجی، فشار قوس لوله ای برای مقاومت در برابر شرایط متفاوت وزش باد متغیر بود.



تصویر ۲۳-۱۲ : تئاتر شناور، نمایشگاه اکسپو ۷۰، نمای خارجی.



تصویر ۲۴-۱۲ : تئاتر شناور، نمایشگاه اکسپو ۷۰، مقطع. توجه کنید که فضای بین سقف و پوستهٔ بام تحت فشار منفی است.

پوستهٔ سقف یک پوستهٔ نازک پلی‌استر است که به قوس‌های سمت دیگر متصل می‌شود. فضای بین سقف و پوسته‌های بام تحت فشار منفی برای نگاهداری سقف است، که باعث افزایش فشار بام و افزایش پایداری همه جانبه در سقف می گردد. استفاده از فشار منفی که نوآوری مهمی در سازه‌های هوای فشرده بود، ثابت کرد که چنین ساختمان‌هایی به فرم‌های ساده سازه‌ای محدود نمی‌شوند. برای ارائه چنین طرح جدیدی در سازه‌های هوای فشرده، موراتا نشان ویژه وزارت علوم و تکنولوژی ژاپن را دریافت کرد.

آیندهٔ سازه‌های هوای فشرده مشخص نیست. بعد از غرفهٔ ایالات متحد که در نمایشگاه اکسپو ۷۰ ساخته شد، سازه‌های متکی بر هوا برای سقف استادیوم‌ها با دهانه‌های بزرگ در دههٔ ۷۰ انتخاب گردید. ولی به علت چندین خرابی تصادفی، اطمینان عمومی نسبت به این گونه

http://telegram.me/uadesigngroup

سازه‌ها کاهش یافت و گرایش عمومی برای ساخت استادیوم‌ها با سقف‌های کابلی تنسگریتی معطوف گشت (برای مثال، گنبد جورجیا و گنبد سان‌کاست سن پترزبورگ).

خلاصه مطالب

۱- سازه‌های هوای فشرده بارها را به تکیه‌گاه ها از طریق پوسته هایی با تنظیم داخلی به وسیلهٔ هوا منتقل می‌کند.

۲- فشار هوا بار یکنواخت گسترده‌ای را که عمود بر هر نقطه از پوسته است بر آن وارد می کند.

۳- در سازه‌های متکی بر هوا پوستهٔ سقف یک لایه است که در اطراف هوابندی شده و به وسیله فشار داخلی که کمی بیشتر از فشار هوای بیرون است نگاه داشته می‌شود.

۴- سازه‌های بستهٔ باد شده بر اساس عناصر سازه‌ای (مانند قوس‌ها و ستون‌ها) که فشار هوای داخل آنها تنظیم شده است، شکل گرفته‌اند. بنابراین به صورت یک فرم صلب هستند که برای نگاهداری فضای داخلی محصور که هوای داخل آن ثابت نیست به کار می روند.

۵- دسترسی به داخل سازه‌های متکی بر هوا به وسیله قفل‌های هوایی تأمین شده است.

۶- فشار در اجزای بستهٔ باد شده برای متناسب ساختن آنها به شکل صلب برای عملکرد تکیه‌گاهی باید بزرگ باشد.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

فصل ۱۳
قوس‌ها

قوس، مهیج‌ترین شکل ساختمانی است که برای ایجاد فرم‌های جدید و قابل تصور بیشترین استعداد و توانایی را دارد.

"لوئیس اچ سولیوان"

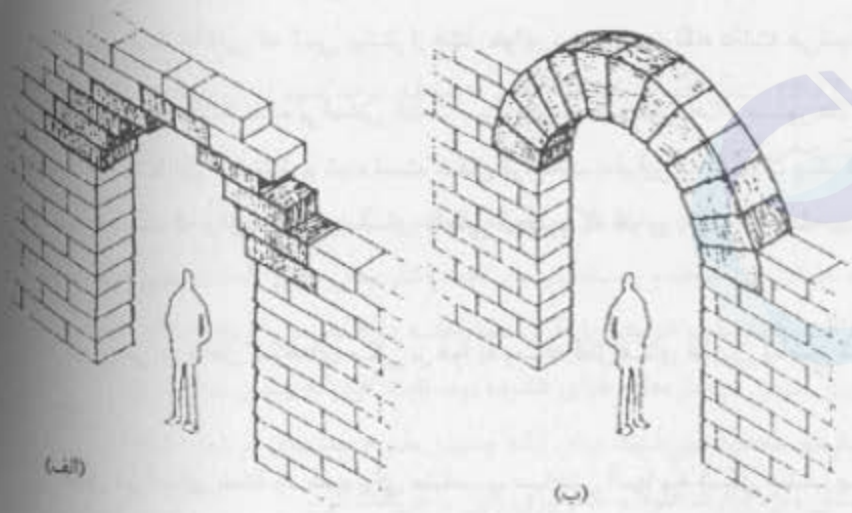
قوس از دو منحنی تشکیل شده که تمایل به فروریختن دارند.

"اندی رونی"

طاق زدن

طاق زدن، حد واسط بین طره و قوس واقعی است که متشکل از ردیف‌های متوالی آجر که روی یکدیگر در دو طرف بازشو قرارگرفته‌اند و بتدریج به هم نزدیک می‌شوند تا با هم تلاقی نمایند، می‌باشد. قواعد کلی آن در ۲۷۰۰ قبل از میلاد به وسیلهٔ سومری‌ها و مصری‌ها شناخته شده بود. شکل یک قوس واقعی، ساخته شده از سنگ (سنگ‌های بریده شده به شکل گوه و چیده شده در یک نیمدایره) هم به وسیلهٔ مصری‌ها و اهالی بین‌النهرین تقریباً همزمان با طاق زدن شناخته شده بود. برای ایجاد تعادل، زاویه طاق‌زنی باید کمتر از ۴۵ درجه باشد (تصویر ۱-۱۳) (براون،۱۹۹۳).

در معابد کندو شکل یونانیان باستان (سیرکا ۱۵۰۰ قبل از میلاد، مایستی) مثال‌های قابل‌توجهی از طاق‌زنی وجود دارد. در ایوان معبد کلایتمنسترا(Clytemnestra) (تصویر ۲-۱۳) از شیوه طاق‌زنی برای شکل دادن به مدخل ورودی دوبعدی استفاده شد. همین قانون به شکل سه‌بعدی برای شکل دادن به صورت کندوی مخروطی گنبد ها در داخل به کار رفت.



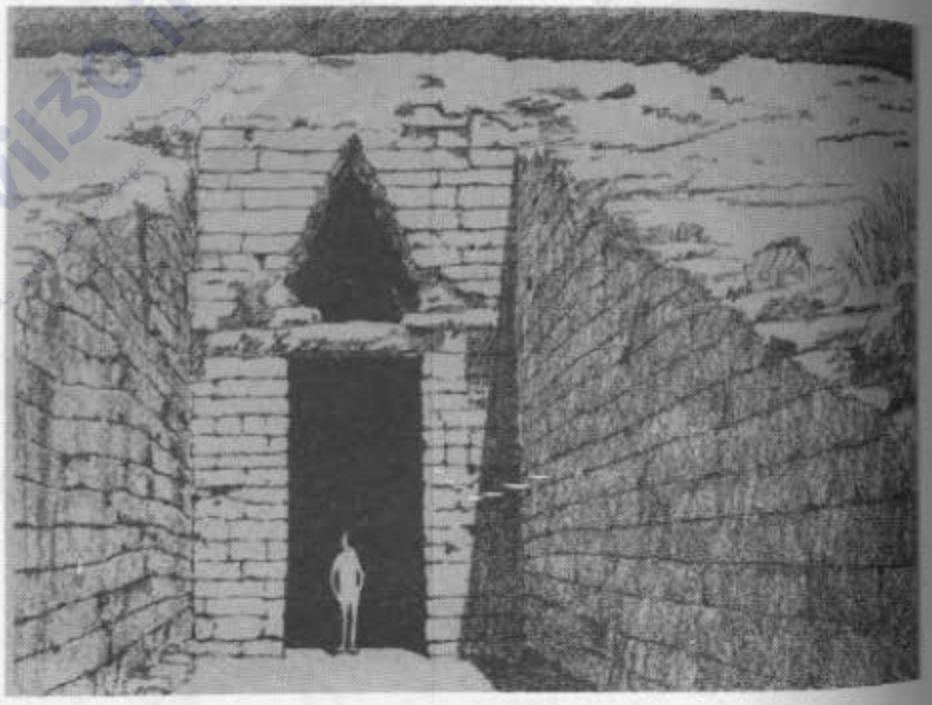
تصویر ۱-۱۳ : بازشوهایی با مصالح بنایی: (الف) تیر پیش آمده و (ب) طاق سنگی

http://telegram.me/uadesigngroup

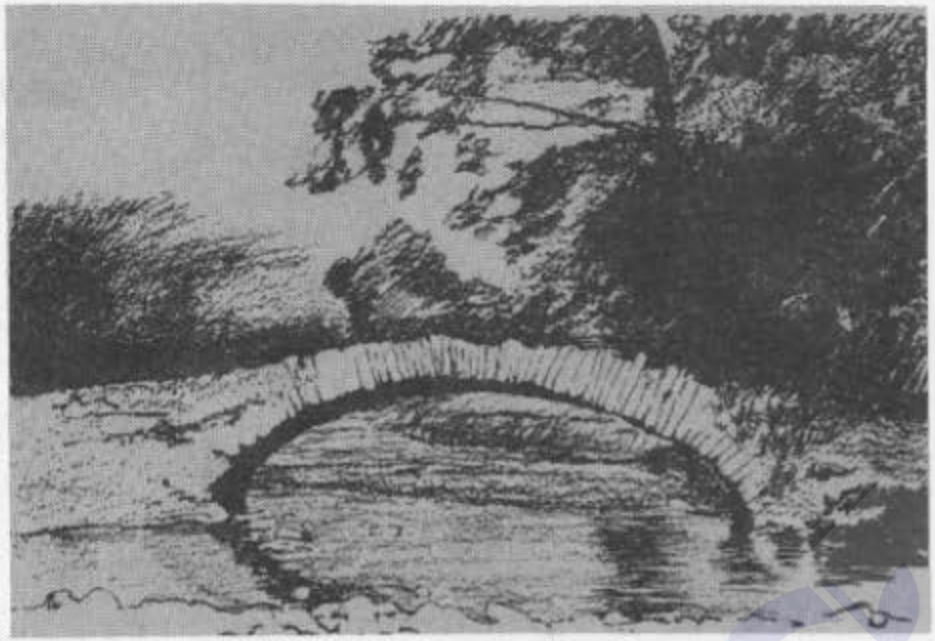
قوس‌های مصالح بنایی

اگر از آجرسؤال کنید چه می‌خواهد، جواب خواهد داد: من قوس را ترجیح می‌دهم. اگر بگویید که قوس‌ها برای ساخت مشکل هستند و هزینه ساخت آنها زیاد است و بهتر است از بتن در بازشوها استفاده کنید باز هم آجر می‌گوید: شما درست می گویید ولی من باز هم آجر را ترجیح می دهم.

"لویی کان"



تصویر ۲-۱۳ : ایوان پیش‌آمده معبد کلاپتمنسترا.

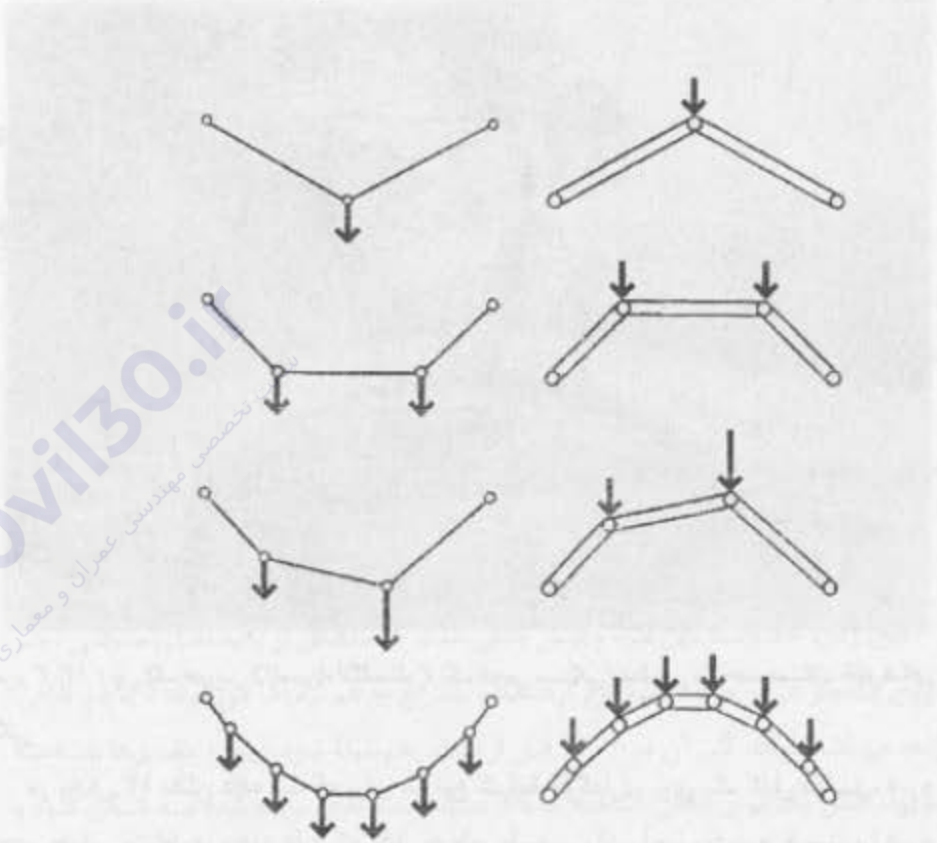


تصویر ۳-۱۳ : پل پک هورس (کامبریا، انگلستان) یک قوس سنگی ابتدایی با خصوصیات طاق‌های سنگی

در بخش ۱۲ نشان داده شد که برای هر نوع شرایط بارگذاری روی یک کابل معلق، فرم منحنی طنابی متناظری وجود دارد که کابل به طور طبیعی آن را می پذیرد. قوس با فرم منحنی طنابی، فشاری معکوس معادل یک کابل معلق است و فقط فشار محوری را تحمل می‌نماید. به عبارت دیگر در شرایط بارگذاری بخصوص ، قوسی که به شکل وارونه ساخته شده است مانند یک کابل معلق فقط تحت فشار خواهد بود و در آن هیچگونه نیروی خمشی مورد مطالعه قرار نمی‌گیرد.این امر برای بارهای گسترده و بارهای متمرکزی صادق است که ممکن است طول و محل قرارگیری آنها متفاوت باشد (تصویر ۴-۱۳).

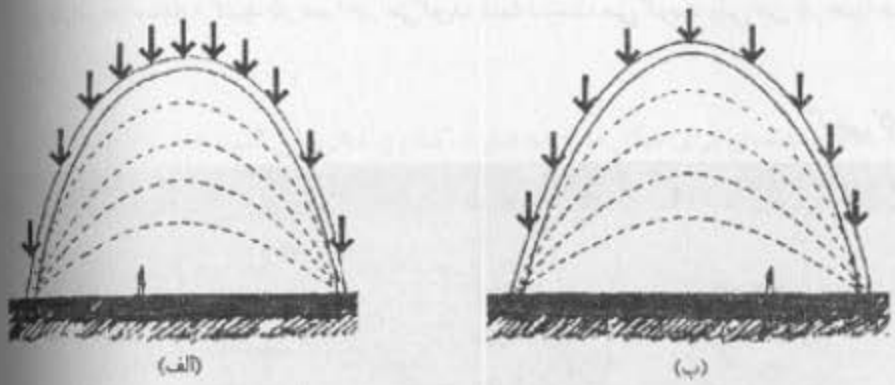
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۴-۱۳ : کابل‌های معلق با فرم منحنی طنابی و قوس‌های متناظر.

اگر در یک کابل معلق، بارگذاری به صورت گستردهٔ یکنواخت در طول افقی دهانه باشد، فرم منحنی طنابی به صورت سهمی است، اگر بارگذاری گسترده یکنواخت در طول منحنی قوس باشد، فرم منحنی طنابی به شکل زنجیرواره است (تصویر ۵-۱۳). فرم منحنی طنابی برای بازشوی قوسی‌شکل در یک دیوار با مصالح بنایی بین این دو فرم است. مشابه کابل، در قوس کم‌خیزتر رانش جانبی تولیدشده در اثر بارگذاری بیشتر خواهد بود (تصویر ۶-۱۳).



تصویر ۵-۱۳ : اشکال قوس‌های با فرم منحنی طنابی برای توزیع بار: (الف) فرم زنجیرواره برای بارگذاری یکنواخت در امتداد منحنی قوس و (ب) سهمی برای بارگذاری یکنواخت در طول دهانهٔ افقی.

رفتار سازه‌ای

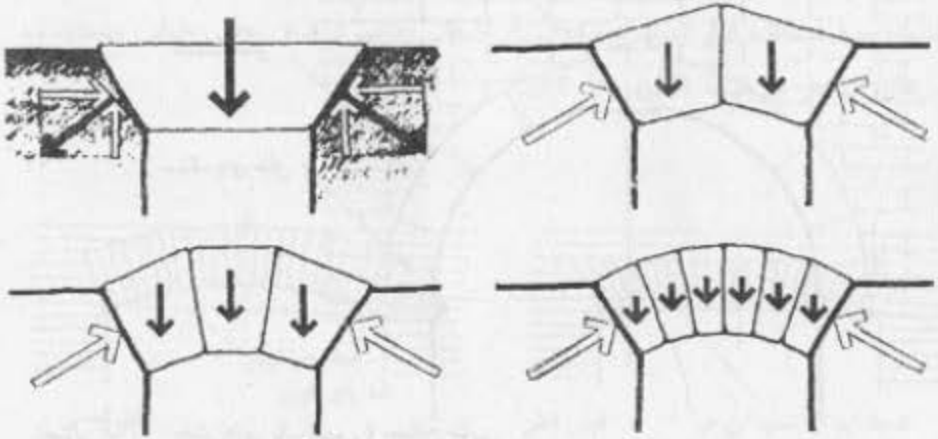
قوس هرگز خواب ندارد.

"ضرب المثل هندی"

برخلاف طاق زدن که مصالح بنایی طرهشده تحت خمش قرار می‌گیرند (وکشش)، یک قوس با مصالح بنایی واقعی از فرم گوه‌ای سنگ‌ها برای انتقال بار جانبی به طور کامل به وسیله فشار بهره می‌برد (تصاویر ۷-۱۳ و ۸-۱۳).

http://telegram.me/uadesigngroup

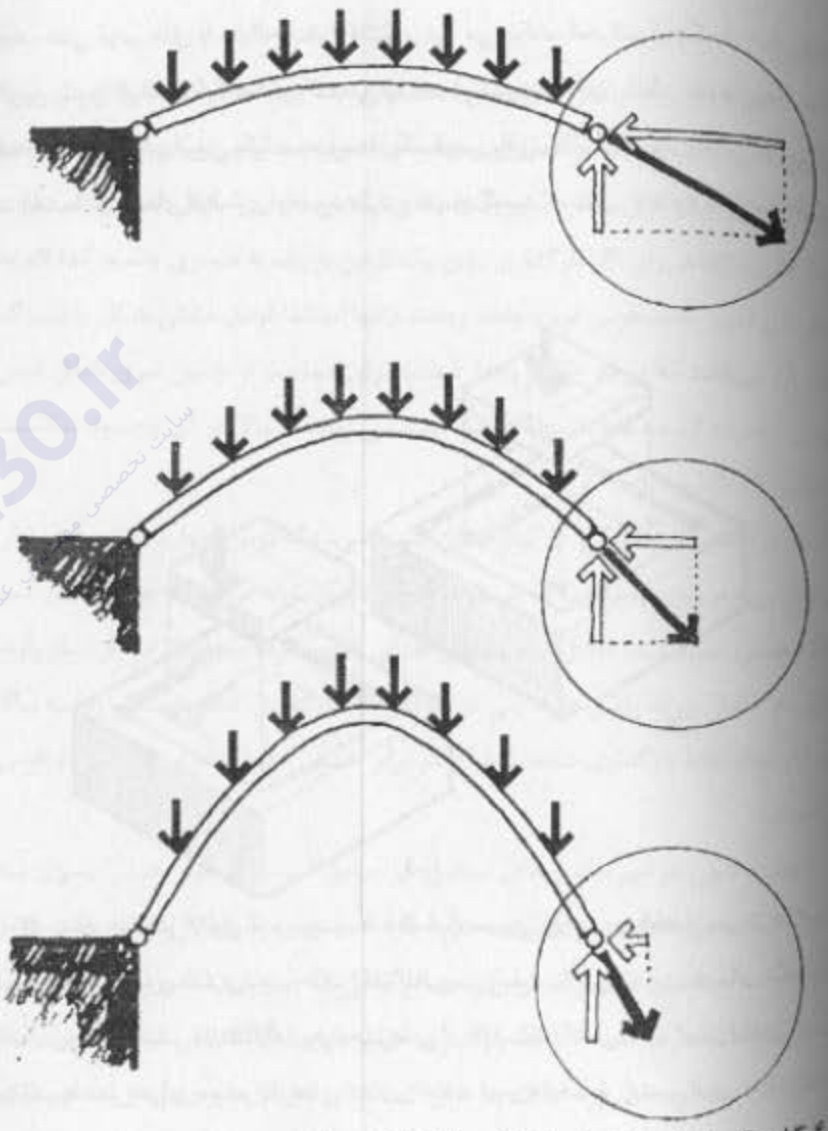
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۷-۱۳ : فرم گوه‌ای به قوس‌ها این امکان را می‌دهد که بارهای عمودی را فقط با استفاده از فشاربه هر جهت انتقال دهند. توجه داشته باشید که از آنجایی که فرم گوه‌ای سنگ‌ها تمایل به رانش سطوح تکیه‌گاهی جدا در نتیجه بار عمودی وارده دارند، این امر سبب نیروهای عکس‌العمل در هر جهت عمود بر اتصال می‌گردد (اگر این نیروها عمود بر اتصالات نباشند، لغزش در اتصالات اتفاق می‌افتد). مؤلفه‌های این نیروها بار عمودی هستند (به سبب نیروی وزن) و نیروهای افقی (به سبب نیروی رانش).

خط رانش

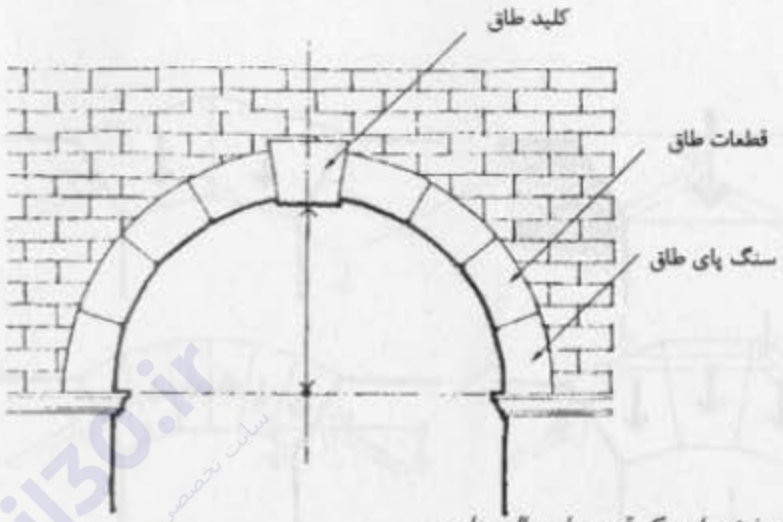
فرم منحنی طنابی یک قوس بر خط رانش آن منطبق می‌گردد. خط رانش قوس از مجموعه برآیندهای حاصل از نیروی رانش و وزن هر بخش از قوس (که بر بخش زیرین وارد می‌گردد) تشکیل می‌شود. برای حذف کامل خمش در یک قوس، باید خط رانش آن با محور قوس بر هم منطبق باشند (تصویر ۹-۱۳).



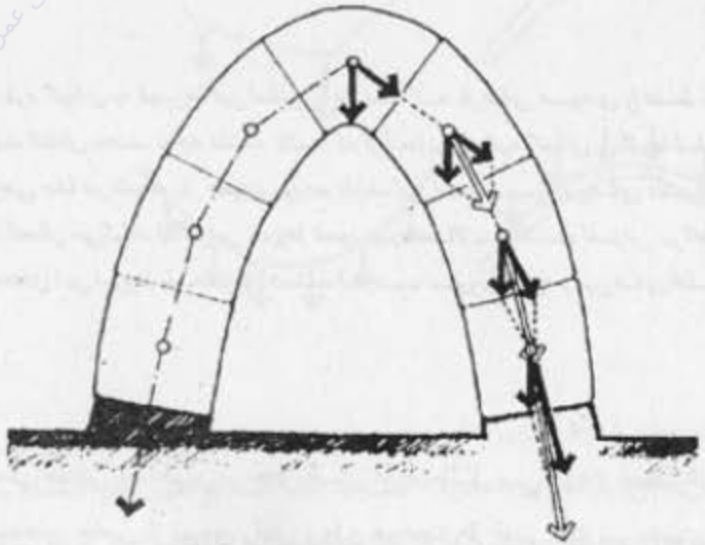
تصویر ۶-۱۳ : عکس‌العمل رانشی نسبت عکس با ارتفاع قوس دارد.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

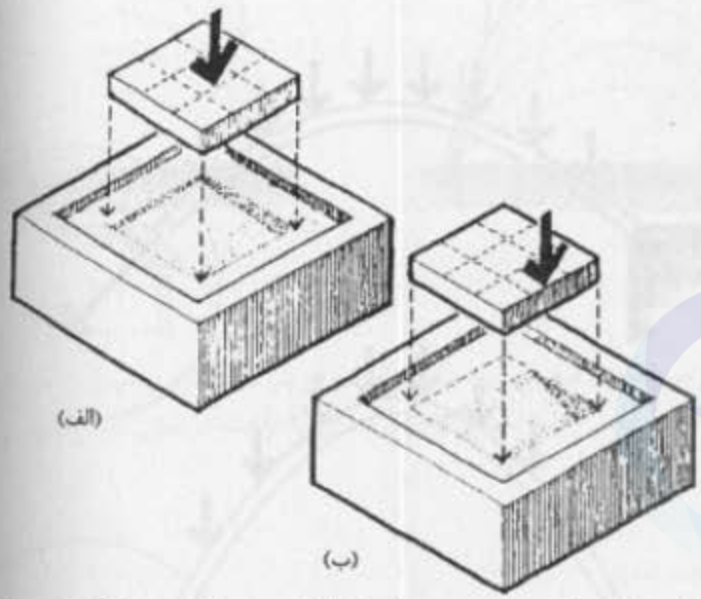


تصویر ۸-۱۳ : بخش‌های یک قوس با مصالح بنایی.



تصویر ۹-۱۳ : خط رانش قوس مجموعه‌ای است از برآیند نیروهای رانش و وزن هریک از بخش‌های قوس که بر بخش زیرین وارد می شود.

اگرچه، حتی قوس‌های با مصالح بنایی فشاری نیز می توانند انحراف کوچک از خط رانش از محور قوس بدون افزایش شکاف‌های کششی را تحمل نمایند. قانون یک سوم وسط بیان می‌کند که اگر خط رانش درون یک سوم وسط یک قوس باقی بماند (یا دیوار باربر یا پی) در آن صورت فقط نیروهای فشاری وجود دارد و هیچ گونه کششی وجود نخواهد داشت (تصویر ۱۰-۱۳).



تصویر ۱۰-۱۳ : مدل نمایشی قانون یک سوم وسط : (الف) نیروی وارده روی قطعه پی در مرکز آن است و نتیجه‌آن فقط نیروی فشاری روی خاک تکیه‌گاهی می‌باشد (ب) نیروی روی بخش یک سوم وسط پی که نتیجهٔ آن کشش (lifting) روی بخش‌هایی از خاک تکیه‌گاهی است. این قانون کلی از کشش ممانعت به عمل می‌آورد و در سازه‌های فشاری (مانند قوس‌ها)خط رانشی درون مرکز ایجاد می‌کند.

http://telegram.me/uadesigngroup

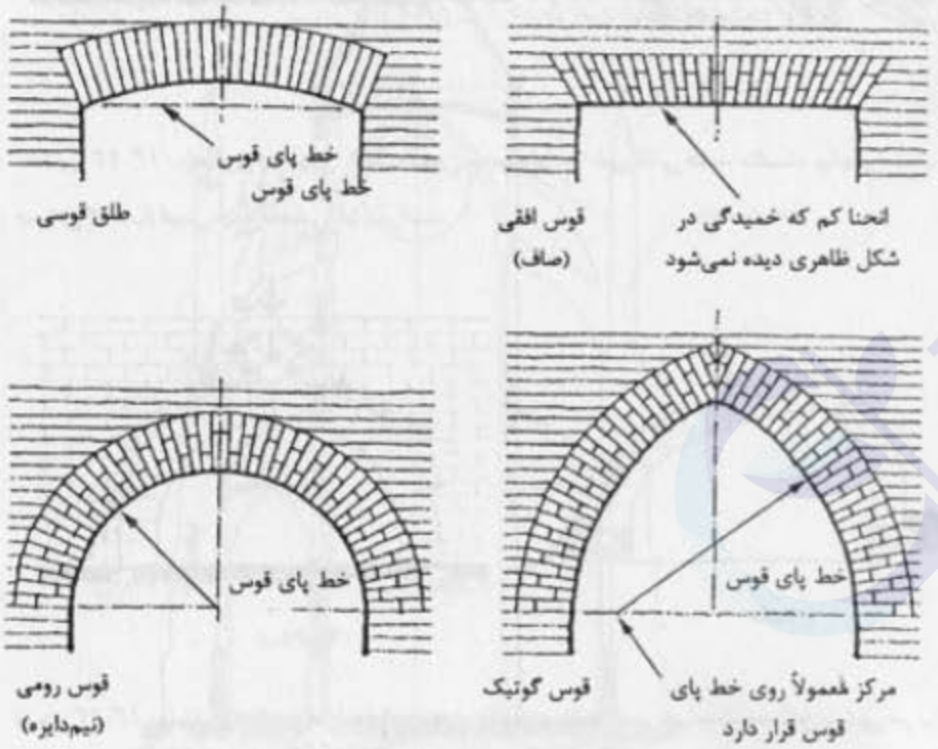
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

پایداری

مادامی‌که قوس‌ها و کابل‌های معلق مشابه فرم‌های منحنی طنابی عمل می‌کنند، در پایداری ذاتی تحت شرایط بارگذاری متغیر، متفاوت عمل می‌نمایند. اگر اندازه یا محل بارگذاری روی یک کابل معلق تغییر کند، شکل منحنی طنابی حاصل تغییر کرده و سیستم، پایدار باقی می‌ماند. ولی اگر بارگذاری روی یک قوس باریک به قدری باشد که فرم منحنی طنابی آن تغییر نکند، قوس فرو خواهد ریخت (تنها استثنا قوس مثلثی شکل با بارگذاری در بالای آن می‌باشد که در هر حالت پایدار است). برای ممانعت از چنین امری شکل قوس باید به قدری فشرده گردد که هیچ گونه خمشی روبه بالا در آن وجود نداشته باشد (تصاویر ۱۱-۱۳ و ۱۲-۱۳).

برای آگاهی از چگونگی کارکرد چنین سیستمی، یک قوس چهارمفصلی را در نظر بگیرید (ساده‌ترین فرم بدون پایداری) که در دو نقطه بارگذاری شده است. اگر میزان بار نسبی روی نقاط مفصلی تغییر کند، تعادل فرم منحنی طنابی تغییر کرده و مفصل در اثر بار وارده بیشتر تمایل به خمش رو به پایین دارد. ولی در نقطهٔ دیگر بارگذاری شده خمش رو به بالا خواهد بود. اگر تمام نقاط بارگذاری شده را بتوان در برابر خمش مهار کرد، در آن صورت قوس پایدار خواهد بود.

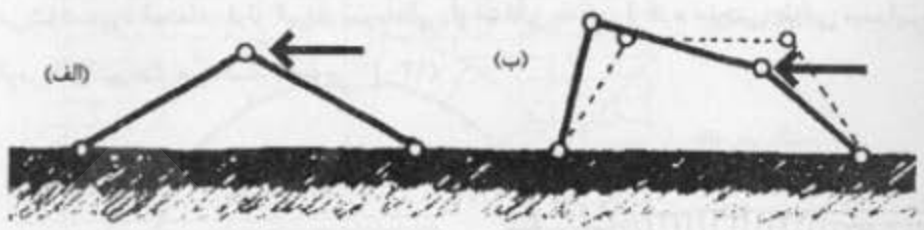
همین قانون در مورد قوس‌های منحنی نیز صادق است. اگر قوس‌ها را بتوان به‌گونه‌ای مهار کرد که هیچ نقطه‌ای در طول منحنی اجازه کمانش رو به بالا را نداشته باشد، قوس پایدار خواهد ماند. به همین دلیل یک قوس با مصالح بنایی با ضخامت کم (که در برابر کشش و خمش مقاومت ندارد) تحت شرایط بارگذاری متغیر ناپایدار است. ولی قوس‌هایی با همان شکل که در بالا با مصالح بنایی پرشده اند در برابر کمانش رو به بالا مقاوم بوده و به طور ذاتی پایدار می‌باشند. به همین دلیل، قوس‌های بدون فرم منحنی طنابی می‌توانند به طور موفقیت‌آمیزی در سازه های با مصالح بنایی که فرم آنها به وسیلهٔ مصالحی که در اطراف آن قرار گرفته‌اند مهار می‌شود، مورد استفاده قرار گیرند. نمونه‌هایی از اشکالی به غیر از فرم منحنی طنابی نیمدایره و قوس‌های تیزه‌دار می‌باشند (تصویر ۱۳-۱۳).



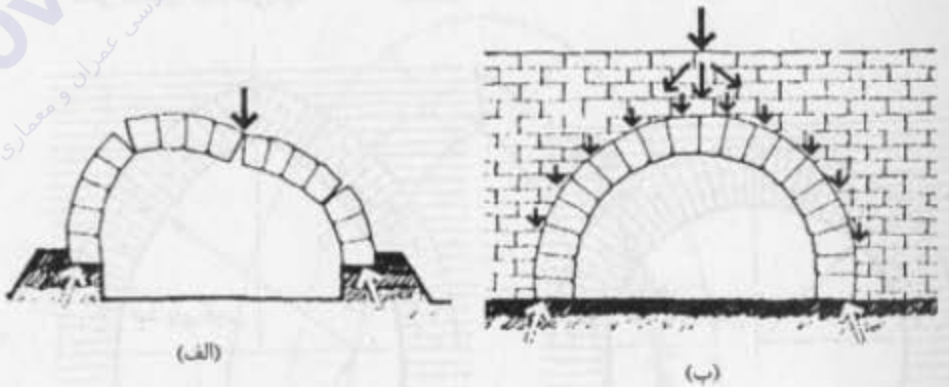
تصویر ۱۱-۱۳ : انواع قوس‌ها با مصالح بنایی.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۱۲-۱۳ : پایداری در قوس : (الف) قوس سه‌مفصلی به طور ذاتی مانند مثلث پایدار است در صورتی که (ب) قوس چهارمفصلی ناپایدار است.



تصویر ۱۳-۱۳ : پایداری درقوس‌ها با مصالح بنایی: (الف) به علت عدم مقاومت مصالح بنایی در برابر کشش، قوس‌های با مصالح بنایی باریک به طور ذاتی ناپایدار هستند و هنگامی که تعداد اتصالات مفصلی چهارعدد یا بیشتر باشد، تمایل به ریزش دارند و (ب) قوس‌ها با دیوار احاطه شده‌اند و در برابر نیروهای مختلف وارده مقاومت دارند.

مطالعات موردی قوس‌های با مصالح بنایی

پونت دو گارد(Pont du Gard)

با وجود اینکه مصریان و یونانیان باستان با شیوه قوس‌ها آشنا بودند، ولی رومی‌ها اولین کسانی بودند که استفاده از قوس را به عنوان یک عضو مهم سازه‌ای گسترش دادند. قوس‌های نیمدایره در بیشتر پل‌های آبرسان رومی‌ها استفاده شده اند. یکی از نمونه‌های باقی مانده "پونت دو گارد" می باشد که به وسیله امپراتور آگریپا به عنوان بخشی از یک پل آبرسان ۲۵ مایلی (۴۰ کیلومتری)ساخته شد (۱۹ قبل از میلاد، نامیس، فرانسه) که یکی از زیباترین و کاراترین نمونه‌ها از ساختمان‌های قدیمی با استفاده از قوس‌های سنگی (تصویر ۱۴-۱۳) می‌باشد. این پل در بالا ۸۸۶ فوت (۲۷۰ متر) طول دارد و آب را در طول رودخانه گارد در ارتفاع ۱۶۰ فوتی (۴۹ متر) منتقل می‌کند، طویل‌تر از راهروی یک کلیسای گوتیکی. سه ردیف از قوس‌های نیمدایره وجود دارد که دو ردیف پایین‌تر آن متشکل از دهانه‌های عریض که به طور متقارن روی یکدیگر قرار گرفته‌اند می‌باشد (براون،۱۹۹۳).

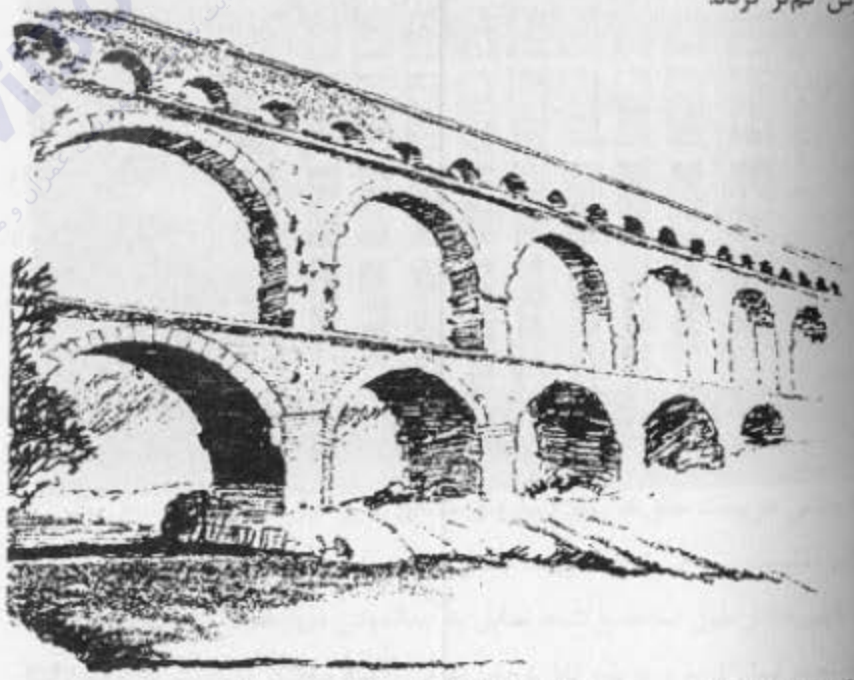
طول بزرگترین دهانه (که عرض رودخانه را قطع می‌کند)، ۸۰ فوت (۲۴/۵ متر) می‌باشد، در حالی که طول بقیه دهانه‌ها بین ۵۱ تا ۶۳ فوت (۱۵/۵ تا ۱۹/۲ متر) متغیر می‌باشند. در هر دو ردیف پایین‌تر، انتهای برخی از سنگ‌ها برای نگاهداری داربست ساختمان ادامه یافته است. آب از لوله‌های سیمانی در دو ردیف بالایی جریان پیدا می‌کند، که متشکل از ۳۵ قوس مشابه ۱۱/۵ فوتی (۳/۵ متری) می‌باشد. به مدت ۲۰ قرن است که این پل آبرسان بدون استفاده از هیچ گونه ملاتی پابرجا مانده است که خود گواهی است بر مهارت کسانی که قطعات آن را بریده و شکل داده‌اند. در سال ۱۷۴۷ ، هنگامی که جاده‌ای با قوس‌هایی که به طور کامل با شکل اصلی رومی آن مطابقت داشتند، به آن اضافه شد، عرض پایین‌ترین ردیف دو برابر شد.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

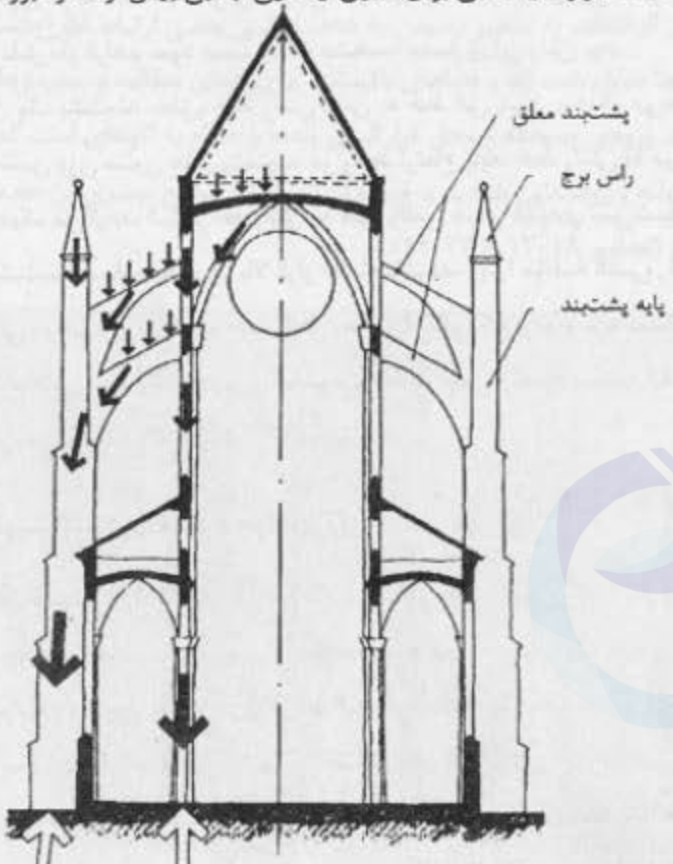
پشت‌بند معلق

استفاده از قوس در سقف‌های گنبدی سنگی کلیساهای قرون وسطی، نیروی رانشی زیادی را ایجاد می کرد که باید در برابر آن مقاومتی صورت می‌گرفت. کلیساهای اولیه رومانسکی از وزن دیوارهای جانبی حجیم جهت افزایش مقدار مؤلفهٔ عمودی برای ترکیب با این نیروهای رانشی افقی استفاده می‌نمودند که نیروی برآیند این دو مؤلفه، قطری بود. در صورتی که این خط نیرو به بیرون و پایین تغییر مکان می‌یافت، به طور فزاینده‌ای بار عمودی افزایش داده می شد (تجمع وزن دیوار بالایی)، و برآیند نیرو در جهتی افزایش می یافت که خیز قوس کم‌تر گردد.



تصویر ۱۳-۱۴ : کانال آب پونت دو گارد (۱۹ قبل از میلاد، نیمس، فرانسه)، یکی از زیباترین نمونه‌های قوس‌های سنگی قدیمی است.

این مسأله موجب می شد که خط نیرو درون منطقهٔ بحرانی یک سوم وسط باقی بماند، و کل دیوار تحت فشار باشد. با افزایش ارتفاع در کلیساها و طراحی دهانه‌های بزرگ‌تر برای گنبدها، ضخامت دیوارهای جانبی برای تأمین ایستایی جانبی بیش از اندازه بزرگ شد.



تصویر ۱۳-۱۵ : پشت‌بند معلق (نیم قوس) برای مهار بالای دیوارهای کلیسای گوتیک در مقابل رانش افقی منتج از سقف‌های گنبدی سنگی به کار می‌رفت. نقطه راس در بالا فقط به صورت تزئینی بود و فقط بار اضافی به بالای ستون پشت‌بند اضافه می‌کردند.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

سازندگان گوتیکی، پشت‌بندهای معلق را به عنوان راهی برای مهاربندی بخش بالای ساختمان علیه نیروهای جانبی گنبد (و نیروی باد) به اندازه‌ای که ضخامت آن افزایش نیابد و به صورت دیواری نازک باشد، به کار بردند. این سیستم ایجاد بازشوهای بزرگ برای پنجره‌هایی با شیشه‌های نقش‌دار فراهم نمود عنصری که مشخصه معماری آن زمان بود.

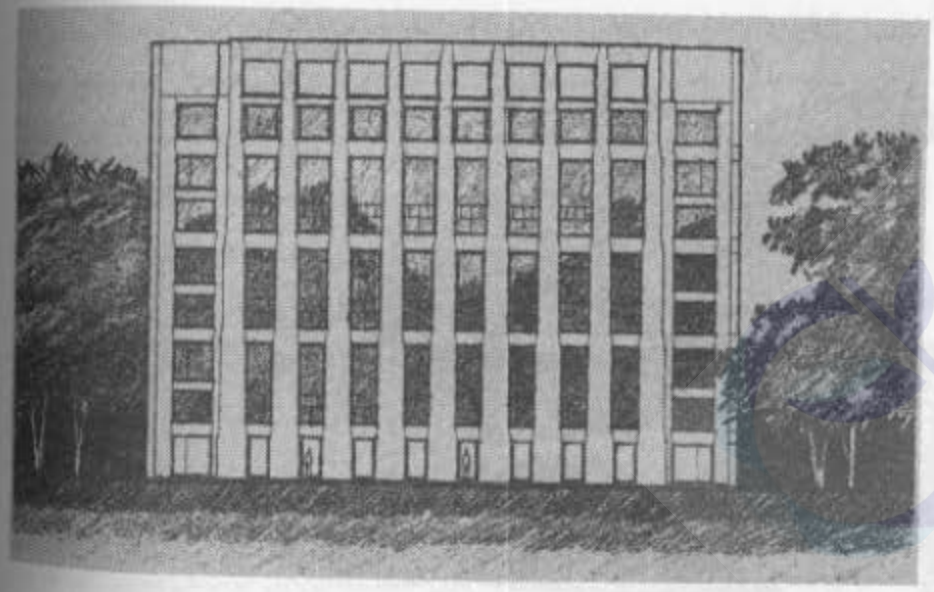
به عنوان یک پشت‌بند معلق، خط رانش قوس به خط افق بسیار نزدیک می‌باشد ولی به هنگام اضافه شدن وزن ستون های پشت‌بند در وسط ارتفاع پایه، خط رانش به میزان زیادی به خط عمود نزدیک می‌گردد. البته، خط رانش به طور واقعی هرگز عمودی نمی‌شود، حتی اگر ستون های پشت‌بند بسیار حجیم در بالا قرار داشته باشند، زیرا مؤلفهٔ افقی رانش همیشه وجود دارد. ولی در هر صورت شیب خط رانش به اندازه کافی کم بوده و پایه ستون به اندازهٔ کافی برای نگاه‌داشتن خط رانش درون یک سوم وسط در طول ارتفاع ستون (همچنین پایه زیر ستون) عریض می‌باشد (تصویر ۱۵-۱۳).

کتابخانه فیلیپس اکستر(Phillips Exeter)

این کتابخانه (۱۹۷۲: اکستر، نیوهمپشایر، مهندس معمار: لویی کان) یکی از مجلل‌ترین و زیباترین نمونه‌های معاصر در استفاده از طاق افقی (صاف) به عنوان یک عنصر اصلی طراحی است. سیستم سازه‌ای دیوار باربر آجری در اطراف ساختمان و یک قاب بتنی روی بخش داخلی آن می‌باشد. نمای جدید آجری آن در بین ساختمان باقیماندا دوران جورجیایی این مدرسه خصوصی بخوبی جای گرفته است. تمامی چهار نمای آن دقیقاً یکسان هستند، تمامی راه‌ها از کلیه جهات به یک راهرو که به وسیله بازشوهایی به شکل طاق افقی روی طبقه همکف شکل گرفته‌است، منتهی می‌شوند (رانرRonner، ۱۹۷۷) (تصاویر ۱۶-۱۳ و ۱۷-۱۳).

به نظر ساده و دلپذیر می آید، به هیچ‌گونه عناصر تزئینی متوسل نشده، هیچ گونه فضایی را برای استفاده از عناصر تزئینی نمی‌توان حس کرد. کوششی برای رسیدن به نه فقط دقت بلکه برای خلوص چیزی که در معابد یونانی دیده می شود، احساس می کنم.

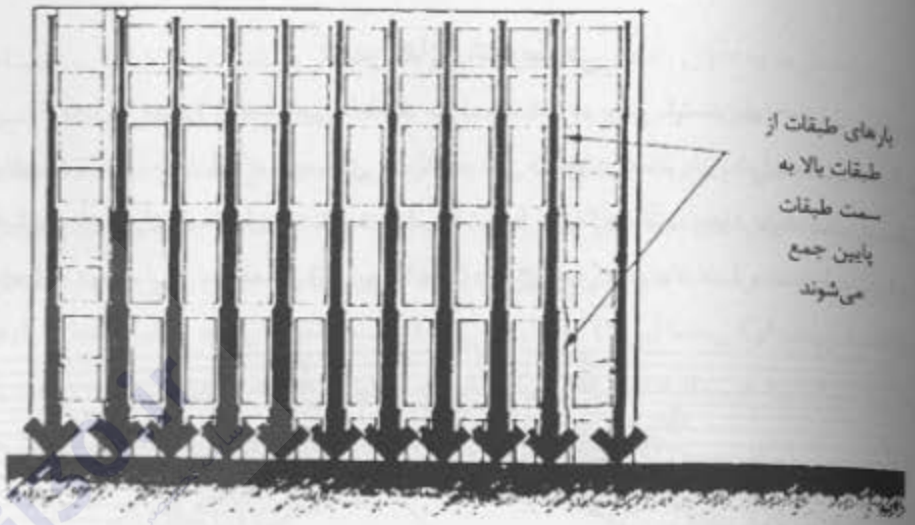
"لویی کان"



تصویر ۱۶-۱۳ : کتابخانه اکستر، نما.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



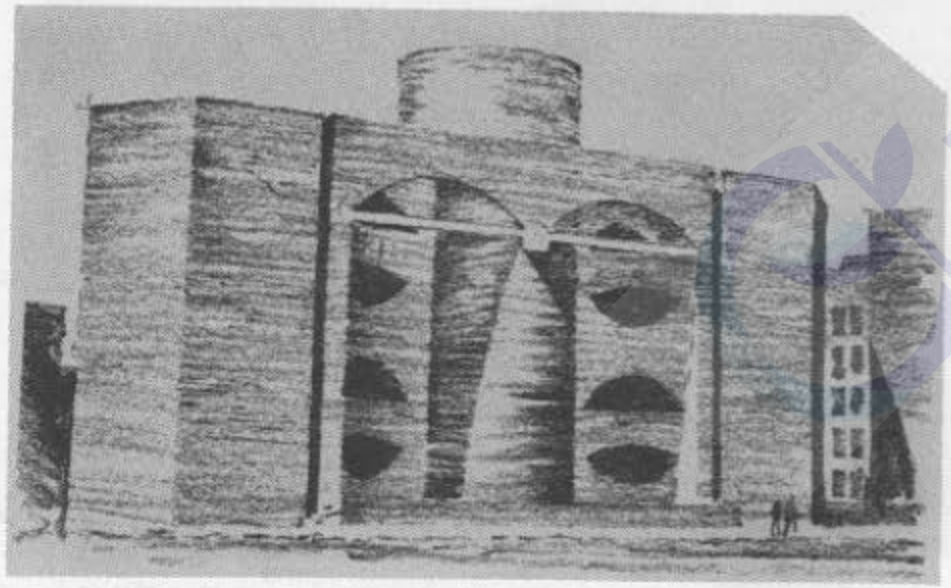
تصویر ۱۷-۱۳ : کتابخانه اکستر، نمودار مسیر بارگذاری.

در این ساختمان ضخامت دیوارهای باربر کاهش یافته و این دیوارها به قدری ارتفاع می‌گیرند که پنجره‌ها در بالا پهن و عریض شده‌اند و باریک‌ترین پنجره در نزدیکی زمین قرار دارد. ضخامت دیوارهایی که به زمین نزدیکتر هستند نشان‌دهنده تجمع بارهای ناشی از وزن طاق‌های افقی در هر طبقه است. قوس داخلی (زیرین) طاق ها خمیدگی کمی دارند که در نما دیده نمی‌شود و از خصوصیات طاق هایی است که واقعاً صاف و تخت می‌باشند (قوس رو به بالا).

کف بتنی در پشت طاق ها روی دیوارهای مصالح بنایی قرار دارد ولی به عنوان یک تیر مهاری برای مقاومت در برابر رانش طاق‌ها عمل می نماید. بدون وجود این تیر مهاری، رانش‌های قوس‌ها در طول نما جمع شده، تمایل به جدانمودن دیوارهای انتهایی دارد. آنها به صورت پشت‌بند عمل کرده و به طور قابل‌توجهی عرض را به منظور مقاومت در برابر رانش افقی‌افزایش می‌دهند.

خوابگاه انستیتوی مدیریت هندوستان

در این خوابگاه (۱۹۷۴: احمدآباد، هندوستان، مهندس معمار: لویی کان)، بخشی که مربوط به طرح کان برای کل انستیتو می باشد، اطاق ها به صورت ده‌تایی اطراف پلکان و چاپخانه شکل گرفته‌اند. به منظور رسیدن به هدف اصلی یعنی ارتباطات اجتماعی و توزیع اتاق‌ها، راهروها حذف شده اند و فضاهای باقیمانده برای فضای مطالعه و سمینارهای غیررسمی به کار رفته‌اند. ورودی چاپخانه و محل قرارگیری پله‌ها و حمام به گونه‌ای است که اتاق‌ها را از نزدیکی به پله و روشنایی شدید و خیره‌کننده بدون موانع بصری آن حفظ می کند (رونر-۱۹۷۷) (تصاویر ۱۸-۱۳ تا ۲۲-۱۳).

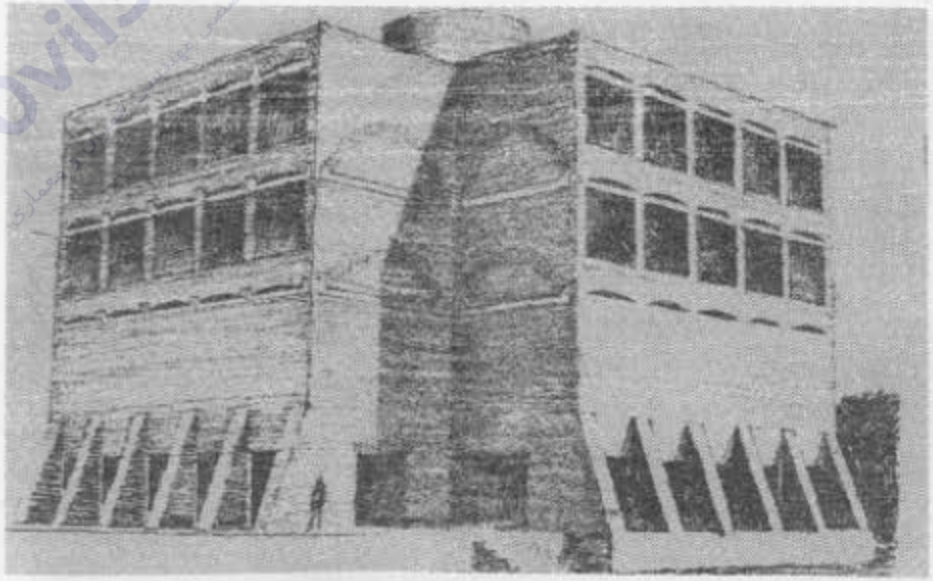


تصویر ۱۸-۱۳ : خوابگاه انستیتوی مدیریت هندوستان، نمای شمال شرقی با قوس‌های کم‌ارتفاع با تیرهای مهاری بتنی برای مقاومت در برابر رانش جانبی.

http://telegram.me/uadesigngroup

ساختمان با دیوارهای باربر حجیم آجری که به وسیلهٔ بازشوهایی قوسی شکل سوراخ شده، در سرتاسر خوابگاه و ساختمان‌های آموزشی به کار رفته است. کان از تیر مهاری افقی نمایان از جنس بتن مسلح جهت مقاومت در برابر رانش افقی بسیار زیاد تولید شده به وسیلهٔ قوس‌های کم‌خیز در نمای بیرونی استفاده کرده است.

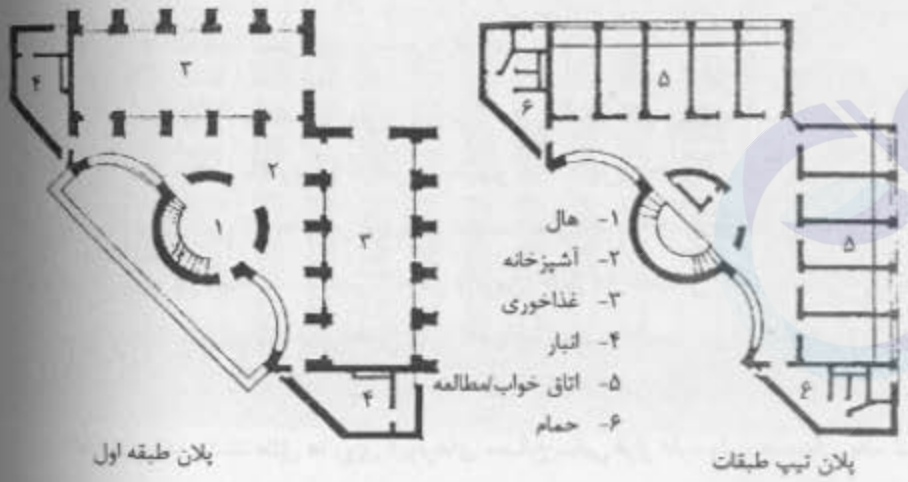
ضخامت دیوارهای باربر آجری از ۲۴ اینچ (۶۰ سانتیمتر) در سطح زمین تا ۱۲ اینچ (۳۰ سانتیمتر) در طبقهٔ بالا متغیر است. بر چگونگی تحمل بار جرز های آجری در نماهای جنوبی و غربی در طبقه اول به وسیله پشت‌بندهای توپری که به طرز زیبایی شیب دار گشته‌اند تأکید بیشتری شده است.



تصویر ۱۹-۱۳ : خوابگاه انستیتوی مدیریت هندوستان، بالکن‌های مجزای هر اتاق در نماهای شرقی و جنوبی.

قوس‌های غیربنایی

قوس‌ها معمولاً از مصالحی ساخته می‌شوند که در برابر کشش (و خمش) بتوانند مقاومت نمایند، مانند فولاد، چوب‌های چندلایه و بتن مسلح. بر اساس این شرایط، سه حالت شناخته شده برای اتصال این مصالح متناسب با شرایط تکیه‌گاهی آنها وجود دارد: صلب (بدون مفصل)، دومفصلی و سه‌مفصلی (تصویر ۲۳-۱۳) (همان‌گونه که در بالا اشاره شد، قوس‌ها با چهار یا تعداد بیشتر مفصل ناپایدار هستند). قوس‌های صلب (تقریباً تمامی آنها بدون استفاده از مصالح مسلح) اجازه چرخش در تکیه‌گاه های انتهایی را می‌دهند. قوس‌های صلب در اثر هرگونه تغییر شکل و همچنین انبساط حرارتی دچار خمش می‌شوند.

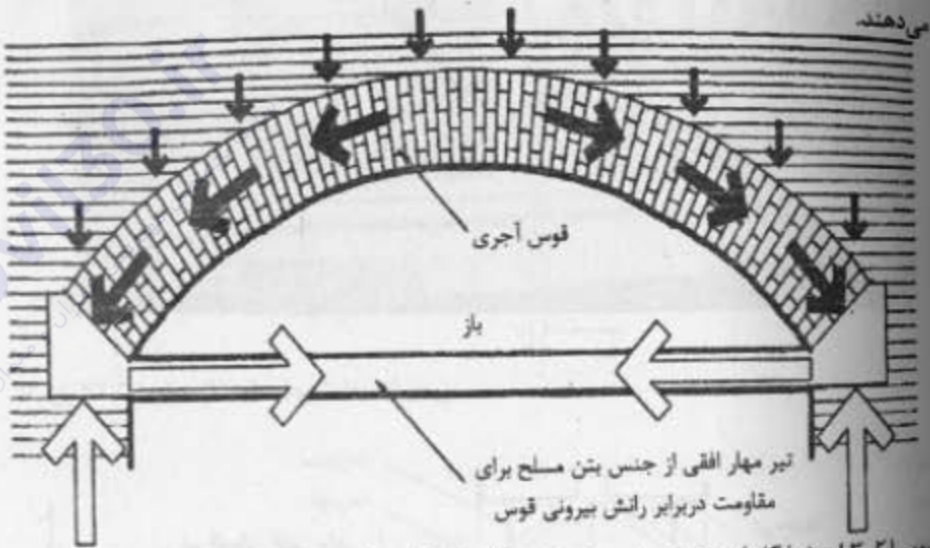


تصویر ۲۰-۱۳ : خوابگاه انستیتوی مدیریت هندوستان، پلان.

http://telegram.me/uadesigngroup

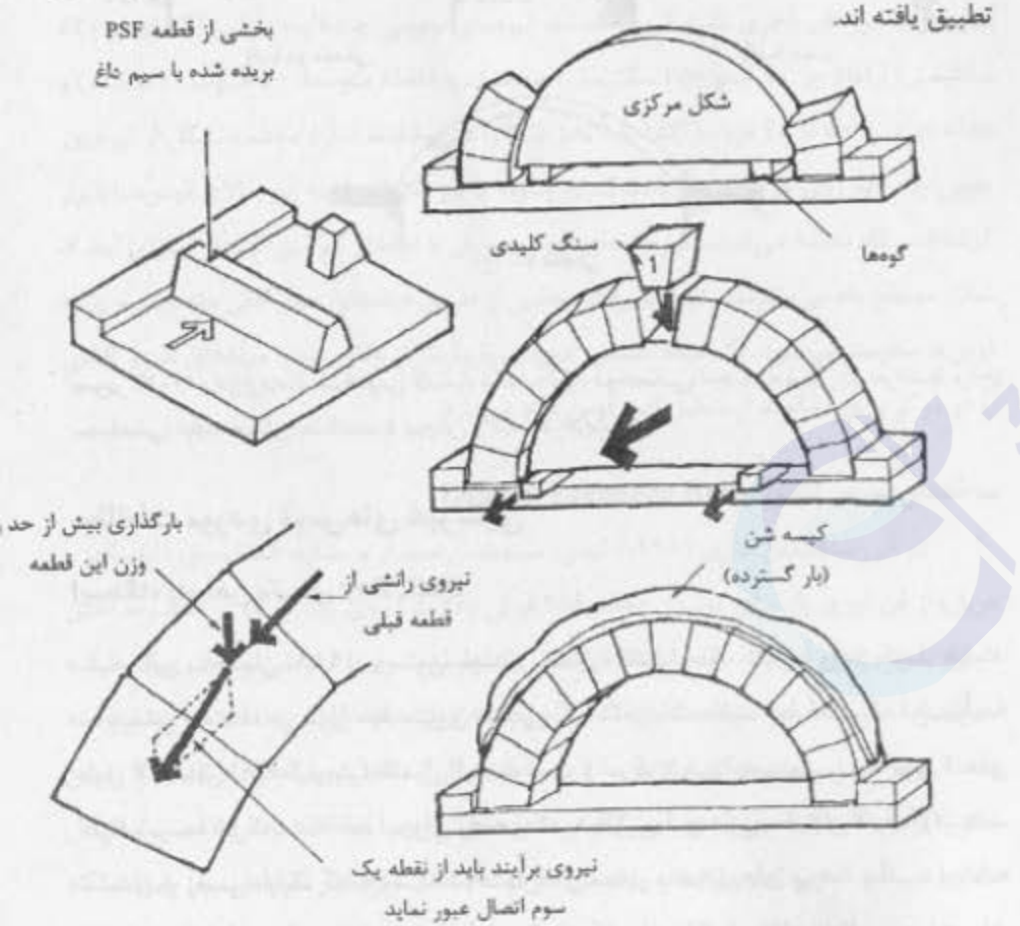
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

مفصل‌ها به عنوان راه‌حلی برای مقابله در برابر خمش در اثر تغییر شکل و انبساط حرارتی معرفی شده‌اند. قوس‌های دو مفصلی در هر تکیه‌گاه انتهایی دارای مفصل هستند. آنها تنش های خمشی در نزدیک تکیه‌گاه ها را به حداقل می‌رسانند ولی خمش در وسط دهانه باقی می‌ماند. قوس‌های سه‌مفصلی خمش را در تکیه‌گاه‌ها و در کل دهانه به علت وجود مفصل میانی که اجازه حرکت به علت تغییر شکل و انبساط حرارتی بدون خمش را می دهد، کاهش می‌دهند.



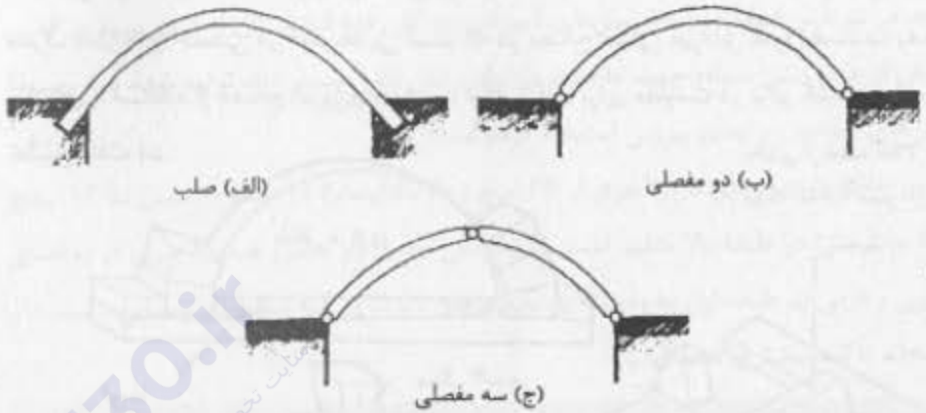
تصویر ۲۱-۱۳ : خوابگاه انستیتوی مدیریت هندوستان، نمودار جریان نیروهای قوس. مشابه خریا، در این قوس با ترکیب تیر مهاری رانش در یک دهانه وجود ندارد.

در ساختمان‌های امروزی، انحراف شکل قوس از خط رانش مورد نظر آن نسبت به ساختمان‌های سنتی از اهمیت کمتری برخوردار است. در ساختمان‌های بنایی اولیه، بار مرده، بار غالب در ساختمان بود (به علت وزن مصالح). در ساختمان‌های امروزی اعضا باریک‌تر هستند (و سبک‌تر) در نتیجه، بار مرده کاهش یافته و بار زنده (مانند برف، باد و افراد) تمایل به غلبه دارند و ضمن آنکه مقدار و جهت آن در شرایط مختلف متفاوت می‌باشد. چنین حالتی معرف تنش‌های خمشی در قوس‌ها یی است که در مصالح سنتی غیرقابل قبول هستند، به طرز ساده‌ای با استفاده از مصالح امروزی به سبب توانایی آنها برای مقاومت در برابر کشش و خمش تطبیق یافته اند.



تصویر ۲۲-۱۳ : مدل نمایشی از ساختمان قوس، نمایش‌گر مقاومت لازم در برابر رانش.

http://telegram.me/uadesigngroup

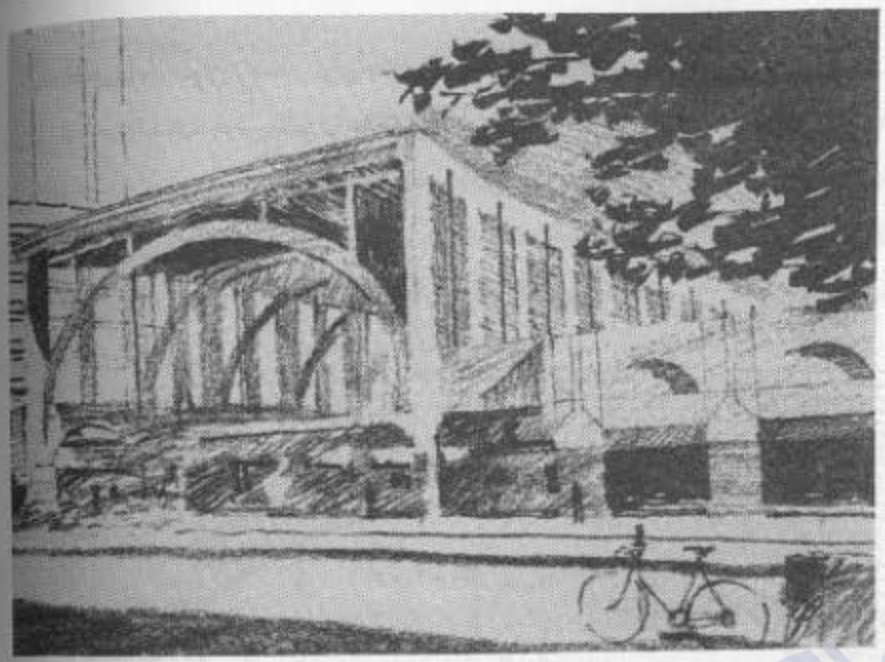


تصویر ۱۳-۲۳ : انواع مختلف قوس: (الف) صلب، (ب) دومفصلی، ایجاد خمش در دو انتها و (ج) سه‌مفصلی، ایجاد خمش (متناسب با پیچش و انبساط حرارتی)

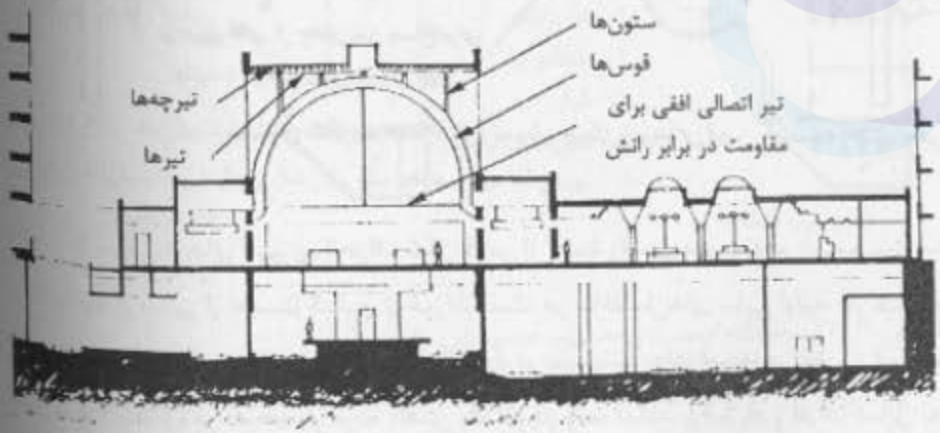
مطالعات موردی قوس‌های غیربنایی

ایستگاه راه آهن بک‌بای Back Bay

این ساختمان (۱۹۸۹: بوستون، مهندس معمار: کالمان، مک کنیل و وود) یکی از هشت ساختمانی است که در طول خط متروی نارنجی‌رنگ ساخته شده اند، خط آهنی که اخیراً به طول ۴/۷ مایل (۷/۸ کیلومتر) تکمیل گردیده است و مرکز شهر بوستون را به شهرک‌های اطراف مرتبط می‌کند. سه خط مجزای راه‌آهن که به طور موازی در زیر خیابان قرار گرفته‌اند، تاکیدی بر زمینی باریک که به وسیله ساختمان‌های مجاور و خیابان‌های پررفت و آمد احاطه شده است، می‌باشند. این وضعیت خطوط آهن است که هندسهٔ اصلی پلان را تعیین می نماید (کارتر،۱۹۸۹) (تصاویر ۱۳-۲۴ تا ۱۳-۲۶).



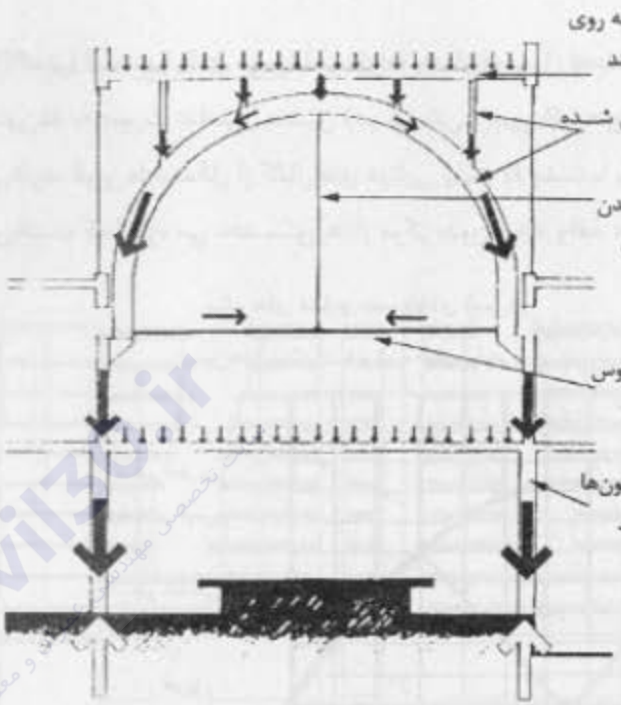
تصویر ۱۳-۲۴ : ایستگاه بک بای، نمای خارجی



تصویر ۱۳-۲۵ : ایستگاه بک بای، مقطع

http://telegram.me/uadesigngroup

درک رفتار سازه‌هابا ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۱۳-۲۶ : ایستگاه یک پای، نمودار مسیر بارگذاری.

این طرح یادآور فضای وسیع و با عظمت ترمینال راه‌آهن امریکایی قرن نوزدهم می‌باشد که کانون توجهات را از ایستگاه راه‌آهن (با اهمیت در ایستگاه‌های اروپایی آن زمان) که محلی برای ایجاد فضای اجتماع وسیع در مقیاس شهری است، به سوی خود معطوف می‌کند.

چنین بیانی از ایستگاه به عنوان یک راهروی طویل شهری بر روی طرح این ایستگاه تاثیرگذار بوده است. ایستگاه جدیدی که با افزایش ارتفاع و عرض دهانهٔ اصلی شکل گرفته است. این سالن بزرگ برای تأمین یک گذرگاه سرپوشیده برای اتصال سایت به خیابان‌های مجاور گسترش یافته است.

طراحان، سالن اصلی ایستگاه را به عنوان یک طاق گنبدی متوالی با مجموعه‌ای از قوس‌ها طراحی کردند. در عین این که یک سمت پلان کمی انحنا دارد (برای تجمع خطوط راه‌آهن) ولی حجم ساختمان به طور مشخصی مستطیل‌شکل است و در دو انتها باز است و روی طاق بتنی روی جرزهای آجری تکیه کرده است. تیرهای چوبی چندلایه دارای ۱۳۲ اینچ (۸۲ سانتیمتر) ارتفاع در ۱۰ اینچ (۲۵ سانتیمتر) ضخامت، با فاصله متوسط ۲۰ فوت (۵/۲ متر) و دهانه ای بین ۵۰ تا ۶۰ فوت (۱۵/۲ تا ۱۸/۲ متر) را می‌پوشانند. سازهٔ سقف متشکل از تیرهای چوبی چندلایه روی هر قوس می‌باشد که به وسیله ۵ تیر تقویتی که بر بالای قوس‌ها قرار گرفته‌اند، نگاه داشته می‌شوند. تیرچه های چوبی نمایان با فواصل کم بین تیرها را برای ایجاد شکل مسطح بام می‌پوشانند. در برابر رانش جانبی از طریق میله‌های مهار افقی متصل به پایه قوس‌ها مقاومت می‌شود. یک میلهٔ کششی عمودی باریک‌تر از بالای قوس میله‌های مهار افقی را در مرکز برای ممانعت از شکم دادن قوس نگاه می‌دارد.

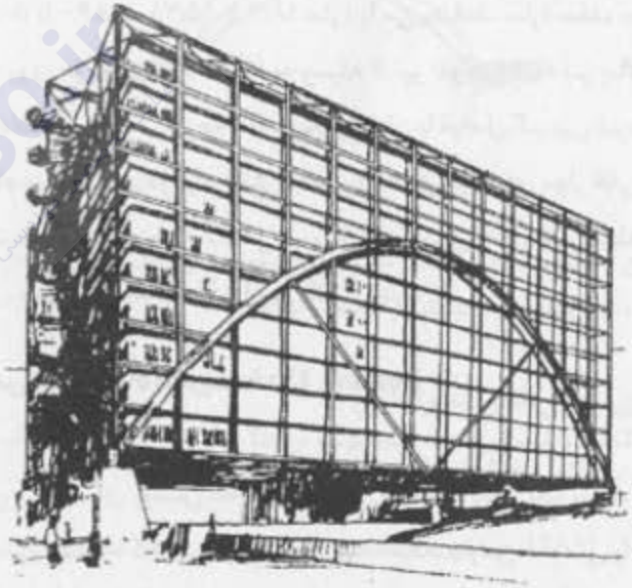
ساختمان بورس لندنLondon Exchange House

در این ساختمان اداری (۱۹۹۰: لندن، مهندس معمار و سازه: اسکیدمور، اوئینگز و مریل) از فن آوری پل برای پوشش دهانه ۲۵۶ فوتی (۷۸متر) روی یک شبکه از خطوط آهن در زیر سطح زمین استفاده شده است. خرپاهای یک طبقه، تراس عمومی را روی یک طبقه حدفاصل خطوط آهن و طبقات اداری نگاه می‌دارند. ۱۰ طبقه از دفاتر و فضاهای تجاری به وسیلهٔ چهار قوس سهمی‌شکل فولادی با ۷ طبقه ارتفاع که فضای داخلی طبقات را بدون ستون کرده نگاه داشته می‌شوند. این ۴ قوس دهانه مرکزی را با ۴۹ فوت (۱۵ متر) عرض تقسیم می‌کند که در کنار دو دهانه با عرض ۶۰ فوت (۱۸/۳ متر) قرار گرفته‌اند. بار طبقات به قوس‌ها به وسیلهٔ خرپاهای فولادی با جان باز که دهانه‌های مذکور را می‌پوشانند، منتقل می‌شود (هاریمان، ۱۹۹۰ و بلیث، ۱۹۹۴) (تصاویر ۱۳-۲۷ تا ۱۳-۳۱).

http://telegram.me/uadesigngroup

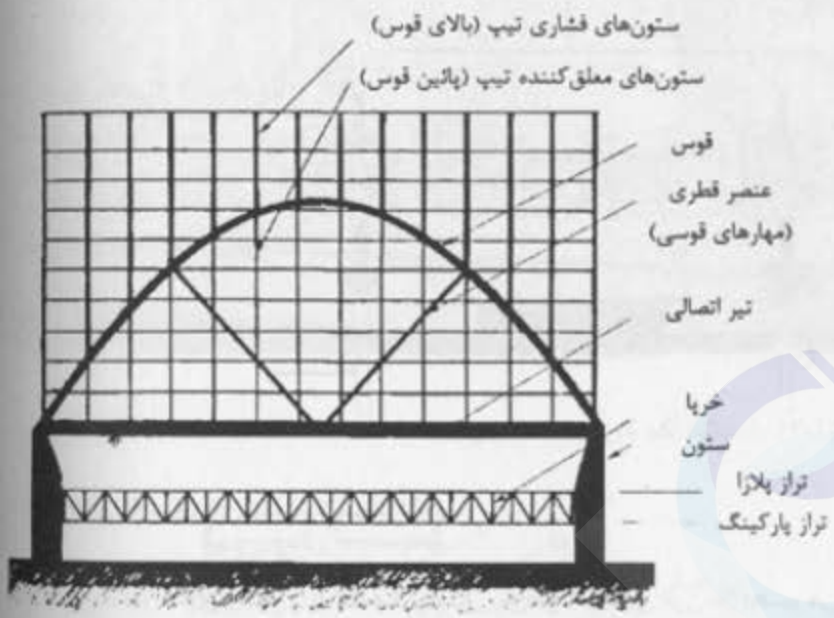
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

دو قوس پیرامونی (ستون ها و تیرها) ارتباطی آنها در خارج به صورت نمایان می‌باشند و در پشت دیواری برای تأکید بر فرم، اتصالات و عملکرد هر یک از عناصر سازه‌ای معرفی می‌شوند. تکیه‌گاه جانبی در ستون‌های خارجی به وسیله میله‌های مهار قطری که قاب نمایان را به کناره‌های کف در تراز هر طبقه متصل می‌کنند، فراهم شده است (تصویر ۲۸-۱۳). قوس‌های داخلی فقط در سطح دو سالن سخنرانی نمایان گشته‌اند.



تصویر ۲۷-۱۳ : ساختمان بورس لندن ، نمای خارجی، نشان‌دهندهٔ قوس‌های فولادی به کار رفته برای پوشاندن دهانه ۲۵۶ فوتی(۷۸ متر) می باشد. ستون‌ها در بالای قوس‌ها تحت فشار هستند، ستون‌های پایینی تحت کشش می‌باشند.

قوس‌ها، بخش‌هایی از سهمی هستند که از قطعات ناودانی فولادی که به ستون‌های فولادی با پروفیل بال‌پهن متصل هستند، ساخته شده‌اند. فاصله مرکز به مرکز آنها ۲۰ فوت (۶/۱ متر) است. در بالای قوس‌ها، ستون‌ها به طور معمول تحت فشارمی‌باشند و در زیر قوس ستون‌ها، به صورت عناصری معلق (در کشش) می باشند و تیرهای کف طبقات را نگاه می‌دارند. قوس‌ها متشکل از کانال‌های دوتایی پشت به پشت با یک فضای خالی در بین آنها می‌باشند، که اجازه می دهد ستون‌ها از مرکز بدون ایجاد وقفه عبور نمایند.



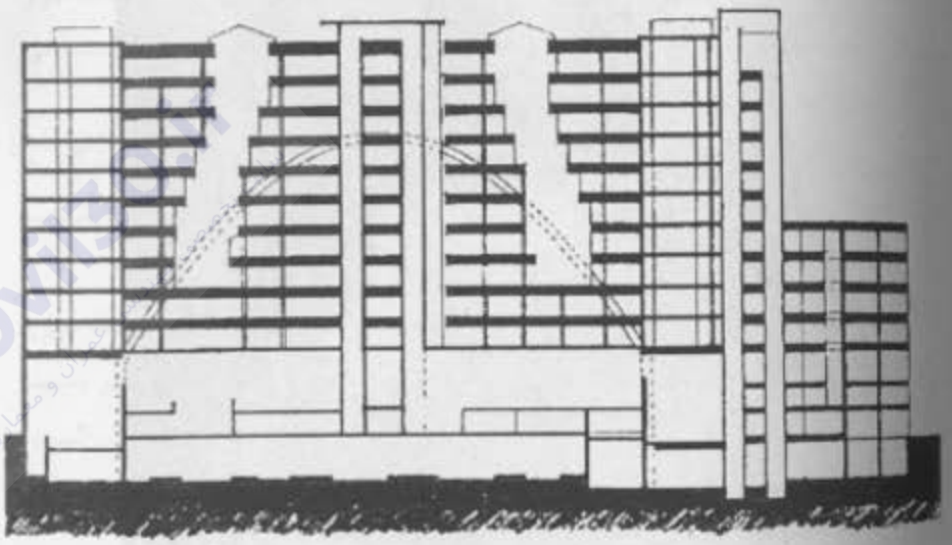
تصویر ۲۸-۱۳ : ساختمان بورس لندن ، اجزای سیستم اصلی.

دو تیر مهاری قطری اصلی در هر قوس برای تأمین سختی جانبی و مقاومت در برابر خمش در مواقع بارگذاری نامتقارن لازم است. یک تیر مهاری فولادی افقی در پایهٔ هر قوس در برابر رانش جانبی مقاومت می‌نماید. طبقات حد وسط نیز مقاومت جانبی دارند. مشابه قوس‌ها، هر عضو قطری متشکل از یک جفت لوله فولادی با فضایی خالی است که اجازه عبور ستون‌ها

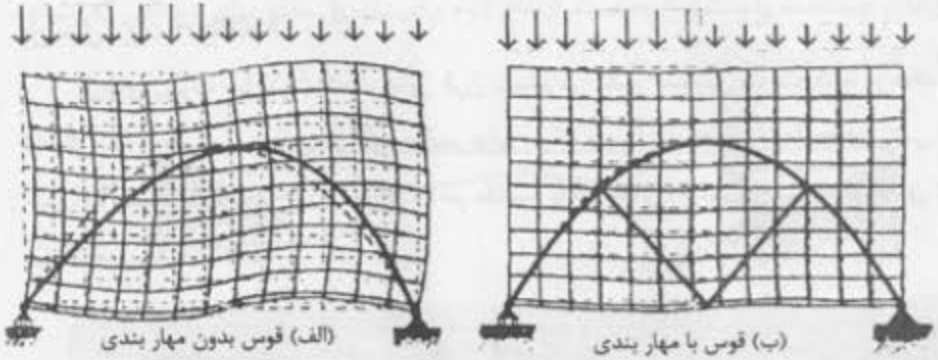
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

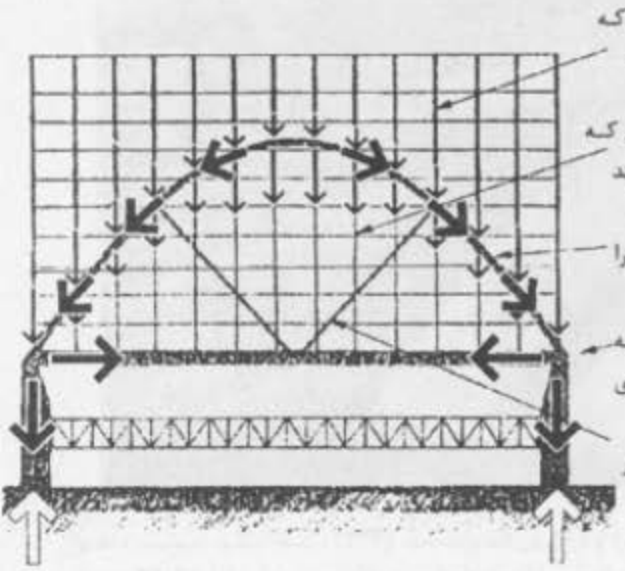
را می‌دهد. مقایسه بین سیستم سازه‌ای این ساختمان با شیوه مشابه آن (ولی معکوس) در فدرال ریزرو- میناپولیس در بخش ۱۰ قابل بررسی است.



تصویر ۲۹-۱۳ : ساختمان بورس لندن ، مقطع نشان‌دهنده قوس‌های داخلی است که در محوطه سالن سخنرانی نمایان هستند.



تصویر ۳۰-۱۳ : ساختمان بورس لندن، نمودار دیاگرام انحنای قوس : (الف) بدون مهارهای قطری و (ب) با مهارهای قطری.

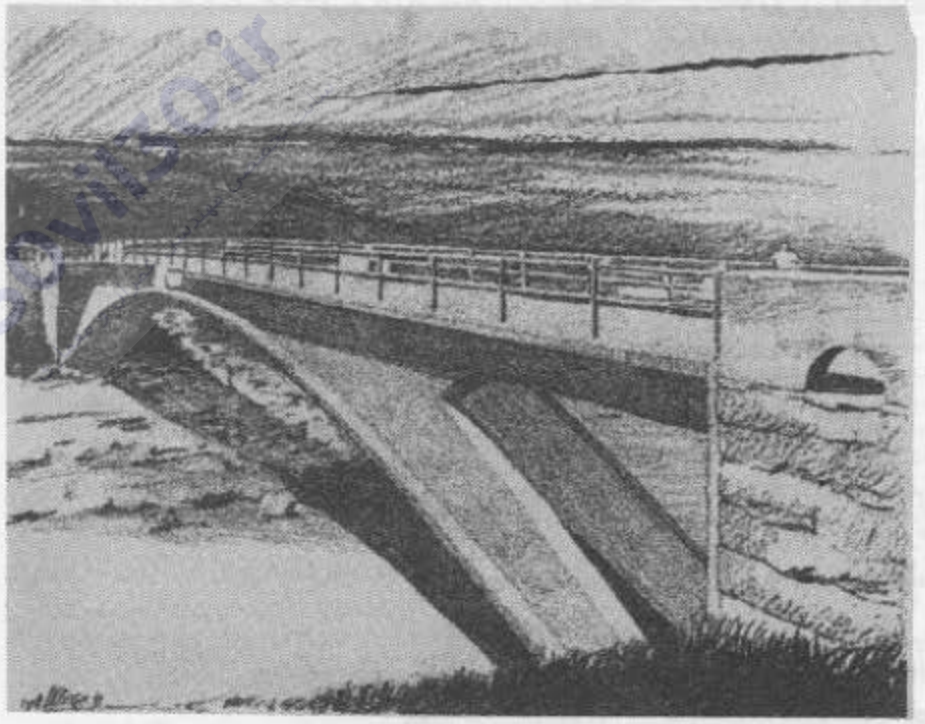


تصویر ۳۱-۱۳ : ساختمان بورس لندن، نمودار مسیر بارگذاری.

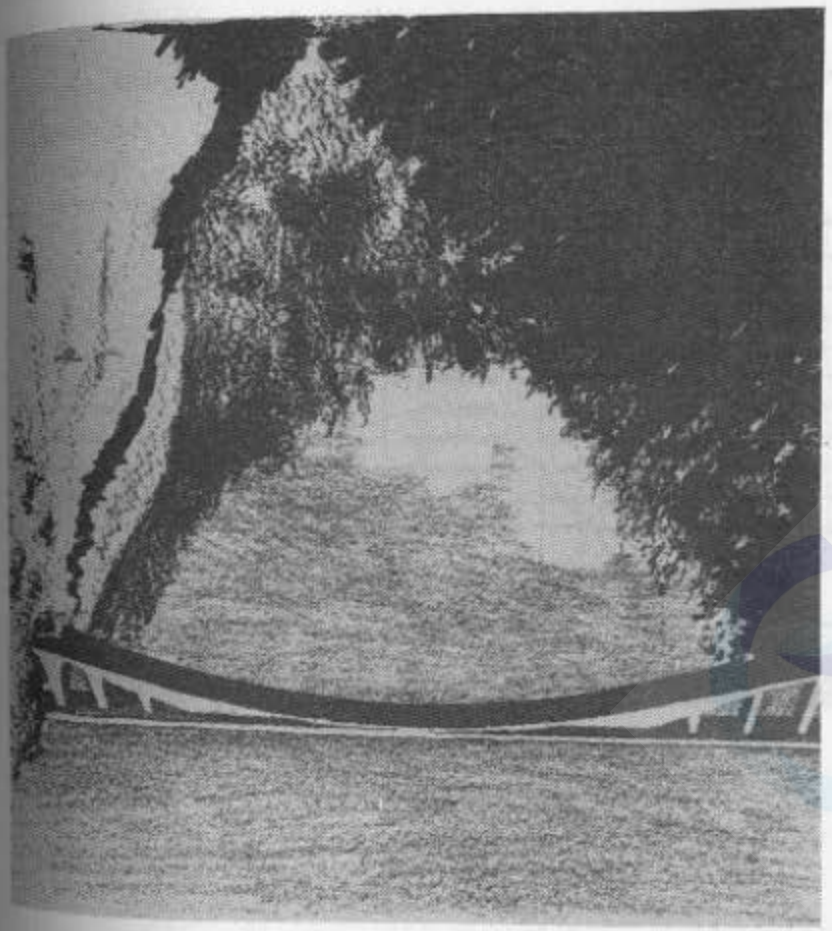
http://telegram.me/uadesigngroup

پل میل لارت Maillart

پل‌های روبرت میل‌لارت که در اوایل قرن بیستم در کشور سوئیس ساخته شد، در مجموع نشانگر یک موفقیت استثنایی در کاربرد قوس‌های سبک و زیبا بود. چنین سازه‌های بتنی نه تنها زیبا هستند، بلکه طرح‌های میل‌لارت در مقایسه با طرح‌های رقبای وی بسیار اقتصادی تر می‌باشند (براون،۱۹۹۳).



تصویر ۱۳-۳۲ : پل راین، توجه کنید به تضاد بین بتن باریک و طویل و یک‌دست پل و پایه‌هایی با مصالح بنایی.



تصویر ۱۳-۳۳ : پل سال گینیتوبل، دید از قسمت پایین.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

اولین پل وی برای نمایش سبکی و زیبایی که مشخصه کارهای اخیر وی بود پل راین می‌باشد (۱۹۰۵، تاواناسا، سوئیس). وی توجه خود را به شکاف‌هایی در دیوارهای پشت بغل (Spandrel) الهام‌گرفته از یک پل اولیه معطوف کرد (۱۹۰۱، زوئوز) و در پل راین، وی مناطقی را که دچار شکاف مثلثی‌شکل شده بودند را حذف کرد.

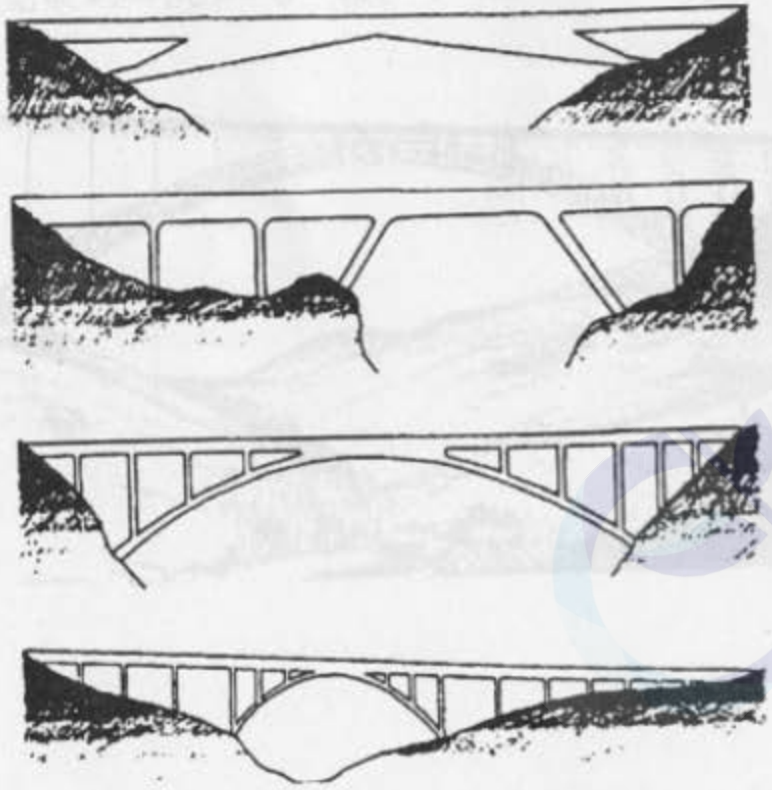
در این سیستم انتهای قوس به شکل مخروطی از بتن بود که در سطح جاده قرار می‌گرفت. وی همچنین یک مفصل در باریک‌ترین بخش در مرکز دهانه برای حرکت انبساطی و تغییر شکل بدون ترک‌خوردگی اضافه کرد (تصویر ۳۲-۱۳).

پل سال‌گینیتوبل (۱۹۳۰، شیرز، سوئیس)، یکی از مشهورترین پل‌ها به علت بزرگی و عظمت آن است. طول دهانهٔ آن ۲۹۵ فوت (۹۰ متر) می‌باشد که روی یک درهٔ باریک با شیب تند در دامنهٔ کوه آلپین در بخش گراوبدن قرار گرفته است.

تمامی سطح پل در طول دهانه آن به سمت بالا شیب‌دار گشته است و متکی بر یک قوس می‌باشد که در پایه‌ها پهن‌تر[۲۰فوت (۶ متر)] است و برای هماهنگی با سطح جاده در وسط دهانه با پهنای ۱۲ فوت (۳/۵ متر) باریک شده است، جایی که اتصال آن مفصلی است (تصویر ۳۳-۱۳). بقیه نمونه‌ها از طرح‌های متفاوت میل لارت در تصویر ۳۴-۱۴ نشان داده شده اند.

پل نیوریور جورج New River George

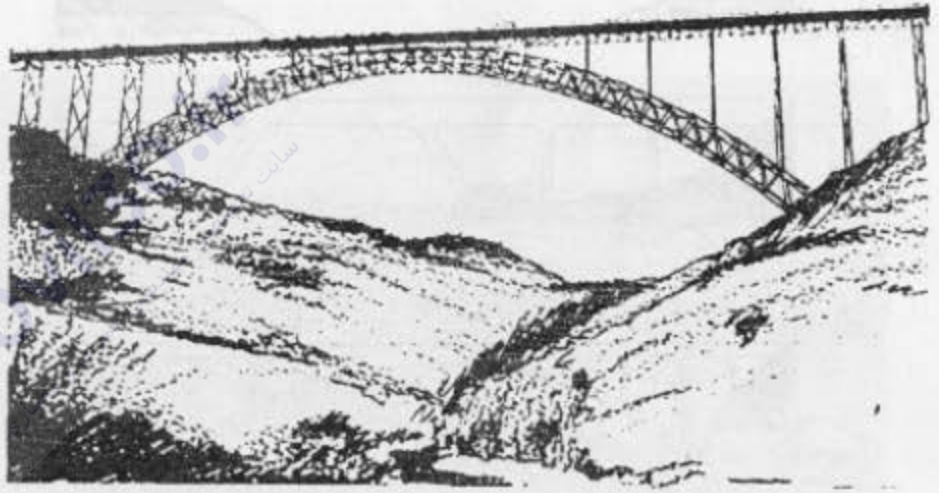
این پل (۱۹۷۸: نیوریورجورج، واشنگتن، مهندس سازه: مایکل بیکر) برای کوتاه کردن فاصله بین شمال – جنوب این بخش دورافتاده از ویرجینیای غربی به فاصله تقریبی ۴۵ مایل (۶۴ کیلومتر) ساخته شد. دهانهٔ پل ۱۷۰۰ فوت (۵۱۸ متر) و در مجموع طول آن ۳۰۳۰ فوت (۹۲۴ متر) است که بزرگترین دهانهٔ قوسی پل در دنیا می باشد. قوس فولادی به سبب شرایط و موقعیت‌های خاص انتخاب شده است. ارتفاع ۸۷۶ فوتی (۲۶۷ متر) دره امکان استفاده از خرپاهای چنددهانه را منتفی کرده است. ارتفاع لازم برای یک پل معلق برای مناطقی که تردد در آن کم است مخاطره آمیز می‌باشد.



تصویر ۳۴-۱۳: چهار نمونهٔ متفاوت از طرح پل‌های بتنی میل لارت : (الف) پل سایم، [۱۹۴۰، گارستنات، سوئیس، طول دهانه ۱۰۵ فوت (۳۲ متر)]، (ب) کانال آب انوخوا، [۱۹۲۵، چانل ارد، سوئیس، طول دهانه ۱۰۰ فوت (۳۰/۴ متر)]، (ج) پل شواندبک، [۱۹۳۳، شواندبک، سوئیس، طول دهانه ۱۲۳ فوت (۳۷/۴ متر)]، (د)طرح لانسی-ژنو، [۱۹۳۶، لانسی، ژنو، سوئیس، طول دهانه ۱۶۴ فوت (۵۰ متر)]

http://telegram.me/uadesigngroup

قوس خرپایی فولادی در نظر گرفته شده دو شرط فوق را تأمین کرده است. فولاد corten به کاررفته در آن برای ساخت پل در معرض هوا دچار خوردگی و زنگ‌زدگی نمی‌گردد، بنابراین نیاز به رنگ زدن به شکل متداول را ندارد (براون، ۱۹۹۳).



تصویر ۳۵-۱۳: پل نیوریور جورج، برای پی بردن به مقیاس آن به کامیونتی که در وسط دهانه قرار دارد توجه نمایید.

خلاصه مطالب

۱- طاق زدن، حد واسط بین طره و قوس واقعی است که متشکل از ردیف‌های متوالی آجر است که روی یکدیگر در دو طرف بازشو قرارگرفته‌اند و بتدریج به هم نزدیک می‌شوند تا با هم تلاقی نمایند.

۲- قوس با فرم منحنی طنابی، فشار معکوس معادل یک کابل معلق و فقط فشار محوری را تحمل می نماید.

۳- اگر در یک کابل معلق، بارگذاری به صورت گستردهٔ یکنواخت در طول افقی دهانه باشد، فرم منحنی طنابی به صورت سهمی است.

۴- اگر بارگذاری گستردهٔ یکنواخت در طول منحنی قوس باشد، فرم منحنی طنابی به شکل زنجیرواره است. فرم منحنی طنابی برای بازشوی قوسی‌شکل در یک دیوار با مصالح بنایی بین این دو فرم است.

۵- با کم کردن ارتفاع قوس برای بارگذاری معین، رانش جانبی تولیدشده بیشتر خواهد بود.

۶- برخلاف طاق زدن که مصالح بنایی طره‌شده تحت خمش قرار می‌گیرند (وکشش)، یک قوس با مصالح بنایی واقعی از فرم گوه‌ای سنگ‌ها برای انتقال بار جانبی به طور کامل به وسیلهٔ فشار بهره می‌برد.

۷- فرم منحنی طنابی یک قوس همزمان با خط رانش آن که برآیند رانش و وزن هر بخش از قوس می‌باشد اتفاق می‌افتد و روی لایه زیرین آن اعمال نیرو می‌نماید.

http://telegram.me/uadesigngroup

۸- اگر خط رانش درون یک سوم وسط یک قوس باقی بماند (یا دیوار باربر یا پی) فقط نیروهای فشاری وجود دارد و هیچگونه کششی وجود نخواهد داشت.

۹- اگر بارگذاری روی یک قوس باریک قرار گیرد، به قدری که فرم منحنی طنابی آن تغییر نکند، قوس فرو خواهد ریخت، برای ممانعت از چنین امری شکل قوس باید به قدری فشرده گردد که هیچ گونه خمشی روبه بالا وجود نداشته باشد.

۱۰- قوس‌های صلب در اثر هرگونه تغییر شکل و همچنین انبساط حرارتی دچار خمش می‌شوند. مفصل‌ها به عنوان راه‌حلی برای مقابله در برابر خمش در اثر تغییر شکل و انبساط حرارتی معرفی شده‌اند.

۱۱- مفصل‌ها در قوس‌ها به عنوان راه‌حلی برای کنترل خمش به سبب تغییر شکل و انبساط حرارتی معرفی شده‌اند.

۱۲- قوس‌های دومفصلی در هر تکیه‌گاه دارای اتصال مفصلی می‌باشند، آنها تنش‌های خمشی را در نزدیک تکیه‌گاه ها به حداقل رسانده ولی خمش در وسط دهانه وجود خواهد داشت.

۱۳- قوس‌های سه‌مفصلی دارای اتصال مفصلی در هر انتها و در وسط دهانه می‌باشند، آنها خمش را در هر دو تکیه‌گاه انتهایی و همچنین در سراسر کل دهانه به علت مفصل میانی کاهش می‌دهند. قوس‌های سه‌مفصلی دارای حرکت به سبب تغییر شکل و انبساط حرارتی بدون خمش می‌باشند.

http://telegram.me/uadesigngroup

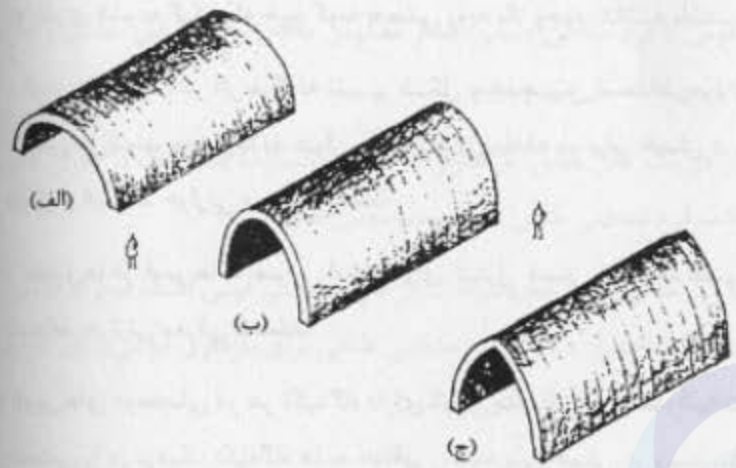
فصل ۱۴
طاق‌ها

طاق قوسی سه‌بعدی است که نیروها را فقط از طریق فشار به تکیه‌گاه ها منتقل می‌کند (سقف‌های طاقی‌شکل که برای مقاومت در برابر نیروهای کششی اصلی طراحی شده‌اند و باید تقویت گردند، با رفتار سازه‌ای کاملاً متفاوت به عنوان پوسته‌ها در فصل‌های بعدی مورد بررسی قرار خواهند گرفت).

در ساده‌ترین تعریف، طاق قوس قالب گرفته‌شده در بعد سوم است (یا چرخیده) و مشابه یک قوس، طاق (به طور سنتی یک سازه با مصالح بنایی) به طور خالص فشاری است و در مقابل کشش مقاومتی ندارد. به همین دلیل، طاق‌ها نیاز به تکیه‌گاه ممتد در طول هر پایه دارند. بر اساس فرم آنها، طاق‌های فشاری به دو بخش اصلی تقسیم می شوند: طاق‌های استوانه‌ای (با انحنا در یک جهت) و گنبدهای قوسی (با انحنا در دو جهت).

طاق‌های استوانه‌ای

طاق‌های استوانه‌ای شامل مقاطع مختلفی از قبیل: گهواره‌ای (نیمدایره یا رومی)، فرم منحنی طنابی (فرم منحنی طنابی برای یک طاق با ضخامت یکسان) و تیزه‌دار (گوتیک) می‌شوند(تصویر ۱-۱۴).



تصویر ۱-۱۴ : طاق‌های استوانه‌ای: (الف) گهواره‌ای، (ب) منحنی طنابی و (ج) تیزه‌دار.

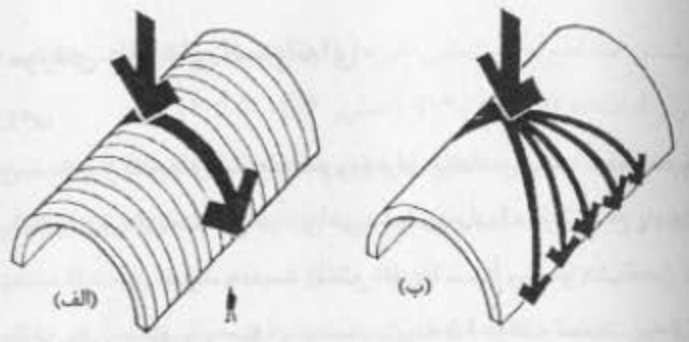
رفتار سازه‌ای

توزیع بار

طاق در مقایسه با مجموعه‌ای از قوس‌های همجوار در برابر بار متمرکز رفتاری متفاوت دارد. قوس‌ها به گونه‌ای رفتار می‌کنند که بار وارده بریکی از آنها به وسیلهٔ قوس‌های مجاور انتقال نمی‌یابد. مجموع بارها به سمت پایین قوس انتقال پیدا می‌کند. مقاومت برشی طاق امکان پخش بار را برای سطوح مجاور فراهم می‌سازد (با زاویه ۴۵ درجه در هر جهت).

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۳-۱۴ : توزیع بار در (الف) قوس‌های مستقل و (ب) طاق.

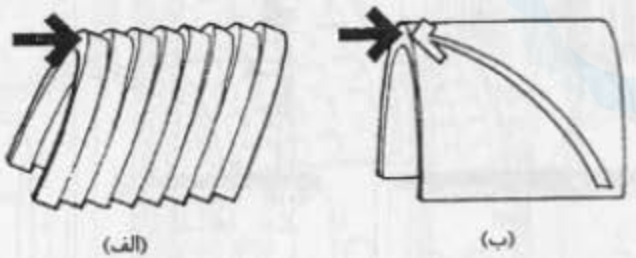
مقاومت جانبی

مقاومت جانبی طاق در مقایسه با مجموعه‌ای از قوس‌ها به انتهای یک قوس وارد می‌شود، مشابه بازی دومینو سبب ریزش کل آنها می‌گردد. مقاومت متفاوت است. هنگامی که نیرویی برشی در طاق‌های کم‌خیزتر هم امکان رفتاری مانند یک زوج از دیوارهای برشی در مقاومت در برابر نیروهای مقاوم افقی موازی در طول طاق را فراهم می‌کند (تصویر ۳-۱۴).

مقاومت رانشی

مشابه قوس‌ها، تمامی طاق‌ها (صرفنظر از شکل آنها) رانش افقی ایجاد می‌نمایند. با کم ارتفاع شدن خط رانش، رانش بیشتری ایجاد می‌شود. اگر طاق به طور مستقیم از پی ادامه پیدا کند، اصطکاک بین زمین و پی ممکن است برای مقاومت در برابر رانش کافی باشد، ولی اگر طاق روی دو دیوار عمودی موازی ساخته شود (یا روی تیرهای موازی قرار گرفته روی ستون‌های عمودی)، رانش سبب جدا شدن بالای دیوارها می‌گردد. یک روش برای بازداشتن از نیروی رانشی اضافه کردن تیرهای افقی بین پایه‌های قوس می‌باشد. این امر امکان مقاومت را از طریق تیرهای کششی در برابر رانش بیرونی می‌دهد. این همان شیوه‌ای است که کان با عنوان بتن مسلح برای مقاومت در برابر نیروی رانشی قوس‌ها در انستیتوی مدیریت هندوستان به کار برد.

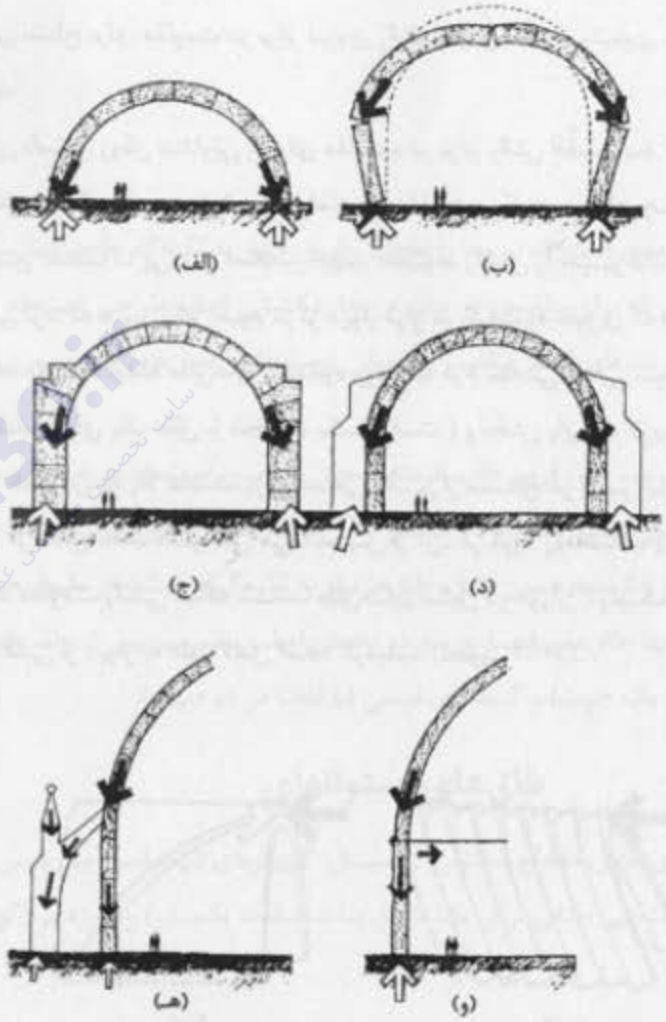
رومیان باستان روش متفاوتی را برای مقاومت در برابر رانش افقی به کار می‌بردند. آنها میزان زیادی مصالح را روی بخش کم ارتفاع طاق اضافه می‌کردند (ماهیچه طاق). به علاوه برای افزایش اصطکاک پی، این اضافه‌بار جهت خطوط رانش را تغییر داده و به قدری آن را کم‌خیز می‌کرد که درون یک -سوم مرکز دیوار قرار می‌گرفت به طوری که اجازهٔ واژگونی به آن نمی‌داد. به علت اینکه طاق‌های نیمدایره رومی به فرم منحنی طنابی نبودند (زنجیرواره فرم منحنی طنابی برای یک طاق با ضخامت یکسان است) و بخش پایین‌تر (زیر ۵۲ درجه) طاق تمایل به خمش رو به بالا داشت، وزن اضافی ناشی از مصالح در برابر این خمش مقاومت می‌کرد و کل طاق تحت فشار باقی می‌ماند. پس از آن، در دوره رومانسک، پشت‌بندهای توپر برای ایجاد مقاومت رانشی اضافه شدند. طاق‌های مایل در دوران گوتیک برای جدا کردن مقاومت رانشی از دیوار به طور کامل اضافه گردیدند (تصویر ۴-۱۴).



تصویر ۳-۱۴ : مقاومت جانبی در (الف) قوس‌های مستقل و (ب) طاق.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

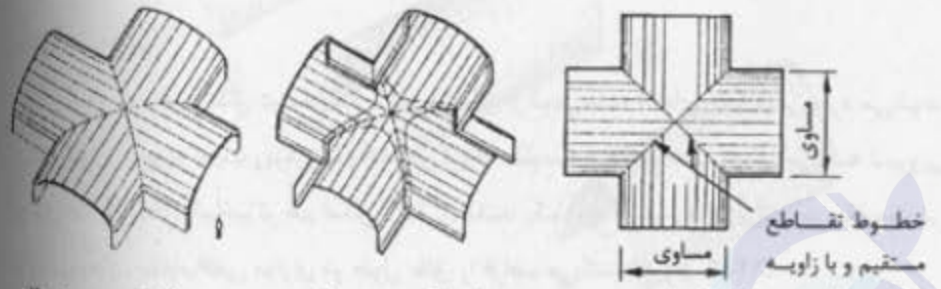


تصویر ۴-۱۴ : مفهوم میانگین مقاومت جانبی رانشی در طاق‌ها: (الف) اصطکاک پی، (ب) تمایل طاق‌های متکی بر دیوارهای عمودی برای باز شدن، (ج) طاق نیمدایره رومی با ماهیچه تقویت شده و دیوارهای ضخیم، (د) پشت‌بندهای توپر رومانسکی، (هـ) طاق نیمه‌گوتیکی و (و) تیر اتصالی فلزی.

مطالعات موردی طاق‌های استوانه‌ای

طاق‌های رومی

رومیان باستان از طاق‌های متقاطع (تویزه) برای پوشاندن سقف با دو محور عمود برهم استفاده می‌کردند. طاق‌های متقاطع در این دوره ابعادی مشابه در ارتفاع پایه، عرض و خیز قوس داشتند. به علت این تشابه، هندسه تقاطع طاق‌ها نسبتاً ساده و مشخص بوده و خطوط تقاطع طاق‌ها در پلان مستقیم و صاف و تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به قوس ها بودند (تصویر ۵-۱۴).



(ج) تصویر روی طاق (ب) تصویر زیر طاق (ج) پلان بام

تصویر ۵-۱۴ : طاق متقاطع رومی : (الف) تصویر آکزونومتریک از بالا، (ب) تصویر آکزونومتریک از پایین و (ج) پلان بام. توجه کنید که به علت اینکه طاق‌های متقاطع دارای بخش‌های مساوی هستند، محل تقاطع در پلان مربع‌شکل است و تقاطع‌ها هر دو مستقیم و تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به طاق‌ها می‌باشند.

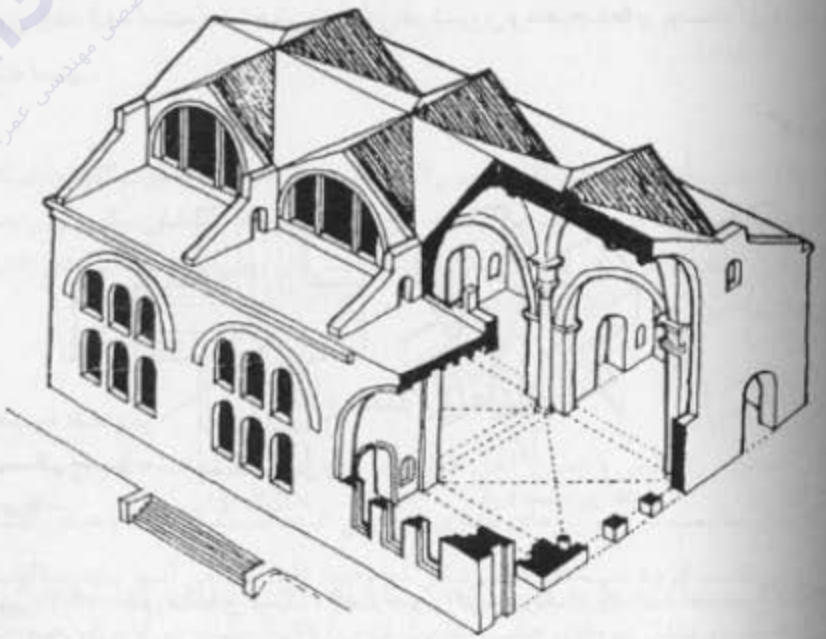
کار ساخت کاخ سلطنتی کنستانتین (۳۱۲ پس از میلاد-روم) به وسیلهٔ ماگزنتیوس شروع گردید و به وسیلهٔ کنستانتین کامل شد. این بنا از نظر مقیاس بزرگتر از حمام‌های امپراتوری بوده ولی فرم سازه‌ای آن از حمام‌ها منتج شده است. سالن اصلی مرکزی (حجم فضایی اصلی) متشکل از یک طاق مرکزی طولی با دهانه ۸۳ فوت (۲۵ متر) می‌باشد که با سه

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

طاق با ابعاد یکسان متقاطع بوده، تمامی خیزها با ارتفاع مرکزی ۸۳ فوت (۲۵ متر) در بالای سطح زمین قرار گرفته‌اند (فلچر، ۱۹۸۷). (تصاویر ۶-۱۴ تا ۹-۱۴).

در دو طرف سالن اصلی سه دهانهٔ کم‌خیزتر متقاطع قرار داشت که به وسیله ستون‌های حجیم جدا شده و با طاق‌های گهواره‌ای پوشش داده شده است. تمامی طاق‌ها برای کاهش وزن و ایجاد شکل تزئینی در سقف، از بتن غیرمسلح ساخته شده و متقاطع گردیده‌اند(پانل‌هایی به شکل تاقچه). وضعیت پشت‌بندهای به کار رفته برای مقاومت در برابر نیروهای رانشی طاق‌های بلند مشابه سازه‌های اخیر می‌باشد (مانند ایاصوفیه و تعدادی از کلیساهای رومانسک و اکثر کلیساهای گوتیک).



تصویر ۶-۱۴ : کاخ سلطنتی کنستانتین، بازسازی.

طاق‌های رومانسک

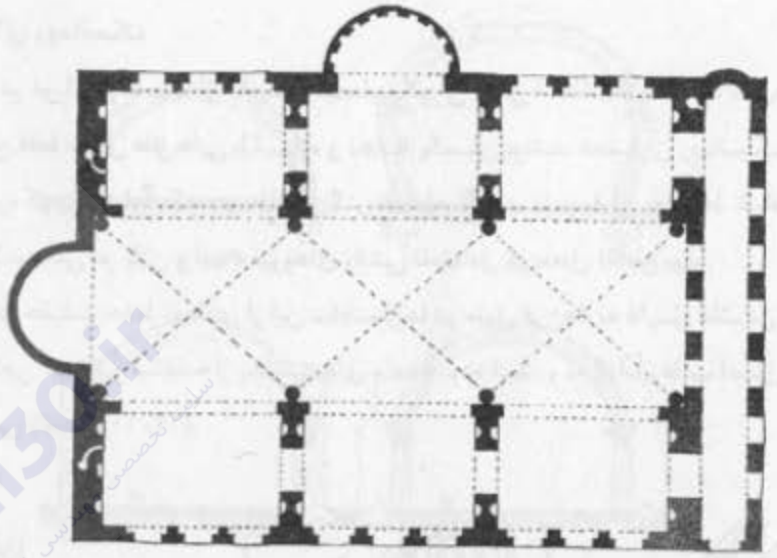
در دوران رومانسک از طاق‌های نیمدایره دوران رومی استفاده کردند. اما، طاق‌های رومی متقاطع فقط شامل طاق‌هایی با اندازه و دهانهٔ یکسان بودند. معماران رومانسک طاق‌های نیمدایره کوچکتر را با یک عدد طاق بزرگتر تقاطع دادند. نتیجهٔ آن خطوط تقاطع مورب، خطوط منحنی در پلان و ایجاد نیروهای رانشی نامتعادل در محل تقاطع بود.

در حقیقت حفظ تعدادی از این ساختمان‌ها در طول قرن‌ها، به دلیل داشتن دیوارهای تکیه‌گاهی حجیم و استفاده از پشت‌بندهای متعدد بوده است و نه الزاماً رعایت اصول و قوانین مهندسی (تصویر ۱۰-۱۴).

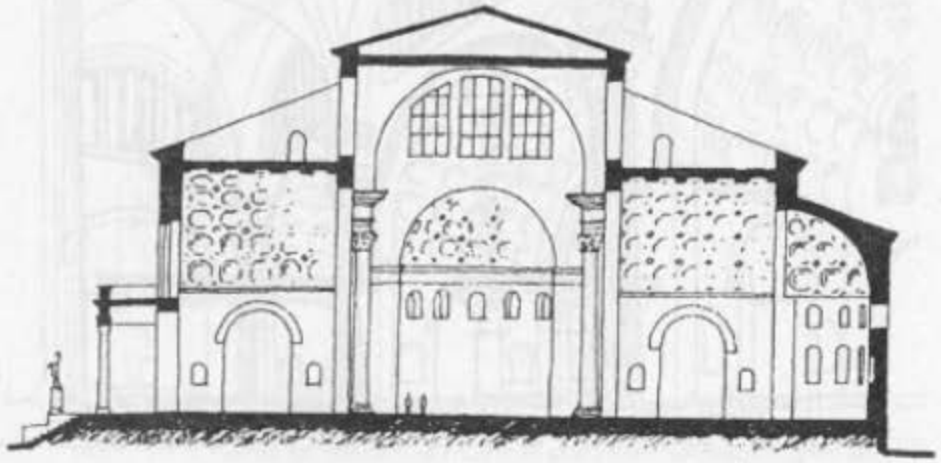
تصویر ۷-۱۴ : کاخ سلطنتی کنستانتین، بازسازی داخلی.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۸-۱۴ : کاخ سلطنتی کنستانتین، پلان



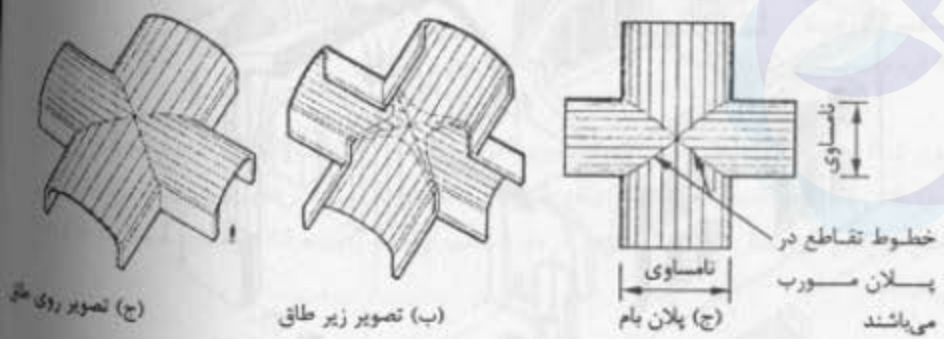
تصویر ۹-۱۴ : کاخ سلطنتی کنستانتین، مقطع

طاق‌های گوتیک

سرانجام سازندگان گوتیکی مشکلات طاق‌های گنبدی متقاطع در دهانه‌های مختلف را حل کردند. کلید حل آنها گسترش استفاده از طاق و قوس تیزه‌دار بوده است. چنین هندسه‌ای امکان طاق‌بندی روی دهانه‌ها با پهناهای مختلف را می‌داد و همان روحیهٔ طاق‌های رومی یعنی سادگی و ارتفاع و تقاطع را حفظ کرد. به علاوه، به علت اینکه طاق‌های تیزه‌دار به طور تقریبی به بهترین فرم منحنی طنابی نزدیک می‌باشند، نیاز به افزایش بار روی ماهیچه‌های طاق به طور چشمگیری کاهش می یافت (تصویر ۱۱-۱۴).

ترکیب یک پشت‌بند معلق مشابه ترکیب یک موجود زنده می‌باشد که قسمت درونی آن به بیرون رانده شده است، استخوان‌بندی آن در بیرون و ماهیچه‌ها و پوست آن در درون قرار گرفته است.

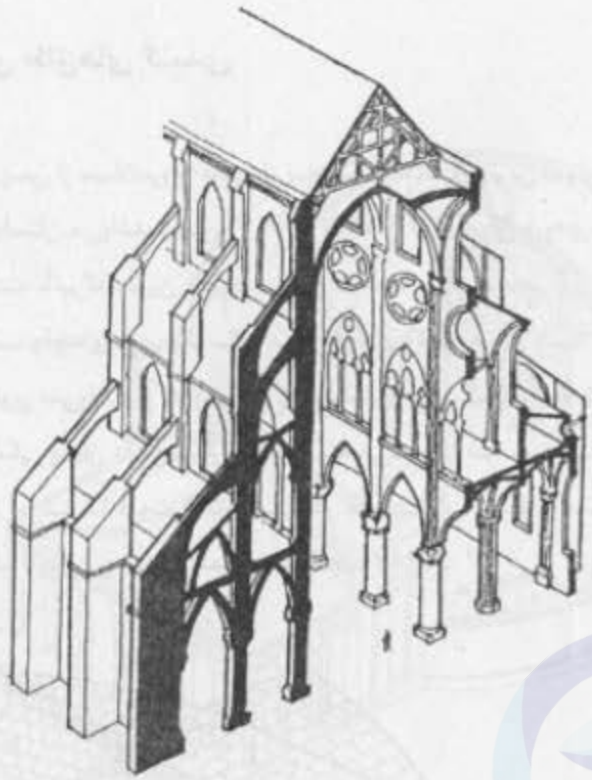
"ادوارد تروجا"

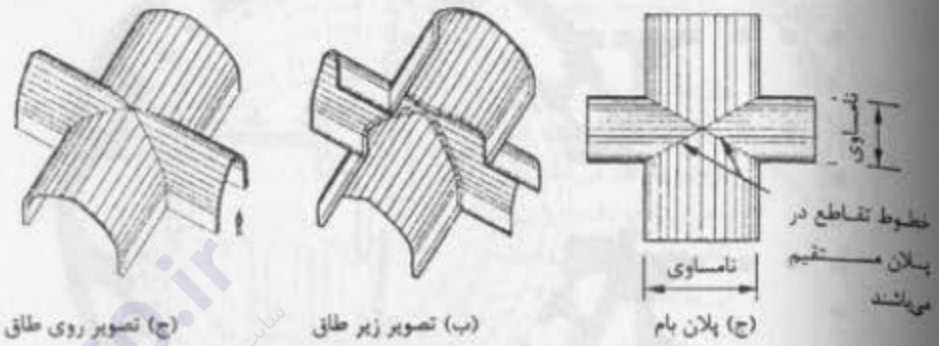


تصویر ۱۰-۱۴ : طاق متقاطع گوتیک : (الف) تصویر آکزونومتریک از بالا، (ب) تصویر آکزونومتریک از پایین و (ج) پلان بام. توجه کنید که با وجود اختلاف در ابعاد دهانه‌ها و مستطیل‌شکل بودن بخش متقاطع در پلان، تقاطع‌ها هر دو مستقیم می‌باشند، مشابه قوس‌های رومی. در نتیجه نیروهای رانشی در تعادل هستند.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک





تصویر ۱۴-۱۱ : طاق متقاطع گوتیک : (الف) تصویر آکزونومتریک از بالا، (ب) تصویر آکزونومتریک از پایین و (ج) پلان بام. توجه کنید که با وجود اختلاف در ابعاد دهانه‌هاو مستطیل‌شکل بودن بخش متقاطع در پلان، تقاطع‌ها هر دو مستقیم می باشند، مشابه قوس‌های رومی. در نتیجه نیروهای رانشی در تعادل هستند.

طاق‌های گنبدی

طاق گنبدی، یک قوس با دوران کامل حول یک محور می‌باشد (مشابه قوس با مصالح بنایی) که برای مقاومت در برابرنیروهای فشاری طراحی شده است. اکثر طاق‌های گنبدی دایره‌شکل می‌باشند، گرچه نمونه‌های بیضی‌شکل نیز وجود دارد. تمامی آنها باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که در مقابل نیروهای جانبی مقاومت لازم را داشته باشند، در غیر این‌صورت در آنها رانش اتفاق خواهد افتاد که نتیجهٔ آن کشش پیرامونی خواهد بود.

تصویر ۱۴-۱۲ : کلیسای جامع لاتون (۱۱۷۰)، مقطع ایزومتریک (مقطع سمت چپ از درون پشت‌بند معلق و مقطع سمت راست از درون پنجره‌های بین پشت‌بندها).

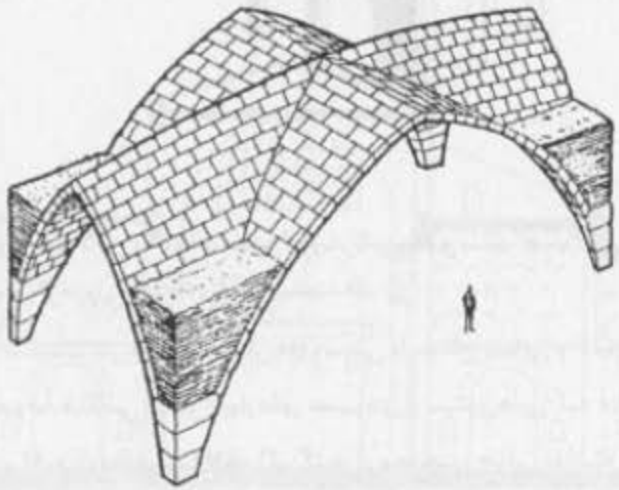
این دلیل اصلی شکست تدریجی ساختمان‌های سنتی با مصالح بنایی و گنبدهای بتنی غیرمسلح می‌باشد خصوصاً هنگامی که بر دیوارهای عمودی و ستون‌هایی که فاقد مقاومت رانشی کافی می‌باشند، تکیه کرده‌اند. به علاوه، اگر گنبد فرم منحنی طنابی نداشته باشد، باید در برابر تمایل آن برای خمش رو به بالا در ماهیچه‌های طاق مقاومت کافی تأمین شود. این امر معمولاً به وسیله افزودن بار اضافی و ایجاد ضخامت در این منطقه به دست می‌آید.

http://telegram.me/uadesigngroup

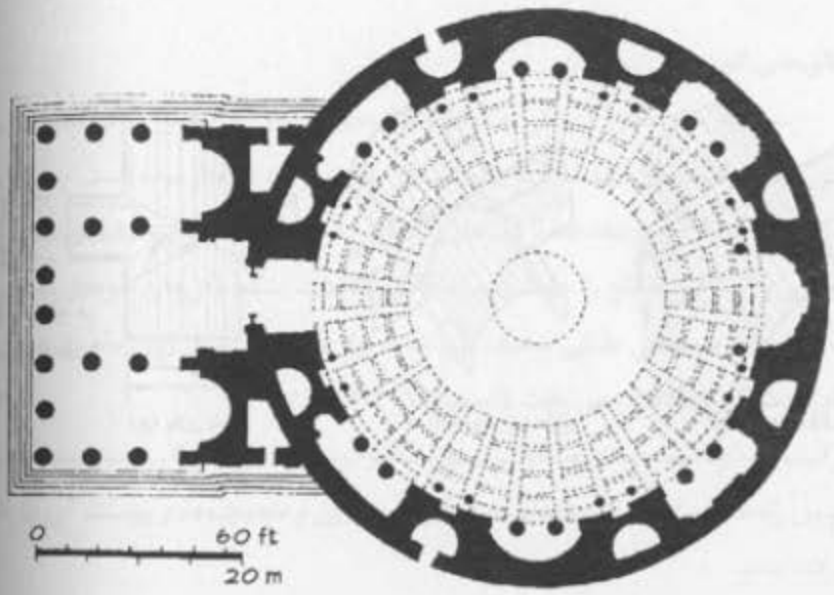
مطالعات موردی طاق‌های گنبدی

پانتئون

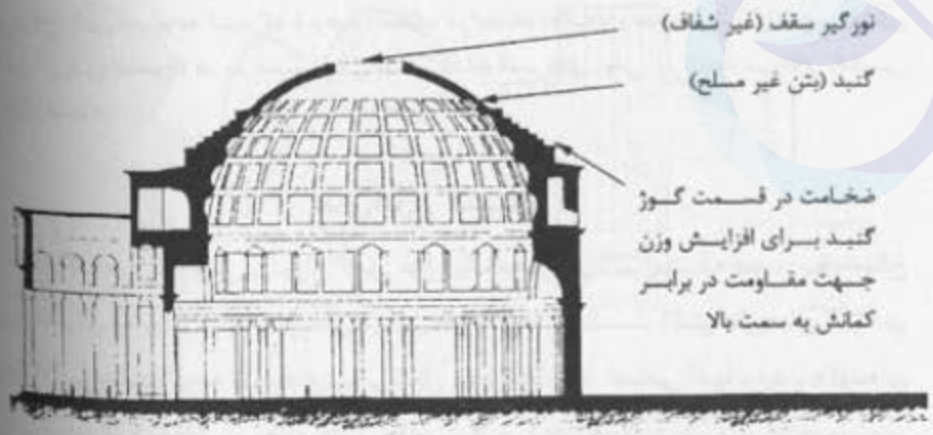
پانتئون (۱۲۰ پس از میلاد،روم) یکی از بهترین و تماشایی‌ترین نمونه‌های باقیماندهٔ ساختمان‌های روم باستان می‌باشد (تصاویر ۱۴-۱۴ تا ۱۴-۱۷)که ایوان ورودی، معبد قدیمی بازسازی شده‌ای است. تأثیرگذارترین خصوصیت این ساختمان، گنبد مدور آن است، متشکل از یک گنبد نیمکرهٔ صندوقچه‌ای روی یک ساقه بسیار حجیم. اگرچه ساقهٔ گنبد ۲۰ فوت (۶ متر) ضخامت دارد ولی توپر نمی‌باشد، و به جای آن از هشت ستون بزرگ استفاده شده است که به وسیلهٔ قوس‌های کمکی پنهان درون دیوار نگاه داشته می‌شوند. ضخامت گنبد از ۴/۵ فوت (۱/۴ متر) در بالای آن تا ۱۸ فوت (۵/۵۴ متر) در ماهیچه آن متفاوت است و به وسیله پنجره‌های تعبیه‌شده درون آن، روشن شده است (فلچر، ۱۹۸۷).



تصویر ۱۴-۱۳ : نمونه طاق گوتیکی اجرا شده با بار اضافی.



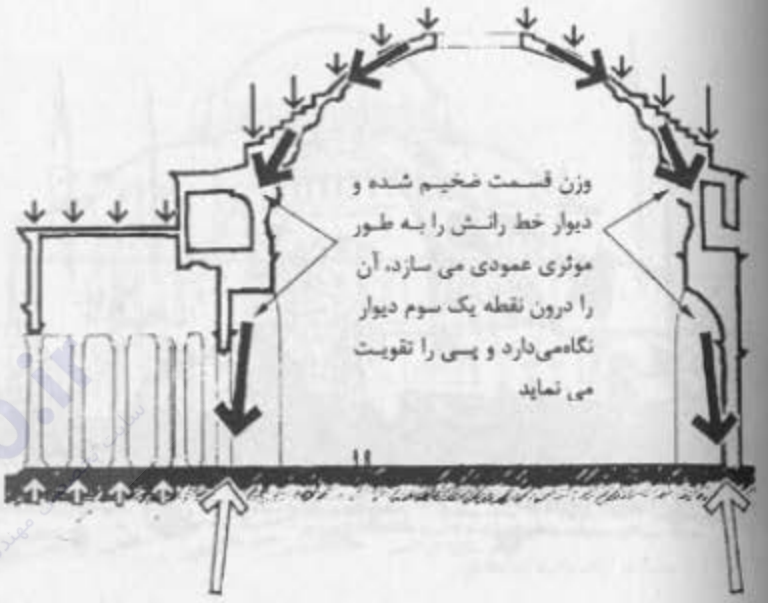
تصویر ۱۴-۱۴ : پانتئون، پلان



تصویر ۱۴-۱۵ : پانتئون، مقطع

http://telegram.me/uadesigngroup

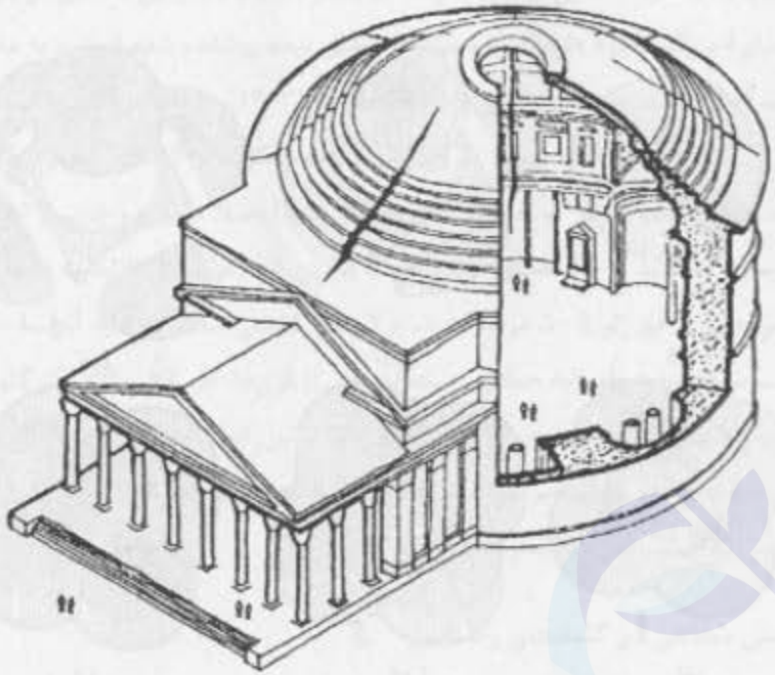
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۱۶-۱۴ : پانتئون، نمودار مسیر بارگذاری.

لچکی‌ها (Pendentives)

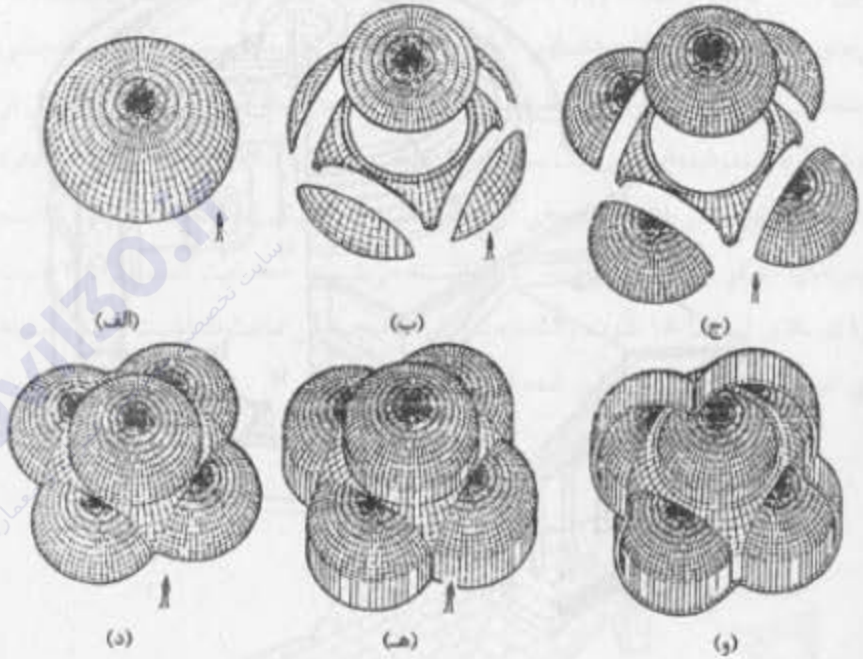
لچکی در دوران بیزانتین برای نگاهداری گنبدهای با مصالح بنایی یا قوس‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. لچکی از یک گنبد نیمکره بزرگ به وسیله حذف (برش) چهار جهت بالای آن شکل گرفته است (تصویر ۱۸-۱۴). بخش بازشوی باقیمانده در بالای گنبد به وسیلهٔ نیمکره کوچکتر پوشانده شده است که دارای شعاع برابر با همان بازشو می‌باشد. به طور مشابه، نیمکره‌هایی با همان شعاع ممکن است به بازشوهای جانبی قوس برای مقاومت رانشی از بالای گنبد و لچکی متصل شوند.



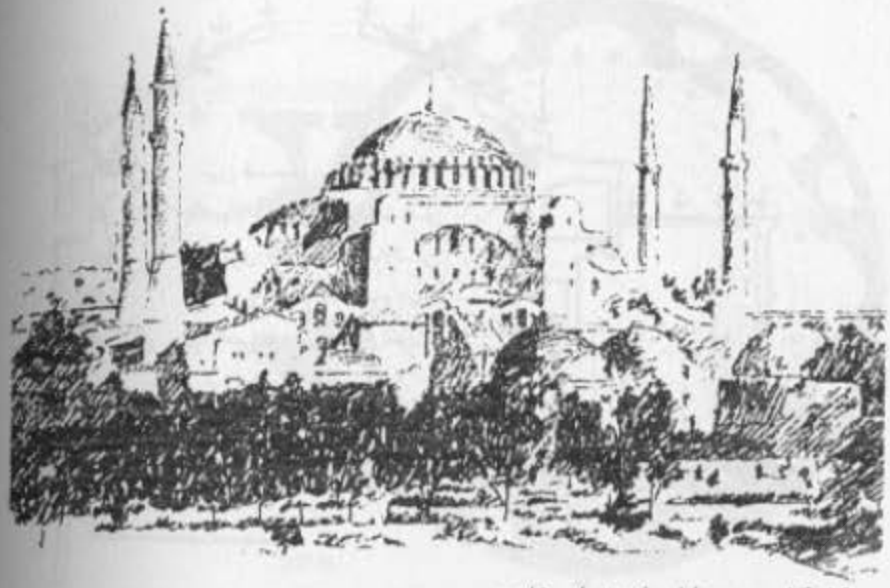
تصویر ۱۷-۱۴ : پانتئون، تصویر آگزونومتریک نشان‌دهندهٔ ترک‌های کششی شعاعی است.

مسجد ایاصوفیه، بزرگترین و مبتکرانه‌ترین ساختمان بیزانسی (۵۳۷، استانبول، مهندس معمار: آنتمیوس و ایزودوروس) نمونه‌ای عالی از کاربرد لچکی برای نگاهداری یک گنبد بزرگ می‌باشد (تصاویر ۱۹-۱۴ تا ۲۲-۱۴). پلان آن متشکل از یک فضای مرکزی مدور به قطر ۱۰۷ فوت (۳۲/۶ متر) با چهار ستون سنگی حجیم به ابعاد ۲۵ × ۶۰ فوت (۷/۶ × ۱۶/۳ متر) ارتفاع می‌باشد که چهار قوس نیمدایره که پایهٔ لچکی را شکل می دهند.

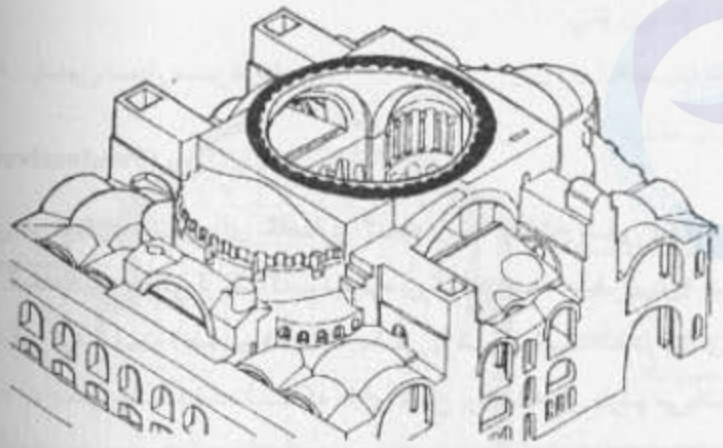
http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۱۸-۱۴ : هندسهٔ لچکی‌ها: (الف) گنبد نیمکرهٔ بزرگ، (ب) تقسیمات بالا و پایین، (ج) جایگزینی به وسیلهٔ بخش بالایی گنبد به شعاع بخش کوچکتر و کناره‌های نیم گنبد که (د) کمک می‌کند به مقاومت در برابر رانش جانبی از بالای گنبد و لچکی با (هـ) دیوارها و ساقهٔ گنبد زیر گنبد بالایی از بالا و (و) از پایین.



تصویر ۱۹-۱۴ : مسجد ایاصوفیه، نمای خارجی.



تصویر ۲۰-۱۴ : مسجد ایاصوفیه، تصویر ایزومتریک (گنبد برای نشان دادن لچکی‌ها برداشته شده است).

http://telegram.me/uadesigngroup

درک رفتار سازه‌ها با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

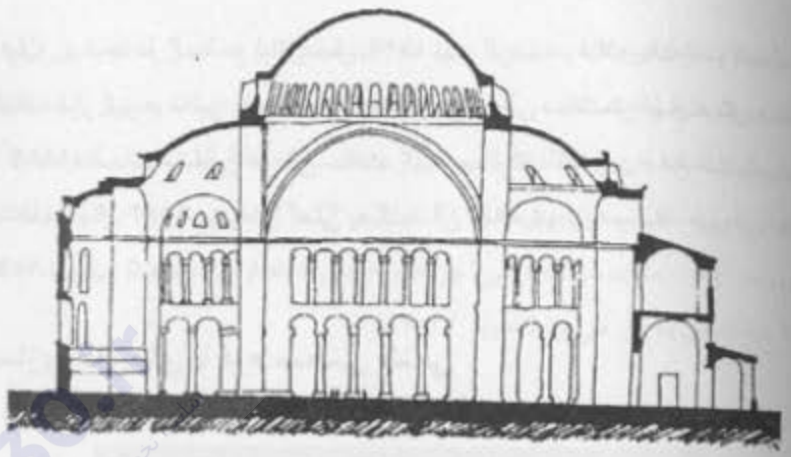
گنبد با قطر ۱۰۷ فوت (۳۲/ متر) روی بخش باز لچکی قرار گرفته و تا ارتفاع ۱۸۰ فوت (۵۴/۸ متر) از سطح زمین بالا رفته است. در غرب و شرق این فضای مرکزی دهانه‌های نیمدایرهٔ بزرگی وجود داردکه به وسیلهٔ گنبدهای نیمه پوشانده شده است و به مقاومت رانشی گنبد اصلی کمک می‌نماید (فلچر،۱۹۸۷) (تصویر ۲۱-۱۴).

گنبد به صورت بصری از طریق یک حلقه متشکل از ۴۰ پنجرهٔ قوسی‌شکل حول پایهٔ گنبد روشن شده است، که حلقه‌ای از نور پخش‌شده ایجاد نموده و چنین تصوری را ایجاد می‌نماید که گنبد بر فراز فضای وسیع کلیسا آویزان شده است. به علاوه، به علت اینکه چنین پنجره‌هایی با افق زاویهٔ ۵۰ درجه دارند، ترک‌های کششی شعاعی مشابه آنچه در پانتئون به چشم می خورد در آنها به حداقل رسیده‌اند. پس از قرن‌ها، اثر رانشی از مرکز گنبد و لچکی (با یکدیگر و با اضافه وزن) سبب گردیده است چهار ستون اصلی به سمت بیرون به صورت طولی و در جهت هر دو محور خم شوند. هنوز هم، ایاصوفیه به عنوان تاج موفقیت فن‌آوری دوران بیزانس به حساب می آید (مارک،۱۹۹۳).

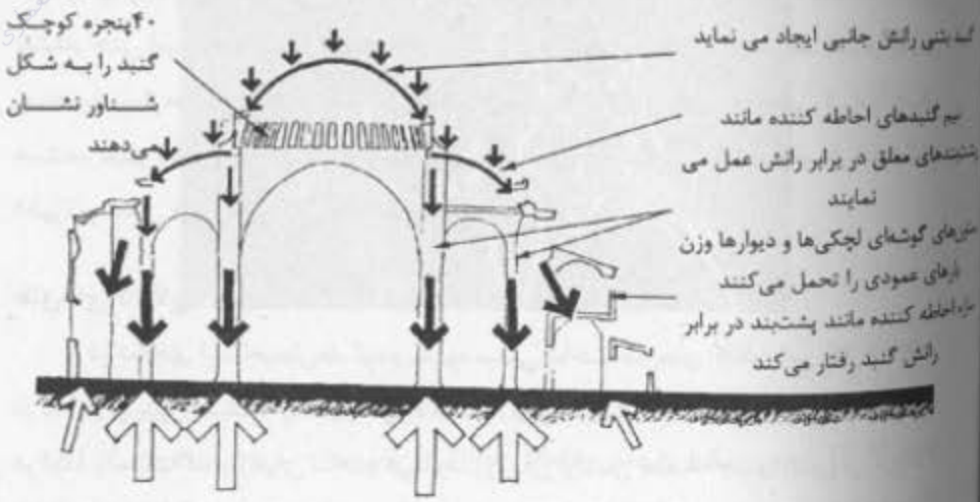
کشش شعاعی در گنبدهای رنسانس

ترک‌های ناشی از کشش شعاعی (مشابه آنچه که در پانتئون به آن اشاره شد)، در کلیسای جامع فلورانس مشاهده گردیده است.

این ساختمان یک ایوان هشت وجهی با پوشش گنبدی سقف است (به وسیلهٔ تقاطع چندین طاق تیزه‌دار ایجاد شده است) که به وسیلهٔ برونلسکی طراحی و در سال ۱۴۳۴ تکمیل گردید. گنبد آن توخالی است و متشکل از دندانه‌های عمودی که به سمت پایهٔ گنبد، ضخیم‌تر شده‌اند (برای نگاهداری خطوط رانش) می‌باشد. طول دهانهٔ آن ۱۳۱ فوت (۴۰ متر) می‌باشد که با خیز داخلی ۱۱۳ فوتی (۳۴/۴ متر) روی تکیه‌گاه‌های گنبد که به ارتفاع ۲۸۷ فوت (۸۷/۵ متر) روی کف می‌رسد. برونلسکی انتظار چنین کشش شعاعی را داشت و یک سری زنجیر



تصویر ۲۱-۱۴ : مسجد ایاصوفیه ،مقطع

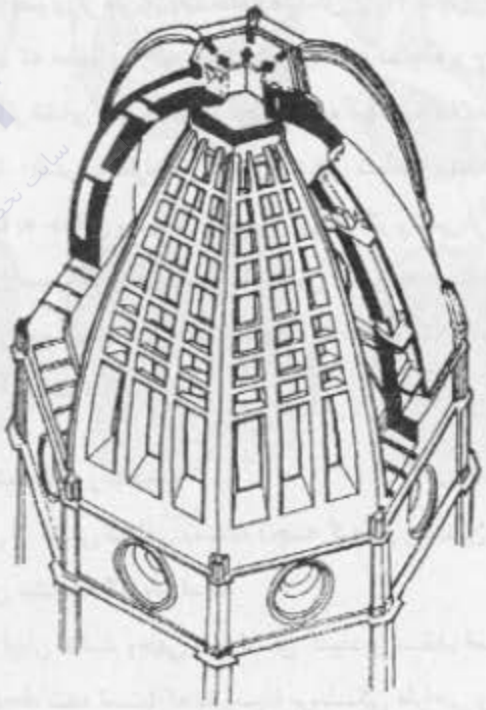


تصویر ۲۲-۱۴ : مسجد ایاصوفیه، نمودار مسیر بارگذاری

http://telegram.me/uadesigngroup

ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

تقویتی (ساخته‌شده از سنگ، چوب و آهن) برای ایجاد حلقه‌های کششی در ارتفاعات مختلف گنبد به کار برده است. در انتهای گنبد، فقط یک مهار چوبی قرار داده شده است. طراحی بر اساس مقاطع گنبدهای تیزه‌دار گوتیک و دندانه‌های حجیم برای ایجاد ایستایی گنبد می‌باشد.



تصویر ۱۴-۲۳ : کلیسای جامع فلورانس، گنبد، برش آکرونومتریک نشان‌دهنده ساخت دنده‌ای داخلی

اولین ترک‌ها در گنبد در اوایل سال ۱۶۳۹ ثبت گردیده و ادامه یافته‌اند و باید به دقت مورد مطالعه قرار گیرند. تا این تاریخ هیچ گونه تقویتی به این ساختمان اضافه نگردیده است (مارک، ۱۹۹۳). مسائل مشابهی در طی ساخت گنبد میکل‌آنژ، کلیسای جامع سنت پیتر روم اتفاق افتاد، در سال ۱۵۹۳ مهارهای آهنی به گنبد آن اضافه شد و به وسیلهٔ جیووانی پولین در سال ۱۷۴۲ تعویض گردید.

مدل سازی طاق‌های با فرم منحنی طنابی

در اوایل قرن بیستم، معمار کاتالانی، آنتونیو گودی ارتباط بین فرم منحنی‌های طنابی کششی و فشاری را در تحقیقاتش برای اشکال ایده‌آل جهت قوس‌ها و طاق‌های با مصالح بنایی و پوشش سقف‌های پلان‌های پیچیده (مانند کلیسای کولونیا گوئل) به‌کار برد. وی مدل‌هایی با مقیاس معکوس با زنجیره‌های دارای افتادگی(خیز) را بکار برد و وزن آنها را به دقت محاسبه نمود و آنها را با پارچهٔ کرباسی برای ایجاد شکل تقریبی فرم ایده‌آل طاق‌های با مصالح بنایی پوشاند. حتی امروزه هم، ساختن مدل‌های معلق با فرم منحنی طنابی برای مطالعات فرم‌های بهینه برای سازه‌های فشاری مناسب می باشند (تصویر ۲۴-۱۴). چنین مدل‌هایی کاملاً فعال هستند، تغییر شکل دادن در جهت پاسخگویی مستقیم به بارگذاری و تنظیم مقدار افتادگی (خیز) بر اساس طول عضو کابل با زنجیر (تصویر ۲۵-۱۴).

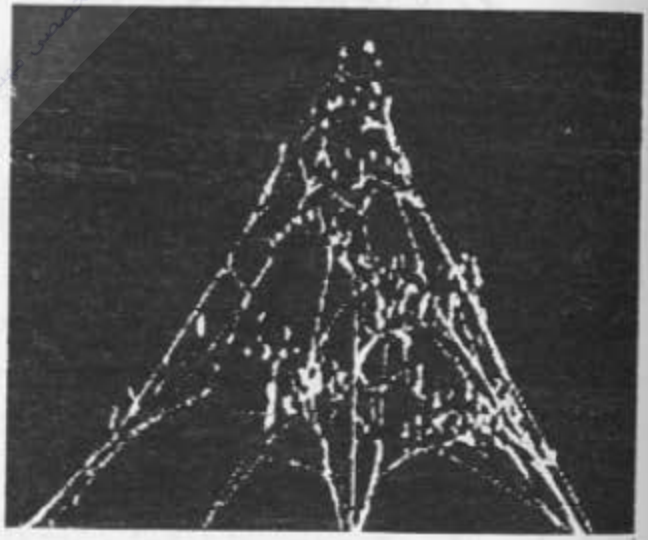
طاق‌های کاتالان

در تعدادی از ساختمان‌ها، گودی شیوه سنتی ساخت طاق‌های کاتالونیایی را از لایه‌های نازک آجری بدون استفاده از قالب‌بندی به‌کار برد. برای ساخت یک گنبد با روش کاتالونیایی، در ابتدا یک تکیه‌گاه پیرامونی ساخته می‌شود. روی آن اولین حلقهٔ آجری (بیرونی ترین و پایین ترین) [با ضخامت تقریبی سه – چهارم اینچ (۱۹ میلیمتر)] که روی تکیه‌گاه چوبی طره‌ای کوتاه قرار دارد، ساخته می‌شود. روی آن لایهٔ دوم با استفاده از یک ملات زودگیر اضافه

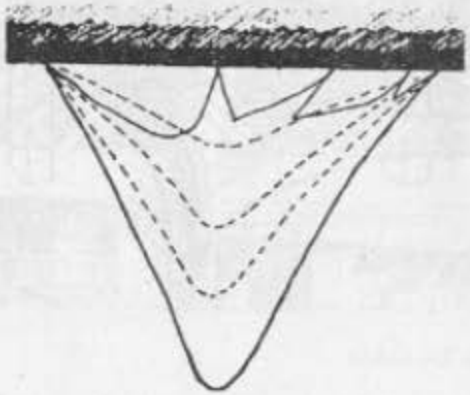
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

می‌شود: اتصالات از اولین لایه به تناوب روی هم چیده شده‌اند. هنگامی که اولین لایه کامل شد و ملات روی آن ریخته شد، در کمتر از ۱۲ ساعت، می‌توان ردیف بعدی را با قرار دادن روی لایهٔ اول و اضافه کردن تعداد لایهٔ مورد نیاز متناسب با دهانهٔ گنبد چید، که معمولاً بیشتر از ۴ ردیف نمی‌باشد (سالوادوری، ۱۹۸۰) (تصویر ۲۶-۱۴). این شیوه به وسیلهٔ شرکت گوستاوینو در ایالات متحد در اواخر قرن نوزدهم به صورت تجارتی در آمد و برای ساخت بیش از ۲۰۰۰ ساختمان به کار می‌رود (تصویر ۲۷-۱۴).



تصویر ۲۴-۱۴ : تصویر معکوس از مدل مطالعاتی حلقه‌ای در یک سازه با منحنی طنابی در کشش خالص (طراحی و ساخت به وسیله دانشجویان معماری : ام هار سی ماسکوپف، بی کافمن و اسانید : جی هاچیسون و اس سانابریا).



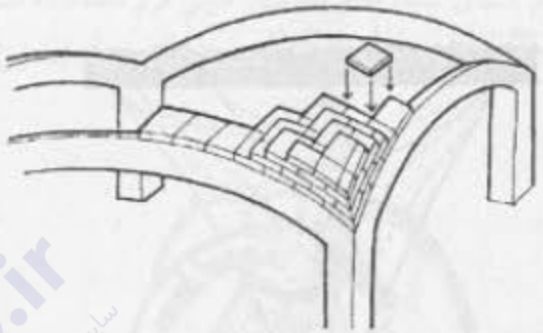
تصویر ۲۵-۱۴ : نمودار مجموعه‌ای از مدل‌های حلقوی با بار معین و ثابت ولی مقدار خمش متفاوت. حداقل کشش (اگر فشار معکوس باشد) هنگامی اتفاق می‌افتد که میزان افتادگی حداکثر باشد.

طاق‌های لاملا

طاق لاملا متشکل از قوس‌های مورب متقاطع (قطری در پلان) برای ایجاد شکلی مانند الماس می‌باشد در ساده‌ترین تعریف می‌توان ساختمان لاملا را متشکل از اعضای کوتاه (لاملا) متصل به یکدیگر با زاویه‌ای که فرم یک سبد بافته‌شده را تشکیل می‌دهد تعریف نمود. اختراع آن به‌وسیلهٔ یک مقام عالیرتبه انجمن ساختمان آلمان به‌نام زولینگر درسال ۱۹۰۸دراروپا صورت گرفت و درسال۱۹۲۵ درایالات متحد معرفی شد (اسکافیلد و ابراین، ۱۹۵۴) این سیستم به‌طور مشخص برای کاربرد اعضای با اندازه نسبتاً کوچک برای رسیدن به دهانه‌های بسیار بزرگ چوبی، فولادی و یا بتن پیش‌ساخته مناسب می‌باشد.

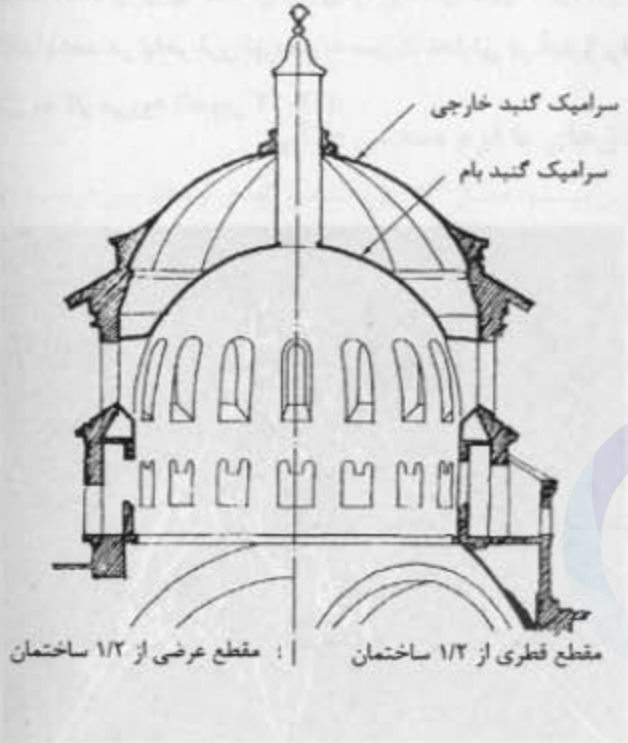
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۲۶-۱۴ : روش کاتالان برای ساخت یک طاق گنبدی از آجرهای باری بدون قالب‌بندی. ردیف اول آجرها روی تکیه‌گاه محیطی و تکیه‌گاه های طره ای اصلی قرار گرفته، لایه‌های بعدی اضافه شده اند بعد از اینکه ملات ردیف اول ریخته شد.

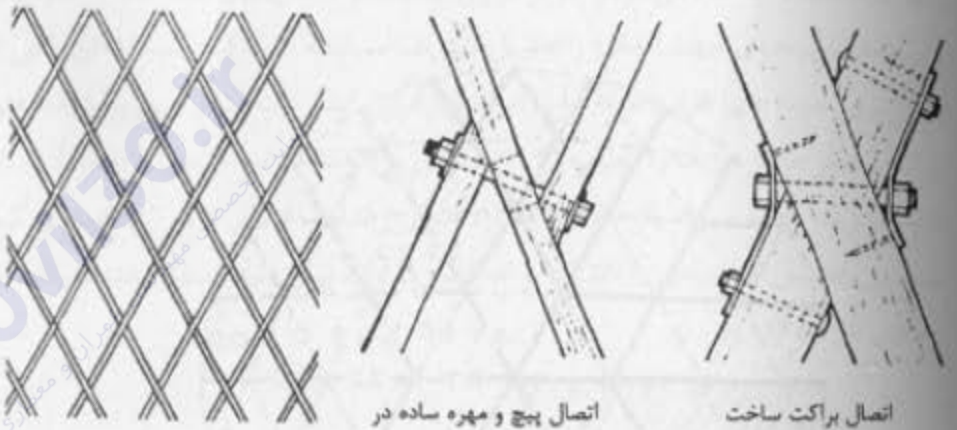
اصطلاح لاملا آزادانه‌تر برای توضیح سازه‌های یکپارچه مشابه از بتن مسلح در جا نیز به‌کار می‌رود . طاق‌های لاملا ممکن است استوانه‌ای و یا گنبدی باشند. شناخته‌شده‌ترین ماده برای ساخت سازه های لاملا چوب می‌باشد که به‌طور گسترده ای برای طاق‌ها وگنبدها در طی سالهای ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ بکار می‌رفت و در عمل قیمت نسبی آن پایین از تیرهای چوبی ومجموع کارگران آن نیز کمتر بوده و برای استفادهٔ مؤثر از اجزای کوتاه چوبی در ساختمان‌هایی با دهانه‌های متوسط وبزرگ ساخته شده‌اند. اجزای چوبی پیش‌ساخته در طولهای یکسان و اریب که سوراخ شده و در دو انتها و به یکدیگر به شکل و خصوصیات یک سبد چوبی بافته شده، پیچ شده اند، استفاده می‌شود. شکل نمایان لایه ها (لاملاها) نمونهٔ جذابی را برای سقف به‌وجود می‌آورد (تصویر ۲۸-۱۴).



تصویر ۲۷-۱۴ : صومعه مریم مقدس (۱۹۱۰: فردیناند، ایندیانا، مهندس معمار: ویکتور کلانو: پیمانکار گنبدهای سفالی: شرکت گوستاوینو)، مقطع نشان‌دهندهٔ آجر کاتالان بکار رفته در داخل و خارج گنبد می‌باشد که بدون قالب‌بندی ساخته شده است . ضخامت گنبد آجر چند لایه‌ای تقریباً ۳/۵ اینچ (۸/۷۵ سانتیمتر) است.

http://telegram.me/uadesigngroup

از فولاد نیز در ساخت لاملاها استفاده می‌شود . به عنوان مثال ، یک سالن گردهمایی و نمایشگاه (۱۹۵۴ ، کریوس کریستی ، تی ایکن، مهندس سازه ، جی، آر ، کایویت) با یک طاق خرپای لاملاهای فولادی با دهانهٔ ۲۲۴ فوت (۶۸ متر) پوشیده شده است. به علاوه بتن نیز برای ساخت کنگره‌ها و طاقهایی با شکل لاملا بکار برده می‌شود.

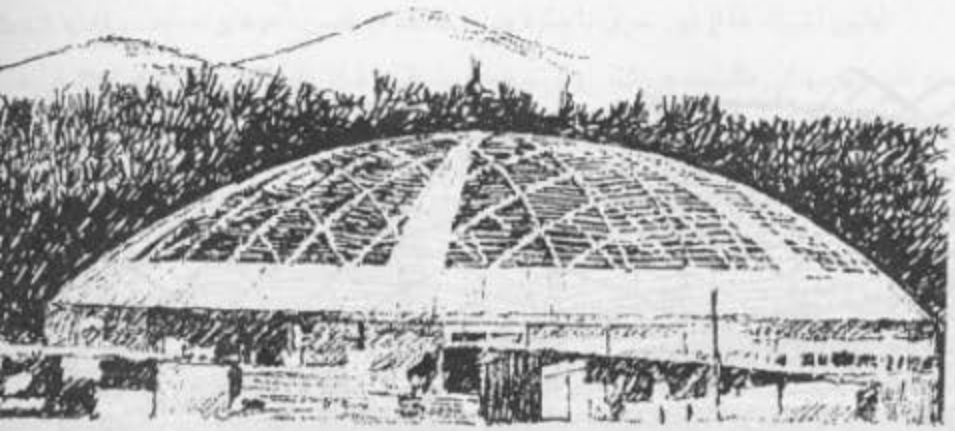


تصویر ۲۸-۱۴ : ساخت تیر چوبی لاملا: (الف) نمونهٔ چوبی از سبد بافته‌شده لاملا و (ب) جزئیات اتصالی.

مطالعات موردی لاملا

گنبد تاکوما

در زمان ساخت، این گنبد بزرگترین گنبد چوبی دنیا بشمار میرفت (۱۹۸۳ ، تاکوما، واشنگتن ، مهندس معمار: مک‌گراناهان مسنجر و شرکاء، مهندسان سازه گنبد : سازه های وسترن وود) قطر کره آن ۵۳۰ فوت (۳۳/۵ متر) می‌باشد که بر روی دیوارهای تکیه‌گاهی قرار گرفته است و برای مسابقات ورزشی نمایشگاه و گردهمایی بکار می‌رود .(ابروین ، ۱۹۸۹، رابینسون ۱۹۸۵) (تصاویر ۲۹-۱۴ تا ۳۱-۱۴).



تصویر ۲۹-۱۴: گنبد تاکوما، هنگام ساخت.

سیستم اختراع وثبت‌شدهٔ واراکس (varax) با تیرهایی که به شکل مثلث با یکدیگر ترکیب شده‌اند، به‌کار برده شده است. فرم ساخت آن با فرم ساخت لاملاهای حقیقی فرق می‌کند، زیرا قاب آن به دلیل اجزای خیلی بزرگ و پیچیده بیشتر مثلثی‌شکل است تا به شکل الماس. اما در توزیع تنش به سبب اتصالات فولادی آزاد که در محل تقاطع ۶ تیر نقطه صلبی را بوجود می‌آورد دارای رفتاری مشابه قوس‌ها می‌باشد. اسکلت ساختمان از تیرها و پرلین‌های چوبی دارای انحنا با چسب چندلایه (glulam) تشکیل شده است . تیرها از مسیرهای دایره‌ای‌شکل بزرگ پیروی می‌کنند (قرار گرفتن روی سطوحی که از مرکز کره عبور می‌کنند) که نتیجهٔ آن یک شعاع با یک انحناست ، بنابراین کار ساخت را راحت می‌کند. تیرها ۳۰ اینچ ارتفاع (۸۵ سانتیمتر) ارتفاع و ۶/۷۵ یا ۸/۷۵ اینچ (۱۷ یا ۲۲ سانتیمتر) عمق دارند. طولانی‌ترین تیر ۴۹ فوت (۱۴/۹ متر) درازا دارد. پرلین‌ها ۵/۱ اینچ (۱۳ سانتیمتر) عرض دارند و ارتفاع آنها از ۹ تا ۱۸ اینچ (۲۳ تا ۴۶ سانتیمتر)متفاوت است. پرلین‌ها بین تیرهای بزرگتر قرار گرفته‌اند و سطح چوبی را با اتصال کام و زبانه با ضخامت ۱/۵ اینچ (۳۷ میلیمتر) نگاه می‌دارند.

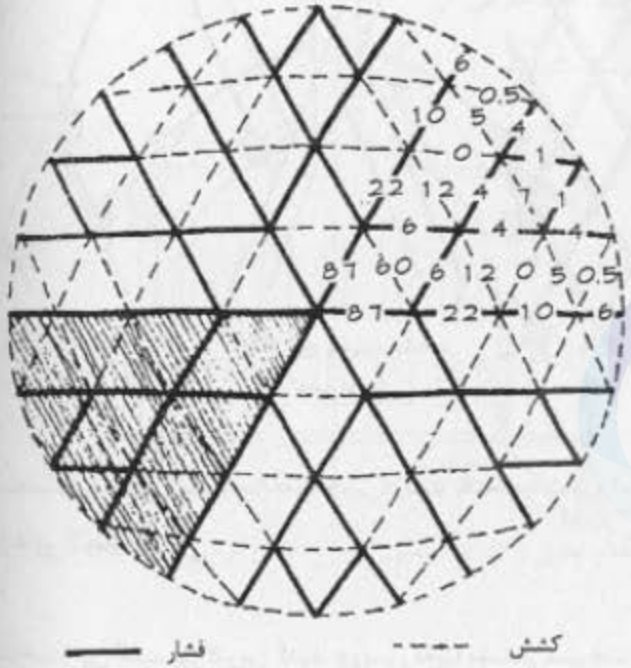
http://telegram.me/uadesigngroup

اما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

تصویر ۳۰-۱۴: گنبد تاکوما، نمای داخلی.

تیرها و پرلین ها به شکل مقاطع مثلثی ساخته شده و به‌وسیله جرثقیل بـه محـل حمـل گردیده‌اند. هنگامی که قاب پیرامونی گنبد نصب می‌گـردد، مقـاطع سـه‌ضلعی خـود، تکیـه‌گـاه گردیده و به هیچ گونه داربستی نیاز ندارند .این مسأله امکان کار در زیر گنبد در حیـن اجـرای آن را فراهم می‌سازد .

گنبد به‌وسیلهٔ حلقهٔ کششی از بتن مسلح به ابعـاد ۳ ×۳فـوت (۹۱ ×۹۱ سـانتیمتر) در مقطع عرضی نگاه داشته می‌شود و سپس برای مقاومت رانشی بیرونی کشیده می‌شود و فاصلـه بین ۳۶ ستون بتنی را می‌پوشاند. ستون‌ها و دیوارهای توپر غیرباربر ۴۲ فوت (۱۲/۸ متر) ارتفاع دارند. این پروژه و دیگـر گنبدهـای چوبـی کـه اخیـراً سـاخته شـده، مـانند گنبـد ۵۲۳ فوتـی (۱۶۳ متر) اسکای دام(گنبد آسمان) که در سال ۱۹۸۷ در فلگ اسـتاف آریزونـا کـامل شـد، و گنبد دانشگاه میشیگان شمالی کـه در سـال ۱۹۹۰ در مـارکوئت کـامل شـد، علاقـه‌مندی به ساختمان‌های چوبی لاملا را بـه عنـوان یـک گزینـه جـذاب و اقتصـادی بـرای سـاختمان‌های پنوماتیک فولادی و بتنی جهت دهانه‌های بزرگ در فعالیت‌های ورزشی افزایش می‌دهد.

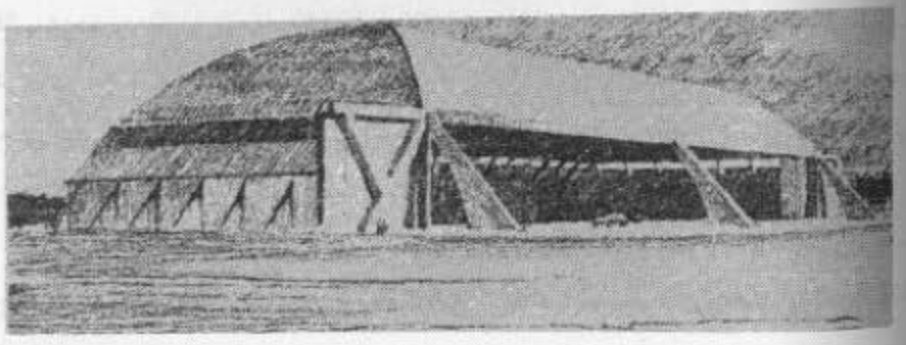


تصویر ۳۱-۱۴ : تنش‌های موجود در گنبد چوبی واراکس از نوع لاملا. توجه داشته باشـید کـه اعضای نزدیک به جهت قوس تحت فشار هستند در حالی که بقیه اعضا (در جهت حلقه)تحت کشش می‌باشند

http://telegram.me/uadesigngroup

آشیانه های هواپیما - نروی

در اوسط دهۀ ۳۰، مهندس ایتالیایی پیر لوئیجی نروی جایزۀ مسابقۀ طراحی و ساخت چندین آشیانه هواپیما با استفاده از ساخت لاملاهای بتنی را دریافت نمود. طرح اقتصادی و با سرعت ساخت بالا بوده و بتن به‌طور هوشمندانه‌ای در آن به‌کار رفته است.در کشوری که فولاد و چوب با احتیاط استفاده می‌شود و کارگر فراوان است، او از مدل‌های متناسب و همچنین برای محاسبات عددی جهت آنالیز و تحلیل تنش‌ها استفاده کرد. این ساختمان یکی از ابتدائی‌ترین نمونه های کاربرد نمونه ها برای تحلیل‌های کمی ساختمان‌هایی با دهانه‌های بزرگ در عصر حاضر می‌باشد (تصویر ۳۲-۱۴). نروی می‌گوید: "من ساختمان را به عنوان یک قالب ژئودزیک که به صورت یک مجموعه منفرد عمل می‌نماید، طراحی کردم ". به‌گونه ای که بهترین راه‌حل اقتصادی را داشته و حداقل فولاد درآن به کار رفته باشد (هاکس تابل ،۱۹۶۰).



تصویر ۳۲-۱۴ : آشیانه هواپیما (قالب در جا، گنبد لاملا)، نمای خارجی.

اولین آشیانه ها از این سری با سازۀ بتن و سقف از جنس آجرهای مجوف ساخته شده‌اند. به علت پیچیدگی قالب‌بندی، این روش به‌صورت غیر قابل قبولی آهسته و کند می‌باشد. همانطور که نروی بیان می‌کند، روش واقعی ساخت این ساختمان‌ها راحت نبود ولی استفاده از قالب بندی چوبی از نظر اقتصادی انتخاب مناسبی می‌باشد حتی هنگامی که کارهای بتنی دارای ساده ترین اشکال باشند . طول دهانه‌های سازه‌ای ۳۳۰ × ۱۳۵ فوت (۱۰۰ × ۴۱ متر) بوده و در سه جهت به‌وسیلۀ طاق‌های مایل در زیر پایۀ هر یک از لاملاها نگاه داشته می‌شوند . به منظور ایجاد بازشویی به عرض ۱۶۵ فوت (۵۰ متر) برای عبور هواپیماها، بخش جلوی ساختمان به‌وسیلۀ یک خرپای فضایی بتنی با دهانه‌های بیش از سه برابر پشت‌بندها نگاه‌داشته می‌شود (تصویر ۳۳-۱۴).

برای نشان دادن برتری‌های ساخت‌هایی با قالب درجا، نروی سیستم استفاده از خرپاهای پیش‌ساخته را به عنوان اجزای لاملا دوباره طراحی کرد .در جایی که دندانه‌های لاملا یکدیگر را قطع می‌کنند، میله های مهاری مسلح جوش داده شده و ملات ریزی شده‌اند. طراحی سیستم تکیه‌گاهی به منظور ترکیب کردن یک خرپای افقی برای مقاومت رانش جانبی بین فضای بسیار وسیع پشت‌بندها با قاب A شکل اصلاح شده است . ساختمان ها اثبات کردند که قوی‌تر از آنچه نروی حدس می‌زده می‌باشند هنگامی که آلمان‌ها در آخرین مراحل جنگ از ایتالیا عقب‌نشینی کردند ،سعی بر از بین بردن آشیانه ها و پشت‌بندهای تکیه‌گاهی را به‌وسیلۀ دینامیت داشتند. سقف یکپارچه فقط با چند درصد شکستگی در اتصالات بر روی زمین سقوط کرد (سالوادوری ، ۱۹۸۰).

سالن ورزشی پلازتو دلو (Palazzetto Dello)

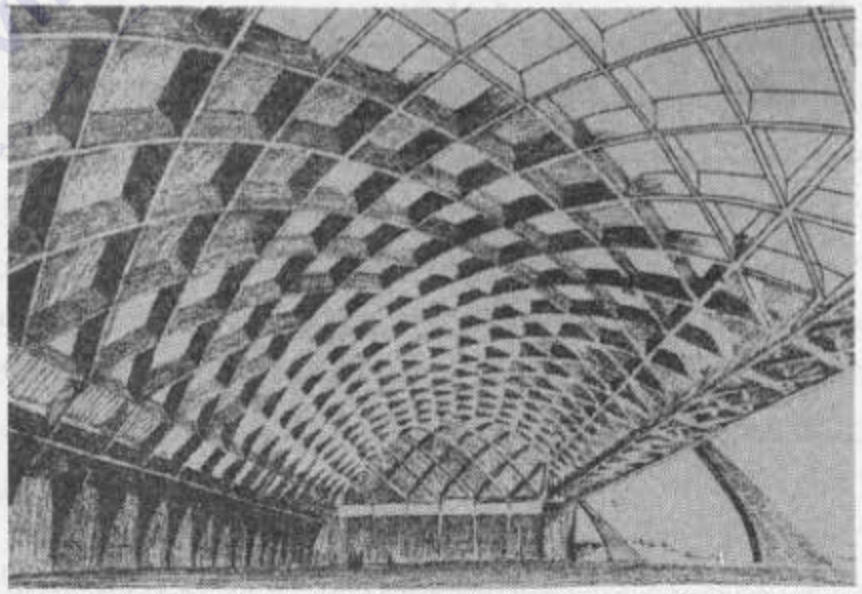
کاخ ورزشی(۱۹۵۷ ، روم ،ویته لوزی و پیر لوئیجی نروی ، معماران: پیرلوئیجی نروی، مهندس سازه: نروی و بارتولی ،پیمانکاران اصلی) یکی از چندین ساختمان طراحی‌شده

http://telegram.me/uadesigngroup

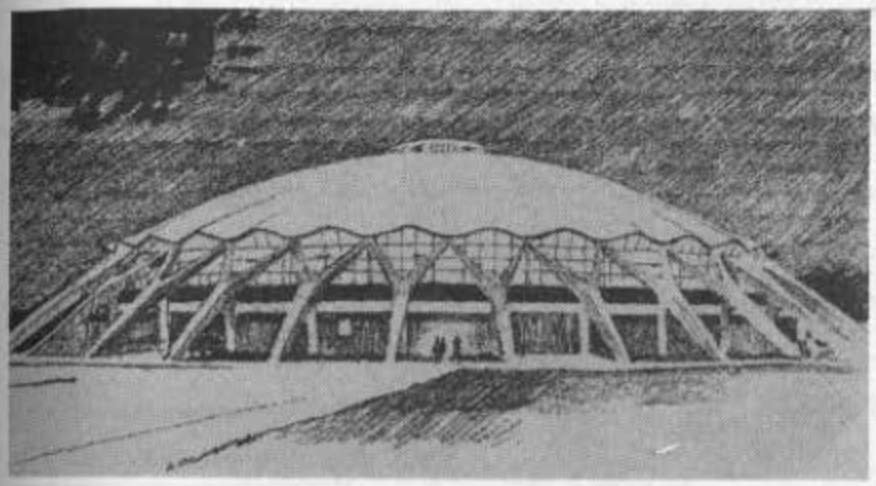
ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

به‌وسیلهٔ نروی و پسرش آنتونیو برای بازی‌های المپیک ۱۹۶۰ بوده است. این ساختمان به‌گونه‌ای طراحی شده که ۵۰۰۰ تماشاچی را برای مسابقات کشتی ، بوکس ،ژیمناستیک و والیبال درخود جای می‌دهد (هاکس تابل ،۱۹۶۰ ، نروی ،۱۹۶۳) (تصاویر ۳۴-۱۴ و ۳۵-۱۴).

قطر گنبد دایره‌شکل آن ۱۹۷ فوت (۶۰ متر) وارتفاع آن ۶۸ فوت (۲۱ متر) می‌باشد. گنبد دارای تیرهای تقویت‌کنندهٔ یکپارچه به فرم لاملا و به‌صورت نمایان می‌باشد که به‌طور حلزونی‌شکل به سمت داخل و در جهت مرکز گنبد ادامه می‌یابد، در مرکز گنبد یک حلقهٔ فشاری وجود دارد که تأمین کنندهٔ نور طبیعی در قسمت مرکز ساختمان می‌باشد. گنبد متکی بر۳۶ عدد ستون بتنی درجا به شکل Y می باشد که با فواصل مساوی در اطراف ساختمان قرار دارند .



تصویر ۳۳-۱۴ : آشیانهٔ هواپیما، نمای داخلی



تصویر ۳۴-۱۴ : سالن ورزش پلازتو دلو، نمای خارجی.

شیوهٔ ساخت گنبد حداقل به اندازهٔ سازهٔ آن نوآوری داشته و متشکل از بتن مسلح با قالب درجا بوده که به وسیلهٔ ۱۶۲۰ عدد قالب بتنی پیش‌ساخته به‌شکل الماس شکل گرفته و در جای خود قرار گرفته‌اند. قالب‌های پیش‌ساخته به ۱۹ فرم مختلف مورد نیاز از قالب‌های اصلی روی داربست قرار گرفته‌اند .این شیوه اقتصادی بوده و در نهایت نمایی بسیار عالی و همچنین سرعت ساخت بالایی داشته و تنها ۳۰ روز برای اجرای کامل آن وقت لازم است.

بیشتر موفقیت‌های این پروژه توسط نروی و پروژه های دیگر وی که ناشی از نقش چندجانبهٔ او به عنوان پیمانکار ،طراح و مهندس می‌باشد . بسیاری از پروژه‌های وی درمسابقات برنده شدند . جایی که طرح نیاز به یک ساخت با قیمت ثابت را تأمین می‌نمود. این بعید به نظر می‌رسد که می‌توانستند با استفاده از یک پیمانکار کم ابتکارتر، طرح هایی مانند طرح‌های نروی با قیمت پایین و ساخت‌های موفقی داشته باشند.

http://telegram.me/uadesigngroup

خلاصه مطالب

۱- طاق، سازهٔ قوسی‌شکل سه‌بعدی است که نیروها را به تکیه‌گاه فقط به وسیلهٔ فشار منتقل می‌نماید و در برابر کشش مقاومت ندارد (در مقابل، پوسته توانایی مقاومت در برابر فشار و کشش را دارد). به همین علت طاق‌ها نیاز به تکیه‌گاه طولی در پایه دارند.

۲- دو نوع طاق وجود دارد: طاق‌های استوانه‌ای دارای یک انحنا و طاق‌های گنبدی دارای انحنای مضاعف.

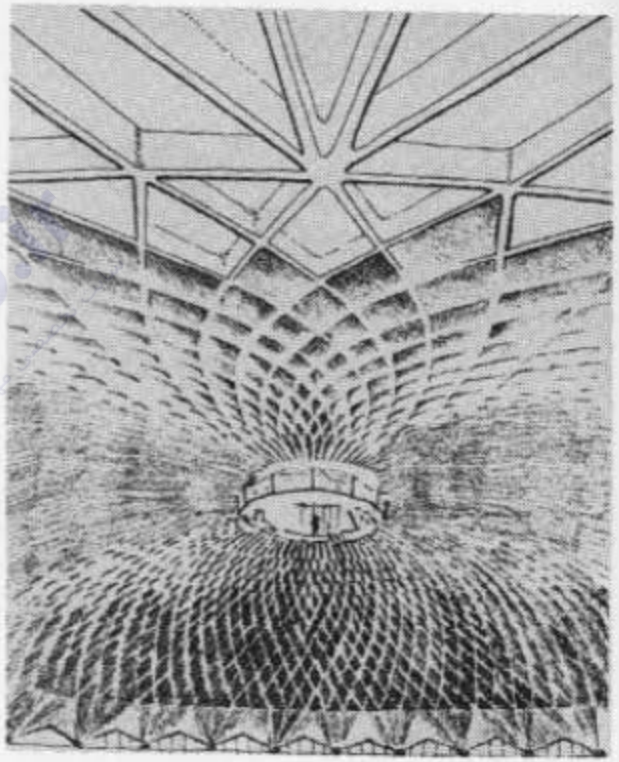
۳- طاق در مقایسه با مجموعه‌ای از قوس‌های مجاور هم در عملکرد در برابر بار متمرکز رفتاری متفاوت دارد. قوس‌ها به گونه‌ای رفتار می‌کنند که بار وارده بریکی از آنها به وسیلهٔ قوس‌های مجاور مشترک نمی‌شوند: مجموع بارها به سمت پایین قوس بارگذاری شده است. مقاومت برشی طاق امکان پخش بار را برای سطوح مجاور فراهم می‌سازد.

٤- مشابه قوس‌ها، تمامی طاق‌ها (صرفنظر از شکل آنها) رانش افقی ایجاد می‌نمایند. با کم عمق‌تر شدن خط رانش، رانش بیشتری ایجاد می‌شود.

٥- طاق‌های متقاطع، طاق‌هایی هستند که برای پوشاندن سقف‌های دارای دو محور عمود بر هم به کار می‌روند.

٦- طاق‌های متقاطع رومی، نیمدایره بوده و دهانه‌های یکسان در نتیجهٔ هندسهٔ ساده‌ای در محل تقاطع دارند.

۷- طاق‌های متقاطع رومانسک، نیمدایره بوده و دارای دهانه های متفاوت (و ارتفاع) در نتیجه دارای هندسهٔ پیچیده در محل تقاطع می‌باشند.



تصویر ۱۴-۳۵ : سالن ورزش پلازتو دالو، نمای داخلی.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

۸- این پیچیدگی به وسیلهٔ اختراع طاق‌های تیزه‌دار حل گردید. که امکان استفاده از طاق‌ها در دهانهٔ متفاوت با دهانهٔ یکسان را فراهم می کند. این امر باعث سادگی هندسهٔ آن می گردد.

۹- طاق گنبدی، یک قوس با دوران کامل می‌باشد (مشابه قوس با مصالح بنایی) که برای مقاومت در برابرنیروهای فشاری طراحی شده است.

۱۰- تمامی گنبدها باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که در مقابل نیروهای جانبی مقاومت لازم را داشته باشند، در غیر این‌صورت رانش اتفاق خواهد افتاد که نتیجهٔ آن کشش پیرامونی خواهد بود.

۱۱- شیوهٔ کاتالونیایی در ساخت طاق بر اساس لایه‌های نازک آجر که بدون استفاده از قالب‌بندی روی هم قرار گرفته‌اند، می‌باشد.

۱۲- طاق لاملا بر اساس قوس‌های مورب (قطری در پلان) متقاطع برای ایجاد شکل الماس شکل گرفته است.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

بخش پنجم

سیستم‌های پوسته ای

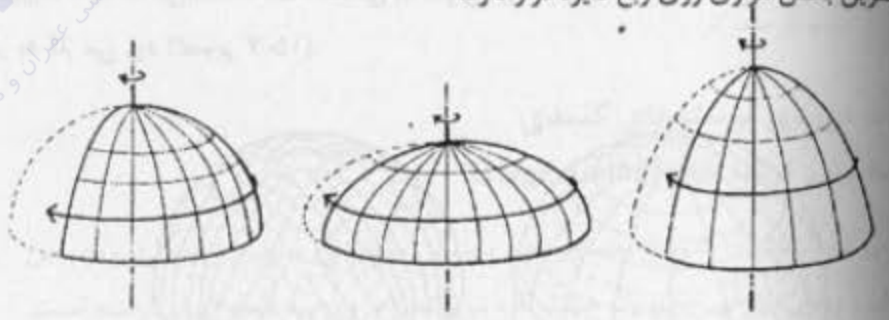
http://telegram.me/uadesigngroup

پوسته‌های گنبدی سین‌کلاستیک (Synclastic)

گنبد، یک اثر هنری واقعی است. آمیزه‌ای عالی از مجسمه‌سازی و معماری در فضا. گنبد طبیعی‌ترین فرم نسبت به بقیه می‌باشد، یک طاق ایجادشده به وسیله انسان که تداعی‌کنندهٔ طاق بهشت است.

"میکل آنژ"

گنبدها سطوح دوران‌یافتهٔ یک خط منحنی حول یک محور می‌باشند. شناخته‌شده‌ترین شکل آن کره است، سطح آن به وسیلهٔ چرخش یک قوس از یک دایره حول محور عمودی به‌دست می‌آید (تصویر ۲-۱۵). بخش‌های عمودی پوسته، خطوط قوسی طولی (شناخته‌شده به عنوان نصف النهار) و بخش‌های افقی (تماماً دایره‌شکل) به صورت حلقه های موازی هستند، بزرگترین بخش موازی روی ربع دایره قرار دارد.



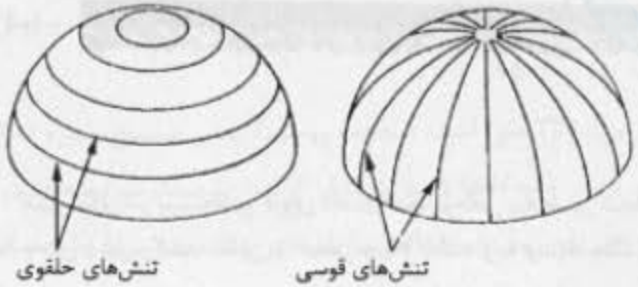
تصویر ۲-۱۵ : سطوح دوران‌یافته

رفتار سازه‌ای

رفتار تنش ها در یک پوستهٔ گنبدی‌شکل را می‌توان از طرق رفتار آن در دو جهت بررسی کرد. در زیر بار یکنواخت، گنبد تحت فشار در طول خطوط قوسی در هر نقطه می‌باشد.

در گنبد نیمکره‌ای، به علت اینکه خطوط قوسی شکل به صورت نیمدایره می‌باشند گنبد تمایلی برای پایداری در بالا ندارد ولی خمشی رو به بالا در بخش پایین‌تر وجود دارد (مشابه قوس‌ها و طاق‌ها، تصویر ۳-۱۵).

در یک گنبد پوسته‌ای (که می‌تواند در برابر کشش مقاومت نماید)، این تمایل به کمانش رو به بالا به وسیلهٔ تنش کششی در طول خطوط حلقوی در زیر زاویهٔ ۴۵ درجه بالای خط افق مهار می‌شود. به همین دلیل، گنبدهای نیمکرهٔ توخالی تحت تأثیر فشار حلقوی می‌باشند، در حالی‌که گنبدهای کروی عمیق‌تر تحت تأثیر فشار حلقوی بالای ۴۵ درجه و تحت تأثیر کشش حلقوی در قسمت پایین تر قرار دارند (این زاویه بر اساس بارگذاری متغیر است و در صورتی که فقط بار وزن گنبد وجود داشته باشد این زاویه برابر ۳۸ درجه در بالای خط افق خواهد بود (تصویر ۴-۱۵). چنین رفتاری با رفتار طاق‌های گنبدی سنتی که نمی توانند در برابر کشش مقاومت نمایند و احتیاج به وزن اضافی برای ممانعت از خمش رو به بالا دارند، متفاوت است. به علاوه، چنین رفتاری امکان دارد گنبدهای پوسته‌ای به شکل فرم منحنی طنابی را برای هر بار متقارن فراهم سازد، برخلاف اینکه طاق‌ها و قوس‌ها که فقط تحت شرایط خاص بارگذاری به شکل منحنی طنابی می‌باشند (سالوادوری و هلر، ۱۹۷۵) (تصاویر ۵-۱۵ و ۶-۱۵).

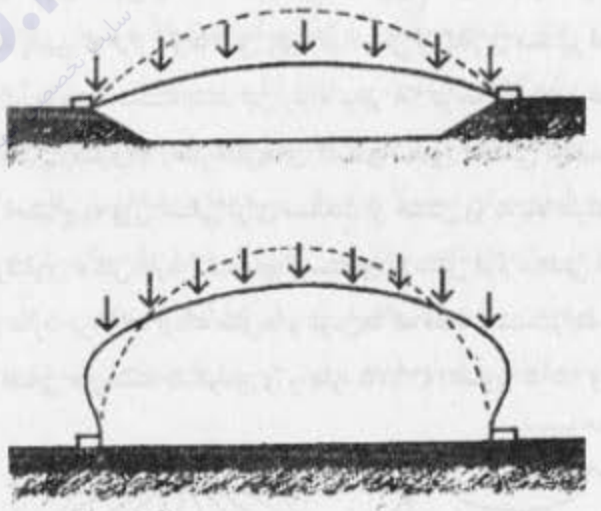


تصویر ۳-۱۵ : جهت تنش در گنبد.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

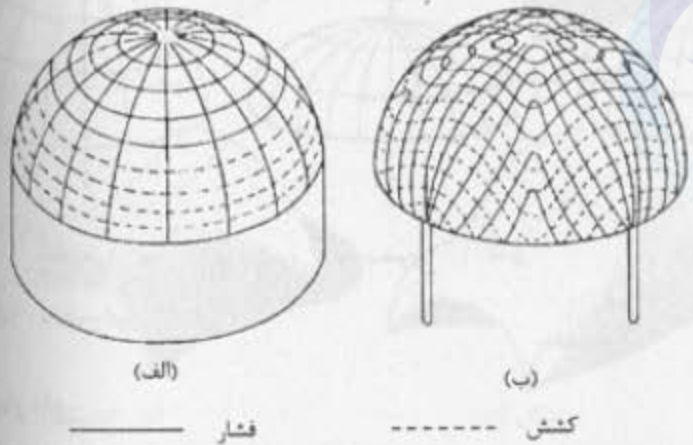
گنبدهای بیضوی در بخش بالایی نسبت به بخش پایینی مسطح‌تر می‌باشند، با تمایلی برای خمش رو به بالا در قسمت پایین و بنابراین بیشتر بر کشش حلقه‌ای برای پایداری تکیه دارند. به طور عکس، گنبدهای سهموی، دارای منحنی‌های تیزتری در بالا و نرمتر در پایین می‌باشند، که به فرم منحنی طنابی نزدیک‌تر می‌باشد، تمایل کمتری به خمش داشته و حلقه فشاری کمتری ایجاد می‌نمایند.



تصویر ۴-۱۵ : تغییر شکل در پوسته‌های کروی: (الف) گنبد توخالی به طور کامل تحت فشار قرار می‌گیرد و (ب) بخش پایین‌تر گنبد تمایل به خمش به بالا داشته و به وسیلهٔ حلقهٔ کششی در برابر آن مقاومت می شود.

مقاومت رانشی

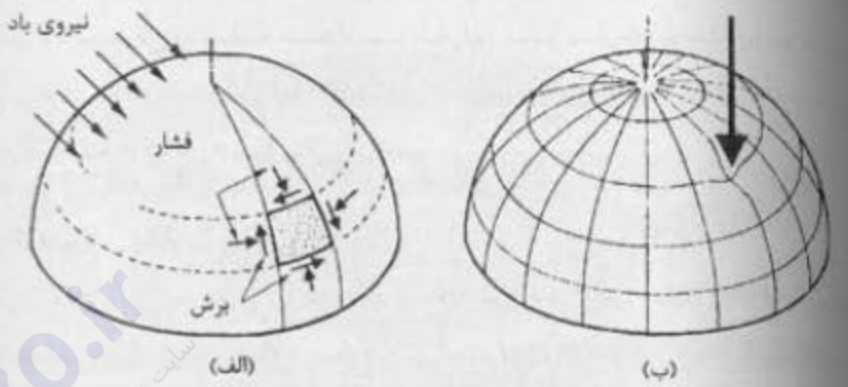
مشابه قوس‌ها، تمامی گنبدها دارای نیروی رانش بیرونی می‌باشند. اگرچه گنبدهای مرتفع نیروی رانشی کمتری نسبت به نوع کم ارتفاع آن با دهانه‌های قابل مقایسه ایجاد می‌نمایند، ولی در برابر این مقدار جزیی هم باید مقاومتی وجود داشته باشد. در گنبدهای مرتفع، مقاومت حلقوی کششی پوسته معمولاً کافی می‌باشد. ولی، در گنبدهای کم‌ارتفاع، معمولاً یک حلقهٔ کششی به وسیله افزایش ضخامت گنبد در آن ایجاد می‌گردد (برای جای دادن فولادهای کششی اضافی در پایه گنبد). از آنجایی که این حلقهٔ کششی در برابر رانش ذاتاً مقاومت می‌نماید، هیچ‌گونه پشت‌بند اضافی مورد نیاز نمی‌باشد. این امر امکان مقاومت گنبد روی ساقهٔ آن (یا حلقه‌ای از ستون ها) بدون نیاز به دیوار حائل را فراهم می‌سازد. در حالتی که ستون‌ها تکیه‌گاه می‌باشند، حلقهٔ کششی به عنوان تیر حلقوی که بین ستون‌ها را می‌پوشاند نیز به کار می رود (تصویر ۷-۱۵).



تصویر ۵-۱۵ : تنش در پوسته‌های نیمکره برای بارگذاری یکنواخت مورد مطالعه قرار گرفته. (الف) تکیه‌گاه ممتد حول پایه و (ب) تکیه‌گاه روی چهار ستون.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

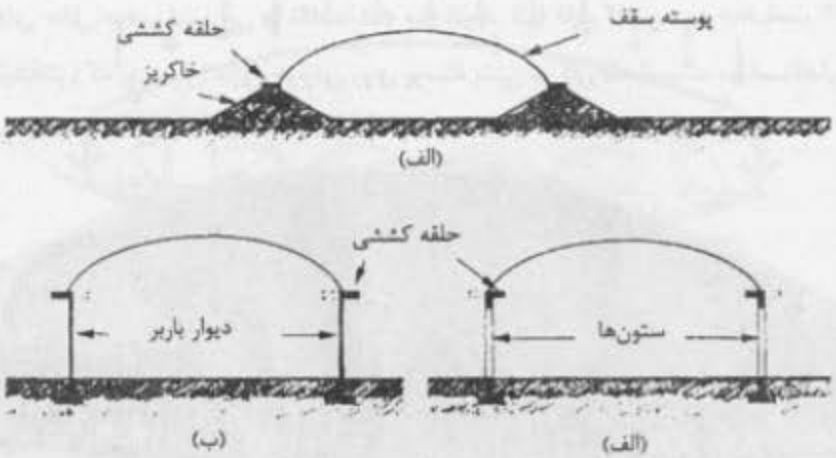


تصویر ۶-۱۵ : گنبد: (الف) مقاومت برشی در برابر نیروهای جانبی مانند باد و (ب) تنش‌های خمشی ناچیز ای به سبب بار متمرکز.

مطالعات موردی پوسته‌های گنبدی

سالن سخنرانی کرسگ Kresge Auditorium

این گنبد (۱۹۵۵: کمبریج، ماساچوست، مهندس معمار: ارو سارنین و همکاران، مهندس سازه: امان و ویتنی) دارای حجم یک هشتم کره می‌باشد که روی سه نقطه قرار گرفته است. بازشوهای قوسی‌شکل به ارتفاع ۲۷ فوت (۱۸/۶ متر) بین تکیه‌گاه ها شفاف بوده و در پلان به شکل منحنی می‌باشند. تا زمانی که ساختمان بیانی خالص و زیبا از سازه در نمای خارجی می‌باشد، فرم داخلی گنبد به عنوان عایق‌بندی نامناسب صدا برای یک ساختمان با عملکرد سخنرانی شناخته شده است (سطوح منعکس‌کننده مقعر صدا را متمرکز کرده در نتیجه نقاط گرم از چندین جهت انعکاس را دریافت می‌نمایند).



تصویر ۷-۱۵ : حلقهٔ کششی مقاوم در برابر رانش به سمت بالا در پایهٔ گنبد: (الف) تکیه‌گاه ممتد روی زمین، (ب) تکیه‌گاه ممتد روی دیواره ساقه و (ج) تکیه‌گاه روی ستون.

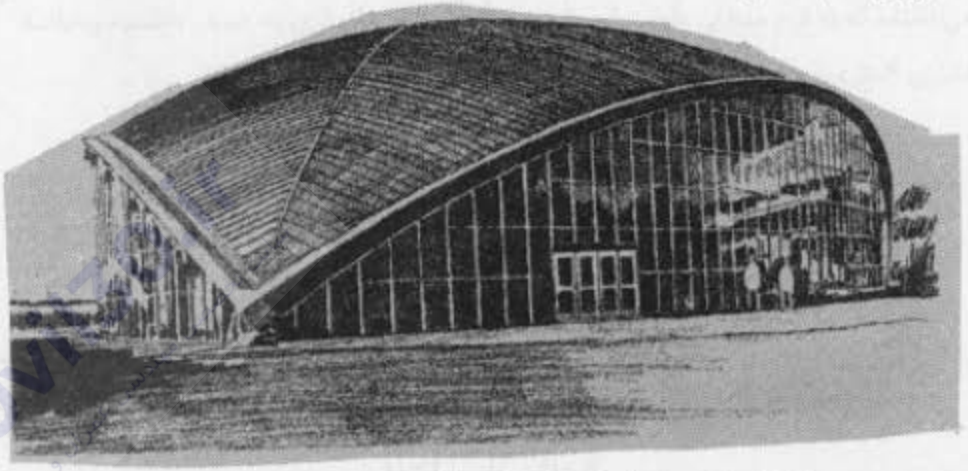
مناطقی که در پشت دیوارهای شیشه‌ای وسیع قرار دارند، عملکردی به عنوان محل اجتماع عمومی با استفاده از نور طبیعی، نیاز به جداسازی نور از مناطقی که مخصوص اجرا می‌باشند، دارند. در نتیجه، دیوارها و سقف‌های آکوستیکی فضای داخل ساختمان را به‌گونه‌ای می‌سازند که هیچ‌گونه نیازی نه از نظر بصری و نه از نظر عملکردی به سازهٔ گنبد بیرونی ندارند (ناشر، ۱۹۵۴) (تصاویر ۸-۱۵ و ۹-۱۵).

شعاع گنبد ۱۱۲ فوت (۳۴ متر) است. ضخامت پوستهٔ بتنی مسلح سازه ۱۳/۵ اینچ (۸/۷ سانتیمتر) می‌باشد که در تکیه‌گاه‌ها تا میزان ۱۹/۵ اینچ (۵۰ سانتیمتر) به علت تمرکز تنش در آن نقاط افزایش می‌یابد. لبهٔ پوستهٔ بالایی بازشوهای شفاف به وسیلهٔ یک دندانهٔ بتنی سخت شده است که برای جمع‌آوری آب باران نیز به کار برده می‌شود. نقاط باربر به میزان زیاد تقویت شده‌اند و مانند اتصالات لولایی در مقابل تنش‌های خمشی عمل می‌کنند و به وسیلهٔ

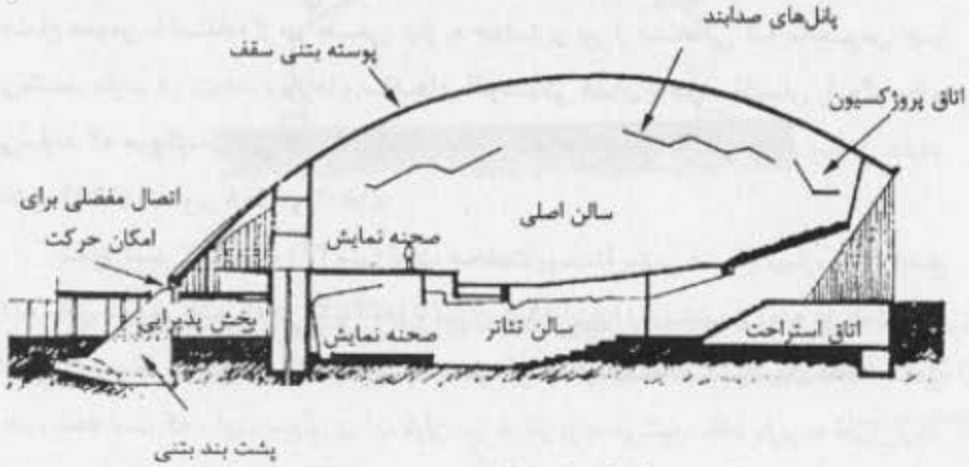
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

دیوارهای حائل حجیم بتنی پی ها نگاه داشته می شوند. لایهٔ فایبرگلاس بـه ضخـامت ۲ اینـچ (۵۰ میلیمتر) که به عنوان عایق حرارتی روی پوستهٔ بتنی به کاررفته اسـت، بـا اسـتانداردهای امروزی مطابقت ندارد.



تصویر ۸-۱۵ : سالن سخنرانی کرسگ، نمای خارجی.



تصویر ۹-۱۵ : سالن سخنرانی کرسگ، مقطع.

به جای آن، گنبـد بـا یـک لایـه بتـن بـه ضخـامت ۲ اینـچ (۵۰ میلیمـتر) بـا عملکـرد غیرسازه‌ای و آکوستیکی پوشـانده شـده اسـت. بنـابراین تـأثیر سـازه‌ای پوسـته بـا ملاحظـات غیرسازه‌ای خنثی شده است. با شرایط آکوستیکی موجـود در ایـن پـروژه، هنـوز هـم انتخـاب ساختمان با پوستهٔ نازک مورد سوال باقی می‌ماند.

کلیسای ارتدوکس بشارت یونان

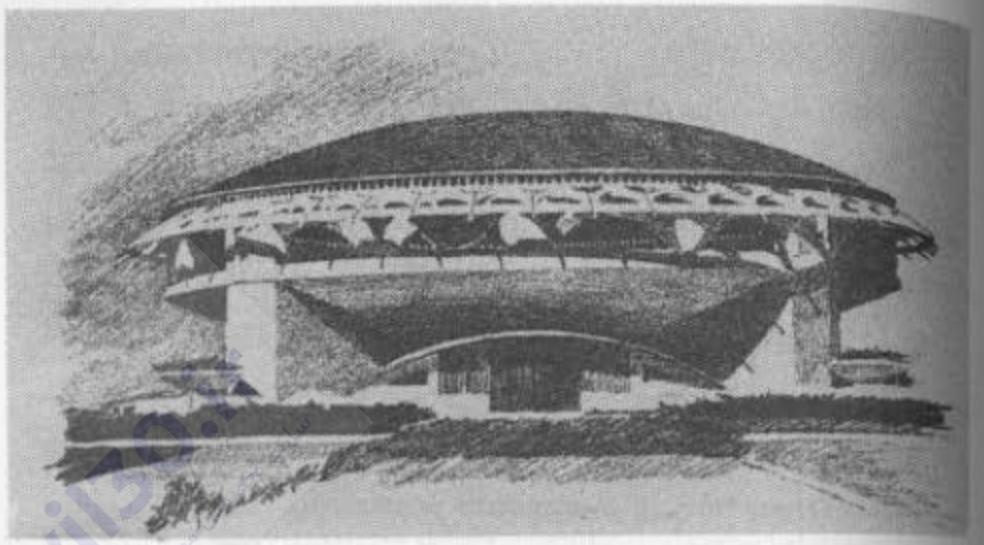
در نگاه اول، این ساختمان سه ساختمان به نظر می رسد. اولین چیزی که از فاصلـهٔ دور می‌بینیم، بشقابی بزرگ شناور بر بالای سطح زمین است. این سقف شناور گنبدی است که بـه وسیله کاشی‌های آبی رنگ پوشانده شده است و سطحی برابر ۳۳۳ فوت دارد. با نزدیکتر شـدن به ساختمان، دومین بخش آن متشـکل از مجموعـه‌ای از خطـوط منحنـی کـه بـه آرامـی لوح می‌گیرند دیده می‌شود و در داخل سومین بخش آن، ترکیبی از فضا و رنگ، آبی روشن، طلایی و قرمز و ارغوانی سایه‌دار دیده می‌شود که به نظر می‌رسد گنبـد روی گردنبنـدی از گوی‌هـای شیشه‌ای کوچک قرار گرفته است.

"ناشر، مجله میلواکی"

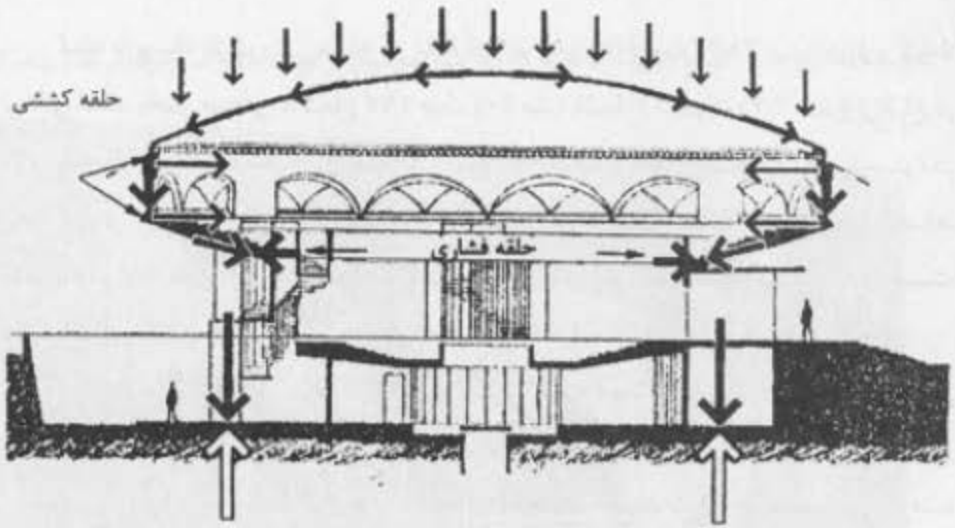
ایـن کلیسـا (۱۹۵۶: میلواکـی، مـهندس معمـار: فرانـک لویـد رایـت) یکـی از آخریـن ساختمان‌های رایت، دارای وسعت زیاد و ۶۷۰ محل نشسـتن در جایگاه اصلی می‌باشـد. در تـراز همکف، جایگاه اصلی محراب را احاطه کرده است، شبیه بـه صحنـهٔ تئـاتر بـا جایگـاه مـدور در اطراف آن. در مرکز فضای باز و یکدستی وجود دارد که دیدی مناسب به بخـش پـایین گـودال باغچه (در تراز کلاس‌ها) فراهم می‌نماید. در اطراف این مجموعه تراسـی بـرای نشسـتن وجـود دارد که در محیط دایره قرار گرفته و در تمامی جهات طره شده اسـت (ناشـر ۱۹۶۱، فوتـاگاوا ۱۹۸۸) (تصاویر ۱۰-۱۵ تا ۱۳-۱۵).

http://telegram.me/uadesigngroup

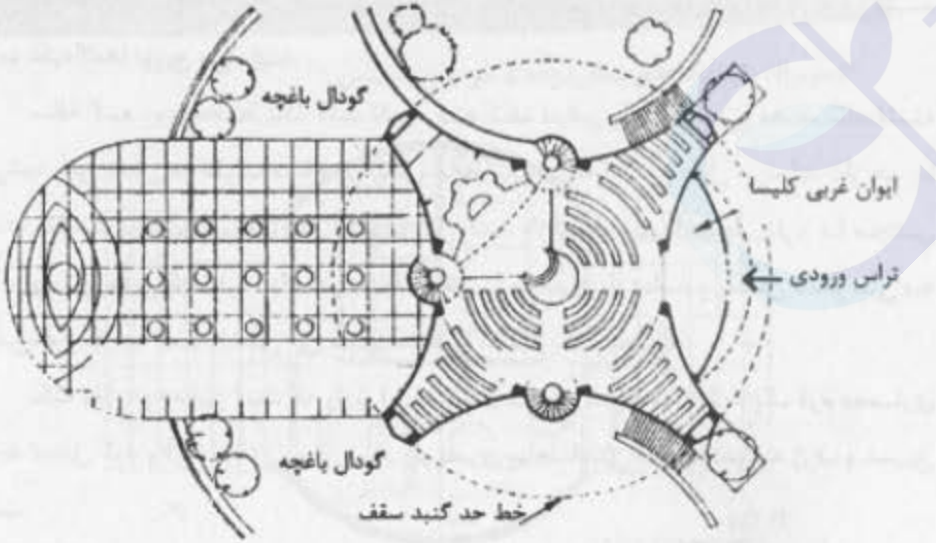
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



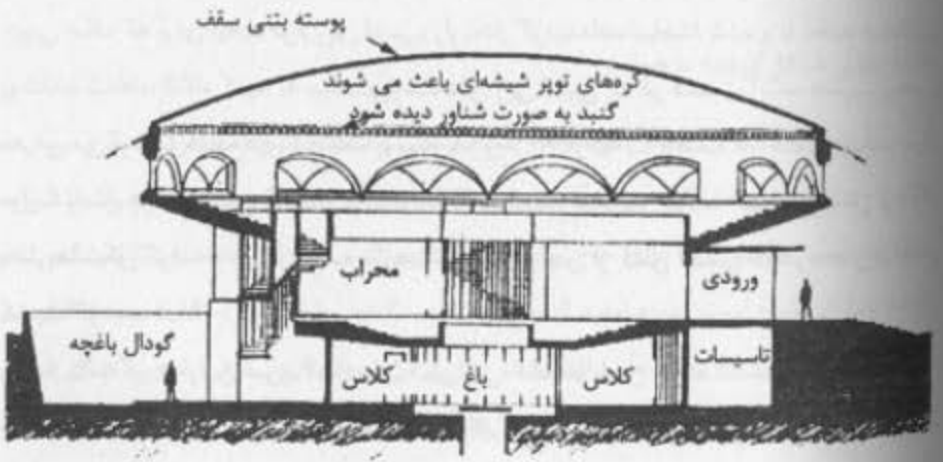
تصویر ۱۰-۱۵ : کلیسای ارتدوکس بشارت یونان، نمای خارجی.



تصویر ۱۲-۱۵ : کلیسای ارتدوکس بشارت یونان، نمودار مسیر بارگذاری.



تصویر ۱۳-۱۵ : کلیسای ارتدوکس بشارت یونان، نقشهٔ طبقهٔ همکف.



تصویر ۱۱-۱۵ : کلیسای ارتدوکس بشارت یونان، مقطع.

http://telegram.me/uadesigngroup

گنبد با پوستهٔ نازک بتنی مسلح در پایه، قطری برابر ۹۴ فوت (۲۸/۶ متر) دارد و کاملاً توخالی است. بخش منحنی با شعاع ۱۹۷ فوت (۶۰ متر) فقط ۱۱ فوت (۳/۳ متر) ارتفاع در بالای پایه دارد، ضخامت سازه‌ای پوسته از ۳ اینچ (۷۵ میلیمتر) تا ۴ اینچ (۱۰۰ میلیمتر) در لبه‌ها افزایش یافته که برای مقاومت در برابر رانش بیرونی به عنوان حلقهٔ کششی عمل نماید. گنبد با یک لایهٔ عایق ۳ اینچی (۷۵ میلیمتر) که روی بتن پاشیده شده، پوشانده شده است. پوشش نهایی کاشی آبی‌رنگ به ضخامت ۱۲ اینچ (۵۰ میلیمتر) است.

کنارهٔ پوسته، روی یک ساقهٔ کوتاه عمودی قرار گرفته است که با پنجره‌های قوسی‌شکل برای دسترسی به نور طبیعی باز شده است. از داخل، چنین به نظر می رسد که گنبد روی گردنبندی از نور که به وسیلهٔ گوی‌های شیشه‌ای ایجاد شده است، شناور می‌باشد. این ترفند یادآور حلقهٔ پنجره‌ها در مسجد ایاصوفیه می‌باشد. گوی‌ها کره‌هایی شیشه‌ای و توپر هستند که درون ساقهٔ بتنی سقف قالب گرفته‌شده‌اند. به دلیل فاصلهٔ کم مابین گوی‌ها، آنها بار وزن گنبد را به تکیه‌گاه‌ها توزیع می‌نمایند.

ساقهٔ گنبد روی محیط یک گنبد ثانویه که کف تراس را شکل می دهد، نگاه‌داشته می‌شود. این بخش در اطراف مسلح گردیده و مانند یک حلقه کششی عمل می‌نماید (باز هم با هدف مقاومت در برابر نیروی رانش بیرونی). این گنبد واژگون روی ۴ دیوار باربر با منحنی مقعر و ستون‌هایی که تراز جایگاه در طبقهٔ همکف را محصور کرده‌اند و پلکان دسترسی به تراس، قرار گرفته است، تمامی این مجموعه تا پی امتداد یافته است.

نکتهٔ قابل توجه این است که رایت این سیستم سازه‌ای غیرمعمول را به یک فرم معماری واحد تبدیل کرد و آن را بخوبی بیان نمود. اثر بصری و احساسی این مجموعه ژرف و عمیق است.

گنبد خورشید (Sundome)

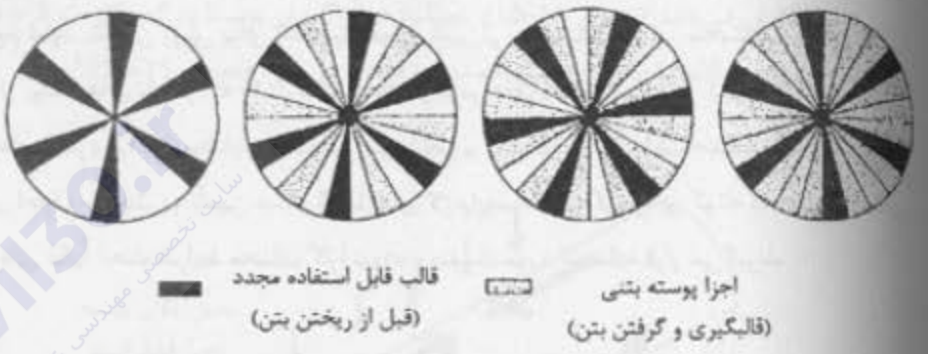
این استادیوم با سقف گنبدی به قطر ۲۷۰ فوت (۸۲/۳ متر) (۱۹۹۰: یاکیما، واشنگتن. مهندس معمار: شرکت معماری لوف بارو، مهندس سازه: جی کریستن سن) به علت شیوه شکل‌گیری آن، مورد توجه قرار گرفته است. کل سقف به ۲۴ بخش به شکل زین اسبی تقسیم شده است (مقعر در جهت حلقه، محدب در جهت قوس)، نتیجهٔ آن فرم چتری‌شکل دندانه‌ای است (راندال و اسمیت، ۱۹۹۱)(تصویر ۱۴-۱۵). ارتفاع گنبد از ۴۰ فوت (۱۲/۲ متر) شروع شده و در بالا به ۸۰ فوت (۴۸/۸ متر) می‌رسد. ۲۴ قسمت قوس مساوی در تاج سقف به یک حلقهٔ فشاری می‌رسند که پایه‌های آنها به یک حلقهٔ بتنی پس‌کشیده که روی ۲۴ ستون از بتن مسلح قرار گرفته است، مهار شده‌اند. هر قسمت پوسته در پایین ۴/۵ اینچ (۱۱ سانتیمتر) و در بالا ۳ اینچ (۷/۵ سانتیمتر) ضخامت دارد. برای جلوگیری از خمش دندانه‌هایی باعرض ۱۲ اینچ (۳۰ سانتیمتر) و ۳۰ اینچ (۷۶ سانتیمتر) ارتفاع در لبه‌های هر بخش با ۶ فرم قابل استفادهٔ مجدد برای قالب‌گیری گنبد، اضافه گردیده است. این فرم‌ها با استفاده از تیرچه‌های چوبی صاف که برای ایجاد فرم زین اسبی، زاویه‌دار گردیده‌اند، ساخته شده و با تخته چندلایی پوشانده شده‌اند (نگاه کنید به مبحث پوسته‌های زین اسبی که در قسمت آینده همین بخش معرفی می‌گردند). قطعه‌های مختلف پوسته با زاویهٔ ۶۰ درجه با فاصله در حول سقف برای موازنهٔ رانش در حلقه‌های کششی و فشاری، قالب گرفته شده‌اند. حلقهٔ کششی قبل از دیگر بخش‌ها شکل گرفته و با زدن شمع نگاهداشته شده و پس از کامل شدن دیگر بخش‌ها پس کشیده گردیده است.

پس از قالب‌گیری اولین سری قطاع‌های شش‌تایی، قالب‌ها پایین آورده شدند و به مکان جدید منتقل گردیدند و در موقعیت جدید برای قالب‌گیری، مجموعهٔ بعدی قطاع‌ها برپا گردیدند، این روند در ساخت این بنا چهار بار تکرار گردیده است. کریستین‌سن مهندس سازه ساختمان

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

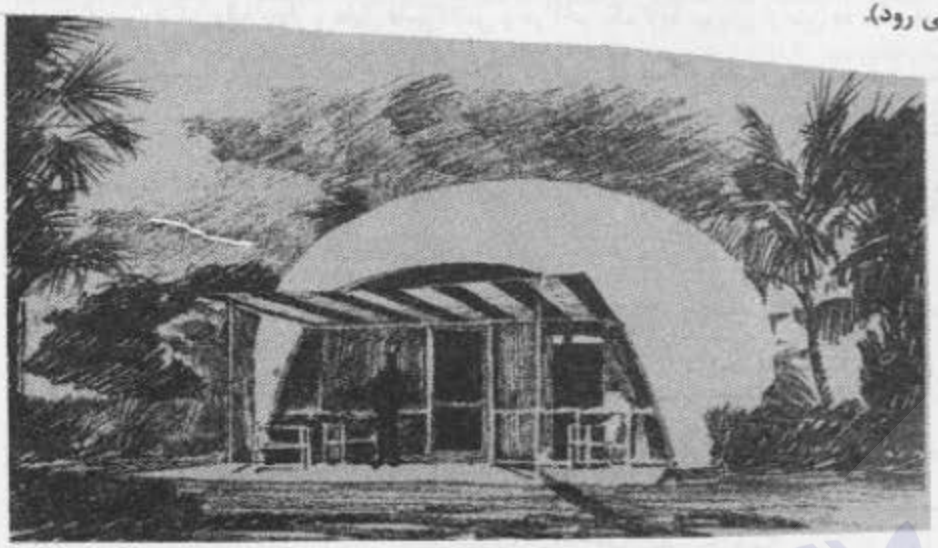
همین شیوه قالب‌گیری را در گنبد ۴۰ قسمتی کینگ دام (۱۹۷۵، سیاتل) کـه دهانـه‌ای برابـر ۶۶۰ فوت (۲۰۱ متر) داشت، به کار برد.



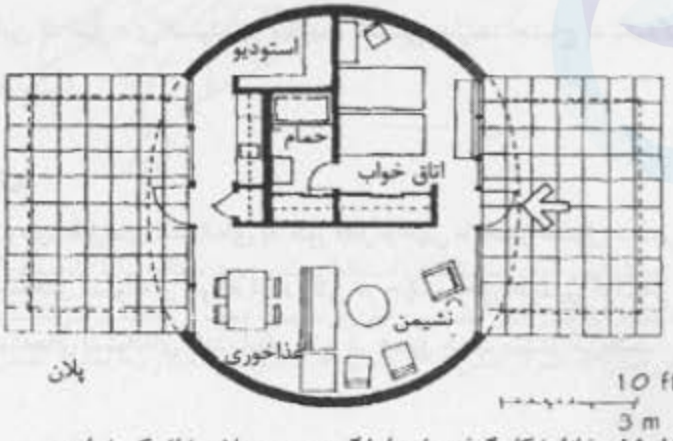
تصویر۱۴-۱۵ : مراحل شکل‌گیری گنبد خورشید.

خانهٔ بتنی شکل‌گرفته با هوا

این خانه (۱۹۵۴: هوب ساوند، فلوریدا، مهندس معمـار: الیـوت نویـز، مخـترع سیسـتم: والاس نف) کوششی مبتکرانه برای کاهش هزینهٔ قـالب‌بندی در گنبدهـای کـوچـک بتنـی بـه منظور مناسب ساختن آنها برای ساختمان‌های مسکونی بود که برای خانه‌های یک یـا دو اتـاق خوابه طراحی شده است. نمونه اولیه گنبدی به قطر ۳۰ فوت (۹/۱ متر)، ۱۴ فـوت (۴/۳ مـتر) ارتفاع در مرکز دارد که بخش‌هایی از قسمت جلویی آن بـرای قـرار دادن پنجـره هـای قوسـی شکل برداشته شده‌اند. سطح داخلی آن ۶۰۰ فوت مربع (۵۶ مترمربع) می‌باشد (ناشـر، ۱۹۵۴) (تصویر ۱۵-۱۵). فرم بادکنکی پرشده از هوا به وسیلهٔ شبکهٔ سیمی تقویتی پوشیده شـده و بـا بتن، نماسازی شده است (شیوهٔ گانایت که به طور معمول برای ساخت استخرهای شنا بـه کـار می رود).



تصویر۱۵-۱۵ : خانه‌ای شکل‌گرفته با هوا با گنبد بتنی.



تصویر۱۶-۱۵ : خانهٔ شکل گرفته با هوا با گنبد بتنی، پلان خانهٔ یک خوابه.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

ساختمان دارای چند لایه می‌باشد: لایهٔ اصلی (داخلی) از بتن با ضخامت ۲ اینچ (۵۰ میلیمتر)، پس از آن مانع بخار و عایق فایبرگلاس و در آخر یک لایهٔ بیرونی از بتن به ضخامت ۲ اینچ (۵۰ میلیمتر). داربست فقط برای نگاهداری کارگران در هنگام پاشیدن بتن مورد نیاز بوده، که در یک روز انجام می‌شود. بعد از گرفتن بتن، قالب مورداستفاده خالی گشته و برداشته می‌شود (تصویر ۱۶-۱۵). این سیستم سازه‌ای پس از آن برای ساخت کلاس‌های درس و انبارها به کار رفته است.

پوسته‌های قابل توسعه

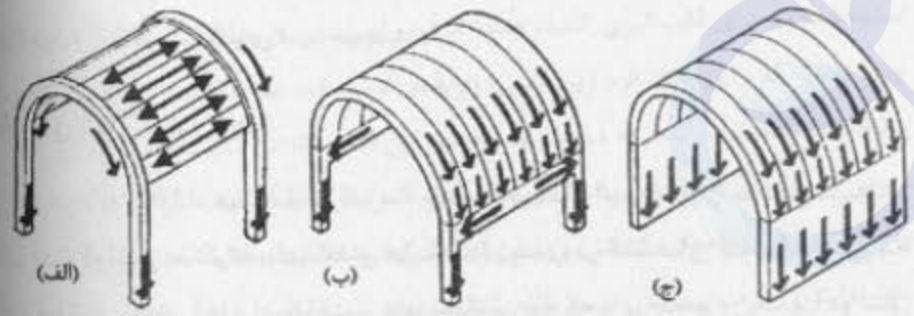
پوسته‌های گهواره ای قابل توسعه هستند (از طریق یک سطح خمیده شکل می‌گیرند)، فقط در یک جهت دارای انحنا می‌باشندو از دوران یک خط منحنی در طول یک مسیر مستقیم شکل می‌گیرند. اغلب اشکال نیمدایره و سهمی در آنها به کار می‌روند. به علت قابلیت مقاومت کششی رفتاری متفاوت با طاق‌های استوانه‌ای دارد. بنابراین می‌توانند فقط در گوشه‌ها دارای تکیه‌گاه باشند. این پوسته‌ها در جهت طولی و در جهت انحنا دهانه را می پوشانند (به یاد آورید به علت این که طاق‌های استوانه‌ای مقاومت کششی ندارند، احتیاج به تکیه‌گاه ممتد در طول هر پایه دارند).

رفتار سازه‌ای

رفتار سازه‌ای طاق‌های استوانه‌ای به طور قابل‌توجهی با تغییر طول نسبی آنها تغییر می‌کند. در پوسته‌های استوانه‌ای کوتاه، ابعاد پلان در جهت محور طولی کوتاه‌تر می‌باشد، در حالی‌که در پوسته‌های استوانه‌ای بلند، ابعاد پلان در همان جهت بیشتر می‌باشد.

پوسته‌های استوانه‌ای کوتاه

این نوع از پوسته‌ها معمولاً در گوشه‌ها، دارای تکیه‌گاه می‌باشند و در یکی از دو جهت عمل می‌کنند (یا ترکیبی از هر دو جهت). اولین روش آن است با پوسته‌ای که به عنوان دال عمل کرده و فاصلهٔ بین قوس‌ها را می‌پوشاند، هر انتها را می‌توان به وسیلهٔ یک قوس، سخت و مقاوم نمود. دومین روش برای آنکه لبهٔ طولی پایین‌تر به وسیلهٔ یک تیر سخت شود آن است که از پوسته‌های نازکتر که مانند مجموعه‌ای از قوس‌های مجاور هم رفتار کرده و فاصلهٔ بین تیرهای کناری را می پوشانند، استفاده نمود (تصویر ۱۷-۱۵). به علت حداقل ضخامت لازم برای اجرا و ساخت (و تأمین دستورالعمل‌های لازم)پوسته‌های گهواره‌ای کوتاه به علت نیازهای سازه‌ای غالباً تحت شرایط مختلف کارا نبوده و بندرت مورد استفاده قرار می‌گیرند.



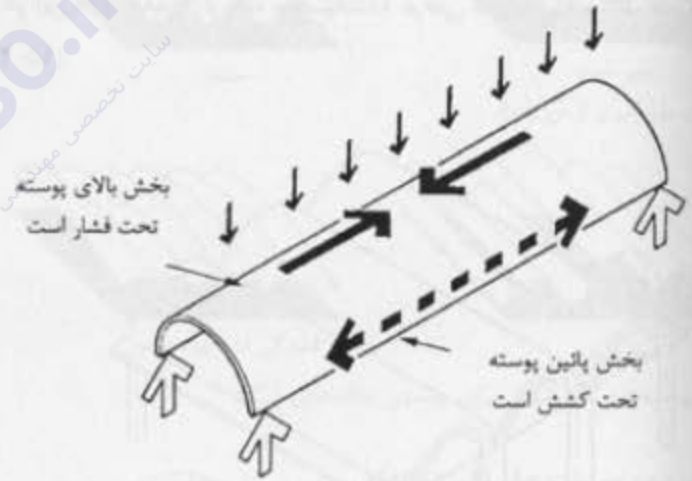
تصویر۱۷-۱۵ : پوسته‌های استوانه‌ای کوتاه که به عنوان : (الف) فاصله بین قوس‌ها با دال‌ها پوشانده شده است، (ب) مجموعه‌ای از قوس‌های مجاور هم که فاصلهٔ بین تیرهای کناری را پوشانده‌اند. مقایسهٔ این دو با (ج) طاق استوانه‌ای که باید در طول پایه، تکیه‌گاه ممتد داشته باشد، رفتار می‌کنند

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

پوسته‌های استوانه‌ای بلند

این نوع پوسته‌ها معمولاً در گوشه‌ها دارای تکیه‌گاه می باشند و مانند تیرهای بزرگ در جهت طولی عمل می‌نمایند. در نتیجه تنش‌ها در این‌گونه پوسته‌ها مشابه تنش‌های خمشی در یک تیر می‌باشد، بخش بالایی در سرتاسر طول پوسته تحت فشار است در حالی که، بخش پایین تحت کشش می‌باشد (تصویر ۱۸-۱۵). عملکرد دیافراگم در پوستهٔ نازک مقاومت لازم در برابر برش عمودی و افقی درونی در رفتار خمشی را فراهم می‌سازد (تصویر ۱۹-۱۵).

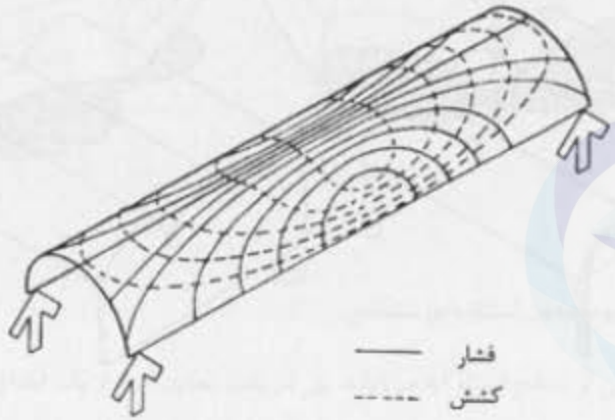


تصویر۱۸-۱۵ : پوسته‌های استوانه‌ای بلند مانند تیری که فاصله بین دو تکیه‌گاه را می‌پوشاند رفتار می‌کنند. افزایش تنش فشاری در بالا و کششی در پایین پوسته اتفاق می افتد.

نسبت دهانه به ارتفاع در پوسته‌های استوانه‌ای بلند بر روی مقدار تنش تأثیر داشته و آن را افزایش می‌دهد. همچنین افزایش این نسبت میزان پوشش در دهانه‌های بزرگ را افزایش می‌دهد. نسبت کم دهانه به ارتفاع فشار تحتانی را کاهش داده و نیروهای کششی در بالا امکان استفاده از پوسته با ضخامت کمتر را فراهم می سازد. به عبارت دیگر، با افزایش نسبت دهانه به ارتفاع به سطح بیشتری با همان دهانه مورد نیاز است. در تئوری، بهترین نسبت دهانه به ارتفاع در حدود ۲ است، که حداقل مجموع حجم بتن و فولاد تقویتی را نیاز دارد. در عمل، نسبت‌های بین ۶ تا ۱۰ به سبب ملاحظات فنی و حداقل ضخامت مورد نیاز و با توجه به قوانین ساختمانی یا ساختمان‌های ساخته‌شده، معمول‌تر است.

شرایط لبه‌ها

به منظور تأمین رفتار سازه به عنوان پوستهٔ واقعی (فقط تحت کشش و فشار، بدون خمش ناحیه‌ای)، لازم است سختی پوسته در دو انتها و لبه‌های طولی با مقاومت در برابر رانش بیرونی در نظر گرفته شود.

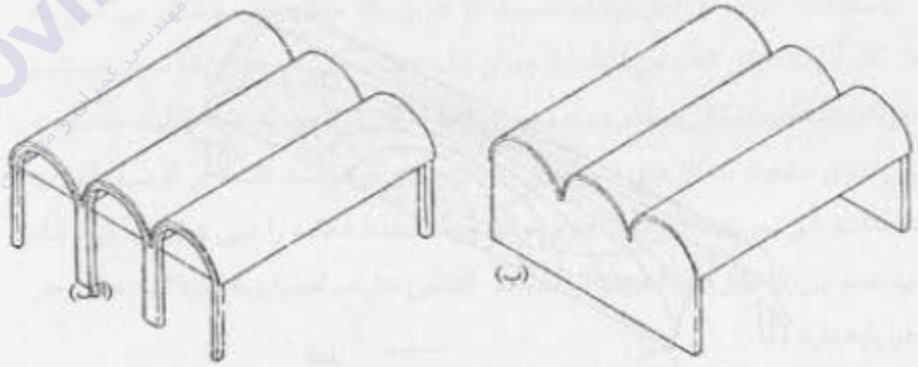


تصویر۱۹-۱۵ : نمودار تنش برای پوسته‌های استوانه‌ای بلند مورد مطالعه برای بارهای گسترده یکنواخت. توجه کنید که تنش‌های کششی و فشاری معمولاً عمود بر یکدیگر می‌باشند. فاصلهٔ بین خطوط تنش اشاره به تمرکز تنش در آن ناحیه دارد (فواصل کمتر به معنی تنش بیشتر است).

http://telegram.me/uadesigngroup

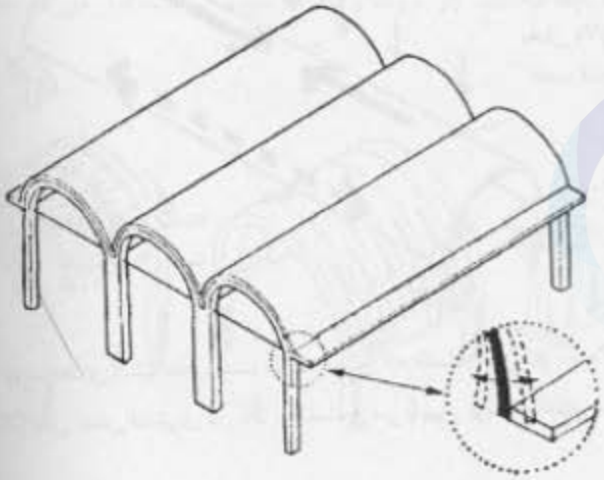
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

همچنین باید است لبهٔ هر پوسته به منظور ثابت باقی‌ماندن شکل آن تحت شرایط بارگذاری به غیر از فرم منحنی طنابی گیردار شود. این امر معمولاً از طریق سخت کردن هر دو لبه با افزایش ضخامت آنها در محل اتصال به قوس‌ها یا ستون‌های تکیه‌گاهی و اضافه کردن میله‌های مهار برای مقاومت در برابر رانش جانبی یا به وسیلهٔ استفاده از دیوارهای باربر انتهایی حاصل می‌شود (که تکیه‌گاه عمودی را فراهم می‌سازد و انتهای پوسته در شکل خود باقی می‌ماند و مانند دیوارهای برشی برای مقاومت در برابر نیروی رانش بیرونی رفتار می نماید) (تصویر ۲۰-۱۵).



تصویر ۲۰-۱۵ : تکیه‌گاه های انتهایی در پوسته‌های استوانه‌ای بلند با چند دهانه : (الف) انتهاها به قوس‌ها سخت شده‌اند روی ستون‌ها با میله‌های مهار برای مقاومت در برابر رانش جانبی، (ب) دیوارهای باربر کناری، تکیه‌گاه عمودی را فراهم می‌سازندو فرم لبهٔ پوسته را ثابت نگاه‌داشته و مانند دیوارهای برشی مقاوم در برابر رانش بیرونی رفتار می‌کنند.

رفتار قوس در پوستهٔ استوانه‌ای در امتداد طول آن (نه فقط در لبه‌ها) اتفاق می افتد. در نتیجه رانش بیرونی در سراسر طول آن گسترش می‌یابد. هنگامی که پوسته در چندین دهانه تکرار شود، نیروهای رانش بیرونی در پوسته‌های مجاور، یکدیگر را متعادل می‌نمایند. فقط دو انتهای آزاد در اولین و آخرین پوسته احتیاج به مقاومت رانشی دارد. رفتار دیافراگم پوسته مانند یک تیر باریک برای انتقال رانش به تکیه‌گاه های انتهایی رفتار می‌نماید. سخت‌کننده‌ها هم مانند بال تیر که مقاومت جانبی لازم برای ممانعت لبهٔ پوسته از خمش را فراهم می‌سازد عمل می‌کنند. در این مورد معمولاً از یک سخت‌کنندهٔ عرضی عمود بر پوسته استفاده می گردد (تصویر ۲۱-۱۵).



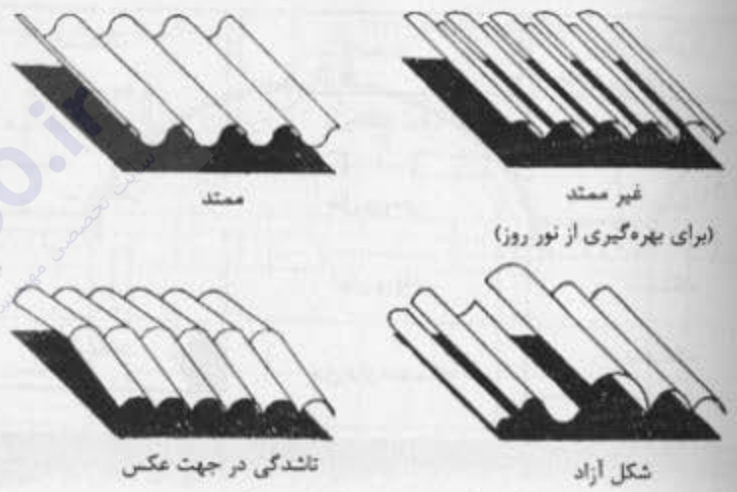
تصویر ۲۱-۱۵ : لبه‌های بیرونی پوسته به عنوان یک تیر نازک برای انتقال رانش به تکیه‌گاه‌های انتهایی عمل می‌نمایند و باید برای ممانعت از خمیدگی سخت گردند. در نقطهٔ برخورد پوسته‌های مجاور، هیچ‌گونه سخت‌کنندهٔ عرضی نیاز نیست زیرا نیروهای رانشی در هر یک به وسیلهٔ بقیه موازنه می‌گردند.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

انواع پوسته‌های استوانه‌ای

پوسته‌های استوانه‌ای را به اشکال استوانه‌ای و مخروطی می‌توان قالب گرفت (با انحنا در یک جهت) (تصویر ۲۲-۱۵). به علاوه، طاق‌های متقاطع هم ممکن است مورد استفاده قرار گیرند (تصویر ۲۳-۱۵).



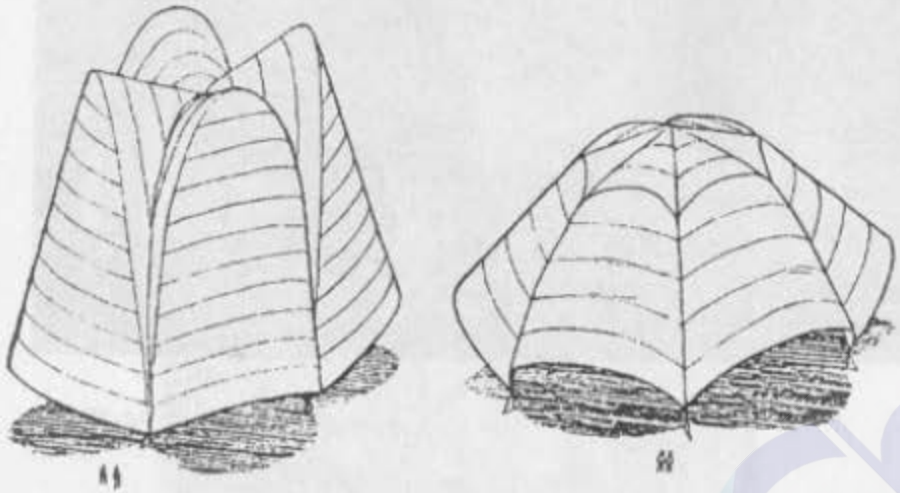
تصویر۲۲-۱۵ : پوسته‌های استوانه‌ای برای پوشش دهانه‌های بزرگ

مطالعات موردی پوسته‌های استوانه‌ای

موزه کیمبال Kimball Museum

این موزه (۱۹۷۲: فورث ورث، تگزاس، مهندس معمار: لویی کان، مهندس سازه: آ کامدانت) مجموعه‌ای با استفاده از سازهٔ پوسته‌های استوانه‌ای و کوششی برای پخش نور جهت ایجاد یک اثر واضح و روشن و بی‌انتهای معماری است (تصاویر ۲۴-۱۵ تا ۲۷-۱۵).

مشابه ساختمان‌های قبلی کان (به عنوان مثال مرکز اجتماع شهر ترنتون و تالار شهر بوستون)، ساختار موزهٔ کیمبال به وسیلهٔ شبکه‌های سازه‌ای تارتان متشکل از دهانه‌های وسیع (شامل گالری‌های اصلی) و دهانه‌های کوچک (شامل بخش‌های خدماتی و سیستم‌های مکانیکی) تعریف شده است (تصویر ۲۵-۱۵).

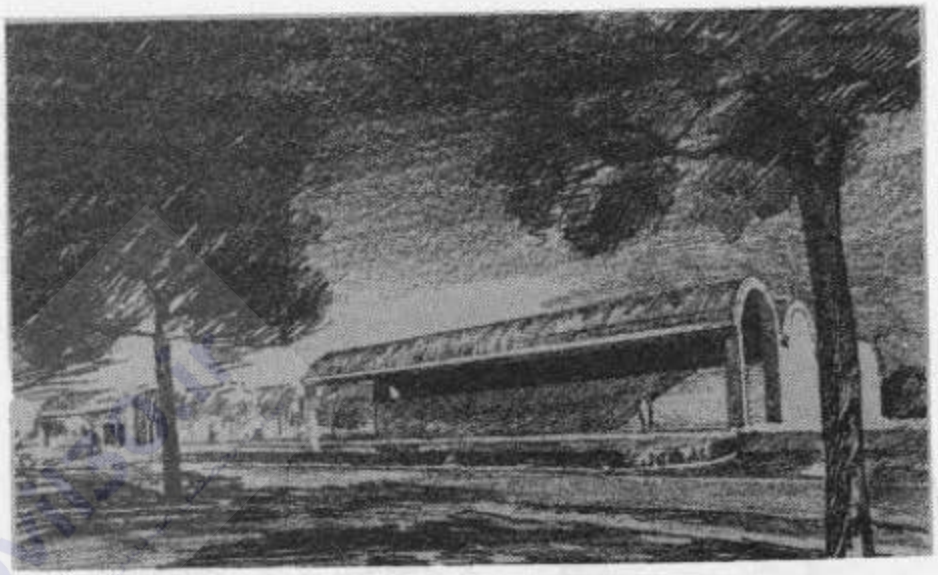


تصویر۲۳-۱۵ : پوسته‌های استوانه‌ای متقاطع.

طاق، نوعی از سطح است که می‌تواند نور دریافت نماید. اندازهٔ یک فضای داخلی بستگی به احساس پخش نور در آن و روشنی که نور فرم اتاق را تثبیت می کند دارد. من شیشه را بین اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای برای ایجاد اتصال تزئینی قرار دادم تا براحتی از تزئینات داخلی که به میزان زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرند تشخیص داده شود. در این بنا تزئینات تحت تأثیر اتصالات قرار گرفته‌اند.

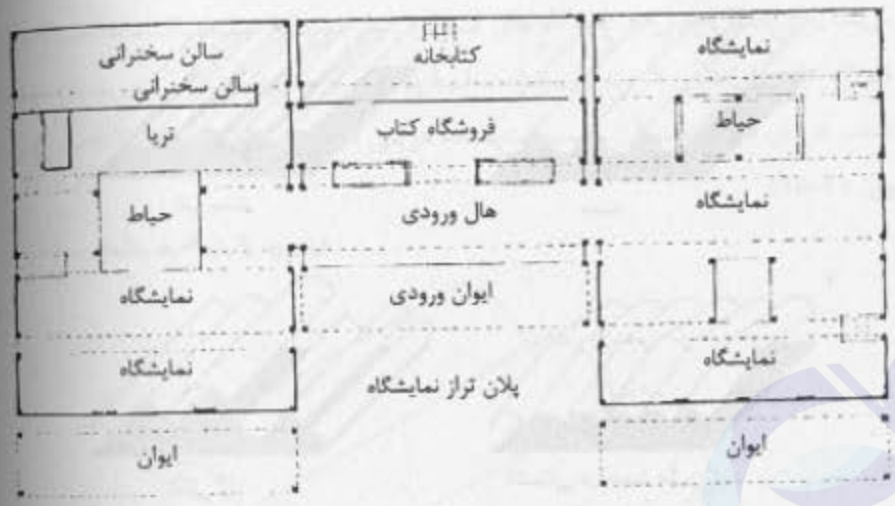
"لویی کان"

http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۱۵-۲۴ : موزه کیمبال، نمای خارجی

سازهٔ سقف متشکل از ۱۴ پوستهٔ استوانه‌ای است که دهانه‌ای به ابعاد ۱۰۰ × ۲۳ فوت (۳۰/۵ × ۷ متر) را می‌پوشاند. دو عدد از این پوسته‌ها به شکل سایبان روی پیاده رو قرار گرفته‌اند. پوسته‌ها در مقطع به شکل منحنی شبه‌دایره هستند (مشابه نیمه بیضی، شبه‌دایره منحنی است که به وسیلهٔ چرخش یک نقطه روی دایره دوران‌یافته بر روی یک خط مستقیم به دست می‌آید. مشابه یک نیمه بیضی، قوس در خط چشمه به صورت مستقیم می‌باشد). ضخامت پوسته ۴ اینچ (۱۰ سانتیمتر) است که به طور عمده به وسیلهٔ محدودیت‌های آیین‌نامه‌ای ملزم گردیده است و فضای لازم برای تقویت پوسته را فراهم می‌سازد. عایق بام و پوششی مسی، روی پوسته را فرا گرفته است. تکیه‌گاه‌ها در این ساختمان ستون‌های گرد بتنی و دیوارهای غیربابر می‌باشند که در داخل با سنگ مرمر سفید، چوب و در خارج با سنگ مرمر سفید پوشیده شده اند (رائر ۱۹۷۷، ناشر ۱۹۷۱) (تصاویر ۲۶-۱۵ و ۲۷-۱۵).

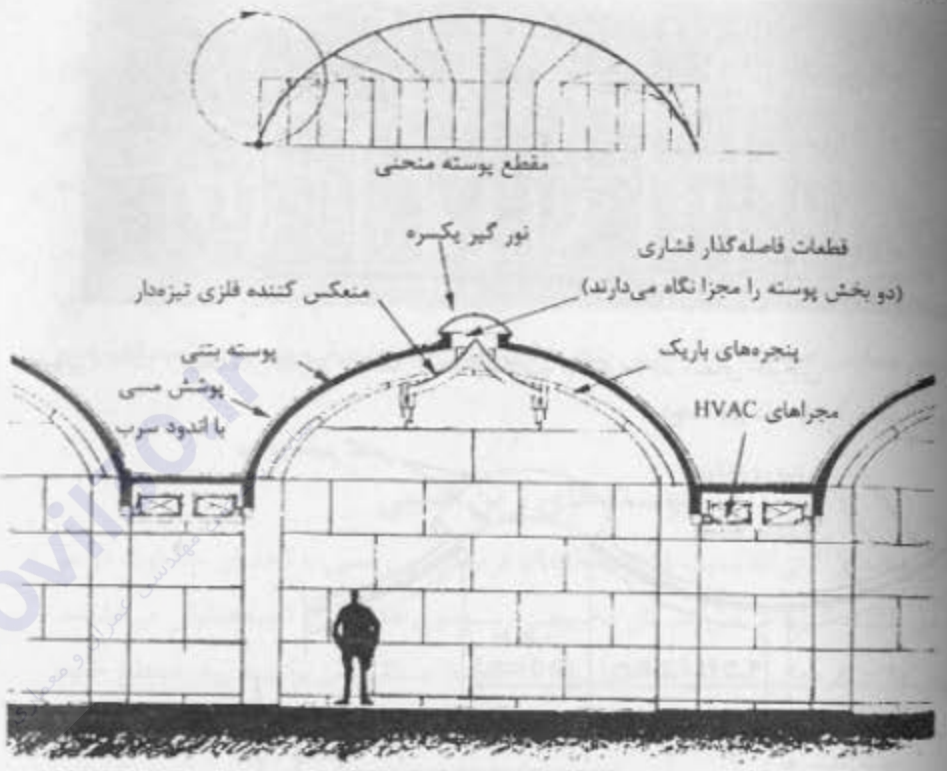


تصویر ۱۵-۲۵ : موزه کیمبال، نقشه طبقه بالا

اکثر پوسته‌ها با یک پنجرهٔ سقفی به عرض ۳ فوت (۹۱ سانتیمتر) در محل مرکز پوسته بریده شده‌اند. نیروهای فشاری دو طرف پوسته در عرض شکاف به وسیلهٔ ۱۱ جداکنندهٔ بتنی (که برای جدا نگاه‌داشتن دو قسمت به‌کار می روند) منتقل می‌شوند. رفتار دیافراگمی بخش بالایی پوسته مانند یک تیر افقی برای پوشاندن دهانهٔ مابین فواصل رفتار می‌نماید. ضخامت پوسته در اطراف بازشوها برای ایجاد پایداری بیشتر افزایش یافته است.

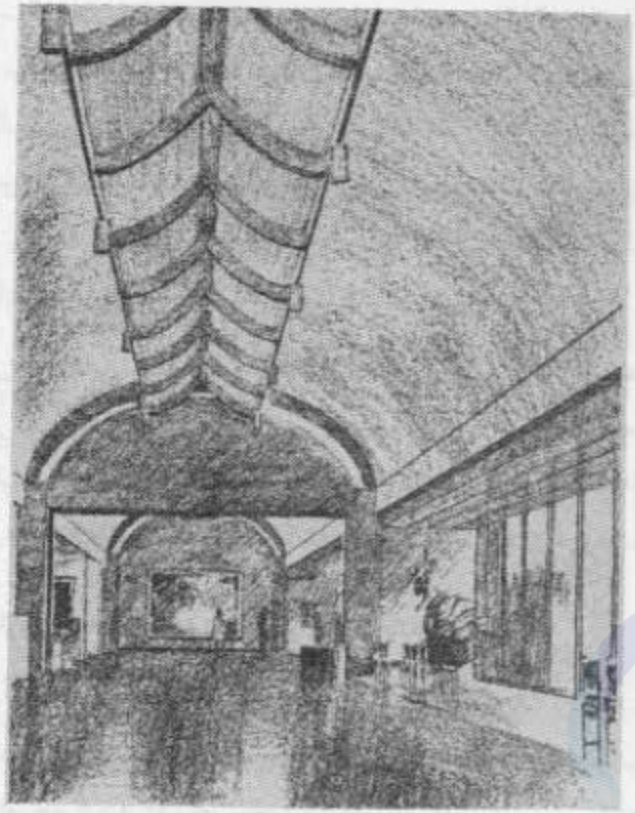
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۲۶-۱۵ : موزهٔ کیمبال، مقطع با نمودار نشان‌دهندهٔ فرم شبه‌دایره است.

لبه‌های پایین‌تر پوسته به شکل کانال از جنس بتن، بین پوسته‌های مجاور سخت شده‌اند. این که پوسته‌ها مانند قوس‌هایی که فقط دهانه‌هایی با عرض ۲۳ فوت (۷ متر) را می‌پوشانند و روی کانال‌هایی که رفتاری مانند تیر دارند و تمامی بار وزن سقف با دهانهٔ ۱۰۰ فوت (۳۰/۵متر) را حمل می‌نمایند، تصوری غلط است (اگر کانال به عنوان قالب باشد، باید ارتفاع آن افزایش یابد). در واقعیت، پوسته‌ها، سازهٔ اصلی هستند و کانال‌هایی را که فقط برای سخت کردن لبهٔ پوسته‌ها در برابر خمش به‌کار می‌روند را نگاه‌می‌دارند (کامندانت، ۱۹۷۵).



تصویر ۲۷-۱۵ : موزهٔ کیمبال، نمای داخلی.

پوسته‌های بتنی به وسیلهٔ سه کابل فولادی زنجیرواره درون هر قسمت در بخش پایینی پوسته‌ها علاوه بر میلگردهای فولادی مرسوم پس‌کشیده شده‌اند. پوسته‌ها در انتها برای ایجاد قوس‌های سخت‌کننده ضخیم گشته‌اند. یک نوار شیشه‌ای باریک این قوس‌ها را از دیوارهای انتهایی زیر آن جدا می‌سازد که تأکیدی بر غیرباربر بودن دیوارها می‌باشد.

http://telegram.me/uadesigngroup

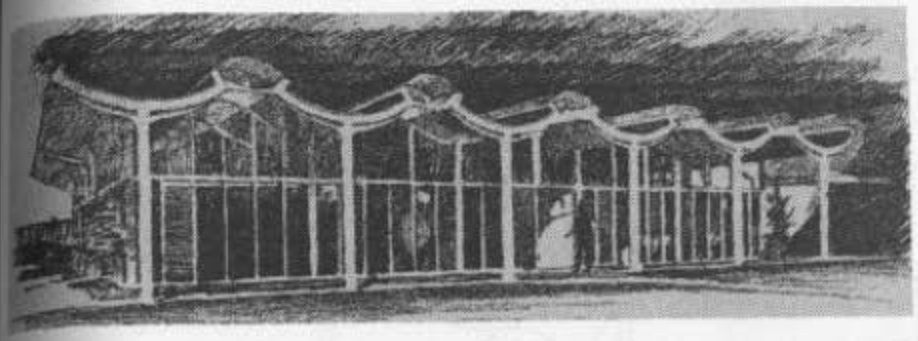
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

به علت اهمیت پنجره‌های سقفی در سازهٔ بام دانستن چگونگی پذیرش نور توسط پنجرهٔ سقفی مفید می‌باشد. در زیر هر پنجره، یک منعکس‌کننده به شکل منحنی (ساخته شده از فولاد ضد زنگ سوراخ دار) حداکثر نور ورودی از بالا به بخش زیر پوسته را منعکس می کند که این نور دوباره به سمت پایین منعکس می شود. بتن در سمت دیگر سوراخ نشده و سطح شیشه‌ای که روی قالب فولادی قرار گرفته، وجود دارد که به انعکاس نور تابیده‌شده به دیوارهای نمایشگاه در زیر کمک می نماید.

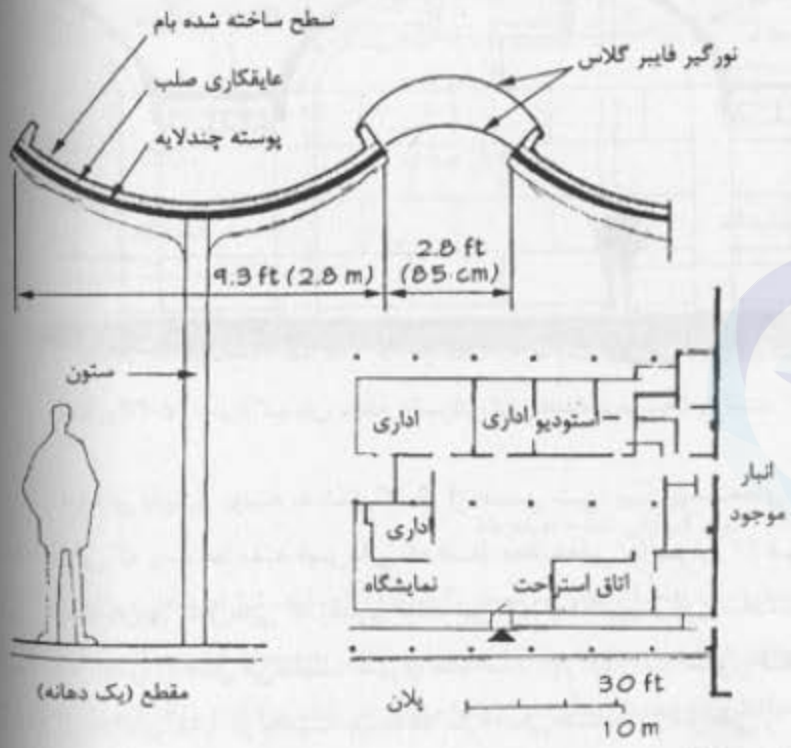
بخشی از نورهایی که از پنجره عبور می نمایند، مستقیماً از بازشوهای منعکس‌کننده عبور کرده ولی به علت ضخامت انها، جزئیات پنجره فقط به طور مستقیم از پایین دیده می‌شود. در زاویهٔ طبیعی دید، پنجره‌ها مستقیم بریده شده‌اند و فقط نور انعکاس یافته عبور می‌نماید که به قسمت‌های پایینی منعکس‌کننده‌ها ظاهری درخشان می‌بخشد.

ساختمان اداری کارخانه تخته چندلایی ایالات متحد

با وجود آنکه جنس اکثر پوسته‌ها بتنی می‌باشد ولی صفحات تختهٔ چندلایی می‌توانند مقاومت کششی و فشاری در همان سطح را داشته باشند و همچنین می‌توانند در یک جهت به شکل استوانه‌ای خم گردند که برای ساخت سازه‌ای پوسته‌ای مناسب می‌باشند. یک ردیف از پوسته‌های استوانه‌ای چوبی معکوس سقفی با بازدهی مناسب سازه‌ای ولی به شکل رویایی برای این ساختمان اداری یک‌طبقه فراهم می نماید (۱۹۶۳: سیاتل، مهندس معمار: جی کرامر، مهندس سازه: آی رادنی). خواستهٔ کارفرما ساختمانی بود که بتواند به نوعی نشان‌دهنده و مبلغ محصول کارخانه نیز باشد در عین اینکه به عنوان یک دفتر کار ساده در کنار انبار موجود قرار گیرد (ناشر ۱۹۶۳) (تصاویر ۲۸-۱۵ و ۲۹-۱۵).



تصویر ۲۸-۱۵ : ساختمان اداری کارخانهٔ تخته چندلایی، ایالات متحد ، نمای خارجی.



تصویر ۲۹-۱۵ : ساختمان اداری کارخانهٔ تخته چندلایی، ایالات متحد، مقطع و پلان.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

یک مدل آزمایشی از سقف این پروژه ، متشکل از یک پوستهٔ پیش‌ساخته از صفحات چوبی نازک با ۳۰ فوت (۹/۱ متر) طول و ۹/۲ فوت ـ ۲/۸ متر) عرض و ۱/۲۵ اینچ (۳۰ میلیمتر) ضخامت ساخته شده است. هر یک از لبه‌های طولی پوسته با یک سخت‌کنندهٔ عمودی مهار شده اند.

عایق‌بندی صلب و پوستهٔ سقف به بخش بالایی اضافه گردیده و بین پوسته‌های استوانه‌ای معکوس صفحات فایبرگلاس پنجره‌های سقفی قرار دارد که در جهت مخالف خم شده و به سخت‌کننده‌ها می‌رسند.

پوسته‌های زین اسبی

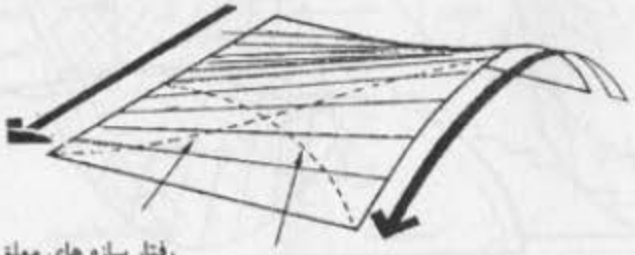
پوسته‌های آنتی‌کلاستیک (Anticlastic) فرم‌های زین اسبی با انحنای متفاوت در هر جهت می باشند. آنها شامل اشکال مخروطی، سهموی هذلولی و شبه‌هذلولی می‌باشند. همچنین دارای فرم‌های گونیایی نیز هستند، زیرا خطوط مستقیم می‌توانند روی سطح خود ادامه یابند.

به طور عکس با حرکت یک خط مستقیم می‌توان یک سطح ایجاد کرد. تناقض آشکار در یک سطح با انحنای مضاعف که به وسیلهٔ خطوط مستقیم ایجاد شده است، پوسته‌های زین‌اسبی را از نظر بصری جالب و برای قالب‌گیری آسان می‌سازد.

ایجاد سطح

مخروط به وسیلهٔ حرکت رفت و برگشت یک طرف خط مستقیم در طول یک مسیر منحنی به وجود می آید (معمولاً یک قوس مدور یا یک سهمی) و حرکت رفت و برگشت انتهای دیگر در طول یک خط مستقیم یا یک منحنی با خیز بیشتر.(تصویر ۳۰-۱۵).

این سطح به وسیله حرکت یک خط مستقیم در طول یک مسیر مستقیم در یک انتها و مسیر منحنی در انتهای دیگر شکل گرفته است



رفتار سازه های معلق (کشش) در طول این خط‌چین

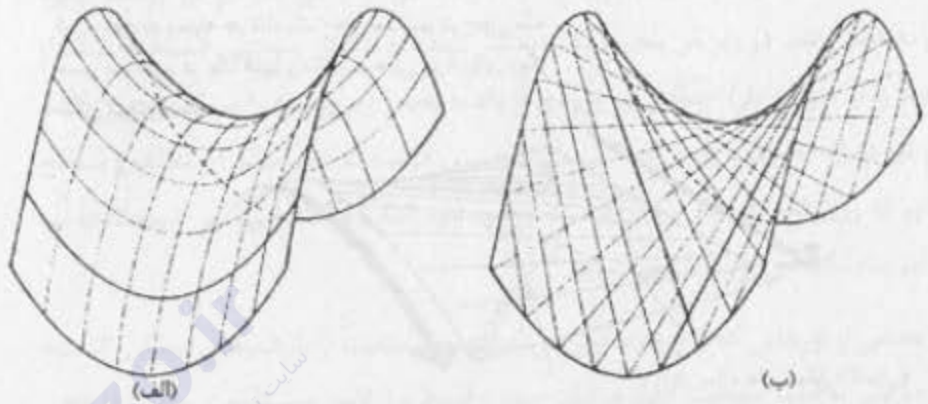
رفتار قوس‌ها (فشار) در طول این خط‌چین

تصویر ۳۰-۱۵ : سطح تولیدشده از مخروط به وسیلهٔ حرکت یک خط مستقیم در طول مسیر منحنی و دیگر انتها در طول خط مستقیم. توجه کنید که مقاطع به صورت قطری بریده شده‌اند و به خطوط مستقیم تولیدشده (خط‌چین) منحنی شده‌اند و فرم زین اسبی کم ارتفاعی را ایجاد می‌نمایند.

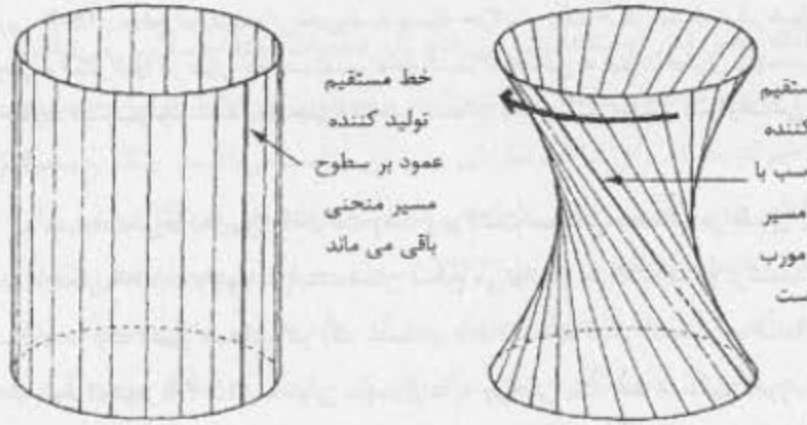
شبه‌هذلولی‌ها (هایپار) با حرکت رفت و برگشت سهمی محدب در طول یک سهمی مقعر با همان انحنا به وجود می‌آیند. همان سطح می‌تواند با حرکت رفت و برگشت یک خط مستقیم در یک مسیر مستقیم در یک سمت و خط مستقیم دیگر (نسبت به خط اول، مایل) ایجاد شود (تصویر ۳۱-۱۵). هذلولی سهموی‌ها با چرخش یک خط مستقیم (مورب تحت یک زاویه) حول یک محور عمودی ساخته می‌شوند. بخش عمودی عبورکننده از این محور، یک هذلولی – سهموی است (تصویر ۳۲-۱۵).

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۱۵-۳۱ : دو شیوه برای ایجاد یک سهموی هذلولی: (الف) به وسیلهٔ حرکت رفت و برگشت سهمی محدب در طول یک سهمی مقعر و (ب) به وسیلهٔ حرکت رفت و برگشت یک خط مستقیم در یک مسیر مستقیم در یک سمت و دیگری در مسیر مستقیم غیرموازی با آن.



تصویر ۱۵-۳۲ : سطح ایجادشده از یک استوانهٔ مدور و یک هذلولی.

رفتار سازه‌ای

به طور معمول، تنش‌ها در پوسته‌های زین اسبی متناسب با جهت انحنا می باشند. برای سقف‌های پوسته‌ای، تنش‌های فشاری منتج از منحنی محدب می‌باشند (عملکرد قوسی)، در حالی‌که تنش های کششی منتج از منحنی مقعر می‌باشند (عملکرد آویز) (تصویر ۱۵-۳۳).

مطالعات موردی پوسته‌های زین اسبی

میدان اسب دوانی زارزوئلا (Zarzuela Hippodrome)

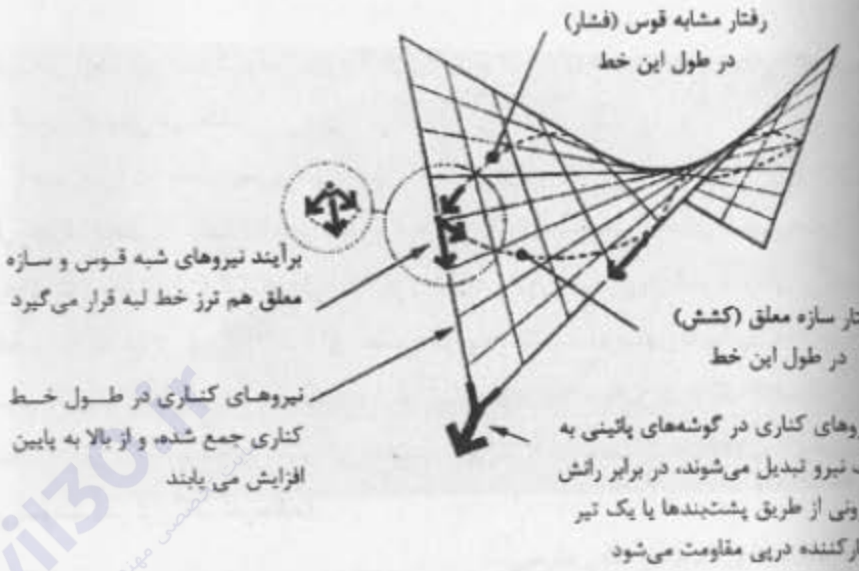
این سازهٔ پوسته‌ای (۱۹۳۵، مادرید، مهندس معمار و مهندس سازه: ئی تروجا) یکی از مشهورترین و زیباترین نمونه‌های کاربرد پوسته‌های چتری شبه‌هذلولی است. وضعیت طره‌ای آن امکان قرار گرفتن ستون‌های تکیه‌گاهی اصلی در پشت جایگاه را فراهم کرده و دید بصری باز و بدون ستونی از دور برای دیدن مسابقات را ایجاد می‌نماید.

یک مجموعه ۳۰ عددی از پوسته‌ها، که در ۳ گروه (۱۲، ۶، ۱۲) شکل گرفته‌اند، به عنوان سایبان جایگاه‌ها به‌کار رفته‌اند. یک عضو مخروطی عمودی به دنبال هر چتر، کشش لازم برای ممانعت از کج شدن پوسته به سمت جلو را فراهم می‌سازد (تروجا، ۱۹۵۸) (تصاویر ۱۵-۳۴ تا ۱۵-۳۸).

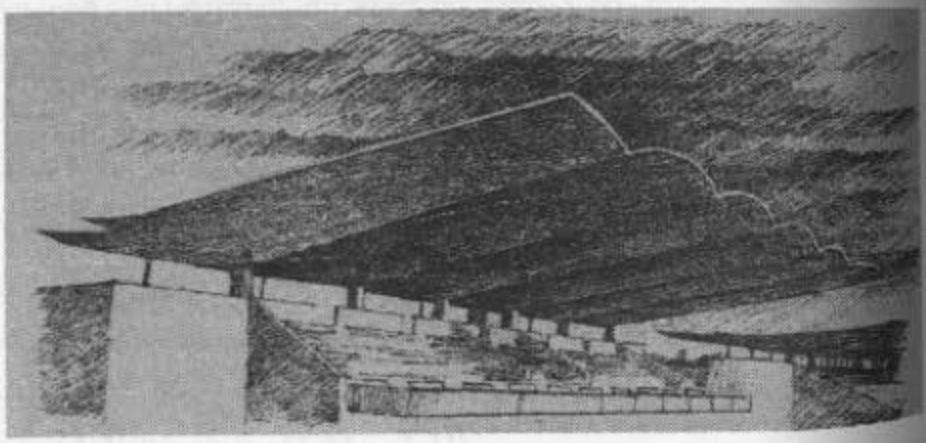
ابعاد دهانهٔ پوسته ۱۶/۵ × ۶۵ فوت (۵ × ۱۹/۸ متر)، با طره‌ای برابر ۴۲ فوت (۱۲/۸ متر) روی جایگاه و ۲۳ فوت (۷ متر) در بالای بخش تفرجگاه پشتی می‌باشد. ضخامت پوسته از ۲ اینچ (۵۰ میلیمتر) در لبه‌های آزاد تا ۵/۵ اینچ (۱۳۷ میلیمتر) در تاج طاق‌ها روی تکیه‌گاه‌های اصلی متغیر است.

http://telegram.me/uadesigngroup

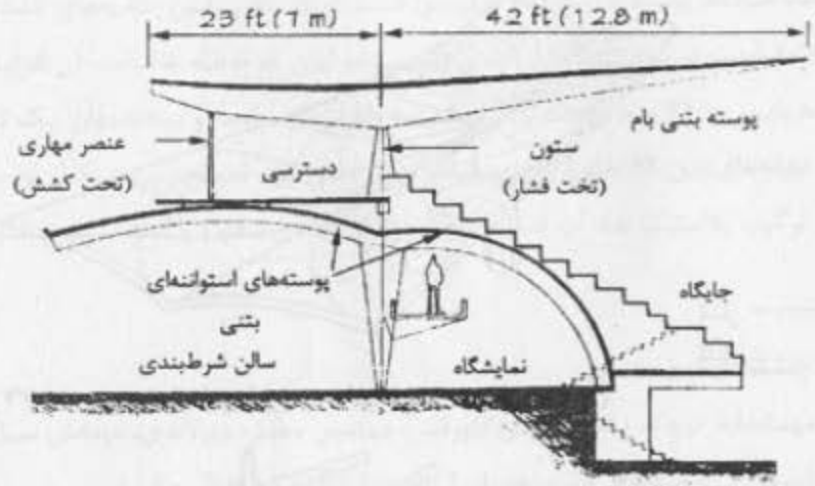
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



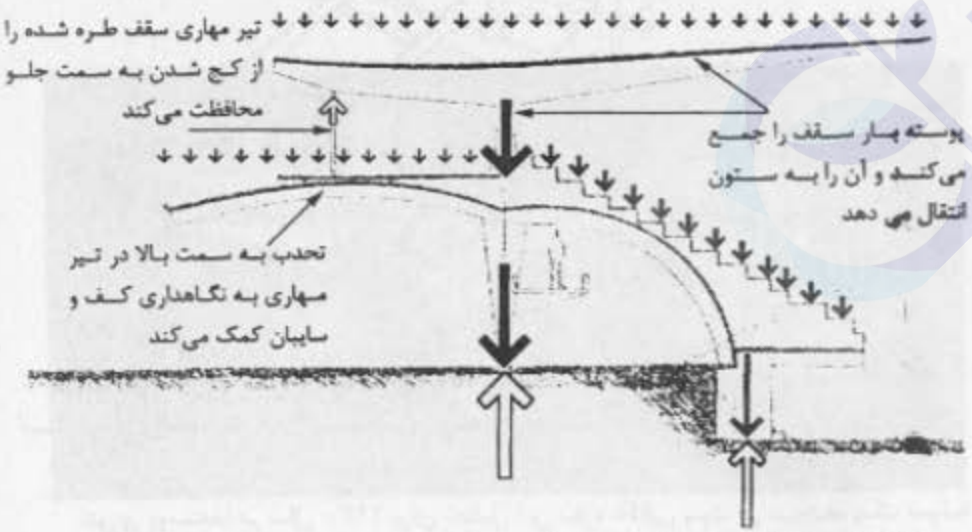
تصویر ۱۵-۳۳ : تنش‌های کششی و فشاری در یک هذلولی با لبهٔ صاف. ایستایی جانبی از طریق تیرهای انتهایی عمودی در بالای گوشه‌ها برای ممانعت از کج شدن فراهم می‌شود.



تصویر ۱۵-۳۴ : میدان اسبدوانی زارزوئلا، جایگاه مرکزی.

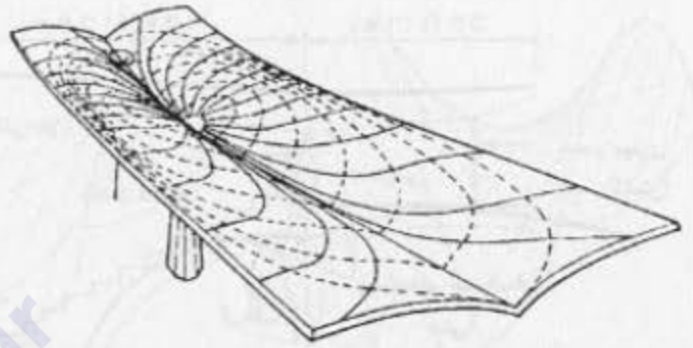


تصویر ۱۵-۳۵ : میدان اسبدوانی زارزوئلا، مقطع.

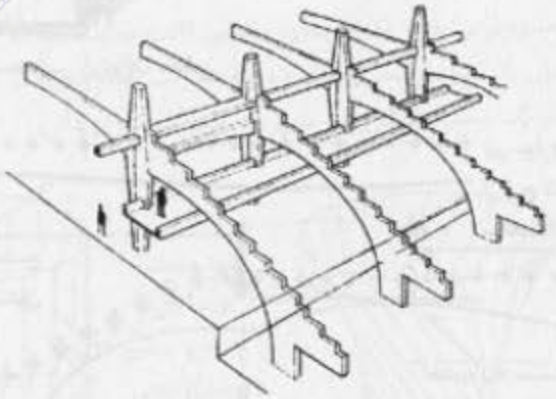


تصویر ۱۵-۳۶ : میدان اسبدوانی زارزوئلا، نمودار مسیر بارگذاری.

http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۱۵-۳۷ : میدان اسبدوانی زارزوئلا، خطوط تنش در پوسته سایبان.



تصویر ۱۵-۳۸ : میدان اسبدوانی زارزوئلا، سازهٔ جایگاه نشان‌دهندهٔ تیرهای به‌کار رفته برای ایجاد ایستایی جانبی است (دال‌های کف، سقف و پوسته بام حذف گردیده‌اند)

تئوری پوسته‌ها در سال ۱۹۳۰ برای تحلیل این سازه ناکافی بود. در نتیجه، یک نمونهٔ اولیه با مقیاس واقعی ساخته شد و مورد آزمایش قرار گرفت تا هنگامی‌که ریزش کامل پیدا کرد. این آزمایش ثابت کرد این سازه ۳ برابر قوی‌تر از میزان مورد نیاز برای تحمل شرایط بارگذاری طبیعی می‌باشد.

این طرح به علت پایداری در چندین بمباران هوایی قابل ستایش می‌باشد (۱۹۳۶)، در طی جنگ داخلی اسپانیا ۲۶ بار مورد حمله قرار گرفت و ترک‌های گسترده‌ای به علت ارتعاشات انفجارات نزدیک به‌محل قرارگیری آن به وجود آمد. ولی از نظر سازه‌ای بی‌عیب باقی ماند و نیاز به میزان کمی ملات برای تعمیر خرابی‌ها داشت. سرستون‌ها برای ایجاد حرکت به سبب تغییرات طولی در اثر تغییرات دما در پوسته‌ها در بالا و پایین باریک گردیده بود و به منظور تأمین پایداری جانبی، تیرهای حجیم ستون‌ها را در نیمهٔ ارتفاع آنها به هم متصل می‌نمودند (در تراز کف تفرجگاه).

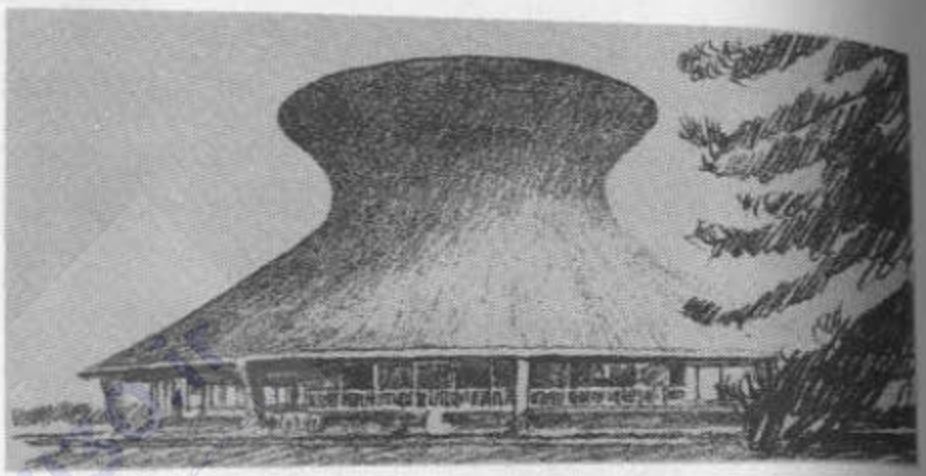
افلاک نمای مک‌دانل Mc Donnell Planetarium

این ساختمان (۱۹۶۳: سنت لوئیز، مونتانا، مهندس معمار: هلموت، اوباتا و کاسابوم، مهندس سازه: آ آلپر) به وسیلهٔ یک پوستهٔ شبه‌هذلولی از بتن مسلح به قطر ۱۶۰فوت (۴۹ متر)، محصور شده است و یک فرم زین اسبی معمولی برای برج‌های خنک‌کنندهٔ دستگاه‌های اتمی به‌کار رفته است که به شکل نیمکره با قطری برابر ۶۰ فوت (۱۸/۳ متر) می‌باشد و هدف از طراحی آن فقط محصور کردن افلاک نما نبوده است.

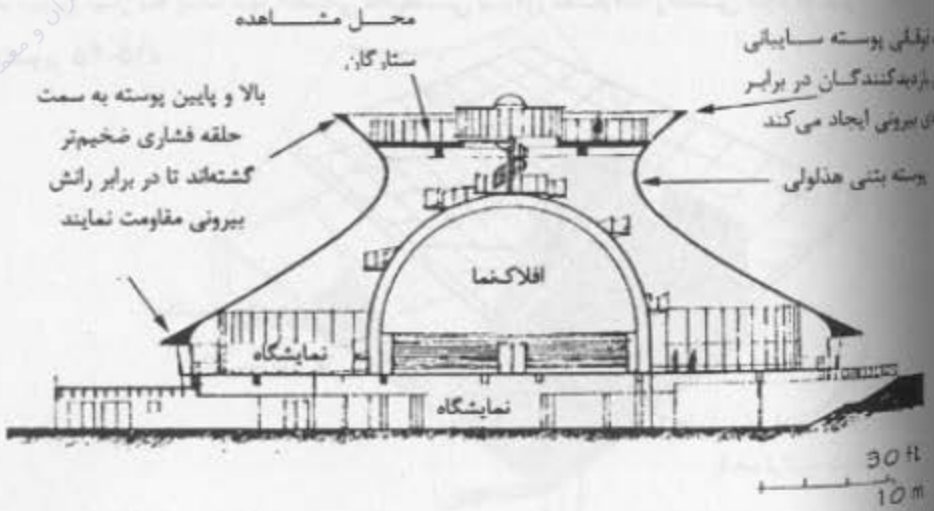
یک راهرو فضای اطراف گنبد افلاک‌نما را احاطه کرده که برای نمایشگاه و سیرکولاسیون به‌کار می‌رود. پلکان حلزونی‌شکلی از اطراف گنبد تا بخش سکوی مشاهدهٔ ستارگان در جایی که تلسکوپ‌ها برای استفاده در شب نصب شده‌اند، بالا رفته است. لبهٔ بالایی پوسته تا تراز چشم امتداد یافته است. فضای دیگر نمایشگاه‌ها و همچنین دفاتر اداری و خدمات پشتیبانی در زیرزمین قرار گرفته‌اند (تصاویر ۱۵-۳۹ و ۱۵-۴۰).

http://telegram.me/uadesigngroup

برای رفتار سازه‌ها با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۳۹-۱۵ : افلاک‌نمای مک‌دانل، نمای خارجی.

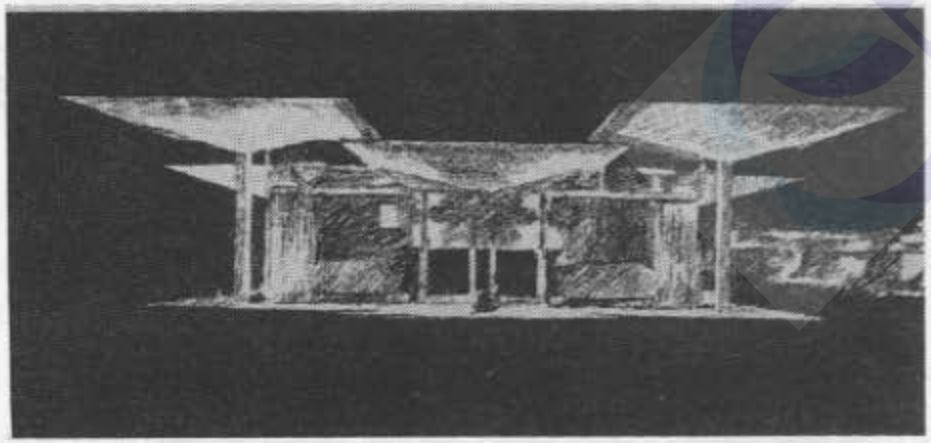


تصویر ۴۰-۱۵ : افلاک‌نمای مک‌دانل، مقطع.

ضخامت متوسط پوسته ۳ اینچ (۷۵ میلیمتر) است که در بالا و پایین حلقه‌های کششی برای ایجاد مقاومت در برابر نیروی رانشی بیرونی در این دو نقطه ضخامت آن افزایش می‌یابد.حلقه پایینی با ۳۶ عدد زبانه (وتر) پس‌کشیده تقویت شده است و به عنوان یک تیر حلقوی که دهانه‌های بین ۱۲ ستون را می‌پوشاند، به‌کار می رود. سطح بیرونی کل پوستهٔ پیرامونی از ترکیب پلاستیک ضد آب است و داخل آن عایق‌بندی شده و با اندود گچ پوشانده شده است.

مهمانخانه چشمه آبگرم معدنی

این مهمانخانهٔ کوچک (۱۹۵۸: ونیز، فلورانس، مهندس معمار: وی‌لاندی، مهندس سازه: دی ساویر) انبوهی از پوسته‌های چتری هایپار را برای سازهٔ سقف به‌کار برده است.

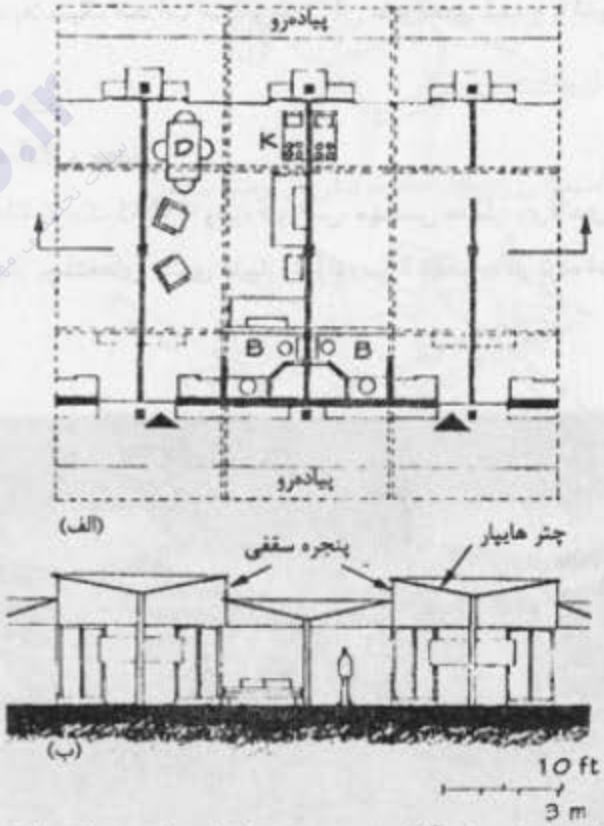


تصویر ۴۱-۱۵ : مهمانخانهٔ چشمه‌های آبگرم معدنی، نمای خارجی دفاتر.

http://telegram.me/uadesigngroup

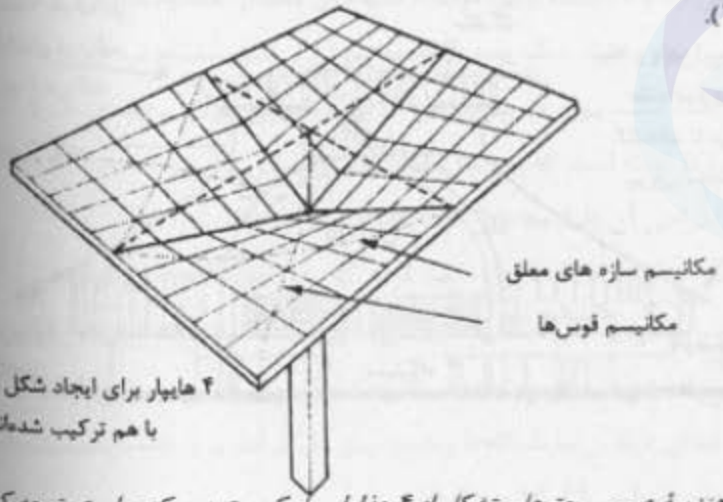
ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

۷۵ پوستهٔ کوچک در یک الگو مانند صفحهٔ شطرنج قرار گرفته‌اند به حدی که ارتفاع پوسته‌های مجاور برای تأمین یک پنجرهٔ بام پیرامونی به ۲ فوت (۶۰ سانتیمتر) می رسد. در نتیجه چترها با شکلی بدون ستون و آزاد شناور به نظر می رسند (ناشر، ۱۹۵۸) (تصاویر ۴۱-۱۵ تا ۴۳-۱۵).



تصویر ۴۲-۱۵ : مهمانخانهٔ چشمه‌های آبگرم معدنی، نمونهٔ واحدهای مهمانسرا: (الف) پلان و (ب) مقطع.

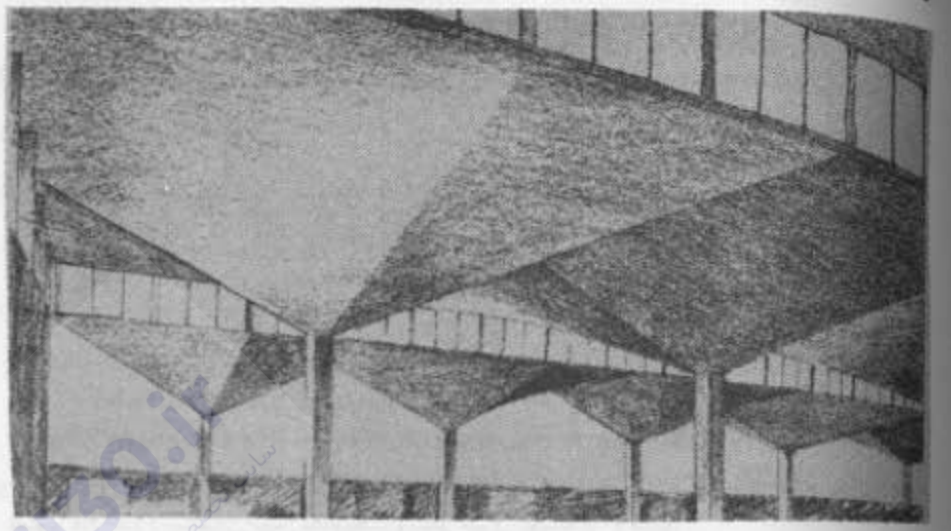
هر پوستهٔ مربعی طول ضلعی برابر ۱۴/۴ فوت (۴/۴ متر) و ضخامتی برابر ۱۲ اینچ (۵۰ میلیمتر) داشته و در محل ریخته شده است و متشکل از ۴ هایپار می‌باشد. تمامی سقف در مرکز فقط به وسیلهٔ یک ستون مربع‌شکل پیش‌ساخته، با اتصالات جوش نگاه‌داشته می‌شوند. این ستون بر روی یک سطح فرعی قرار گرفته که از طریق یک دال ایستایی جانبی لازم در آن تأمین می‌گردد. چنین هایپار چتری شکلی در ایالات متحد جدید بوده و بسیار سریع به شکل وسیعی توسط فلیکس کاندلا (مهمترین طرفدار ساختمان با پوسته‌های نازک) در مکزیک به‌کار رفته است (تصویر ۴۴-۱۵). پروژه‌های کاندلا معمولاً ساختمان‌های صنعتی بوده‌اند که استفاده از این سیستم به سبب نیروی نسبتاً ارزان کارگر، انتخابی اقتصادی بوده (نسبت به هزینهٔ نسبتاً بالای ساختمان‌های فولادی مشابه). کاندلا معمولاً آرایشی متفاوت از ۴ هایپار برای ایجاد یک مربع "گنبد" که بر روی چهارگوشهٔ آن تکیه داشته، به‌کار می‌رود. چنین ترکیبی نیاز به یک تیر اتصالی محیطی برای مقاومت رانشی دارد (فابر، ۱۹۶۳) (تصویر ۴۵-۱۵).



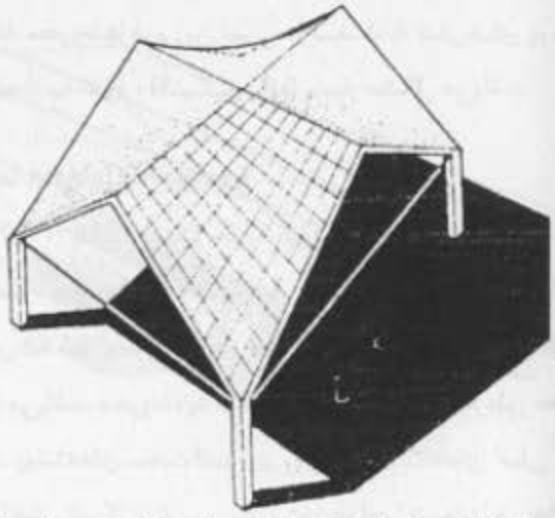
تصویر ۴۳-۱۵ : هندسهٔ عمومی چترها، متشکل از ۴ هذلولی با یک ستون مرکزی است. توجه کنید که لبه مربع (یا مستطیل) بیرونی از خطوط مستقیم تشکیل شده است.

http://telegram.me/uadesigngroup

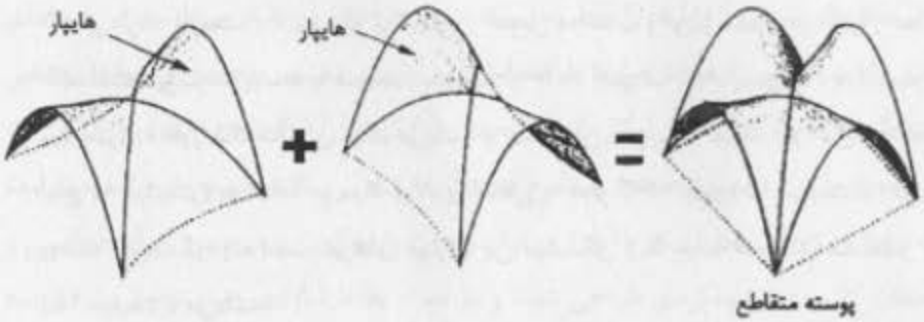
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۴۴-۱۵ : فروشگاه کوپواکان (مکزیک) (۱۹۵۵، مهندس معمار و مهندس سازه: فلیکس کساندلا) استفاده از چترهای هایپار به عنوان سازهٔ سقف.



تصویر ۴۵-۱۵ : گنبد هایپار نیاز به تیر انتهایی پیرامونی برای مقاومت در برابر رانش ایجادشدهٔ قابل گسترش دارد. توجه کنید که خط‌الراس ها مستقیم می‌باشند.



تصویر ۴۶-۱۵ : شکل‌گیری یک پوستهٔ متقاطع از دو هایپار.

رستوران لس مانانتیالیس Los Manantiales

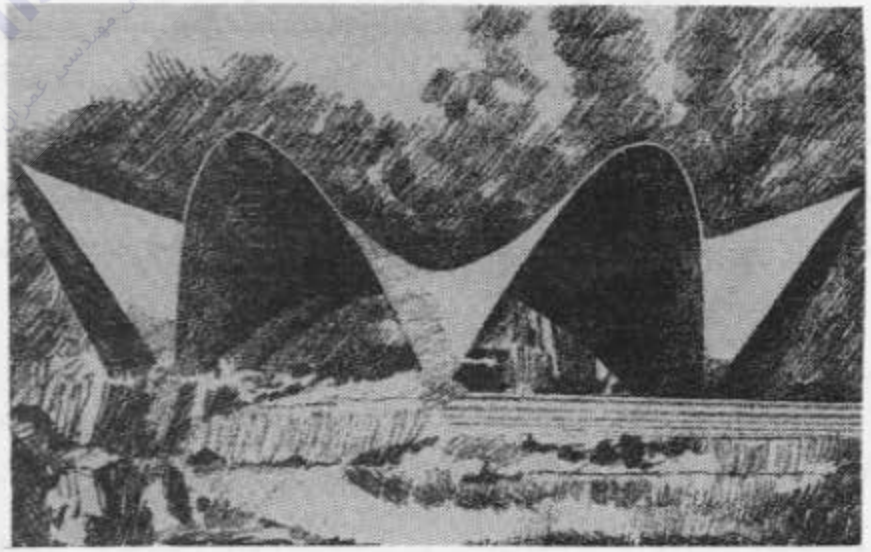
مشابه قوس‌ها، پوسته‌ها هم می‌توانند برای ایجاد شکل‌های متقاطع با هم برخورد داشته باشند. این رستوران (۱۹۵۸: گزوچیمیلکو، مکزیک، مهندس معمار: جی و اف اوردونز، مهندس سازه: اف کاندلا) شاید بزرگترین موفقیت کاندلا در طراحی پوسته‌ها، طاق‌های متداخل هشت‌ضلعی متشکل از چهار هایپار متقاطع می‌باشد. فرم زیبا و معمارانه آن بر روی یک سطح با قطر ۱۵۰ فوت (۴۶ متر) گسترده شده است.

از آنجایی که لبه‌های نازک و مورب پوسته به سطح زمین می‌رسند، منحنی قبل از اینکه دوباره به مسیر رفت‌و برگشتی خود بازگردد، بسرعت تغییر شکل می‌دهد. ارتفاع در مرکز ۱۹ فوت (۵/۸ متر) و در بالای لبهٔ بیرونی به ۳۳ فوت (۹/۹ متر) می رسد (فابر،۱۹۶۳) (تصاویر ۴۶-۱۵ تا ۴۸-۱۵).

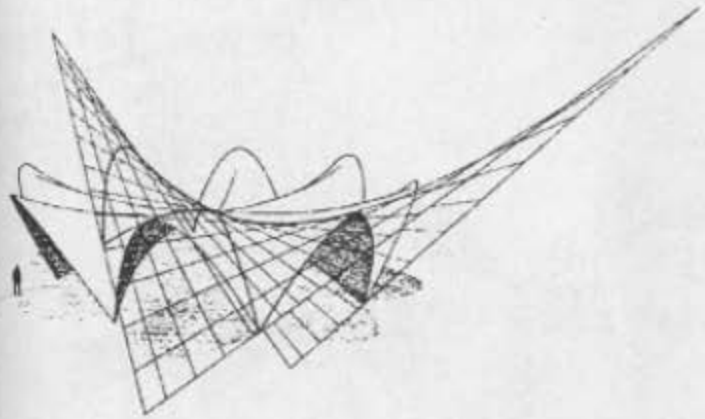
سازهٔ این ساختمان عملکرد قوسی داشته و نیروهای فشاری به متابعت از منحنی محدب در محل‌های تقاطع (خط‌القعرها) جمع می شوند، جایی که با عملکرد قوسی به تکیه‌گاه‌ها منتقل شده‌اند. نیروی رانش بیرونی در پایه با عملکرد قوسی که از طریق تیرهای

http://telegram.me/uadesigngroup

مهار فولادی ایجاد می شوند در پی‌ها خنثی می‌گردند. در نتیجه، پی‌ها فقط بارهای عمودی را نگاه‌می‌دارند. طره‌ها به وسیلهٔ ترکیبی از قوس محدب و آویز مقعر در طول خطالرأس نگاه‌داشته می‌شوند. پوسته با ضخامت متفاوت از ۱۰/۶ اینچ تا ۱/۲ اینچ (۱۷ میلیمتر تا ۳۴ میلیمتر) به طرز شگفت‌آوری نازک می‌باشد و تمامی آن به وسیلهٔ شبکهٔ فولادی به قطر ۰/۳ اینچ (۸ میلیمتر) به اضافهٔ دو میلهٔ فولادی اضافی به قطر ۰/۶۳ اینچ (۱۵ میلیمتر) در اطراف پوسته تقویت گردیده است. تیرهای مهاری، پی متشکل از ۵ میلهٔ فولادی به قطر ۱ اینچ (۲۵ میلیمتر) می‌باشند.



تصویر ۴۷-۱۵ : رستوران لوس مانانتیالس، نمای خارجی.



تصویر ۴۸-۱۵ : رستوران لوس مانانتیالس، شکل‌گیری پوسته از ۴ هایپار.

مخروط‌ها

مشابه هایپارها، مخروط‌ها فرم زین اسبی دارند. اما، تنش‌های پوسته‌ای را نمی‌توان بسادگی یک هایپار محاسبه نمود . قالب‌گیری آنها بسیار مشکل می‌باشد.

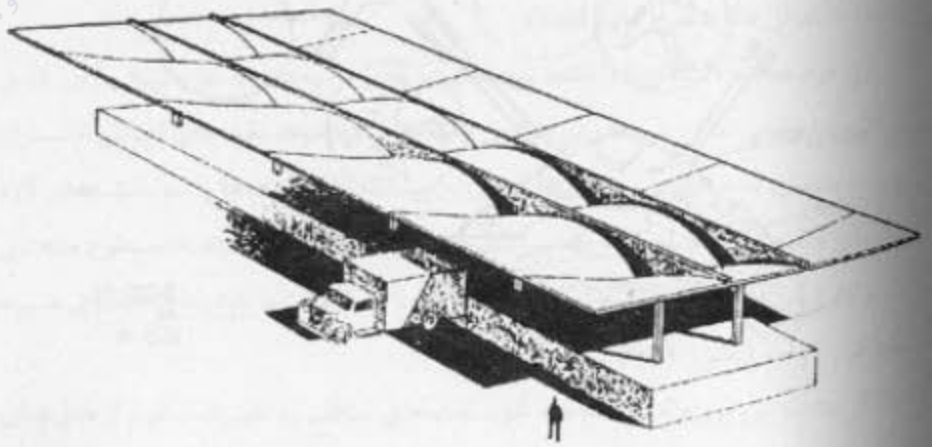
بارانداز لچریا سیسما Lecheria Ceisma

این بارانداز (۱۹۵۲: پتلال نپانتلا، مکزیک، مهندس معمار: سی ریکامیر، مهندس سازه: اف کاندلا) یکی از معدود نمونه‌های ساخته‌شده از پوسته‌های مخروطی می‌باشد. سقف، ترکیبی از مخروط‌های طره‌ای (به شکل سایبان روی محل بارگیری کامیون) و طاق‌های استوانه‌ای (روی دهانهٔ مرکزی) می‌باشد. مخروط، به علت مقطع نوک باریک به طور معمول برای کاربرد طره مناسب می‌باشد. پوسته‌های سخت‌کننده بر روی این پوسته‌های اصلی به منظور مقاومت در برابر رانش و نیز کاهش تمرکز تنش بر روی ستون‌ها اجرا شده‌اند، در حالی که قسمت‌های قابل‌مشاهده در زیر سقف با همان وضعیت اصلی باقی مانده‌اند(تصویر ۴۹-۱۵).

http://telegram.me/uadesigngroup

شیب دار بودن مخروط‌ها نیاز به یک قالب‌بندی پیچیده‌ای دارد زیرا در حقیقت سطح مورد نظر فقط در یک جهت صاف و بدون انحنا می‌باشد. کاندلا سعی بر خم کردن تخته‌های قالب در جهت انحنا نمود، ولی قالب‌ها از شکل اصلی خارج شدند. قالب‌های جدید با قوس‌های تکیه‌گاهی متقاطع و صفحات مستقیم که به طرز نرمی نوک تیز می‌گردیدند، ساخته شدند و در جهت‌های مورد نظر قرار می گرفتند. این شیوه ساخت در عمل بسیار خسته کننده بوده است.

به علت وجود این مشکلات، هنگامی که وی یک شیوهٔ ساده برای تحلیل، هایپارها را ابداع نمود، دیگر از فرم مخروطی استفاده نکرد (بجز یک سقف معلق روی کافه تریای آزمایشگاه‌های لدرل). در حال حاضر نمونه‌های سقف‌های مخروطی بندرت دیده می‌شوند.



تصویر ۴۹-۱۵ : سقف بارانداز متشکل از مخروط‌های طره‌ای و پوسته‌های استوانه‌ای.

پوسته‌های نامنظم (بی‌قاعده)

طاق‌های سنتی که بارها را فقط به وسیلهٔ تنش‌های فشاری نگاه می‌دارند، با فرم‌های منحنی طنابی که مستقیماً به شرایط بارگذاری پاسخ می دهند، محصور شده‌اند. توانایی پوسته‌ها برای مقاومت کششی امکان ایجاد فرم‌های آزادتری را فراهم می‌نماید، مادامی که اغلب پوسته‌ها در محاسبات عددی سطوح ایجادشده که در بالا توضیح داده شد متفاوت می‌باشند، پوسته‌های نامنظم (فرم آزاد) می‌توانند جهت پاسخگویی به حس زیبایی‌شناسی و ملاحظات کاربردی و عملکردی طراحی شوند و باز هم از لحاظ سازه‌ای رضایت‌بخش باشند. به طور معمول، چنین فرم‌هایی در عباراتی از فرم‌های پوسته‌های غیرمنظم (بی‌قاعده) شکل‌گرفته‌اند، درک شده‌اند و تحلیل گردیده‌اند.

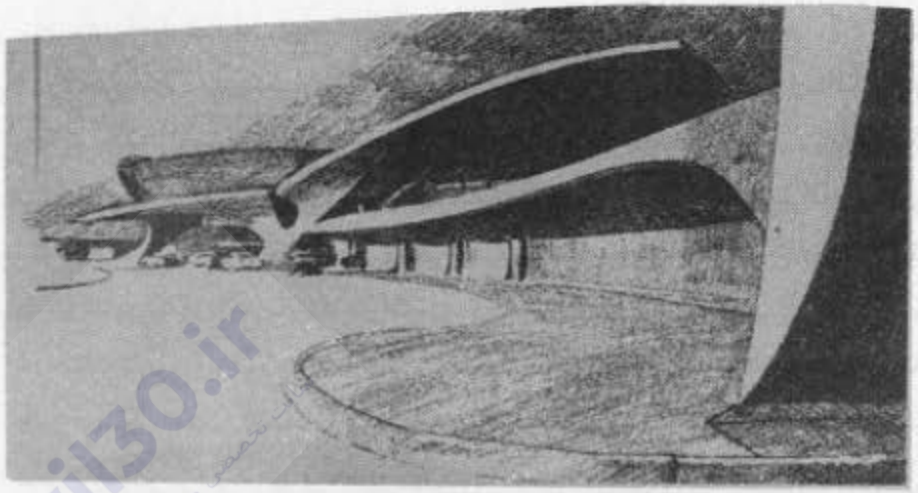
مطالعات موردی پوسته‌های نامنظم

ترمینال TWA

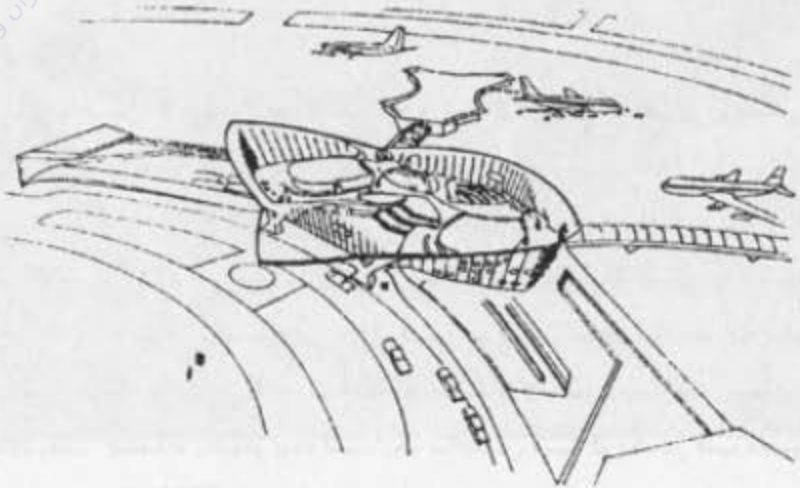
این ساختمان در فرودگاه بین‌المللی کندی قرار گرفته است. ترمینال بین‌المللی حمل و نقل هوایی (۱۹۶۲: نیویورک، نیویورک، مهندس معمار: ارو سارنین و همکاران، مهندس سازه: آمان و ویتنی). طراحی آن را سارنین این گونه بیان می‌کند :" برای دستیابی به سفری دلچسب" (ناشر، ۱۹۶۲). فرودگاه کندی (قبلاً به نام ایدل وایلد)، اولین (و شاید آخرین) فرودگاهی است که دارای ترمینال‌های جدا از هم که برای تعیین مشخصات محموله‌های جداگانه ساخته شده بودند، می‌باشد. نتیجهٔ آن یک "زد و خورد معمارانه" میان طرح‌ها و شیوه‌های رقابت کننده با یکدیگر بوده است. یک ساختمان نسبتاًکوچک در قلب مجموعه‌ای از ساختمان‌ها، ترمینال TWA به طور ساده جذاب‌ترین ساختمان از لحاظ بصری می‌باشد (ناشر۱۹۶۲،۱۹۵۸) (تصاویر ۵۰-۱۵ تا ۵۲-۱۵).

http://telegram.me/uadesigngroup

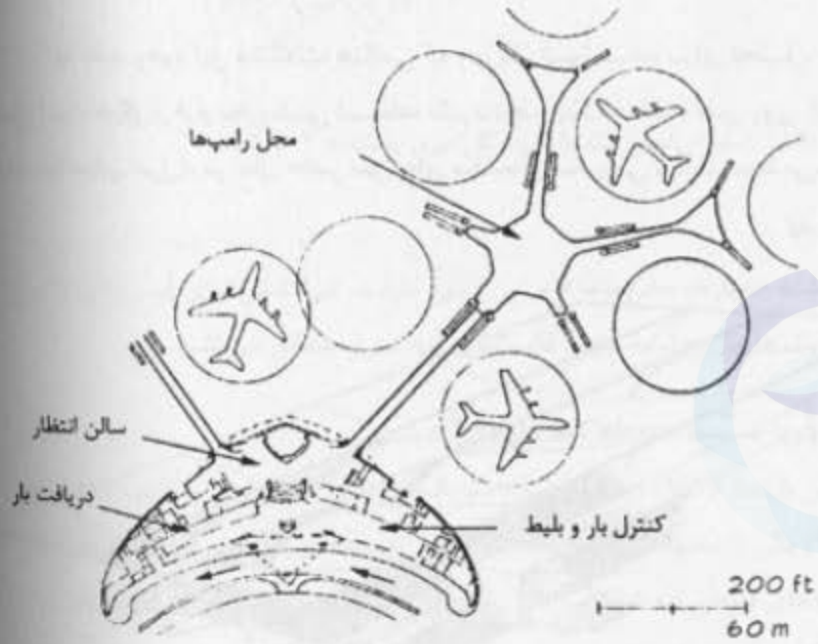
ساختمان اصلی شبیه به پرنده‌ای بزرگ که آمادهٔ پرواز می‌باشد، متشکل از ۴ پوسته بتنی است که روی چهار ستون Y شکل قرار گرفته‌اند. هر پوسته از پوستهٔ دیگر به وسیلهٔ یک ردیف از پنجره‌ها جدا شده است. دو پوستهٔ طاقی بزرگتر از روی اعضای تکیه‌گاهی بلند شده‌اند. پوسته‌های مجاور و کوچکتر برای امکان حرکت رفت و برگشت پوسته‌های بزرگتر، پایین‌تر قرار گرفته‌اند.



تصویر ۱۵-۵۰ : ترمینال خطوط هوایی TWA، نمای خارجی.



تصویر ۱۵-۵۱ : ترمینال خطوط هوایی TWA، مقطع پرسپکتیو.



تصویر ۱۵-۵۲ : ترمینال خطوط هوایی TWA، پلان.

http://telegram.me/uadesigngroup

در مجموع آنها مجموعه‌ای زیبا از ۷۰۰ تن (۶۳۵ تن متریک) فولاد و ۴۰۰۰ یارد مکعب (۳۰۵۸ متر مکعب) از بتن سبک می‌باشند. ضخامت بام از ۷ اینچ (۲۲۵ میلیمتر) در کنار تیرهای کناری تا ۱۱ اینچ (۲۸ سانتیمتر) در طول تاج تا ۴۰ اینچ (۱ متر) در محل اتصال چهار بال ساختمان متغیر می‌باشد.

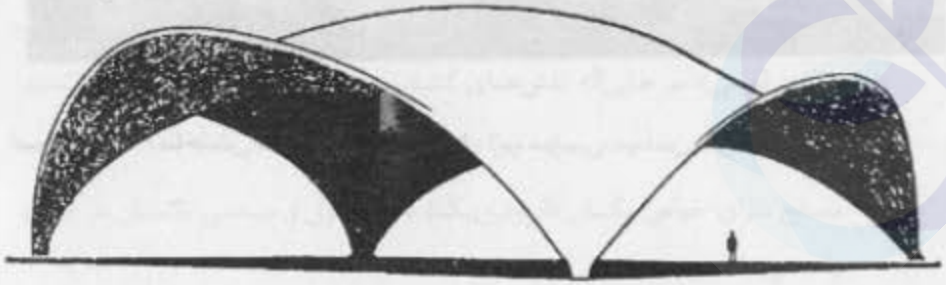
در محل پشت‌بندها ضخامت سقف به حدود ۳ فوت (۹۱۴ سانتیمتر) می‌رسد. در چهار منطقهٔ انتقالی، جایی که تقویت‌های فولادی برای انتقال بار مرده ۶۰۰۰ تنی (۵۴۴۲ تن متریک) سقف به پشت‌بندها کافی می‌باشند، میله‌های فولادی به قدری به هم نزدیک بودند که باید یک نظم و ترتیب مشخص برای تقاطع میلگردها پیروی می‌شد تا گروه میلگردها بتوانند در مقطعی به عرض ۱۳۵ اینچ (۸۹ سانتیمتر) قرار گیرند. این نکته باید مورد توجه قرار گیرد که در این طرح در ابتدا زیبایی شناسی نسبت به ملاحظات سازه‌ای ارجحیت داشته است. به همین علت ضخامت پوسته‌ها و ارتفاع تیرهای کناری در مقایسه با این نوع سازه‌ها نسبتاً زیاد می‌باشد (به عنوان مثال، طرح های کاندلا).

این فرم مجسمه‌گونهٔ زیبا و ساده، پیچیدگی بی‌نظیر قالب‌بندی مورد نیاز برای خلق چنین اثری را بخوبی نشان می‌دهد. در طراحی اولیه به شکل نمونه، نقشه‌های اجرایی معماری منتج از نمونه‌های ساخته‌شده بوده است. پس از آن پیمانکار، این نقشه‌ها را به نقشه‌های لازم برای اجرای قالب‌بندی تبدیل کرد. یک سیستم داربست خاص برای ایجاد سطوح منحنی مرکب برای شکل دادن با اختلافی کمتر از ۰/۲۵ اینچ (۶ میلیمتر) به نقشه‌های معماری مورد استفاده قرار گرفت (ناشر، ۱۹۶۰).

اگر مشابه این پروژه امروزه ساخته شود، نقشه‌های ساخت به طور مستقیم از مدل‌های سه‌بعدی کامپیوتری به دست می‌آیند، ولی پیچیدگی قالب‌بندی و تعداد کارگران نصب آن باقی می‌مانند. تمامی اینها عواملی هستند که طراحی و ساخت چنین ساختمان‌هایی را مشکل می‌سازند و دلیلی بر اینکه پوسته‌ها با وجود زیبایی که در ساختمان ترمینال TWA دارند، هنوز ناشناخته باقی مانده‌اند.

هاینس ایسلر Heinz Isler

یکی از پیشگامان استفاده از پوسته‌ها، مهندس سوئیسی "هاینس ایسلر" می‌باشد. شیوهٔ وی در طراحی استفاده از نمونهٔ فرم منحنی طنابی، متشکل از یک پوستهٔ معلق که سپس سخت شده و معکوس گردیده برای تعیین شکل بهینهٔ یک گنبد پوسته‌ای نازک بوده است. تجربیات اولیهٔ ایسلر (در سال ۱۹۵۵) استفاده از پارچه‌های مرطوب آویزان فرم‌های زنجیرواره بیرونی که در زمستان امکان یخزدگی را فراهم می‌نمود، سپس وارونه کردن آن و مطالعهٔ شکل به دست آمده است. مطالعات اخیر استفاده از پوسته‌های همگرا (با طول و خصوصیات سختی برابر در تمام جهات) و سخت کردن آنها با رزین (صمغ) می‌باشد.

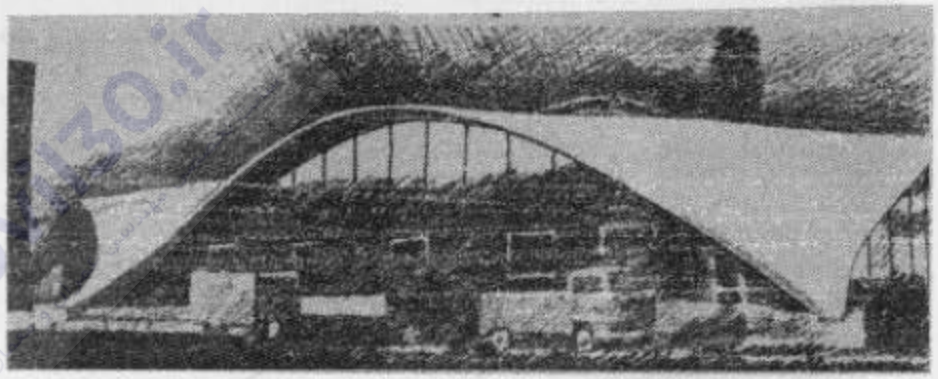


تصویر ۵۳-۱۵ : مرکز گیاهشناسی ویس (۱۹۶۱، سولرتون، سوئیس، مهندس سازه : هاینس ایسلر).

با وجود آنکه این قانون بخوبی فهمیده شده است (و در شروع قرن جدید به وسیلهٔ آنتونیو گائودی برای تعیین شکل نمازخانه کولونیا گوئل به‌کار رفته)، تکنیک‌های دقیق ایسلر، وی را به فهمی وسیع‌تر از شرایط لبه‌ها و فرم‌های ایده‌آل برای حل آنها راهنمایی کرده‌اند

http://telegram.me/uadesigngroup

(تصویر ۵۳-۱۵). بنابراین، مادامی که لبه‌های پوسته‌ها در طرح‌های ایسلر از یک هندسهٔ ساده نشأت می‌گیرند، آنها به طور کامل سازگار با تنش‌های موجود در لبه‌های پوسته می‌باشند. پوسته‌های بسیار نازک تحت شرایط بارگذاری بیشتر، فقط تحت فشار باقی می‌مانند و هیچ‌گونه ترک‌های کششی در اکثر پوسته‌ها دیده نمی‌شود. در نتیجه، این پوسته‌های زیبای سقف از آسیب‌دیدگی مصون باقی می‌مانند (ایسلر۱۹۹۴، رم و اشناک ۱۹۸۶) (تصویر ۵۴-۱۵).



تصویر ۵۴-۱۵ : ساختمان شرکت سیسیلی (۱۹۶۹، ژنو، سوئیس، مهندس سازه : هاینس ایسلر).

خلاصه مطالب

۱- پوسته، سازه‌ای با سطح منحنی نازک می‌باشد که بارها را بـه تکیـه‌گاه‌هـا فقـط بـه وسیلهٔ کشش، فشار و برش منتقل می‌نماید. پوسته‌ها از طاق‌های سنتی بـه وسـیلهٔ قابلیت آنها برای مقاومت کششی متمایز می‌گردند.

۲- اشـکال سین‌کلاسـتیک (synclastic) (گنبدهـا) دارای انحنـای مضـاعف هسـتند و خطوط انحنای مشابه در هر جهت دارند.

۳- سطوح قابل توسعه دارای یک انحنا می‌باشـند، در یـک جـهت مسـتقیم بـوده و در جهت دیگر منحنی می‌باشند و می‌توانند از طریق خمش یـک صفحـهٔ صـاف شـکل بگیرند. مخروط‌ها و استوانه‌ها قابل توسعه می‌باشند.

۴- پوسته‌های آنتی‌کلاستیک (Anticlastic)، فرم‌های زین اسبی با انحنای متفـاوت در هر جهت می باشند. آنها شامل اشکال مخروطـی، سـهموی هذلولـی و شـبه‌هذلولی می‌باشند.

۵- سطوح با فرم آزاد، آنهایی هستند که از محاسبات عددی منتج نگردیده‌اند.

۶- گنبد، سطوح دوران‌یافته‌ای است که به وسیلهٔ چرخش یک خط منحنی حـول یـک محور به دست می آید.

۷- خطوط قوسی‌شکل (شناخته شده به عنوان نصف‌النهار) بخش‌های عمودی (طولـی) حول یک گنبد می‌باشند. تحت بار یکنواخت، گنبـد تحـت فشـار در طـول خطـوط قوسی در هر نقطه قرار می‌گیرد. در یک گنبد نیمکره، به علـت اینکـه ایـن خطـوط

http://telegram.me/uadesigngroup

قوسی نیمدایره می‌باشند، تمایل برای پایداری گنبد در بالا و خمش رو به بالا در بخش پایین وجود دارد.

۸- حلقه‌ها، بخش‌های افقی یک گنبد هستند (تماماً به صورت دایره). بزرگترین آنها خط استوا می‌باشد. در یک پوستهٔ گنبدی (که در برابر کشش مقاومت دارد) در برابر این تمایل شکست رو به بالا از طریق کشش حلقوی در طول خطوط قرار گرفته در زیر زاویهٔ ۴۵ درجه بالای خط افق مقاومت می شود. به همین دلیل، گنبدهای کروی توخالی فقط فشار حلقوی دارند، در حالی‌که گنبدهای کروی با ارتفاع بیشتر دارای فشار حلقوی بالای زاویه ۴۵ درجه و کشش حلقوی در قسمت پایین هستند.

۹- مشابه قوس‌ها، تمامی گنبدها ایجاد رانش بیرونی می‌نمایند. یک حلقهٔ کششی پیرامونی ممکن است برای مقاومت در برابر رانش در پوسته‌های گنبدی توخالی به‌کار رود.

۱۰- این نوع از پوسته‌ها معمولاً در گوشه‌ها دارای تکیه‌گاه می‌باشند و در یک جهت عمل می‌کنند (یا ترکیبی از هر دو جهت). با پوسته ای که به عنوان دال عمل کرده و فاصله بین قوس ها را می پوشاند، هر انتها را می‌توان به هر قوس سخت کرد، این اولین روش است. دومین روش برای آنکه لبه طولی پایین‌تر بهتر سخت بشود این است که از پوسته‌های نازک‌تر که مانند مجموعه‌ای از قوس‌های مجاور هم رفتار کرده و فاصله بین تیرهای کناری را می پوشانند.

۱۱- این نوع پوسته‌ها معمولاً در گوشه‌ها دارای تکیه‌گاه می باشند و مانند تیرهای بزرگ در جهت طولی عمل می‌نمایند. در نتیجه تنش‌ها در این‌گونه پوسته‌ها مشابه تنش‌های خمشی در یک تیر است، بخش بالایی در سرتاسر طول پوسته تحت فشار در حالی که، بخش پایین تحت کشش می باشند.

۱۲- مخروط به وسیلهٔ حرکت رفت و برگشت یک طرف خط مستقیم در طول مسیر منحنی به وجود می‌آید (معمولاً یک قوس مدور یا یک سهمی) و حرکت رفت و برگشت انتهای دیگر در طول یک خط مستقیم (یا یک منحنی با خیز بیشتر).

۱۳- شبه‌هذلولی‌ها (هایپار) با حرکت رفت و برگشت سهمی محدب در طول یک سهمی مقعر با همان انحنا به وجود می‌آیند. همان سطح می‌تواند با حرکت رفت و برگشت یک خط مستقیم در یک مسیر مستقیم در یک سمت و خط مستقیم دیگر (نسبت به خط اول، مایل) ایجاد شود.

۱۴- تنش‌ها در پوسته‌های زین اسبی متناسب با جهت منحنی می‌باشند. برای سقف‌های پوسته‌ای، تنش‌های فشاری منتج از منحنی محدب می‌باشند (عملکرد قوسی)، در حالی‌که تنش‌های کششی منتج از منحنی مقعر می‌باشند (عملکرد آویز).

۱۵- مصالح دارای خواص یکسان (ایزوتروپیک) دارای طول و سختی یکسان در تمام جهات می باشند.

http://telegram.me/uadesigngroup

فصل ۱۶
سازه‌های ورق تاشده

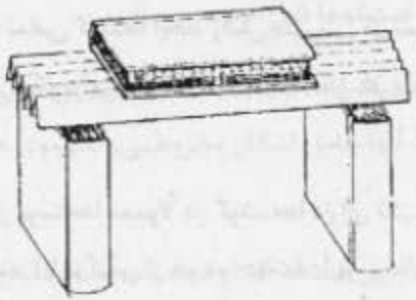
استفاده از سطوح نازک و تخت برای تحمل نیروها به ساختمان‌هایی با مقیاس کوچک محدود می‌شود. سختی و مقاومت این سطوح را می‌توان به وسیلهٔ تاکردن آنها که ارتفاع مؤثر مقطع و در نتیجه مقاومت خمشی را افزایش می‌دهد، زیاد کرد (تصویر ۱-۱۶).

سازهٔ ورق تاشده سطح صاف تاشده‌ای است که بارها را به وسیلهٔ کشش، فشار و برش و خمشی که فقط در بین بخش‌هایی تاشده سطوح اتفاق می افتد به تکیه‌گاه ها انتقال می‌دهد. از آنجا که فضای بین بخش‌هایی تاشده در مقایسه با دهانه کوچک می‌باشد، نیروهای خمشی در دال در مقایسه با نیروهای کششی و فشاری کوچک می‌باشند. ورق‌های تاشده سازه‌هایی مؤثر با بازدهی سازه‌ای بالا می‌باشند (مانند سقف‌ها) جایی که بار گذاری یکنواخت و گسترده است و استفاده از سطوح ناهموار در سقف مناسب و عملی می‌باشد. بیشتر این سازه‌ها از بتن مسلح ساخته می‌شوند، گرچه چوب، فلز و پلاستیک‌های مسلح‌شده با شیشه در جایی که دهانه‌های بزرگ مورد نیاز نمی‌باشند نیز بکار می‌روند.

کارآیی ورق‌های تاشده با پوسته‌های منحنی برابر می‌باشد، ورق‌های تاشده نسبت به سازه‌های مسطح ترجیح دارند و مشابه پوسته‌های دارای انحنا، معمولاً به عنوان سازه سقف‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در تئوری، این نوع سازه‌ها به دلیل نیاز به مقاومت در برابر خمش ناحیه‌ای بین بخش‌های تاشده نیاز به ضخامت بیشتر در مقایسه با پوسته‌ها دارند. در عمل، حداقل ضخامت سازه‌های ورق تاشده به وسیله ضخامت لازم برای قرار گرفتن میلگردهای فولادی در بتن و برای تأمین شرایط آئین نامه‌ها و مقررات ساختمانی تعیین می‌گردد.

رفتار سازه‌ای

در بیشتر جنبه ها رفتار سازه‌ای ورق‌های تاشده مشابه پوسته‌های استوانه‌ای است و رفتار آنها به طور قابل ملاحظه‌ای بستگی به طول نسبی آنها دارد. ورق‌های تاشده کوتاه اندازه‌های کوچکتری در امتداد محور طولی دارند، در حالی که نوع بلند آنها ابعاد بیشتری در همان جهت دارند.



تصویر ۱-۱۶ : تا شدگی به میزان زیادی ارتفاع را در مصالح نازک افزایش می‌دهد (مقاومت خمشی نیز به همان نسبتافزایش می‌یابد).

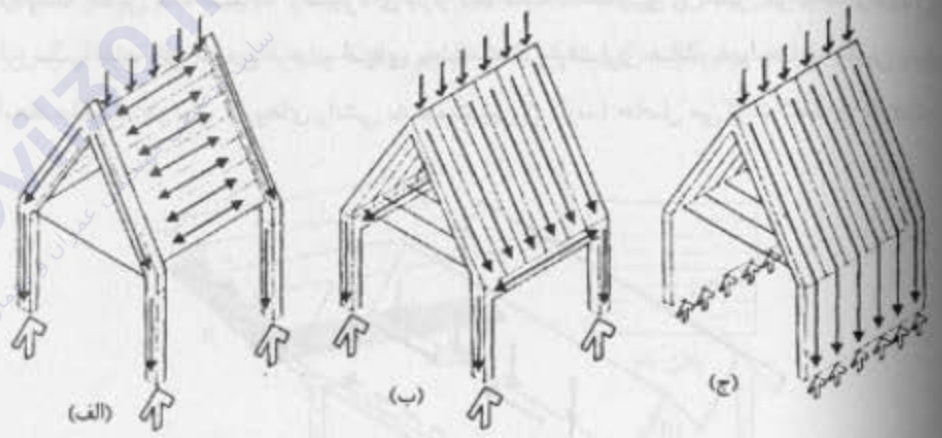
ورق‌های تاشده کوتاه

این سیستم هم مانند سیستم‌هایی که قبلاً توضیح داده شد در گوشه‌ها دارای تکیه‌گاه است و در یک جهت از دو جهت عمل می‌نماید (یا ترکیبی از هر دو). اولین شیوه آن است که هر انتها به یک قاب سه‌مفصلی متکی شود و صفحات تاشده مانند دال‌هایی که فواصل بین

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

قاب‌های کناری را می‌پوشانند عمل نمایند. روش دوم این است که در لبه‌های طولی پایین سقف از تیرهای مقاوم استفاده شود و ورق‌های تاشده نازک‌تر مانند مجموعه‌ای از قاب‌های سه‌مفصلی مجاور که فاصلهٔ بین تیرها را می‌پوشانند عمل نمایند (تصویر ۲-۱۶). به علت ضرورت استفاده از حداقل ضخامت لازم برا ی ساخت و تأمین شرایط آئین‌نامه‌ها و مقررات ساختمانی که بیش از نیازهای سازه ای برای ورق‌های تاشده کوتاه می‌باشد اکثر آنها بازدهی سازه‌ای مؤثری ندارند و بنابراین چنین شیوه‌ای بندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

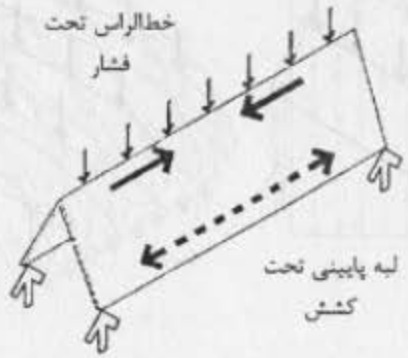


تصویر ۲-۱۶ : ورق‌های تاشده کوتاه به عنوان (الف) دال‌هایی که فاصله بین قاب‌های سه‌مفصلی را می‌پوشانند، (ب) مجموعه‌ای از قاب‌های سه‌مفصلی مجاور که فاصله بین تیرهای کناری را می‌پوشانند، رفتار می‌نماید. این سیستم را با (ج) یک سقف شیروانی که باید در سراسر طول پی به طور محتد نگاه‌داشته شود، مقایسه کنید.

ورق‌های تاشده بلند

این نوع ورق‌ها معمولاً در گوشه‌ها دارای تکیه‌گاه می‌باشند و مانند تیرهای بزرگ در جهت طولی نیروها را منتقل می‌نمایند. در نتیجه تنش‌ها در ورق تاشده مشابه تنش‌های خمشی در یک تیر می‌باشند، بخش بالایی در امتداد طولی تحت فشار می‌باشد، در حالی‌که بخش پایین تحت کشش است (تصویر ۳-۱۶). عملکرد دیافراگم در صفحهٔ نازک مقاومت لازم در برابر برش درونی افقی و عمودی ناشی از عملکرد خمشی را فراهم می‌نماید (تصویر ۴-۱۶).

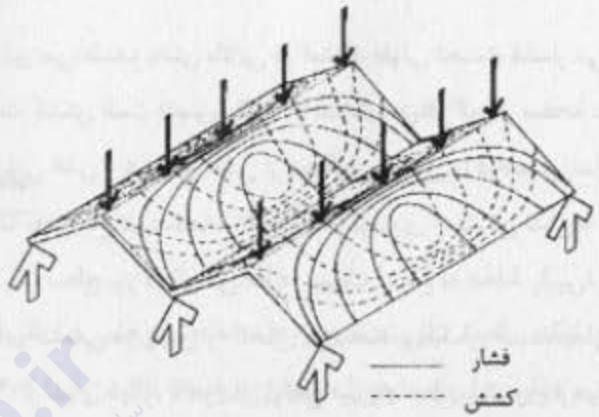
نسبت دهانه به ارتفاع در صفحات تاشدهٔ بلند بر روی گسترش تنش‌ها و همچنین بازدهی سازه‌ای پوشش یک سطح بزرگ اثر می‌گذارد. نسبت ارتفاع به دهانهٔ پایین‌تر تنش‌های فشاری در بالا و تنش‌های کششی در پایین را کاهش می‌دهد و امکان استفاده از ضخامت کمتر را میسر می سازد*. از سوی دیگر، با افزایش ارتفاع نیاز به سطح بیشتری از صفحات برای پوشش یک دهانهٔ مشخص وجود دارد. در تئوری، نسبت مناسب ارتفاع به دهانه در حدود ۲ است که حجم بتن و فولاد تقویتی مورد نیاز در آن حداقل است. در عمل، نسبت بین ۶ تا ۱۰ به سبب ملاحظات فنی و حداقل ضخامت مورد نیاز تعیین‌شده به وسیله آئین نامه‌ها و مقررات ساختمانی یا تجارب ساخت بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد.



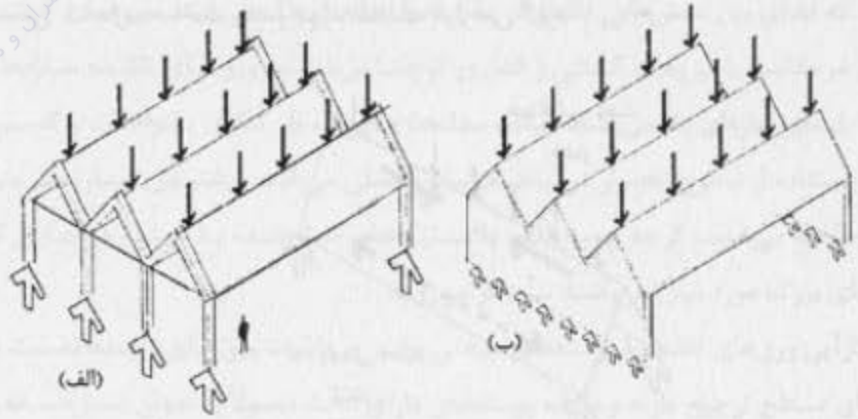
تصویر ۳-۱۶ : ورق‌های تاشده بلند به عنوان یک تیر که فاصلهٔ بین تکیه‌گاه های انتهایی را می‌پوشانند و ایجاد تنش فشاری در سراسر طول بالایی و تنش کششی در طول پایین می نماید، رفتار می‌کنند.

* در متن کتاب اصلی تنش‌های فشاری در پایین و تنش‌های کششی در بالا ذکر شده است که صحیح نیست (مترجم).

http://telegram.me/uadesigngroup



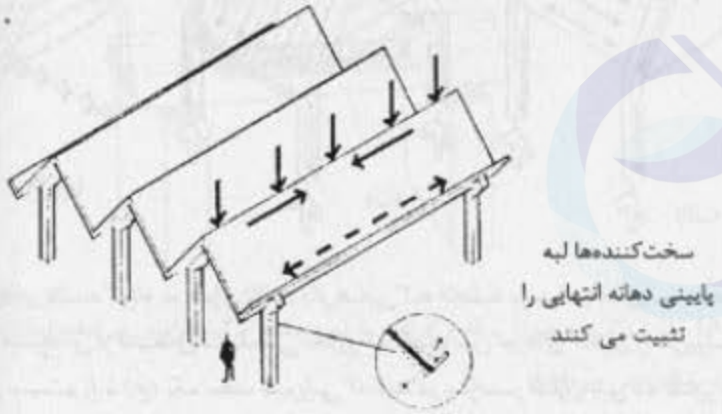
تصویر ۴-۱۶ : نمودار تنش در یک ورق تاشدهٔ بلند. توجه کنید که تنش‌های کششی و فشاری معمولاً عمود بر یکدیگر می‌باشند. فاصلهٔ بین خطوط منحنی تنش اشاره به تمرکز تنش در آن ناحیه دارد (فواصل نزدیکتر به معنی تنش بیشتر می‌باشد).



تصویر ۵-۱۶ : تکیه‌گاه‌های انتهایی در سازهٔ ورق‌های تاشده با چند دهانه: (الف) دو انتها به قاب‌های سه‌مفصلی روی ستون‌ها با میله های مهار برای ایجاد مقاومت جانبی سخت شده اند و (ب) دیوارهای برشی در دو انتها که تکیه‌گاه عمودی را فراهم می‌سازند به شکل پوسته بیرونی باقی می‌مانند و مانند دیوارهای برشی برای مقاومت در برابر رانش به سمت بیرون رفتار می‌نمایند.

شرایط یال‌ها (لبه ها)

به منظور کنترل خمش باید فرم مقاطع طراحی‌شده را به وسیلهٔ سخت‌کردن هر دو انتها و لبه‌های بیرونی را نیز به وسیلهٔ تأمین مقاومت در برابر رانش بیرونی ثابت نگاه داشت. لازم است لبه‌های ورق‌های تاشده به منظور ثابت باقی‌ماندن فرم آنها تحت هرگونه بارگذاری محدود گردد.این امر به وسیلهٔ سختی بیشتر دو انتها از طریق ضخیم‌تر کردن آنها در محل اتصال قاب‌های سه‌مفصلی روی ستون‌های تکیه‌گاهی و اضافه کردن میله‌های مهار برای ایجاد مقاومت جانبی یا با استفاده از دیوارهای باربر (که تکیه‌گاه عمودی را تأمین می‌نماید و علاوه بر آن سبب ثابت باقی ماندن فرم دو انتهای پوسته شده و رفتاری مانند دیوارهای برشی برای ایجاد مقاومت در برابر نیروهای رانشی به سمت بیرون دارند) حاصل می‌گردد (تصویر ۵-۱۶).



تصویر ۶-۱۶ : لبه‌های بیرونی پوسته‌ها مانند یک تیر نازک رفتار نموده و سبب انتقال رانش به تکیه‌گاه های کناری می‌گردند، ولی برای ممانعت از کمانش باید سخت گردند. در محل اتصال پوسته‌های همجوار، هیچ‌گونه لبه‌ای مورد نیاز نیست زیرا رانش‌ها یکدیگر را متعادل می‌نمایند.

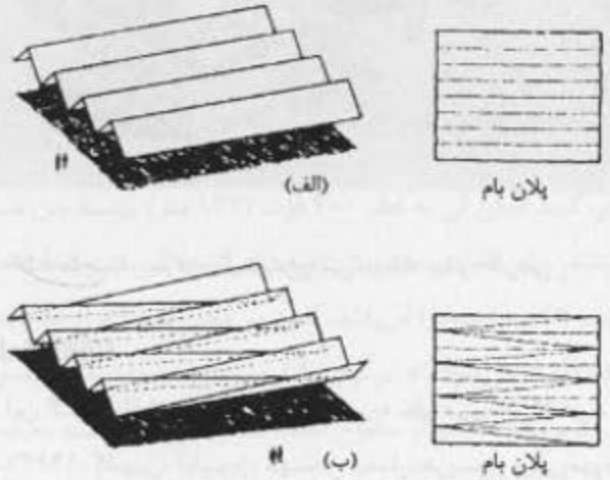
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

فرم بهینه مقطع

با افزایش ارتفاع ورق تاشده، مقاومت خمشی بیشتری در یک دهانهٔ ثابت ایجاد می‌شود. بدین ترتیب، صفحات با شیب زیاد به علت کاهش نیروهای فشاری و کششی در بال‌ها می‌توانند ضخامت کمتری داشته باشند. ولی این امر سبب افزایش سطح ورق تاشده برای پوشش یک سطح ثابت و معین می‌گردد.

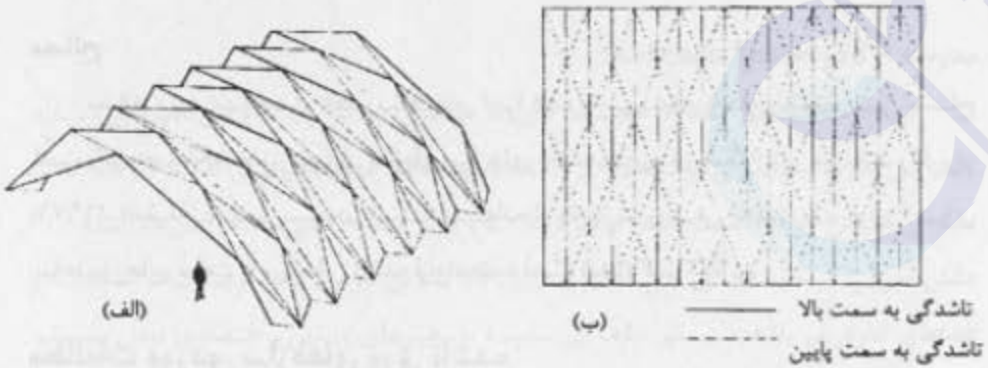
به طریق عکس، ورق‌های تاشدهٔ کم‌عمق از بازدهی بیشتری در اجرای پوشش برخوردارند ولی دارای تنش‌های بیشتری می‌باشند. یک شیب ۴۵ درجه از نظر تئوری سبب حداقل شدن مجموع مواد مورد نیاز می‌گردد، این ممکن است از طریق شرایط غیرسازه‌ای تعدیل گردد (تصویر ۷-۱۶).



تصویر ۷-۱۶ : اشکال مختلف پانل با ورق‌های تاشده (الف) موازی و (ب) مخروطی شکل.

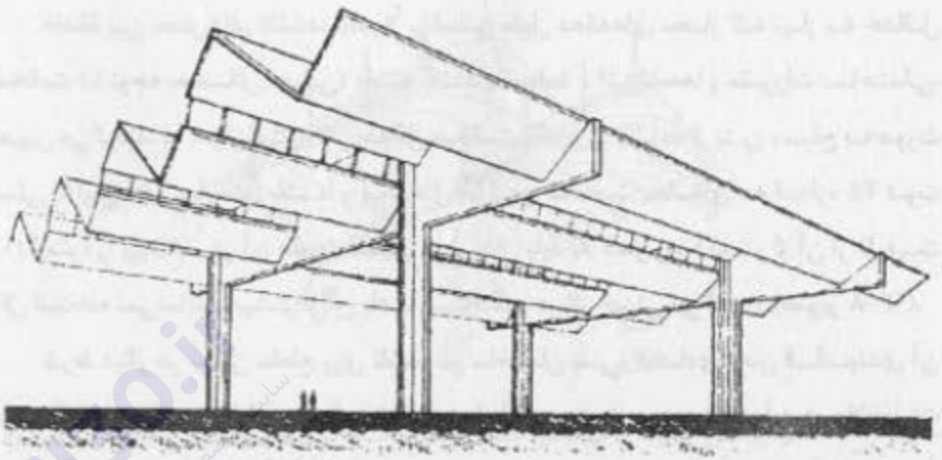
فاصلهٔ بین بخش‌های تاشده، معمولاً بر اساس طول دهانه‌های مجاز که نیاز به حداقل ضخامت (با توجه به مسائل اجرایی) داشته باشند و ضوابط و آئین‌نامه‌ها و مقررات ساختمانی، تعیین می‌گردند. به عنوان مثال، اگر حداقل ضخامت یک ورق تاشده از بتن مسلح به‌صورت عملی ۳ اینچ (۷۵ میلیمتر) باشد و یک دال با این ضخامت دهانه‌ای به اندازه ۷۵ فوت (۲/۱ متر) را بپوشاند، در آن صورت همین عرض دال باید به کار رود (کمتر از آن از ظرفیت دال استفاده نمی‌نماید و بیشتر از آن باعث گسیختگی در اثر خمش می‌گردد) (تصویر ۸-۱۶).

شرط دیگر در تعیین مقطع ورق تاشده در ساختمان بتنی، اقتصادی بودن قالب‌بندی آن است. اگر برای قالب‌بندی از چوب استفاده شود، ابعاد و در دسترس بودن آن باید در ملاحظات در نظر گرفته شود (تصویر ۹-۱۶).



تصویر ۸-۱۶ طرز ساخت سازهٔ ورق تاشده به شکل طاق استوانه‌ای (الف) نمای بیرونی و (ب) الگوی تاکردن. رنزو پیانو یک ساختمان متحرک با به‌کارگیری این ایده برای سقف محل نگهداری تجهیزات یک معدن سولفور طراحی کرد.

http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۹-۱۶ : طراحی برای یک سقف با ورق تاشده به شکل Z با پنجره‌های بام، پروژه (۱۹۴۷، مهندس سازه: اف کاندلا)

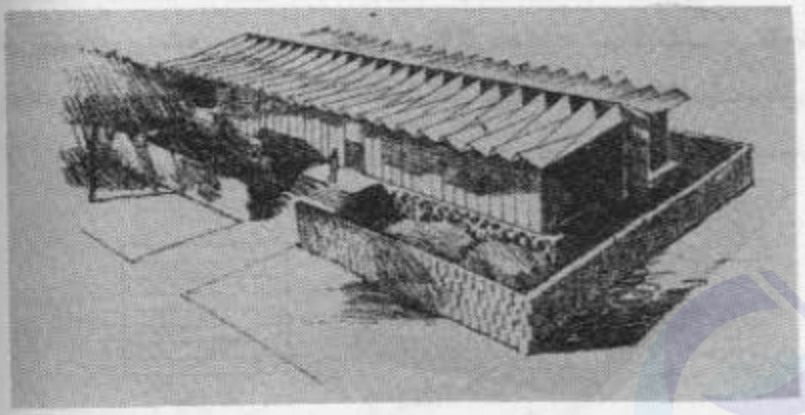
مصالح

مصالح مورد استفاده در اغلب سقف‌های اجرا شده با سیستم ورق‌های تاشده، بتن مسلح است. اگرچه، ساخت و نیز تحلیل سازه‌ای ورق‌های تاشده چوبی نیز امکان‌پذیر می‌باشد (کارنی، ۱۹۷۱). تحقیقات مهمی نیز در زمینهٔ استفاده از مقوا با روکش پلاستیک برای اجرای ساختمان‌های موقت با ورق‌های تاشده انجام شده است (سدلاک، ۱۹۷۳).

مطالعات موردی سازه‌های ورق تاشده

ساختمان مرکزی انستیتوی بتن امریکا (ACI)

یکی از خواسته‌های کارفرما از طراح این ساختمان، استفاده از بتن به طور بلندپروازانه در طراحی ساختمان بود (۱۹۵۷: دیترویت، مهندس معمار: یاماساکی، لوینوبر و همکاران). ترکیب بصری برجسته و ویژگی نمایان این ساختمان استفاده از سقف به شکل ورق تاشده از بتن مسلح می‌باشد که به وسیلهٔ دیوارهای باربر راهروهای داخلی ساختمان نگاه‌داشته می‌شود. سقف از روی دیوارهای غیرباربر امتداد یافته تا مسیری سرپوشیده را ایجاد نماید. عناصر قائم به عنوان مهار برای ثابت نگاه‌داشتن سقف در مقابل نیروهای رو به بالا به کار رفته‌اند. نور سالن داخلی به وسیلهٔ پنجره‌های سقفی بین پانل‌های مخروطی بام جایی که در مرکز ساختمان به یکدیگر متصل می‌شوند، تأمین می‌شود (ناشر ۱۹۵۶ و ۱۹۵۸) (تصاویر ۱۰-۱۶ تا ۱۳-۱۶).



تصویر ۱۰-۱۶ : ساختمان مرکزی انستیتوی بتن امریکا، نمای خارجی.

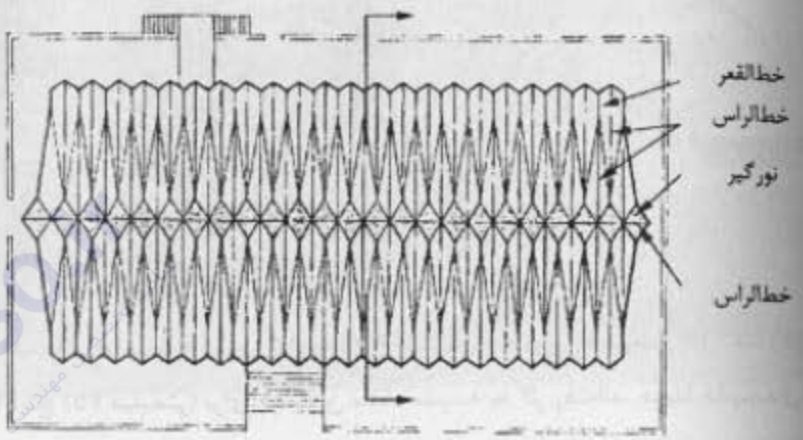
تالار ایلینی Illini Hall

از بیرون، این گنبد ساخته شده از ورق تاشده، به نظر می‌رسد که در بالای سطح زمین شناور می‌باشد (۱۹۶۳: کامپین، ایلینویز، مهندس معمار: هریسون و آبرومیوتیز، مهندس سازه: امان و ویتنی) ساختمان اصلی مانند یک جام بزرگ می‌باشد که در زمین فرو رفته است. طراحی آن به‌نحوی است که دسترسی ساده‌ای را به فضاهای نمایشگاهی اطراف و نیز محل نشستن افراد که در نیمهٔ ارتفاع ساختمان قرار دارد، فراهم می‌سازد. این ساختمان چندمنظوره

http://telegram.me/uadesigngroup

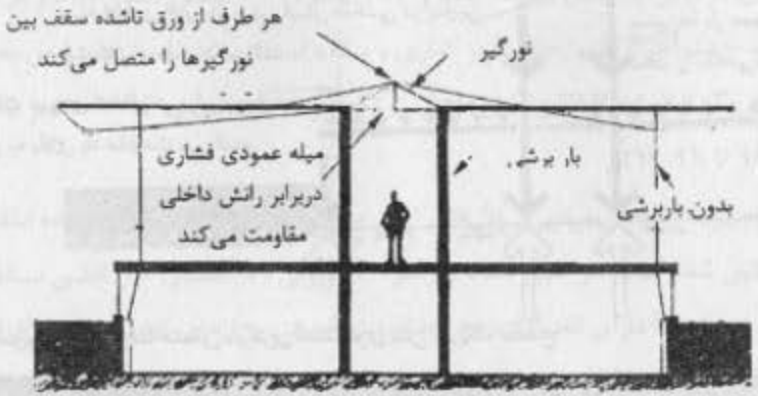
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

با ظرفیت بیش از ۱۶ هزار نفر برای برگزاری انواع مسابقات ورزشی در نظر گرفته شده است (تصاویر ۱۴-۱۶ تا ۱۶-۱۶).



تصویر ۱۱-۱۶ : ساختمان مرکزی انستیتوی بتن امریکا، پلان.

سیستم سازه‌ای گنبد اصلی آن به قطر ۴۰۰ فوت (۱۲۲ متر) پوستهٔ بتن مسلح می‌باشد که به منظور مقاومت در برابر کمانش به‌صورت تاشده اجرا شده است و ضخامت آن به طور متوسط برابر ۳/۵ اینچ (۸/۷ سانتیمتر) می‌باشد. گنبد در محل تکیه‌گاه آن به وسیلهٔ یک حلقهٔ کششی پیرامونی نگاه داشته می‌شود که در برابر رانش بیرونی هم مقاومت می‌نماید. این گنبد و تکیه‌گاه آن بر یک فرم مشابه کاسه از سطوح تاشده متکی می‌باشد که مقاومت لازم برای تحمل نیروهای جایگاه تماشاچیان را تأمین کرده و سقف راهروی پیرامونی بنا نیز می‌باشد. نیروی رانش بیرونی ایجاد شده از طریق سقف کاسه‌ای‌شکل فوقانی توسط حلقهٔ کششی پیرامونی مقاومت می‌شود. تمامی این سازه بر روی پی نگهدارنده که یک حلقهٔ فشاری می‌باشد قرار می‌گیرد تا در برابر نیروی رانش بیرونی در پایین مقاومت نماید. قسمت زیرین گنبد با پوشش آکوستیک به ضخامت ۲ اینچ (۵۰ میلیمتر) پوشانده شده است تا انعکاس صدا را به حداقل برساند. نمای بیرونی با یک مادهٔ ضد آب پوشانده شده است.

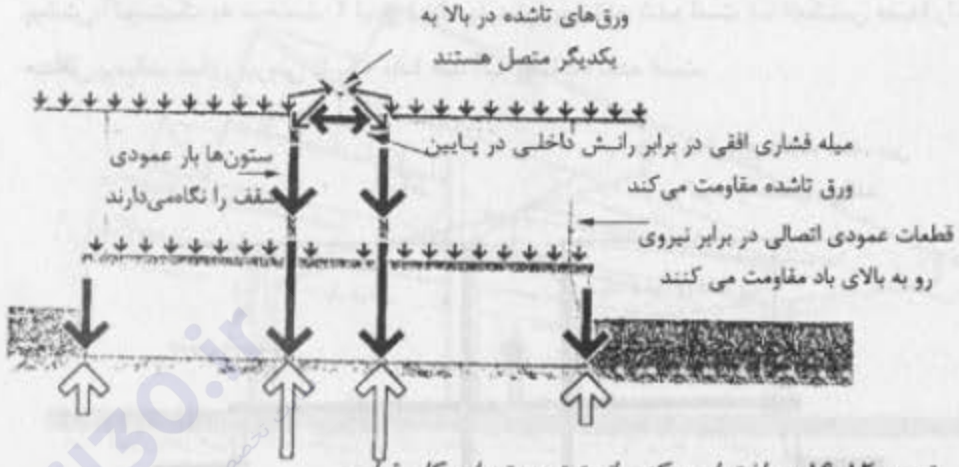


تصویر ۱۲-۱۶ : ساختمان مرکزی انستیتوی بتن امریکا، نمودار جریان نیروها.

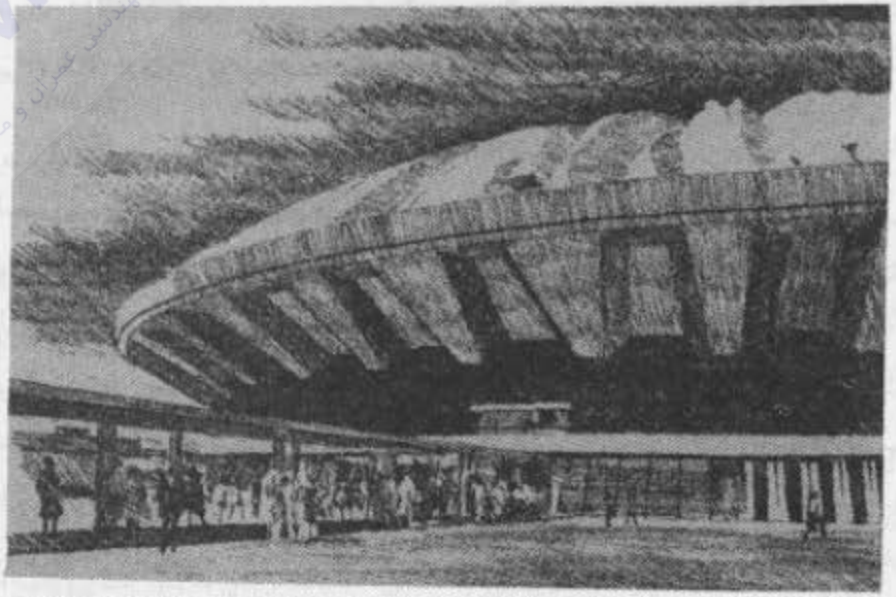
مدرسه آوکادوAvocado School

این مدرسه ابتدایی (۱۹۶۳: هامستد، فلوریدا، مهندس معمار: رابرت براون، مهندس سازه: والتر سی هاری و همکاران) یک نمونه از استفاده گسترده از سقف‌های ورق تاشده در ساختمان مدارس عمومی در ایالات متحد در اواخر دههٔ ۵۰ و اوایل دههٔ ۶۰ می‌باشد. این مدرسه ۶۰۰ دانش آموز را در خود جای می دهد و دارای ۲۲ کلاس درس، یک تریا، یک کتابخانه و فضاهای اداری می‌باشد. سیستم سقف این مدرسه با معیارهای زیبایی و اقتصادی بودن سیستم سازهٔ ورق تاشده انتخاب شده است. پانل‌های بخش بالای سقف با پنجره‌های سقفی جهت دستیابی به نور طبیعی ترکیب شده اند. این نور از طریق پانل‌های شیب‌دار مجاور پخش و منعکس می‌گردد. سقف از روی ستون‌ها و امتداد دیوار جهت ایجاد سایبان برای پیاده‌روی بیرونی در آب و هوای گرم منطقه پیش آمدگی دارد (ناشر، ۱۹۶۳) (تصویر ۱۷-۱۶).

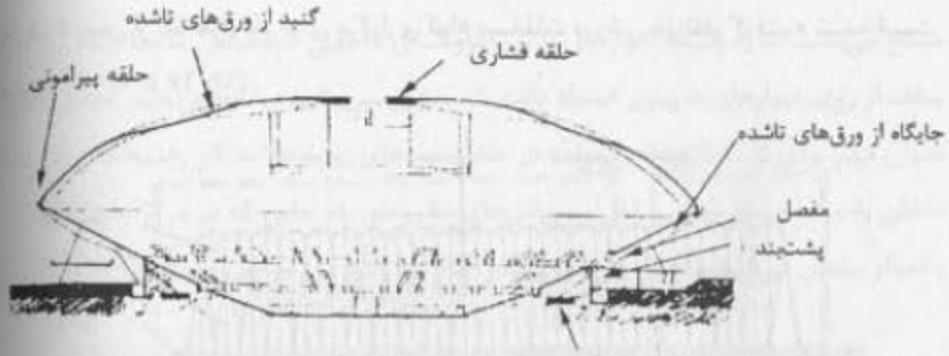
http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۱۲-۱۶ : ساختمان مرکزی انستیتوی بتن امریکا، مقطع

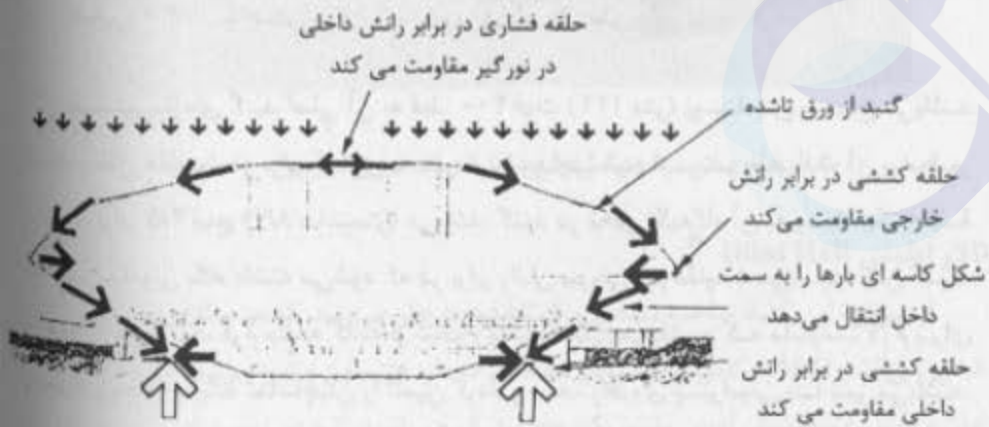


تصویر ۱۴-۱۶ تالار ایلینی،نمای خارجی نشان‌دهندهٔ سقف گنبدی با ورق‌های تاشده، حلقهٔ کششی و تکیه‌گاه کاسه‌ای از سازه‌های ورق تاشده می‌باشد.



تصویر ۱۵-۱۶ تالار ایلینی، مقطع.

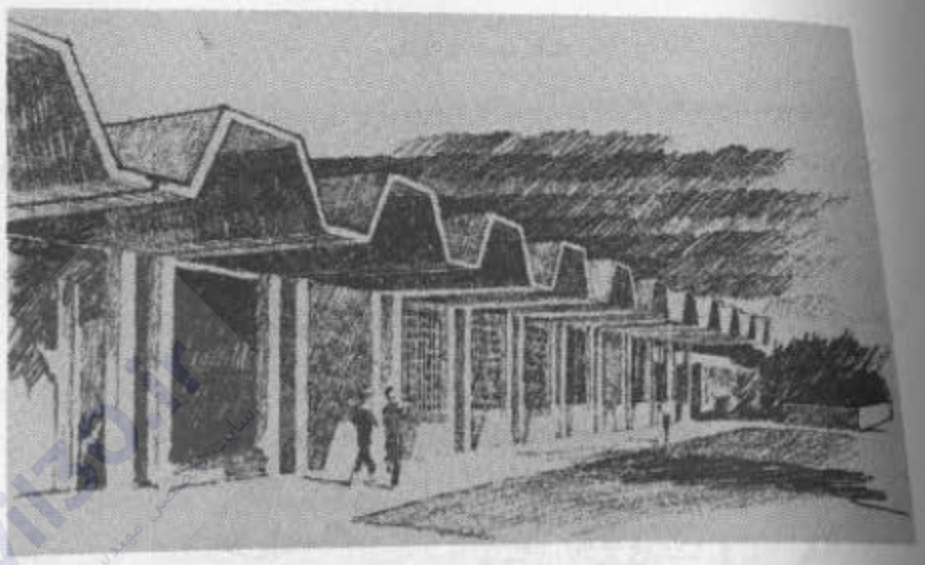
۹۰ عدد پانل هر یک به عرض ۹ فوت (۲/۷ متر)، به طول ۷۰ فوت (۲۱/۳ متر) و به ضخامت ۳ اینچ (۷۵ میلیمتر) برای پوشاندن سقف مدرسه به کار رفته‌اند. هزینهٔ قالب‌بندی به دلیل استفاده از چوب‌های دارای قابلیت مصرف مجدد کاهش یافته است.



تصویر ۱۶-۱۶ تالار ایلینی،نمودار جریان نیروها.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



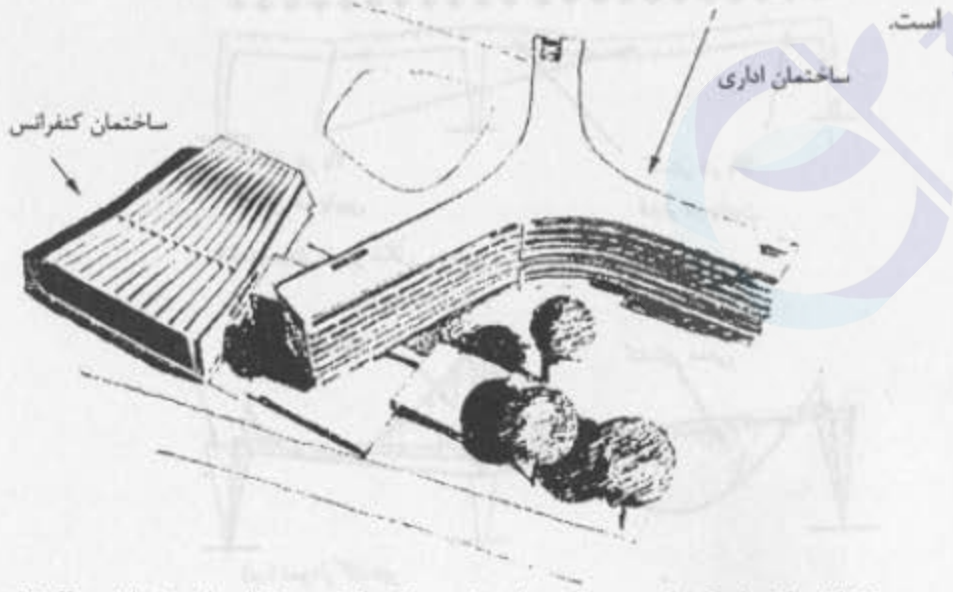
تصویر ۱۶-۱۷ مدرسهٔ آوکادو، نمای خارجی نشان‌دهندهٔ سقف ورق تاشده از بتن مسلح به ضخامت ۳ اینچ (۷۵ میلیمتر) می‌باشد.

فضای بین صفحات تاشده دارای اتصال داخلی با استفاده از میلگردهای فولادی تقویتی که از قبل در قطعات پیش‌بینی شده، می‌باشد. برای ایجاد اتصال یکپارچه و ممتد، فضای بین قطعات با دوغاب مقاوم پر شده‌اند. بخش بالای سقف با مایعی که به طور معمول برای ضد آب کردن به کار می رود، پوشانده شده و زیر سقف پانل‌های جذب کنندهٔ صدا نصب گردیده و سپس رنگ‌آمیزی شده اند. دیوارهای غیربابر خارجی از جنس بلوک‌های بتنی با اندود گچ می‌باشند.

ساختمان کنفرانس یونسکو

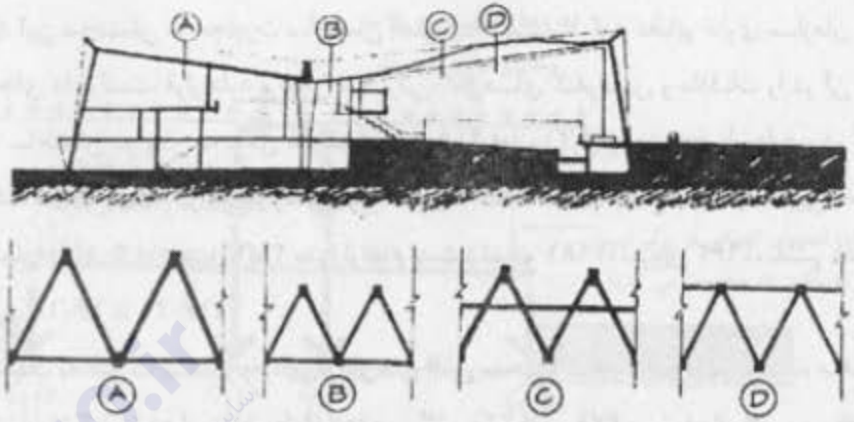
این ساختمان بخشی از ساختمان مرکزی سازمان فرهنگی، علمی و آموزشی ملل متحد (یونسکو) می‌باشد (۱۹۵۸: پاریس، مهندس معمار: بروئر و زهرفوس، مهندس سازه: پیر لوئیجی نروی). این ساختمان در مجاورت ساختمان اصلی به شکل Y که دفاتر اداری سازمان را در خود جای داده است، قرار دارد و سالن سخنرانی، اتاق‌های کنفرانس و ملاقات را در آن قرار دارند. ساختمان در پلان به شکل ذوزنقه است و ۴۱۵ فوت (۴۴/۲ متر) طول دارد و در آن از صفحات تاشده جهت اجرای دیوارهای باربر کناری و سقف استفاده شده است. بلندترین بخش ساختمان دارای ۱۰۳ فوت (۳۱/۴ متر) ارتفاع است (کاتو ۱۹۸۱، نروی ۱۹۶۳، ناشر ۱۹۵۵) (تصاویر ۱۸-۱۶ تا ۲۱-۱۶).

سقف به صورت منحصر بفردی از دال‌های افقی منحنی که با صفحات تاشده متقاطع می‌باشند، تشکیل شده است. در طول دهانه بزرگتر ۲۲۰ فوتی (۶۷ متر) دال افقی سقف در وسط دهانه به سمت بالا دارای انحنا گردیده تا مقاومت خمشی ورق‌های تاشده بدون افزایش ارتفاع بیشتر گردد. با وجود افزایش ارتفاع، حداکثر ارتفاع ورق‌های تاشده ۱۷/۳ فوت (۵/۳ متر) است.

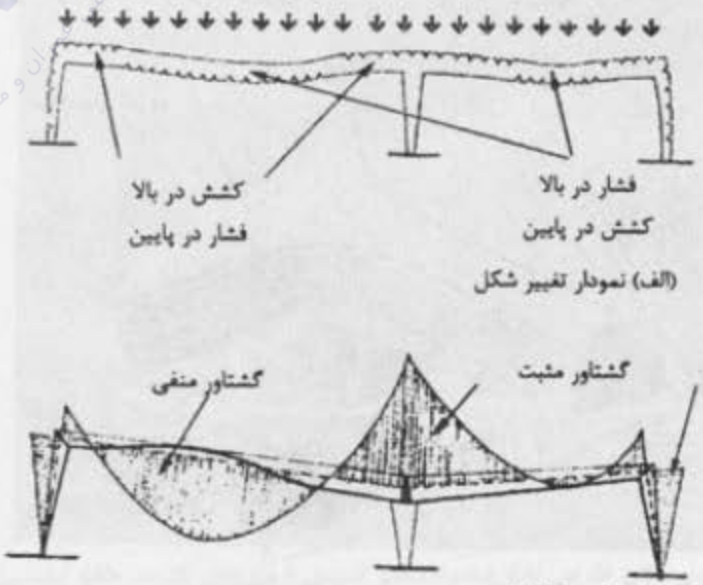


تصویر ۱۸-۱۶ ساختمان کنفرانس یونسکو، نمای خارجی (قرار گرفته در کنار ساختمان اداری Y شکل).

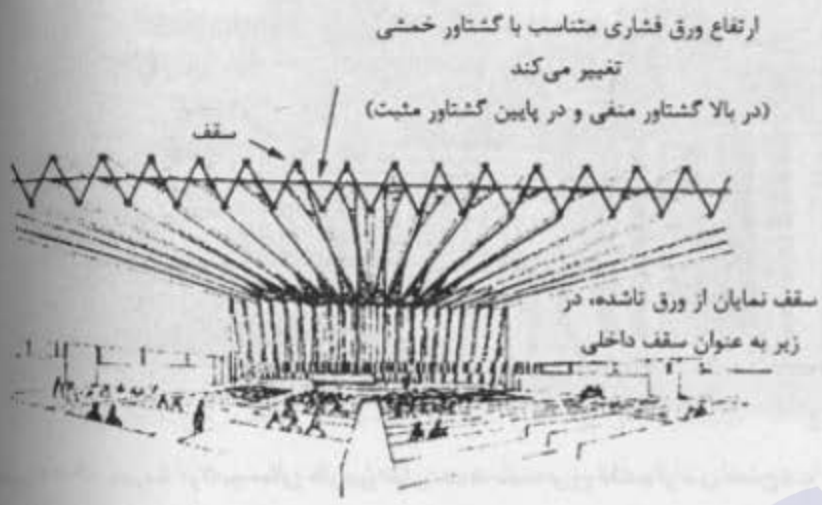
http://telegram.me/uadesigngroup



تصویر ۱۹-۱۶ ساختمان کنفرانس یونسکو، مقطع ساختمان و مقاطع تیپ سقف ورق تاشده.



تصویر ۲۰-۱۶ ساختمان کنفرانس یونسکو، سقف ورق تاشده (الف) نمودار تغییر شکل و (ب) نمودار گشتاور نشان‌دهندهٔ چگونگی توزیع گشتاور در محل دال مسلح منحنی می‌باشد.



تصویر ۲۱-۱۶ ساختمان کنفرانس یونسکو، مقطع پرسپکتیو داخلی.

در هر انتها، سقف ورق تاشده با یک تغییر جهت، مانند یک دیوار باربر عمودی عمل می‌نماید. دیوارهای به شکل ورق تاشده دارای بیشترین ارتفاع در محل تقاطع با سقف می‌باشند و به صورت مخروطی تا محل پایه بتدریج باریک می‌شوند. این امر باعث ایجاد اتصال صلب در سقف (مشابه یک میز) می‌گردد و از سوی دیگر با کاهش دهانهٔ مؤثر مقاومت خمشی افزایش می‌یابد. سقف تاشده در داخل ساختمان مانند یک سقف موج‌دار کنگره‌ای نمایان است که علاوه بر جذابیت بصری دارای کارایی و تأثیر قابل‌توجهی از نظر عایق‌بندی صدا در جهت انعکاس و پخش صوت به‌نحو مطلوب در داخل سالن کنفرانس می‌باشد.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

خلاصه مطالب

۱- ورق تاشده، سطح صاف تاشده‌ای است که بارها را به وسیلهٔ کشش، فشار و برش به تکیه‌گاه‌ها انتقال می‌دهد و خمشی که فقط در بین بخش‌هایی تاشده سطوح اتفاق می‌افتد.

۲- سختی ورق‌های تاشده از طریق هندسهٔ تاشدن آنها و ارتفاع بخش‌های تاشده تعیین می‌گردد.

۳- بازدهی مؤثر سازه‌های ورق‌های تاشده به اندازهٔ پوسته‌های دارای انحنا می‌باشد، ورق‌های تاشده نسبت به سازه های مسطح ترجیح دارند.

۴- این سیستم هم در گوشه‌ها دارای تکیه‌گاه است و در یک جهت از دو جهت عمل می‌نماید (یا ترکیبی ازهر دو). اولین شیوه آن است که هر انتها به یک قاب سه‌مفصلی متکی شود و صفحات تاشده مانند دال‌هایی که فواصل بین قاب‌های کناری را می‌پوشانند عمل نمایند. روش دوم این است که در لبه‌های طولی پایین سقف از تیرهای مقاوم استفاده شود و ورق‌های تاشده نازک‌تر مانند مجموعه‌ای از قابهای سه‌مفصلی مجاور که فاصله بین تیرها را می‌پوشانند عمل نمایند.

۵- این نوع ورق‌ها معمولاً در گوشه‌ها دارای تکیه‌گاه می‌باشند و مانند تیرهای بزرگ در جهت طولی نیروها را منتقل می‌نمایند. در نتیجه تنش‌ها در ورق تاشده مشابه تنش‌های خمشی در یک تیر می‌باشد، بخش بالایی در سراسر کل طول تحت فشار در حالی‌که بخش پایین تحت کشش می‌باشد.

۶- در عمل، نسبت ارتفاع به دهانه در ورق‌های تاشده بین ۶ تا ۱۰ به سبب ملاحظات فنی و حداقل ضخامت مورد نیاز تعیین شده به وسیلهٔ آئین‌نامه‌ها و مقررات ساختمانی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۷- به منظور کنترل خمش لازم است فرم مقاطع طراحی شده به وسیلهٔ سخت‌کردن هر دو انتها ثابت بماند و لبه های بیرونی و نیز به وسیلهٔ تأمین مقاومت در برابر رانش بیرونی. لازم است لبه‌های ورق‌های تاشده به منظور ثابت باقی‌ماندن فرم آنها تحت هرگونه بارگذاری محدود گردد.

http://telegram.me/uadesigngroup

همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

فصل ششم

نحوه ترکیب سیستم

http://telegram.me/uadesigngroup

درک رفتار سازه‌ها با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

فصل ۱۷
مصالح سازه‌ای

هر استادی می‌داند که مصالح به هنرمند آموزش می‌دهند.

"ایلیا اهرنبرگ"

مصالح اصلی سازه ای عبارتند از: چوب، فولاد، بتن و مصالح بنایی.

چوب

مشابه تمامی مصالح به وسیلهٔ نیروهای حیات آزاد می‌شوند، چوب قابل انعطاف‌تراست و دارای سختی کمتری می‌باشد و نسبت به دیگر مواد و مصالح شکل‌پذیرتر است.

"ادوارد تروجا"

چوب شناخته‌شده‌ترین ماده سازه‌ای است و به چند دلیل عمده کاربرد عمومی‌تری دارد. چوب تنها مادهٔ اصلی است که به صورت آلی در طبیعت یافت می‌شود، ماده‌ای تجدیدشدنی است و می‌تواند برای ساخت بنا با ابزار قابل حمل و دستی به کار رود. به همین علت، مصرف آن برای بناهای مسکونی یک‌طبقه در تمامی مناطق جهان رایج است (بخصوص امریکای شمالی)، جایی که به وفور یافت می‌شود.

به علت وجود آن در طبیعت به صورت آلی، دارای خاصیت فیزیکی یکسان نمی‌باشد، تمامی خواص فیزیکی آن بستگی به این دارد که برش آن به شکل موازی یا عمود بر رگه‌های چوب می‌باشد. چوب در مقاومت کششی و فشاری در حالتی که نیرو موازی بر رگه‌ها وارد می‌شود، یکسان عمل می‌کند. در این جهت، مقاومت فشاری در مقاسیه با بتن ضعیف است (ولی فقط حدود ۱/۶ مقاومت هنگامی که عمود بر رگه‌هاست می‌باشد).

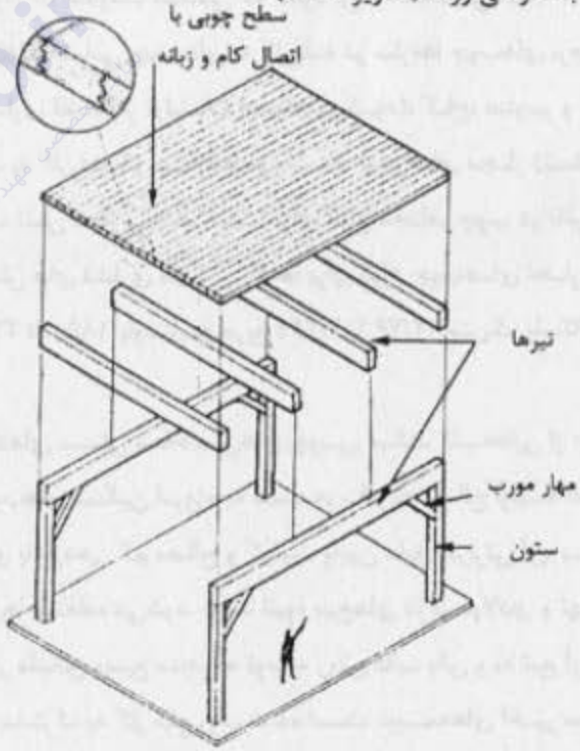
در حقیقت تمامی چوب‌های به کاررفته در سازه‌ها چوب‌های نرم می‌باشند (از چوب سخت در معماری فقط در تزئینات استفاده‌می‌شود)، کاج، صنوبر و کاج نوبل مهم‌ترین گونه‌های چوب به کاررفته در سازه‌ها می‌باشند. تنش‌های مجاز (تنش های سازه‌ای که دربرگیرنده یک تنش مجاز بی‌خطر است) برای انواع مختلف چوب در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال تنش های فشاری مجاز بر رگه‌ها برای انواع چوب‌های تجاری موجود تخته‌های قالبگیری از ۳۲۵ تا ۱۸۵۰ پاوند/اینچ مربع (۲/۲۴ تا ۱۲/۷۶ متریک پاسکال) متغیر است (آلن، ۱۹۸۵).

کاربردهای سنتی ساختمان‌های چوبی، مانند کلبه‌هایی از چوب‌های گردو و یا قاب‌هایی با چوب‌های سنگین امروزه به سبب هزینهٔ زیاد مصالح اولیهٔ اعضای چوبی بزرگ، استفاده سازه‌ای با بازدهی کم مصالح و کیفیت پایین عایق حرارتی آن، به ندرت از چوب در سازه ساختمان‌ها استفاده می‌شود. تولید انبوه میخ‌های نازک فولادی و تهیهٔ تیرهای چوبی با ابعاد مناسب در مقیاس وسیع منجر به توسعه روش قالب بالن و به تبع آن روش قالب سکو که امروزه به طور مشترک به کار می‌رود، شده است. توسعه‌های اخیر محدودیت‌های کاربرد چوب‌های سنتی را از بین برده است.

http://telegram.me/uadesigngroup

قاب‌های چوبی

قاب‌های چوبی به طور مستقیم از چوب‌های خام گرفته می‌شوند و از چوب‌ها، چوب‌های ساختمانی با ابعاد مشخص و تخته ها به دست می‌آیند. چوب‌های ساختمانی حداقل ۵ اینچ (۱۲۷ میلیمتر) یا بیشتر ضخامت دارند. این چوب‌ها برای تیرها و نعل‌درگاه‌ها (معمولاً ارتفاع آنها ۳ یا ۴ برابر عرض شان می‌باشد) و ستون ها و دیرک ستون‌ها (معمولاً در مقطع عرضی به شکل مربع) به کار می روند (تصویر ۱-۱۷).



تصویر ۱-۱۷ : در ساختمان‌های باسیستم تیر و ستون از چوب‌های چوبی سنگین در ستون‌ها و تیرها استفاده می‌شود.

چوب‌های بریده‌شده دارای ضخامت ۲ تا ۴ اینچ (۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر) و عرض ۲ اینچ یا بیشتر بوده و معمولاً با طول ۸ تا ۱۶ فوت (۲/۴ تا ۱۴/۸ اینچ) استفاده می‌شوند. این چوب‌ها برای تیرچه‌ها، ستون‌ها، میله‌های مهار و عرشه‌ها به کار می‌روند. تخته‌ها کمتر از ۱۲ اینچ (۲۵ میلیمتر) ضخامت دارند و عرض آنها ۲ اینچ یا بیشتر می‌باشد. به طور معمول، آنها برای سطوح بام، صفحات دیوارها یا نیم‌طبقه‌ها به کار می‌روند. امروزه پانل‌های تولید شده (مانند تخته سه لا) برای چنین کاربری‌هایی به کار می‌روند و به ندرت کاربری سازه‌ای دارند.

پانل‌های چوبی

پانل‌های چوبی سازه‌ای جایگزینی هستند برای تخته‌های به کار رفته در سطوح و عرشه‌ها، نیم‌طبقه‌ها و صفحات دیوارها. مقاومت آنها در دو جهت اصلی با تولیدات چوب‌های توپر برابر می‌باشد، با این تفاوت که جمع شدن و باد کردن و شکاف در چنین چوب‌هایی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. ابعاد استاندارد آنها ۴ × ۸ فوت (۱۲۰ × ۲۴۰ سانتیمتر) می‌باشد. اگرچه ابعاد بزرگ‌تری از آنها برای کاربری‌های خاص ساخته می شوند. پانل‌ها به سه بخش تقسیم می شوند: تختهٔ چندلایی، پانل‌های بدون روکش و پانل‌های ترکیبی.

تختهٔ چندلایی

تختهٔ چندلایی متشکل از تعداد فرد لایه‌های چوب چسبانده شده به یکدیگر برای ایجاد یک پانل بزرگ می‌باشد. لایه‌های چوب در روکش بیرونی معمولاً در همان جهت چوب و موازی با طول پانل قرار دارند. لایه‌های داخلی، در جهات عمود بر هم قرار گفته‌اند. متوسط ضخامت‌آنها بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ اینچ (۶ تا ۱۸ میلیمتر) است.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

پانل‌های بدون روکش

پانل‌های بدون روکش از فیبرهای چوبی ساخته شده اند و با یکدیگر برای ایجاد یک پانل ترکیب گشته‌اند. تختهٔ چندلایی جهت دار (OSB-Orinted Standard Board) از اجزای چوبی که در ۳ یا ۵ لایه به هم فشرده و چسبانده شده‌اند تشکیل شده است (مشابه تختهٔ چندلایی). تخته‌های ویفری از ورقه‌های بزرگ چوبی که فشرده یا متصل شده‌اند به شکل یک لایه تشکیل شده است. تخته‌های اجزایی متشکل از اجزا کوچک فشرده و به هم چسبیده به شکل یک لایه می‌باشد. این نوع چوب با تراکم‌های متفاوت در دسترس می‌باشد و در میان انواع چوب‌های معرفی شده در بالا، OSBمقاوم‌تر و سخت‌تر می‌باشد و به سرعت جای تختهٔ چندلایی را برای اغلب کاربری‌های سازه‌ای گرفته است.

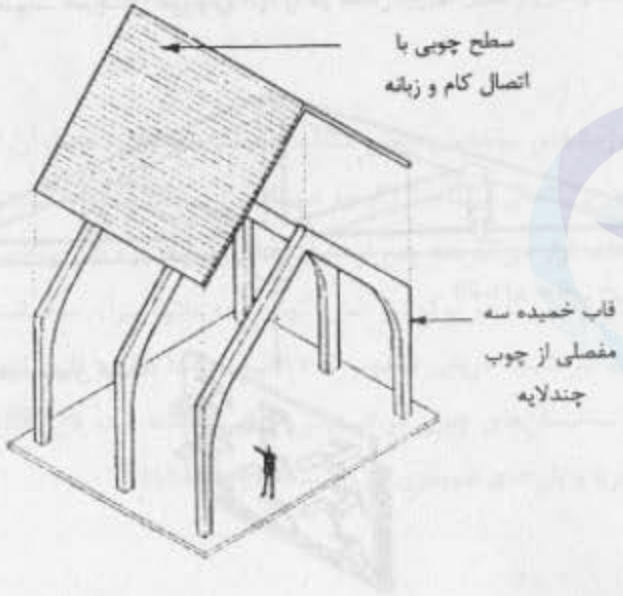
پانل‌های مرکب

این نوع از پانل‌ها، متشکل از یک هسته بدون روکش می‌باشند که بین لایه‌های سطحی چسبانده شده اند. آنها به طور عمده برای مبلمان و تزئینات داخلی به کار می‌روند و به ندرت کاربرد سازه‌ای دارند.

چوب‌های چند لایه (مورق)

امروزه، اعضای چوبی سازه‌ای بزرگ معمولاً به وسیله چسباندن لایه‌های نازک‌تر به هم تحت فشار برای تولید چوب چسبانده شدهٔ چندلایه (Glulam) تولید می‌شوند. در این روش هر تعداد دلخواه از لایه‌ها را می‌توان روی هم قرار داد. تنها محدودیت در تولید مشکل حمل و نقل آنها می‌باشد. ارتفاع‌های زیاد از طریق روی هم قرار دادن لایه‌هایی به ضخامت ۱/۵ اینچ (۳۷ میلیمتر) به دست می‌آید. اعضا بلند به وسیلهٔ استفاده از اتصالات انگشتی (Scraf) یا مخروطی ایجاد می‌شوند.

چوب را می‌توان به اشکال متفاوت روی هم چسباند شامل منحنی‌ها، فرم‌های شاخه‌ای، زاویه‌ای و مقاطع عرضی مختلف (تصویر ۲-۱۷). معمولاً، چوب‌های چند لایه از اعضای چوبی متداول به سبب قابلیت آنها در برش ابتدایی برای مورق کردن و توانایی آنها برای جهت مناسب لایه‌ها در اعضا منحنی مقاوم تر می باشند. با توجه به هزینهٔ زیاد تولید چوب‌های چند لایه معمولاً از طریق تولید چوب با مقاومت بیشتر که اجازه می‌دهد از اندازه‌های کوچک‌تر استفاده شود، جبران می‌گردد. در اغلب موارد اعضای تویر با اندازه یا کیفیت مورد نظر در دسترس نمی‌باشد.

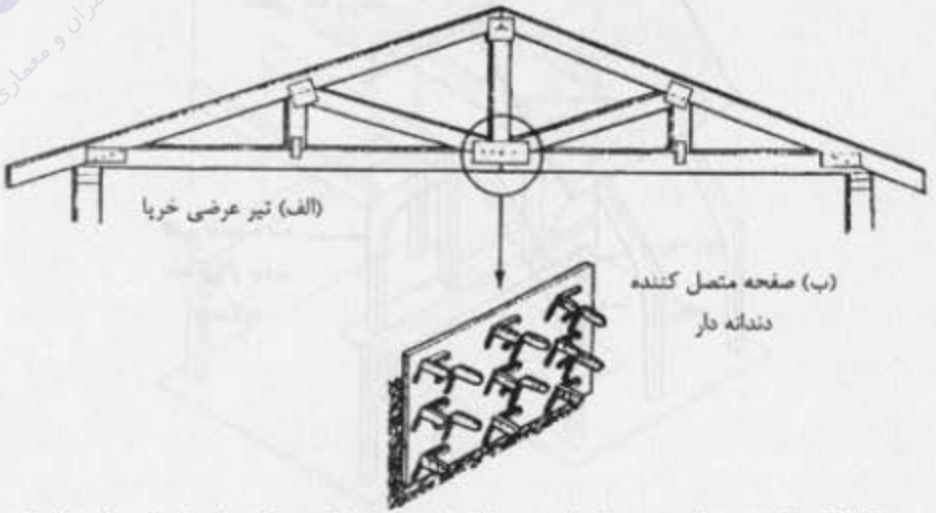


تصویر ۲-۱۷ : قاب خمیدهٔ سه مفصلی از چوب چندلایه.

http://telegram.me/uadesigngroup

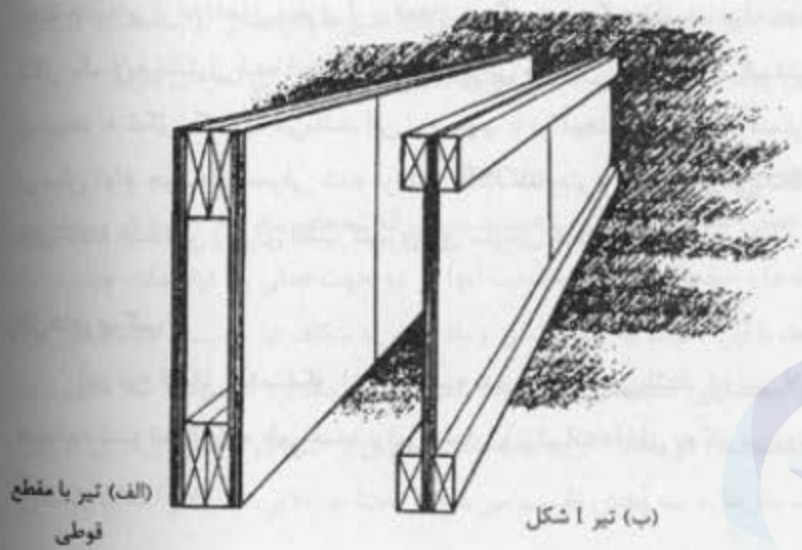
اجزای چوبی ساخته‌شده

تیرهای شیب خرپایی، خرپاهای سبکی هستند که با ابعادی از ۲ × ۴ تا ۲ × ۶ فوت (۸۷ × ۳۷ تا ۱۳۷ × ۳۷ میلیمتر) با صفحات اتصالی دندانه‌ای به صورت یک مجموعه رفتار می‌نمایند (تصویر ۳-۱۷). آنها معمولاً برای سقف خانه‌های مسکونی با قاب سبک به کار می روند و فاصله آنها معمولاً ۲۴ اینچ (۶۱ سانتیمتر) می‌باشد. این فاصله به وسیله حداکثر دهانه مجاز با ضخامت ۱۰/۵ اینچ (۵۰ میلیمتر) تختهٔ چندلایی یا سطح سقف از OSB تعیین می‌شوند. تیرهای چوبی I شکل متشکل از لایهٔ چوبی و تیرهای چوبی به شکل قوطی (تصویر ۴-۱۷) معمولاً در کارخانه از ترکیب چوب‌ها و تخته‌های چندلایی برای استفاده در دهانه‌های بزرگ ساخته می شوند. همچنین می‌توان آنها را در محل نیز ساخت.



تصویر ۳-۱۷ : (الف) تیرهای شیب خرپایی در ساختمان چوبی با قاب سبک و (ب) صفحهٔ دندانه‌ای به کار رفته برای تولید آنها

تنش‌های فشاری و کششی اصلی به وسیلهٔ ابعاد چوب در تارهای بالایی و پایینی تحمل می‌شوند. عضو جان از جنس تختهٔ چندلایی است. اجزا با استفاده از چسب و میخ به یکدیگر متصل شده اند (که فقط اجزا را نسبت به هم تحت فشار نگاه می دارند تا زمانی که چسب خشک شود).



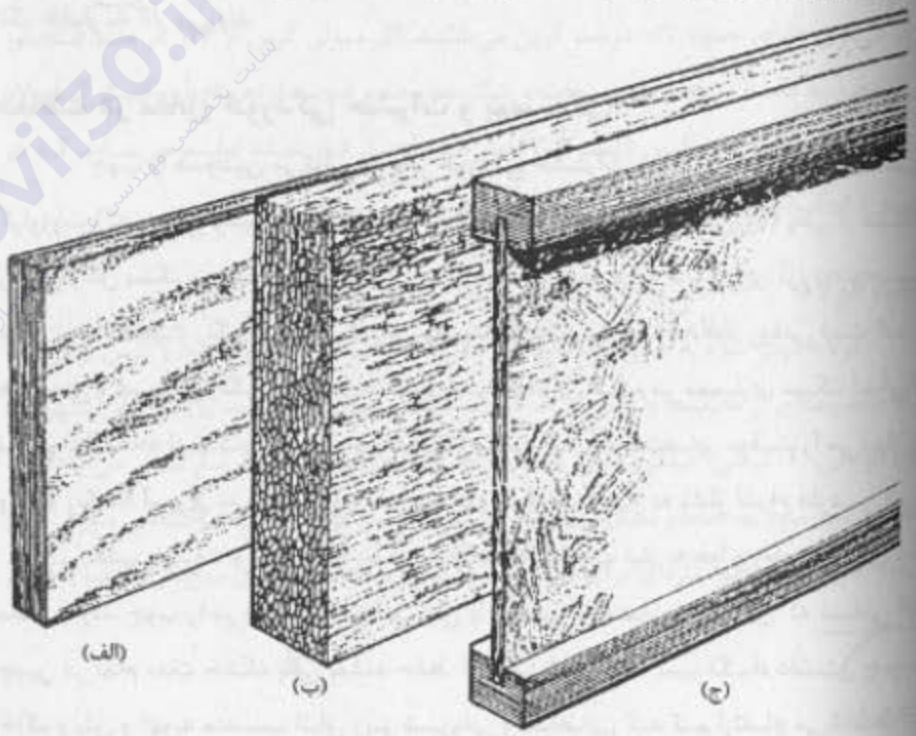
تصویر ۴-۱۷ : تیرهای چوبی (الف) مقطع قوطی و (ب) مقطع I شکل.

چوب‌های چندلایه روکش دار (LVL) متشکل از لایه‌های چوب در جهت عمودی و با رگه‌هایی در هر جهت طولی می‌باشند (تصویر ۵-۱۷ الف). چوب هایی با لایه‌های موازی (PSL) متشکل از اجزای چوبی با لایه‌های طولی در جهت طولی می‌باشند که به یکدیگر فشرده شده و چسبانده شده‌اند (تصویر ۵-۱۷ ب). LVL در تیرها ونعل‌درگاه‌ها با متوسط

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

ارتفاع از ۵/۵ اینچ تا ۱۸ اینچ (۱۴ تا ۴۶ سانتیمتر) و طول آن ۳۰ فوت (۱۲/۲ متر) می‌باشد، به کار برده می‌شود. PSLبه کار رفته در این موارد و ستون‌ها دارای ارتفاعی از ۹/۲۵ تا ۱۸ اینچ (۲۳ تا ۴۶ سانتیمتر) و طول آن ۳۰ فوت (۱۲/۲ متر) می‌باشد. چنین مقاطعی در کارخانه با طول های ممتد و برای ابعاد مورد نیاز طرح، بریده و تولید می‌شوند. هر دو نوع به طور اساسی مقاوم و سخت‌تر از چوب‌های توپر با ابعاد مشابه می‌باشند.آنها برای استفاده به جای تختهٔ چندلایی و تیرهای فولادی در ساختمان‌های سبک مناسب می‌باشند.



تصویر ۵-۱۷ : چوب‌های تولیدی: (الف) چوب روکشدار چند لایه ، (ب) چوب با لایه‌های موازی و (ج) تیرهای چوبی با مقطع I شکل

تیرچه‌های چوبی با مقاطع I شکل در جایی که در دهانه‌های بزرگتر تیرچه‌هایی با ظرفیت بالاتر مورد نظر باشد به کار می‌روند. آنها یک محصول اختصاصی متشکل از تارهای بالا و پایین که از لایه‌های به هم چسبیده تشکیل شده اند می‌باشند، با جان مرکزی که از OSB یا تختهٔ چندلایی ساخته شده است (تصویر ۵-۱۷ ج).

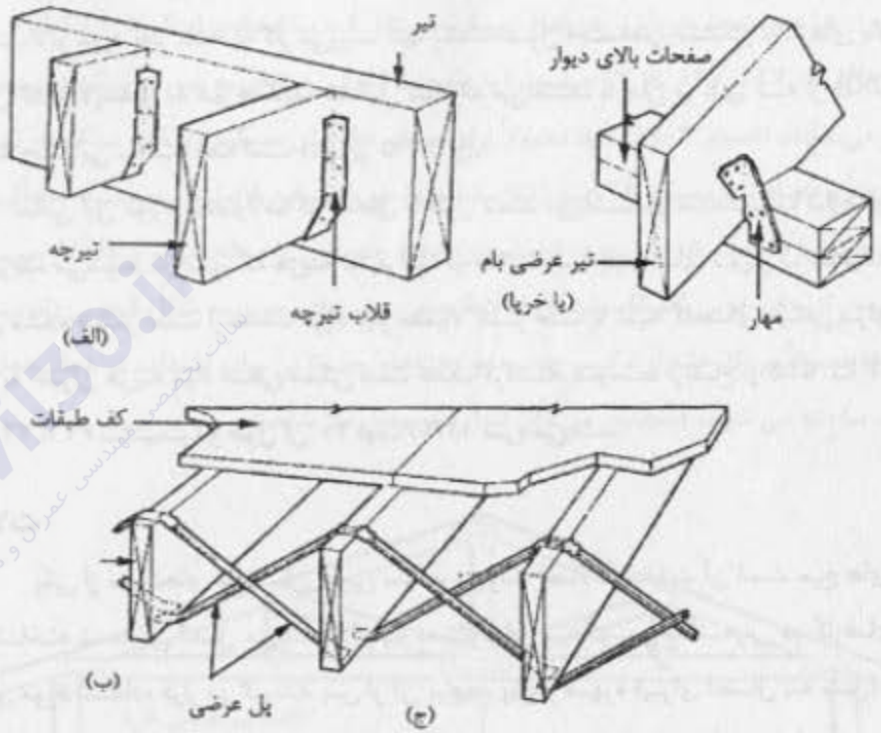
تمامی این موارد محصولات کارخانه‌ای با طول ممتد می‌باشند و متناسب با نیازهای طرح بریده می‌شوند. تا زمانی که هزینهٔ تولید آنها در مقایسه با چوب‌های توپر با ظرفیت باربری مشابه بیشتر است، ارتفاعات مورد نیاز معمولاً کمتر است یا تکیه گاه‌های میانی برای کمک به جبران هزینه مواد اضافی ممکن است حذف گردند. متوسط ارتفاع از ۹/۲۵ تا ۲۴ اینچ (۲۴ تا ۶۱ سانتیمتر) و طول ان ۴۰ فوت (۱۲/۲ متر) می‌باشد.

اتصالات

یکی از مزیت‌های ساختمان چوبی سبک، سهولت اتصالات ساخت آن است. میخ های رایج شناخته شده‌ترین اتصال می‌باشند (گرچه دستگاه‌های میخکوب و منگنه‌زنی در کارهای تکراری مورد استفاده قرار می‌گیرند)، پس از آن پیچ‌ها، پیچ و مهره (برای اتصال به بتن) و پیچ‌های تاخیری (پیچ‌هایی با سر نوک تیز شش گوشه). به علاوه برای ضخامت دندانه‌ای به کار رفته در ساخت تیر شیب خرپایی (تصویر ۳-۱۷ ب)، صدها صفحه فلزی اتصالی استاندارد برای مقاوم کردن ساختمان‌های چوبی در دسترس است. شناخته شده ترین آنها تیرچه‌های معلق، لنگرهای خرپا و پل های ضربدری می‌باشند (تصویر ۶-۱۷).

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۶-۱۷ : اتصالات چوبی با قاب سبک: (الف) اتصال تیرچه و (ب) لنگر خرپا و (ج) پل ضربدری.

حفاظت در برابر آتش

چوب‌های سنگین [اعضایی که حداقل ۵ اینچ (۱۲۷ میلیمتر) ضخامت در کمترین بعد دارند] که تمایل به سوختن در آتش‌سوزی دارند، لایه بیرونی آنها از جنس چوب زبان گنجشک است که به عنوان عایق، لایه‌های داخلی را از آتش محافظت می نماید. در نتیجه، ساختمان‌های با چوب‌های چوبی سنگین مطابق با آیین نامه‌های ساختمانی مقاوم در برابر آتش در نظر گرفته شده اند. اجزا چوبی نازک‌تر که سریع‌تر آتش می گیرند، احتراق‌پذیر در نظر گرفته می‌شوند و اگر نمایان و بدون روکش باشند، نیاز به روکش حفاظتی دارند (برای مثال، سنگ گچ). چوب را می‌توان در برابر آتش به وسیله اشباع آن با مواد شیمیایی مشخص که خاصیت احتراق‌پذیری آن را به میزان زیادی کاهش می‌دهد مقاوم نمود. کاربرد اصلی آن برای بخش های غیرسازه‌ای و دیگر اجزا در ساختمان در بناهای مقاوم در برابر آتش است. هزینهٔ عملیات با تاخیر انداختن آتش به قدری زیاد است که به ندرت در ساختمان مسکونی تک خانوار به کار می‌روند.

حفاظت در مقابل خوردگی حشرات و پوسیدگی

چوب را همچنین می‌توان در برابر خوردگی حشرات و پوسیدگی محافظت نمود. کرئوزوت (که به طور وسیعی در سازه‌های مهندسی مانند پل‌ها به کار می‌رود) یکی از مشتقات روغنی زغال سنگ می‌باشد و به ندرت برای کاربردهای معماری به سبب بوی آزاردهنده، سمی بودن و عدم قابلیت رنگ‌آمیزی به کار می‌رود. پنتاکلروفنل نیز یک محافظ روغنی است که آن هم سمی و غیر قابل رنگ‌آمیزی می‌باشد. پر استفاده‌ترین ماده در معماری نمک آب‌آورده، بیشتر با استفاده از نمک‌های مس می‌باشد. تا زمانی که حفاظت‌های موقت را می‌توان به وسیله رنگ یا اسپری به دست آورد، حفاظت های دراز مدت نیاز به فشار اشباع دارد.

اغلب حشرات و موجودات زندهٔ حمله کننده به چوب نیاز به هوا و رطوبت برای زنده ماندن دارند. چوب را در برابر اکثر آنها می‌توان با طراحی ساختمان به گونه‌ای که تمامی اجزا چوبی در تمام مدت خشک باقی بمانند حفظ کرد. این امر نیاز به تمیز نگاه داشتن چوب از خاک و بتن و تهویه مناسب اتاق زیر شیروانی و فضاهایی که کم ارتفاع می‌باشند، دارد (آلن، ۱۹۸۵).

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

فولاد

در فولاد، مقاومت و سختی غالب بوده و بال‌های آن و خطوط دارای انحنا در مجموع تحت فشار می‌باشند.

"ادوارد تروجا"

فولاد، آلیاژی از کربن و آهن است. مواد افزودنی، کیفیت‌های بخصوصی را در آن ایجاد می‌نمایند. به عنوان مثال اضافه کردن نیکل فولاد ضد زنگ ایجاد می‌نماید. فولادهای جدید امروزی دارای حدود ۰/۲ درصد کربن می‌باشند. اگر میزان کربن از ۱/۷ در صد متجاوز گردد، چدن به دست می‌آید. چدن سخت و شکننده بوده و ضریب ارتجاع آن کمتر از فولاد می‌باشد. میزان خیلی کم کربن (کمتر از ۰/۱ درصد) آهن کار شده تولید می‌نماید که در مقایسه با دیگر انواع آن بسیار نرم و چکش‌خوار است.

ساخت فولاد

فولاد ذوب شده به صورت شمش‌های بزرگ قالب گرفته می‌شود و پس از آن به وسیله مجموعه‌ای از غلتک‌ها با روش نورد گرم به اشکال مورد نظر (مانند پروفیل بال پهن H شکل، ناودانی، T، نبشی، میلگرد و ورق) در می‌آید یا به صورت صفحات نازک در می‌آید که متعاقباً با نورد سرد به مقاطع سبک‌تر تبدیل می‌شود. بیشتر فولادهای ساختمانی نورد گرم هستند، کاربردهای مهم سازه‌ای برای فولاد با نورد سرد صفحات فولادی موج‌دار و اعضا با قاب سبک هستند.

مشخصات

مقاطع بال‌پهن در تیرها و ستون‌ها به کار می روند و با ارتفاع ضربدر وزن در فوت طول مشخص می‌شوند. به عنوان مثال، W ۱۲ × ۱۰۶ مشخص می‌کند که عضو به شکل بال‌پهن بوده و ۱۲ اینچ (۳۰ سانتیمتر) ارتفاع داشته و وزن آن ۱۰۶ پاوند / فوت (۱۵۸ کیلوگرم / متر) می‌باشد.مقاطع نبشی شکل به صورت L معرفی می‌شوند که به دنبال آن طول اسمی و ضخامت دو ضلع آن نوشته می‌شود. مقاطع ناودانی به شکل C که به دنبال آن ارتفاع (برحسب اینچ) و وزن آن به پاوند در فوت طول نوشته می‌شوند.

مقاومت در برابر خوردگی

فولاد هنگامی که در مقابل هوا و رطوبت بدون پوشش قرار می گیرد زنگ می‌زند و بنابراین نیاز به محافظت به شکل رنگ زدن دارد. فولاد ضد زنگ دارای مقاومت در برابر خوردگی (ضد زنگ) درونی است، ولی برای اغلب کاربردهای سازه ای ساختمانی بسیار گران‌قیمت است.

آلیاژهای فولاد Certain یک لایه درونی ضد زنگ ایجا می‌نمایند که ثابت بوده و مانع از پیشرفت زنگ‌زدگی می‌گردند. اغلب چنین فولادهایی تحت تأثیر عوامل جوی قرار می‌گیرند (به عنوان مثال کورتن) و یک زنگار قهوه‌ای تیره ایجاد می‌نمایند.گرچه، هنگامی که به صورت نمایان به کار می‌روند، باید در برابر زنگ زدگی در اثر آب در مجاور مصالحی مانند بتن مراقبت شوند.

محافظت در برابر آتش

فولاد، مادهٔ ساختمانی پایداری است که مقاومت زیادی دارد و در فشار و کشش یکسان مقاومت می نماید. با وجود این که فولاد نمی‌سوزد، ولی در هنگام آتش سوزی مقاومت آن به میزان زیادی کاهش می یابد. به همین علت، اعضای فولادی نمایان با عایق کردن آنها با پوشش ضد آتش (مانند سنگ گچ) یا با لایه‌های نازک از رنگ های پوششی (که به میزان زیادی تحت شرایط سوختن تولید شده با ضخامت عایق مورد نیاز) باید محافظت گردند.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

اتصالات فولادی

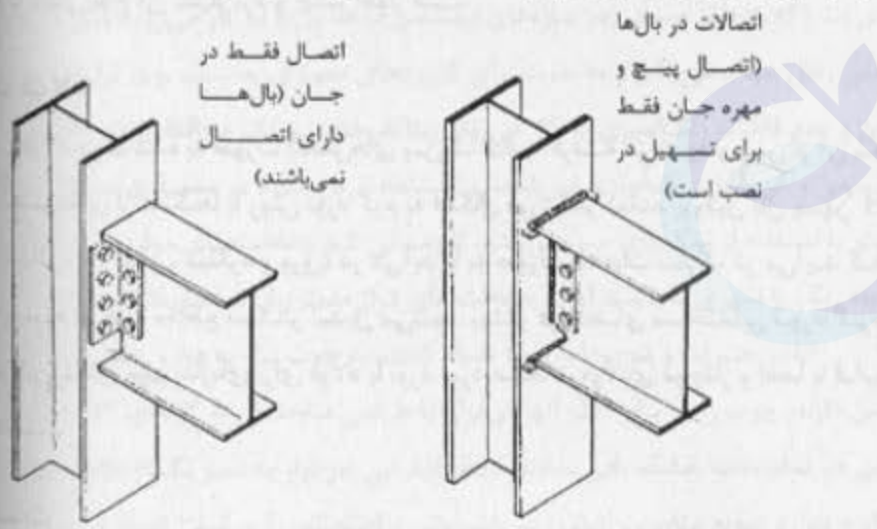
روش‌های اتصال

اعضای سازه‌ای فولادی به یکدیگر به وسیلهٔ پرچ، پیچ یا جوش متصل می‌شوند. پرچ میخ فولادی استوانه‌ای با یک سر است که به وسیلهٔ گرم کردن آن تا حد بالا و قرار دادن آن درون سوراخ‌هایی درون اجزایی که باید به هم متصل شوند نصب می‌شود. سر آن در محل به وسیله یک چکش دستی سنگین نگاه داشته شده و انتهای دیگر با میخ با یک چکش پنوماتیک برای ایجاد سر دوم کوبیده می‌شود. هنگامی که پرچ سرد شد، جمع شده و اعضا بسختی به هم کشیده می‌شوند. در ساخت بناها، پرچ کردن معمولاً به طور کامل به وسیله پیچ کردن و جوش که به نیروی کمتری نیاز دارد جایگزین گردیده است.

دو نوع اتصالات پیچ و مهره در سازه‌ها وجود دارد: برش و اصطکاک. در هر دو نوع پیچ‌ها کمی درون سوراخ‌هایی که بزرگ‌تر از پیچ می‌باشند قرار می‌گیرند و یک مهره که آنها را به هم محکم می‌کند (معمولاً به وسیله یک آچار ضربه‌ای پنوماتیک). اتصالات برشی فقط بر اساس مقاومت برشی پیچ و کشش ایجاد شده به وسیله استحکامی که بحرانی نیست، شکل می‌گیرند. اتصالات اصطکاکی نیاز دارند که پیچ با اطمینان ۷۰ در صد از حد مقاومت کششی برای تولید نیروهای محکم نگاه‌داشتن لازم برای امکان انتقال بارها بین آنها به وسیلهٔ کشش در سطوح دو عضو کشیده شود. با عملیات گرمایی، پیچ‌های با مقاومت بالا برای اتصالات اصطکاکی به کار می‌روند. جوش قوس الکتریکی کل ساختمان را به یک عضو واحد و یکپارچه تبدیل می‌نماید. با طراحی و نصب مناسب، اتصالات جوش در مقاومت برشی و نیروهای گشتاوری می‌توانند مقاوم تر از اعضایی باشند که آنها را به هم متصل می‌کنند. کنترل کیفیت در جوش از پرچ کردن و یا پیچ در اتصال برش اساسی‌تر است و نیاز به کنترل و آموزش جوشکاران به صورت تناوب زمانی دارد. برای اطمینان از کیفیت جوش از آزمایش‌های پرتونگاری مخصوص، می‌توان استفاده نمود. پیچ‌ها به طور معمول در اتصالات جوش برای نگه‌داشتن و کردن موقتی اعضا قبل از جوش دادن به کار می‌روند.

اتصالات برشی و لنگری (گشتاوری)

اتصالات قاب در بین تیرها و ستون‌های فولادی بر اساس طراحی آنها و چرخش محدود بین دو عضو به سه درجه تقسیم می شوند (تصویر ۷-۱۷). یک اتصال برشی برای انتقال نیروها فقط به وسیلهٔ برش طراحی شده است. معمولاً، جان تیر را به ستون اتصال می‌دهد. به علت این که باعث اتصال بال تیر آهن به ستون نمی‌شود، میزان کمی از گشتاور خمشی از یک عضو به عضو دیگر را انتقال می‌دهد. در نتیجه، رفتاری مانند یک اتصال مفصلی دارد و نمی‌توان روی پایداری آن در اسکلت ساختمانی حساب نمود.



تصویر ۷-۱۷ : اتصالات برشی

http://telegram.me/uadesigngroup

اتصال گشتاوری کاملاً صلب طراحی شده و انتقال‌دهندهٔ تمامی گشتاورهای خمشی بین تیر و ستون است. بنابراین نیاز به اتصال صلب بین بال‌های تیرآهن و ستون دارد و باید طول اتصال در بال‌ها حداقل برابر خود بال‌ها باشد. معمولاً یک نوار برشی در کارخانه به نمای ستون جوش داده شده و در محل به تیر پیچ می‌شود. این اتصال تیر را تا هنگامی که جوش داده شود نگاه می‌دارد و پس از آن نیز همواره در مقاومت برشی تیر مشارکت می‌نماید. به علت سخت بودن انتقال گشتاور کافی با استفاده از پیچ بتنهایی، بندرت برای اتصالات گشتاوری بال‌ها به کار می‌روند (آلن، ۱۹۸۵).

اجزاء اتصالات

تیرچه های فولادی

تیرچه های فولادی با جان باز (شناخته شده به عنوان تیرهای فرعی میله‌ای) خرپاهای سبک با تولید انبوه می‌باشند. آنها معمولاً در سقف وکف ساختمان‌ها بکار می‌روند وفاصلهٔ بین مرکز به مرکز کم و در حدود ۴تا۸ فوت (۱/۲ تا ۲/۴ متر) است .تیرچه‌ها روی تیر فولادی یا دیوار های باربر(تصویر ۸-۱۷) قرار می‌گیرند. روی آنها معمولاً با سطوح فولادی یا بتن پیش ریخته پوشانده می‌شوند. در ساخت آنها معمولاً از زاویه های دوتایی در بالا و پایین به عنوان تار و میلگردهای فولادی به عنوان اعضای قطری جان که به شکل مثلث آرایش یافته‌اند استفاده می‌شود. با وجود ارتفاع‌های استاندارد از۸تا۲۷ اینچ (۲۰ تا ۱۳۸ سانتی متر) تا دهانه‌های ۱۴۴ فوت (۴۴ متر)می‌توان با آنها پوشاند، بیشترین کاربرد تیرچه ها در ارتفاع‌هایی کمتر از ۲۴ اینچ (۶۰ سانتی متر) و دهانه‌هایی حداکثر تا ۴۰ فوت (۱۳ متر) می‌باشد (آلن ۱۹۸۵). تیرهای اصلی نیز مشابه تیرهای فوق ولی سنگین‌تر می‌باشند و به عنوان اعضای اصلی اسکلت جایگزین تیرهای بال پهن (جایی که محدودیت ارتفاع وجود ندارد) می‌گردند.

سطوح

سطوح فلزی، در سقف و کف ساختمان‌ها برای پوشاندن فاصله بین تیرها یا تیرچه های با جان باز به کار میروند .آنها صفحه‌ای از فولاد میباشند که به شکل سرد به صورت موج دار در آمده اند . سختی (و دهانه) در سطوح به وسیلهٔ ضخامت ورق فلزی (ضخامت) وارتفاع موج ورق آهن تعیین می‌شود.در مجموع چهار نوع سطح فولادی وجود دارد .فرم عرشه‌ای یک شکل موج دار ساده است که برای استفاده به عنوان یک فرم پایدار برای بتن سازه‌ای بدون تقسیم در مقاومت آن طراحی شده است .عرشه بام (سطح بام) برای استفاده با عایق سخت ولی بدون پوشش نهایی بتن طراحی شده است .سطوح مرکب برای کار با بتن نهایی به وسیلهٔ عملکرد به عنوان تقویت کششی طراحی شده‌اند. سطوح سلولی به وسیله جوش یک صفحه موجدار فلزی روی یک صفحه صاف فلزی ایجاد می‌شوند. این عمل ایجاد سطحی صلب می‌نماید که این سطوح توخالی فضای لازم برای سیم‌های برق را نیز تأمین می‌نمایند(تصویر ۹-۱۷)

اسکلت فولادی سبک

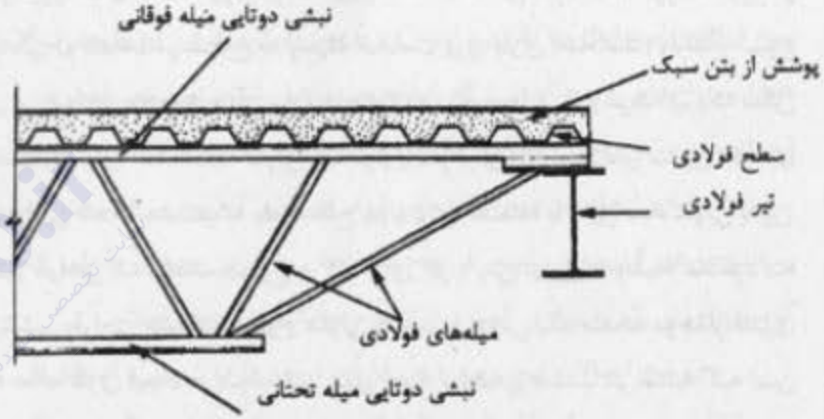
فولاد را همچنین می‌توان با نورد سرد به اشکال مختلف تیرچه و مهار مناسب برای اسکلت‌های سبک نیز به کار برد .صفحه به فرم مقاطع Z,C فلزی شکل داده میشود و فرم میگیرد و به مقاطع I شکل جوش داده می‌شود (تصویر ۱۰-۱۷) نورد سرد مقاومت فولاد را به عنوان نتیجه‌ای از دوباره تراز کردن از سازه واضح وشفاف آن افزایش می‌دهد. وسایل امروزی فقط از نورد سرد مصالح نسبتاً نازک قابل استفاده هستند.

هزینه ساخت اعضای اسکلت های فولادی سبک در مقایسه با اسکلت چوبی با ابعاد مشابه کمتر می‌باشد .اسکلت‌های فولادی کاربرد وسیعی در ساختمان‌های تجاری دارند ولی هنوز

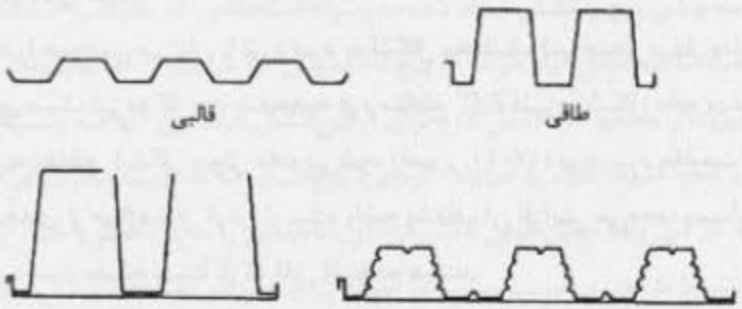
http://telegram.me/uadesigngroup

همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

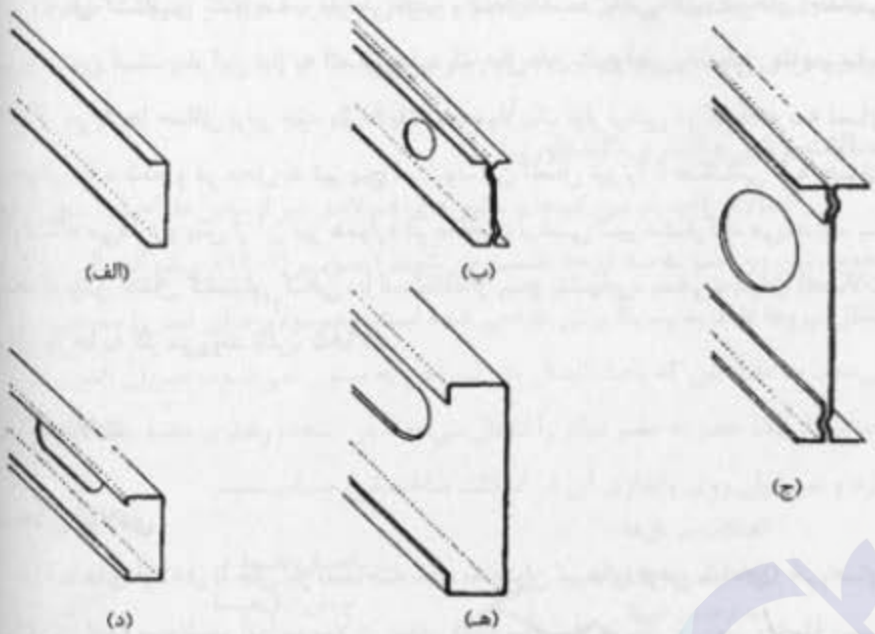
برای ساختمان‌های مسکونی کم طبقه به علت وسایل مخصوص مورد نیاز و بی‌میلی آهنگران از کار با مصالح فولادی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند.



تصویر ۸-۱۷ : تیرچه فولادی با جان باز.



تصویر ۹-۱۷ : سطوح (عرشه‌های) فولادی.



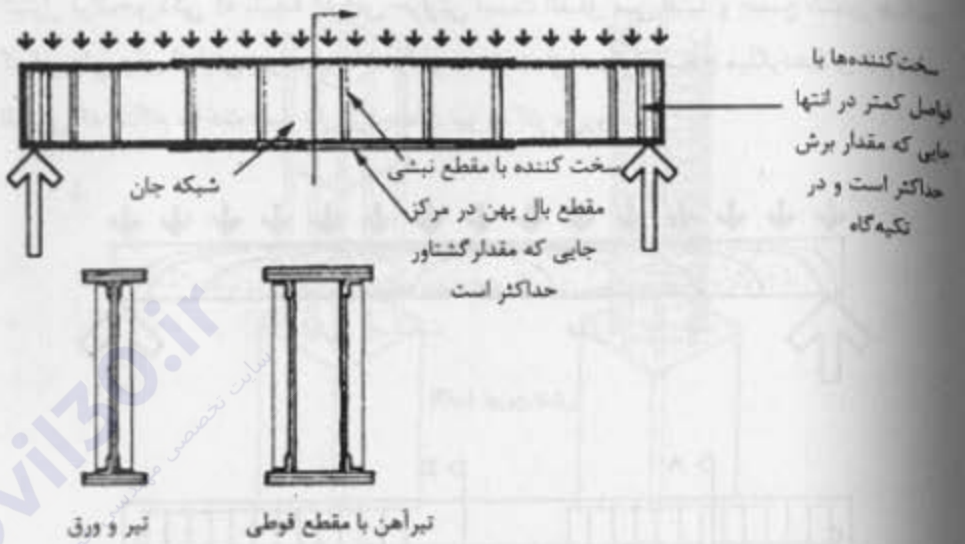
تصویر ۱۰-۱۷ : اعضا با قاب سبک و قالب سرد: (الف) پروفیل ناودانی، (ب) تیر مضاعف، (ج) تیرچهٔ مضاعف، (د) تیر به شکل ناودانی و (هـ) تیرچه به شکل ناودانی.

مقاطع ساخته شده

قاب‌های خمیده و تیر ورق‌ها مثال‌هایی از اعضایی هستند که در کارخانه از ورق‌ها، میله‌ها و مقاطع استاندارد نوردشدهٔ فولادی ساخته می‌شوند. تیرورق، تیر سنگین و مرتفعی است که در جایی که به ظرفیتی بالاتر از مقاطع نورد شدهٔ استاندارد احتیاج است به کار می‌رود (تصویر ۱۱-۱۷). ستون‌های سنگین هم به همین شیوه ساخته می‌شوند

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۱۱-۱۷ : تیر ورق از صفحه و میله فولادی و مقاطع نورد شده استاندارد ساخته شده است. توجه کنید که ضخامت بال در نزدیک مرکز دهانه جایی که نیروهای فشاری و کششی حداکثر است افزایش می یابد. سخت‌کننده‌های عمودی فاصله کمتری در انتهاها در جایی که برش عمودی حداکثر است، دارند.

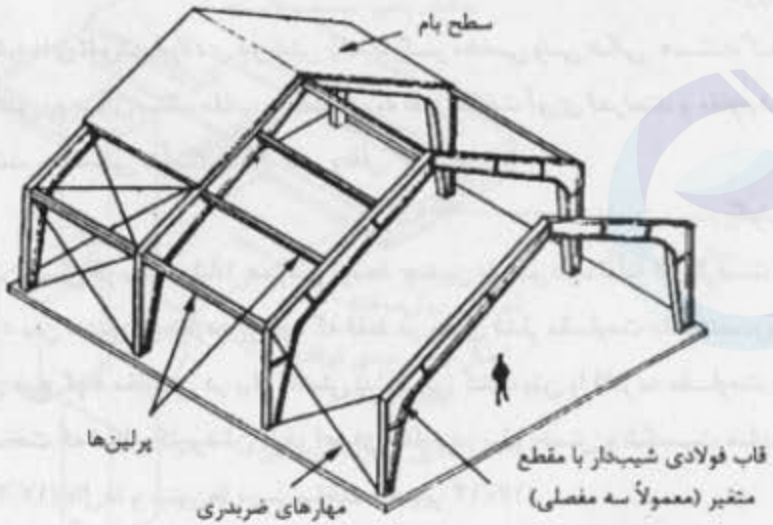
قاب شیب‌دار با مقطع متغیر (همچنین شناخته‌شده بعنوان قوس) قابی است که در ملهیچه‌ها برای ایجاد مقاومت خمشی در آنجا ضخیم‌تر گردیده است. معمولاً اتصال مفصلی در هر پایه ودر بالای آن میباشد .(تصویر ۱۲-۱۷)

بتن

تمامی ما قربانی اشکال راست گوشه ودال‌ها هستیم. درون جعبه‌های سنگی وآجری زندگی می‌کنیم در حالی که دنیای جدید می‌میرد تا دوباره در شرایطی که بتن و فولاد می‌توانند در کنار هم سازگار باشند، متولد شود.

" فرانک لوید رایت"

بتن توسط رومیان قدیم اختراع شد و بوسیلهٔ جوزف اسپدین درسال ۱۸۲۴ اصلاح گردید کسی که سیمان پرتلند را بدست آورد. (برگرفته از نام سنگ آهک انگلیسی که شبیه به آن میباشد) (آلن، ۱۹۸۵).



تصویر ۱۲-۱۷ : قاب فولادی سه مفصلی

http://telegram.me/uadesigngroup

بتن از ترکیب سیمان پرتلند ومصالح ریزدانه ودرشت‌دانه (شن وماسه)، آب وافزودنی‌هایی برای گیرایی بتن به‌دست می‌آید. گیرایی (سخت شدن) هنگامی اتفاق می‌افتد که سیمان برای ایجاد شکل سخت که دانه‌بندی را به یکدیگر به صورت یک تودهٔ یکپارچه می‌چسباند، ترکیب شیمیایی با آب داشته باشد. دمای در نظر گرفته شده (دمای هیدراته) در طی واکنش شیمیایی خارج می‌شود . مقداری جمع شدگی معمولاً به‌علت از دست دادن آب به هنگام گیرایی بتن اتفاق می‌افتد.

تقویت بتن

در بتن مسلح فولاد به سنگ سختی و بتن به فولاد حجم میدهد .

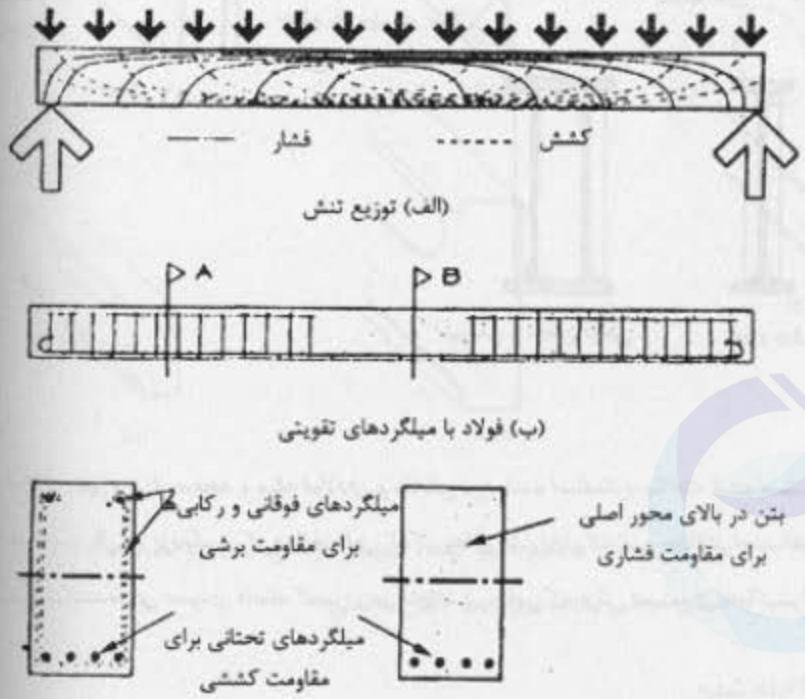
"ادوارد تروجا"

میلگردهای تقویتی فولادی در نقش یک کارگر مخفی ولی عالی هستند که سبب می‌شوند بتن به عنوان سنگ مناب و مصنوعی به طرز شگفت آوری قدرتمند و مقاوم در برابر نیروها باشد. محصولی نشأت‌گرفته از فکر وعقل.

"لوئی کان"

بتن مسلح در سال ۱۸۵۰ همزمان توسط چندین نفر مورد استفاده قرارگرفت .قبل از این کاربرد بتن محدود به سازه‌هایی بود که فقط در مقابل فشار مقاومت داشتند، زیرا بتن غیرمسلح هیچ گونه مقاومتی در برابر کشش ندارد. این کشف بتن را قادر به مقاومت در برابر کشش ساخت که امکان کاربرد آن را در اعضای مقاوم در برابر خمش و شکست مانند تیرها (تصویر ۳-۱۷) دال‌ها و ستون‌ها میسر ساخت (تصویر ۱۴-۱۷).

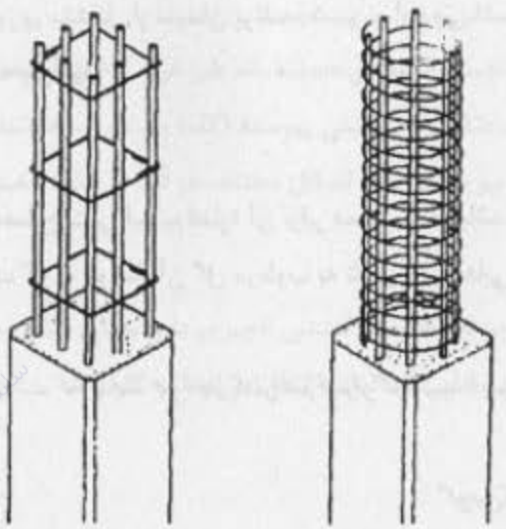
طرز به دست آوردن بتن مسلح ساده است. فولادرا در جایی قرار دهید که عضو تحت کشش قرار می‌گیرد و اجازه دهید بتن در برابر فشار مقاومت نماید . فولاد همچنین برای کنترل ترک‌خوردگی که نتیجهٔ انقباض حرارتی است اتفاق می افتد و جمع شدن هنگام گیرایی بتن برای افزایش پیوند بین اجزاء و ممانعت از لغزش سطح میلگردها ی فولادی تقویتی که هنگام ساخت شیار دار گردیده‌اند نیز به کار می‌رود.



تصویر ۱۳-۱۷ : محل فولاد تقویتی در تیر بتنی به وسیلهٔ نیروی کششی تعیین می‌شود: (الف) توزیع تنش، (ب) فولاد تقویتی و (ج) مقاطع. میلگردهای عمودی (رکابی‌ها) برای مقاومت برشی که نزدیک انتهاها ایجاد می‌شوند به کار می روند که نیروهای کششی به صورت قطری عمل می‌نمایند.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



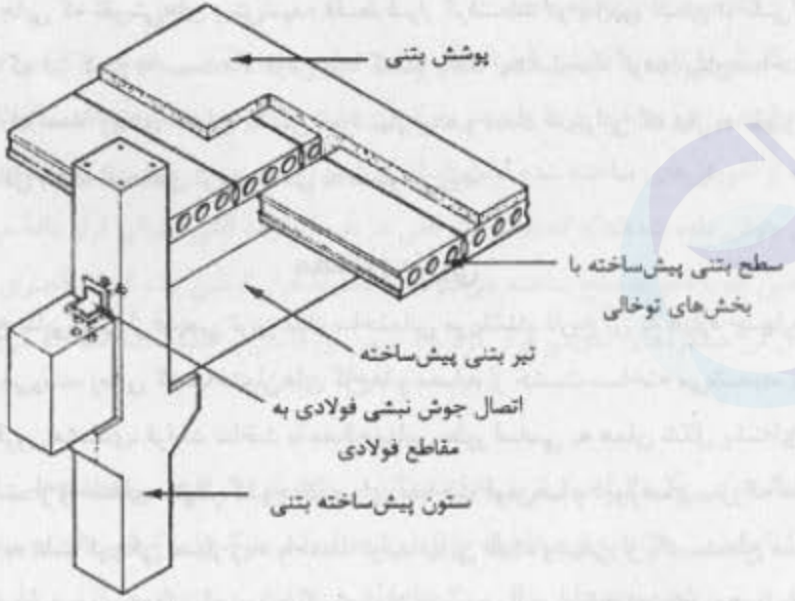
تصویر ۱۴-۱۷ : فولاد های تقویتی در ستون های بتنی

قالب بندی

بتن ریخته شده در محل به وسیله قالب هایی که به عنوان کالبد بتن تا زمان گیرایی آن عمل می‌نمایند شکل می‌گیرد . قالب بندی معمولاً از جنس چوب (به خصوص تختهٔ چندلایی)، فولاد یا فایبرگلاس می‌باشد .قالب بندی باید به اندازهٔ کافی برای نگاه‌داری وزن بتن و فولاد های تقویتی همچنین مقاومت در برابرفشار هیدرواستاتیک بتن به شکل مایع استحکام داشته باشد. در نتیجه، بعضی از قالب‌بندی‌ها خود در بعضی از پروژه‌های بزرگ ساختمانی نیاز به مهندس متخصص دارند. هزینهٔ قالب‌بندی قابل توجه می‌باشد و آن را برای استفادهٔ مجدد در هر جایی که ممکن باشد مطلوب می‌سازد .

پیش ساختگی

هزینهٔ بالای قالب‌بندی برای بتن درجا استفاده از تکنولوژی بتن پیش‌ساخته را رواج داده است .بتن پیش ساخته بااستفاده از قالب‌های دائمی که برای استفاده‌های مکرر ساخته شده است، در یک کارخانهٔ صنعتی اجرا می‌گردد. از بخار برای تسریع در فرایند گرفتن و سخت شدن بتن استفاده می‌شود .پس از گرفتن بتن ،اعضا به وسیلهٔ کامیون به محل منتقل می‌شوند و توسط یک جرثقیل نصب می‌گردند (تصویر ۱۵-۱۷). اتصالات بین اعضا جوش فولاد داخل قالب در زمان ساخت می‌باشد.



تصویر ۱۵-۱۷ : ستون‌ها، تیرها و سطوح پیش‌ریختهٔ بتنی

http://telegram.me/uadesigngroup

ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

هنگامی که اتصال گشتاوری مورد نیاز است، در بین اعضا انتهای میلگردهای تقویتی برای اتصال نیمانیم نمایان باقی می‌ماند. فضای اطراف میلگردهای تقویتی نمایان با یک بتن مخصوص غیرجمع شوندهٔ مخصوص دوغابریزی می‌شود.پس از گرفتن بتن ،اتصال به دست‌آمده صلب است وبه سختی هنگامی است که سازه در محل ساخته می‌شود .

اعضای تیر و ستون پیش‌ریخته معمولاً پیش‌تنیده می‌باشند ، این عمل با به کارگیری کابل فولادی مخصوص تقویتی که تحت کشش قابل توجهی قبل از گرفتن بتن قرار گرفته است، انجام می‌گیرد. پس از گیرایی بتن ،هنگامی که انتهای کابل‌های فولادی بریده شد، این نیروهای کششی به بتن انتقال می‌یابد، وآن را به شکل فشاری می‌کشد. دراین حالت تیرها و چوب‌ها جایی که تقویتی‌های پیش‌تنیده فقط قرار گرفته‌اند در پایین تنش داخلی سبب می‌گردد که تیر کمی به سمت بالا قوس پیدا کند و باعث ایجاد انحناء گردد .پیش‌ساختگی در شرایطی که تعداد زیادی اعضای یکسان مورد نیاز بوده و تعداد تغییراتی که نیاز به تغییر قالب دارد حداقل باشد، اقتصادی ترین راه‌حل به شمار می‌رود.

مصالح بنایی

مصالح بنایی یکی از قدیمی ترین مواد ساختمانی می‌باشند. تاریخ آن به هزاره چهارم قبل از میلاد می‌رسد. زمانی که ساختمان‌های کاخ‌ها و معابد از خشت ساخته می‌شدند، پس از گذشت قرون متمادی، فرایند ساخت با مصالح بنایی بطور اساسی به همان شکل پشته‌ای باقی مانده است. از واحدهای مدولار کوچک برای ساخت قوس‌ها و دیوارهای بزرگ استفاده می‌شود. به علت کوچکی بسیار زیاد واحدها، تولید نهایی طیف وسیعی از یک سطح صاف تا یک دیوار مارپیچی موجدار را در بر می‌گیرند. ملات چسبی است که اعضای مجزا را به‌هم می‌چسباند. ملات‌های امروزی متشکل از سیمان پرتلند، شن و آب می‌باشند. آهک معمولاً برای افزایش مقاومت اضافه می‌شود.

آجر

آجر کوچکترین واحد مصالح بنایی است، اندازهٔ آن برابر دست بنا می‌باشد. آجرهای قدیمی از گل نرم ساخته می‌شدند، که به موجب آن گل مرطوب به شکل قالب هایی ساخته می‌شد و خشک می‌گردید.

معماری از هنگامی آغاز شد که بدقت دو آجر کنار هم قرار گرفتند. این هنگام پیدایش معماری است.

"لودویک میس وندروهه"

امروزه اغلب آجرها تولید انبوه دارند و از گل سفت در ساخت آنها استفاده می‌شود. بصورتی که گل با رطوبت کم از قالب چهارگوش بیرون آورده می‌شود و به‌وسیلهٔ سیم برش، قطعه قطعه می‌شود. پس از قالب‌گیری، آجرها طی یک تا دو روز خشک می‌شوند، و تحت دمای ۲۴۰۰ درجهٔ فارنهایت (۱۳۰۰ درجه سلسیوس) در یک کوره پخته می‌شوند، به‌طوری که گل به‌صورت شیشه‌ای به شکل سرامیک در می‌آید. رنگ آجر بستگی به ترکیب گل و دمای کوره دارد. در حالیکه اندازه استانداردی برای آجر وجود ندارد، اغلب اندازه‌های متعارف در ایالت متحد آجر مدولار است که برای ساخت دیوار در مدول‌های ۴ اینچی (۱۰۰ میلیمتر) عرض و ۸ اینچ (۲۰۰ میلیمتر) طول در ۳ لایه با ۳/۸ اینچ (۹ میلیمتر) ضخامت برای ملات طراحی شده است.

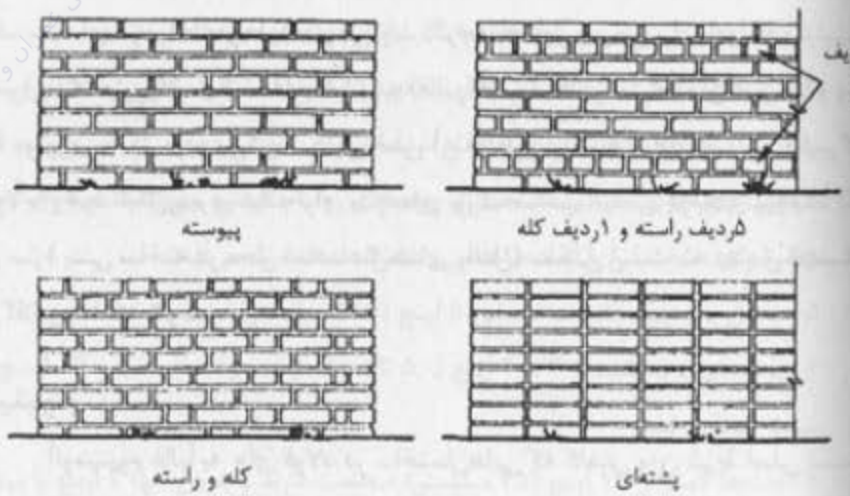
http://telegram.me/uadesigngroup

آجر چینی

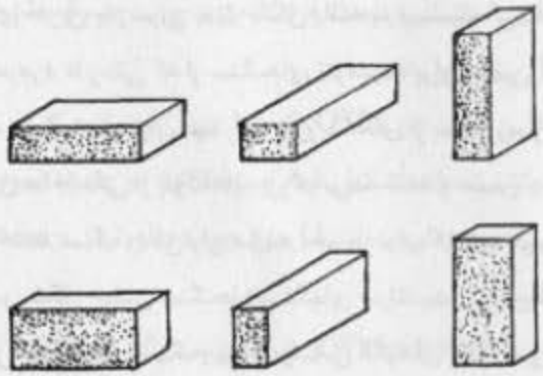
روشهای آجر چینی الگوهایی هستند که طرز قرار گرفتن آجرها را نشان می‌دهند (تصویر ۱۶-۱۷) این روشها شامل آجر چینی پیوسته (کله) مشترک، فنلاندی و پشته‌ای می‌باشند. طرز چیدن آجرها نیز باعث ایجاد اشکال مختلف در آنها می‌شود (تصویر ۱۷-۱۷).

تقویت آجر

مشابه بتن، آجر نیز مقاومت کششی ناچیزی دارد. همان میلگردهای آجدار نیز ممکن است برای تقویت در جایی که کشش اتفاق می‌افتد، به‌کار روند.



تصویر ۱۶-۱۷ : آجر چینی.



تصویر ۱۷-۱۷ جهت های مختلف آجر.

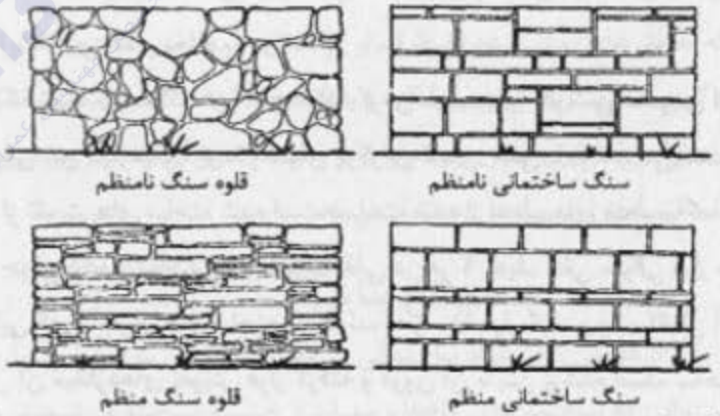
یک شیوهٔ تقویت کششی آجر اضافه کردن میله‌های تقویتی عمودی افقی در مرکز بخش خالی بین دو ردیف آجرها و سپس پرکردن فضای خالی با دوغاب می‌باشد. روش دیگر استفاده از تقویتی‌های ساخته شده است (ساخته شده از سیم‌های ضخیم که به یک فرم خرپایی جوش داده شده‌اند)، که به‌صورت افقی در هر ۹ ردیف افقی متوالی قرار داده می‌شوند. ستون‌هایی که با آجر مسطح ساخته می‌شوند، به وسیلهٔ قرار گرفتن یک کانال آجری مجوف که داخل آن میلگردهای تقویتی قرار گرفته و درون آن با بتن پرشده است، ساخته می‌شوند.

سنگ

سنگ بنایی یکی از قدیمی‌ترین انواع سنگ می‌باشد. از قرار گرفتن قطعه‌هایی از تخته سنگ‌ها با یا بدون ملات به فرم دلخواه تشکیل شده است. سنگ‌ها بر اساس طرز چیدن آنها تقسیم‌بندی می شوند، به‌عنوان مثال سنگ‌های آذرین (ته‌نشین شده از حالت مذاب، شامل گرانیت)، رسوبی (ته‌نشین شده به‌وسیلهٔ جریان آب، شامل سنگ آهک و ماسه‌سنگ) و

http://telegram.me/uadesigngroup

دگردیس (سنگ های آذرین یا رسوبی تغییر شکل یافته به وسیله گرما و فشار ۲۳۵ شامل سنگ لوح و سنگ مرمر). تا زمانی که از سنگ‌های تراشیده برای بعضی کاربردها در ساخت ساختمان‌ها استفاده می‌شود، می‌توان آنها را به طور ساده‌ای از سطح زمین و معادن به دست آورد. اغلب سنگ‌های ساختمانی از بلوک‌های بزرگ بریده شده و سپس به اندازهٔ مصالح مورد نیاز برش داده شده است. سنگ را می‌توان مشابه آجر در برابر کشش تقویت نمود. الگوهای مصالح سنگی براساس شکل چیدن سنگ‌ها (سنگهای تراشیده بدون فرم، قلوه سنگ یا سنگ‌های ساختمانی چهارگوش) سنگ‌چینی (براساس الگوهای آجرچینی) تقسیم می‌شوند.



تصویر ۱۸-۱۷ الگوهای چیدن سنگ.

دیگر مصالح ساختمانی

"مصالح سبک بافت"

سازه‌های پارچه‌ای، سازه‌های کششی سبک‌وزن مانند چادرها و سازه‌های بادی می‌باشند. سازه‌های پارچه‌ای به‌عنوان یک عنصر سازه‌ای اصلی، باید بین عوامل تکیه‌گاهی را بپوشانند، و در مقابل بارهای ناشی باد و برف مقاومت داشته و هنگام راه رفتن روی آن سالم بمانند. بعنوان یک پوشش باید هوابندی شده، ضدآب بوده، در برابر آتش مقاومت داشته و (در اغلب حالت‌ها) نیم شفاف باشند.

سازه‌های پارچه‌ای متشکل از مصالح اصلی سازه‌ای (فایبرگلاس یا پلی‌استر) می‌باشند که با یک سطح محافظ پوشیده شده‌اند (مانند پلی‌وینیل‌کلراید، تفلون یا سیلیکون). پوشش تفلون فایبرگلاس که برای اغلب چادرها و ساختمان‌هایی با سقف بادی ساخته شده است از سال ۱۹۷۵ مورد استفاده قرار گرفته است.

پلاستیک‌ها

اغلب پلاستیک‌های به کار رفته در معماری کاربردی غیرسازه‌ای دارند و بندرت برای اهداف سازه ای در ساختمان‌ها به کار می‌روند (گرچه به طور وسیعی برای اهداف تزئینی به کار می‌روند). حتی پلاستیک مسلح با شیشه (فایبرگلاس) که در ساختمان قایق‌ها و وسائط نقلیهٔ موتوری به کار برده می‌شوند، دلیل اصلی آن به طور عمده اقتصادی است. فایبرگلاس معمولاً با وجود شکل‌پذیری ساده برای سازه‌های بزرگ مناسب نیست. فرم‌های پیچیدهٔ تکراری برای سازهٔ بتنی ساخته در محل (مانند دال‌های وافل) ممکن است به دلایل اقتصادی از فایبرگلاس ساخته شوند.

آلومینیوم

آلومینیوم غالباً به جای فولاد در ساختمان‌هایی که کاهش وزن شرط اصلی است به کار می‌رود. مقاومت آن مشابه فولاد است، خاصیت قالب‌پذیری دارد و وزن‌آن یک سوم فولاد می‌باشد و زنگ نمی‌زند. پیشرفت‌های اخیر هزینهٔ تولید آلومینیوم را پایین آورده و جوش دادن آن را برای بسیاری از کاربردها به خصوص برای اجزا نمایان داخلی جذاب نموده است. مقاومت

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

اضافی در برابر خوردگی و زنگ زدن را می‌توان به وسیله آندایز کردن سطح (قطبی کردن) با یک فرایند الکترولیتی به دست آورد. ضمن آنکه می‌توان علاوو بر محافظت برای اضافه کردن رنگ نیز از این فرایند استفاده شود.

خلاصه مطالب

۱- به علت وجود چوب در طبیعت به صورت آلی، دارای خاصیت فیزیکی یکسان نمی‌باشد، تمامی خواص فیزیکی آن بستگی به این دارد که به شکل موازی یا عمود بر رگه‌های چوب در نظر گرفته شود.

۲-در حقیقت تمامی چوب‌های به کار رفته در سازه‌ها از نوع چوب‌های نرم می‌باشند (از چوب سخت در معماری فقط در تزئینات استفاده می‌شود)، کاج، صنوبر و کاج نوبل مهم‌ترین گونه‌های به کار رفته چوب در سازه‌ها می‌باشند.

۳-تنش‌های مجاز (تنش‌های سازه‌ای که دربرگیرنده یک تنش مجاز بی خطر است) برای انواع مختلف چوب در نظر گرفته شده است.

۴- قاب‌های چوبی به طور مستقیم از چوب‌های خام گرفته می‌شوند و از چوب‌ها، چوب های ساختمانی با ابعاد مشخص و تخته ها به دست می‌آیند.

۵-حداقل بعد چوب‌های ساختمانی ۵ اینچ (۱۲۵ میلیمتر) است.

۶-چوب‌های بریده‌شده از ۲ تا ۴ اینچ (۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر) ضخامت و ۱۲ اینچ یا بیشتر پهنا دارند.

۷-تخته‌ها کمتر از ۱۲ اینچ (۲۵ میلیمتر) ضخامت دارند و عرض آنها ۲ اینچ یا بیشتر می‌باشد. بندرت برای کاربری سازه‌ای به کار می‌روند و به وسیلهٔ پانل‌های ساخته شده جایگزین شده‌اند.

۸-تختهٔ چندلایی متشکل از تعداد فرد لایه‌های چوب چسبانده‌شده به یکدیگر برای ایجاد یک پانل بزرگ می‌باشد.

۹-تختهٔ چندلایی جهت دار (OSB) از اجزا چوبی شبه لایه که در ۳ یا ۵ لایه به هم فشرده و چسبانده شده‌اند تشکیل شده است، لایه‌ها در جهت عمود بر هر لایه (مشابه تختهٔ چندلایی) جهت دار شده‌اند. این نوع چوب مقاوم‌ترین و سخت‌ترین نوع چوب ساخته شده است.

۱۰-تخته ویفری (Wafer board)از ورقه‌های بزرگ چوبی که فشرده یا متصل شده‌اند به صورت یک لایه تشکیل شده است.

۱۱-تخته‌های اجزایی (Particle board)متشکل از اجزا کوچک فشرده و به هم چسبانده شده به شکل یک لایه می‌باشد.

۱۲-پانل مرکب، متشکل از یک هستهٔ بدون لایه می‌باشد که بین لایه‌های مختلف چسبانده شده است.

۱۳-امروزه، اعضای چوبی سازه‌ای بزرگ معمولاً به وسیله چسباندن لایه‌های نازک‌تر به هم تحت فشار برای تولید چوب چسبانده شده چند لایه (Glulam) تولید می‌شوند.

۱۴-اجزای چوبی ساخته شده شامل تیر شیب خرپایی و تیر آشکل از تختهٔ چندلایی و تیرهای با مقطع قوطی می‌باشد.

۱۵- چوب‌های چند لایه روکش دار (LVL) متشکل از لایه‌های چوب در جهت عمودی با رگه‌هایی در هر جهت طولی می‌باشند.

۱۶-چوب با لایه‌های موازی (PSL)متشکل از اجزای چوبی روکش دار در جهت عمودی می باشند که به هم فشرده و چسبانده شده‌اند.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

۱۷-تیرچه‌های چوبی با مقاطع I شکل در جایی که در دهانه‌های بزرگتر تیرچه‌هایی با ظرفیت بالاتر مورد نظر باشد به کار می روند. آنها یک محصول اختصاصی متشکل از تارهای بالا و پایین که از لایه‌های به هم چسبیده تشکیل شده اند می‌باشند، با جان مرکزی که از OSB یا تختهٔ چندلایی ساخته شده است.

۱۸-فولاد، آلیاژی از کربن و آهن است. فولاد ذوب شده درون شمش های بزرگ قالب گرفته می‌شود که پس از آن به وسیلهٔ مجموعه‌ای از غلتک‌ها به اشکال نورد گرم شده شکل می‌گیرند (مانند پروفیل بال پهن H شکل، ناودانی، T، نبشی، میلگرد و ورق) یا به صفحات نازک که متعاقباً به مقاطع سبک‌تر با نورد سرد شده شکل می‌گیرند.

۱۹-فولاد، هنگامی که در مقابل هوا و رطوبت بدون پوشش قرار می‌گیرد زنگ می‌زند و بنابراین نیاز به محافظت به شکل رنگ زدن دارد.

۲۰-اعضای فولادی نمایان باید با عایق کردن آنها با پوشش ضد آتش (مانند سنگ گچ) یا با لاه‌های نازک از رنگ های پوششی (که به میزان زیادی تحت شرایط سوختن تولید شده با ضخامت عایق مورد نیاز) محافظت گردند.

۲۱-اعضای فولادی سازه‌ای با استفاده از پرچ، پیچ و جوش به هم متصل می‌گردند.

۲۲-اتصالات قاب در بین تیرها و ستون‌های فولادی بر اساس طراحی آنها به چرخش محدود بین دو عضو به سه درجه تقسیم می‌شوند. یک اتصال برشی برای انتقال نیروها فقط به وسیله برش طراحی شده است. اتصال گشتاوری کاملاً صلب طراحی شده و انتقال دهنده تمامی گشتاورهای خمشی بین تیر و ستون است.

۲۳-تیرچه های فولادی با جان باز (شناخته شده به عنوان تیرچه‌های میله‌ای) خرپاهای سبک با تولید انبوه میباشند.

۲۴- سطوح فلزی، درسقف و کف ساختمان‌ها برای پوشاندن فاصله بین تیرها یا تیرچه های با جان باز به کار میروند .آنها صفحه‌ای از فولاد می‌باشند که به شکل سرد به صورت موج دار در آمده‌اند.

۲۵-اعضای اسکلت فولادی سبک در حالت سرد به شکل میله‌ها و تیرچه‌ها با اشکال مختلف در آمده‌اند.

۲۶-بتن، از ترکیب سیمان پرتلند ومصالح ریز دانه ودرشت دانه (شن وماسه)وآب وافزودنی هایی برای گیرایی بتن به دست می آید. گیرایی (سخت شدن) هنگامی اتفاق می‌افتد که سیمان ترکیب شیمیایی با آب داشته باشد برای ایجاد شکل سخت که دانه بندی را به صورت یک توده یکپارچه به یکدیگر می‌چسباند.

۲۷-فولاد تقویتی، مقاومت کششی بتن را افزایش می‌دهد و اعضا را در برابر خمش و شکست مقاوم می‌نماید مانند تیرها، دال‌ها و ستون‌ها.

۲۸-قالب بندی که معمولاً به عنوان کالبد بتن تا هنگام گرفتن آن عمل می‌کند، ازفولاد یا فایبرگلاس و چوب ساخته می‌شود (خصوصاً تختهٔ چندلایی).

۲۹-هزینه بالای قالب‌بندی برای بتن درجا استفاده از تکنولوژی بتن پیش‌ساخته را رواج داده است .بتن پیش‌ساخته بااستفاده از قالب‌های دائمی که برای استفاده‌های مکرر ساخته شده است، در یک کارخانه صنعتی اجرا می‌گردد. از بخار برای تسریع در فرایند گرفتن و سخت شن بتن استفاده می‌شود .پس از گرفتن بتن ،اعضاء به وسیله کامیون به محل منتقل میشوند و توسط یک جرثقیل نصب می گردند.

۳۰-پیش‌تنیدگی به‌کارگیری کابل فولادی به خصوص برای تقویت که کشیده شده است تحت کشش قابل توجهی قبل از گرفتن بتن انجام می‌گیرد. پس از گیرایی بتن

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

،هنگامی که انتهای کابل‌های فولادی بریده شد، این نیروهای کششی به بتن انتقال می‌یابد، وآن را به شکل فشاری می‌کشد .

۳۱-امروزه اغلب آجرها در تولید انبوه دارند و از گل سفت استفاده می‌نمایند. به‌صورتی که گل با رطوبت کم از قالب چهارگوش بیرون آورده می‌شود و بوسیلهٔ سیم برش، قطعه قطعه می‌شود. پس از قالبگیری، آجرها در یک تا دو روز خشک می‌شوند، و تحت دمای ۲۴۰۰ درجهٔ فارنهایت (۱۳۰۰ درجه سلسیوس) در یک کوره پخته می‌شوند.

۳۲- ملات‌های بنایی از سیمان پرتلند، شن و آب تشکیل شده است، آهک معمولاً برای افزایش کارآیی اضافه می‌گردد.

۳۳- رج چینی الگوهایی هستند که سنگ و آجر روی هم قرار می گیرند و شامل رج‌چینی پیوسته (کله)، مشترک، فنلاندی و پشته ای می‌باشند.

۳۴- الگوهای مصالح سنگی بوسیلهٔ شکل سنگ‌ها (سنگهای نتراشیده بدون فرم یا سنگهای ساختمانی چهارگوش) سنگ چینی (براساس الگوهای آجر چینی) تقسیم می‌شوند.

۳۵- فایبرگلاس با پوشش تفلون برای اغلب چادرها و سازه‌های بام پنوماتیک به کار می‌رود.

۳۶- آلومینیوم غالباً به جای فولاد در ساختمان‌ها در جایی که وزن شرط اصلی است به کار می‌رود. مقاومت آن مشابه فولاد است، خاصیت قالب‌پذیری دارد و وزن‌آن یک سوم فولاد می‌باشد و زنگ نمی‌زند.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

فصل ۱۸

طراحی کلی سازه

هر سازه‌ای که کاربردی به غیر از تحمل نیروهای ساختمان نداشته باشد، دارای بازدهی مؤثر نیست.

"ادوارد آلن"

پیش از شروع ترسیم جزئیات سازه‌ای، خصوصیات مربوط به جزئیات طرح باید در نظر گرفته شود.

ملاحظات اولیه

دیوارهای باربر

دیوارهای باربر بهترین تکیه‌گاه برای نگاهداری بار گستردهٔ یکنواخت در سراسر طول آن می‌باشند و شامل دال‌ها و تیرچه‌ها با فواصل کم می‌شوند. به علت اینکه تیرهای اصلی و فرعی بارهای متمرکز را حمل می نمایند، بندرت متکی بر دیوارهای باربر می‌باشند و معمولاً ستون‌ها به جای آنها به کار می‌روند. در جایی که بار متمرکز از طریق دیوار باربر نگاه داشته می‌شود مقاومت دیوار با اضافه کردن میلگرد تقویتی یا ضخیم کردن دیوار به شکل جرز یا ستون افزوده می‌گردد.

محل قرارگیری دیوار باربر در پلان به شکل عضو تکیه‌گاهی نشان داده می‌شود. به همین دلیل، محل قرارگیری، فواصل دیوارهای باربر در پلان و جهت آن با عملکردهای ساختمان باید بدقت مورد توجه قرار گیرد. به علت محدودیت‌های اقتصادی، شکل و محل قرارگیری دیوارهای باربر باید تا حد امکان یکسان باشد. این امر کاربری دیوارهای باربر را در انواع ساختمان‌ها مانند مدارس، آپارتمان‌ها و متل‌ها افزایش می‌دهد.

دیوارهای باربر با فواصل منظم، ممکن است به عنوان دیوارهای برشی برای توزیع پایداری جانبی نیز به کار روند. این دیوارها ممکن است بتنهایی در یک یا دو جهت قرار گیرند. دیگر اعضا (مانند مهاربندی یا اتصالات صلب ستون) برای تأمین پایداری جانبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دیوارهای باربر باید به خوبی در پلان پراکنده باشند و تا حد امکان، خصوصاً در دیوارهای بلندتربه شکل متقارن قرار گیرند. در بالای بازشوها باید نعل‌درگاه تعبیه نمود. در پلان‌های بزرگتر و قابل انعطاف‌تر، تیرها و ستون‌ها در ترکیب با دیوارهای باربر مورد استفاده قرار می‌گیرند (تصویر ۱-۱۸).

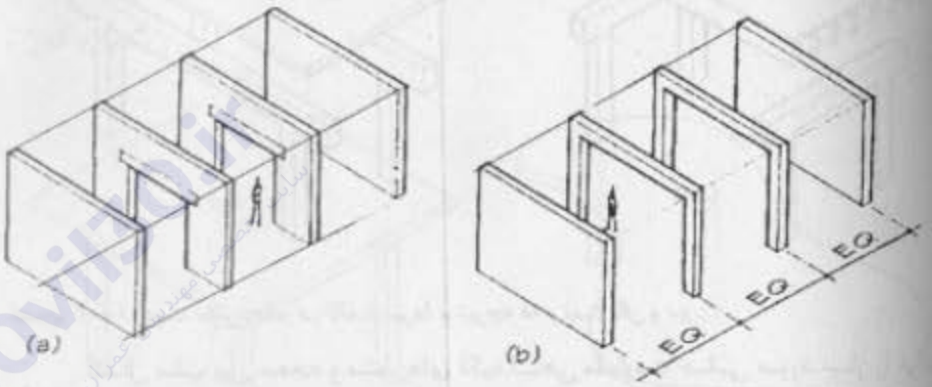
به عنوان یک قانون کلی، در ساختمان‌های چندطبقه دیوارهای طبقات باید در یک صفحهٔ قائم قرار گیرند در عین حال باید امکان ایجاد فضای باز در طبقهٔ همکف را داشته باشند (به عنوان مثال، برای سرسرا). در چنین شرایطی با طراحی دیوار طبقهٔ دوم به عنوان یک تیر با ارتفاع زیاد، امکان انتقال بارها به ستون‌های پیرامونی طبقهٔ اول فراهم می‌گردد (تصویر ۲-۱۸).

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

ستون‌ها

ستون‌ها برای تحمل نیروهای تیرها و خرپاها یا دال‌ها (شامل صفحه‌ها و تیرچه‌ها) به کار می روند. به علت این که ستون‌ها تمایلی به ایجاد فضای محصور ندارند، نسبت به دیوارهای باربر در طرح، فضاهای غیرمحصور با فشردگی کمتر ایجاد می‌نمایند.

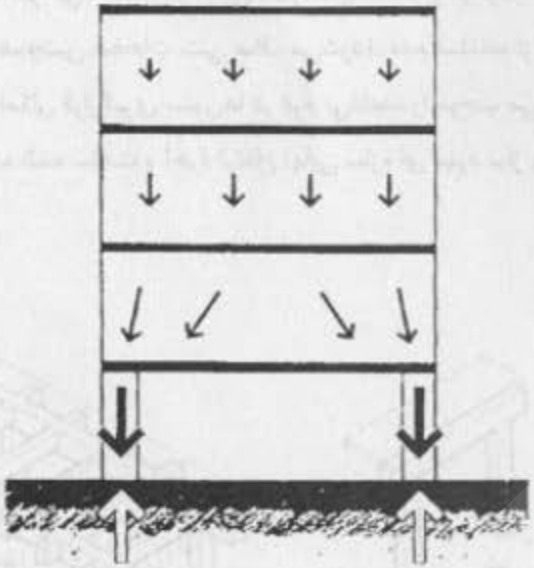


تصویر ۱-۱۸ : بازشوها در دیوار باربر : (الف) ایجاد بازشو از طریق نعل درگاه و (ب) ترکیب تیر و ستون با دیوار باربر.

چنین امری موجب می‌گردد تا ستون‌ها برای فضاهای داخلی ساختمان در جایی که از مدول سازه ای تکراری تبعیت نمی‌نماید یا جایی که اتاق‌ها به فرم و اندازه غیرمشخص می‌باشند، انتخابی مناسب باشند. ستون‌ها حداکثر بازشدگی در پلان و امکان تغییر وضعیت فضای داخلی به وسیلهٔ حرکت دیوارهای غیرسازه ای را فراهم می‌سازند و هنگامی که با تیرها ترکیب می شوند، امکان پوشاندن دهانه‌های وسیع و بیشتری را دارند.

سیستم های تیر و ستون فولادی درجا با رفتاری مانند یک قاب صلب، تکیه‌گاه جانبی را تأمین می نمایند. چنین سیستمی نیاز به اتصالات صلب دارد (ایجاد اتصال صلب در بتن پیش‌ریخته و اسکلت چوبی مشکل است و باید از دیگر روش‌های ایجاد تکیه‌گاه جانبی استفاده کرد). قاب‌های صلب به علت تداخل کمی که با پلان و بخش‌های خدماتی دارند مناسب می‌باشند.

گرچه، قاب‌های صلب حداکثر کارایی را با دهانه‌های منظم دارند. به طور معمول، قاب‌های صلب نیاز به تیرهای مرتفع‌تر و ستون‌های سنگین‌تر نسبت به قاب مهاربندی و یا دیوار برشی قابل مقایسه با آن دارند. قاب‌های صلب در فضاهای مرتفع یا دهانه‌های خیلی بزرگ مناسب نیستند.



تصویر ۲-۱۸ : عملکرد دیوار باربر مانند تیر مرتفع برای پوشاندن عرض بازشو در زیر آن.

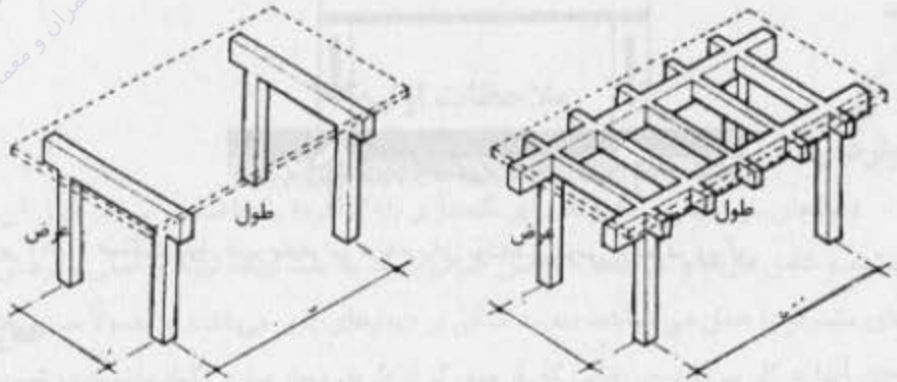
تیرها

تیرها در یک یا دو جهت در ترکیب با تیرچه‌ها، دال‌ها یا سطوحی که فاصله بین آنها را می پوشانند به کار می‌روند (تصویر ۳-۱۸). برای شبکه سازه‌ای مستطیل شکل در جایی که تیرها و تیرچه‌ها به کار رفته‌اند، معمولاً اقتصادی تر آن است که تیرها در دهانه‌های کوچک‌تر و تیرچه‌ها در دهانه های بزرگتر قرار گیرند. در جایی که دال و تیر با هم به کار می‌روند، دال‌ها معمولاً در دهانه‌های کوچکتر و تیرها در دهانه های بزرگتر قرار می‌گیرند (تصویر ۴-۱۸).

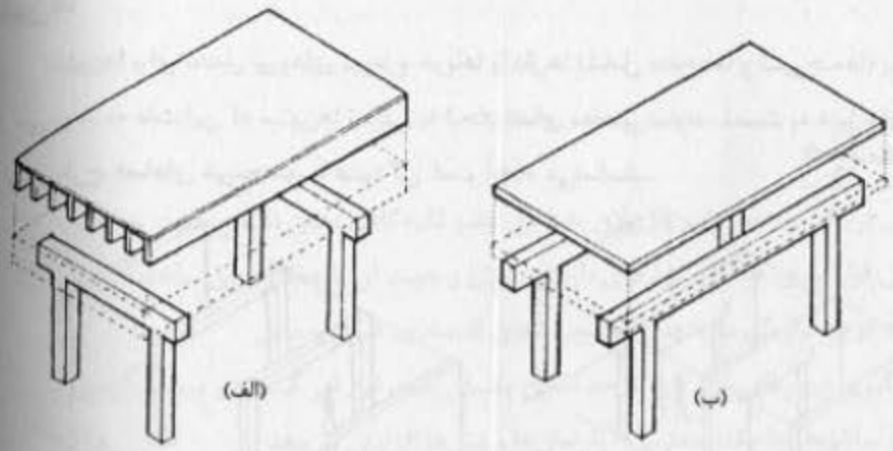
http://telegram.me/uadesigngroup

صفحات مسطح

صفحات مسطح، دال‌های دو طرفه‌ای هستند که فقط متکی بر ستون‌ها بدون استفاده از تیر می‌باشند (اصطلاح صفحهٔ مسطح که به طور گسترده‌ای در اینجا به کار رفته است فقط برای اهداف اولیهٔ طراحی، شامل تمامی سازه‌های صاف و دوطرفه مانند دال‌های وافل و قاب‌های فضایی همچنین صفحات بتنی صاف می‌شود). عدم استفاده از تیر، پلان‌های بزرگتر با انعطاف بیشتر و امکان قرارگیری ستون‌ها در فرم بی‌قاعده را موجب می‌گردد. همچنین با وجود تکنیک های ساده شده ساخت و اجرا، ارتفاع نهایی سازه ای مورد نیاز را ایجاد می‌نماید.



تصویر ۳-۱۸ : قرارگیری تیرها: (الف) دال و تیر یکطرفه و (ب) تیر اصلی و تیر دوطرفه.



تصویر ۴-۱۸ جهت مؤثر دهانه در (الف) تیرها و تیرچه ها و (ب) دال و تیر.

اتصال صلب بین صفحه و ستون‌های تکیه‌گاهی مقاومت جانبی مورد نیاز را فراهم می‌سازد. ممکن است نیاز به افزایش ارتفاع صفحه و ستون‌های سنگین‌تر باشد. دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاری ممکن است برای افزایش مقاومت جانبی به کار روند.

آرایش ستون‌ها برای صفحات مسطح به شکل شبکهٔ مربع‌شکل اقتصادی‌ترین شکل آن است. اگرچه، با انعطاف‌پذیری بیشتر در آرایش ستون‌ها و افزایش متعادل و متناسب قیمت‌ها، پلان‌های بدون فرم و یا فرم آزاد به دست می‌آید. به استثنای قاب‌های فضایی، عمق خالی صفحات سیستم را برای دهانه‌های نسبتاً کوچک مناسب می سازد (تصویر ۵-۱۸).

انتخاب سیستم

اولین مرحلهٔ انتخاب یک یا چند گزینه برای سیستم اسکلت‌بندی بر اساس ضوابط طراحی پروژه است. این انتخاب باید خیلی زود در مرحلهٔ طراحی مقدماتی انجام شود و

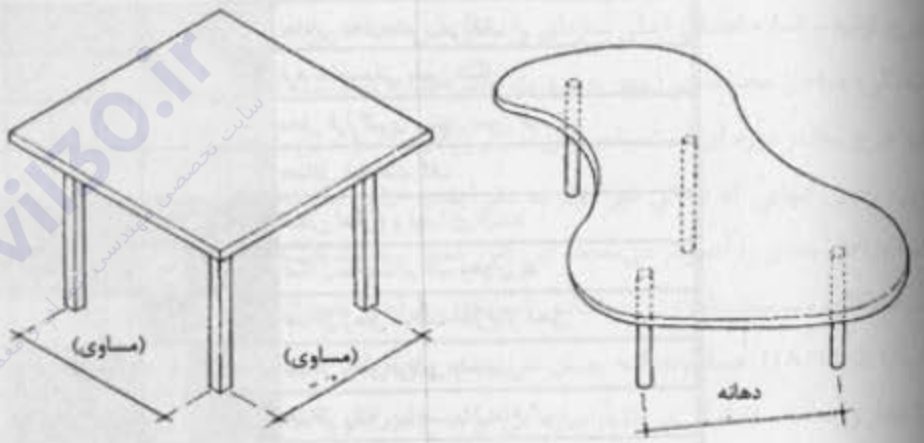
http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

دانستن این که چنین تصمیم‌گیری ممکن است در آینده تغییر کند. تصویر ۶-۱۸ ضوابط مختلف طراحی و انواع سازه‌های مناسب برای آنها را نشان می دهد.

طراحی سازه‌ای مسیری دو طرفه است، رفت و برگشت فرم و فضا تا زمانی که یک ترکیب بهینه به دست آید.

"ادوارد آلن"



(الف) (ب)

تصویر ۵-۱۸ : صفحات مسطح: (الف) استفاده از ستون مربع در دهانه‌ها، اقتصادی‌تر است و (ب) بسیار مناسب برای اشکال بدون فرم و ستون‌ها با فواصل نامنظم.

http://telegram.me/uadesigngroup

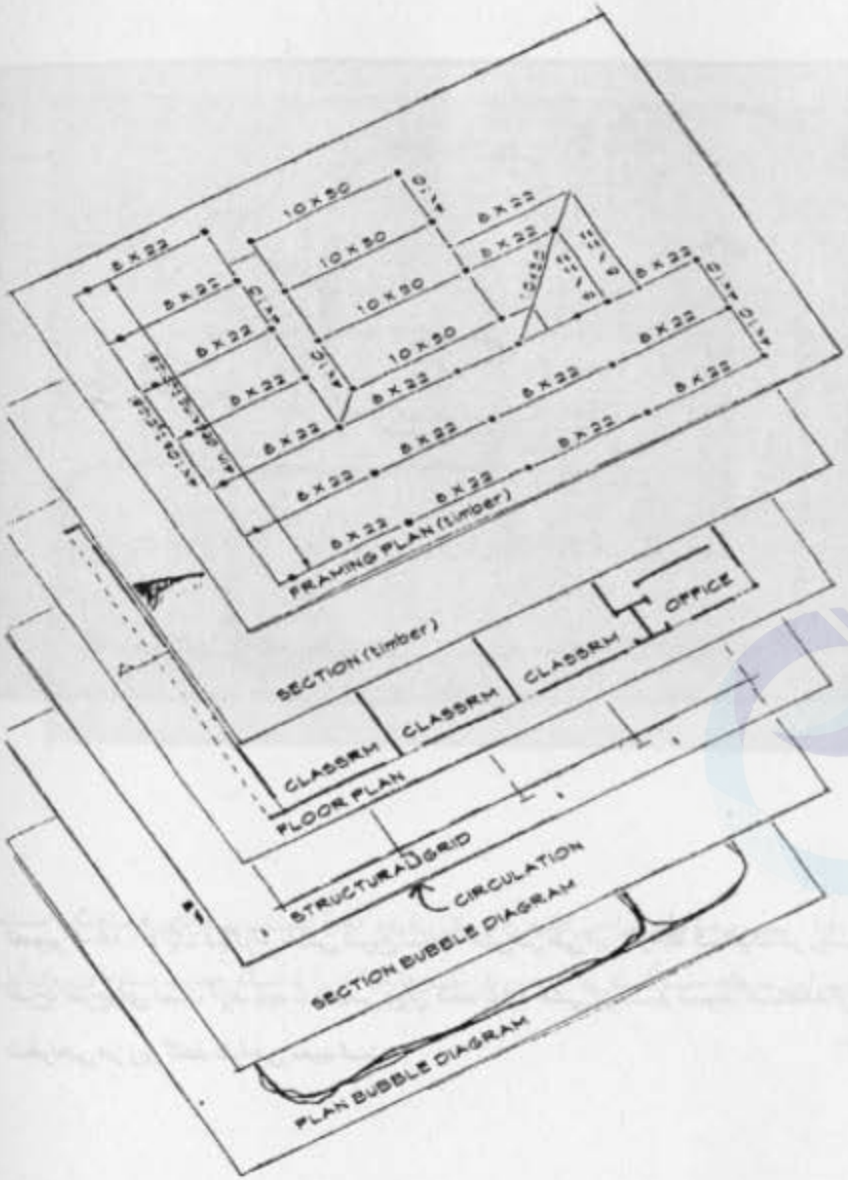
توضیحات	بتن پیش ریخته: آدوتانی	بتن پیش ریخته: آمنفرد	بتن پیش ریخته: دال با هسته تهی	بتن پیش ریخته:دال تو پر	بتن در جا دال وافل	بتن در جا تیرچه یک طرفه	بتن در جا دال دو طرفه	بتن در جا :صفحه دو طرفه	بتن در جا : دال یکطرفه	سطح فولادی	قاب فضایی فولادی	تیرچه های فولادی با جان باز	اسکلت فولادی (اتصالات صلب)	اسکلت فولادی (اتصالات مفصلی)	دیوار بار بر بنایی	اسکلت چوبی سنگین	اسکلت چوبی سبک	ضوابط طراحی
مقاومت درونی ساختمان در برابر آتش سوزی	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	نمایان ،مقاوم در برابر آتش
ساده، سیستم های ساخت در محل	□	□	□	□	□	■	■	■	■	□	□	□	□	□	■	□	□	فرم ساختمانی بدون شکل
سیستم بدون تیر در سقف ها و کف	□	□	□	□	□	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	محل قرارگیری ستون بدون فرم
سیستم بتن پیش ریخته بدون دندانه	□	□	■	■	□	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	حداقل ضخامت کف
دهانه کوتاه ، یکطرفه ،تغییرات آسان	□	□	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	امکان اصلاح و نوسازی آینده
نصب سریع ، اجتناب از بتن در جا ریخته	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	امکان ساخت در آب وهوای بد
شکل و ساخت آسان در محل	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	حداقل زمان ساخت خارج از محل
پیش ساخته به میزان زیاد ، اجزاء مدولار	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	□	حداقل زمان برپایی ونصب
سبک، پیش ساخته و شکل گیری آسان	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	□	■	■	حداقل زمان ساخت با ارتفاع کم
پیش ریخته ، بتن در جا ، قاب های فولادی	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	حداقل زمان ساخت با ارتفاع متوسط
مقاوم پیش ساخته ،سبک	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	■	■	■	■	□	□	حداقل زمان ساخت با ارتفاع زیاد
کابل ها یا اسکلت اتصالات صلب	□	□	□	□	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	حداقل دیوارهای برشی یا مهار بندی قطری
سبک، سیستم های دهانه کوچک	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	□	■	■	حداقل بار مرده روی پی
سیستم بدون اتصالات صلب	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	حداقل خرابی بعلت خرابی فونداسیون
اجزاء چند منظوره	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	■	حداقل تعداد افراد در مشاغل مجزا
سیستم هایی که ایجاد فضای خالی می نمایند	□	□	■	□	□	□	□	□	□	□	■	■	□	□	□	□	■	تأمین فضای مناسب برای خدمات مکانیکی
دو طرفه ، سیستمهای با دهانه طویل	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	□	□	□	□	□	حداقل تعداد تکیه گاه
سیستم های با دهانه طویل	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	□	□	□	□	□	دهانه های طویل

تصویر ۶-۱۸ : نمودار انتخاب سیستم سازه‌ای

http://telegram.me/uadesigngroup

سیر تکاملی پلان سازه‌ای

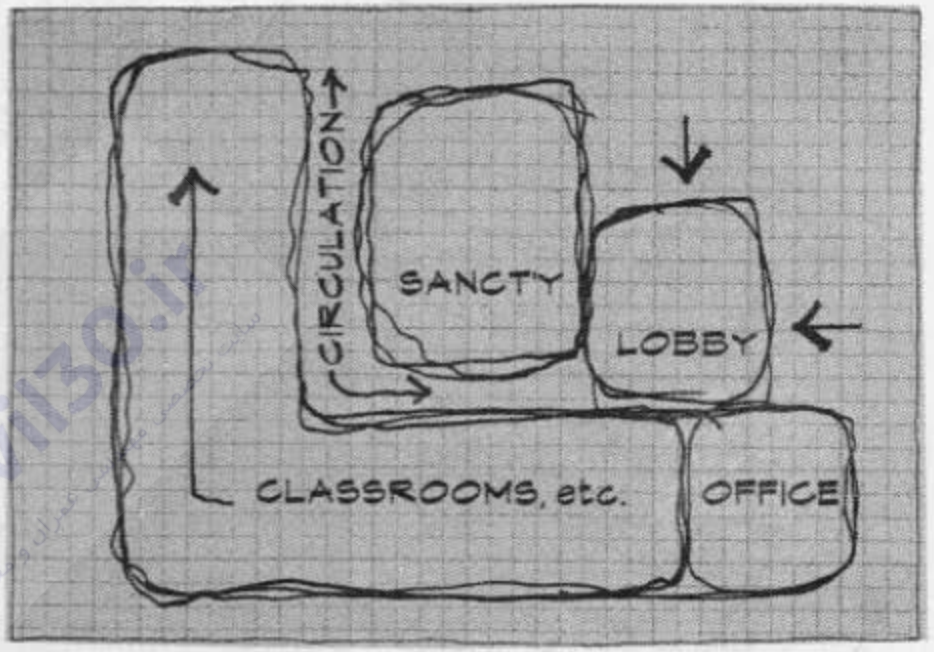
اگر سازهٔ ساختمان کاملاً با طرح معماری یکپارچه باشد، هر دو باید همزمان با هم رشد نمایند. شروع این کار با ابتدائی‌ترین اسکیس‌ها است. روند تکامل طرح این یکپارچگی را تأمین خواهد کرد. این سیری تکاملی و فرایندی نسبی است که با یک دیاگرام طراحی اولیه که طرح اولیه و اندازه اعضای اصلی سازه‌ای را نشان می‌دهد، شروع می‌شود (تصویر ۷-۱۸). برای سادگی، مراحل مختلف در اینجا به صورت خطی نشان داده شده است. در عمل مراحل مختلف هر طرح بیشتر دوره ای است، با مراحل بسیار زیادی که چندین بار تکرار می‌شوند. ولی هر دوره (حتی آنهایی که ممکن غیر مؤثر به نظر آیند)، حاوی اطلاعات مفیدی می‌باشند و فهم آنها مراحل بعدی را آسان‌تر می‌نماید. این طرز عمل نیست بلکه دوره عمل می‌باشد و اکثر خوانندگان، سیستم سازه‌ای را بر اساس شیوه‌های طراحی خود انتخاب خواهند کرد (تصاویر ۸-۱۸ تا ۱۵-۱۸). همانگونه که پیش می‌روید، به خاطر آورید که سازه چیزی فراتر از نگاهداری سادهٔ ساختمان می‌باشد. سازه می تواند ریتم، الگو و بافت بصری هیجان انگیزی را ایجاد نماید و همچنین فرم‌های مجسمه‌گونه بسازد، می تواند فضاهایی جاری و تقسیم شده را هدایت نماید، مقیاس تعریف کرده و نور را متعادل سازد.



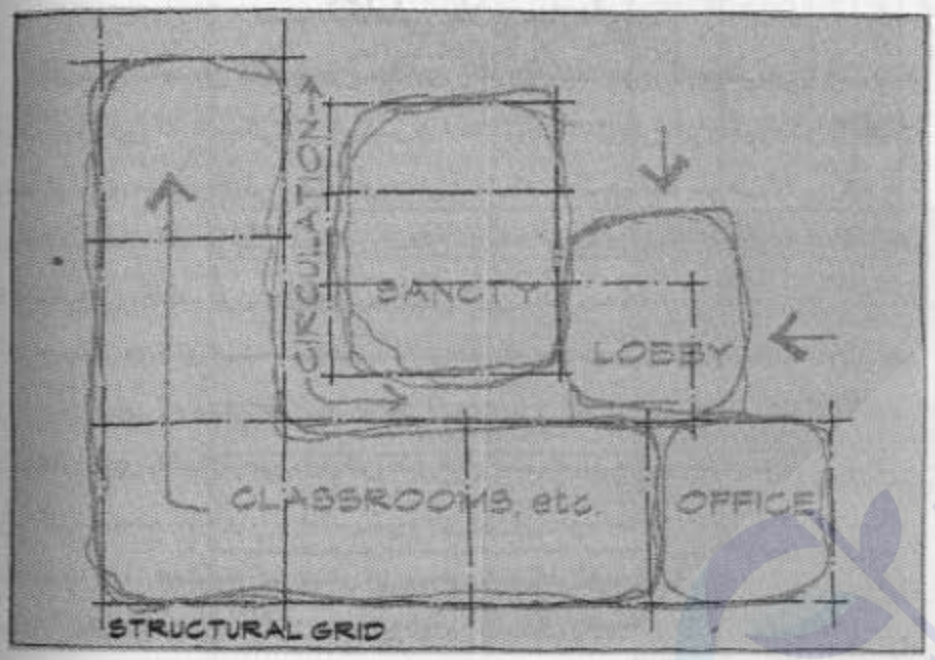
تصویر ۷-۱۸ : ترسیمات مرحله‌ای روی هم برای تعیین پلان سازه‌ای در یک کلیسای کوچک.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

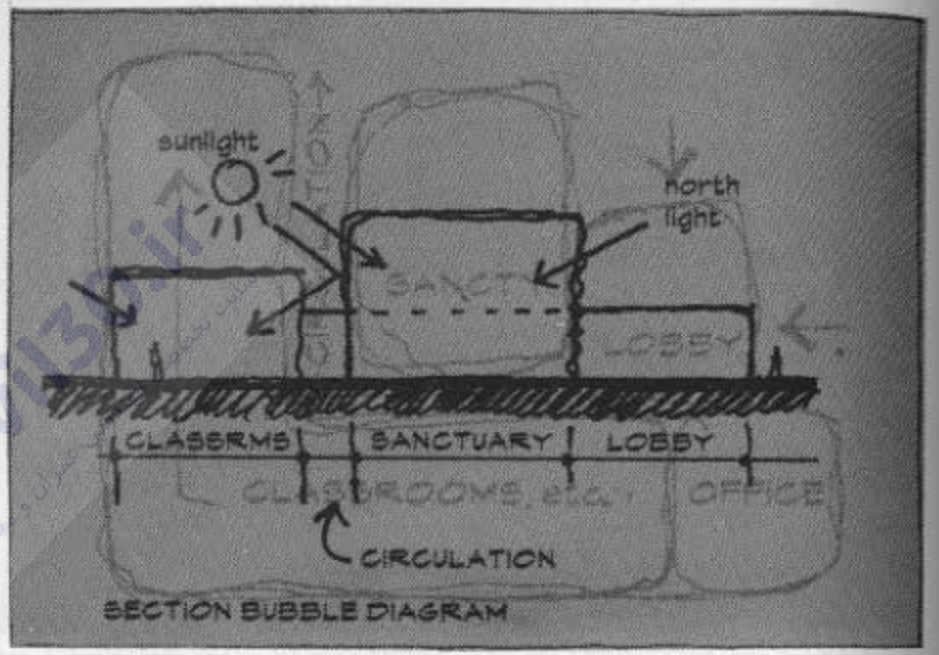


تصویر ۱۸-۸ : با یک دیاگرام حبابی شروع نمایید حتی در طی این مرحله شماتیک در روند پیشرفت طرح، طرح‌های دست آزاد باید با مقیاس روی کاغذ نقشه کشی ترسیم شوند. استفاده از یک کاغذ شطرنجی در زیر کاغذ طراحی مفید است.

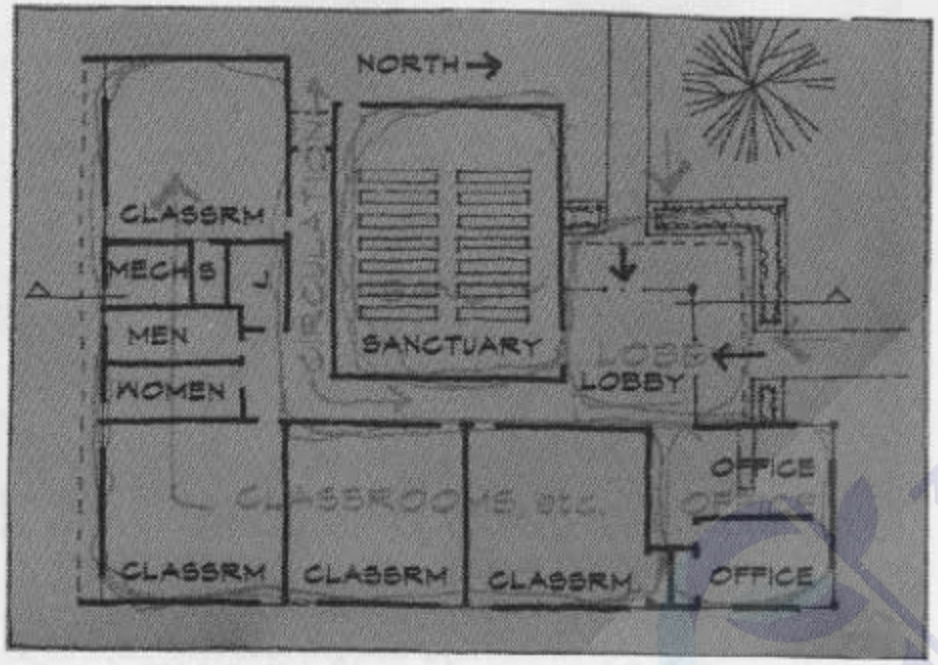


تصویر ۱۸-۹ : روی پلان با دست آزاد باید کاغذ نازک طراحی برای نشان دادن شبکهٔ سازه‌ای قرار داده شود. مجموعه‌ای از خطوط که عرض دهانه‌های سازه‌ای (دهانه‌های تیرها و دال‌ها) و محل قرارگیری ردیف ستون‌ها و دیوارهای باربر را تعیین می‌کند. به خاطر داشته باشید که این شبکه تأثیری عمیق نه تنها روی سیستم سازه‌ای بلکه روی نتایج طراحی غیرسازه‌ای مانند فضا و فرم ساختمان، تقسیم بندی و سیالیت فضا، مسیر گردش و نورپردازی خواهد داشت. در این مرحله شبکهٔ پلان را شلوغ می نماید ولی سعی ننمائید آن را اصلاح نمائید.

http://telegram.me/uadesigngroup

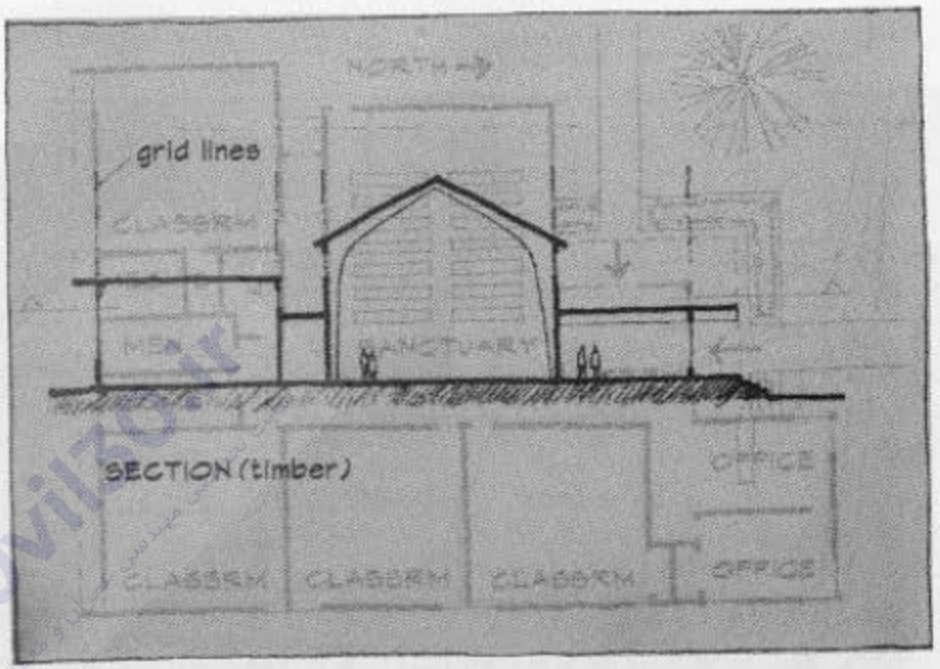


تصویر ۱۰-۱۸ : به جای اصلاح پلان طبقه (یا شبکه)، یک مقطع عرضی روی نقشهٔ پلان برای بررسی فرم سقف و ارتباطات حجمی داخلی تهیه نمائید. با ترسیم این مقطع عرضی، باید مشخص شود که چگونه ساختار فضایی در مقطع روی طرح اسکلت‌بندی تأثیر خواهد داشت. همچنین توجه به استفاده نور طبیعی، شکل پنجره‌های بام، پنجره‌ها، نورگیر سقف و بام فانوسی را مشخص می‌نماید (مور، ۱۹۸۵).

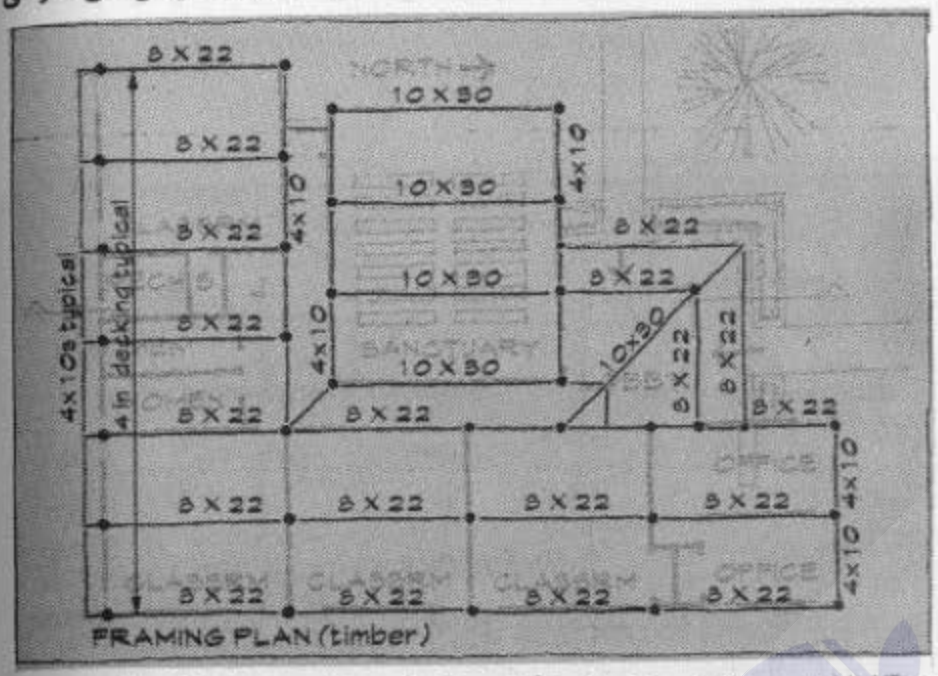


تصویر ۱۱-۱۸ : سپس، دیاگرام طراحی اولیه را به پلان طبقه که با سیستم سازه‌ای هماهنگ است تصحیح نمایید. این مرحله معمولاً نیاز به چندین بار تکرار دارد. کار را با شبکه جدید سازه‌ای روی آن دنبال نمائید.

http://telegram.me/uadesigngroup



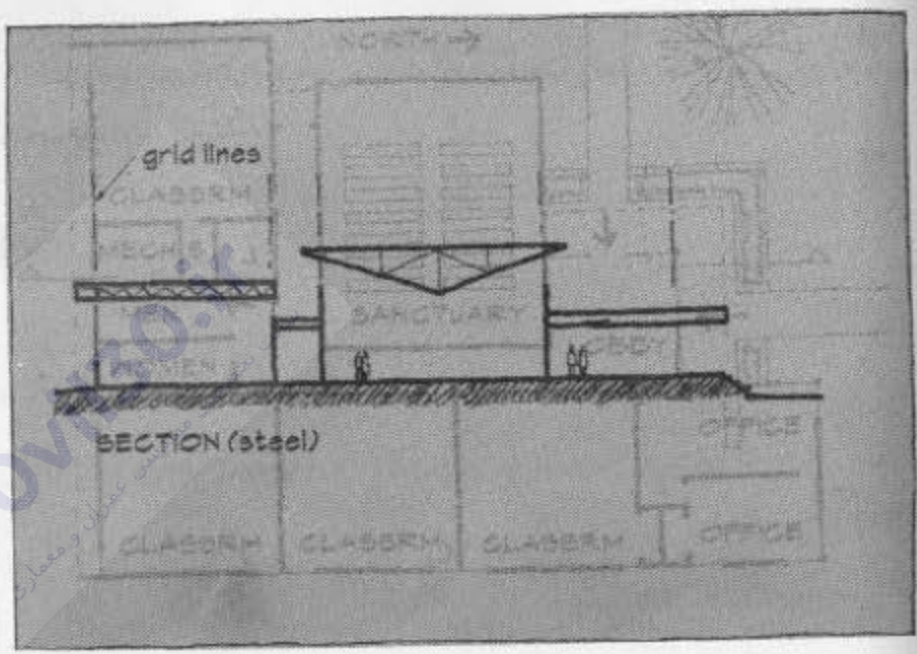
تصویر ۱۲-۱۸ : سیستم سازه ای را از تصویر ۶-۱۸ (اسکلت چوبی با چوب‌های ورقه‌ای در این مثال)انتخاب و یک مقطع جدید روی آن با در نظر گرفتن این سیستم (روی پلان) ترسیم نمائید.



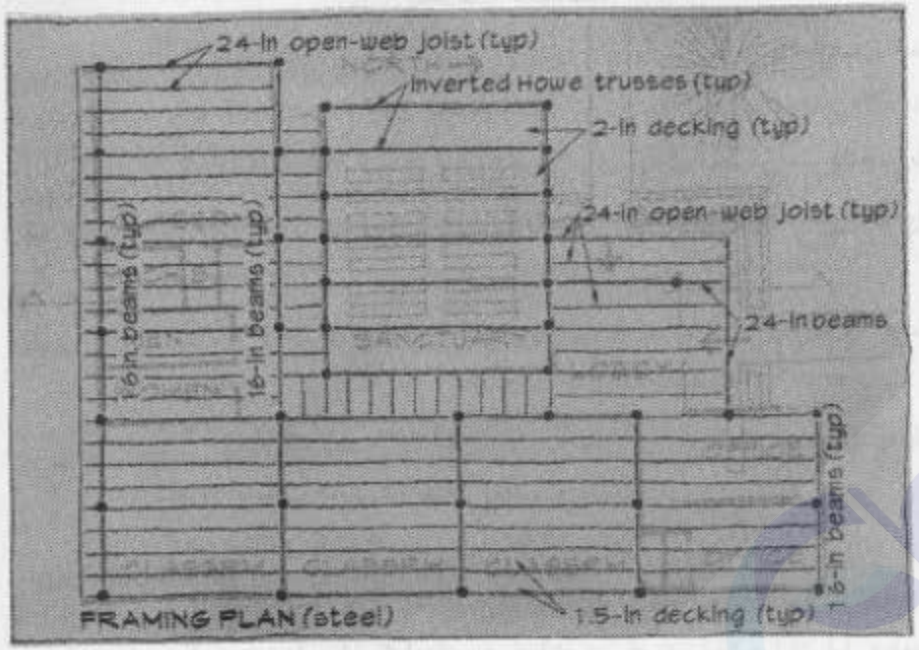
تصویر ۱۳-۱۸ : سپس پلان تیرریزی با دست آزاد روی آن ترسیم نمایید. روی شبکهٔ سازه‌ای، خطوط باربر را روی بعضی از خطوط شبکه ترسیم نمایید. تمامی اینها معرف محل اعضا تکیه‌گاهی ممتد می‌باشند: تیرها (یا خرپاها) یا دیوارهای باربر. اکثر این خطوط باربر باید در یک‌جهت قرار گیرند. سطوح، تیرچه‌ها یا دال فاصله بین این خطوط را در جهت مخالف با آنها می‌پوشانند. تصمیم گیری نمائید که دیوارهای باربر یا ستون‌ها(یا ترکیب آنها) برای تکیه‌گاه عمودی به کار می روند. اگر از ستون استفاده می شود، فاصله بین آنها در طول باربر خواهد بود. فاصله‌گذاری نباید از محدودیت دهانهٔ تیرها تجاوز نماید. ولی از آنجایی که طرح هنوز ناشناخته است، فرض کنید فاصلهٔ بین ستون‌ها با فاصلهٔ بین خطوط باربر برابر است. در عمل، ستون‌ها روی محل تقاطع خطوط شبکه قرار می گیرند. تیرها نیاز دارند در اطراف بازشوهایی مانند پله‌ها با یک ستون در گوشهٔ آن قرار گیرند. در این نقطه به نمودارهای ابعاد اولیه در پیوست الف مراجعه نمائید و ابعاد و اندازهٔ اجزای سیستم سازه‌ای انتخاب‌شده را تعیین نمائید. نمودار ممکن است تعیین نماید که دهانه‌های انتخابی شما، برای تیرها و سطوح بسیار بزرگ یا بسیار کوچک است. طرح را تا حد نیاز اصلاح نمائید. در آخر ابعاد اولیه اعضا را روی پلان مشخص نمائید.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک



تصویر ۱۴-۱۸ : برای آزمودن سیستم سازه ای انتخابی (در این مثال، تیرچه‌های فولادی با جان باز و خرپا)، مرحله تصویر ۱۲-۱۸ را تکرار نمائید. مقطع دیگری روی آن رسم نمائید. خصوصاً تداوم خرپاها را (با تیرها روی دیوارهای باربر) امتحان نمائید. این تمرین مناسبی است برای به دست آوردن یک بینش تازه برای مسائل شناخته‌شده.



تصویر ۱۵-۱۸ : سیستم سازه‌ای انتخاب شده (با ابعاد اولیه) روی مقطع قرار داده شده است.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

خلاصه مطالب

۱- دیوارهای باربر مناسب‌ترین کاربرد را برای تکیه‌گاه بدون بارهای گستردهٔ یکنواخت در سراسر طول خود دارند.

۲- به علت اینکه تیرهای اصلی و فرعی برای بارهای متمرکز استفاده می‌شوند، بندرت تکیه‌گاه دیوار باربر قرار می‌گیرند و ستون‌ها معمولاً به جای آنها به کار می‌روند.

۳- محل قرارگیری دیوار باربر در پلان به شکل عضوتکیه‌گاهی نشان داده می‌شود.

۴- دیوارهای باربر با فواصل منظم، ممکن است به عنوان دیوارهای برشی برای توزیع ایستایی جانبی نیز به کار روند.

۵- در بالای بازشوها باید نعل درگاه تعبیه نمود.

۶- در ساختمان‌های چندطبقه دیوارها باید در یک صفحهٔ قائم قرار گیرند.

۷- ستون‌ها برای نگاهداری تیرها (و خرپاها) یا دال‌ها (شامل صفحه‌ها و تیرچه‌ها) به کار می روند.

۸- سیستم‌های تیر و ستون فولادی درجا با رفتاری مانند یک قاب صلب تکیه‌گاه جانبی را تأمین می‌نمایند.

۹- تیرها در یک یا دو جهت در ترکیب با تیرچه‌ها، دال‌ها یا سطوحی که فاصله بین آنها را می‌پوشانند، به کار می‌روند.

۱۰- اگر سازه ساختمان کاملاً با طرح معماری یکپارچه باشد، هر دو باید همزمان با هم رشد نمایند که شروع آن با ابتدائی‌ترین اسکیس‌ها است. روند تکامل طرح این یکپارچگی را تأمین خواهد کرد. این یک سیر تکاملی و فرآیندی نسبی است که با یک دیاگرام طراحی اولیه که که طرح اولیه و اندازهٔ اعضای اصلی سازه‌ای را نشان می‌دهد، شروع می‌شود.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

پیوست الف

نمودارهای اطلاعاتی طراحی اولیه

فیلیپ آ.کورکیل، ۱۹۶۸

(ترسیم دوباره از کورکیل ۱۹۹۳، با اجازه رسمی)

http://telegram.me/uadesigngroup

طراحان معماری آگاهند که ضخامت، ارتفاع یا عمق هر سیستم سازه‌ای به طور نزدیکی مر بوط به دهانه سیستم و متغیرهایی مانند فواصل اعضا سازه ای، بارها و شرایط بارگذاری، پیوستگی سازه، پیش‌آمدگی و غیره بستگی دارد.او همچنین می داند باید سازه در مراحل ابتدایی طرح به علت تاثیر آن بر طرح در آینده در نظر گرفته شود. جداول اطلاعاتی پیوست برای تامین شیوه‌ای سریع و آسان براس به دست آوردن اطلاعات پایه‌ای سازه‌ای بدون نیاز به تحلیل‌های ریاضی ایجاد نشده اند، بلکه به طور منطقی تعداد بیشماری از راه‌حل‌های سازه ای ممکن را که می‌توانند با طرح اولیه یکپارچه شوند، فراهم می‌سازند.

هر نمودار ضخامت، عمق یا ارتفاع متناسب با دهانه مورد نیاز برای هریک از سیستم‌های معرفی شده در این کتاب را مشخص می‌نماید. این طیف طبیعی ترکیبی از راه‌حل‌های تحلیلی، جداول طراحی معماری و مثال‌های بیشماری از ساختمان‌های شناخته شده است. تعداد کمی از سازه‌ها که ممکن است از این نمودارها متابعت ننمایند معمولاً ترکیبی از دو یا چند سیستم یکپارچه می‌باشند. گاهی اوقات یک سیستم ممکن است شکل توسعه یافته سیستم دیگر باشد. در این حالت دهانه و ارتفاع فقط برای سیستم اصلی باید در نظر گرفته شود.

این جداول معمولاً برای یک سیستم منفرد و مشخص در نظر گرفته می‌شوند و برای هر عمق و دهانه مورد استفاده واقع نمی‌شوند. برای استفاده مؤثرتر از جداول، طراح باید دهانهٔ تقریبی مورد نیاز را تعیین کند و سیستم متناسب با نیازهای طرح را نیز مشخص نماید. سپس روی محور عمودی دهانه مناسب در مرکز و روی محور افقی سمت چپ نمودار ضخامت ارتفاع و عمق معمول را را بخواند. اگر بارهای وارده بیشتر از حد مورد انتظار باشد یا فاصله بیشتری بین اعضا مورد نیاز باشد، باید از سطح هاشور خورده بخش بالایی نمودار استفاده کرد.

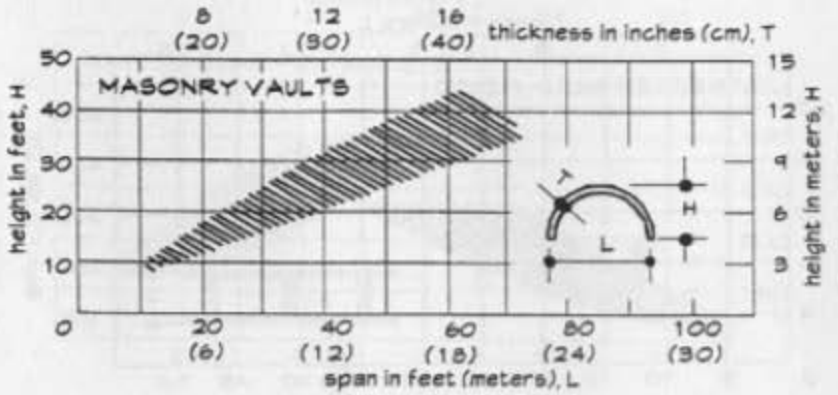
از سازه‌هایی مانند قاب‌ها، قوس‌ها یا سیستم‌های معلق می‌توان برای پوشش دادن یا محصور کردن فضاهای مستطیلی یا مدور استفاده کرد. در چنین حالتی بخش بالایی محدوده برای فضاهای بالایی و بخش پایینی برای فضاهای مدور مناسب‌تر است.

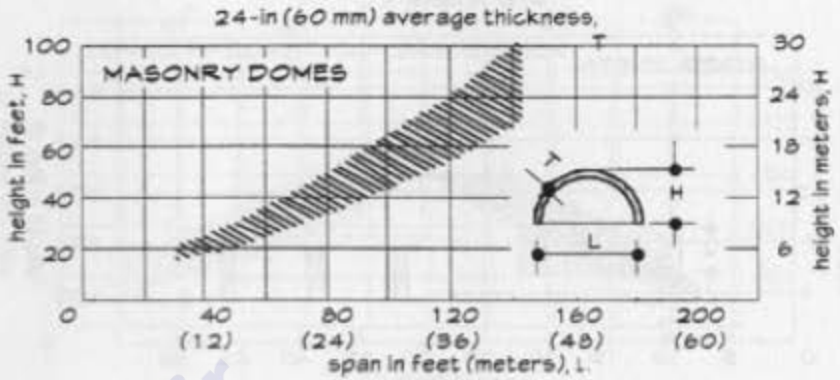
در عرض بالایی این نمودارها، متوسط ضخامت یا ارتفاع را برای دهانه‌های مشخص تعیین می نماید. این جداول ممکن است نیاز به تعدیل یا اصلاح داشته باشند. به عنوان مثال فضاهای کروی تا حدی به ضخامت و ارتفاع کمتر مصالح نسبت به فضاهای قوسی دارند، یا ضخامت‌های مشخص شده برای ورق‌های تاشده اگر از بخش پایینی نحدوده استفاده شود افزایش و اگر از بخش بالای محدوده استفاده شود کاهش می یابد.

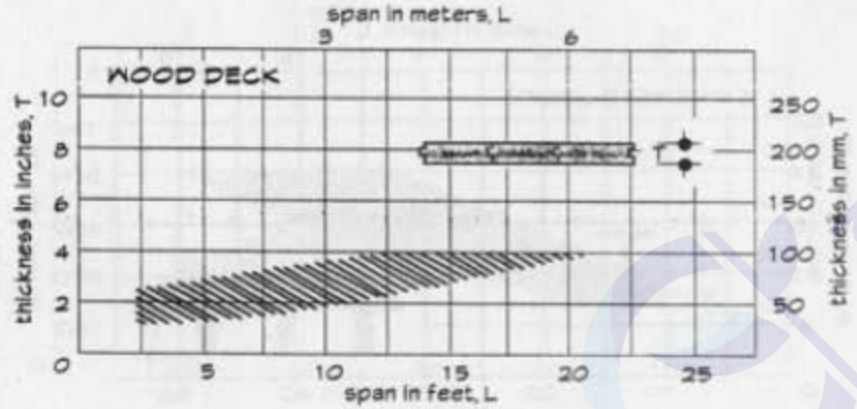
به کار بردن پیش‌آمدگی در دهانه‌های طبیعی یا یک تیر ممتد به طور معمول ضخامت و ارتفاع کمتری از یک سیستم با دهانه مشخص دارد که استفاده از بخش پایینی محدوده و حتی در بعضی موارد زیر آن بخش را ضروری می نماید. در طره‌ها، حاصلضرب دهانه در یک یا دو عامل برای تعیین تعادل دهانه‌ها با تکیه‌گاه‌های ساده و کاربرد آن برای تعیین ضخامت یا ارتفاع به کار می‌رود. نمودارهای طاق‌های آجری و گنبد فقط برای مقایسه ارائه شده‌اند. اگرچه برای استفاده از آنها با مصالح و شیوه های ساخت امروزی باید از بخش پایینی محدوده استفاده کرد

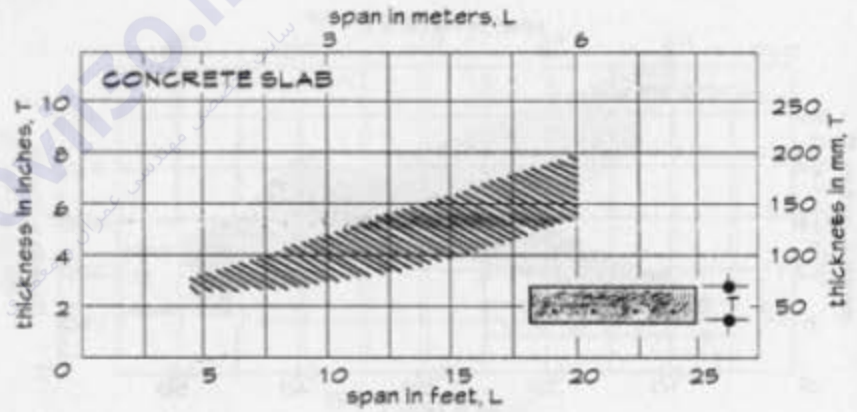
http://telegram.me/uadesigngroup

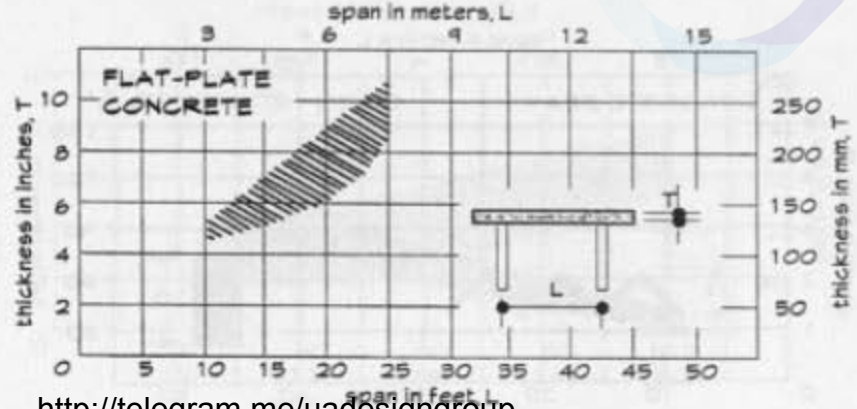
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

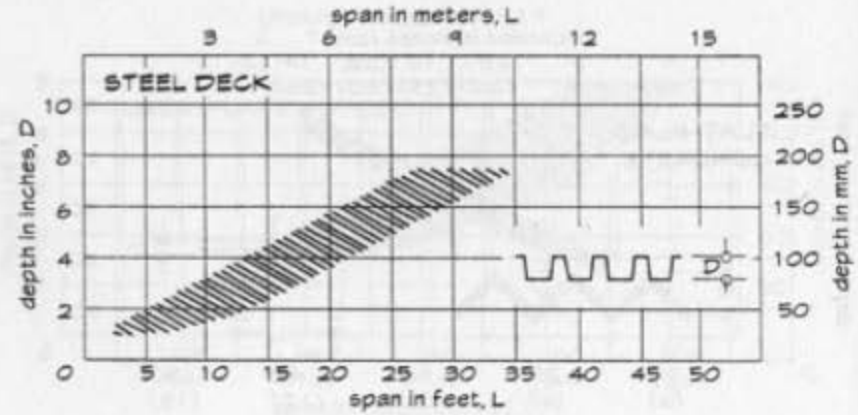




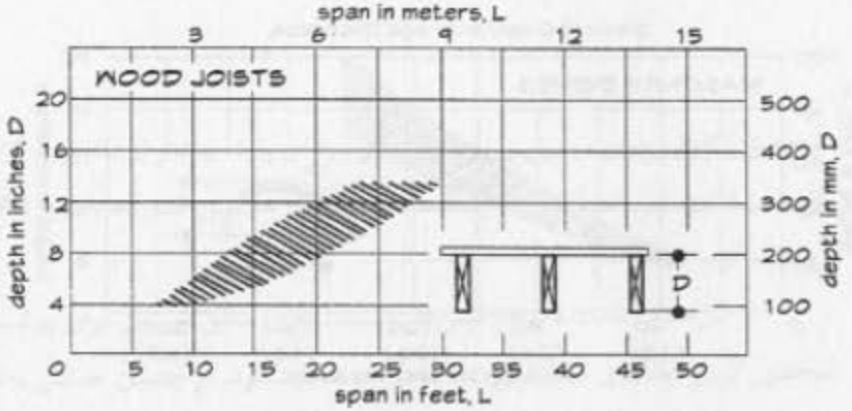


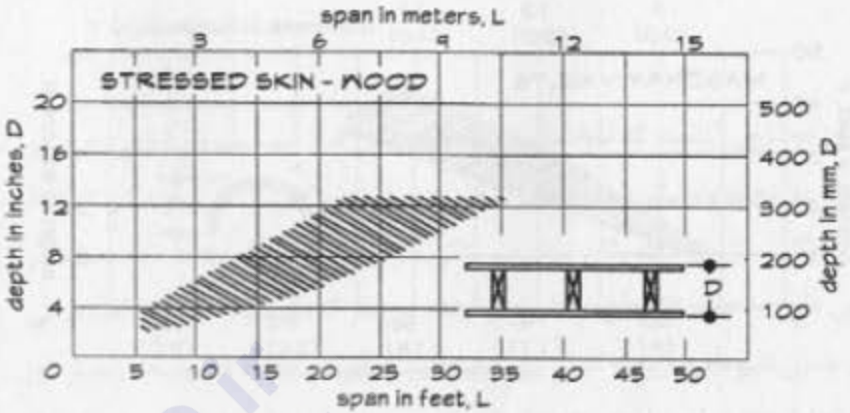


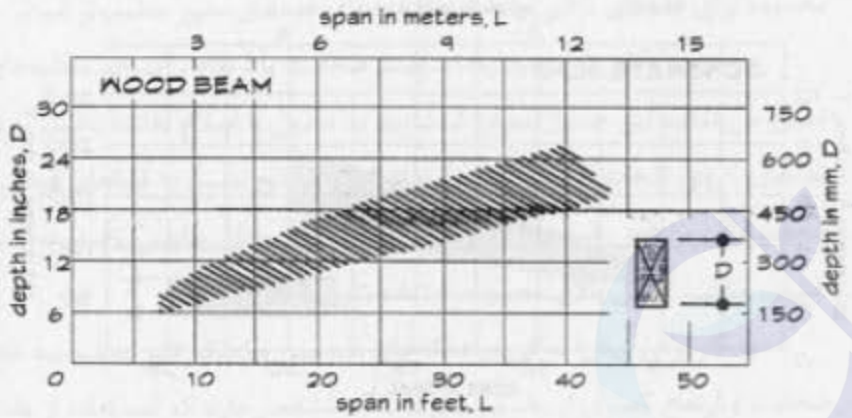


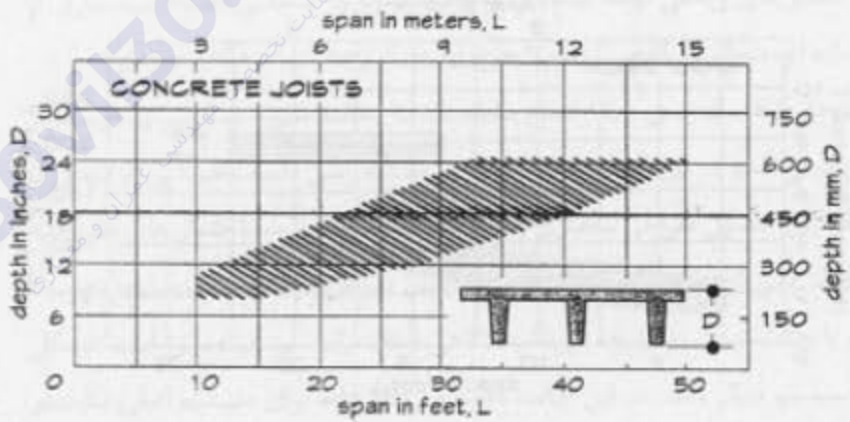


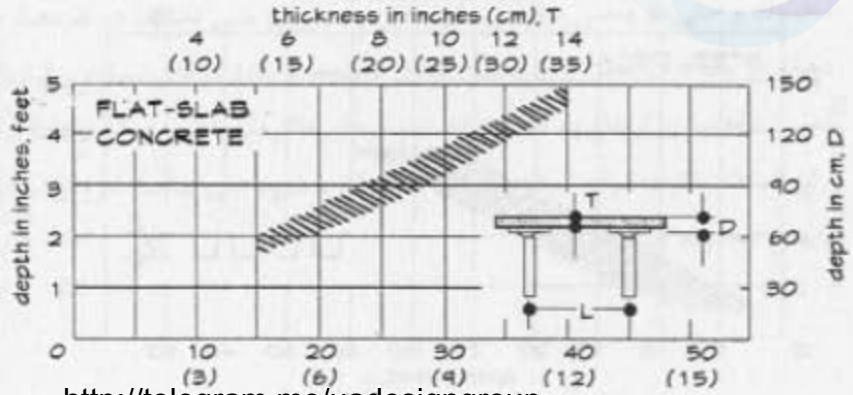
http://telegram.me/uadesigngroup

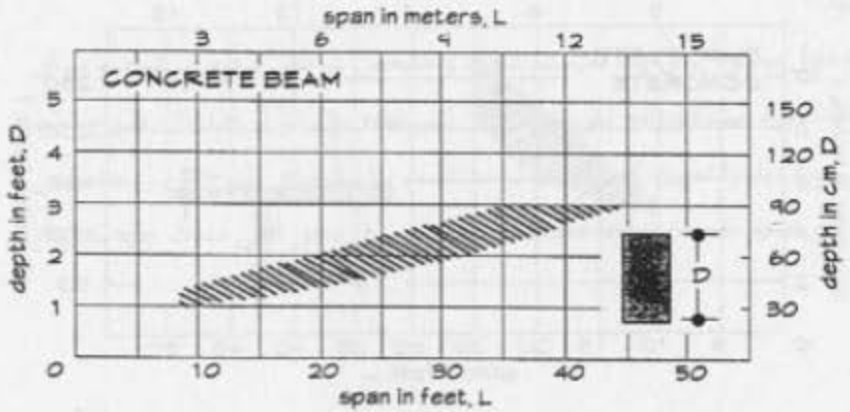




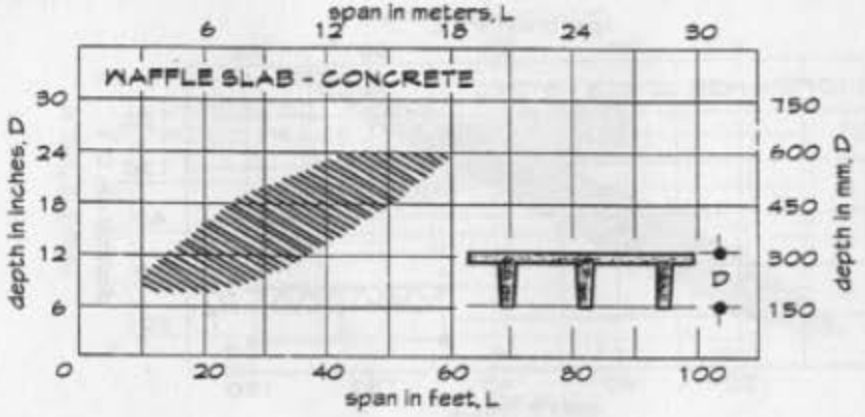


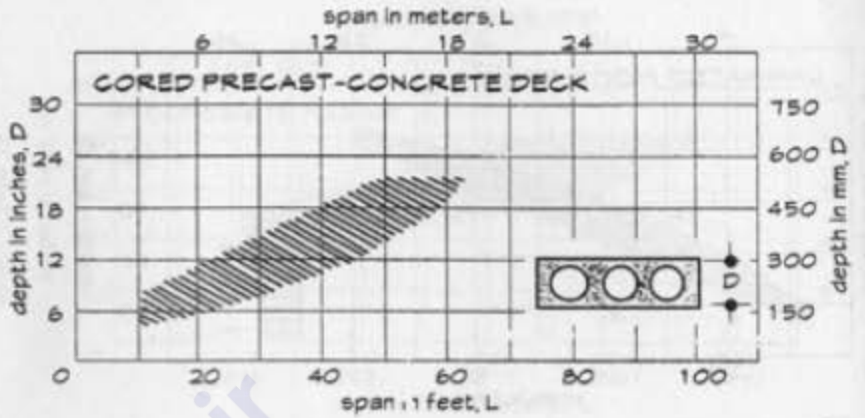


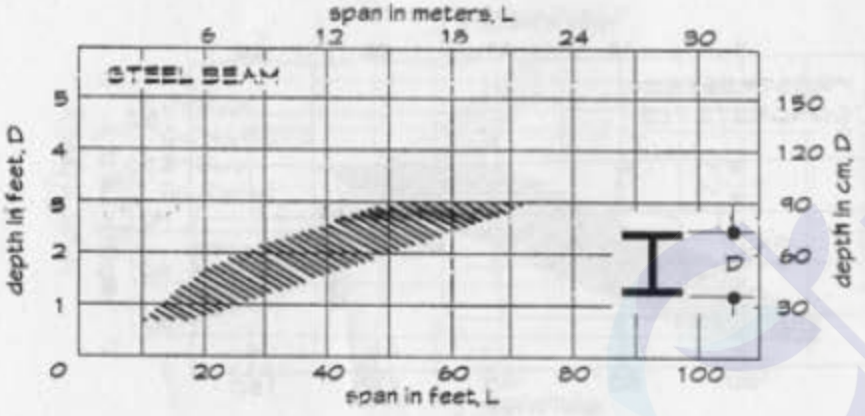


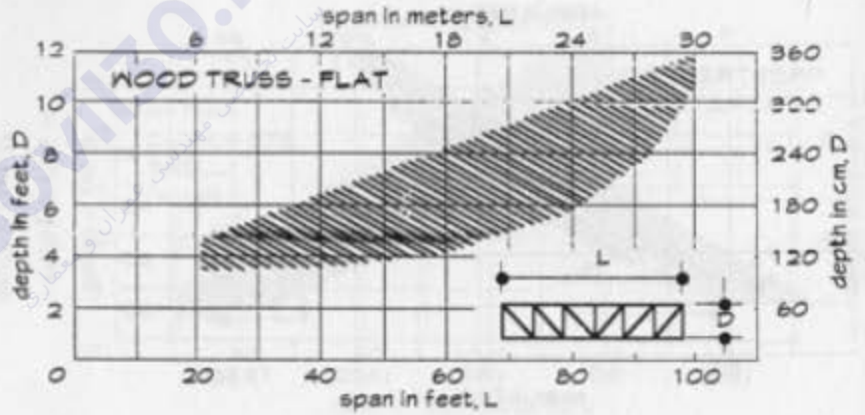


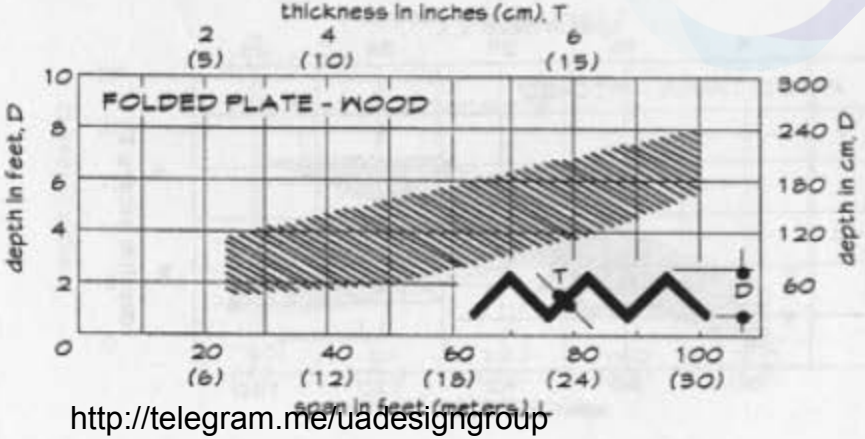
http://telegram.me/uadesigngroup

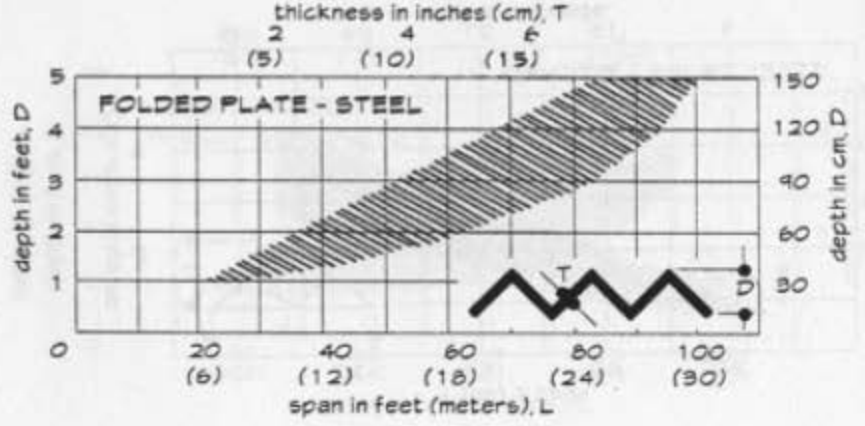






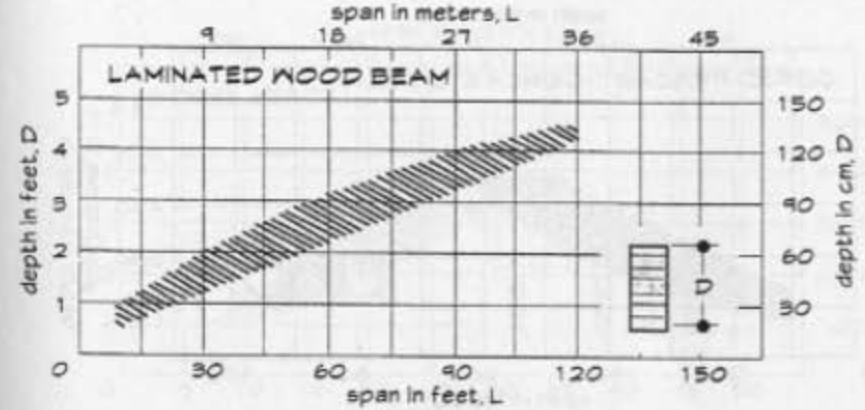


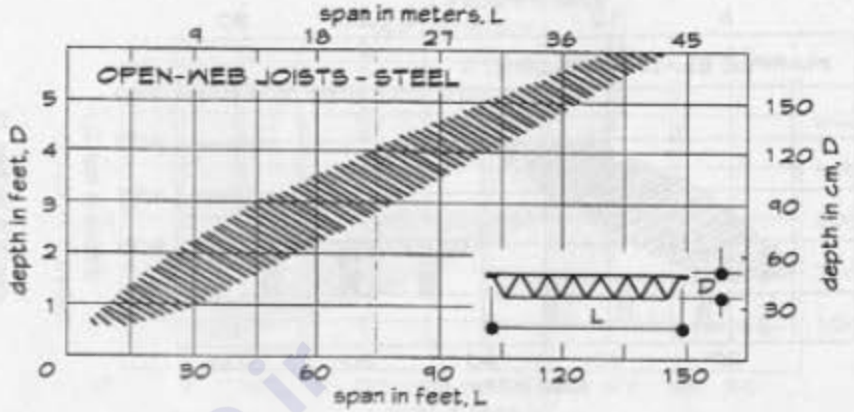


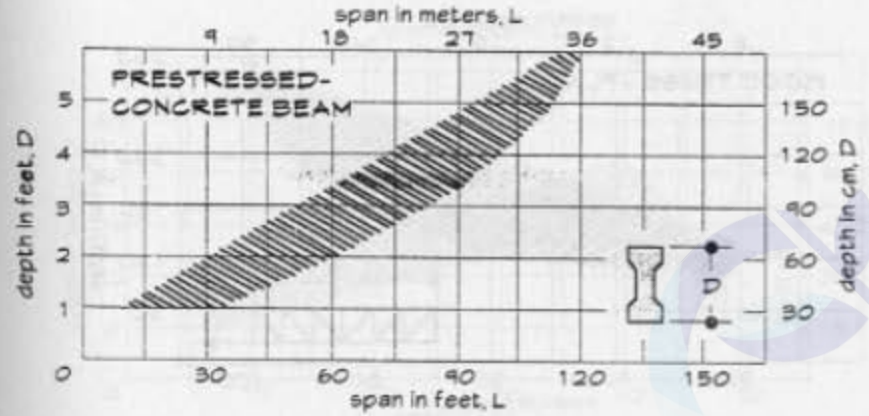


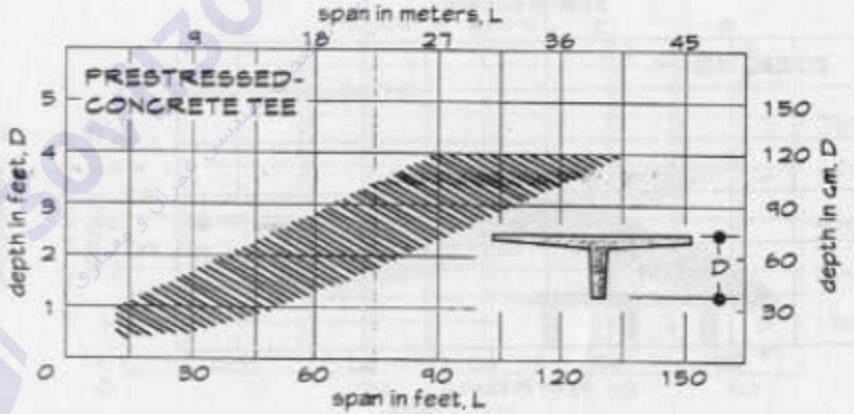
http://telegram.me/uadesigngroup

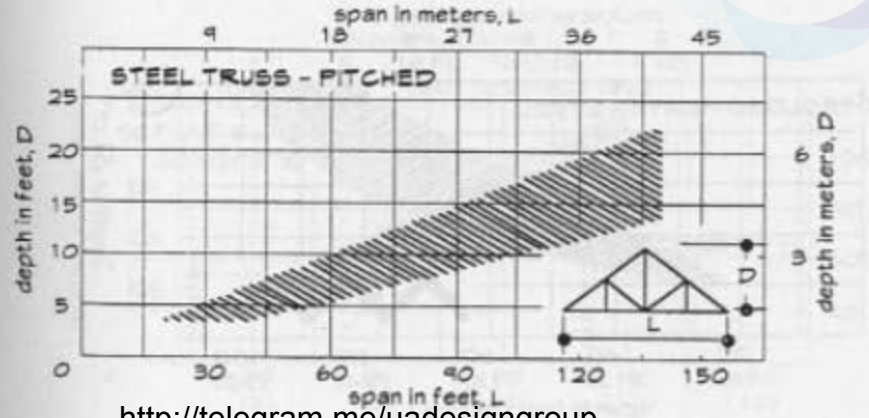
با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

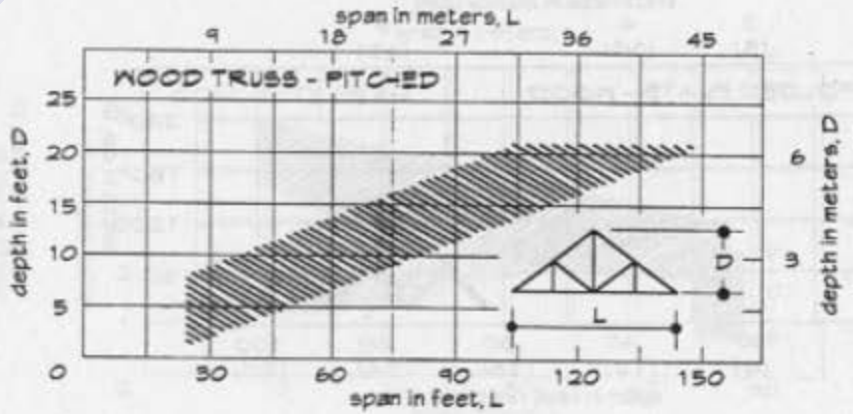




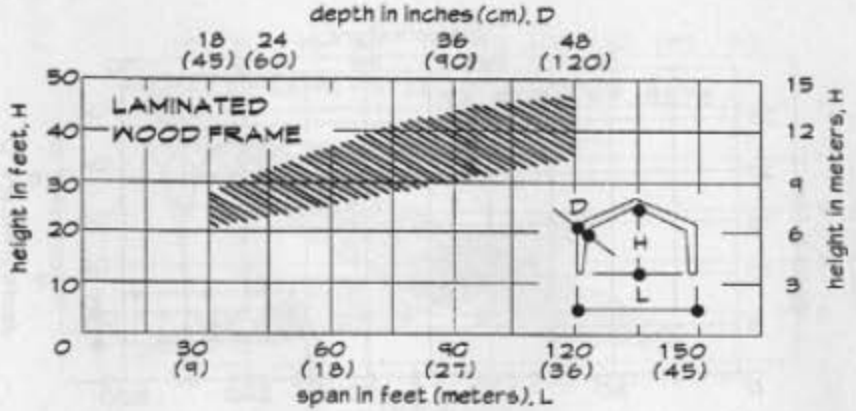


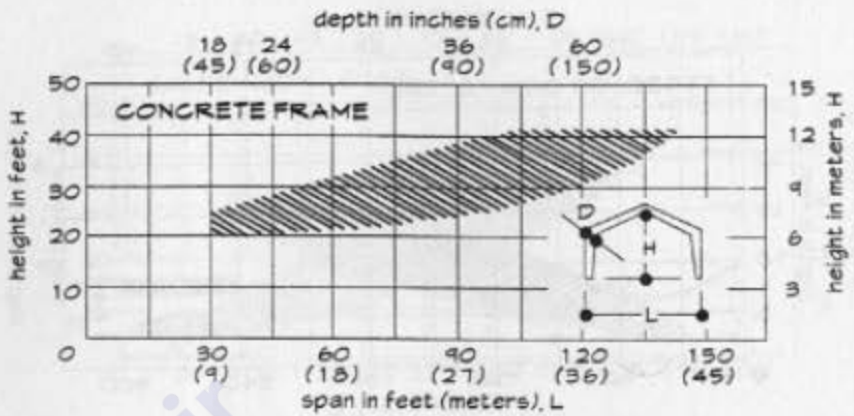


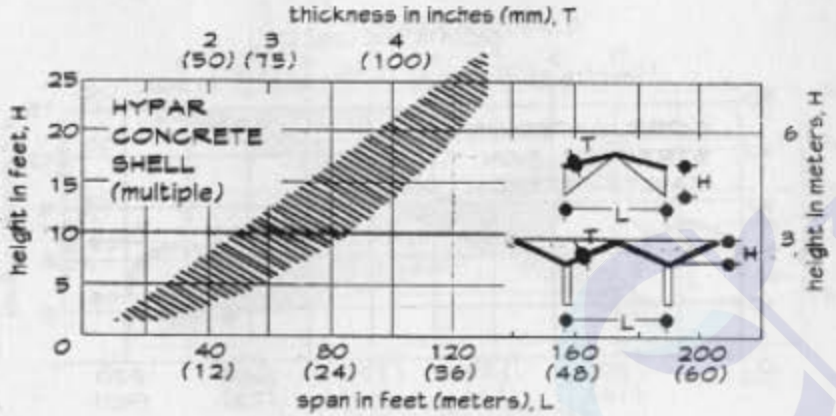


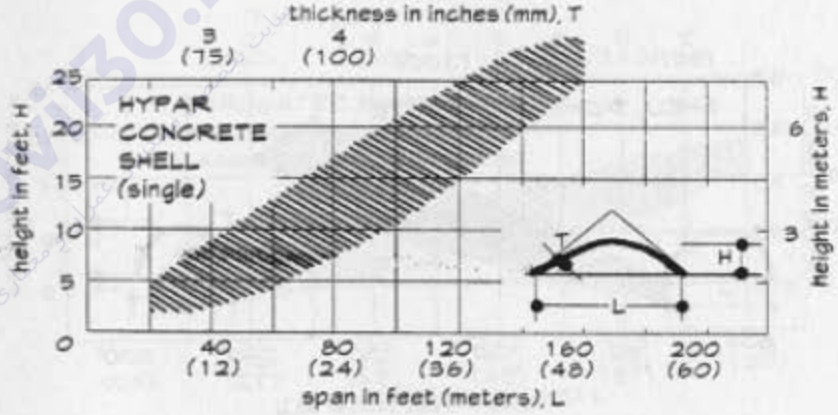


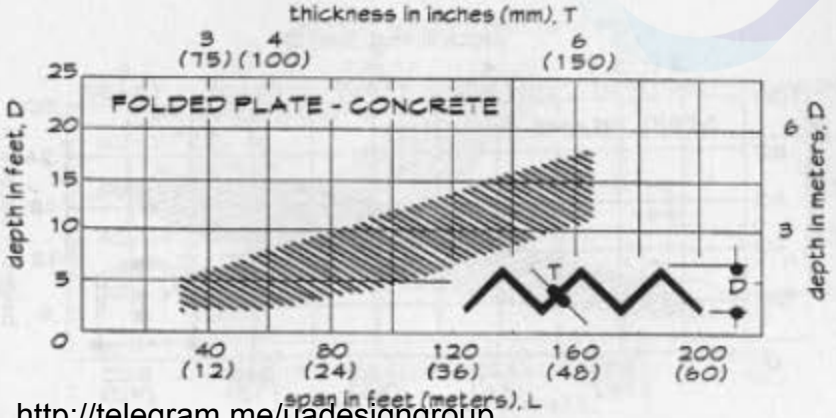
http://telegram.me/uadesigngroup

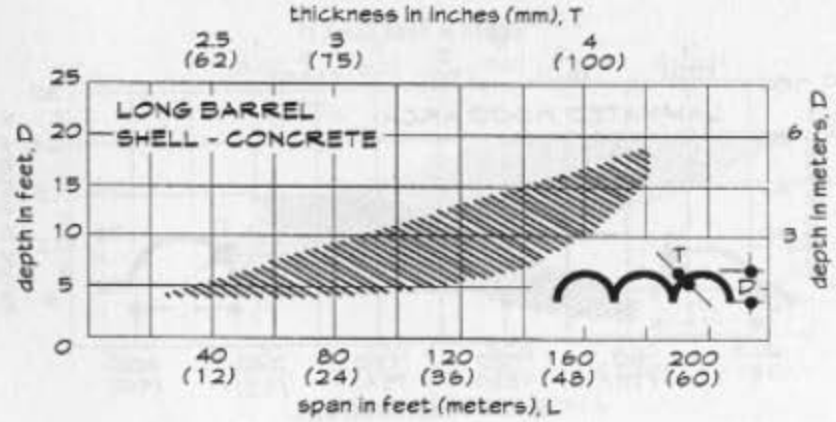




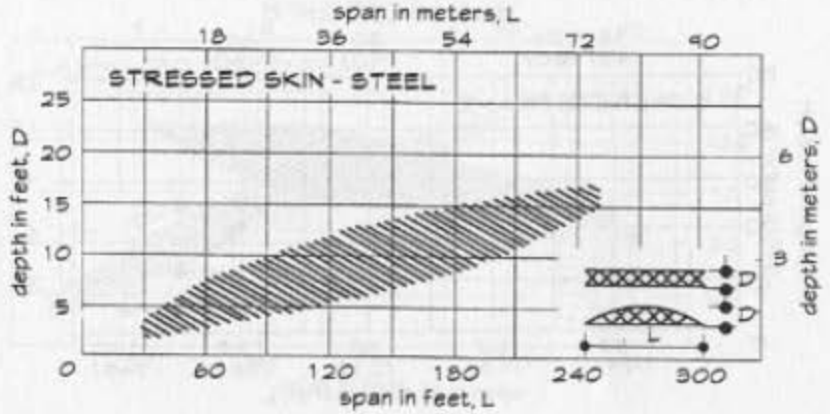


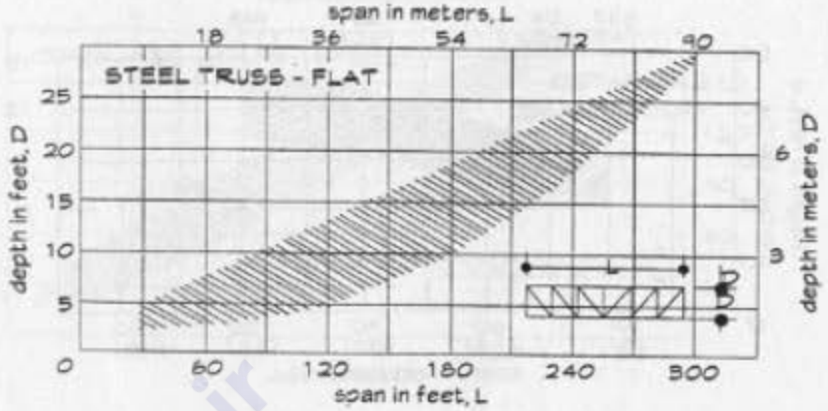


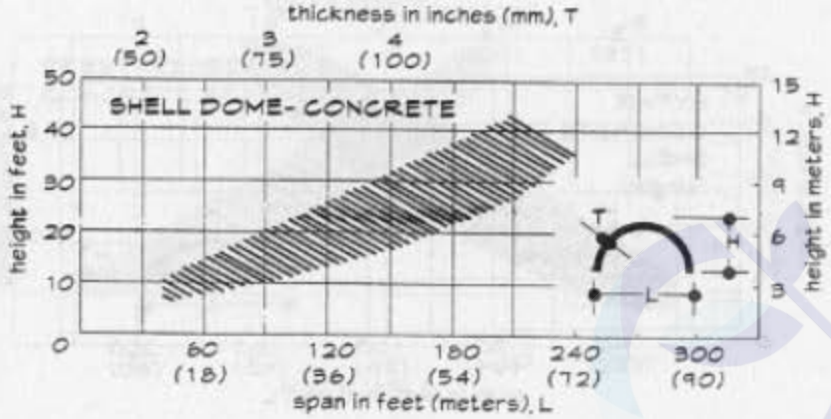


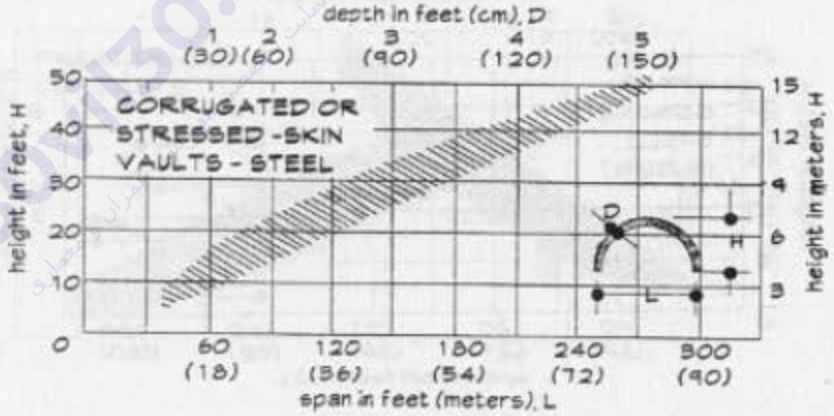


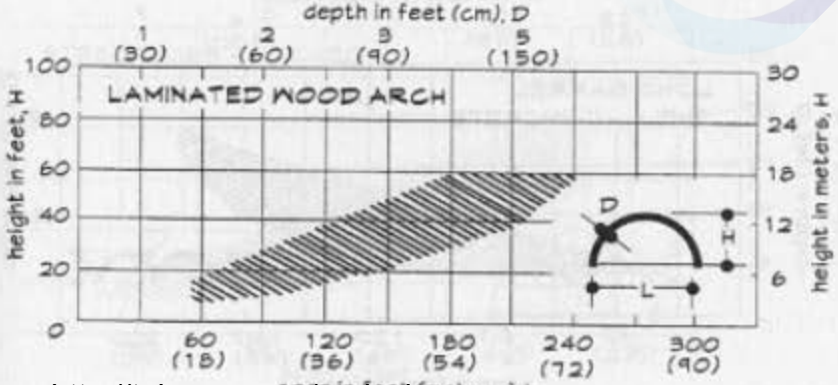
http://telegram.me/uadesigngroup

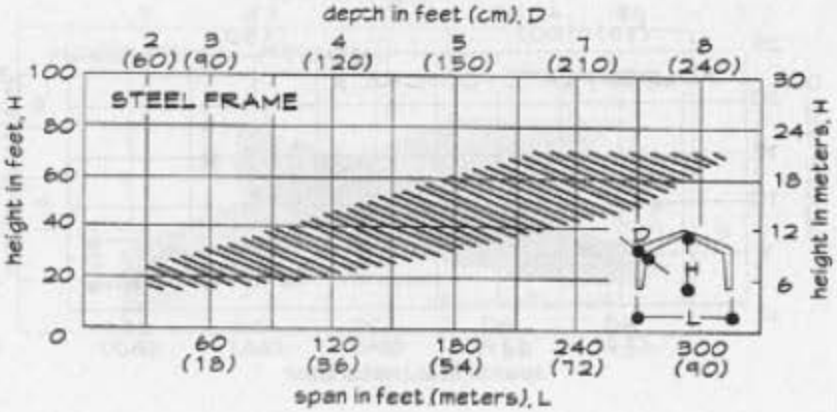




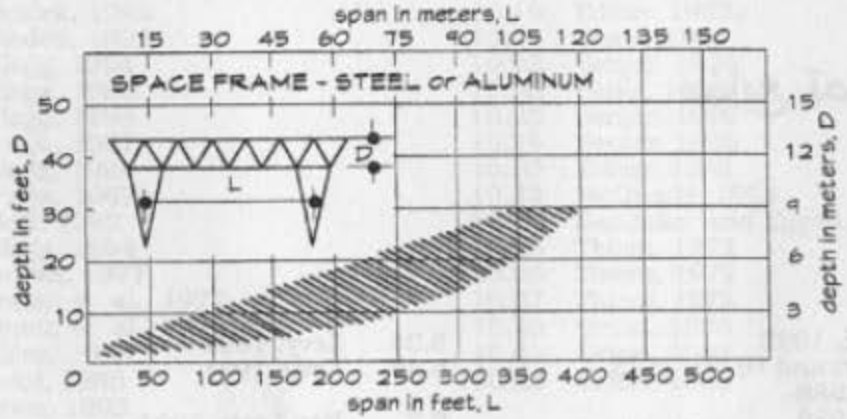


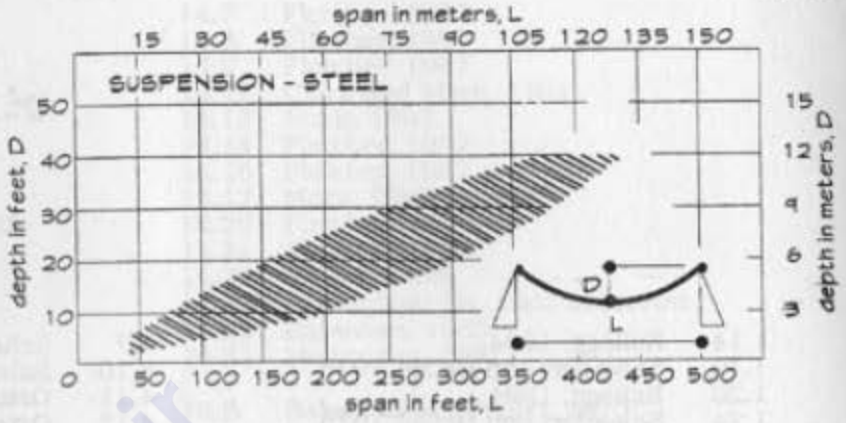


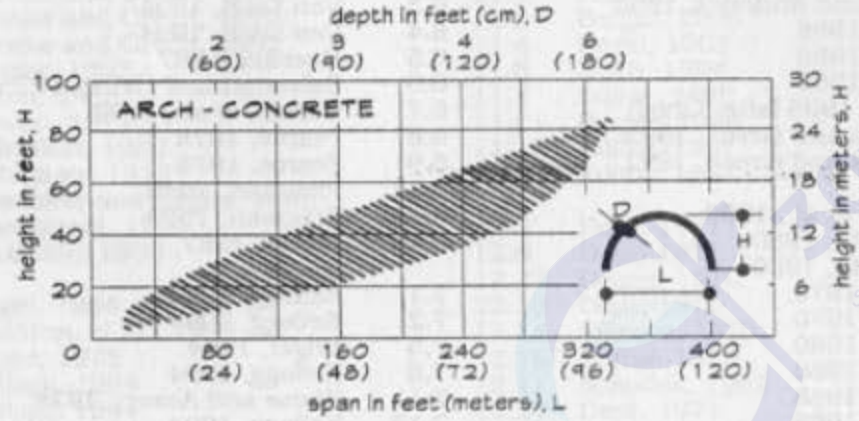


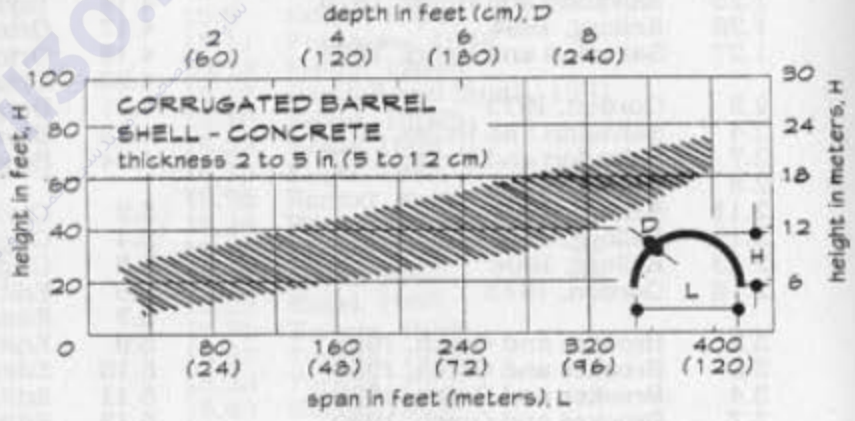


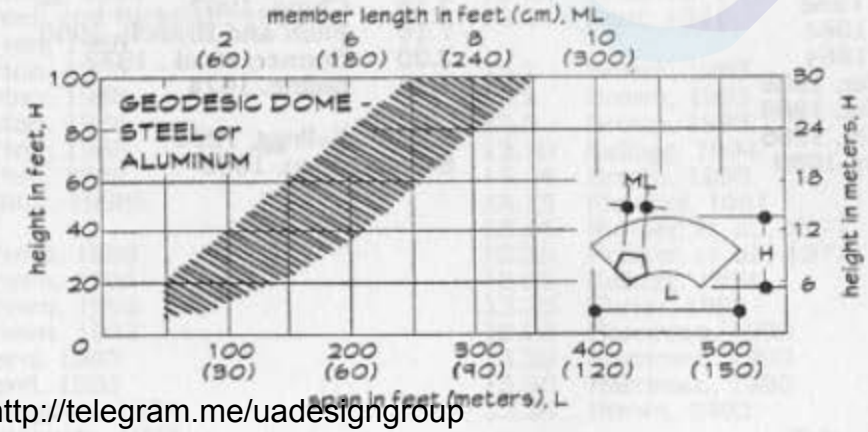
http://telegram.me/uadesigngroup

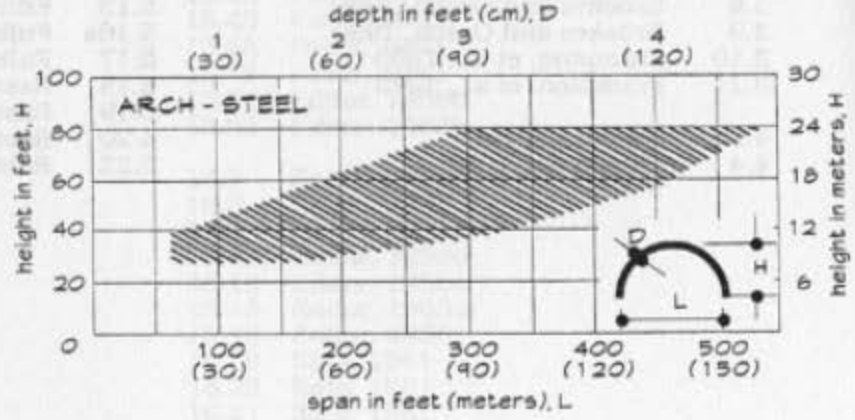












http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

منابع تصاویر

1.14 Kellogg, 1994
1.19 Salvadori and Heller, 1975
1.20 Kellogg, 1994
1.24 Salvadori and Heller, 1975
1.25 Salvadori and Heller, 1975
1.26 Kellogg, 1994
1.27 Salvadori and Heller, 1975

2.2 Gordon, 1973
2.4 Salvadori and Heller, 1975
2.7 Salvadori and Heller, 1975
2.8 Gordon, 1973
2.11 Kellogg, 1994
2.12 Kellogg, 1994
2.13 Kellogg, 1994
2.16 Gordon, 1973

3.2 Brookes and Grech, 1990
3.3 Brookes and Grech, 1990
3.4 Brookes and Grech, 1990
3.7 Brookes and Grech, 1990
3.8 Brookes and Grech, 1990
3.9 Brookes and Grech, 1990
3.10 Frampton, et al., 1993
3.11 Frampton, et al., 1993

4.2 Schodek, 1992
4.4 Thompson, 1917
4.7 Schodek, 1992
4.10 Salvadori and Heller, 1975
4.11 Orton, 1988
4.12 Orton, 1988
4.14 Taylor and Andrews, 1982
4.17 Orton, 1988
4.18 Orton, 1988
4.20 Orton, 1988
4.21 Berger, 1996 (after Graef)
4.23 Brookes and Grech, 1992
4.24 Brookes and Grech, 1992

5.2 Corkill, et al., 1993
5.4 Gugliotta, 1980
5.5 Gugliotta, 1980
5.6 Editor, 1970
5.7 Editor, 1970
5.9 Editor, 1980
5.10 Editor, 1980
5.11 Editor, 1988
5.12 Editor, 1988
5.13 Editor, 1988
5.16a Fuller, 1964
5.17 Fuller, 1964
5.18 Rastorfer, 1988
5.19 Rastorfer, 1988
5.20 Rastorfer, 1988
5.22 Robison, 1989
5.24 Levy, 1991
5.25 Levy, 1991

6.2 Van Loon, 1994
6.3 Van Loon, 1994
6.4 Van Loon, 1994
6.5 Haeckel, 1887
6.6 Salvadori and Heller, 1975
6.7 Corkill, et al., 1993
6.8 Pearce, 1978
6.9 Pearce, 1978
6.12 Freeman, 1989
6.13 Freeman, 1989
6.14 Editor, 1967

7.1 Kellogg, 1994
7.2 Kellogg, 1994
7.5 Engel, 1964
7.6 Kellogg, 1994
7.11 Weese and Assoc., 1978
7.13 Kellogg, 1994
7.15 Ching, 1997
7.16 Fitch and Branch, 1960
7.20 Ronner, et al., 1977
7.22 Safdie, 1974

8.2 Kellogg, 1994
8.4 Allen, 1980

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

8.6 Schodek, 1992
8.7 Schodek, 1992
8.8 Kellogg, 1994
8.9 Kellogg, 1994
8.10 Kellogg, 1994
8.11 Torroja, 1967
8.12 Kellogg, 1994
8.13a Torroja, 1967
8.14 Elliott, 1992
8.20 Kellogg, 1994
8.22 Coulton, 1977
8.24 Ronner, et al., 1977
8.25 Ronner, et al., 1977
8.26 Galileo, 1638
8.31 Kostof, 1985
8.32 Brown, 1993
8.33 Brooks and Grech, 1992
8.34 Brooks and Grech, 1992
8.36 Brooks and Grech, 1992
8.38 Wright, 1957
8.40 Orton, 1988
8.45 Cowan, 1971
8.47 Salvadori, 1980
8.48 Futagawa, 1972
8.52 Sandaker and Eggen, 1992
8.55 Macdonald, 1994
8.56 Huxtable, 1960

9.3 Engel, 1964
9.6 Thonton, et al., 1993
9.13 Siegel, 1975
9.16 Kellogg, 1994
9.18 Kellogg, 1994
9.19 Kellogg, 1994
9.24 Arnell and Bickford, 1984
9.26 Orton, 1988
9.28 Orton, 1988
9.30 Orton, 1988
9.31 Orton, 1988
9.32 Orton, 1988
9.33 Orton, 1988
9.34 Editor, 1969b

10.5 Brown, 1993
10.7 Brown, 1993
10.9 Brown, 1993
10.10 Brown, 1993
10.11 Nervi, 1963
10.12 Nervi, 1963
10.14 Futagawa, 1974
10.15 Engel, 1968
10.18a Editor, 1960a
10.19 Editor, 1963a
10.20 Engel, 1968
10.23 Berger, 1996
10.25 Blake, 1995
10.26 Berger, 1996
10.29 Berger, 1996
10.30 Editor, 1952
10.32 McQuade, 1958
10.33 Sandaker and Eggen, 1992
10.35 Thiem, 1972
10.36 Thiem, 1972
10.37 Thiem, 1972
10.40 Orton, 1988
10.41 Orton, 1988
10.42 Orton, 1988

11.1 Engel, 1968
11.2 Berger, 1996
11.4 Engel, 1968
11.5 Blyth, 1994
11.7 Editor, 1982
11.11 Berger, 1996
11.13 Editor, 1987
11.14 Editor, 1987

12.3 Dent, 1971
12.6 Dent, 1971
12.12 Geiger, 1970
12.13 Dent, 1971
12.14 Villecco, 1970
12.16 Editor, 1976
12.17 Schodek, 1992
12.21 Dent, 1971
12.22 Dent, 1971
12.24 Dent, 1971

13.1 Brown, 1993
13.2 Brown, 1993
13.3 Brown, 1993
13.10 Kellogg, 1994
13.14 Brown, 1993
13.15 Fletcher, 1987
13.16 Ronner, et al., 1977
13.20 Ronner, et al., 1977
13.22 Kellogg, 1994
13.25 Carter, 1989
13.28 Harriman, 1990
13.29 Harriman, 1990
13.30 Harriman, 1990
13.34 Brown, 1993

14.6 Gardner, 1980
14.7 Fletcher, 1987
14.8 Fletcher, 1987
14.9 Fletcher, 1987
14.12 Clark and Mark, 1984
14.13 Mark, 1993
14.14 Fletcher, 1987
14.15 Fletcher, 1987
14.17 Mark, 1993
14.20 Fletcher, 1987
14.21 Fletcher, 1987
14.23 Kostof, 1985
14.27 Guastavino Co., date unknown
14.30 Robinson, 1985
14.31 Melaragno, 1991

15.5 Salvadori and Heller, 1975
15.6 Salvadori and Heller, 1975
15.9 Editor, 1954c
15.11 Futagawa, 1988
15.13 Editor, 1961b
15.14 Randall and Smith, 1991
15.16 Editor, 1954b
15.22 Engel, 1968
15.23 Engel, 1968
15.25 Ronner, et al., 1977
15.26 Ronner, et al., 1977
15.30 Engel, 1968
15.31 Engel, 1968
15.33 Engel, 1968
15.35 Torroja, 1958
15.37 Torroja, 1958
15.38 Torroja, 1958
15.40 Editor, 1963c
15.43 Faber, 1963
15.45 Faber, 1963
15.48 Faber, 1963
15.49 Faber, 1963
15.51 Editor, 1958b
15.52 Editor, 1962b

16.7 Engel, 1968
16.8 Editor, 1989
16.9 Faber, 1963
16.11 Editor, 1958c
16.12 Editor, 1958c
16.15 Editor, 1963d
16.18 Editor, 1955
16.19 Kato, 1981
16.20 Kato, 1981
16.21 Kato, 1981

17.6 Simpson Co., 1996

http://telegram.me/uadesigngroup

درک رفتار سازه‌ها با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

17.7 Allen, 1985
17.10 Allen, 1985
17.13 Allen, 1985
17.14 Allen, 1985
17.15 Allen, 1985
17.16 Packard, 1981
17.17 Packard, 1981
17.18 Packard, 1981

18.6 Allen, 1985

A.1 Corkill, et al., 1993

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

کتابشناسی

Allen, E., 1980, *How Buildings Work*. New York: Oxford University Press.

———, 1985, *Fundamentals of Buildings Construction*. New York: John Wiley and Sons.

———, and Iano, J., 1995, *The Architect's Studio Companion*. New York: John Wiley and Sons.

Andrews, W., 1968, *Architecture in Chicago and Mid-America*. New York: Atheneum.

Arnell, P., and Bickford, T., 1984, *Charles Gwathmey and Robert Siegel: Buildings and Projects 1964-1984*. New York: Harper and Row.

Berger, H., 1985, "The evolving design vocabulary of fabric structures," *Architectural Record*, March, pp.152-156.

———, 1996, *Light Structures—Structures of Light*. Basel, Switzerland: Berkhäuser.

Birdair, Inc., 1995, *Tensioned Membrane Structures*. Amherst, NY: Birdair, Inc., 65 Lawrence Bell Drive.

Blake, E., 1995, "Peak condition," *Architectural Review*, February, pp.60-63.

Blaser, W., ed., 1990, *Santiago Calatrava: Engineering Architecture*. Boston: Birkhauser Verlag.

Blyth, A., ed., 1994, *Architects' Working Details 2*. London: Emat Architecture.

Borrego, J., 1968, *Space Grid Structures*. Cambridge, MA: M.I.T. Press.

Brookes, A., and Grech, C., 1990, *The Building Envelope*. London: Butterworth Architecture.

———, 1992, *Connections: Studies in Building Assembly*. New York: Whitney Library of Design.

Brown, D., 1993, *Bridges*. New York: Macmillan.

Carney, J., 1971, *Plywood Folded Plates: Design and Details*. Research report #121. Tacoma, WA: American Plywood Association.

Carter, B., 1989, "Back Bay arches," *Architecture*, December, pp.65-69.

Ching, F., 1979, *Architecture: Form, Space & Order*. New York: Van Nostrand Reinhold.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

———, 1997, *A Visual Dictionary of Architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Clark, W., and Mark, R., 1984, "The first flying buttresses: a reconstruction of the nave of Notre-Dame de Paris," *Art Bulletin*, March, pp.47–65.

Corkill, P., Puderbaugh, H., and Sawyers, H., 1993, *Structure and Architectural Design*. Davenport, IA: Market Publishing.

Coulton, J., 1977, *Greek Architects at Work: Problems with Structure and Design*. London: Elek.

Cowan, H., 1971, *Architectural Structures*. New York: Elsevier.

———, and Wilson, F., 1981, *Structural Systems*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Davey, P. 1987, "An elegant tent provides a festive setting for cricket," *Architectural Review*, September, pp.40–45.

———, 1988, "An elegant tent provides a festive setting for cricket," *Architecture*, September, pp.70–71.

Dent, R., 1971, *Principles of Pneumatic Architecture*. London: Architectural Press.

Eberwein, B., 1989, "World's largest wood dome," *Classic Wood Structures*. New York: American Society of Civil Engineers, pp. 123–132.

Editor, 1952, "Parabolic pavilion," *Architectural Forum*, October, pp.134–137.

——— [illegible] *Architectural Forum*, June, pp.170–171.

———, 1954a, "The great livestock pavilion complete," *Architectural Forum*, March, pp.131–137.

———, 1954b, "Air-formed concrete domes," *Architectural Forum*, June, pp.116–118.

———, 1954c, "Long-span concrete dome on three pendentives," *Progressive Architecture*, June, pp.120–124.

———, 1954d, "St. Louis Planetarium: Design Award Citation," *Progressive Architecture*, June, pp.134–135.

———, 1955, "UNESCO headquarters design modified for building," *Architectural Record*, August, pp.10–11.

———, 1956, "Concrete Institute plans a new headquarters building," *Architectural Record*, August, pp.10–11.

———, 1958a, "The dome goes commercial," *Architectural Forum*, March, pp.121–125.

———, 1958b, "TWA's graceful new terminal," *Architectural Forum*, January, pp.78–85.

———, 1958c, "Siege de l'institut Américain du ciment, Détroit, Michigan," *L'Architecture D'Aujourd'hui*, April, pp.31–32.

———, 1960a, "A new airport for jets," *Architectural Record*, March, pp.175–181.

———, 1960b, "Shaping a two-acre sculpture," *Architectural Forum*, August, pp.119–123.

———, 1960c, "The concrete bird stands free," *Architectural Forum*, August, pp.119–23.

http://telegram.me/uadesigngroup

درک رفتار سازه‌ها ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

———, 1961a, "Saarinen," *Architectural Forum*, September, pp.112– 113.

———, 1961b, "Spirit of Byzantium: FLLW's last church," *Architectural Forum*, December, pp.83–87.

———, 1961c, "The Climatron," *AIA Journal*, May, pp.27-32.

———, 1962a, "I want to catch the excitement of the trip," *Architectural Forum*, July, pp.72–76.

———, 1962b, "Saarinen's TWA Flight Center," *Architectural Record*, July, pp.129–134.

———, 1963a, "Dulles International Airport," *Progressive Architecture*, pp.90–100.

———, 1963b, "Experimental plywood roof in Seattle," *Architectural Forum*, April, p. 122.

———, 1963c, "Spool-shaped planetarium for St. Louis," *Architectural Forum*, August, pp. 92–94.

———, 1963d, "Giant Illinois dome nears completion," *Architectural Forum*, March, p. 117.

———, 1963e, "University of Illinois spectacular," *Architectural Record*, July, pp. 111–116.

———, 1963f, "Budget school offers pleasant environment," *Architectural Record*, October, pp. 218–219.

———, 1966, "Bucky's biggest bubble," *Architectural Forum*, June, pp.74–79.

———, 1967, "The U.S. pavilion," *Japan Architect*, August, pp.38–45.

———, 1969a, "The space frame roof and the Festival Plaza," *Japan Architect*, April, 54–59.

———, 1969b, "Boston City Hall," *Architectural Record*, February, pp.140–144.

———, 1969c, "The Fuji Group Pavilion," *Japan Architect*, April, pp. 60–62.

———, 1969d, "Floating Theater," *Japan Architect*, April, pp.63–65.

———, 1970, "Festival Plaza: joints are key to world's largest space frame," *Progressive Architecture*, April, p. 62.

———, 1971a, "Munich's Olympic games site topped by cable-suspended roof," *Engineering News Record*, September 23, pp.18–19 .

———, 1971b, "Post-tensioned shells from museum roof," *Engineering News Record*, November 11, pp.24–25.

———, 1972, "Munich Olympics," *Design*, September, pp.30–35.

———, 1976, "A profile of the two largest air-supported roofs," *Architectural Record*, January, pp.141–143.

———, 1979, "Tent structures designed to endure," *Architectural Record*, mid-August, pp.85–93.

———, 1980, "A vast space frame wraps New York's convention center like a taut fabric," *Architectural Record*, Mid-August, pp.47–56.

———, 1982, "Invitation to the Haj," *Progressive Architecture*, February, pp.116–122.

———, 1983a, "A field of tents in the sky," *Architectural Record*, September, pp.84–85.

http://telegram.me/uadesigngroup

———, 1983b, "Huge, soaring tents on the desert," *AIA Journal*, May, pp.276–279.

———, 1983c, "Calgary 'saddles up' arena," *Engineering News Record*, December 22, pp.50–51.

———, 1985, "Riyadh stadium roof spans 485 ft," *Engineering News Record*, July 25, pp. 29–31.

———, 1986, "Space frame odyssey," *Architectural Record*, September, pp.106–117.

———, 1987, "Marlebone Cricket Club Mound Stand," *Architecture*, September, pp.151–156.

———, 1988, "Grand Louvre: le cristal qui songe," *Techniques and Architecture*, September, pp.128–132.

———, 1989, "Mobile structure for sulfur extraction," *Architecture and Urbanism*, March, pp. 170–173.

Elliott, C., 1992, *Technics and Architecture*. Cambridge, MA: MIT Press.

Ellis, C., 1989, "Pei in Paris: the pyramid in place," *Architecture*, January, pp.43–46.

Engel, H., 1964, *The Japanese House: A Tradition for Contemporary Architecture*. Rutland, VT: Charles E. Tuttle.

———, 1968, *Structural Systems*. New York: Praeger.

Faber, C., 1963, *Candela / the Shell Builder*. New York: Reinhold.

Fitch, J., and Branch, D., 1960, "Primative architecture and climate," *Scientific American*, vol. 203, pp.134–145.

Fleig, K., 1978, *Alvar Aalto*. Zurich: Verlag fur Architektur Artemis.

Fletcher, B., 1987, *A History of Architecture*. 18th ed., London: Butterworth.

Fox, H., 1981, "Kenneth Snelson: portrait of an atomist," in Snelson, K., 1981, *Kenneth Snelson* (exhibition catalog). Buffalo, NY: Buffalo Fine Arts Academy.

Frampton, K., Webster, A., and Tischhauser, A., 1993, *Calatrava Bridges*. Zurich: Artems.

Freeman, A., 1989, "Reglazing a celebrated dome greenhouse," Architecture, March, pp. 88-89.

Fuller, R. B., 1964, *Aspension Structure*. U.S. Patent 3,139,957, Washington, DC: U.S. Patent Office.

Futagawa, Y., ed., 1971a, *Eero Saarinen: John Deere Building*. Tokyo: Global Architecture.

———, ed., 1971b, *Louis I. Kahn: Richards Medical Research Building and Salk Institute for Biological Studies*. Tokyo: Global Architecture.

———, ed., 1972, *Mies van der Rohe: The New National Gallery*. Tokyo: Global Architecture.

———, ed., 1973a, *Gunnar Birkerts and Associates*. Tokyo: Global Architecture.

———, ed., 1973b, *Eero Saarinen: Dulles International Airport*. Tokyo: Global Architecture.

———, ed., 1974, *Le Corbusier: Sarabhai House and Shodhan House*. Tokyo: Global Architecture.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

———, ed., 1988, *Frank Lloyd Wright Monograph 1951–1959*. Tokyo: A.D.A. Edita.

Galileo, G., 1638, *Discoursi e dimonstrazioni matematiche*. Trans. Crew, H., and de Salvio, A., 1914, New York: Macmillan.

Gardner, H., 1980, *Art through the Ages*. New York: Harcourt Brace Jovanovich.

Geiger, D., 1970, "U.S. pavilion at Expo 70 features air-supported cable roof," Civil Engineering, March, pp.48-49.

Gfeller-Corthesy, R., ed., 1986, *Atelier 5*. Zurich: Ammann Verlag.

Glancy, J., 1989, *New British Architecture*. London: Thames and Hudson.

Gordon, J., 1973, *Structures: or, Why Things Don't Fall Down*. New York: Da Capo Press.

Guastavino Company, date unknown, product literature.

Gugliotta, P., 1980, "Architects' (and engineers') guide to space frame design," *Architectural Record*, mid-August, pp.58-62.

Guinness, D., and Sadler, J., 1973, *Mr. Jefferson, Architect*. New York: Viking.

Haeckel, E., 1887, *Report of the Scientific Results of the Voyage of HMS Challenger*, Vol. 18, Part XL—Radiolaria. Edengurgh 1880–1895. Reprinted, 1966, New York: Johnson Reprint Corp.

Hamilton, K., Cambell, D., and Gossen, P., 1994, "Current state of development and future trends in employment of air-supported roofs in long-span applications," *Spatial, Lattice, and Tension Structures: Proceedings of the IASS-ASCE International Symposium, Atlanta*. New York: American Society of Civil Engineers, pp.612–621.

Harriman, M., 1990, "London bridge," *Architecture*, September, pp.109–112.

Huxtable, A. L., 1960, *Pier Luigi Nervi*. New York: Braziller.

Isler, H., 1994, "Concrete shells today," *Spatial, Lattice and Tension Structures: Proceedings of the IASS-ASCE International Symposium, Atlanta*. New York: American Society of Civil Engineers, pp. 820–835.

Jahn, G., 1991, "Stretched muscles," *Architectural Record*, June, pp.75-82.

Kallmann, G., and McKinnell, M., 1975, "Movement systems as a generator of built form," *Architectural Record*, vol. 158, no. 7, November, pp.105–116.

Kappraff, J., 1991, *Connections: The Geometric Bridge Between Art and Science*. New York: McGraw-Hill.

Kato, A., ed., 1981, *Pier Luigi Nervi and Contemporary Architecture. Process Architecture*, April, no. 23.

Kellogg, R., 1994, *Demonstrating Structural Behavior with Simple Models*. Fayetteville, AR: School of Architecture, University of Arkansas (photocopy).

Kenzo Tange Associates, ed., 1987, "Master plan for Expo 70 and master design of trunk facilities," *Kenzo Tange Associates: Process Architecture*, no. 73, pp.102–103.

Kimball, R., 1989, "The riddle of the pyramid," *Architectural Record*, January, pp. 58–61.

Komendant, A., 1975, *18 Years with Architect Louis I. Kahn*. Englewood, NJ: Aloray.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

Kostof, S., 1985, *A History of Architecture: Settings and Rituals*. New York: Oxford University Press.

Krieger, A., 1988, *The Architecture of Kallmann McKinnell & Wood*. New York: Rizzoli.

Landeker, H., 1994, "Peak performance: the Denver International Airport Terminal," *Architecture*, August, pp.45– 52.

Ledger, B., 1994, "The biosphere reborn," *Canadian Architect*, September, pp.25–28.

Levy, M., 1991, "Floating fabric over Georgia Dome," Civil Engineering, November, pp.34–37.

———, Castro, G., and Jing, T., 1994, "Hypar-tensegrity dome, optimal configurations," *Spatial, Lattice and Tension Structures. Proceedings of the IASS-ASCE International Symposium, Atlanta*. New York: American Society of Civil Engineers, pp.125–128.

———, and Salvadori, M., 1992, *Why Buildings Fall Down*. New York: Norton.

Lin, T., and Stotesbury, S., 1988, *Structural Concepts and Systems for Architects and Engineers*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Macdonald, A., 1994, *Structure and Architecture*. Oxford: Butterworth Architecture.

Mahler, V., 1972, "Olympiastadion," *Architectural Forum*, October, pp.26–32.

Mark, R., ed., 1993, *Architectural Technology Up to the Scientific Revolution*. Cambridge, MA: MIT Press.

Marks, R. W., 1960, *The Dymaxion World of Buckminster Fuller*. New York: Reinhold.

McCoy, E., 1973, "Federal Reserve Bank of Minneapolis and IBM Information Systems Center," in Futagawa, Y., ed., *Gunnar Birkerts and Associates*. Tokyo: Global Architecture.

McQuade, W., 1958, "Yale's Viking vessel," *Architectural Forum*, December, pp.106–110.

Mero Structures Inc., P.O. Box 610, Germantown, WI 53022 (product literature, 1994).

Melaragno, M., 1991, *An Introduction to Shell Structures*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Moore, F., 1985, *Concepts and Practice of Architectural Daylighting*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Nakamura, T., 1984, *Eero Saarinen*. Tokyo: Eando Yu.

Nervi, P. L., 1963, *Pier Luigi Nervi: Buildings, Projects, Structures 1953–1963*. New York: Praeger.

Orton, A., 1988, *The Way We Build Now*. London: E & FN Spon.

Otto, F., 1954, *The Hung Roof*. Berlin: Bauwelt.

Packard, R., 1981, *Architectural Graphic Standards*. New York: John Wiley and Sons.

Pearce, P., 1978, *Structure in Nature is a Strategy for Design*. Cambridge, MA: M.I.T. Press.

Prenis, J., ed., 1973, *The Dome Builder's Handbook*. Philadelphia: Running Press.

Pugh, A., 1976, *An Introduction to Tensegrity*. Berkeley, CA: University of California Press.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

Ramm, E., and Schunck, E., 1986, *Heinz Isler.* Stuttgart: Krämer Verlag.

Randall, F., and Smith, A., 1991, "Thin-shell concrete dome built economically with rotating forming and shoring system," *Concrete Construction*, June, pp.490–492.

Rastorfer, D., 1988, "Structural Gymnastics for the Olympics," *Architectural Record*, September, pp.128–135.

Robinsor., K, 1985, *The Tacoma Dome Book.* Tacoma, WA: Robinson Publishing.

Robison, R., 1989, "Fabric meets cable," *Civil Engineering*, February, pp.56–59.

Ronner, H., Jhaveri, S., and Vasella, A., 1977, *Louis I. Kahn: Complete Works.* Boulder, CO: Westview.

Rosenbaum, D., 1989, "A dream of a dome in St. Pete," *Engineering News Record*, August 10, pp.37–40.

Rosenthal, H. W., 1962, *Structural Decisions.* London: Chapman and Hall.

Saarinen, E., 1962, *Eero Saarinen on his work.* New Haven: Yale University Press.

———, 1963, "Dulles International Airport," *Architectural Record*, July, pp.101–110.

———, and Severud, F., 1958, "The David S. Ingalls Rink," *Architectural Record*, October, pp 154–160.

Safdie, M., 1974, *For Everyone a Garden.* Cambridge, MA: MIT Press.

Salvadori, M., 1980, *Why Buildings Stand Up.* New York: Norton.

———, 1990, *The Art of Construction.* Chicago: Chicago Review Press.

Salvadori, M., and Heller, R., 1975, *Structure in Architecture.* New York: Prentice Hall.

Sandaker, B., and Eggen, A., 1992, *The Structural Basis of Architecture.* New York: Whitney Library of Design.

Schodek, D., 1992, *Structures.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Schueller, W., 1977, *High-Rise Building Structures.* New York: Wiley Interscience.

———, 1996, *The Design of Building Structures.* Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Scofield, W., and O'Brien, W., 1954, *Modern Timber Engineering*, 4th ed., New Orleans: Southern Pine Association.

Sedlak, V., 1973, "Paper shelters," *Architectural Design*, December, pp. 756–763.

Siegel, C., 1975, *Structure and Form in Modern Architecture.* Huntington, NY: Robert E. Krieger.

Simpson Company, 1996, *Wood Construction Connectors*, catalog C-96, Pleasantton, CA: Simpson Strong-Tie Company.

Snelson, K., 1981, *Kenneth Snelson* (exhibition catalog). Buffalo, NY: Buffalo Fine Arts Academy.

———, 1989, *The Nature of Structure.* New York: The New York Academy of Sciences.

Stein, K., 1993, "Snow-capped symbol," *Architectural Record*, June, pp.105–106.

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

Sudjic, D., 1986, *Norman Foster, Richard Rogers, James Stirling*. London: Thames and Hudson.

Tange, K., 1969, "The Expo 70 master plan and master design," *Japan Architect*, April, pp.16–20.

Taylor, J., and Andrews, J., 1982, *John Andrews: Architecture a Performing Art*. New York: Oxford University Press.

Taylor, R., 1975, *Architectural Structures Exclusive of Mathematics*. Muncie: Ball State University Press.

Thiem, W., 1972, "Olympic site designed for the future," *Progressive Architecture*, August, pp.58–65.

Thompson, D., 1917, *On Growth and Form*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Thornton, C., Tomasetti, R., Tuchman, J., and Joseph, L., 1993, *Exposed Structure in Building Design*. New York: McGraw-Hill.

Torroja, E., 1958, *The Structures of Edurardo Torroja*. New York: F.W. Dodge.

———, 1967, *Philosophy of Structures*. Berkeley: University of California Press.

Van Loon, B., 1994, *Geodesic Domes*. Norfolk, UK: Tarquin.

Villecco, M., 1970, "The infinitely expandable future of air structures," *Architectural Forum*, September, pp.40–43.

Voshinin, I., 1952, "Roof structure in tension," *Architectural Forum*, October, p. 162.

Weese, H. and Associates, 1978, *Four Landmark Buildings in Chicago's Loop*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

Wilson, F., 1987, "Of space frames, time, and architecture," *Architecture*, August, pp.80–87.

Wright, F. L., 1957, *A Testament*. London: Architectural Press.

Yarnall, M., 1978, *Dome Builder's Handbook No. 2*. Philadelphia: Running Press.

Zalewski, W., and Allen, E., 1997, *Shaping Structures*. New York: John Wiley and Sons.

http://telegram.me/uadesigngroup

واژه نامه

آت وود، چارلز ۵۴	Attwood, Charles
آجر ۲۷۴	Brick
آجرچینی ۲۷۵	bonds
آشیانه‌های هواپیما ۲۱۷	Hangars
آلپر، آ ۲۴۰	Alper, A.
آلومینیوم ۲۷۶	Aluminium
آنتمیوس و ایزودوروس ۲۰۹	Anthemius and Isidorus
آروپ، آوو ۵، ۳۷، ۴۲، ۴۸، ۱۰۰، ۱۰۳ و ۱۶۳	Arup, Ove.

الف

اتصال ثابت ۱۵ و ۲۱	fixed connection
اتصال غلتکی ۱۵، ۱۶ و ۲۱	roller connection
اتصالات ۵۵ و ۲۶۵	connections
اتصالات برشی ۲۶۸	shear connections
اتصالات گشتاوری ۲۶۸	moment connections
اتصالات مفصلی ۱۵، ۱۶ و ۲۱	pinned connection
اجزای چوبی ساخته شده ۲۶۴	manufactured wood components
اجزای چوبی با ابعاد مشخص ۲۶۳	dimension lumbar
اجزای سازه‌ای چوبی ۲۶۴	timbers
اجزای نیرو ۳	force components
احجام افلاطونی ۶۷ و ۷۳	platonic polyhedrons
ارتجاعی	elastic
استاتیک ۲ و ۲۰	Statics
استادیوم المپیک مونیخ ۱۴۹	Munich Olympic Stadium
استادیوم ریاض ۱۶۱	Riyadh Stadium
استادیوم فوتبال باری ۱۰۰	Bari Soccer Stadium
استادیوم فوتبال سیدنی ۵۰	Sydney Football Stadium
استادیوم ورزشی کرازبی کمپر ۴۹	Crosby Kemper Arena
اسکلت فولادی سبک ۲۶۵ و ۲۶۹	light-framing members
اسکیدمور، اوئینگز و مریل ۱۵۹ و ۱۹۵	Skidmore, Owings, and Merrill
اسکیلینگ، هل، کریستین سن، رابرتسون ۱۴۰	Skilling, Helle, Christiansen, Robertson
اسنلسون، کنت ۶۱	Snelson, Kenneth
اعضای جان ۴۹	web members
الوار با لایه‌های موازی ۲۶۳	Parallel-strand lumber
امان و ویتنی ۲۲۵، ۲۴۵ و ۱۴۲	Ammann and Withney
امان، او ۱۲۹	Amman, O.
اندازه‌گذاری اولیه ۲۸۸	Preliminary Sizing
اندروز، جان ۴۷	Andrews, John
انستیتوی سلک ۹۶	Salk Institue
اوتو، فرای ۱۴۹	Otto, Frei

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

access opening	بازشوهای دسترسی ۱۷۰
Missouri Botanical Gardens Climaton	باغ گیاه‌شناسی کلیماتون میسوری ۷۱
Minneapolis Federal Reserve Bank	بانک فدرال ریزرو- مینیاپولیس ۱۴۰
concrete	بتن ۲۷۱ و ۲۷۲
prestressed concrete	بتن پیش‌تنیده ۲۷۴
precast concrete	بتن پیش‌ساخته ۲۷۳
Reinforced-concrete	بتن مسلح ۲۷۲
Louvre Museum Addition	بخش الحاقی موزه لوور ۶۰
Browne, Robert	براون، رابرت ۲۵۵
Breuer and Zehrfuss	بروبر و زهرفوس ۲۵۷
vector	بردار ۲ و ۲۰
shear	برش ۲۷، ۲۹ و ۳۲
Berger, Horst	برگر، هورست ۱۵۶ و ۱۶۱
Burnham and Root	برن هام و روت ۸۰
Brunelleschi	برونلسکی ۲۱۱
masonary	بنایی ۲۷۴
arches	قوس‌ها ۱۸۳
reinforcing	مسلح ساختن ۲۷۴
Behnisch and Partner	بهنیش و شرکاء ۱۴۹
Birkets, G.	بیرکرتز، جی ۱۳۲
icosahedron	بیست وجهی ۶۷ و ۷۳

O'Dell / Hewlett & Luckenbach	اودل/ هولت و لاکن باخ ۱۷۵
Ordonez, J. and F.	اوردونز، جی و اف ۲۴۳
Hagia Sophia	ایاصوفیه ۲۰۹
Back Bay Station	ایستگاه بک بای ۱۹۴
Isler, Heinz	ایسلر، هاینس ۲۴۷
Eiffel, Gustave	ایفل، گوستاو ۵۴
Eames, Charles	ایمز، چارلز ۱۲۵
ب	
Bobrowski, Jan	بابروسکی، جان ۱۵۲
pneumatic	بادی، هوای فشرده ۱۶۶ و ۱۷۱
Lecheria Ceimsa loading dock	بارانداز لچریاسیمسا ۲۴۴
wind load	بار باد ۱۱
snow load	بار برف ۱۱
dynamic load	بار دینامیکی ۱۲
seismic load	بار زلزله ۱۱
live loads	بارزنده ۱۱ و ۲۰
impact load	بار ضربه‌ای ۱۲
buckling load	بار کمانشی ۷۵
dead load	بار مرده ۱۱ و ۲۰
static loads	بارهای استاتیکی ۱۱ و ۲۰
loads	بارهای وارد بر ساختمان‌ها ۱۰

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

پ

پارچه‌ها ۱۷۱، ۲۷۶	fabrics
پارچه فیبر شیشه‌ای ۱۷۱	glass-fiber fabric
پانتئون ۲۰۸	Pantheon
پانل چوبی ۲۶۲	wooden panel
پانل‌های بدون روکش ۲۶۳	nonveneered panels
پانل‌های مرکب ۲۶۳	composite panels
پاوند نیرو ۲	pound force
پت سنتر ۳۵	Patcenter
پرچ‌ها ۲۶۸	rivets
پشت بند معلق ۱۸۹	flying buttress
پل آلامیلو ۳۹	Alamilo Bridge
پل بروکلین ۱۳۷	Brooklyn Bridge
پل برونکس – وایت استون ۱۳۷	Bronx-Whitestone Bridge
پل تاکوما نروز ۱۳۷	Tacoma Narrows bridge
پل راین ۱۹۹	Rhine Bridge
پل سالگیناتوبل ۱۹۹	Salginatobel Bridge
پل سین سیناتی ۱۳۶	Cincinnati Bridge
پل گلدن گیت ۱۳۶	Golden Gate Bridge
پل منایی استریتز ۱۳۶	Menai Striates Bridge
پل نیوریورجورج ۱۹۹	New River Gorge Bridge
پلاستیک ها-خمیرها ۳۲ و ۲۷۶	plastic
پلان تیرریزی ۲۸۴، ۲۸۷ و ۲۸۸	framing plan
پلان دست آزاد ۲۸۵	free hand plan
پلان دیاگرام طراحی اولیه ۲۸۴، ۲۸۵ و ۲۸۶	plan bubble diagram
پل ها ۱۳۶ و ۱۳۷	bridges
پلاستیک مسلح با شیشه ۲۷۵	glass-reinforced plastic
پوسته‌ها ۲۲۲ و ۲۴۸	shells
پوسته‌های آنتی‌کلاستیک ۲۳۷ و ۲۴۸	Anticlastic Shells
پوسته‌های سین‌کلاستیک ۲۲۲ و ۲۴۸	Synclastic Shells
پوسته‌های قابل توسعه ۲۲۲ و ۲۳۰	developable shells
پوسته‌های استوانه‌ای ۲۳۰	barrel shells
پوسته‌های استوانه‌ای بلند ۲۳۱	long barrel shells
پوسته‌های استوانه‌ای کوتاه ۲۳۰	short barrel shells
پوسته‌های نامنظم ۲۴۵	irregular shells
پوشش مقطع عرضی ۲۸۷	cross-sectional overlay
پونت دو گارد ۱۸۸	Pont du Gard
پی‌ها ۲۶	foundations
پی. آی.ام ۵۸ و ۶۰	Pei, I.M
پیانو و راجرز ۴۲	Piano and Rogers
پیانو، رنزو ۱۰۰	Piano, Reazo
پیچ‌ها ۲۶۵	bolts
پیچش ۳۰ و ۳۲	torsion
پیچیدن ۲۸	wrap

http://telegram.me/uadesigngroup

ت

تأثیر توان دو – سه ۲۳ و ۳۲	square-cube effect
تالار ایلینی ۲۵۴	Illini Hall
تالار سخنرانی کرسگ ۲۲۵	Kresge Auditorium
تالار شهر بوستون ۱۲۸	Boston City Hall
تالار گاند ۴۷	Gund Hall
تامپسون ونچولت استین بک ۶۴	Tompson Ventullet Stainback
تانگه، کنزو ۵۷	Tange, Kenzo
تئاتر شناور ۱۸۰	floating theater
تختهٔ چندلایی ۲۶۲	plywood
مقاطع I شکل ۲۶۴	I-beams
تختهٔ چوبی با لایه‌های جهت‌دار ۲۶۳	oriented-strand board
تخته‌ها ۲۶۲	boards
ترسیمات مرحله‌ای ۲۸۵	tracing overlay
ترسیمه آزاد جسم ۱۰	free-body diagram
ترکیب مولکولی ۲۲	molecular composition
ترمینال حج ۱۵۹	Haj Terminal
ترمینال فرودگاه بین المللی دنور ۱۴۳	Denver International Airport Terminal
ترمینال TWA ۲۴۵	TWA Terminal
تروجا، ای ۲۳۸	Torroja, E.
تعادل ۲۰	equilibrium
تعادل انتقالی ۵ و ۲۰	translational equilibrium
تعادل چرخشی ۱۰ و ۲۰	rotational equilibrium
تغییر شکل ۲۴	deformation
تغییر شکل تیر ۹۰	beam deflection
تکیه‌گاه آزاد ۱۵	free support
تکیه‌گاه ثابت ۱۵	fixed support
تکیه گاه‌ها ۱۵ و ۲۰	supports
قاب فضایی (سازهٔ فضاکار) ۵۵	.....space frame
تکیه‌گاه‌های انتهایی ۷۸	end restraints
تلفورد، توماس ۱۳۶	Talford, Thomas
تنش در تیر ۸۶	beam stresses
تنش ۲۲ و ۳۲	stress
خطوط انحنا ۸۷	contours
تنظیم فشار هوای داخل ۱۷۰	pressurization
تنیدن ۲۸	weft
تواتر، فرکانس، تکرار ۱۴، ۶۸ و ۷۳	frequency
توپ فوتبال ۶۸	soccer ball
تیرها ۸۶-۱۱۴ و ۲۸۱	beams
تیر اتصالی از بتن مسلح ۱۹۲	reinforced-concrete ties
تیرها با مقطع قوطی ۲۶۴	box beams
تیرهای ممتد ۱۰۴	continuous beams
تیرهای ویرندیل ۹۴ و ۱۳۰	Vierendeel beams
تیرچه‌ها ۱۰۵ و ۱۱۱	joists
تیرچه‌های ایزواستاتیک ۱۱۲	isostatic joists

http://telegram.me/uadesigngroup

open-web steel joists	تیرچه‌های فولادی با جان باز ۲۶۹
bar joists	تیرچه‌های دارای میلگرد ۲۶۹
Gerber beam	تیرگربر ۱۰۵
beams and slabs	تیرهاو دال ها ۸۶-۱۱۴

ج

welds	جوش‌ها ۲۶۸

چ

Chapman and Smart	چاپمن و اسمارت ۱۲۴
tent	چادر ۱۵۶-۱۶۵
boundaries	مرزها ۱۵۹
materials	مصالح ۱۵۹
supports	تکیه گاه ۱۵۸
polygons	چندضلعی‌ها ۳۳
timber	چوب ۲۶۱-۲۶۵
timbers	چوب‌ها ۲۶۲
laminated timber	چوب چندلایه ۲۶۳
glue-laminated timber	چوب چندلایه با چسب ۲۶۳
glulam	چوب چندلایه چسبیده شده (گلولام) ۲۶۳
laminated veneer timber	چوب چندلایه روکش دار ۲۶۳
tetrahedron	چهاروجهی ۷۳

ح

soap bubbles	حباب های صابون ۱۶۶
West Beach Bathhouse	حمام ساحل غربی ۱۲۷

خ

elasticity	خاصیت ارتجاعی ۶ و ۲۰
Falling Water	خانهٔ آبشار ۱۰۲
air-formed concrete house	خانهٔ بتنی شکل گرفته با هوا ۲۲۹
Schulitz residence	خانهٔ مسکونی شولیتز ۱۲۵
truss	خرپاها ۳۳ و ۴۱-۵۲
catenary truss	خرپای زنجیروار ۱۳۳-۱۵۵
space trusses	خرپاهای فضایی ۴۱ و ۵۲
plane trusses	خرپای مسطح ۵۲
crushing	خردشدگی، گسیختگی ۷۶
line of action	خط اثر نیرو ۲ و ۲۰
line of thrust	خط رانش ۱۸۵
hoop lines	خطوط حلقوی ۲۲۳
grid lines	خطوط شبکه‌ای ۲۸۸
arch lines	خطوط قوسی ۲۲۳
bening	خمش ۸۶
dormitories, Indian Institute of Management	خوابگاه، انستیتوی مدیریت هندوستان ۱۹۱

http://telegram.me/uadesigngroup

د

دال‌ها ۱۰۸	slabs
دال‌های دنده‌دار ۱۱۰	ribbed slabs
دال‌های وافل ۱۱۲	Waffle slabs
دبستان آووکادو ۲۵۵	Avocado School
دوازده‌وجهی ۷۳	dodecahedron
دهانه‌ها ۱۱۶	bays
دیتریک و نوویکی ۱۴۷	Deitrick and Nowicki
دینامیک ۲ و ۲۰	dynamic
دیوارباربر ۷۸-۸۴ و ۲۸۰	bearing wall
دیویس، برودی و همکاران ۱۷۳	Davis, Brody and Associates

ر

رابط‌ها، اتصالات ۲۶۵	connectors
راجرز، ریچارد ۳۵	Rogers, Richard
رادنی، آی ۲۳۶	Rodney, I.
روسه فاراپ اینترنشنال ۶۴	Rosser Farap International
رایت، فرانک لوید ۱۰۲ و ۲۲۶	Wright, FrankLlyod
رستوران لوس مانانتیالس ۲۴۳	Los Manantiales Restaurant
رواق ۲۰۵	nave
روش قاب بالن ۱۲۲	balloon frame
روش قاب سکو ۱۲۲	platform frame
ریکامیر، سی ۲۴۴	Recamier, C.

ز

زمین بازی کریکت لرد ۱۶۳	Lord's Cricket Field
زمین بازی هاکی دانشگاه ییل ۱۴۸	Yale Hockey Rink
زمین ورزشی رالی ۱۴۷	Raleigh Arena
زنجیرواره‌ها ۴۰ و ۱۴۰	cateneries
زوج نیرو ۳۱	couples

س

سارنین، ارو ۱۴۲، ۱۴۸، ۲۲۵ و ۲۴۵	Saarinen, Eero.
ساختمان اداری کارخانهٔ تختهٔ چندلایی ایالات متحد ۲۳۶	U.S. Plywood office building
ساختمان با اسکلت سبک ۱۲۲	light-frame construction
ساختمان ترمینال دالاس ۱۴۲	Dulles Terminal Building
ساختمان کنفرانس یونسکو ۲۵۷	UNESCO Conference Building
ساختمان مرکزی انستیتوی بتن امریکا ۲۵۴	American Concrete Institute Headquarters Building
ساختمان مرکزی بانک هنگ کنگ ۱۰۳	Hongkong Bank Headquarters
ساختمان موناداناک ۸۰	Monadnock Building
سازه‌های با کابلهای مضاعف ۱۴۳-۱۴۶	double-cable structures
سازه‌های با یک انحنا ۱۳۹	one cable structures
سازه‌های با انحنا دوگانه ۱۴۶۱۵۲	double-curvature structures
سازه‌های پرشده از هوا ۱۶۶	Air-inflated Structures

http://telegram.me/uadesigngroup

درک رفتار سازه‌ها با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

سازه‌های از نوع پی جی ۵۹	PG strucrures
سازه‌های دارای دنده‌های پر شده از هوا ۱۷۶	inflated-rib structures
سازه‌های با دیوار مضاعف ۱۷۶	dual-wall structures
سازه‌های متکی برکابل ۳۴	cable-stayed structures
سازه‌های متکی برهوا ۱۶۶	Air-supported Structures
سازه‌های نامعین ۱۹	indeterminate structures
سازه‌های وسترن وود ۲۱۵	Western Wood Structures
سالن ژیمناستیک المپیک ۶۳	Olympic Gymnastics Stadium
ساویر، دی ۲۴۱	Sawyer, D.
ستاره نمای مک دانل ۲۴۰	McDonnell Planetarium
ستون نما، نیم ستون ۸۱	pilasters
ستون‌ها ۷۵-۷۸	columns
بلند ۷۵	long
کوتاه ۷۵	short
و دیوارها ۷۵-۸۵	and walls
سطح پوششی فولاد ۲۶۹	Steel decking
سطح فولادی موجدار ۲۶۷	corrugated steel decking
سفدی، موشه ۸۴	Safdie, Moshe
سنگ ۲۷۵	stone
سنگ آذرین ۲۷۵	igneous rock
سنگ آهک ۲۷۵	limestone
سنگ دگردیس ۲۷۶	metamorphic rock
سنگ رسوبی ۲۷۶	sedimentary rock
سنگ ساختمانی ۲۷۶	ashlar
سنگ لوح ۲۷۶	slate
سنگ مرمر ۲۷۶	marble
سورود و همکاران ۱۴۷ و ۱۴۸	Severud Associates
سهموی ۲۳۷	paraboloids
سهموی هذلولی ۲۳۷ و ۲۴۲	Hypar, hyperbolic paraboloids
سیستم‌های بین المللی آحاد ۲	International System of Units
سیمپسون، گامپرتز و هگر ۷۲	Simpson, Gumpertz, and Heger

ش

شبکهٔ تارتان ۱۲۹	tartan grid
شبکهٔ تیرها ۱۰۶	beam grids
شبکهٔ سازه‌ای ۲۸۶ و ۲۸۷	structural grid
شبه‌دایره ۲۳۴	cycloids
شبه‌هذلولی ۲۳۷ و ۲۴۲	hyperboloids
شرایط لبه‌ها ۲۳۱ و ۲۵۲	edge conditions
شرکت آلومینیوم کیسر ۷۰	Kaiser Aluminium, Inc.
شرکت سینرجتیک ۷۰	Synergetic, Inc.
شکل (فرم) ستون‌ها ۷۷	columns shape
شولیتز، اچ.سی ۱۲۵	Schulitz, H.c.

http://telegram.me/uadesigngroup

ص

صفحات مسطح ۱۰۹ و ۲۸۲ — flat plates
صفحات نازک نوردشده ۲۶۹ — thin-sheet rolls

ض

ضریب ارتجاعی ۳۲ — Modulus of elasticity

ط

طاق‌ها ۲۰۲-۲۲۰ — vaults
طاق افقی ۱۹۱ — jack arch
طاق‌زنی رومانسک ۲۰۵ — Romanesque vaulting
طاق‌زنی رومی ۲۰۴ — roman vaulting
طاق زدن ۱۸۲ — corbeling
طاق‌زنی کاتالان ۲۱۲ — Catalan vaulting
طاق‌زنی گوتیک ۲۰۶ — gothic vaulting
طاق‌های لاملا ۲۱۳ — lamella vaults
طاق‌های استوانه‌ای ۲۰۲ — cylindrical vaults
طاق‌های گنبدی ۲۰۷ — domed vaults
طراحی سازه‌های چادری — designing tent structures
طراحی کلی سازه‌ای ۲۶۲ — structural layout
طره، پیش‌آمدگی ۱۶، ۲۰، ۹۷ و ۲۴۴ — cantilever
قاب فضایی (سازهٔ فضاکار) ۵۵ — space frame
تغییر شکل ۹۹ — deflection
مقایسه با تیرهای یک طرف گیردار ۹۹ — versus overhanging beams

ع

عددی، اسکالر ۲ و ۲۰ — scolar
عکس العمل ۶، ۱۶ و ۲۰ — reactions
عملکرد دیافراگم ۱۲۲ — diaphragm action
عناصر فشاری ۴۰ — strut
عوامل تغییر شکل ۹۰ — deflection factors

غ

غرفهٔ ایالات متحده ۱۷۳ — United States Pavilion
نمایشگاه اکسپو۶۷ ۷۲ — Expo 67
نمایشگاه اکسپو ۷۰ ۱۷۳ — Expo 70
غرفهٔ فوجی ۱۷۸ — Fuji pavilion

ف

فارولی، بلوم و یسلمان ۵۴ — Faroli, Blum, and Yesselman
فایبرگلاس ۲۷۶ — fiberglass
فایندلی، جیمز ۱۳۵ — Findley, James
فرم فعال ۱۳۲ — Form-active
فرودگاه سلطان عبدالعزیز ۱۵۹ — King Abdul Aziz Airport
فرید، جیمز ۵۸ — Freed, James

http://telegram.me/uadesigngroup

فریزر، رابرتز و شرکاء	Fraser, Roberts, and Partners
فشار ۲۶	compression
فضای مرکزی نمایشگاه اکسپو ۷۰ ۵۷	Expo 70 Festival Plaza
فنترس، بردبرن و همکاران ۱۴۳	Fentress, Bradburn, and Associates
فوپل، آگوست ۵۴	Fopple, August
فوستر، نورمن ۴۸ و ۱۰۳	Foster, Norman
فولاد ۲۶۷	steel
اتصالات ۲۶۸	connections
سطح پوششی ۲۶۹	decking
تیرچه‌ها ۲۶۹	joists
میلگردهای تقویتی ۲۶۹	reinforcing bars
فولر و سادائو ۷۲	Fuller and Sadao
فولر، باک مینستر ۶۰	Fuller, Buckminster

ق

قاب‌های با قابلیت استفاده مجدد ۲۱۶	reusable forms
قاب فضایی (سازه فضاکار) ۵۳ و ۶۶	space frame
قاب‌ها، اسکلت ۱۱۵-۱۳۱	frames
قاب‌های صلب ۱۱۸	rigid frames
قاب چوبی ۲۶۲	framing lumber
قاب‌های ژئودزیک ۳۳	geodesic frames
قاب‌های صلب چند دهانه ۱۲۰	multibay rigid frames
قالب بالن ۱۲۲	Balloon form
قالب‌بندی ۲۷۳	formwork
قانون هوک ۶۶	Hook's law
قانون یک سوم وسط ۲۷	middle-third rule
قلوه‌سنگ ۲۷۶	rubble
قوس غیربنائی ۱۹۲	nomasonary arches
قوس داخلی ۱۹۱	intrados
قوس‌های دو مفصلی ۱۹۲	two-hinged arches
قوس سه مفصلی ۱۹۲	three-hinged arch
قوس‌های صلب ۱۹۲	rigid arches
قوس‌ها ۱۸۲-۲۰۱	arches

ک

کابل‌ها ۳۳، ۳۴ و ۴۰	cables
کابل‌های زنجیروار ۱۳۳-۱۵۵	catenary cables
کابل‌های معلق ۱۴۰	suspension cables
کابین های جنگلی کلدی‌کاستل ۱۲۴	Keldy Castle Forest Cabins
کاخ سلطنتی کنستانتین ۲۰۴	Basilica of Constantine
کارخانهٔ کاغذسازی بورگو ۱۳۹	Burgo Paper Mill
کالاتراوا، سانتیاگو ۳۹	Calatrava, Santiago
کالمان، مک کینل و نولز ۱۲۸	Kallman, McKinnell and Knowles
کالمان، مک کینل و وود ۱۹۴	Kallman, McKinnell and Wood
کامیا، کوجی ۵۷	Kamiya, Koji

http://telegram.me/uadesigngroup

Kahn, Louisl.	کان، لوئی ۹۶، ۱۹۰، ۱۹۱ و ۲۳۳
Candela, Felix	کاندلا، فلیکس ۲۴۳ و ۲۴۴
Kawaguchi, M.	کاواگوچی، م ۱۷۸ و ۱۸۰
Kiewitt, G.R.	کایویت، جی. آر ۲۱۵
Phillips Exeter Library	کتابخانه فیلیپ اکستر ۱۹۰
bibliography	کتابشناسی ۳۰۳
Kramer, G.	کرامر،جی ۲۳۶
strain	کرنش ۲۴
shear strain	کرنش برشی ۲۴ و ۳۲
Christiansen, J	کریستسن سن، جی ۲۲۸
tensegrity	کش بستی ۶۱
tension	کشش ۲۵
reinforcing	تقویتی ۸۷
Radial tension	کشش شعاعی ۲۱۱
bias stretch	کشیدگی مورب ۲۹
snowshoes	کفش اسکی ۲۶
Greek Orthodox Church	کلیسای ارتدوکس یونان ۲۲۶
Annunciation Greek Orthodox Church	کلیسای بشارت ارتدوکس یونان ۲۲۶
Florance Cathedral	کلیسای جامع فلورانس ۲۱۱
Climaton	کلیماتون ۷۱
Kling, Vincent	کلینگ، وینسنت ۵۴
buckle	کمانش ۷۶
deflection control	کنترل افت فشار ۱۷۱

Corkill, Philip A.	کورکیل، فیلیپ آ ۲۹۱
Cox, Philip	کوکس، فیلیپ ۳۷ و ۵۰
Komendant, A.	کومدانت، آ ۹۶ و ۲۳۳

گ

Galloping Gertie	گالوپینگ گرتی ۱۳۶
Galileo	گالیله ۹۸
Gunnite	گانایت ۲۲۹
Gaudi, Antonio	گاودی، آنتونیو ۲۴۷
Geiger Gossen Hamilton Liao	گایگر گوسن هامیلتون لیائو ۶۴
Geiger, David	گایگر، دیوید ۶۱، ۶۳
Geiger Berger Associates	گایگربرگر و همکاران ۱۵۹، ۱۷۳ و ۱۷۵
granite	گرانیت ۲۷۵
HOK Sports Facilities Group	گروه امکانات ورزشی هوک ۶۴
memberane failure	گسیختگی اعضاء ۱۷۸
moment	گشتاور ۷ و ۲۰
moment of interia	گشتاور ماند ۷۷
moment reaction	گشتاور عکس العمل ۱۰
Tacoma Dome	گنبد تاکوما ۲۱۵
Georgia Dome	گنبد جورجیا ۶۴
Sun Dome	گنبد خورشید (سان دام) ۲۲۸
renaissance dome	گنبد رنسانس ۲۱۱
Zeiss-Dywidag dome	گنبد زایس – دای ویداگ ۶۱

http://telegram.me/uadesigngroup

fire protection	محافظت در برابر آتش سوزی ۲۶۷
decay protection	محافظت در برابر پوسیدگی ۲۶۶
Habitat	محل سکونت ۷۹ و ۸۴
conoids	مخروط ها ۲۴۴ و ۲۴۹
Avocado School	مدرسه آووکادو ۲۵۵
modeling funicular vaults	مدل‌سازی طاق‌های با فرم منحنی طنابی ۲۱۲
London Exchange House	مرکز بورس لندن ۱۹۵
Centre George Pompidou	مرکز ژرژ پومپیدو ۴۲
Seaibury Center	مرکز سنزبری ۴۸
Hatford Civic Center	مرکز شهری هارتفورد ۵۴
Darling Harbor Exhibition Center	مرکز نمایشگاهی بندر دارلینگ ۳۷
Jacob K.Javits Convention Center	مرکز همایش‌های جاکوب ک . جاویتس ۵۸
structural materials	مصالح سازه‌ای ۲۶۱
equivalancy of shear	معادل بودن از نظر برش ۲۷
Tomb of Clytemnestra	معبد کلایتمنسترا ۱۸۲
beehive tombs	معبد کندویی شکل ۱۸۲
Loofburrow Architects	معماران لوف بارو ۲۲۸
cold-rolled profiles	مقاطع پروفیل‌های ساخته‌شده با نورد سرد۲۶۶
wide-flange sections	مقاطع بال پهن ۲۶۷
built-up sections	مقاطع ساخته شده ۲۷۰
hot-rolled steel sections	مقاطع فولادی با نورد گرم ۲۶۹
corrosion resistance	مقاومت در برابر خوردگی ۲۶۶

Calgary Saddledome	گنبد زین اسبی کلگری ۱۵۲
geodesic dome	گنبد ژئودزیک ۷۰
Florida Suncoast Dome	گنبد سان کاست فلوریدا ۶۴
Schwedler dome	گنبد شودلر ۶۷
cable dome	گنبد کابلی ۶۴
Silver Dome	گنبد نقره‌ای (سیلوردام) ۱۷۵
hypar-tensegrity dome	گنبد هایپار کش بستی ۶۶
domes	گنبدها ۲۲۳-۲۳۱
elliptical domes	گنبدهای بیضوی ۲۲۴
parabolic domes	گنبدهای سهموی ۲۲۴
	ل
Lundy, V.	لاندی، وی ۲۴۱
Leonhardt and Andrae	لئون هاردت و آندره ۱۴۹
pendentives	لچکی‌ها ۲۰۹
	م
Mariotte, Edme	ماریو، ادم ۹۸
sandstone	ماسه سنگ ۲۷۵
Mounds Stands, Lord's Cricket Field	ماوند استاندز، زمین بازی کریکت لرد ۱۶۳
Michael Hopkins and Partners	مایکل هاپکینز و همکاران ۱۶۳

http://telegram.me/uadesigngroup

مقاومت مصالح ۲۲-۳۲ و ۹۱	strength of materials
مقطع T شکل ۲۶۷	tees
مک گراهان مسنجر و همکاران ۲۱۵	McGranhan Messanger Associates
مکانیسم ۱۹	mechanism
مکانیک ۲، ۲-۲۱ و ۲۰	mechanics
مکعب ۷۳	cube
منابع تصویر ۳۰۰	illustration credits
منحنی طنابی ۱۳۲ و ۱۳۳	funicular
منگرینگ هاوزن، ماکس ۵۵۷	Mengeringhausen , Max
موراتا، وای ۱۷۸ و ۱۸۰	Mutara, Y.
مورفی و مک‌کی ۷۱	Murphy and Mackey
مورفی، سی. اف. ۴۹	Murphy, C.F.
موزهٔ کیمبال ۲۳۳	Kimball Museum
مویسیف، ل ۱۳۶	Moisseiff, L.
مهار کردن ۱۷۲	anchorage
مهمانخانه چشمه‌های آبگرم معدنی ۲۴۱	Warm Mineral Springs Inn
میدان اسبدوانی زارزوئلا ۲۳۸	Zarzuela Hippodrome
میسوری و همکاران ۱۲۸	Le Messurier Associates
میل‌لارت، رابرت ۱۹۸	Maillart, Robert
میلگردها ۲۶۷	bars

ن

ناودانی‌ها ۲۶۷	channels
نبشی‌ها ۲۶۷	Angles
نروی و بارتولی ۲۱۷	Nervi and Bartoli
نروی، پیرلوئیجی ۱۳۹ و ۲۵۷	Nervi, PierLuigi
نعل درگاه ۱۲۲	lintel
نف، والاس ۲۲۹	Neff, Wallace
نگه‌داشته‌شده (مهارشده) به وسیلهٔ کابل ۳۵	cable stays
نمازخانهٔ کولونیاگوئل ۲۴۷	Colonia Guel Chapel
نمودار انتخاب سیستم قاب‌بندی سازه‌ای ۲۸۴	framing system selection chart
نمودارهای طراحی اولیه ۲۹۱-۲۹۹	Preliminary design charts
نوسان آئرودینامیکی ۱۴	Aerodynamic Oscillation
نوسانات آئرودینامیکی ۱۳۷	Aerodynamic Oscillations
نویز، الیوت ۲۲۹	Noyes, Elliot.
نیرو ۱۹	force
نیروها ۲	forces
نیروی برآیند ۱۲	resultant load
نیروهای برآیند ۳ و ۲۰	resultant loads
نیروی گسترده ۵	distributed force
نیروی متعادل ۵ و ۲۰	equivalent force
نیروی متمرکز ۵ و ۲۰	concentrated force
نیروی وارده ۲۰	applied force
نیروی همزمان ۲۰	concurrent force

http://telegram.me/uadesigngroup

با ما همراه باشید در کانال تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

دکتر محمود گلابچی

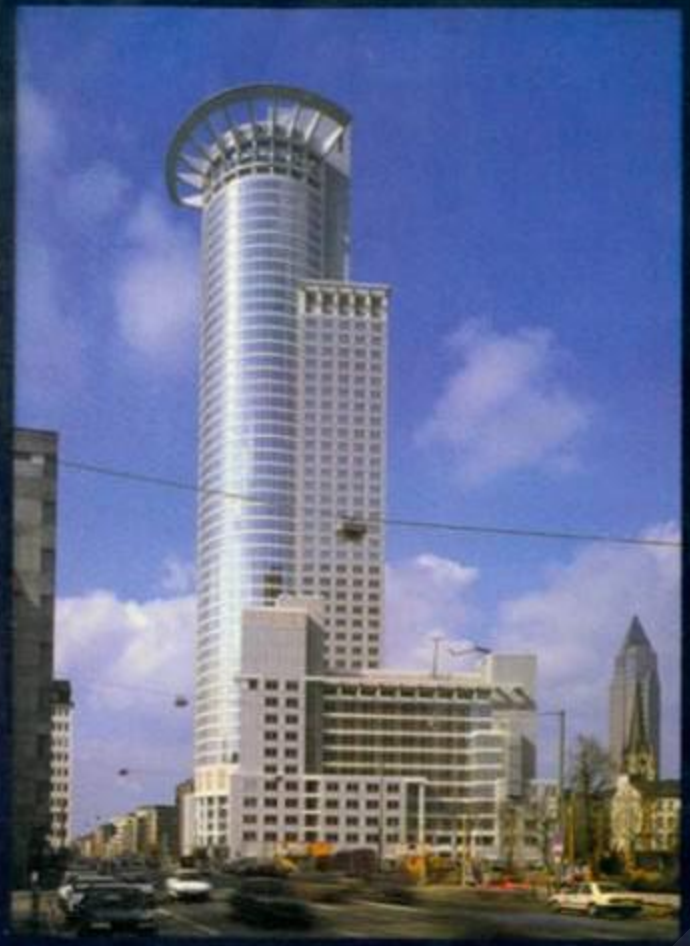
دانشیار گروه معماری دانشگاه تهران

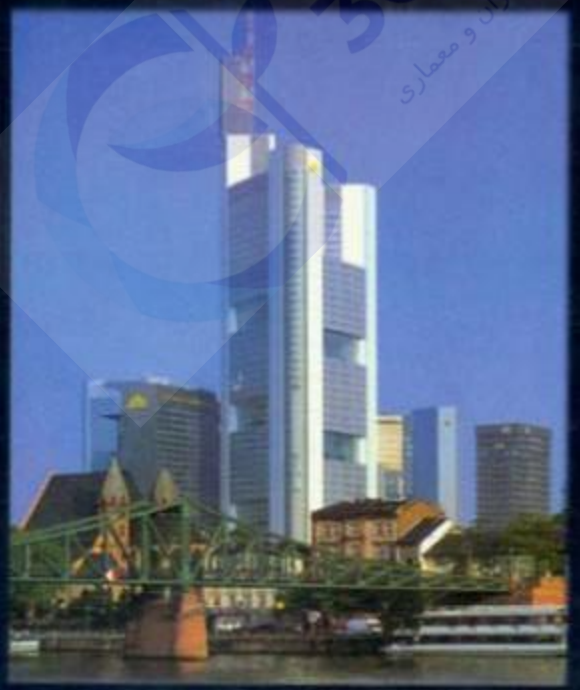
دکتر محمود گلابچی در سال های ۱۳۵۹ و ۱۳۶۲ موفق به اخذ مدرک لیسانس و فوق لیسانس مهندسی راه و ساختمان با رتبه اول از دانشکده فنی دانشگاه تهران شد و از همان سال بعنوان عضو هیئت علمی در دانشگاه تهران مشغول به کار گردید. وی دروس متعددی را در مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد معماری تدریس نمود. وی در سال ۱۳۷۵ موفق به اخذ دکتری مهندسی راه و ساختمان از دانشگاه لیدز کشور انگلستان گردید و ضمن تدریس در دانشگاه لیدز انگلستان فوق دکتری خود را در زمینه سیستم‌های ساختمانی (سازه در معماری) از همان دانشگاه دریافت نمود.

در سال ۱۳۷۵ همزمان با تدریس دروس سیر تحول سیستم‌های ساختمانی و سیستم‌های سازه‌ای معاصر در دوره دکتری معماری بعنوان سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه معماری دانشگاه تهران منصوب گردید و از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۸۲ ریاست کتابخانه دانشکده هنرهای زیبا را بعهده داشت. وی در حال حاضر عضو هیأت علمی دانشکده معماری دانشگاه تهران، سرپرست رشته‌های کارشناسی ارشد تکنولوژی معماری و مدیریت پروژه و ساخت، عضو شورای تدوین مقررات ملی ساختمان، عضو کمیته تدوین آیین‌نامه سازه‌های فضاکار، مسئول کمیته تخصصی مبحث سوم مقررات ملی ساختمان و نیز عضو چندین سازمان و مجمع بین‌المللی در زمینه‌های معماری و مهندسی ساختمان می‌باشد.

وی علاوه بر محاسبه و طراحی صدها طرح و ده‌ها پروژه بزرگ ساختمانی، در سازمان‌های اجرایی متعددی بعنوان مشاور عالی در زمینه سازه و ساختمان مشغول بکار بوده است. از تالیفات مهم ایشان می‌توان به مجموعه مکانیک جامدات جلد اول: استاتیک، جلد دوم: مقاومت مصالح و نیز کتاب‌های سازه در معماری، درک رفتار سازه ها، سیستم‌های ساختمانی آینده (نگاهی به معماری فردا)، معمار + مهندس = ساختار، فناوری اطلاعات (IT) در مهندسی ساختمان و مدیریت پروژه، استاتیک کاربردی برای دانشجویان رشته‌های معماری و مهندسی عمران و بیش از ده‌ها متن درسی دانشگاهی اشاره نمود. کتاب معمار + مهندس = ساختار به عنوان کتاب برگزیده دانشگاهی در سال ۱۳۸۴ انتخاب و معرفی گردید. وی بالغ بر ۵۰ مقاله به زبان‌های انگلیسی و فارسی در نشریات و کنفرانس‌های ملی و بین‌المللی ارائه نموده است.

http://telegram.me/uadesigngroup





University of Tehran
Press
2502

UNDERSTANDING STRUCTURES

telegram.me/uadesigngroup

Fuller Moore

Translated by:
Dr. M. Golabchi

ISBN: 964 - 03 - 4370 - 6
بها: ۴۰۰۰۰ ریال

UA DESIGN GROUP
Urban Planning | Architect | Graphic

FREE ACCESS & DOWNLOAD OF

BOOKS, ARTICLES, JOURNALS & SCIENTIFIC & RESEARCH PROFESSIONAL WORKS

گروه تخصصی شهرسازی، معماری و گرافیک

دسترسی و دانلود رایگان کتب، مقالات، نشریات و آثار علمی پژوهشی تخصصی

SCAN IT BY QR READER

JOIN US IN TELEGRAM
HTTP://TELEGRAM.ME/UADESIGNGROUP