مدرسان شریف

فصل اول

«ساختمان‌های فولادی»

مقدمه

در این فصل به مبانی سازه‌های فولادی و انواع سیستم‌های ساختمانی فولادی و همچنین بناهای مهم و شاهکارهای معماری شاخص در این زمینه می‌پردازیم. سیستم‌های ساختمانی فولادی به طور عمده به دو روش نورد گرم و نورد سرد ساخته می‌شوند که در این فصل سازه‌های فولادی با نورد گرم مدنظر است.

درسنامه (۱): قوانین حاکم بر طراحی سازه‌های فولادی

آیین‌نامه‌های ساختمانی، تغییر شکل در اعضای سازه‌ای را تا حدی مجاز می‌دانند که صدمه‌ای به عناصر غیرسازه‌ای و عملکرد ساختمان وارد نشود. از این رو در آیین‌نامه‌ها محدودیت‌هایی برای تغییر شکل‌های ناشی از بار مرده و زنده در نظر گرفته شده است. براساس ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران با موضوع «طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی»، تیرها و شاه‌تیرهایی که سقف‌های نازک‌کاری‌شده را تحمل می‌کنند، باید طوری محاسبه شوند که تغییر مکان حداکثر نظیر بار مرده و زنده $\frac{۱}{۲۴۰}$ طول دهانه و تغییر مکان حداکثر نظیر بار زنده $\frac{۱}{۳۶۰}$ طول دهانه بیشتر نشود. این مقدار به‌طور خلاصه در جدول زیر ارائه شده است:

تغییر شکل‌های خمشی مجاز برای سقف‌ها براساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

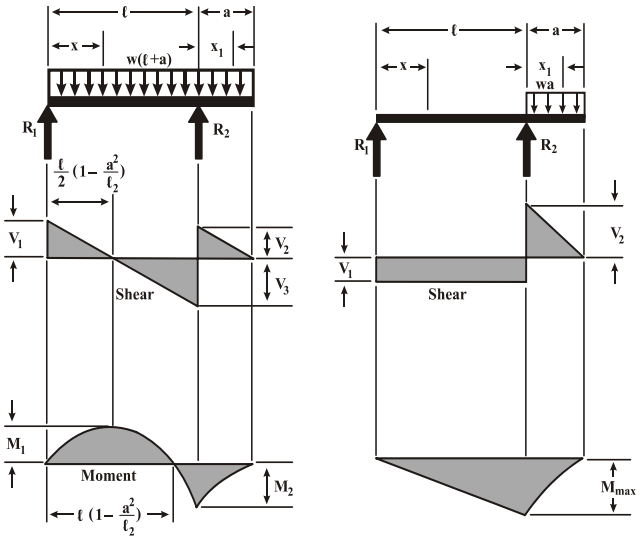
نوع عضو	تغییر شکل خمشی مجاز ناشی از بار زنده	تغییر شکل خمشی مجاز ناشی از بار زنده و مرده
سقف یا کف	L / ۳۶۰	L / ۲۴۰

K ضریبی است که در بار مرده ساختمان ضرب می‌شود تا تأثیر تغییرات آن در محاسبات، «تغییر شکل ثابت و طولانی‌مدت» در نظر گرفته شود. مقدار آن برای مصالح گوناگون، متفاوت و برای فولاد صفر است؛ بنابراین تغییر شکل خمشی مجاز تنها تابعی از بار زنده است و مقدار آن $\frac{L}{۳۶۰}$ ($\frac{۱}{۳۶۰}$ دهانه) است. البته این بدان معنی نیست که بارهای مرده موجب تغییر شکل نمی‌شوند. در بعضی موارد تغییر شکل ناشی از بار مرده طی روند ساخت جبران می‌شود؛ برای مثال نازک‌کاری سقف که بعد از اجرای قاب‌بندی افقی انجام می‌شود، سطح تراز ایجاد می‌کند و هر تغییر شکل ناگهانی از بار مرده که در قاب‌بندی وجود دارد، با نازک‌کاری پوشیده می‌شود.

حالت‌های بارگذاری

معمولاً این تصور نادرست وجود دارد که اگر حداکثر مقدار بارهای مرده و زنده در تمامی دهانه‌ها در محاسبات در نظر گرفته شود، اعضا برای بحرانی‌ترین حالت طراحی خواهند شد اما در مواردی مثل برداشتن بار از روی قسمت طره‌ای یک تیر ساده طره‌دار، مقدار گشتاور و تغییر شکل بین تکیه‌گاه‌ها افزایش خواهد یافت. همچنین برداشتن بار بین تکیه‌گاه‌ها هرچند در گشتاور ماکزیمم قسمت طره‌ای تغییری ایجاد نمی‌کند، اما میزان تغییر شکل آن را افزایش می‌دهد.

برای طراحی سازه، همه حالت‌های مختلف بارگذاری را که موجب افزایش گشتاور خمشی، برش و تغییر شکل می‌شود باید در نظر گرفت. این ترکیبات بارگذاری برای طراحی سازه‌ها توسط مقررات ملی ساختمان (یا آیین‌نامه‌های محاسباتی سازه‌ها) تعیین می‌شود.



تأثیر و مقدار محل قرارگیری بارها بر روی یک سیستم طره

نمونه‌های موردی

پل میلاو

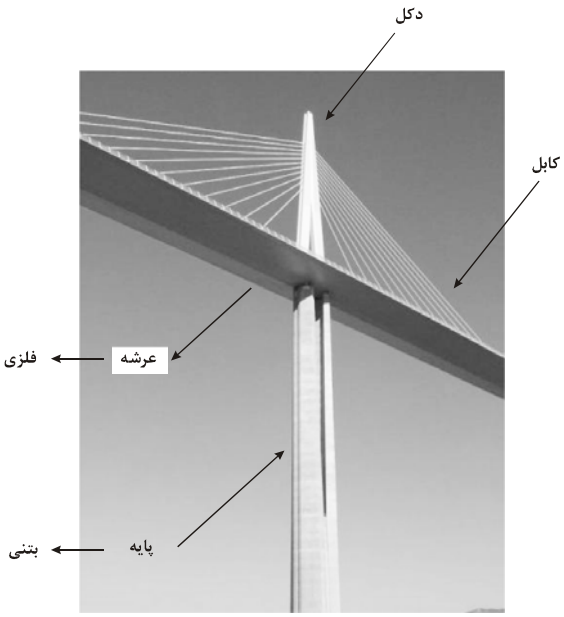
ویژگی‌ها:

سیستم سازه‌ای کابلی و معلق است. پایه‌ها دارای تکیه‌گاه انتهایی است. عرشه، فلزی و دارای شکل آیرودینامیکی است.

ـ دکل‌ها: ۷ دکل عرشه را تحمل می‌کنند که مقاومت خوبی در برابر بار تند باد دارند. هر دکل ۸۷ متر ارتفاع و ۷۰۰ تن وزن دارد. در بین دکل‌ها ۱۷ کابل فلزی به‌صورت کشیده اجرا شده است که عرشه پل را تحمل می‌کند.

ـ کابل‌ها: ۱۷جفت کابل از هر دکل که طول هریک از کابل‌ها ۵۵ تا ۹۱ متر است. کابل‌ها به‌صورت رشته‌هایی هستند که هریک از ۷ رشته فولادی تشکیل شده‌اند. هر رشته محافظ سه‌گانه‌ای در برابر خوردگی دارد؛ بدین معنی که گالوانیزه شده و پوششی از موم نفتی و غلافی از پلی اتیلن دارد. پوشش بیرونی کابل‌ها در طول خود با نوار پوشیده شده تا از ورود آب جلوگیری کند که در بادهای با سرعت زیاد موجب ارتعاش کابل‌ها و به خطر افتادن استحکام پل می‌شود.

ـ سطح پل: برای احتراز از بروز ترک در اثر تغییر شکل عرشه فلزی در نتیجه عبور و مرور وسایل نقلیه، لایه‌ای از قیر طبیعی اصلاح‌شده اجرا شده است. این اجرا به‌دلیل استفاده از قالب لغزنده است.

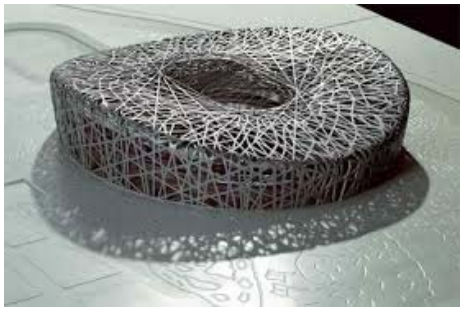


استادیوم شهر پکن

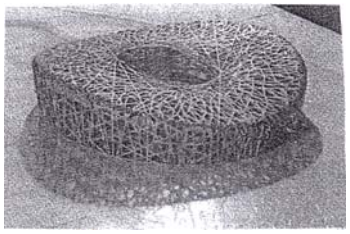
ویژگی‌ها:

۱ـ آشیانه پرنده ۲ـ فلزی ۳ـ الهام از طبیعت و جام سفالی ۴ـ اتصالات جوشی

۵ـ سقف مجموعه به روش پل معلق اجرا شده و جدا از سازه اصلی برای پایداری بیشتر در برابر زلزله و باد طراحی شده است. ۶ـ پوشش اتیل در بازتاب امواج صوتی مانند کوه عمل می‌کند.



مثال۱: کدام عبارت در مورد ساختمان زیر (استادیوم ملی شهر پکن) صحیح است؟ (هنرهای ساخت و معماری ـ سراسری ۸۸)



۱) سازه پروژه متشکل از مقاطع آلومینیومی پرشده از بتن می‌باشد.

۲) سازه فولادی پروژه از مقاطع فولادی تشکیل می‌شود که اتصالات آن به وسیله جوشکاری اجرا شده است.

۳) سازه بتن‌آرمه پروژه به‌نحوی طراحی و با بتن‌ریزی در محل اجرا شده است که معماری بیرونی آن شبیه آشیانه پرنده باشد.

۴) سازه پروژه که از نوع سازه فضاکار پیش‌ساخته (Space Frame) می‌باشد، به‌نحوی طراحی شده است که عملیات اجرایی در محل پروژه به حداقل برسد.

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» در تصاویر آورده‌شده، استادیوم ملی شهر پکن از نماهای دیگر نشان داده شده است. استادیوم اصلی المپیک چین در مجاورت استخر سرپوشیده مسابقات (مکعب آبی) در محوطه مجموعه المپیک ۲۰۰۸ قرار دارد. عناصر در هم فرورفته و پیچیده فولادی به گونه‌ای طراحی شده‌اند که توجه هر شخص را برمی‌انگیزد. این استادیوم ترکیبی از معماری سنتی و مدرن است. هندسه این سازه نوین به وسیله قوی‌ترین کامپیوترها و با استفاده از آخرین نرم‌افزارهای محاسباتی تحلیل شده است.

تیم طراحی، سقف مجموعه را که به روش پل معلق اجرا شده است، جدا از سازه اصلی طراحی کرد تا پایداری بیشتر در مقابل زلزله‌هایی با شدت زیاد تأمین شود. سقف مجموعه به تنهایی ۳۳۰ متر طول، ۲۲۰ متر عرض و ۴۵ هزارتن وزن دارد و از فولاد St_{37} و St_{57} ساخته شده است. اجزای این سقف در بازتاب امواج صوتی مانند کوه‌ها عمل می‌کنند.

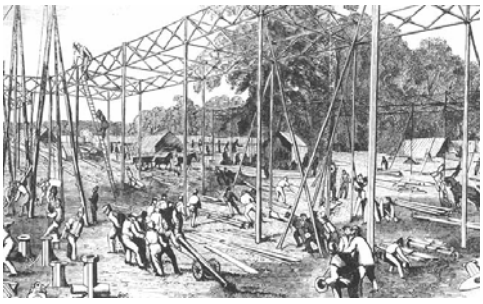
قصر بلورین

ـ شبکه‌های فولادی به ابعاد ۷/۲ و ترکیب قطعات شیشه‌ای است که در قاب‌های چوبی نگه داشته می‌شوند.

ـ آب‌روهای شیاردار صاف بر روی ستون‌ها و خرپاهای اصلی از جنس چوب ساخته شده و ستون‌های استوانه‌ای توخالی و سبک نقش ناودان را در انتقال باران انجام می‌دهند. تهویه ساختمان نیز از زیر سطح آن انجام می‌گیرد.

ـ کاربری نمایشگاه دارد و اولین کاربرد موفقیت‌آمیز آهن در ساختمان‌ها را نشان می‌دهد.

کریستال پالاس سرانجام در سال ۱۹۳۶ در آتش سوخت و تخریب شد.



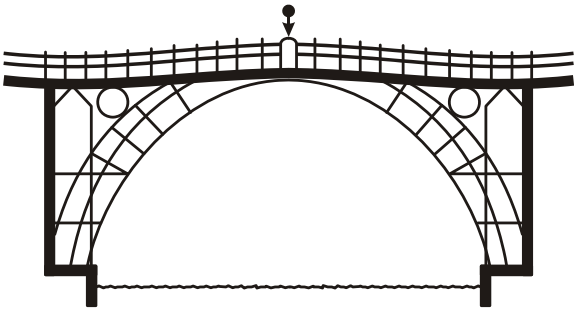
پل آهنی کولبروک

ـ اولین پل قوسی بزرگ در جهان

ـ تمام آهن

ـ بسیار گران‌قیمت

ـ مقدمه‌ای برای کریستال پالاس است.



برج ایفل

ـ قوس‌های نمادین برای اتصال پایه‌ها

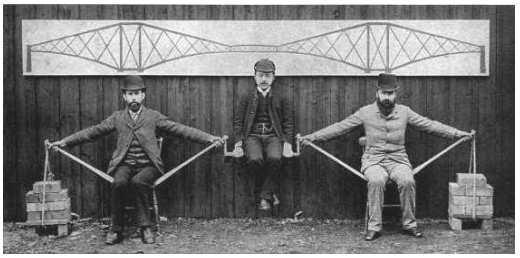
ـ یک فرم حبابی در بالای برج است.

ـ سالن‌ها با دیوارهای شیشه‌ای ساخته شده‌اند.

پل راه‌آهن فورث

۱ـ فولادی ۲ـ تکیه‌گاه ماهیچه‌دار ۳ـ طره‌ای

دهانه سبک میانی



درسنامه (۲): انواع آسمان‌خراش‌ها و نمونه‌های موردی آن‌ها

آسمان‌خراش‌های شیشه‌ای

ساختمان سیگرام

ـ موضوع بسیار مهم در مورد این پروژه، نشئت‌گرفتن قدرت طرح از سادگی آن است.

ـ دارای شیشه‌های برنزی‌رنگ و چهارچوب‌های برنزی است.

ـ مصالح داخل و خارج یکسان هستند.

ـ ستون‌ها از معماری کلاسیک یونان الهام گرفته شده‌اند.

کارخانه اینموس

ـ فولادی و بدون ستون در وسط

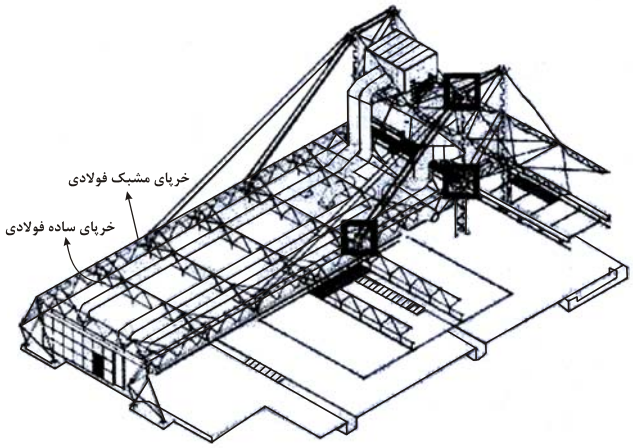
ـ انعطاف‌پذیر

ـ یک‌طبقه

ـ مهارشده با کابل

ـ کاربرد سازه کابلی و خرپای فولادی برای پوشش سقف

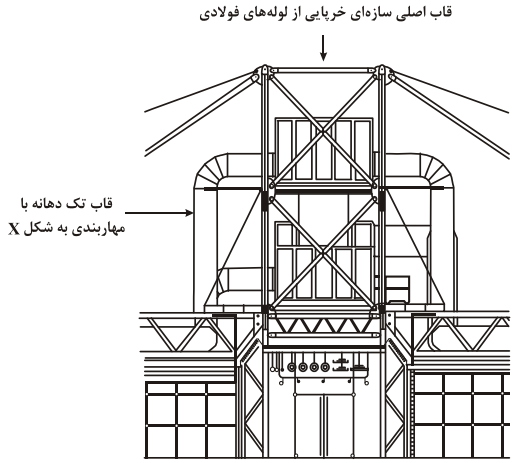
ـ سبک معماری های‌تک



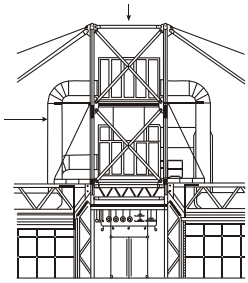
در کارخانه اینموس سازه اصلی از اعضای فولادی پیش‌ساخته تشکیل شده است که امکان ساخت سریع را میسر می‌سازد. ساختمان می‌تواند با استفاده از مدول‌های مشابه بسط یابد، بدون اینکه در کار تولید کارخانه خللی ایجاد کند. قاب اصلی ساختمان سازه‌ای خرپایی است که از لوله‌های فولادی تشکیل شده است. دهانه‌ای به طول ۲۶ متر متشکل از خرپای مشبک فولادی که توسط عناصر کششی از بالای برج‌های ستون فقرات اصلی (که به شکل ستون یک قاب تک‌دهانه با مهاربندی به شکل X است) نگه داشته می‌شود. خرپاهای ساده فولادی به طول ۱۳ متر بین خرپای اصلی و تکیه‌گاه‌های فولادی قرار گرفته‌اند و دهانه‌های ایجادشده به طول ۶ متر با پوششی متشکل از غشای پنج‌لایه که هم عایق و هم ضدآب است، پوشانده می‌شود. انتخاب سازه کششی مزایایی از جمله امکان استفاده از اتصالات مفصلی در انتقال نیروها را به همراه داشت. عناصر سازه‌ای خارج از محل ساخته شدند و نیاز به جوشکاری در محل اجرای ساختمان نبود. دیوارهای خارجی در طول ساختمان متشکل از پانل‌های چندلایه استاندارد و نگهدارنده‌های عمودی است. دیوارهای دو طرف واقع در عرض ساختمان با تعدادی پانل پرکننده که دارای قابلیت جابه‌جایی هستند و امکان توسعه در آینده را فراهم می‌کنند، پوشانده شده‌اند. این ساختمان به وضوح نشان‌دهنده ترکیب معماری و سازه بدون هیچ‌گونه تظاهر غیرواقعی است و هم در نظر استفاده‌کنندگان و هم بازدیدکنندگان از جذابیت بصری بسیار زیادی برخوردار است.

طرح کلی اینموس (به‌عنوان یک کارخانه مدل و الگو) برای ساخت در سایت‌های متنوع، طرحی مناسب است. در شرایطی که فضاهای دربرگیرنده دفاتر محل کارکنان و دیگر سرویس‌ها با فضاهای تولید در زیر یک سقف قرار می‌گیرند، تولید ریزتراشه‌های الکترونیکی در شرایط کاملاً کنترل‌شده‌ای صورت می‌گیرد، بدون آنکه نیاز به ساختمان‌های متعدد و متنوع باشد. کارخانه اینموس، جایزه طراحی سازه‌های فولادی در سال ۱۹۸۲ را به خود اختصاص داد.

اجرای کارخانه اینموس با سازه فولادی نمایان و کاربرد سازه کابلی و خرپای فولادی برای پوشش سقف این کارخانه، نشان‌دهنده استفاده گسترده معماری های‌تک از فولاد و عناصر فولادی برای تحقق اصول و آرمان‌های این سبک معماری بود و کاربرد روزافزون فولاد در طرح‌های معماری و پروژه‌های ساختمانی مشابه را به همراه داشت.



مثال ۲: شکل زیر نشان‌دهنده ..... (هنرهای ساخت و معماری ـ سراسری ۹۰)



۱) یک سازه قابل باز و بسته شدن (متحرک) است.

۲) یک قاب تک‌دهانه با مهاربندی به شکل X می‌باشد.

۳) یک قاب لوله‌ای (Tube System) فولادی است.

۴) یک قاب تک‌دهانه برای تحمل وزن سیستم تأسیسات مرکزی ساختمان است.

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» در کارخانه اینموس، دهانه‌ای به طول ۳۶ متر متشکل از خرپای مشبک فولادی که توسط عناصر کششی از بالای برج‌های ستون فقرات اصلی (که به شکل ستون یک قاب تک‌دهانه با مهاربندی به شکل X است) نگه داشته می‌شود. خرپاهای ساده فولادی بین خرپای اصلی و تکیه‌گاه‌های فولادی قرار گرفته‌اند و دهانه‌های ایجادشده با پوششی متشکل از یک غشای پنج‌لایه که هم عایق و هم ضدآب است، پوشانده می‌شود.

دفتر مرکزی بانک هنگ‌کنگ

ـ فضای باز و انعطاف‌پذیر

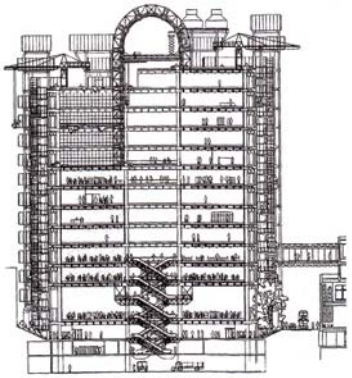
ـ سازه فلزی با روش صنعتی ساخته شده است.

ـ ویژگی منحصربه‌فرد محل و تراکم بسیار بالای مناطق شهری اطراف ساختمان، مهم‌ترین عامل در تعیین روش‌های مناسب برای ساخت و سازماندهی امور اجرایی پروژه در سایت بوده است.

ـ به‌عنوان یکی از بهترین آثار معماری های‌تک به شمار می‌رود.

ساختمان لویدز لندن (شرکت بیمه)

۱ـ ایجاد ارتباط بین بیرون و درون با استفاده از فضای باز میانی بلندی از شیشه و فلز که ساختمان را غرق در نور طبیعی می‌کند، از مهم‌ترین ویژگی‌های این ساختمان است. ۲ـ دارای سبک های‌تک است. ۳ـ این ساختمان بیان‌کننده نقش فراگیر فولاد می‌باشد.



آسمان‌خراش‌های فولادی

برج میلینیوم

لوله‌های مارپیچی مخروطی با هسته مرکزی

ـ آسمان‌خراش فولادی
ـ مقاوم در برابر باد و زلزله
ـ سیستم سازه‌ای از نوع لوله مخروطی فولادی مهاربندی‌شده به‌صورت مارپیچی در دو جهت با هسته‌های مرکزی است.

برج دبی (خلیفه)

ـ یک مجتمع چندمنظوره، متشکل از بخش‌های تجاری، مسکونی، تفریحی، هتل، مرکز خرید، جلوه‌های آبی، یک بازارچه و یک شهر قدیمی توریستی است.
ـ الهام‌گرفته از هندسه گل صحرایی
ـ پلان Y شکل طبقات این برج، دید و منظر بسیار زیبایی بر خلیج فارس دارد.
ـ این برج از سه جزء تشکیل شده است که پیرامون یک هسته مرکزی بتنی قرار دارد.

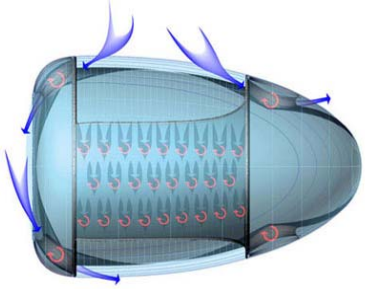
برج آزادی

ـ نماد نیویورک
ـ این برج طرح مارپیچی پلان اصلی را در حالی به اوج می‌رساند که حرکتی پویا را در گشتاور پیچشی منحصربه‌فرد شکل خود حفظ می‌کند.
ـ با باریک‌تر شدن برج در بالا اثر باد کاهش می‌یابد.

مرکز فرهنگی و گالری هنری پل کلی

۱ـ ایده طرح فراز و نشیب زندگی یک مجسمه‌ساز است. ۲ـ از طبیعت الهام گرفته شده است. ۳ـ ارزش کلی بیش از یک ساختمان معمولی است و این مرکز باید به آثار «شاعر سکون» تعلق داشته باشد. ۴ـ حس سکوت و سکون دارد. ۵ـ سه تپه ساخته‌شده از فولاد و شیشه به سه ساختمان تقسیم شده است که با عملکردهای مختلف شناخته می‌شود. ۶ـ هندسه ساختمان براساس یک سطح منحنی سه‌بعدی بر پایه قطاع‌هایی از دایره در هر دو نمای ساختمان شکل گرفته است.
۷ـ جان تیرها با یک تسمه فلزی به هم متصل است. ۸ـ دنده‌های فلزی در انتها به یک جعبه فلزی که با خاک پر شده‌اند، متصل می‌شوند. ۹ـ مشکل اصلی ساختمان در واقع رسیدن به یک نمای بدیع و هماهنگ با طبیعت بوده که قادر به حفظ آثار این هنرمند سوئیسی باشد.

برج تکنولوژی پاک



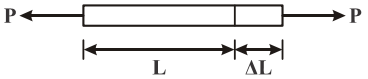
۱ـ با بهره‌گیری از نیروهای طبیعی اطراف ساختمان طراحی شده است. ۲ـ توربین باد متراکم در بالا برای جذب انرژی تعبیه شده است. ۳ـ در محفظه دو پوسته گنبدی سقف، جریان سریع هوا جذب شده و به فضاهای داخلی اجازه می‌دهد که با استفاده از فشارهای منفی ایجادشده تهویه شوند. ۴ـ سلول‌های فتوولتائیک که بر گنبد سایه می‌اندازند، باعث ورود نور و هوای تازه به ساختمان می‌شوند. ۵ـ نماد معماری پایدار است.

درسنامه (۳): فولاد

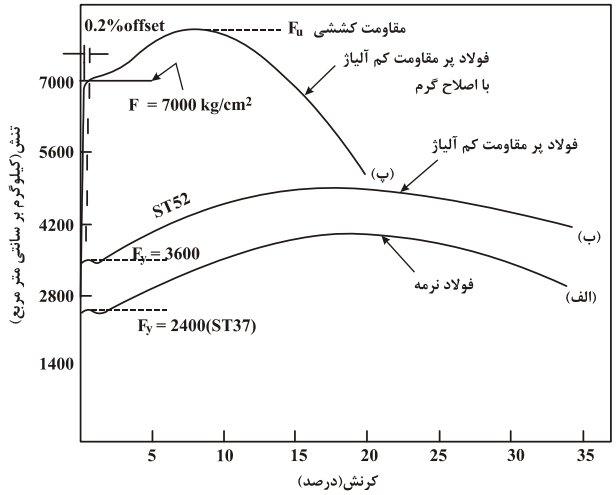
ویژگی‌های فولاد ساختمانی

مقاومت **زیاد** و شکل‌پذیری و **یکسان بودن مقاومت آن در کشش و فشار** از جمله ویژگی‌های فولاد است که آن را به یکی از مصالح خوب برای ساختمان‌سازی تبدیل می‌کند. مقاومت فولاد با در نظر گرفتن نقطه جاری‌شدن و تنش متناظر با آن تعیین می‌شود. پس از این نقطه (حد جاری‌شدن) با تغییر جزئی مقدار بار، تغییر شکل فولاد به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. این فرایند را می‌توان هنگام خم‌کردن یک سیم فولادی با دست مشاهده کرد. در این حالت خاصیت کشسانی (الاستیک) فولاد از بین رفته و با حذف نیرو، تغییر شکل سیم همچنان باقی می‌ماند. در این حالت سیم شکسته نمی‌شود و خاصیت کشسانی خود را از دست نمی‌دهد. از نظر تئوری می‌توان سیم فولادی را راست کرد و به حالت اول برگرداند. اگر فولاد تحت خمش‌های پی‌درپی قرار گیرد، گرم می‌شود. این فرایند موجب تغییر برخی ویژگی‌ها، از جمله شکل‌پذیری در فولاد شده و در نهایت موجب شکسته شدن آن می‌شود. مشابه این فرایند را می‌توان با پیچاندن یک لیوان پلاستیکی که ضخامت کمی دارد، مشاهده کرد. با این عمل، حالت نیمه‌شفاف پلاستیک به رنگ سفید شیری تغییر خواهد کرد.

تنش تسلیم یا جاری شدن که با F_y نمایش داده می‌شود، عامل اصلی تمایز فولادها در روابط محاسباتی می‌باشد. در نمودار زیر، نمودار **تنش ـ کرنش** سه نوع فولاد کربن‌دار نرمه، فولاد پرمقاومت کم‌آلیاژ و فولاد آب‌دیده بازپخت شده، نشان داده شده است.



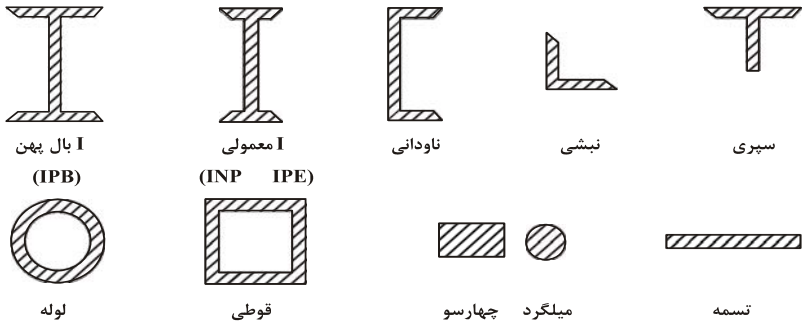
تنش: $F=\frac{P}{A}$ ، کرنش: $\frac{\Delta L}{L}$ ، تنش جاری‌شدن: F_y ، تنش نهایی: F_u



نمودار تنش ـ کرنش انواع مختلف فولاد

فولاد کربن‌دار به فولادی گفته می‌شود که علاوه بر آهن، حداکثر درصد کربن و آلیاژهای مختلف آن بدین قرار باشد:
الف) کربن ۱/۷ درصد ب) منگنز ۱/۶۵ درصد ج) سیلیکون ۰/۶ درصد د) مس ۰/۶ درصد.
عامل اصلی افزایش مقاومت فولاد نسبت به آهن خالص **کربن** و **منگنز** است. انواع فولاد نسبت به میزان کربن موجود از آهن خالص با (صفر درصد کربن) تا چدن (با ۱/۷ درصد کربن) رده‌بندی می‌شوند، که خود این فولادها را می‌توان در چهار دسته کلی زیر قرار داد:
۱) کم‌کربن (کربن کمتر از ۰/۱۵ درصد)، ۲) کربن ملایم (۰/۱۵ تا ۰/۲۹ درصد)، ۳) کربن متوسط (۰/۶ تا ۰/۶ درصد)، ۴) پرکربن (۰/۶ تا ۱/۷ درصد).

آلیاژهای فولاد یک لایه درونی ضدزنگ ایجاد می‌کند که ثابت است و مانع از پیشرفت زنگ‌زدگی می‌شود.



اشکال مختلف نیم‌رخ‌های فولادی

مدرسان شریف

فصل دوم

«ساختمان‌های بتنی»

در این فصل به مفاهیم بنیادی بتن و تکنولوژی بتن و سپس به سیستم‌های ساختمانی بتنی می‌پردازیم و بناها و شاهکارهای معماری شاخص را بررسی می‌کنیم.

درسنامه (۱): بتن

بتن، خواص بتن، تکنولوژی بتن و اجزای آن

بتن: بتن را می‌توان نوعی سنگ مصنوعی دانست که در ساخت آن، مواد اولیه (سیمان، آب، مواد سنگی) با نسبت‌های تعیین‌شده‌ای با هم ترکیب شده و در شرایط خاص به عمل آمده و نگهداری می‌شود.

بتن‌آرمه: بتن‌آرمه ترکیبی از بتن و عناصر مقاوم در برابر کشش است که به طور معمول فولاد با مقاطع دایره‌ای‌شکل در جای این عناصر کششی قرار می‌گیرد.

مواد متشکله بتن: بتن از سه جزء اساسی تشکیل شده است: **سیمان، آب** و **مواد سنگی**.

مواد سنگی شامل درشت‌دانه‌ها و ریزدانه‌ها به‌صورت شن و ماسه طبیعی یا مصنوعی (حاصل از شکستن سنگ) می‌باشد. علاوه بر این، می‌توان با استفاده از «مواد افزودنی» کیفیت بتن را در شرایط خاص بهبود بخشید.

سیمان: متداول‌ترین نوع سیمان، «سیمان پرتلند» است که یکی از مصالح چسباننده با مشارکت مولکول آب می‌باشد و به همین دلیل یکی از انواع سیمان‌های هیدرولیکی محسوب می‌شود. این نوع سیمان مانند سایر سیمان‌های آبی، هم در هوا و هم در زیر آب و جایی‌که هوا نباشد، سخت می‌شود. سیمان پرتلند فرآورده‌ای است که از اختلاط سنگ آهک خردشده و خاک رس به نسبت وزنی ۳ به ۱ به‌دست می‌آید. با آسیاب کردن مخلوط به روش‌های تر یا خشک، پختن مواد در کوره تا مرز عرق‌کردنِ سطح دانه‌ها و چسبیدن آن‌ها به یکدیگر، کلینکر سیمان به‌وجود می‌آید. پس از سردکردن و آسیاب‌کردن کلینکر با کمی سنگ گچ، سیمانی متشکل از تری کلسیم سیلیکات C_3S، دی کلسیم سیلیکات C_2S، تری کلسیم آلومینات C_3A و تترا کلسیم آلومینوفریت C_4AF تولید می‌شود. به این ترتیب انواع سیمان‌های پرتلند شامل ترکیباتی چون آلومینات‌ها، سیلیکات‌ها و اکسیدهای آهن هستند که بنا به نسبتی که در ترکیب سیمان دارند، خواص متفاوتی به آن می‌بخشند.

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

$$CaO + SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 \rightarrow 2CaO, SiO_2$$
$$\rightarrow 3CaO, SiO_2$$
$$\rightarrow 3CaO, Al_2O_3$$
$$\rightarrow 4CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$$

سیمان پرتلند در ۵ نوع دسته‌بندی می‌شود که آن‌ها را با اعداد لاتین I تا V و حروفی که «مواد افزودنی» آن را نشان می‌دهد، نامگذاری می‌کنند؛ برای مثال سیمان IP شامل «پوزولان» و سیمان IA شامل «مواد حباب‌ساز» است. ویژگی‌های «سیمان پرتلند» باید با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۸۹ مطابقت داشته باشد.

سیمان نوع I: سیمان معمولی است که در مصارف عمومی ساختمانی نظیر ساخت اسکلت‌های بتن‌آرمه، پل‌ها، قطعات پیش‌ساخته بتن‌آرمه، جدول و پوشش کف خیابان‌ها، جاده‌ها و فرودگاه‌ها، ملات‌ها و اندودها و پی‌های ساختمان‌هایی که در معرض حمله سولفات‌ها نباشند، کاربرد دارد. در مجاورت دریاها و مناطق زراعتی که خاک‌ها و آب‌های زیرزمینی آلوده به اسیدها و ترکیبات سولفات‌ها هستند، عناصر ساختمانی و اندودهایی که با سیمان معمولی ساخته می‌شوند، کیفیت و مقاومت خود را از دست می‌دهند. در چنین مواقعی باید از انواع دیگر سیمان‌ها استفاده شود.

سیمان نوع II: سیمانی است که تا حدی در برابر سولفات‌ها مقاوم بوده و حرارت هیدراتاسیون کمتری تولید می‌کند و از سیمان نوع I کندگیرتر است؛ از این رو در بتن‌ریزی‌های حجیم کاربرد داشته و استفاده از آن در بتن‌ریزی و اندودکاری در هوای گرم توصیه می‌شود (سیمان IIA سیمانی مقاوم در برابر سولفات‌ها و دارای مواد حباب‌ساز است).

سیمان نوع III: سیمان زودگیری است که ظرف مدت ۷ روز مقاومت ۲۸ روزه سیمان معمولی را به دست می‌آورد؛ به این ترتیب وقتی لازم است تا قالب‌ها زودتر باز شده و بارگذاری انجام شود. استفاده از این نوع سیمان مقرون‌به‌صرفه خواهد بود؛ زیرا این نوع سیمان حرارت هیدراتاسیون زیادی تولید کرده و اثر دمای پایین را در بتن‌ریزی‌های در هوای سرد خنثی می‌کند.

سیمان نوع IV: سیمانی است که حرارت هیدراتاسیون کمتری تولید می‌کند؛ در نتیجه در بتن‌ریزی‌های حجیم، تنش حرارتی کمتری ایجاد خواهد کرد. در ساخت ساختمان‌های حجیم بتنی (مانند سدهای وزنی بتنی)، به‌علت حجم زیاد بتن، افزایش درجه حرارت ناشی از گرفتن بتن می‌تواند بسیار زیاد و خطرناک باشد. استفاده از سیمان نوع IV یا سیمان دیرگیر موجب می‌شود تا بتن آهسته‌تر مقاومت مورد نظر را به‌دست آورد و حرارت کمتری تولید کند.

سیمان نوع V یا سیمان ضدسولفات: خوردگی سیمان پرتلند توسط سولفات‌ها بر اثر وجود ترکیبات آلومینیوم در آن است؛ از این رو برای تهیه سیمان پرتلند ضدسولفات، از خاک رس استفاده نمی‌کنند. از آسیاب‌کردن سنگ آهک، سیلیس و اکسیدآهن، ماده اولیه تهیه شده و سپس آماده و مانند سیمان پرتلند معمولی پخته می‌شود. این نوع سیمان نسبت به سیمان نوع I حرارت هیدراتاسیون کمتری تولید کرده و دیرگیرتر است.

سیمان‌های پرتلند انواع دیگری نیز دارند که جزء اصلی آن‌ها کلینکر سیمان پرتلند بوده و دارای مقادیری از مواد مناسب مانند پوزولان‌های طبیعی، مصنوعی یا مواد افزودنی دیگر می‌باشند. این نوع سیمان‌ها با عنوان «سیمان‌های آمیخته» نیز شناخته می‌شوند.

سیمان پرتلند پوزولانی: سیمانی است که از مخلوط همگن سیمان پرتلند و پوزولان و سنگ‌گچ آسیاب‌شده به دست می‌آید. پوزولان‌ها مواد سیلیسی آلومینیومی هستند که به‌صورت ذرات ریز در مجاورت رطوبت آزادشده از هیدراتاسیون سیمان، ترکیباتی با خاصیت سیمانی تشکیل می‌دهند. هیدراتاسیون پوزولان‌ها، کندتر از سیمان و در نتیجه حرارت هیدراتاسیون آن‌ها کمتر است و در بتن‌ریزی‌های حجیم کاربرد دارد. مقاومت سیمان‌های پوزولانی در برابر املاح شیمیایی قابل توجه است. سیمان‌های پوزولانی باید با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۳۲ مطابقت داشته باشد.

سیمان پرتلند سرباره‌ای: این سیمان از آسیاب‌کردن ۱۵ تا ۹۵ درصد سرباره کوره آهن‌گدازی فعال و غیرکریستالی، کلینکر سیمان پرتلند و مقدار مناسبی سنگ‌گچ به‌دست می‌آید. مقاومت قابل ملاحظه‌ای در برابر سولفات‌ها و یون‌های کلر از خود نشان داده و نسبت به سیمان معمولی دیرگیرتر است و حرارت‌زایی کمتری دارد.

سیمان پرتلند سرباره‌ای، باید با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۷ مطابقت داشته باشد.

سیمان بنایی: این سیمان متشکل از سیمان پرتلند معمولی، پودرسنگ و مواد حباب‌ساز است. استفاده از این نوع سیمان در بتن و بتن‌آرمه مجاز نیست و فقط در ساخت ملات‌ها کاربرد دارد. سیمان بنایی باید با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۶ مطابقت داشته باشد.

سیمان سفید: سیمان پرتلند سفید همانند سیمان نوع I است، با این تفاوت که در تولید آن میزان ترکیبات آهن (تترا کلسیم آلومینوفریت) و منگنز به حداقل می‌رسد. رنگ تیره سیمان به‌دلیل وجود ترکیبات آهن است و به منظور کاهش مقدار آن در سیمان سفید از خاک چینی به جای خاک رس استفاده می‌شود. این نوع سیمان در نماسازی و بندکشی و کارهای تزئینی کاربرد دارد. سیمان سفید باید با استاندارد ملی ایران به شماره ۲۹۳۱ مطابقت داشته باشد.

سیمان رنگی: سیمان پرتلند رنگی از افزودن مواد رنگی معدنی بی‌اثر شیمیایی به سیمان پرتلند معمولی یا سفید به دست می‌آید. می‌توان با افزودن اکسید کروم، سیمان با رنگ سبز و با افزودن اکسید کبالت سیمان آبی‌رنگ به دست آورد. اکسید آهن نیز رنگ قرمز، زرد یا قهوه‌ای به سیمان می‌دهد. این نوع سیمان بیشتر جنبه تزئینی داشته و در طراحی‌های داخلی و بتن‌های نمایان استفاده می‌شود.

نوع دیگری از سیمان وجود دارد که جزء دسته سیمان‌های پرتلند محسوب نمی‌شود. مواد متشکله این نوع سیمان که **سیمان با آلومین بالا** خوانده می‌شود، سنگ آهک و سنگ معدن آلومینیوم است. بتنی که با این نوع سیمان ساخته می‌شود، بسیار زودگیر بوده و در مواردی ظرف مدت ۲۴ ساعت به مقاومت $۵۵\circ \frac{Kg}{Cm^۲}$ می‌رسد. این سیمان مقاومت بسیار زیادی در برابر حمله سولفات‌ها و اسیدهای رقیق از خود نشان می‌دهد.

سیمان در بین مواد تشکیل‌دهنده بتن نقش چسباننده، اتصال‌دهنده و یکپارچه‌کننده مواد سنگی را دارد و مقدار آن در بتن به‌صورت نسبت حجم یا وزن سیمان به‌کار رفته به حجم بتن سنجیده می‌شود. در کارگاه‌های بتن‌ریزی سیمان به‌صورت فله یا پاکتی خریداری می‌شود، ولی در هر دو صورت لازم است که از تماس آن با رطوبت و هوای مرطوب جلوگیری شود. سیمانی که دچار هوازدگی شود، به‌صورت کلوخه درمی‌آید که نشان از کاهش مقاومت آن دارد. بنابراین لازم است که سیمان‌های پاکتی را بازبینی و از کیفیت آن اطمینان حاصل کرد. سیمان فله‌ای که در سیلو نگهداری می‌شود، به دلیل عایق‌بودن در برابر نفوذ هوا و رطوبت به مراتب ضایعات کمتری دارد و می‌توان در حین بتن‌سازی حداکثر بهره‌برداری را از آن برد.

مواد سنگی: مقاومت و سختی بتن را سنگدانه‌ها تأمین می‌کنند. مصالح سنگی به‌کار رفته در ساخت بتن در دو دسته ریزدانه‌ها (ماسه) و درشت‌دانه‌ها (شن) طبقه‌بندی می‌شوند.

ریزدانه‌ها که از ماسه طبیعی یا سنگ شکسته به دست می‌آیند، باید حداقل اندازه‌ای بین ۰/۲ تا ۵ میلی‌متر داشته باشند. ذرات بسیار ریز همه فضاها را پر می‌کنند و مانع آن می‌شوند تا سیمان با ذرات درشت‌تر درگیر شود. ریزدانه‌ها با حجم معینی نسبت به درشت‌دانه‌ها مخلوط می‌شوند و در صورتی‌که بسیار ریز باشند، متراکم‌تر در کنار هم قرار خواهند گرفت و در نتیجه بخشی از فضای بین درشت‌دانه‌ها را پر کرده و بخش دیگری از فضاها را که خالی می‌ماند، سیمان پر می‌کند و موجب کاهش مقاومت بتن می‌شود.

حداکثر اندازه درشت‌دانه‌ها که از شن طبیعی یا سنگ شکسته به‌دست می‌آیند، به عواملی چون فاصله بین میلگردها در بتن مسلح یا کارایی بتن و ... بستگی دارد. به‌طور کلی مواد سنگی با قطر بین ۵ تا ۲۵ میلی‌متر در این دسته قرار می‌گیرند.

هنگام استفاده از شن در بتن باید مراقبت‌های لازم را انجام داد تا از ته‌نشین شدن آن در بتن جلوگیری شود. بنابر مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، حداکثر اندازه دانه‌های سنگی عبارت‌اند از:

۱ـ ۲ / ۰ کمترین فاصله بین لبه‌های قالب‌ها (کوچک‌ترین بُعد داخلی قالب بتن)
۲ـ ۳۳ / ۰ ضخامت دال‌ها
۳ـ ۷۵ / ۰ کمترین فاصله آزاد بین میلگردها
۴ـ ۷۵ / ۰ ضخامت پوشش روی میلگردها
۵ـ ۳۸ / ۰ در بتن‌آرمه
۶ـ ۶۳ / ۰ در بتن غیرمسلح

اندازه و شکل سنگدانه‌ها بر کارایی بتن مؤثر است.

نسبتی که بیشترین حجم دانه‌های سنگی با دانه‌بندی پیوسته و کمترین مقدار سیمان را دارد و مقاوم‌ترین بتن را ایجاد می‌کند، **طرح اختلاط** نامیده می‌شود. برای به‌دست آوردن بتن با بیشترین مقاومت به حجمی از سنگدانه‌ها نیاز است که از کمترین اندازه مناسب تا بیشترین را شامل شود. به این ترتیب، فضاهای خالی بزرگی که فقط با سیمان پر می‌شود، باقی نخواهد ماند. گاهی مخلوطی از سنگدانه‌هایی که دانه‌بندی کاملی ندارند، در برخی مصارف ساختمانی استفاده می‌شود که در به‌کارگیری آن‌ها باید دقت لازم را به کار برد. ویژگی دانه‌بندی مناسب مواد سنگی در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ذکر شده است. روش آزمون دانه‌بندی سنگدانه‌های ریز و درشت با الک، باید با استاندارد ملی ایران به شماره ۴۹۷۷ مطابقت داشته باشد.

شن و ماسه به‌کار رفته در بتن بنا به ویژگی‌هایی که از آن انتظار می‌رود، می‌تواند به‌صورت رودخانه‌ای یا شکسته باشد. سنگدانه‌های رودخانه‌ای گوشه‌های قالب و اطراف میلگردها را راحت‌تر پر می‌کند و از روانی و کارایی بیشتری برخوردار است. استفاده از این نوع سنگدانه در شرایطی که تراکم میلگردها در قالب زیاد است، بهتر خواهد بود. سنگدانه‌های شکسته اگرچه این کارایی را ندارند اما به دلیل اصطکاک بین دانه‌ها مقاومت بتن را افزایش می‌دهند و علاوه بر این، به دلیل آنکه در کارخانه امکان تعیین جنس، مقاومت و سختی سنگی که از آن شن و ماسه شکسته تهیه می‌شود وجود دارد، می‌توان کنترل بیشتری در تهیه بتن با این نوع سنگدانه داشت.

سنگدانه به‌کار رفته در بتن باید عاری از خاک رس، لای، ذرات نباتی، املاح و نمک‌ها و به‌ویژه سنگ‌گچ باشد. گچ، سنگی است که در معرض هوای گرم به شدت منبسط شده و موجب ترک‌خوردگی و به‌وجود آمدن فضاهای خالی در بتن می‌شود. بسیاری از این مواد را می‌توان با شستن شن و ماسه قبل از بتن‌ریزی جدا کرد.

چگالی و وزن بتن را نوع مواد سنگی معین می‌کند. چگالی توپر ماسه به‌کار رفته در بتن حدود ۳۰ ~ ۲۷ کیلونیوتن بر مترمکعب و چگالی توده شن ۱۷ ~ ۱۵ کیلونیوتن بر مترمکعب است. برای تهیه بتن با وزن کمتر از افزودن الیاف پلی‌استر، اسفنج معدنی یا خاک رس منبسط‌شده به مخلوط سنگدانه‌ها بهره می‌گیرند. سنگدانه‌های سبک می‌توانند هم در بتن سازه‌ای و هم در بتن غیرسازه‌ای استفاده شوند. می‌توان در بتن سازه‌ای برای دستیابی به مقاومت مورد نیاز، بخشی از سنگدانه سبک را با ماسه طبیعی جایگزین کرد. مشخصات سنگدانه‌های سبک مصرفی در بتن سازه‌ای باید بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۴۹۸۵ باشد.

آب: آب به منظور انجام عمل هیدراتاسیون سیمان و تأمین کارایی و روانی و شکل‌پذیری بتن به‌کار می‌رود. در حقیقت سخت‌شدن بتن ناشی از هیدراتاسیون سیلیکات‌های سیمان در شرایطی است که دوغاب سیمان و آب به‌طور کامل سنگدانه‌ها را دورگیری کرده‌اند. در صورتی‌که آب بتن یخ بزند یا به دلیل گرمای هوا تبخیر شود، عمل هیدراتاسیون سیمان مختل شده و بتن به مقاومت موردنظر نمی‌رسد.

آب مصرفی در بتن باید فاقد هرگونه مواد آلی و معدنی باشد. بنابر ضوابط، حداکثر مواد معلق مجاز در آب به‌کار رفته در بتن p.p.m ۳۵۰۰۰ است؛ بنابراین آب آشامیدنی با حداکثر مواد معلق مجاز p.p.m ۲۰۰۰ برای استفاده در بتن قابل قبول و آب دریاها و دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها با حداکثر مواد معلق مجاز p.p.m ۲۰۰۰۰ غیرقابل قبول است. آب خلیج‌فارس با مواد معلقی در حدود p.p.m ۷۰۰۰۰–۳۵۰۰۰ جزء سنگین‌ترین آب‌های طبیعی محسوب شده و کاربرد آن در بتن کاملاً غیرمجاز است. آب چاه‌ها و رودخانه‌ها در صورتی‌که در شرایط طغیان و گل‌آلود نباشند، می‌توانند پس از انجام آزمایش‌های لازم برای استفاده در بتن به‌کار روند. چنانچه کاهش مقاومت نمونه بتنی که با این آب‌ها ساخته شده کمتر از ۵ درصد مقاومت نمونه بتنی باشد که با آب خالص ساخته شده است و خوردگی قابل ملاحظه‌ای در آن دیده نشود، می‌توان از این آب‌ها در ساخت بتن استفاده کرد.

نسبت آب به سیمان روی مقاومت بتن تأثیر عکس داشته و اغلب هرچه این نسبت کوچک‌تر باشد، مقاومت بتن بیشتر است. بتنی با مصرف آب ۲۰۰ لیتر در مترمکعب، مقاومت معمولی دارد.

حداکثر نسبت آب به سیمان

مقاومت فشاری	نسبت آب به سیمان در بتن بدون مواد حباب‌ساز	نسبت آب به سیمان در بتن با مواد حباب‌ساز
$۱۷\frac{N}{mm^۲}$	۰ / ۶۷	۰ / ۵۴
$۲۰\frac{N}{mm^۲}$	۰ / ۵۸	۰ / ۴۶
$۲۴\frac{N}{mm^۲}$	۰ / ۵۱	۰ / ۴۰
$۲۸\frac{N}{mm^۲}$	۰ / ۴۴	۰ / ۳۵
$۳۲\frac{N}{mm^۲}$	۰ / ۳۸	.....

مواد اضافی در بتن

مواد افزودنی در بتن بیشتر موادی هستند که برای بهبود کارایی بتن و تسریع گیرش آن و کاهش مصرف آب به بتن افزوده می‌شوند. برای استفاده از مواد افزودنی باید به خاصیت این مواد و اثرات درازمدت آن در بتن توجه داشت. این مواد عبارت‌اند از:

الف) مواد حباب‌ساز: این مواد با ایجاد حباب هوا در بتن از یخ‌زدگی جلوگیری می‌کنند و موجب بهبود کارایی بتن و کاهش نسبت آب به سیمان و افزایش دوام و مقاومت بتن خواهند شد. این مواد منافذ بسیار کوچکی را در بتن ایجاد می‌کنند که سبب کاهش نفوذپذیری آن می‌شود. نسبت مقدار مصرف این ماده ۰/۲۵ مقدار سیمان برای بتنی است که باید سطح آن از ضدیخ باشد. ۰/۳۵ تا ۰/۷۵ حجم بتن را می‌تواند حباب هوا تشکیل دهد و این مقدار به عواملی از جمله ویژگی‌های سیمان، دانه‌های سنگی و شرایط ساختمانی بستگی دارد.

ب) مواد افزودنی کاهش‌دهنده مصرف آب (روان‌کننده): این مواد به‌منظور ۱ـ افزایش کارایی بتن با حفظ نسبت آب به سیمان و مقاومت بتن؛ ۲ـ افزایش مقاومت بتن و کاهش نسبت آب به سیمان با حفظ کارایی بتن استفاده می‌شوند. در شرایطی هم می‌توان با استفاده از این ماده افزودنی مخلوط همگن و یکنواختی با حفظ کارایی بتن ایجاد کرد.

ج) مواد افزودنی کندگیرکننده: در بتن‌ریزی‌های حجیم، بتن‌ریزی در هوای گرم و شرایطی که نیاز به زمان بیشتری برای حمل، ریختن و متراکم‌کردن بتن وجود دارد، از این نوع ماده افزودنی استفاده می‌شود.

د) مواد افزودنی تندگیرکننده: در شرایطی که بتن‌ریزی در هوای سرد صورت می‌گیرد یا نیاز به برداشتن سریع قالب‌ها وجود دارد و یا بارگذاری باید زودتر از زمان معمول انجام شود، از این نوع مواد افزودنی استفاده می‌شود.

کلرید کلسیم از جمله مواد تندگیرکننده‌ای است که باید فقط در بتن غیرمسلح استفاده شود، در غیر این صورت موجب خوردگی میلگردها خواهد شد.

هـ) مواد افزودنی کاهش‌دهنده مصرف آب و کندگیرکننده: این مواد هم موجب کاهش مصرف آب و هم باعث کندگیرشدن بتن می‌شوند.

و) مواد افزودنی کاهش‌دهنده مصرف آب و تندگیرکننده: مصرف این مواد می‌تواند سبب کاهش مصرف آب و همزمان تندگیرشدن بتن شود.

افزودنی‌های بتن انواع گوناگون و متنوع دیگری نیز دارند که به برخی از آن‌ها در جدول زیر اشاره شده و عملکرد و مزایای هرکدام به‌طور خلاصه بیان شده است.

انواع مختلف مواد افزودنی بتن

ردیف	نوع محصول	عملکرد و مزایای محصول
۱	فوق روان‌کننده	افزایش استحکام در مراحل اولیه بدون افزایش سیمان فاقد کلرید است و به آرماتورها صدمه می‌زند. افزایش کارایی بتن بدون نیاز به آب اضافی، افزایش مقاومت اولیه و نهایی کاهش میزان جمعیتی و خزش بتن.
۲	فوق روان‌کننده دیرگیر	افزایش کارایی بتن در آب و هوای گرم، افزایش مقاومت بتن بدون نیاز به سیمان اضافه با آب کافی فاقد کلرید است و به آرماتورها صدمه نمی‌زند. عدم ایجاد هوای اضافی در بتن و بهبود کیفیت‌های سطحی بتن.
۳	روان‌کننده دیرگیر	افزایش مقاومت نهایی بتن، بهبود کارایی بدون افزایش مقدار آب، بدون کلر است و به آرماتورها لطمه نمی‌زند. تسریع سخت شدن بدون گیرش، افزایش زمان کار بتن، افزایش امکان صرفه‌جویی در سیمان، کاهش آب بدون کاستن از کارایی، افزایش زمان گیرش در هوای گرم.
۴	روان‌کننده نوترال	افزایش مقاومت بتن بدون افزایش مقدار سیمان، بدون کلر است و به آرماتورها صدمه نمی‌زند. افزایش چسبندگی مصالح بتن، بهبود نمای ظاهری بتن برای سطوح نمایان.
۵	کیورینگ	حفظ رطوبت در بتن و ایجاد امکان هیدراته شدن کامل بتن، کاهش افت مقاومت، کاهش ترک‌خوردگی‌های سطحی بتن که حاصل از نشست است، حذف نیاز به آب‌پاشی و کاهش هزینه کارگر و مقرون به صرفه است.
۶	ترکیب کیورینگ با کارایی بالا	بهبود نگهداری بتن و افزایش و دوام آن، افزایش هیدراتاسیون سیمان، کنترل از دست دادن رطوبت، افزایش کیفیت سطح بتن، کاهش نفوذپذیری بتن، ایجاد یک پوشش مناسب و سخت و بدون گرد و غبار برای بتن، کاهش احتمال ترک خوردن بتن، قابلیت اجرای آسان و ارزان توسط اسپری کردن.
۷	روغن قالب امولوسیون	جلوگیری از چسبندگی بتن به قالب (با چرب کردن قالب)، به حداقل رساندن نیاز به تمیز کردن قالب قبل از استفاده مجدد، قابل استفاده در قالب‌های فلزی و چوبی، پوشش‌های پلی‌یورتان استیل.
۸	روغن قالب	ایجاد سطح صاف در بتن، صرفه‌جویی در هزینه و در زمان قالب‌بندی، افزایش عمر قالب، به حداقل رساندن نیاز به تمیز کردن قالب قبل از استفاده مجدد، قابل استفاده در قالب‌های فلزی و پوشش‌های پلی‌یورتان استیل.
۹	کامبکس	افزایش مقاومت فشاری با حفظ کارایی بتن، روانی بالای گروت با حداقل نسبت آب و سیمان، تزریق، افزایش مقاومت در برابر یخ زدن و آتش‌سوزی به‌علت بافت ریزدانه گروت، انبساط مثبت و پر کردن حفره‌ها.
۱۰	گروت آماده	مقاوم در برابر ارتعاش و ضربه، سهولت کاربرد و آسانی اختلاط (تنها نیاز به افزودن آب دارد). حالت مناسب و خوب خمیری، بدون کلر، بدون ذرات آهن، بدون نشست، مقاومت فشاری نیاز به افزایش افزودنی، دوام بالا، غیرخورنده.
۱۱	گروت اصلاح‌شده با پلیمر	مقاومت فشاری و سایش بالا در برابر کلراید و دی‌اکسید کربن، قابلیت اجرای آسان (با اسپری خشک یا تر)، فاقد کلراید است و به آرماتورها صدمه نمی‌زند، ایجاد پیوندها و اتصالات قوی با بتن.

۱۲	گروت نماکاری	مانع عالی در مقابل کربن دی‌اکسید، یون‌های کلراید و آب، ضد آب، مناسب برای سازه‌های ذخیره آب، قابل انعطاف و غیرحساس به طیف وسیعی از دما، دارای مقاومت سایش بالا، غیرسمی و مناسب برای تانکرهای آب آشامیدنی.
۱۳	پودر سخت‌کننده بتن	ایجاد پیوندهای مونولیتیک با پایه بتنی تازه، قابل تهیه در محدوده وسیعی از رنگ‌ها، دارای مصالح غیرفلزی است در نتیجه موقع خیس شدن زنگ نمی‌زند، افزایش مقاومت سیلیسی بتن، مقاوم در برابر نفوذ روغن و گریس، غیرقابل سرخوردن، قابلیت اجرای آسان، حداقل نیاز به نیروی انسانی و ماشین‌آلات، مقرون به صرفه.
۱۴	سخت‌کننده سطح مونولیتیک	بدون مصالح فلزی است و در نتیجه موقع مرطوب‌شدن زنگ نمی‌زند، قابل عرضه در رنگ‌های مختلف، بسیار مقاوم در برابر روغن و گریس، آماده مصرف بدون نیاز به هیچ‌گونه مواد افزودنی، تشکیل پیوندهای مونولیتیک با بتن تازه.
۱۵	سخت‌کننده و گردگیر سطوح بتنی	افزایش مقاومت سایشی بتن، کاهش مضرات شیمیایی ناشی از روغن‌ها و گریس‌ها، از بین بردن غبار سطوح بتن، افزایش دوام بتن، قابلیت اجرای آسان، کاهش نیاز به وسایل و مهارت‌های ویژه.
۱۶	ضدیخ	ضدیخ بتن با قابلیت کاهش آب و افزایش خواص خمیری بتن (پلاستیسیته) و کاهش نقطه انجماد بر روی بتن و سازه‌های مسطح و غیرمسطح.
۱۷	ترمیم‌کننده	مقاومت فشاری بالا، فاقد کلراید، به آرماتورها صدمه نمی‌زند. بدون آهن، بدون انقباض است و ترک نمی‌خورد، از سطح جدا نمی‌شود، بدون نشست، سریع‌گیرش و بهره‌برداری سریع، افزایش عمر مفید و دوام.
۱۸	گروت ایجاد اصطکاک	بدون نیاز به افزودنی، مقاوم در برابر نفوذ روغن و گریس، قابل تهیه در رنگ‌های مختلف، ایجاد سطح سخت و مقاوم در برابر سایش، بسیار کم‌هزینه و مقرون به صرفه، غیرقابل سرخوردن، به حداقل رسیدن نیاز به نیروی انسانی و ماشین‌آلات، اجرای آسان.
۱۹	آب‌بند (نوع ۱)	به حداقل رساندن میزان نفوذ آب و کلر در سطح، افزایش مقاومت در برابر یخزدگی، افزایش مقاومت در برابر عوامل مخرب جوّی، ایجاد امکان تبخیر آب از سطح، جلوگیری از ورود و جذب نمک‌های محلول در آب.
۲۰	آب‌بند (نوع ۲)	نسبت آب به سیمان کم که موجب افزایش مقاومت می‌شود، اجازه کاهش حجم آب در طرح اختلاط و در نتیجه افزایش کارایی و کاهش نفوذپذیری، ایجاد بتن فشرده‌تر با نمای ظاهری بهتر، ایجاد محافظت داخلی، مناسب برای استفاده در شرایط جوّی گوناگون، فاقد کلراید است و به آرماتورها صدمه نمی‌زند.
۲۱	آب‌بند (نوع ۳)	آب‌بندی داخلی بتن به وسیله ترکیب با آهک آزاد و بستن منافذ ایجاد مقاومت سایشی و خمشی بالا، فاقد کلر است و به آرماتورها صدمه نمی‌زند. بدون اثر سمی بر آب آشامیدنی، حداقل نیاز به نیروی انسانی و ماشین‌آلات برای اجرا، قابل اجرا روی بتن تازه‌ای که از قبل ریخته شده باشد، دوام زیاد پس از اجرا.
۲۲	آب‌بند (نوع ۴)	برای استفاده داخلی است نه برای سطوح یا غشاها، افزایش مقاومت فشاری بتن، کاهش آب اضافی و در نتیجه افزایش چگالی بتن، کاهش نفوذپذیری آب در بتن، افزایش روانی و بهبود کارایی بتن، فاقد کلراید است و به آرماتورها صدمه نمی‌زند، سازگار با انواع سیمان.
۲۳	چسب بتن	چسبندگی بالای بتن، مصالح ساختمانی، سنگ و ... (چهار برابر مقاومت و چسبندگی سیمان)، بهبود مقاومت شیمیایی، سایشی، کششی و فشاری، افزایش انعطاف‌پذیری بتن، افزایش دوام، قابلیت اجرای آسان، امکان اجرای لایه‌های نازک، سازگار با انواع سیمان، غیرخورنده، مقرون به صرفه.
۲۴	چسب کاشی	قدرت چسبندگی بالا، قابل استفاده بر روی سطوح افقی و عمودی، سهولت استفاده و کارایی بالا، قابل استفاده در استخرهای آب و قسمت‌های واقع در زیر آب، سرعت عمل اجرایی بالا، سبک بودن، ضدآب و غیرسمی، مقاومت در مقابل لغزش، قابل اجرا روی بتن، سیمان، ملات آهک و ... .
۲۵	پوشش اپوکسی	مقاومت بالا در مقابل مواد شیمیایی خورنده و نمک‌های دریایی، قابل اجرا روی فلز و بتن، قابلیت اجرای آسان بدون نیاز به پرایمر و حلال، ایجاد لایه محافظ و دوام بالا، ایجاد مقاومت سایشی.
۲۶	پوشش پایه سیمانی با خاصیت ارتجاعی	چسبندگی خوب به سطح بتنی مرطوب، قابلیت اجرای آسان (توسط برس مویی، ماله یا اسپری)، مانع مؤثر در برابر سولفات‌ها و کلریدها، طول عمر و دوام بالا، قابل استفاده در تماس با آب آشامیدنی، تحمل بالا در مقابل فشارهای هیدرواستاتیکی مثبت و منفی، پوشش خوب در برابر ترک‌های سطحی قبل و بعد از غوطه‌ورشدن در آب، قابل عرضه در رنگ‌های سفید و طوسی.
۲۷	رزین اپوکسی دو کمپاند	مقاومت سایشی و شیمیایی بالا، مناسب برای استفاده بر روی سطوح افقی و عمودی، استحکام حدود دو برابر استحکام بتن با کیفیت بالا، غیرشکننده بودن در عین سختی، عدم نیاز به حلال مناسب برای محیط‌های خشک و مرطوب.
۲۸	روکش پرایمری اپوکسی زینک ریچ	در مقابل خوردگی مقاوم است. قابلیت اجرای آسان به روش‌های غلتکی و اسپری‌کردن، مقرون به صرفه؛ بدون محدودیت زمان مصرف بوده و از قابلیت استفاده آسان‌تری برخوردار است، چسبندگی بالا بر روی سطوح فلزی.
۲۹	هوازا	ایجاد و توزیع یکنواخت حباب‌های ریز هوا در مخلوط‌های بتن برای افزایش مقاومت بتن در مقابل یخ زدن و همچنین دمای بالا. بدون کلراید است و به آرماتورها صدمه نمی‌زند. بهبود کارایی بتن، افزایش قابلیت تراکم بتن، کاهش جداشدگی دانه‌ها و آب‌انداختن، افزایش روانی بتن، کاهش نفوذپذیری و در نتیجه بهبود آب‌بندی بتن.

۳۰	زودگیر	مناسب برای دماهای سرد تا ۱۶ درجه زیر صفر، فاقد کلراید بوده و به آرماتورها صدمه نمی‌زند. تسریع گیرش اولیه بتن، کاهش میزان هدر رفتن مصالح و تسریع کار، افزایش مقاومت اولیه، جلوگیری از یخ‌زدگی بتن به دلیل حباب‌های هوا، کاهش میزان آب و حفظ روانی.
۳۱	زودگیر کلردار	روان‌کنندگی بتن و ملات، ایجاد امکان اجرای ملات یا بتن‌ریزی در دمای زیر صفر، تسریع گیرش اولیه، ایجاد مقاومت سریع، کاهش جدا شدن دانه‌بندی.
۳۲	میکروسیلیکا	مقاومت فشاری، کششی، ضریب ارتجاعی (مدول الاستیسیته) بتن و چسبندگی آن بالا می‌رود. خواص الکتریکی بتن تغییر کرده و مانع خوردگی آرماتورها می‌شود، بتن را در مقابل حملات شیمیایی حفظ می‌کند. موجب روانی و سهولت اجرای بتن خواهد شد. دوام و عمر بتن را زیاد می‌کند، نفوذپذیری بتن را کم می‌کند، توده بتن را متراکم می‌کند.
۳۳	ماستیک	کاربرد در پالایشگاه‌ها و پمپ بنزین‌ها، سطوح بتنی فرودگاه‌ها شامل باند تاکسی‌روها، اپرون و آشیانه‌ها، سقف‌ها و پارکینگ‌ها، تعمیرگاه‌ها و گاراژها، کف انباری‌های سوخت و روغن.
۳۴	پرایمر قیری	ضدآب کامل، دارای مقاومت شیمیایی در برابر اسید و باز و خوردگی فلزات، مقاومت حرارتی و انعطاف‌پذیری (الاستیسیته) بالا، اجرای آسان به‌صورت سرد.
۳۵	ملات ضداسید	افزایش خواص شیمیایی و مکانیکی، پایداری در محیط اسیدی، استحکام فشاری بالا، مقاوم در برابر اشعه uv، پوشش سطوحی که در مجاورت مواد خورنده شیمیایی هستند. پایداری فوق‌العاده در برابر اسیدها و مواد شیمیایی خورنده، استحکام مکانیکی، مقاوم در برابر آب، قلیا و انواع روغن‌ها، پایداری حرارتی تا ۱۶۰۰ درجه سانتی‌گراد.
۳۶	لاتکس	چسبندگی بسیار خوب، افزایش‌دهنده مقاومت سایش، ضدآب‌کننده داخلی و خارجی، غیرخورنده، مقاومت در برابر آب، کاهش جمع‌شدگی.

مثال۱: مواد حباب‌زا به چه منظور در بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد؟ (معماری ـ سراسری ۹۴)

۱) سبک کردن وزن بتن
۲) کم کردن آب مصرفی بتن
۳) بیرون راندن هوای بتن در هنگام بتن‌ریزی
۴) جلوگیری از ترک خوردن بتن در هنگام یخ زدن

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» از آنجایی‌که آب تراکم‌پذیر نیست، در مناطق سرد برای ایجاد فضایی جهت ازدیاد حجم آب تحت تأثیر سرما از مواد حباب‌ساز استفاده می‌کنند تا بتن ترک برندارد. میزان این مواد حباب‌ساز نباید از یک حدی بیشتر شود؛ زیرا مقدار زیاد آن‌ها در بتن منجر به کاهش مقاومت بتن و افزایش استعداد خزش می‌شود.

میزان اختلاط شن و ماسه و سیمان و آب برای تهیه یک مترمکعب بتن آماده

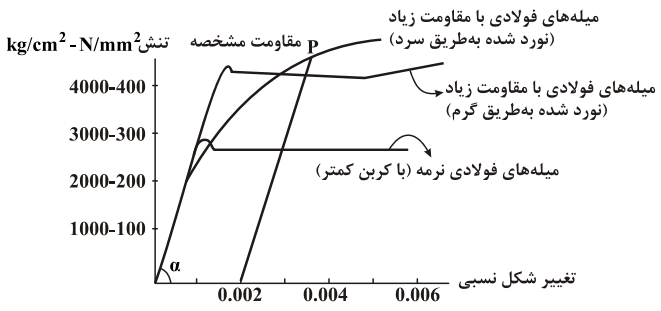
ردیف	مارک بتن	مقاومت ۲۸ روزه برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع	مقدار سیمان (kg)	مقدار آب مصرفی برحسب لیتر		مقدار ماسه بر حسب متر مکعب	مقدار شن بر حسب متر مکعب
				برای ساختن	برای مرطوب‌کردن شن و ماسه خشک		
۱	B 75	۷۵	۱۰۰	۵۰	۲۰	۰/۶	۰/۷۴
۲	B 100	۱۰۰	۱۵۰	۷۵	۲۰	۰/۵۹	۰/۷۳
۳	B 150	۱۵۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰	۰/۵۸	۰/۷۲
۴	B 200	۲۰۰	۲۵۰	۱۲۵	۲۰	۰/۵۷	۰/۷۰
۵	B 250	۲۵۰	۳۰۰	۱۵۰	۲۰	۰/۵۶	۰/۶۸
۶	B 300	۳۰۰	۳۵۰	۱۷۵	۲۰	۰/۵۴	۰/۶۶
۷	B 350	۳۵۰	۴۰۰	۲۰۰	۲۰	۰/۵۳	۰/۶۵

رده‌بندی مکانیکی میلگردهای فولادی

رده	مشخصه در استاندارد ملی ۳۱۳۲ ایران	حداقل تنش تسلیم (N/mm^2)	حداقل مقدار مجاز مقاومت کششی حداکثر فولاد (N/mm^2)	طبقه‌بندی از نظر شکل رویه (N/mm^2)	رده از نظر سختی
S240	۲۴۰	س ۲۴۰	۳۶۰	ساده	نرم
S340	۳۴۰	آج ۳۴۰	۵۰۰	آجدار مارپیچ	نیم‌سخت
S400	۴۰۰	آج ۴۰۰	۶۰۰	آجدار جناغی	نیم‌سخت
S500	۵۰۰	آج ۵۰۰	۶۵۰	آجدار مرکب	سخت

براساس منحنی تنش ـ تغییر شکل نسبی، فولادهای نرمه (با مقاومت جاری‌شدن کم، درصد کم کربن) و فولادهای با مقاومت زیاد که در شرایط گرم نورد شده‌اند، دارای نقطه جاری شدن معینی هستند. تغییرات خمیری (Plastic) یعنی قسمت افقی منحنی برای فولادهای نرمه ممکن است تا تغییر شکل نسبی (۰/۰۰۱۵ یا ۰/۰۲) ادامه پیدا کند.

برای فولادهای گرم نوردشده با مقاومت زیاد، این تغییرات خمیری تا تغییر شکل نسبی ۰/۰۰۵ ادامه داشته که پس از آن منحنی به علت تغییر شکل نسبی سخت‌شونده، یک قسمت صعودی خواهد داشت. فولادهای با مقاومت زیاد که نورد نهایی آن‌ها در شرایط سرد انجام شده، نقطه جاری‌شدن معینی ندارند و مقاومت مشخصه آن‌ها را به طور معمول در ۰/۲ درصد تغییر شکل نسبی (نقطه‌ای از منحنی که محل برخورد خطی موازی قسمت اولیه آن بوده از تغییر شکل نسبی ۰/۲۲۵ رسم شده است) فرض می‌کنند (نقطه P در شکل).



منحنی تنش ـ تغییر شکل نسبی فولاد

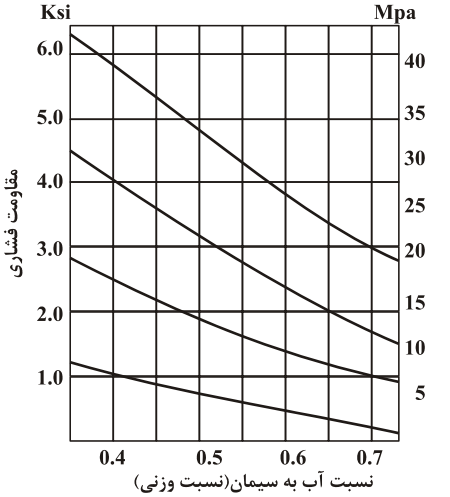
ویژگی‌های بتن‌آرمه

مقاومت بتن

نخستین شاخص طراحی یک سازه بتنی مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن است. نسبت نیروی گسیختگی بتن نمونه به سطح مقطع نمونه را مقاومت بتن می‌گویند و برحسب اینکه نمونه از نوع مکعبی یا استوانه‌ای تهیه شده باشد، آن را با f_{cu} یا f_c نشان می‌دهند. مقاومت واقعی بتن در محدوده ۳۵ـ ۱۵ نیوتن بر میلی‌متر مربع است. بتنی با مقاومت ۷۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع یا بیشتر از آن در سازه‌های ویژه‌ای به‌کار می‌روند. تاکنون امکان ساخت بتنی با مقاومت ۱۴۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع فراهم شده است. مقاومت فشاری بتن در صورتی که رطوبت مناسب موجود باشد، با گذشت زمان تا مدت‌های طولانی همچنان افزایش پیدا می‌کند.

اثر زمان نگهداری بتن به کمک بخار آب بر مقاومت فشاری آن بر حسب درصد

پس از طی زمان گیرش اولیه، بتن شروع به سخت شدن می‌کند و سرعت این فرایند به نوع سیمان مصرفی، نسبت آب به سیمان و مراقبت‌های محیطی بستگی دارد. دوران استمرار هیدراتاسیون سیمان «دوره نگهداری از بتن» است، که روند آن می‌تواند تسریع شود. نگهداری بتن به وسیله بخار آب از معمول‌ترین روش‌های رسیدن به مقاومت موردنظر است که به امکانات کارگاهی نیاز داشته و بیشتر در تهیه قطعات پیش‌ساخته استفاده می‌شود. گرم و مرطوب نگه‌داشتن بتن به کمک پوشش‌های پلاستیکی و عایق کردن قالب‌ها برای تسریع گیرش بتن و جلوگیری از تبخیر شدن بیش از حد معمول آب در سطح بتن، روش مناسبی است. به طور معمول مقاومت بتن معمولی پس از گذشت ۲۸ روز در آزمایشگاه به‌دست می‌آید و مبنای طراحی سازه قرار می‌گیرد.

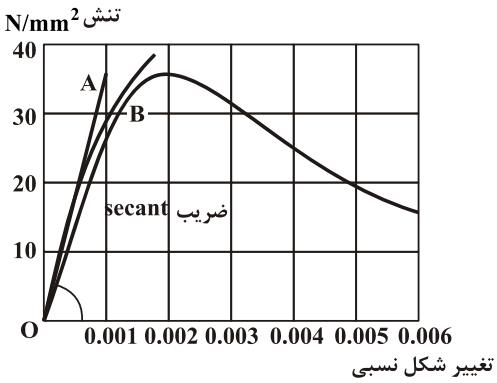


نمودار نسبت آب به سیمان به مقاومت فشاری بتن

شایان ذکر است که مقدار مقاومت بتن همیشه تابع اهمیت قطعه یا سازه بتنی نیست، برای مثال بلوک‌های پیاده‌روها برای مقاومت ۲۴ نیوتن بر میلی‌متر مربع طراحی می‌شوند و این درصورتی است که مقاومت بتن پی که در آن از مواد حباب‌ساز استفاده شده، تنها ۱۷ یا ۲۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع است. این مسائل نشان‌دهنده این واقعیت است که برای افزایش دوام بتن باید مقاومت بتن نیز افزایش پیدا کند. اگر در پی‌سازی از بتنی با مقاومت کمتر استفاده شود، مقرون به صرفه‌تر خواهد بود؛ زیرا کمتر در معرض شرایط آب و هوایی سخت قرار می‌گیرد اما بلوک‌هایی که در پیاده‌رو استفاده می‌شوند، باید در برابر آب و هوا بادوام‌تر و درنتیجه دارای مقاومت بیشتر و نفوذناپذیری کمتری باشند (شکل آورده‌شده).

شکل مقابل یک نمونه منحنی تنش تغییر شکل نسبی را نشان می‌دهد. کاربرد اصطلاح مدول یانگ (ضریب یانگ) فقط برای قسمت مستقیم اولیه منحنی قابل قبول است. در حقیقت حتی قسمت اولیه نیز کمی منحنی‌شکل است. شیب خط OA که مماس بر منحنی در مبدأ است، ضریب ارتجاعی اولیه نامیده می‌شود.

در منحنی تنش ـ کرنش بتن شیب خط مماس بر یک نقطه دلخواه مانند B ضریب ارتجاعی در آن نقطه نامیده می‌شود. تغییر شکل نسبی یک تنش مفروض در طراحی را می‌توان به وسیله ضریب سکانت که شیب خط OB است و مقدار آن بستگی به تنش در نقطه B دارد، به‌دست آورد.



منحنی نمونه تنش ـ تغییر شکل نسبی بتن

وزن بتن

وزن بتن بیشتر به چگالی مواد سنگی درشت‌دانه بستگی دارد. مواد سنگی سبک، مانند درزهای متخلخل چگالی بتن را کاهش می‌دهند و موجب کاهش مقاومت بتن نیز می‌شوند. افزودن الیاف طبیعی و مصنوعی یا مواد حباب‌ساز به بتن، اثر مشابهی خواهند داشت.

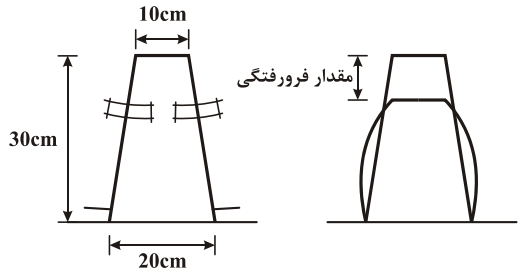
وزن مخصوص تقریبی انواع بتن در جدول زیر آمده است:

وزن انواع بتن

بتن ساده با دانه‌های سنگی	$۲۳۲۰\frac{Kg}{m^۳}$
بتن‌آرمه با دانه‌های سنگی	$۲۴۰۰\frac{Kg}{m^۳}$
بتن ساده سبک با مواد حباب‌ساز	$۱۲۰۰-۸۰۰\frac{Kg}{m^۳}$
بتن ساده سبک با خاک انبساط‌پذیر	$۱۶۰۰-۱۳۶۰\frac{Kg}{m^۳}$
بتن ساده سبک با اسفنج معدنی	$۱۴۰۰-۹۶۰\frac{Kg}{m^۳}$

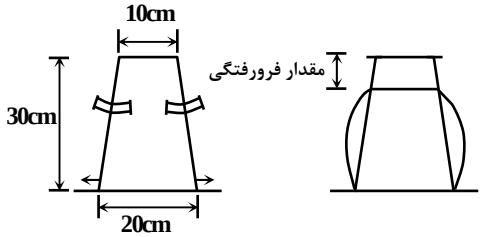
کارایی بتن

به روانی بتن و سهولت جای‌گیری آن در قالب، کارایی بتن می‌گویند. با افزایش مقدار آب به کارایی بتن افزوده شده و در مقابل مقاومت آن کاهش پیدا می‌کند. کارایی بتن با آزمایش اسلامپ سنجیده می‌شود. در این آزمایش قالب مخروطی‌شکلی را با بتن تازه ساخته‌شده پر می‌کنند و طبق دستورالعمل معینی آن را متراکم می‌سازند؛ سپس قالب را برمی‌دارند. مقداری از بتن پس از برداشتن قالب فرو می‌افتد و ارتفاع مخروط کاهش می‌یابد. مقدار کاهش ارتفاع مخروط عدد اسلامپ بتن نامیده می‌شود. به‌طور میانگین عدد اسلامپ برای بتنی با قطر حداکثر دانه‌ها برابر ۲۵۴ میلی‌متر و کارایی مناسب حدود ۵۰ میلی‌متر است. درصورتی که حداکثر اندازه سنگدانه‌ها ۱۳ میلی‌متر باشد، این مقدار کمتر خواهد بود.



آزمایش اسلامپ

مثال۲: کدام عبارت در مورد آزمایش اسلامپ و عدد اسلامپ صحیح نیست؟ (معماری ـ سراسری ۹۱)



۱) کارایی بتن با آزمایش اسلامپ سنجیده می‌شود.
۲) عدد اسلامپ برابر با ارتفاع مخروط پس از برداشتن قالب می‌باشد.
۳) عدد اسلامپ با میزان روانی بتن نسبت مستقیم دارد.
۴) بتن ریخته‌شده درون قالب مخروطی باید طبق دستورالعمل معینی متراکم شود.

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» کارایی بتن با آزمایش اسلامپ سنجیده می‌شود. در این آزمایش، قالب مخروطی‌شکلی را با بتن تازه ساخته‌شده پر می‌کنند و طبق دستورالعمل معینی آن را متراکم می‌سازند؛ سپس قالب را برمی‌دارند. مقداری از بتن پس از برداشتن قالب فرومی‌افتد و ارتفاع مخروط کاهش می‌یابد. مقدار کاهش ارتفاع مخروط عدد اسلامپ بتن نامیده می‌شود.

مدرسان شریف

فصل سوم

«عملکرد ساختمان و فناوری نوین ساختمان»

درسنامه (۱): اقلیم

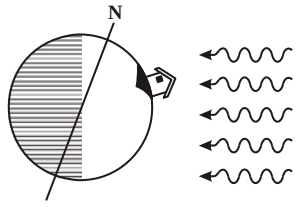
محیط خارجی

زمین و خورشید

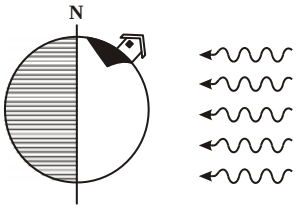
زمین یک‌بار در هر روز حول محور خود چرخیده و چرخش خود به دور خورشید را در هر ۳۶۵ روز و یک‌چهارم روز کامل می‌کند. در هر لحظه نیمی از کره زمین که پشت به خورشید قرار گرفته، در تاریکی بوده و نیم دیگر در روشنایی است. مدار چرخش زمین تا حدود ۳ درصد، غیرمدور است.

(فاصله بین زمین و خورشید به حدی تغییر می‌کند که باعث تغییر ۷ درصدی در شدت تابش آفتاب در دوره شش‌ماهه می‌شود.)

انقلاب تابستانی

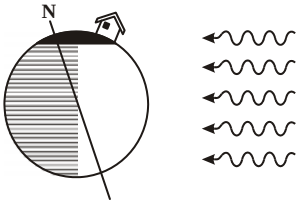


در موقعیتی روی مدار زمین که قطب شمال در نزدیک‌ترین حالت به سمت خورشید چرخیده است، پرتوهای خورشید در نیمکره شمالی از جوّ عبور کرده و با زاویه‌ای تند به سطح زمین برخورد می‌کنند. مسیر پرتوها در جوّ کوتاه است، به‌طوری که هوا به نسبت نور کمی را قبل از رسیدن تابش به زمین، جذب کرده یا پخش می‌کند. به دلیل اینکه ارتفاع خورشید نسبت به سطح زمین در نیمکره شمالی بسیار زیاد است، تابش خورشیدی در حداکثر تمرکز در هر واحد سطح زمین دریافت می‌شود. پرتوهای خورشیدی در این موقعیت مداری، در گرم‌ترین حالت خود، معروف به انقلاب تابستانی بوده که در هر سال حدود ۲۱ ماه ژوئن (مطابق با اولین روز تابستان) اتفاق می‌افتد.



هنگامی‌که قطب شمال در نزدیک‌ترین حالت به سمت خورشید چرخیده شود، مسیر پرتوها در جوّ کوتاه است.

در موقعیت مداری مقابل که حدود ۲۱ دسامبر (ابتدای فصل زمستان) اتفاق می‌افتد (انقلاب زمستانی)، در نیمکره شمالی قطب شمال از خورشید دور می‌شود.

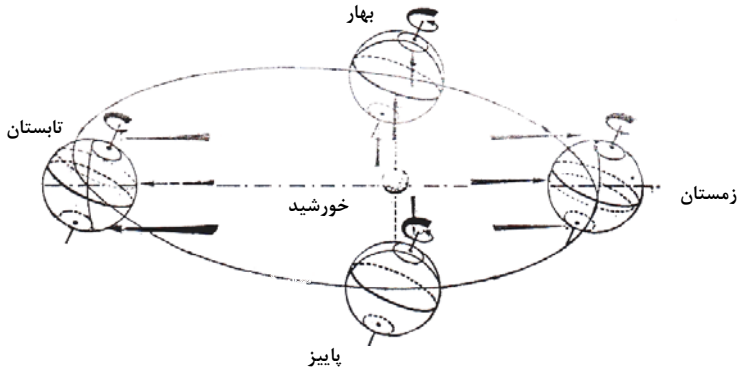


پرتوهای خورشیدی بعد از اینکه بیشتر انرژی خود را در مسیر یکنواخت طولانی میان جوّ از دست می‌دهند، با زاویه کمی به سطح زمین رسیده و تأثیر گرمایش آن‌ها روی زمین تضعیف می‌شود. این روز، کمترین ساعات روشنایی روز را نسبت به هر روز دیگر سال دارد که در آن خورشید دیرهنگام در جنوب شرقی طلوع کرده، تا زمان ظهر بالا رفته و زودهنگام در جنوب غربی غروب می‌کند. بالای مدار قطب شمال، خورشید هیچ‌گاه طلوع نمی‌کند، ولی در میانه روز و در جنوبی‌ترین قسمت آسمان به‌صورت تابشی ضعیف نمایان می‌شود. زمین و دریاها همچنان گرمای ذخیره‌شده از روزهای پاییزی و گرم‌تر را ساطع می‌کنند. چنانکه سردترین بخش زمستان تا اواخر ژانویه یا اوایل فوریه فرا نمی‌رسد.

مثال۱: در زمستان نیمکره شمالی فاصله زمین تا خورشید در مدار خود ..... (معماری ـ سراسری ۸۷)

۱) به خورشید نزدیک‌تر است. ۲) به خورشید دورتر است. ۳) تغییر نمی‌کند. ۴) متغیر است.

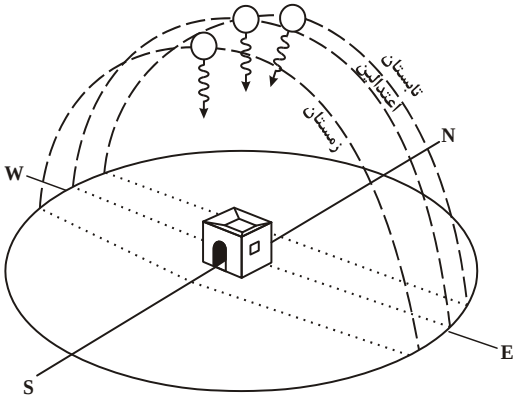
☑ **پاسخ:** گزینه «۱» در زمستان نیمکره شمالی فاصله زمین تا خورشید در مدار خود به خورشید نزدیک‌تر است. مطابق شکل آورده‌شده، فاصله خورشید در زمستان نیمکره شمالی به زمین کمتر از فاصله آن در تابستان نیمکره شمالی است و تنها عامل ایجاد فصول مختلف زاویه انحراف محور زمین (زاویه بین راستای محور زمین نسبت به راستای عمود بر صفحه حرکت انتقالی زمین) است که به میزان ۲۳/۵ درجه می‌باشد.



نکته۱: زمین در زمستان در نزدیک‌ترین حالت به خورشید قرار دارد. در عوض فصول از راه انحراف ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه بین محور چرخش زمین و محور عمود بر صفحه مدار آن ایجاد می‌شوند.

چرخه سالانه: دانستن این نکته مفید است که تفاوت‌های فصلی در طول روز و حداکثر زاویه ارتفاع خورشید در مناطق گرمسیری استوایی کمتر بروز کرده و در مناطق قطبی زمین بیشتر اتفاق می‌افتد.

در مناطق گرمسیری استوایی، به‌جز در روی خط استوا، طول روز کمی در تابستان بلندتر بوده و در زمستان کمی کوتاه‌تر و همیشه نزدیک ۱۲ ساعت است. خورشید همیشه درست در مجاورت شرق طلوع می‌کند؛ (کمی به سمت شمال در تابستان و کمی به سمت جنوب در زمستان) و درست در مجاورت غرب، غروب می‌کند و تقریباً در ظهر به‌طور مستقیم از بالای سرمان می‌گذرد. همیشه خورشید، افق را صبح‌ها و عصرها در زاویه‌ای قطع می‌کند که طلوع و غروب بسیار کوتاهی ایجاد می‌کند (شکل مقابل).

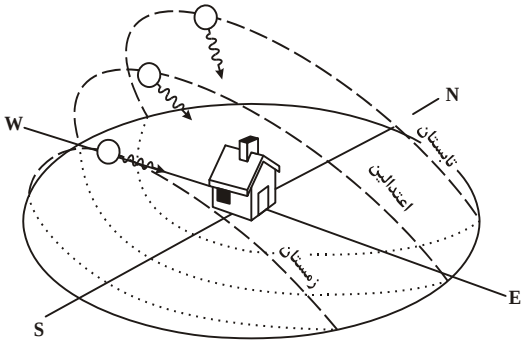


منطقه گرمسیری استوایی

با حرکت در عرض جغرافیا به سمت شمال تفاوت‌های فصلی محسوس‌ترند.

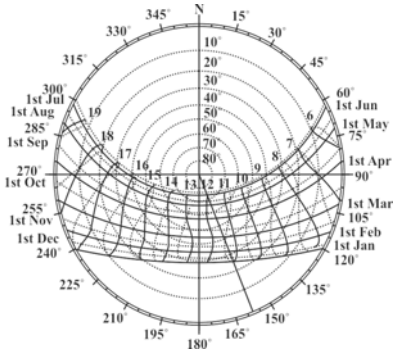
هنگامی‌که شخصی در عرض جغرافیایی به سمت شمال حرکت کند، تفاوت‌های فصلی به تدریج افزایش پیدا می‌کنند. روزهای تابستان بلندتر از روزهای مناطق گرمسیری استوا بوده و روزهای زمستان کوتاه‌تر هستند. زاویه تابش خورشید در هنگام غروب کمتر است که شار خورشیدی کمتری برای هر واحد سطح زمین دربر دارد. جهت‌های طلوع و غروب نوسان فصلی محسوس‌تری را نشان می‌دهند و طلوع و غروب‌ها امتداد بیشتری خواهند داشت.

چرخش شرقی زمین بادها را به سمت غرب منحرف می‌کند.



منطقه معتدل

مثال۲: در دیاگرام زیر موقعیت خورشید در چه وضعیتی قرار دارد؟ (معماری ـ سراسری ۹۰)



۱) حداقل زاویه ارتفاع خورشید ساعت ۱۱ صبح نیمکره شمالی
۲) حداکثر زاویه ارتفاع خورشید ساعت ۱۲ صبح نیمکره شمالی
۳) حداکثر زاویه جهت خورشید ساعت ۱۲ صبح نیمکره جنوبی
۴) حداقل زاویه جهت خورشید ساعت ۱۱ صبح نیمکره جنوبی

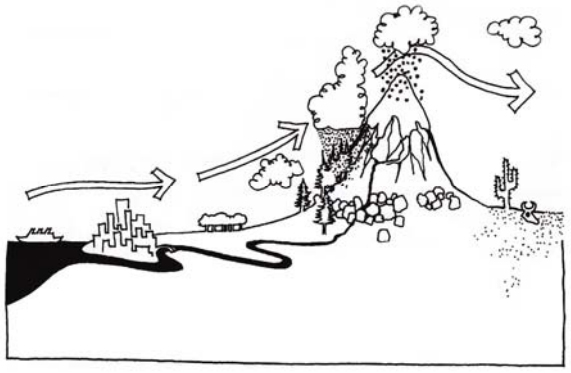
☑ **پاسخ:** گزینه «۴» در دیاگرام نقاله خورشیدی خطوط شعاعی متحدالمرکز نشان‌دهنده زاویه جهت خورشید و خطوط دایره‌ای متحدالمرکز، نشان‌دهنده زاویه ارتفاع خورشید هستند که از مرکز دایره که زاویه تابش ۹۰ درجه است، به سمت محیط دایره از میزان آن کاسته می‌شود. در شکل موردنظر، محل مشخص‌شده بر روی پایین‌ترین نقطه تقاطع خطوط متحدالمرکز و مسیر حرکت خورشید است؛ یعنی خورشید دارای حداقل زاویه خود می‌باشد. از طرفی نیز شکل حاضر نقاله خورشیدی در نیمکره شمالی را نشان می‌دهد. نقاله خورشیدی نیمکره جنوبی همانند نیمکره شمالی است، با این تفاوت که جهت شمال و جنوب آن متفاوت می‌باشد.

شرایط جوّی: در صورتی‌که شرایط جوّی در تمام بخش‌های جهان یکسان باشد، اتلاف حرارتی شبانه از راه تشعشع، صرف‌نظر از عرض جغرافیایی، در میزانی یکسان اتفاق می‌افتد اما دریافت حرارت روزانه، همان‌طور که پیش از این اشاره شد، در تمام مکان‌ها یکسان نیست. در هر روز از سال، نواحی گرمسیری و نیمکرهای که در حال گذراندن فصل گرم است، تابش خورشید بسیار بیشتری نسبت به مناطق قطبی و نیمکره سردتر دریافت می‌کند. به‌طور متوسط در دوره‌ای از سال، نواحی گرمسیری و نواحی با عرض جغرافیایی تا ۴۰ درجه، حرارت کلی بیشتری نسبت به آنچه از راه تشعشع از دست می‌دهند، دریافت می‌کنند.

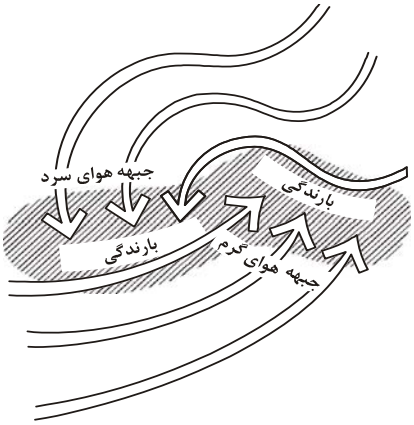
مناطقی با عرض جغرافیایی بالای ۴۰ درجه، حرارت کلی کمتری نسبت به آنچه از راه تشعشع از دست می‌دهند، دریافت می‌کنند. این نابرابری شرایط را برای عمل موتوری بزرگ و در مقیاس جهانی فراهم می‌کند، که حرارت را در مناطق گرمسیری گرفته و آن را در مناطق قطبی بازگرداند. سیال عامل آن، هوا و به ویژه رطوبت آن است. هوا بر فراز زمین گرم مناطق گرمسیری گرم و منبسط شده، بالا رفته و در دو جهت شمالی و جنوبی به سوی عرض جغرافیایی بالا جریان یافته و در حین حرکت خنک می‌شود. این هوا پایین آمده و دوباره از عرض‌های جغرافیایی شمالی و جنوبی‌تر به سمت استوا جریان پیدا می‌کند. در ضمن، چرخش شرقی زمین، این جریان‌ها را به سمت غرب بر روی سطح زمین منحرف می‌کند که بادهای بسامان (باد گرمسیری که به‌طور پیوسته از شرق به غرب می‌وزد) را تشکیل می‌دهند. دورتر در سمت قطبین، سلول‌های همرفتی هوای مشابه اما ضعیف‌تری در حرکت بوده که به جریان هوایی شرقی منتج می‌شوند. (شکل مقابل)

فرایند بارش: فرایند دقیقی که طی آن ابر، رطوبت خود را آزاد می‌کند، به‌طور کامل درک نشده اما اغلب سرمایش بیشتر و وجود ابری از ذرات میکروسکوپی غبار را که حول آن قطرات ابر بسیار کوچک می‌توانند در جهت تشکیل قطرات باران یا کریستال‌های یخی متراکم شوند، دلیلی برای بارش به شمار می‌آورند. بارش بر فراز رشته‌کوه‌ها اغلب به دلیل سرمایش سریع بادهای صعودکننده، شدیدتر است و اغلب در سمت پشت به باد کوه‌ها، (جایی که بادهای نزولی، قبل از این از آب اضافی خشک شده‌اند)، به‌صورت پراکنده است. (شکل الف)

آب باران و برف ذوب‌شده از سطح زمین در نهرها و رودخانه‌ها جمع شده و در نهایت به دریا می‌ریزند، درحالی‌که رطوبت مسیر تبخیر می‌شود تا چرخه مذکور را دوباره آغاز کند. در عرض‌های جغرافیایی میانه، توده هوای گرم و مرطوب بزرگی از اقلیم‌های گرمسیرتر به سمت شمال پیشروی می‌کنند تا به توده هوای سردتر و خشک‌تر مناطق قطبی برخورد کنند. جبهه‌های هوای گرم، دارای مشخصه فشار بارومتری پایین و توده هوای سرد با فشار بالاتر، با هم تصادم کرده و حول یکدیگر می‌گردند که سرعت باد محلی را افزایش می‌دهند و جایی‌که هوای گرم، به‌طور ناگهانی در تماس با هوای سرد خنک می‌شود، موجب ریزش باران خواهد شد. (شکل ب)



(الف)



(ب)

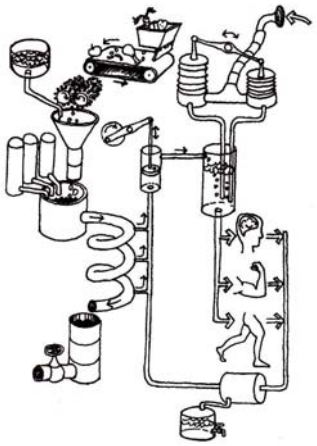
نکته۲: انرژی آزادشده از وسایل نقلیه و ساختمان‌ها به‌تدریج به‌صورت گرما در فضای خارج پراکنده می‌شود که اغلب هوا را ۵ تا ۱۰ درجه فارنهایت (۳ تا ۶ درجه سانتی‌گراد) بیشتر از دمای حومه مجاور گرم می‌کند.

فتوسنتز: ارگانیسم بدن انسان نمی‌تواند مواد غذایی را از آفتاب جذب کند، در هر حال گیاهان از راه فرایندی که از خورشید نیرو می‌گیرد، شکر، نشاسته و پروتئین‌ها را از آب، دی‌اکسید کربن، نیتروژن و مواد معدنی خاک تولید می‌کنند. آن‌ها دی‌اکسید کربن را در طی فتوسنتز از هوا گرفته و اکسیژن را به عنوان فرآورده زائد پس می‌دهند (حیوانات، اکسیژن را در مراحل سوخت‌وساز مصرف کرده و دی‌اکسید کربن پس می‌دهند، به این گونه چرخه بزرگ دیگری تشکیل می‌دهند).

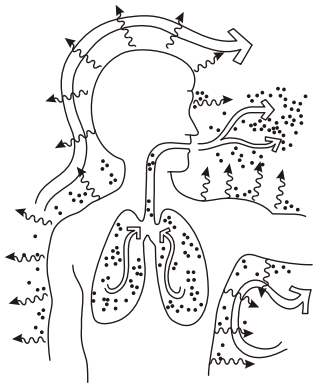
انسان و حیوانات دیگر نیز همزمان هر گیاهی را که قابلیت هضم آن را داشته باشند یا گوشت دیگر حیوانات را که در نهایت در گیاهان تغذیه شده‌اند، می‌خورند. فضولات حیوانات شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کربن و مواد دیگری است که از راه خاک و آب برای گیاهان فراهم شده و به این صورت تولید غذا از راه زنجیره‌های پایدار دیگری تداوم می‌یابد. شکل مقابل پدیده فتوسنتز را نشان می‌دهد.

درسنامه (۲): شرایط آسایش

محیط انسانی



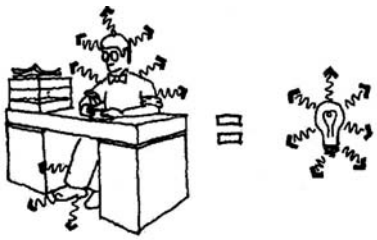
شکل مقابل تأثیر ساختمان‌های مجاور بر روی ساختمان جدید مانند سایه‌اندازی و دید را نشان می‌دهد. ما برای تسهیل فرایندهای شیمیایی بدن، انتقال فراورده‌های این فرایندها در درون بدن و کمک به خنک‌سازی آن، به مقادیر معینی آب نیازمندیم. ما به هوا هم نیاز داریم، به دلیل اینکه در مجموعه‌ای مهم از واکنش‌های شیمیایی که سوخت‌های مشتق از غذا را برای ادامه حرکت موتور حرکت انسان می‌سوزانند، اکسیژن، واکنش‌دهنده‌ای ضروری است. زمانی‌که تنفس کرده و هوا را داخل ریه‌ها می‌کنیم، بخشی از اکسیژن را در داخل جریان خون جذب خواهیم کرد. دی‌اکسید کربن و آب را که فراورده‌های زائد سوختن هستند، با هوای ریه‌ها قبل از بازدم مخلوط می‌کنیم. کمتر از یک‌پنجم اکسیژن هوا در هر تنفس با دی‌اکسید کربن جایگزین می‌شود، اما تأمین مداومی از هوای بیرون برای عدم نقصان اکسیژن و خواب‌آلودگی دی‌اکسید کربن در طی تنفس مکرر همان هوا باید فراهم باشد.

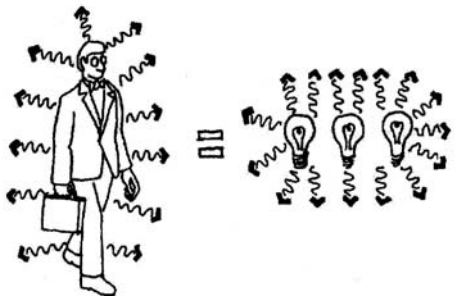


بدن چگونه خود را خنک می‌کند؟

جسم انسان پیوسته با گرمایش هوای تنفس، تبخیر آب از شش‌ها و مسیرهای تنفسی، انتقال گرما به‌صورت همرفت و تشعشعی از سطح پوست و انتشار مقادیر کمی از بخار آب از راه پوست، خنک می‌شود.

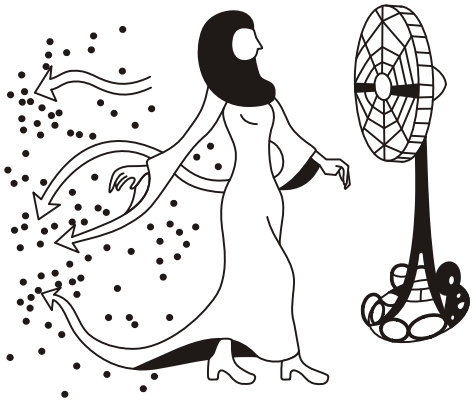
شکل‌های زیر نشان می‌دهد که گرمای تولیدی بدن در فعالیت‌های مختلف، متفاوت است.





هنگامی‌که میزان خنک‌سازی از راه تنفس، انتشار از راه تشعشع و جریان همرفتی پوست برای تطابق با نیازهای جسم‌مان کافی نباشد، بدن انسان عرق می‌کند. آب منافذ پوست به بیرون تراوش کرده و به سوی اتمسفر تبخیر می‌شود. گرمای نهان مورد نیاز تبخیر در ابتدا از بدن تهیه می‌شود؛ مقادیر زیادی گرما می‌تواند از این راه از دست برود. عرق کردن در بیشتر شرایط برای تأمین خنک‌سازی اضافی مورد نیاز کافی است، اما کارایی آن به مقدار رطوبت هوا بستگی دارد.

اگر هوای مجاور خیلی خشک باشد، عرق به سرعت تبخیر می‌شود و خنک‌سازی قابل ملاحظه‌ای (حتی وقتی‌که دمای هوا بالاتر از دمای بدن ما باشد)، ممکن می‌شود. هنگامی‌که رطوبت هوای مجاور بالا باشد، تبخیر کند بوده و بنابراین میزان عرق کردن بالا می‌رود؛ زیرا بدن سعی در جبران آن دارد. چاره این وضعیت تا اندازه‌ای می‌تواند افزایش میزان حرکت هوا حول جسم باشد. هوای متحرک نه‌تنها در تبخیر عرق، بلکه در تسریع اتلاف گرمای همرفتی پوست نیز مؤثرتر است و سبب می‌شود که دمای هوا پایین‌تر از دمای پوست باشد. (شکل مقابل)



تأثیر هوای متحرک در تبخیر عرق و تسریع اتلاف گرما– همرفتی پوست

روش‌های افزایش خنک‌سازی بدن

در شرایطی که بدن انسان بیش از اندازه گرما از دست می‌دهد، اتلاف حرارت، به ویژه از پشت گردن، سر، پشت و حدود انتهایی بدن تسریع می‌شود. لباس‌ها و وسایلی که برای ممانعت از جریان گرما از این قسمت‌ها طراحی شده‌اند، به آسایش حرارتی به ویژه در شرایط خاص کمک می‌کنند.

بدن به اتلاف حرارت بیش از حد از هر بخش، با کاهش دمای پاها و دست‌ها برای حفظ ارگان‌های مهم داخلی در دمایی بهینه، واکنش نشان می‌دهد. در صورتی که اتلاف حرارت به سرعت ادامه یابد، «سیخ شدن موها» اتفاق می‌افتد، که در آن موهای روی پوست راست می‌شوند تا هوای راکد را به عنوان لایه عایق مجاور پوست، حبس کنند.

غریزه هر شخص به‌طور معمول او را به جهت درست سوق می‌دهد، در این حالت انسان سطح بدن را با تا کردن بازوها، خم کردن شانه‌ها و محکم چسبانیدن پاها به یکدیگر کاهش می‌دهد. راه‌حل مفید دیگر، ورزش کردن است تا اینکه سطح تولید حرارت سوخت‌وساز بدن بالا رفته و با میزان حرارتی که از دست می‌رود، تطابق پیدا کند. (شکل مقابل)

آسایش حرارتی با وسایل

محیط خارجی

نور آفتاب شامل امواج الکترومغناطیسی با طول موج‌های متفاوت است. کمتر از ۱% پرتوهای خورشید که به ارتفاع سطح دریا در زمین می‌رسند، طول موجی کوتاه‌تر از آن دارند که مرئی باشند. این پرتوهای ماوراءبنفش دامنه‌ای از حدود ۱۶۰ تا ۴۰۰ نانومتر دارند. طول موج‌های مرئی خورشید که دامنه‌ای از ۴۰۰ تا ۷۸۰ نانومتر دارند، حدود نیمی از انرژی نور خورشید را دربرمی‌گیرند. نیم دیگر انرژی در بخش مادون قرمز طیف، طول موج‌های نامرئی بین ۷۸۰ تا ۱۵۰۰ نانومتر واقع شده‌اند.

مثال ۳: کدام گزینه در مورد دامنه پرتوهای فرابنفش صحیح است؟

۱) ۱۶۰ تا ۴۰۰ نانومتر ۲) ۱۰۵ تا ۲۶۰ نانومتر ۳) ۳۰۰ تا ۶۵۰ نانومتر ۴) ۶۵۰ تا ۱۰۵۰ نانومتر

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» پرتوهای ماوراءبنفش دامنه‌ای از حدود ۱۶۰ تا ۴۰۰ نانومتر دارند.

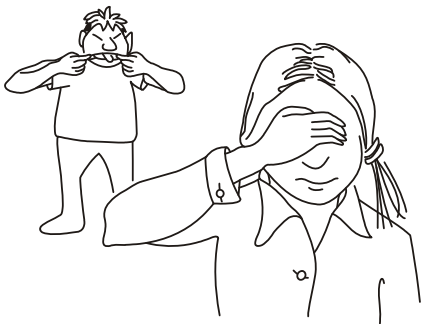
هایپوترمیا

اگر لرزیدن نتواند تعادل را به بدن بازگرداند، دمای داخلی بدن شروع به پایین آمدن می‌کند و به وضعیتی که به هایپوترمیا معروف است، می‌رسد. در مراحل اولیه می‌توان این بیماری را با هدایت مستقیم حرارت به بدن از راه غذا، حمام، سونای گرم و ... معالجه کرد، اما ممکن است در مراحل نهایی آن منجر به کمای عمیق همراه با مرگ شود.

دیگر نیازهای زندگی انسان

در کنار غذا، آب، هوای تازه و شرایط حرارتی بهینه، جسم انسان نیازهای محیطی دیگری نیز دارد. مهم‌ترین این موارد بهداشت مناسب است.

چشم‌ها و گوش‌های انسان به عنوان مهم‌ترین ارگان‌های حسی بدن، مجموعه نیازهای محیطی مربوط به خودشان را دارند. امکان صدمه به چشم انسان در صورتی‌که حتی یک لحظه به خورشید نگاه کند یا به مدتی طولانی به منظره روشن برفی یا ماسه‌ای خیره شود، وجود دارد. در صورتی که چشم به یک شیء بسیار درخشان در زمینه‌ای بسیار تاریک بنگرد و برعکس، دید، مشکل و دردناک خواهد شد. دید در سطوح بسیار پایین روشنایی، مشکل و غیردقیق است. چشم می‌تواند در سطوح پایین روشنایی تطابق را تغییر دهد تا اشیا را به خوبی ببیند، اما مکانیسم تطابق که شاید برای قادر ساختن انسان به دیدن در طی دوره شفق روز (گرگ و میش روز) گسترش می‌یابد، بسیار کند بوده و در طی چند دقیقه اتفاق می‌افتد.



گوش هم تا اندازه‌ای مشخصات مشابهی دارد؛ امکان دارد از صداهایی با بلندی بیش از حد آسیب ببیند (به ویژه در صورتی که در مدت طولانی رخ بدهند). شنیدن صداهای بسیار پایین و با شدت کم یا در صورتی که پس‌زمینه قوی سروصدا صدای خواسته را مبهم کند، مشکل است. اما تفاوت بسیار مهمی بین چشم‌ها و گوش‌های ما وجود دارد؛ زیرا با بستن پلک‌ها به تقریب تمام محرک‌های بصری قطع می‌شوند، درحالی‌که نمی‌توان عملکرد گوش‌ها را به راحتی متوقف کرد. (شکل مقابل)

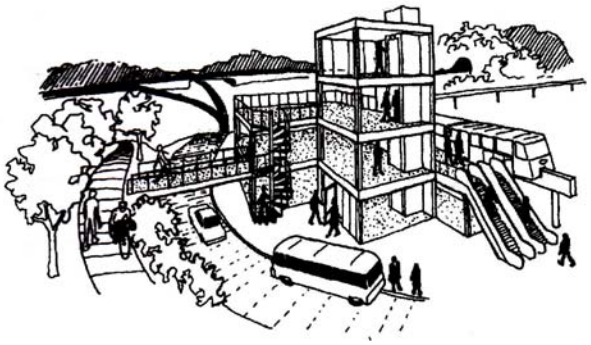
الزامات محیطی تمدن بشری

خانه باید مکانی سالم، امن و آشنا باشد که از وسایل شخصی پر شده، گاهی بسته و خصوصی بوده و گاهی اوقات مکانی اجتماعی برحسب اختیار صاحبانش است (شکل الف). انسان به انواع مختلفی از فضاهای تجمع، مکان‌هایی برای عبادت، ورزش، بازی، تفریح و فضاهایی که کارهای اداری و آموزشی در آن‌ها انجام می‌شود، احتیاج دارد. بسیاری از افراد نیاز دارند که به یکباره در این مکان‌ها حاضر شده و تمام نیازهایشان همزمان تأمین شود (شکل ب).

(الف) خانه گاهی محیط عمومی و گاهی خصوصی

(ب)

اجتماع انسانی احتیاج به تحرک دارد. ما نیاز داریم که قدم بزنیم تا به مدرسه و محل کار برویم و از موارد خوشایند مختلف شهر یا حومه لذت ببریم. شبکه جابه‌جایی انسانی ابتدا از در اتاق‌ها و کریدورها، پله‌ها و آسانسورها که اتاق‌ها را به هم وصل می‌کنند و ورودی‌ها که ساختمان و محیط خارج را ادغام می‌کند، شروع شده و با مسیرهای پیاده، خیابان‌ها، جاده‌ها و مکانیسم‌های حمل‌ونقل به راه‌هایی برای حرکت آسان و جابه‌جایی کالاها ادامه پیدا می‌کند. (شکل مقابل)



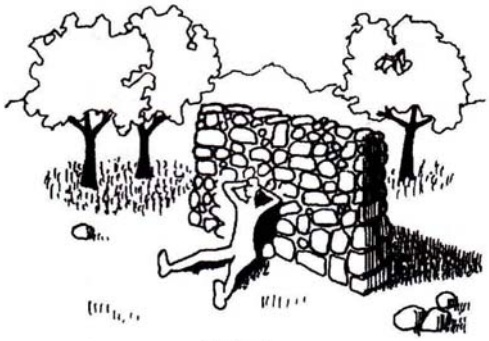
محیط اجتماعی متحرک

مفهوم سرپناه

در یک جامعه کشاورزی، جست‌وجوی سرپناه با استفاده بخردانه از مناظر طبیعی شروع می‌شود. افراد، سایت ساختمان‌ها را براساس کیفیت سرپناهشان با توجه به جهت تابش خورشید و بادهای غالب، زهکشی مناسب، توپوگرافی مفید و جالب، درختان و گیاهانی که سایه ایجاد کرده و یا باد را منحرف کرده و منابعی از آب تمیز، انتخاب می‌کنند.

در اقلیم‌های شمالی، زمین مرتفع‌تری که شیبی به سمت جنوب دارد، برای کاشت ضروری‌ترین محصولات، اختصاص داده می‌شود. کشاورزان از راه تجربه‌های شخصی می‌دانند که یخبندان‌های زودرس پاییز و دیرهنگام بهار، در نقاط کم‌ارتفاع اتفاق می‌افتد. آن‌ها فهمیده‌اند که گیاهان در مزارع رو به جنوب، که نور خورشید با شدت بیشتری نسبت به زمین‌های مسطح یا رو به شمال دریا می‌تابد، رشد می‌کنند. (شکل مقابل)

یک دیوار سنگی ساده خودایستا که در جهت شرقی ـ غربی احداث شده، می‌تواند از راه مقطع عمودی و ظرفیت حرارتی خود، منطقه‌ای کوچک، خنک و سایه‌دار در سمت شمال دیوار و در هوای گرم و آفتابی و منطقه‌ای در معرض باد کمتر در جنوب خود در هوای سرد، ایجاد کند. (شکل مقابل)



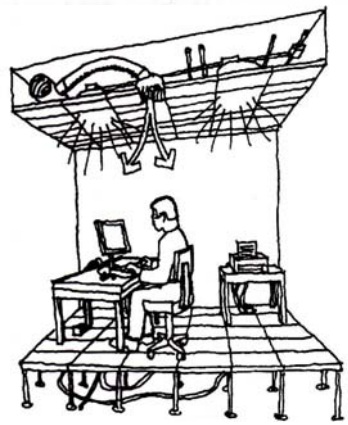
در مراحل پیشرفته‌تر مداخلات محیطی، سنگ‌فرش کردن یا ایجاد سکویی چوبی، فضایی با رطوبت کمتر را برای سکونت ایجاد می‌کند. سقف شیروانی باران و برف را از این منطقه دور نگه می‌دارد. (شکل مقابل)

سرپناه محافظ انسان در برابر نزولات جوّی

دیوارهای شرقی ـ غربی قابلیت شکست باد در سرپناه را افزایش داده و مانع ورود آفتاب زمستانی نمی‌شوند. شب‌هنگام، آتش در دهانه این سرپناه ساده، ساکنانش را از دو راه تابش مستقیم و منعکس‌شده از دیوار، گرم کرده و بخش کوچکی از گرمای آن نیز در سنگ‌ها ذخیره می‌شود تا پس از خاموش شدن آتش دمای فضای سرپناه را تعدیل کند. (شکل مقابل)

عملکرد پوشاک و سرپناه تا حد زیادی با یکدیگر تداخل دارد، اما امروزه با گذشت زمان، مردم کمتر خواستار پوشاک و به تناسب بیشتر خواستار سرپناه هستند. برخی از عملکردها مانند تهیه محل انبار بسته برای اشیای (لوازم) خانگی مختلف که قبل از این جدا از ساختمان قرار داشت، امروزه مشمول اجزای ساختمان مانند پستوها و کمدها شده است. ظرفشویی، وان، حمام، اجاق گاز و ظرفشویی اتوماتیک که روزی وسایلی قابل انتقال بودند، امروزه بخش‌های ثابتی از خانه‌ها هستند. در گذشته ساختمان‌های اداری با لامپ‌های قابل حملی روشن می‌شد که باید به‌طور دوره‌ای با نفت پر می‌شدند.

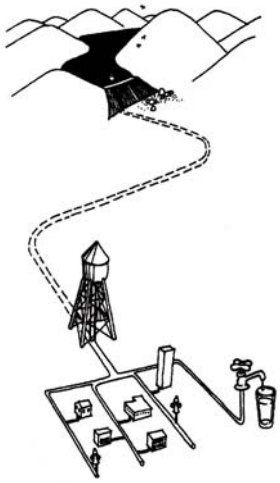
امروزه روشنایی چنین ساختمان‌هایی به‌طور معمول با تجهیزاتی که از ساختمان جدایی‌ناپذیرند، تأمین می‌شود و ساختمان نیروی الکتریسیته انرژی‌دهنده را به‌طور مستقیم به تجهیزات منتقل می‌کند.



ساختمان پیشرفته امروزی با وصل کردن منبع نور به منبع الکتریسیته

درسنامه (۳): آب

تأمین آب



تصفیه آب

صافی‌های آب و حوضچه‌های رسوب: جدا کردن ذرات ریز

هوادهی: پاک‌سازی از آلاینده‌ها

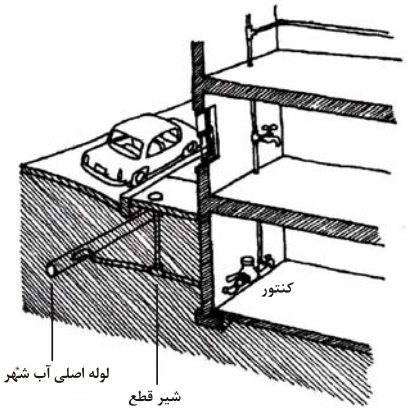
رسوب شیمیایی: پاک کردن آلاینده‌هایی مانند آهن و سرب

صافی مخصوص: پاک‌سازی سولفید هیدروژن

گاز کلر: برای میکروارگانیسم‌ها

فرایند داشتن آب تمیز برای نیازهای انسانی به سیستمی که سه قسمت اصلی دارد، نیازمند است:

۱) منبع آب، ۲) وسیله‌ای که در صورت نیاز آب را تصفیه کند، ۳) روشی برای توزیع آب در نقاط مختلف در داخل ساختمان‌ها.



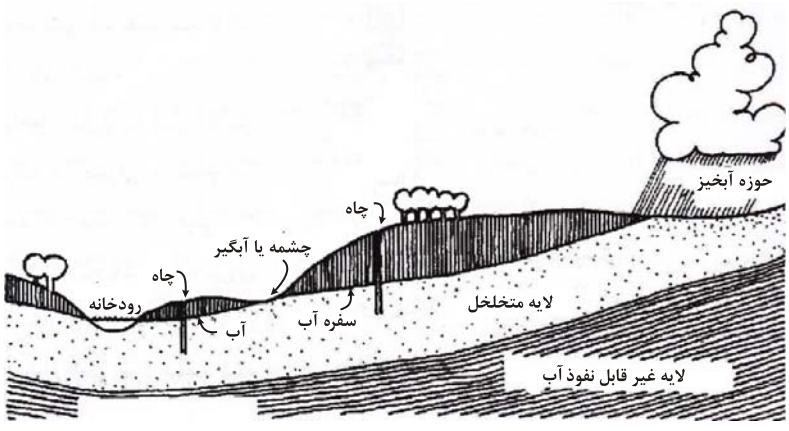
انتقال آب تا محل مصرف

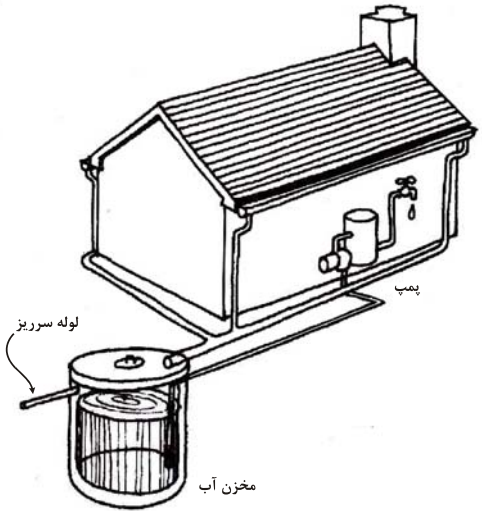
پیمانکاران لوله‌کش یا خدمه شهری، اتصال بین لوله‌های اصلی آب زیر خیابان و خانه‌های منفرد را برقرار می‌کنند. آن‌ها شیر قطع‌کننده زیرزمینی در لوله اتصال به شبکه هر ساختمانی را اغلب در جدول یا پیاده‌رو نصب می‌کنند تا بازرس انجمن محلی آب بتواند در مواقع ضروری یا عدم پرداخت قبوض آب، آب را قطع کند. به‌طور معمول جریان آب در داخل ساختمان اندازه‌گیری شده و هزینه‌ها به‌صورت دوره‌ای بر مبنای میزان آب مصرف‌شده ارزیابی می‌شود. برای سادگی، هزینه آب به‌طور معمول طوری محاسبه می‌شود که هزینه‌های تأمین آب و خدمات دفع فاضلاب را پوشش دهد.

سیستم‌های شخصی آب

سیستم آب باران هنوز رضایت‌بخش‌ترین منبع آب در مناطقی از جهان است که سطح آب‌های زیرزمینی عمیق‌تر از آن هستند که با چاه بهره‌برداری شود. با اینکه می‌توان مکان آبخیز مخصوصی در منطقه ساخته‌نشده سایت ساخت، اغلب اقتصادی‌تر است که از بام ساختمان برای جمع‌آوری آب استفاده شود. آب از راه ناودان‌ها و لوله‌ها به مخازن آب منتقل خواهد شد، که می‌تواند با پمپ یا به‌صورت دستی برداشت شود.

در یک چاه معمولی، سطح آب کمی پایین‌تر از سطح زمین قرار دارد. چاه آرتزین، چاهی است که از لایه‌ای بهره‌برداری می‌کند که با جریان آب از ارتفاع بالاتر، تحت فشار قرار گرفته است. چنین لایه‌ای اغلب اتفاقی ایجاد می‌شود، اما فشار به ندرت تا حدی بالا خواهد بود که آب را در تمام مسیر خارج از دهانه چاه به جلو براند. در هرکدام از انواع چاه، پمپی باید نصب شود تا آب را بالا کشیده و آن را در لوله‌های توزیع ساختمان به جلو براند.





مدرسان شریف

فصل چهارم

«طراحی لرزه‌ای»

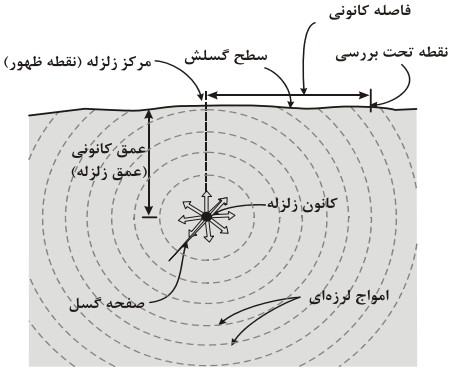
درسنامه (۱): زلزله و لرزش زمین

سطحی را که در امتداد شکست پوسته زمین در اثر زلزله قرار می‌گیرد، گسل زلزله گویند. در بسیاری از زمین‌لرزه‌ها، گسل را می‌توان بر روی سطح زمین مشاهده کرد. در اغلب موارد، ترکیب تغییر شکل‌های افقی و عمودی زمین، اندازه‌ای در حد یک متر دارند.

نقطه‌ای بر روی سطح گسل را که به‌عنوان نقطه آزادشدن انرژی تلقی می‌شود، کانون زلزله می‌نامند. تصویر عمودی فاصله کانون تا سطح زمین، که به عمق کانونی (عمق زلزله) موسوم است، مرکز زلزله را تعیین می‌کند.

صفحه گسل با تغییر شکل عمودی قابل ملاحظه است، زلزله منطقه چی‌چی تایوان سال ۱۹۹۹

ساختمان‌های خاصی که نیازمند عملکرد لرزه‌ای بهتری هستند (مانند بیمارستان‌ها و ایستگاه‌های آتش‌نشانی)، برای تحمل زلزله‌های شدیدتری طراحی می‌شوند. در چنین مواردی، دوره بازگشت زلزله مبنای طرح افزایش یافته و به بیش از ۱۰۰۰ سال خواهد رسید. بنابراین، طراحان چنین ساختمان‌های مهمی، بیشینه مقدار شتاب را در طرح خود لحاظ می‌کنند (هرچه دوره بازگشت طولانی‌تر باشد، زلزله شدیدتر و شتاب زمین نیز بیشتر خواهد بود).



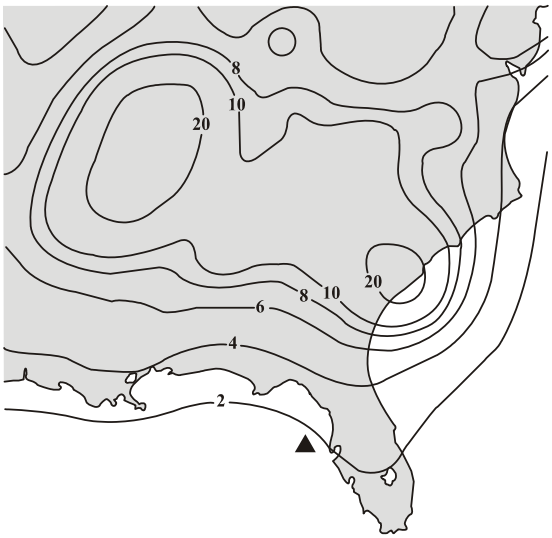
شرح تصویری اصطلاحات اصلی زلزله

شکل مقابل بخشی از نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای **آمریکا** را نشان می‌دهد. بیشتر کشورها نیز برای خود چنین نقشه‌ای تهیه کرده‌اند.

بزرگی زلزله را براساس مقیاس ریشتر (Richter Scale) تعریف می‌کنند که به شکل یک تابع لگاریتمی است که با تغییرات انرژی آزادشده، متناسب است. یک واحد افزایش بزرگی زلزله، به معنای ۳۰ برابر افزایش انرژی و دو واحد افزایش آن، به مثابه ۹۰۰ برابر انرژی بیشتر است.

عواملی که بر بزرگی زمین‌لرزه تأثیر می‌گذارند، یکی فاصله سایت از مرکز زلزله (فاصله کانونی) است و دیگری شرایط محلی خاک که بر شدت ارتعاش در سایت تأثیر می‌گذارند.

شدت زلزله بازتابی از این واقعیت است که مردم چگونه تکان‌های زمین را تجربه می‌کنند؛ همچنین میزانی از خسارت که از زلزله برجای می‌ماند.



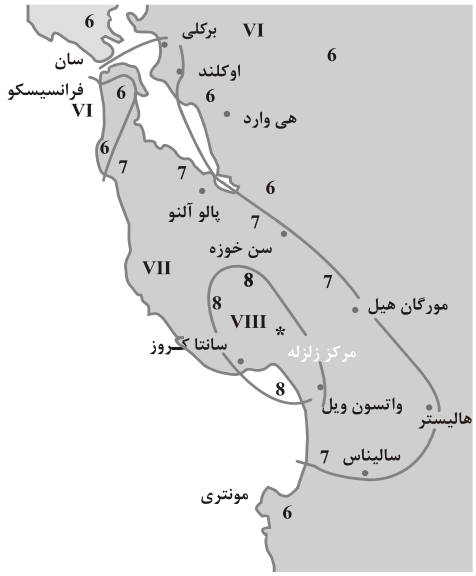
نقشه بخشی از آمریکا، شتاب افقی زلزله را بر حسب درصدی از شتاب ثقلی نشان می‌دهد. مقادیر داده‌شده برای ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه بناشده بر بستر سنگی قابل استفاده است.

با وجود اینکه مقیاس‌های متعددی برای سنجش شدت زلزله در شرایط ویژه و در کشورهای مختلف تعریف شده، اما می‌توان گفت همه آن‌ها شبیه بـه مقیاسـی بین‌المللی موسوم به «مقیاس مرکالی اصلاح‌شده» (Modified Mercalli Intensity Scale) هستند که در جدول زیر به اختصار شرح داده شده است.

خلاصه‌ای از مقیاس مرکالی اصلاح‌شده (MMI)

شدت	شرح
I تا III	به‌جز در وضعیت‌های خاص، حس‌کردنی نیست.
IV	در حالت کلی احساس می‌شود، اما آثار تخریبی برجای نمی‌گذارد.
V	توسط افراد نزدیک احساس می‌شود. گلدان‌ها و ظروف سفالی شکسته، اشیا واژگون شده و در برخی موارد، نازک‌کاری‌ها ترک می‌خورد.
VI	همه آن را احساس کرده، برخی مبلمان سنگین جابه‌جا شده، برخی نازک‌کاری‌ها فرو ریخته و دودکش‌ها آسیب می‌بینند.
VII	از آسیب‌های قابل اغماض در ساختمان‌هایی که به‌خوبی طراحی و ساخته شده‌اند، تا آسیب‌های جدی در ساختمان‌های بی‌کیفیت. برخی دودکش‌ها شکسته می‌شوند.
VIII	بسته به کیفیت طراحی و ساخت، طیف آسیب‌های واردآمده، از مقادیر ناچیز تا تخریب بخشی از ساختمان تغییر می‌کند. دودکش‌ها، بناهای یادمانی و دیوارها می‌افتند.
IX	سازه‌هایی که خوب طراحی شده‌اند، تخریب شده و آسیب‌های جدی می‌بینند و در آن‌ها تغییر شکل‌های دائمی رخ می‌دهد. بخشی از ابنیه، تخریب شده یا از روی شالوده خود سر می‌خورند.
X	برخی سازه‌های چوبی خوب ساخته‌شده و بیشتر ساختمان‌های ساخته‌شده از مصالح بنایی و سازه‌های قابی، تخریب می‌شوند.
XI	تعداد کمی از ساختمان‌های بنایی (اگر وجود داشته باشد) پابرجا خواهد ماند.
XII	بیشتر ساختمان‌ها، به‌شدت آسیب دیده یا ویران می‌شوند.

با استفاده از این مقیاس که براساس مصاحبه‌های انجام‌شده با نجات‌یافتگان زلزله و مشاهدات عینی تخریب و آسیب‌های ناشی از زلزله، تدوین شده، می‌توان شکل کلی نقشه شدت زمین‌لرزه یا نقشه هم‌لرزه‌نما (Isoswismal) را برای هر منطقه تحت تأثیر زلزله ترسیم کرد (شکل مقابل).



نقشه‌ای که نمایانگر «توزیع شدت مرکالی اصلاح‌شده» برای زلزله لوما پریتا کالیفرنیا در سال ۱۹۸۹ است.
اعداد رومی نشان داده‌شده بیانگر شدت زمین‌لرزه بین خطوط هم‌لرزه است و اعداد لاتین نشان‌دهنده شدت مشاهده‌شده است.

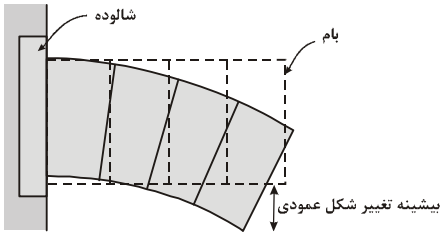
ویژگی‌های لرزش زمین

از منظر طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله، سه ویژگی لرزش زمین عبارت‌اند از:

۱ـ مقدار شتاب بیشینه زمین،

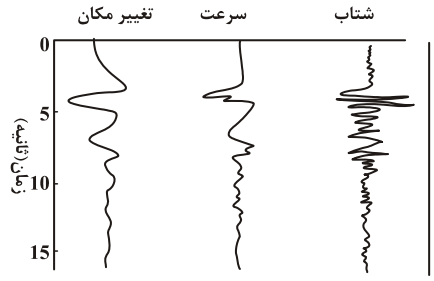
۲ـ مدت‌زمان تکانه‌های قوی،

۳ـ فرکانس لرزش.



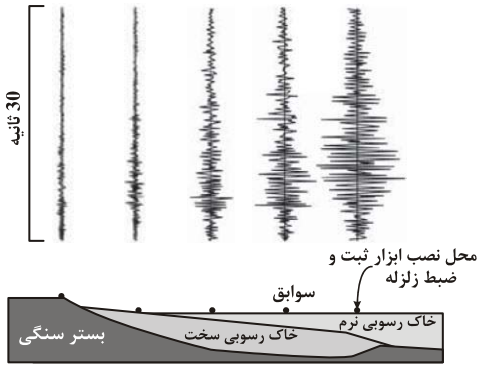
ساختمانی که بر یک وجهش خوابیده شده و طره شده، شتابی معادل 1g به صورت عمودی تجربه می‌کند
(منظور نیروی برشی ایجادشده در تکیه‌گاه یک تیر طره‌ای است که تحت بارگذاری ناشی از وزن آن پدید می‌آید).

سابقه شتاب‌های زلزله ثبت‌شده، از دستگاه لرزه‌نگار به‌دست می‌آید؛ دستگاهی که تغییرات سریع شتاب یا سرعت را طی مدت زلزله ثبت و ضبط می‌کند.
با تحلیل ریاضی این سوابق، نمودارهای سرعت و تغییر مکان ناشی از زلزله برحسب زمان به‌دست می‌آید. شکل مقابل حاکی از حرکتی به اندازه ۰/۲ متر در یک راستا و ۰/۳ در راستای دیگر طی ۱۵ ثانیه است.
ویژگی مهم دیگر در لرزش زمین، جهت تصادفی ارتعاش است. با وجود اینکه ممکن است لرزش‌های غالب یک زمین‌لرزه در یک راستا قوی‌تر باشد، به‌منظور طراحی باید همواره لرزش زمین را در حالت کلی در سه بعد لحاظ کرد.
شکل مقابل، یک مثال متداول از حرکات نامنظمی را به تصویر می‌کشد که زلزله عامل آن است.
لرزش در جهت‌های اتفاقی، اهمیت فوق‌العاده‌ای برای طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله دارد.



یک صفحه حافظه شتاب‌نگار که یک زلزله کوچک را نشان می‌دهد. در این تصویر جهت‌های تصادفی شتاب افقی زلزله را نشان می‌دهند. حلقه‌های شماره‌گذاری‌شده اندازه شتاب‌ها را برحسب مضربی از ۰/۱ از شتاب گرانش زمین نشان می‌دهد.

در شکل مقابل نشان داده شده است که در محل‌های دارای خاک رسوبی نرم، شتاب افزایش و فرکانس کاهش می‌یابد و در زمین سنگی سخت برعکس.

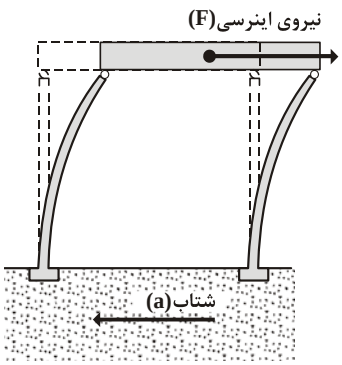


چگونگی مقابله ساختمان‌ها با زلزله

این مبحث به اصول اولیه مقابله ساختمان‌ها با زلزله خواهد پرداخت. عواملی نظیر ویژگی‌های دینامیکی زلزله، مدت‌زمان و نیز تأثیرات شرایط سایت بر آن، همه متغیرهایی بودند که در بیرون ساختمان رخ می‌دادند. بدون توجه به اینکه ساختمان خوب یا ضعیف طراحی شده باشد، در هر حال کنترلی بر این عوامل بیرونی ندارد، اما چنانچه خواهیم دید، ترکیب عواملی همچون فرم ساختمان، مصالح آن و ویژگی‌های دینامیکی‌اش، همچنین کیفیت طراحی سازه‌ای و ساخت ساختمان، به شکل عمده‌ای بر نحوه واکنش ساختمان به لرزه‌هایی که آن‌ها را تجربه می‌کند، تأثیر خواهد داشت.

ماهیت نیروهای لرزه‌ای

نیروهای لرزه‌ای در حقیقت، نیروهای اینرسی هستند. هنگامی‌که هر جسمی، مثل یک ساختمان، لرزش و ارتعاش را تجربه می‌کند، به‌دلیل اینکه جرم آن در برابر لرزش مقاومت می‌کند، نیروهای اینرسی در آن پدید می‌آید. می‌توان نیروهای اینرسی را به هنگام سفرکردن به‌خوبی تجربه کرد. به‌ویژه زمانی‌که در اتوبوس یا قطار ایستاده باشیم، هر تغییری در سرعت وسیله نقلیه (شتاب) موجب می‌شود که تعادل خود را از دست بدهیم و ما را وادار می‌کند تا وضعیت خود را تغییر دهیم تا نیفتیم و بتوانیم تعادل خود را حفظ کنیم.
قانون دوم نیوتن، $F = Ma$ کیفیت نیروی اینرسی (F) را معلوم می‌کند. M، جرم جسم است که با تقسیم وزن آن بر شتاب گرانش زمین به‌دست می‌آید. در این رابطه، a شتاب جسم خواهد بود که متغیری وابسته است (شکل مقابل). این معادله، ابتدایی‌ترین معادله برای طراحی لرزه‌ای ساختمان‌هاست.



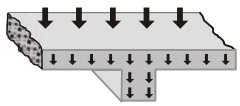
نیروی اینرسی واردشده هنگامی که ساختمان (دارای ستون‌های طره‌ای) شتاب را در پایه خود تجربه می‌کند.

نیروهای اینرسی در درون ساختمان عمل می‌کنند. این نیروها در واقع از نوع نیروهای داخلی هستند که در نتیجه حرکت‌های جانبی زمین زیر ساختمان، شتاب افقی به بخش روبنایی ساختمان (از پایین به بالا) منتقل شده و در تمامی ساختمان نیروهای اینرسی داخلی ایجاد می‌کند.

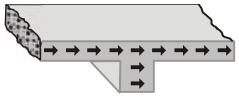
نیروهای اینرسی، بر تمامی اجزا و اشیای داخل ساختمان تأثیر می‌گذارند. هر مترمربع از ساختمان، مانند دال کف یا دیوار، دارای وزن بوده و در نتیجه جرم دارند. شبیه به نیروهای ثقلی که به‌صورت عمودی بر اجزای ساختمانی نظیر دال کف اثر می‌کنند، رفتار نیروهای اینرسی لرزه‌ای نیز به همین ترتیب است، با این تفاوت که نیروهای یادشده، به‌صورت افقی عمل می‌کنند (شکل مقابل).

شباهت‌های بیشتری بین نیروهای ثقلی و اینرسی وجود دارد. همان‌گونه که می‌توان فرض کرد مجموع نیروهای ثقلی به یک نقطه از جسم موسوم به مرکز جرم وارد می‌شود، می‌توان گفت که برایند نیروهای اینرسی نیز به همان نقطه وارد می‌شود.

از آنجایی که بیشتر وزن ساختمان بر سقف‌ها و کف‌ها متمرکز است، طراحان به‌منظور سادگی محاسبات، فرض می‌کنند نیروهای اینرسی نیز بر مرکز جرم صفحات سقف و کف مؤثر است. در اغلب ساختمان‌ها، مرکز جرم منطبق بر مرکز پلان است.

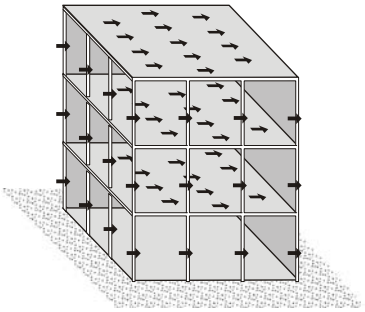


بارها و نیروهای ثقلی

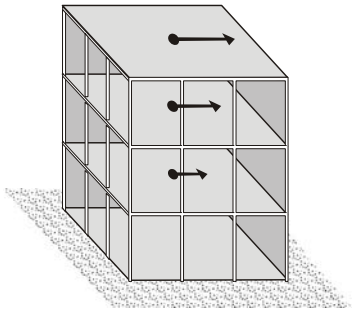


نیروهای اینرسی افقی

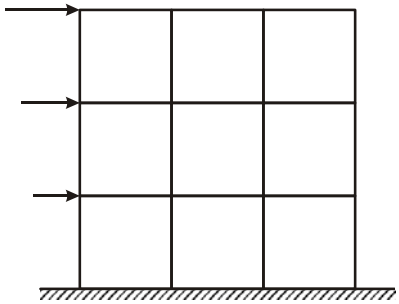
بخشی از بتن کف که تفاوت بین نیروهای ثقلی و نیروهای اینرسی افقی را نشان می‌دهد.



الف) توزیع نیروهای اینرسی در کف‌ها، ستون‌ها و دیوارها



ب) ساده‌سازی: نیروی اینرسی بر مرکز جرم هر طبقه اثر می‌کند.

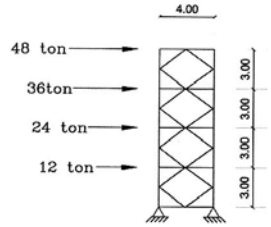


ج) ساده‌سازی بیشتر: نمایش نیروهای اینرسی به صورت نیروهای خارجی مؤثر بر ساختمان

روند ساده‌سازی مسئله در چگونگی وارد شدن نیروهای اینرسی بر ساختمان که به صورت گرافیکی شرح داده شده است.

مثال۱: توزیع نیروها در ارتفاع ساختمان زیر نشان‌دهنده آن است که نیروهای جانبی وارد بر ساختمان ناشی از ..... می‌باشد.

(هنرهای ساخت و معماری ـ سراسری ۹۰)



۱) زلزله

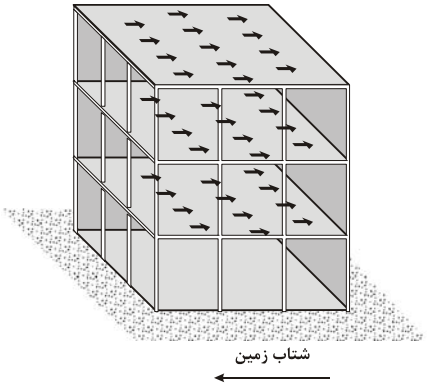
۲) باد

۳) باد و زلزله

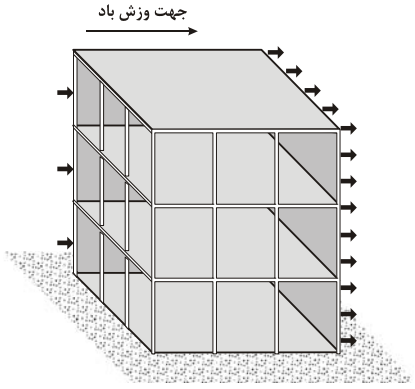
۴) تغییر درجه حرارت

☑ **پاسخ:** گزینه «۱»

تفاوت نیروی باد و نیروی اینرسی: ۱ـ نیروی باد نوعی نیروی خارجی مؤثر بر بنا است (بزرگی و نقطه اثر نیروی باد را سطحی که تحت اثر باد است، تعیین می‌کند). ۲ـ نیروهای اینرسی از نوع بارهای متناوب هستند (ساختمان را به حرکت رفت و برگشت مجبور می‌کنند).



ب) نیروهای اینرسی درون حجم ساختمان و متناسب با جرم عمل می‌کنند.

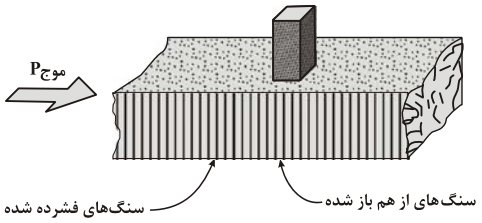


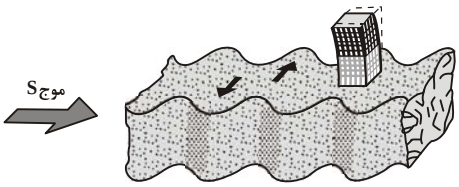
الف) تأثیر باد بر سطوح عمود بر جهت وزش باد، نیرو در جهت Y نشان داده نشده است.

مقایسه بین نیروهای خارجی ناشی از باد و نیروهای اینرسی داخلی

نکته ۱: وجه مشترک اینرسی و باد این است که به صورت افقی بر ساختمان وارد می‌شوند. اگرچه وزش باد مکش ناشی از بادها با جهت وزش نزدیک به خط عمود بر بام ساختمان اثر می‌کند و زلزله (اینرسی) نیز شتاب گرانش عمودی دارد، ولی بر ساختمان تأثیر کمی دارد و تنها در دهانه‌های بیش از ۲۰ متر یا طره‌های افقی قابل توجه مؤثر است.

این شکل نشان می‌دهد که چگونه میراشدن انرژی سبب کاهش بزرگی ارتعاشات افقی در چرخه‌های متوالی می‌شود.





عواملی که بر شدت نیروهای زلزله مؤثرند:

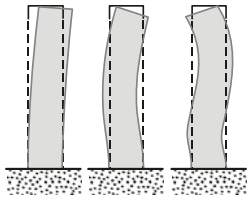
۱ـ وزن ساختمان: تنها و مهم‌ترین عامل که نیروی اینرسی یک ساختمان را تعیین می‌کند، وزن بنا است. قانون نیوتن توضیح می‌دهد که نیروی اینرسی متناسب با جرم و وزن است.

۲ـ زمان تناوبی طبیعی ارتعاشات: این زمان به مدت‌زمان انجام یک نوسان کامل گفته می‌شود که واحد اندازه‌گیری آن ثانیه است و به سه عامل بستگی دارد:

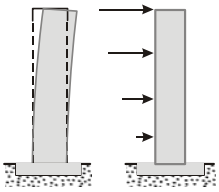
الف) ارتفاع از ساختمان که بیشترین تأثیر را دارد. برای یک ساختمان تعداد طبقات در ۰/۱ ضرب می‌شود؛ مثال: زمان تناوب طبیعی یک ساختمان ده طبقه ۱ ثانیه است.

ب) وزن بنا: هرچه ساختمان سنگین‌تر باشد، زمان تناوب آن بیشتر است.

ج) نوع سیستم سازه‌ای: ساختمان با سیستم انعطاف‌پذیری بیشتر و سختی کمتر زمان تناوب طولانی‌تری دارد.



(الف) سه مد نخست ارتعاش برای یک برج

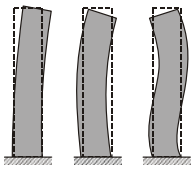


(ب) مد نخست ارتعاش و نیروهای اینرسی متناظر آن

زمان تناوب طبیعی ارتعاش، ۰/۰۵ ثانیه برای ساختمان صلب یک‌طبقه و حدود ۷ ثانیه برای ساختمان‌های بلند می‌باشد. (شکل مقابل)

یکی از بلندترین ساختمان‌های دنیا، برج تایپه، تایوان

مثال ۲: شکل زیر نشان‌دهنده چیست؟ (هنرهای ساخت و معماری ـ سراسری ۹۴)



۱) تغییر شکل‌های ناشی از تأثیر باد

۲) نحوه ارتعاش سه برج در یک زلزله

۳) سه مد نخست ارتعاش برای یک برج

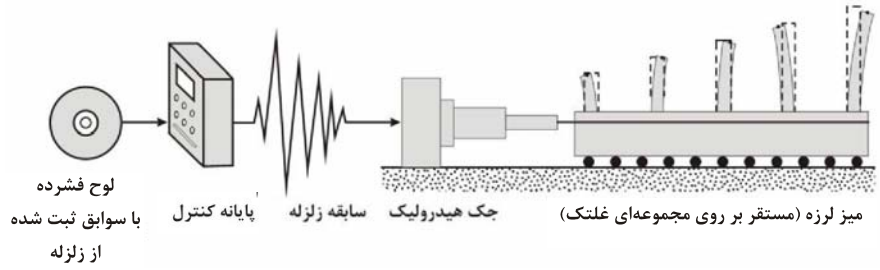
۴) مدهای ارتعاشی در اثر باد، زلزله و ترکیب آن‌ها

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» اگر به گزینه (۲) دقت کنید، به گونه‌ای نوشته که گویی سه برج مختلف و متفاوت نشان داده شده که همین مسئله باعث اشتباه شدن آن شده است؛ از طرفی این برج تحت تأثیر بار جانبی زلزله قرار می‌گیرد و این سه مُد نخست زلزله را که بسیار تأثیرگذار است، نشان می‌دهد. در بین این سه مد نخست، مُد اول بسیار مهم است.

۳ـ میراکنندگی: میرا کردن انرژی زلزله، ویژگی دیگر ساختمان است که اهمیت کمتری نسبت به موارد دیگر دارد.

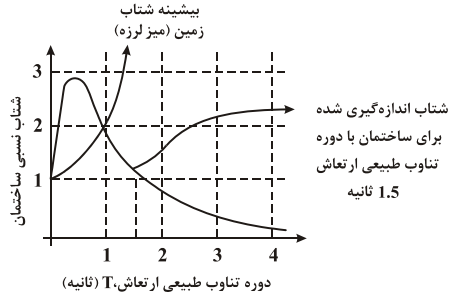
سازه‌های بتن مسلح، دارای خاصیت میراکنندگی بیشتری نسبت به سازه‌های فولادی هستند، اما خود سازه‌های بتنی نسبت به ساختمان‌های چوبی میراگری کمتری دارند.

۴ـ طیف واکنش: در شکل زیر نشان داده شده است که ایجاد طیف واکنش از سوابق زلزله است که به وسیله میز لرزه‌ای (shaking table) ایجاد می‌شود. میز لرزه صفحه افقی شبیه به میز است که لرزش‌های ناشی از زلزله را ثبت می‌کند.



زمانی‌که میز لرزه سوابق یک زلزله واقعی را شبیه‌سازی می‌کند، ارتعاش ساختمان‌ها نسبت به‌هم متفاوت بوده و بیشینه شتاب افقی هریک اندازه‌گیری شده و بر روی یک نمودار ترسیم می‌شود (شکل الف). اگرچه رویه‌ای که در بالا پیرامون آن بحث شد، در عمل از تجهیزات مکانیکی مثل میز لرزه استفاده می‌کند اما با وجود این، به مراتب از مدل‌هایی که کاملاً به‌وسیله رایانه تهیه می‌شوند، مناسب‌تر بوده و به واقعیت نزدیک‌ترند. البته همه طیف‌های واکنش، توسط رایانه تولید می‌شوند.
شکل طیف واکنش نشان می‌دهد که چگونه زمان تناوب طبیعی ارتعاش یک ساختمان، تأثیر کلانی بر بیشینه افقی که ساختمان تجربه خواهد کرد، باقی خواهد گذاشت و به تبع، چنین تأثیر بزرگی را نیز بر اندازه نیروهای اینرسی که ساختمان برای آن‌ها باید طراحی شود، خواهد گذاشت. با مراجعه به شکل (ب)، می‌توان دریافت که شتاب بیشینه برای یک ساختمان با دوره تناوب طبیعی ۰/۰ ثانیه، با ۱/۰ واحد شتاب معرفی شده است. این نقطه از طیف شتاب، بیانگر بیشینه شتاب زمین خواهد بود. بی‌شک، ساختمان با دوره تناوب طبیعی طولانی‌تر بر شدت شتاب زمین خواهد افزود. به‌عنوان مثال، ساختمان‌های با T بین ۰/۲ تا ۰/۷ ثانیه، در اثر شتاب رفت و برگشتی زمین دچار تشدید می‌شوند که تشدید موجب خواهد شد حرکت این‌گونه ساختمان‌ها، ۳ برابر افزایش یابد. حال، اگر زمان تناوب طبیعی ساختمان افزایش یافته و از ۰/۷ تا ۱/۷ ثانیه تغییر کند، شتاب بیشینه ساختمان رو به نزول گذاشته و به میزان شتاب بیشینه زمین خواهد رسید. با دوره تناوبی فراتر از ۱/۷ ثانیه، کم‌شدن شتاب بیشینه ادامه یافته تا اینکه در دوره تناوب $T = ۴$ ثانیه، شتاب بیشینه ساختمان تنها ۰/۳ شتاب بیشینه زمین خواهد بود. بنابراین، بسته به اندازه زمان تناوب طبیعی ارتعاش، می‌توان تا حدود ۱۰ برابر افزایش در شتاب بیشینه ساختمان را انتظار داشت. بنایی با $T = ۴(S)$ بنایی در حدود ۴۰ طبقه لازم است که تنها برای ۱۰ درصد نیرویی طراحی شود که برای ساختمانی با وزن مشابه اما با $T = ۲(S)$ (ساختمانی ۲ طبقه) لحاظ می‌شود. در حالت کلی، هرچه زمان تناوب طبیعی ارتعاش طولانی‌تر شود، شتاب بیشینه و نیروی ناشی از زلزله کمتر خواهد بود.

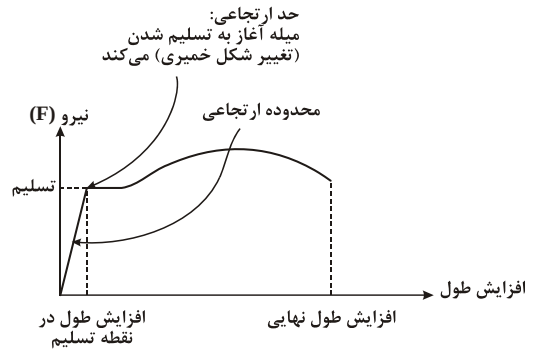
الف) طیف واکنش برای یک سابقه زلزله



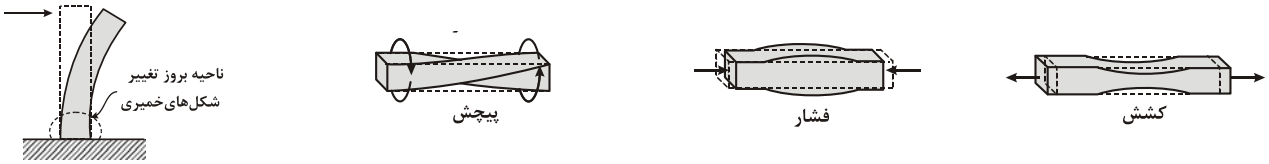
ب) بارگذاری متداول قراردادی برای خاک با مقاومت متوسط

۵ـ شکل‌پذیری

شکل‌پذیری، نقطه مقابل شکنندگی است. زمانی‌که مصالحی شکننده یا شکل‌ناپذیر مانند شیشه یا بتن، تحت کشش قرار می‌گیرند، به‌طور ناگهانی به حد ارتجاعی خود رسیده و گسیخته می‌شوند. مصالح شکل‌پذیر نظیر فولاد در این آزمایش، ابتدا به حد ارتجاعی خود رسیده و پس از آن شروع به تغییر شکل‌های خمیری (پلاستیک) می‌کنند. این نوع مصالح با افزایش نیرو از خود مقاومت نشان می‌دهند، تا اینکه در اثر تغییر طول‌های زیاد گسیخته شوند.
در شکل زیر، رفتارهای شکل‌پذیر و شکننده برای تمامی حالت‌های عملکرد سازه‌ای که امکان‌پذیر باشد به تصویر کشیده شده است.



نمودار نیروی کششی بر حسب تغییر طول برای یک میله فولادی



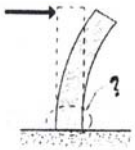
رفتار سازه‌ای مختلف که می‌تواند سبب تغییر شکل در اعضای سازه‌ای شود.

یک مفصل خمیری (Plastic hinge) یا جاری‌شدگی (فیوز) سازه‌ای (Structural fuse) زمانی اتفاق می‌افتد که تنش خمشی واردشده به مفتول، از مقاومت خمشی‌اش بیشتر باشد. انتخاب اعضای سازه‌ای شکل‌پذیر، لزوماً به داشتن سازه‌ای شکل‌پذیر منتهی نمی‌شود. سطح مقطع بحرانی اعضای سازه‌ای و اتصالات آن‌ها باید به‌خوبی و با جزئیات مناسب طراحی شوند تا بتوان از طبیعت شکل‌پذیر بودن مصالح به‌خوبی بهره برد. برای مثال، اگر یک عضو فولادی فشاری، خیلی بلند باشد، پیش از اینکه به رفتار خمیری (سازوکاری شکل‌پذیر مبتنی بر بارگذاری زیاد) برسد، متحمل پدیده شکل‌ناپذیر کمانش خواهد شد. چنانچه اتصالات پیچی یا جوشی این عضو، ضعیف‌تر از خود عضو سازه‌ای باشند، پیش از آنکه عضو به مرحله تغییر شکل‌های خمیری برسد، اتصالات از هم گسیخته خواهند شد.

نکته۲: شکل‌پذیری سطح میراکنندگی مؤثر ساختمان را افزایش می‌دهد.

نکته۳: طی فرایند جاری‌شدن، فیوز سازه‌ای از واردشدن نیروی بیشتر به اعضا یا سازه و صدمه‌دیدن نقاط دیگر جلوگیری می‌کند.

مثال۳: در شکل زیر در صورت وارد شدن نیروی جانبی نشان داده‌شده و درصورتی که سازه فولادی باشد، علامت سؤال نشان‌دهنده چیست؟
(هنرهای ساخت و معماری ـ سراسری ۹۱)



۱) فیوز سازه‌ای
۲) مفصل خمیری
۳) ناحیه بروز تغییر شکل‌های خمیری
۴) ناحیه بروز تغییر شکل‌های دائمی

پاسخ: گزینه «۳» ناحیه نشان داده‌شده در شکل، ناحیه‌ای است که بیشترین نیرو به آن وارد می‌شود که در آن ناحیه تغییر شکل‌های خمیری پدید می‌آید.

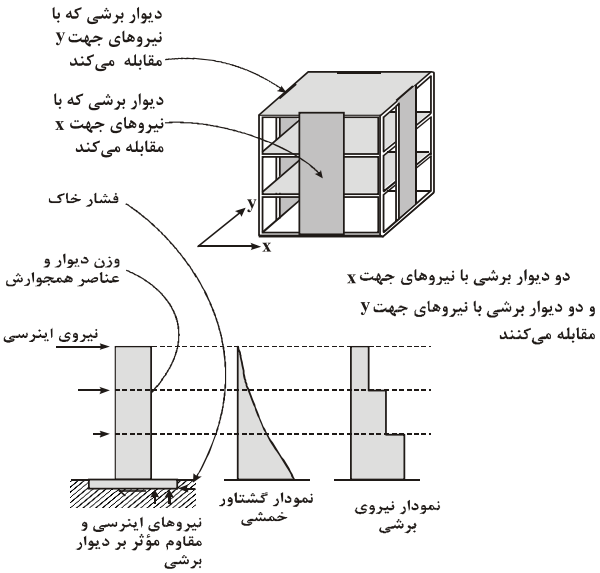
درسنامه (۲): مقابله با نیروهای لرزه‌ای

ساختمان برای مقابله با نیروهای افقی لرزه‌ای، باید از مقاومت و سختی (صلبیت) کافی برخوردار بوده و علاوه بر آن، در اغلب موارد از شکل‌پذیری کافی نیز برخوردار باشد.

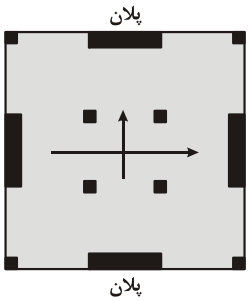
مقاومت

بخش روبنایی هر ساختمان، نیازمند مقاومت سازه‌ای کافی برای مقابله با گشتاورهای خمشی و نیروهای برشی است که به‌وسیله نیروهای زلزله ایجاد می‌شوند. همچنین، ساختمان باید دارای سیستم شالوده‌ای باشد که توانایی پیشگیری از واژگونی یا لغزش ساختمان را داشته باشد. ساختمان نشان داده‌شده شکل زیر را فرض کنید.

دو دیوار برشی با نیروهای اینرسی در دو راستای x و y مقابله کرده و این نیروها را به شالوده منتقل می‌کنند. این دیوارها در رابطه با گشتاورهای خمشی و نیروهای برشی، که اساس طراحی آن‌ها را تشکیل می‌دهد و نیز ارضای الزامات آیین‌نامه لرزه‌ای، طراحی شده‌اند. تأثیرات خمشی و برشی که از سطح بام به سمت پایین با افزایش روبه‌رو شده و در تراز پایه دیوارها به مقدار بیشینه خود می‌رسند، به‌واسطه شالوده تحمل شده و به زمین منتقل می‌شوند.



ساختمان با دیوار برشی که در دو جهت متعامد با نیروی اینرسی مقابله می‌کند و نمودارهای نیرو مؤثر بر دیوار و گشتاور خمشی و نیروی برشی



بزرگی نسبی نیروهای مؤثر بر هر امتداد در پلان ناشی از نیرویی با زاویه θ

صلبیت و سختی

سختی ساختمان، به‌تقریب هم‌ارزش مقاومت آن بوده و به همان اندازه مهم است. هرچه ساختمان سخت‌تر باشد، در برابر نیروهای زلزله به تغییر شکل کمتری دچار خواهد شد. هرچند همانگونه که پیش از این بیان شد، زمان تناوب طبیعی ارتعاش کوتاه‌تر، سبب سخت‌تر شدن ساختمان است که بتواند نیروهای لرزه‌ای بزرگ‌تری را به خود جذب کند. اگرچه ممکن است ساختمان به حد کافی مقاوم باشد، اما اگر سختی آن کم باشد، سبب می‌شود که تغییر شکل‌های بسیار زیادی در آن رخ داده و در نتیجه اعضای غیرسازه‌ای آسیب جدی ببینند و ساختمان مستعد فروریختن شود. هرچه تغییر شکل‌ها بیشتر شود، مرکز جرم ساختمان از محل طبیعی خود به‌صورت افقی جابه‌جا شده و اثر وزن ساختمان، خود بر ناپایداری بنا می‌افزاید. به همین دلایل است که آیین‌نامه‌های طراحی، حداکثر تغییر شکل‌های لرزه‌ای ساختمان را محدود می‌کنند.

هنگامی‌که چند عضو به کمک هم نیرویی را تحمل کنند، عضوی که سختی بیشتری دارد، سهم بیشتری از نیرو را به خود اختصاص خواهد داد. سختی یک جسم متناسب با ممان اینرسی (I) آن است. در رابطه ممان اینرسی داریم:

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

که b برابر عرض یا پهنای جسم و d عمق جسم در راستای موازی با جهتی است که با نیرو مقابله می‌شود. شکل مقابل را در نظر بگیرید. از آنجا که هر دو دیوار، عرضی برابر (b) دارند، سختی نسبی آن‌ها متناسب 1^3 و 2^3 است؛ به عبارت دیگر، نسبت ۱ به ۸. دیوار با عرض کمتر، یک‌نهم یا ۱۱ درصد نیرو را تحمل خواهد کرد و دیوار عریض‌تر، هشت‌نهم یا ۸۹ درصد نیرو را.

مدرسان شریف

فصل پنجم

«تیرها و قاب‌ها»

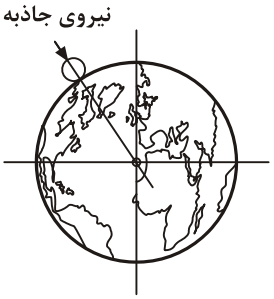
بار: مفهوم بار در اصل به معنای نیروهای وارد بر سازه است. وظیفه اصلی یک سازه «انتقال بار» است.

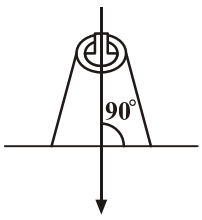
درسنامه (۱): بارها

تقسیم‌بندی بارهای وارد بر سازه

۱) بارهای طبیعی: بارهایی که ناشی از طبیعت است و به‌وسیله طبیعت ایجاد می‌شود.
۲) بارهای عملکردی (بار مفید): بارهایی که هدف سازه، به‌وجود آمدن آن عملکردهاست.
۳) بارهای تصادفی: در اثر به‌کارگیری نادرست سازه ایجاد می‌شوند.

بارهای ناشی از وزن و باد، دو نوع از بارهای طبیعی هستند که سازه ساختمان همواره باید در مقابل آن مقاومت کند. بارهای طبیعی دیگری نیز وجود دارند که سازه باید در مقابلشان مقاومت کند که شامل: ۱) نیروی خاک و آب، ۲) زلزله، ۳) درجه حرارت و ۴) حرکت زمین می‌شود. علاوه بر آن‌ها، نیروهای ناشی از تغییرات جوّی نیز جزء بارهای طبیعی طبقه‌بندی می‌شوند.



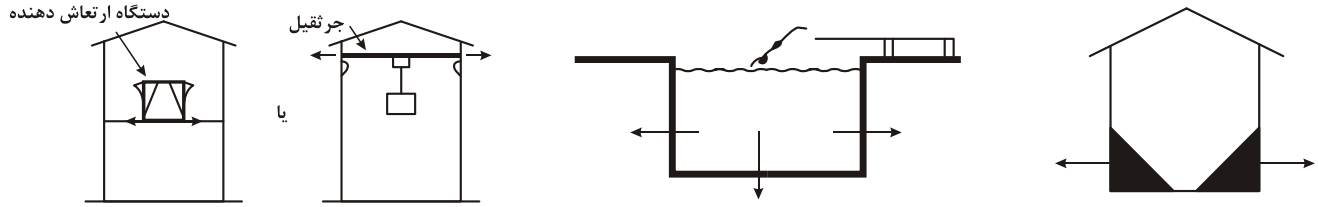


تمام سازه‌های موجود در سطح زمین باید در برابر نیروی جاذبه زمین مقاومت کنند، بنابراین تنها بارگذاری همواره موجود، بار وزن است.

نکته۱: جرم، اندازه، شکل و مصالح یک ساختمان بر نیروهای ژئوفیزیکی (نیروهای حاصل از طبیعت) مؤثر است.

بارهای عملکردی: ناشی از عملکرد ساختمان است؛ برای مثال، پل چوبی ساخته شده تا مردم از عرض رودخانه عبور کنند. اگر نتواند این عملکرد را تأمین کند، بی‌فایده خواهد بود. مقدار بار عملکردی می‌تواند با توجه به افرادی که مجاز هستند در هر زمان روی پل باشند، تغییر کند. معمولاً بار عملکردی حداکثر مقدار ممکن در نظر گرفته می‌شود. برای بارهای عملکردی، یک انتخاب وجود دارد.

انواع بارهای عملکردی: بارهای عملکردی می‌توانند با توجه به کاربری ساختمان گستره وسیعی داشته باشند. در برخی موارد بارهای عملکردی، افقی عمل می‌کنند، در صورتی که بیشتر آن‌ها عمودی عمل خواهند کرد. انبار کردن ماسه، گندم یا آب می‌تواند موجب ایجاد بارهای عملکردی ناشی از فشار زمین یا آب شود. ماشین‌آلات صنعتی در داخل یک ساختمان ممکن است میل به تکان دادن جانبی ساختمان داشته باشند، که این نوع دیگری از بارهای عملکردی افقی را ایجاد می‌کند. به علاوه فرایندهای صنعتی که می‌توانند دمای محل را کاهش یا افزایش دهند، بار عملکردی حرارتی ایجاد می‌کنند. ماشین‌آلات صنعتی نیز مانند زلزله ممکن است میل به نیروی افقی داشته باشند. بارهای عملکردی اغلب حرکت عمودی و گاه افقی دارند.



بارهای تصادفی یا مصنوعی: وقوع بارهای تصادفی، پیوندی ناگسستنی با مفاهیم ایمنی دارد. منابع بارگذاری مصنوعی شامل:

۱) تصادفات یا برخوردها در یک پارکینگ طبقاتی، ۲) تکان‌های ناشی از حرکت ماشین، آسانسور، ماشین‌های مکانیکی، ۳) تغییر مکان‌های افراد و اثاثیه، ۴) هجوم جمعیت، ۵) انفجارهای کوچک، مثلاً در آشپزخانه‌ها، ۶) ضربه و ... می‌باشد.

طبقه همکف مستقیم روی زمین است و به سازه نیرو وارد نمی‌کند.

بارهای اجرایی یا محیطی جزء بارهای مصنوعی (تصادفی) هستند که در اثر به‌کارگیری نادرست سازه ایجاد می‌شوند؛ مانند: دپوکردن مصالح بر روی سقف یا دستگاه موقت بالابر.

نکته۲: پیش‌تنیدگی اعضای سازه‌ای چون از روی عمد صورت می‌گیرد، جزء بارهای عملکردی دسته‌بندی می‌شود.

تقسیم‌بندی بارها براساس جهت نیرو: بارها به دو دسته بارهای «ثقلی» و «جانبی» دسته‌بندی می‌شوند.

بارهای ثقلی ترکیب بارهای مرده و زنده است که به‌صورت عمودی عمل کرده و در دیوار و ستون فشار ایجاد می‌کنند.

بارهای جانبی به‌صورت افقی بر سازه وارد می‌شوند که عبارتند از: باد و زلزله، فشار جانبی آب و فشار جانبی خاک.

تقسیم‌بندی براساس ماهیت نیرو: بارها به دو دسته استاتیک و دینامیک دسته‌بندی می‌شوند.

بار باد: بار باد براساس آیین‌نامه به‌جز برای چند دسته ساختمان، استاتیکی فرض می‌شود؛ در صورتی که بار باد برای پل‌ها و ساختمان‌های بلند دینامیکی در نظر گرفته می‌شود.

وزن زیاد ساختمان برای مقابله با نیروی باد مفید است.

تأثیر بار باد بر ساختمان به عوامل زیر بستگی دارد:

۱) حداکثر سرعت باد

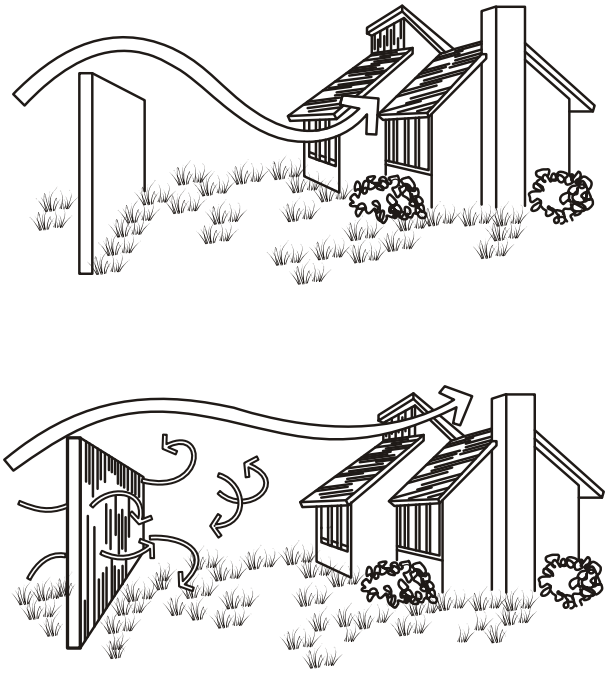
۲) ارتفاع: هرچه ارتفاع ساختمان بیشتر، سرعت باد بیشتر

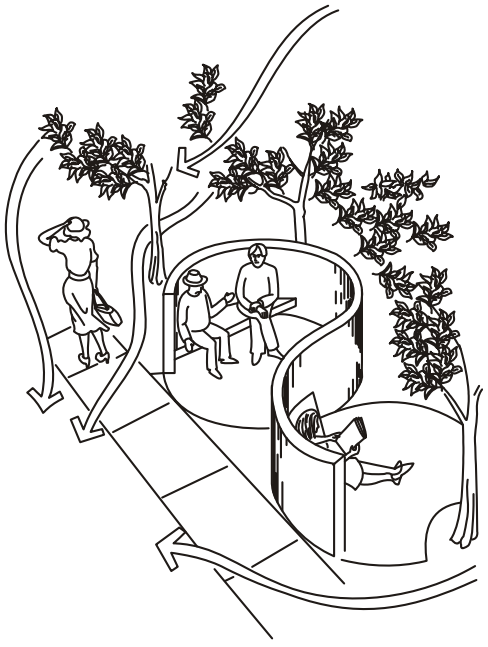
۳) هندسه ساختمان: هرچه فرم آیرودینامیک‌تر، تأثیر باد کمتر

۴) میزان حفاظتی مجاور ساختمان.

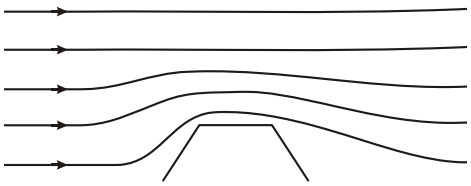
راهکارهای کاهش سرعت باد

الف ـ استفاده از حائل‌های طولانی و بلند عمود بر جهت باد، ب ـ استفاده از حائل‌های متخلخل و کمربندی از درختان همیشه سبز که امکان عبور هوا را می‌دهند.

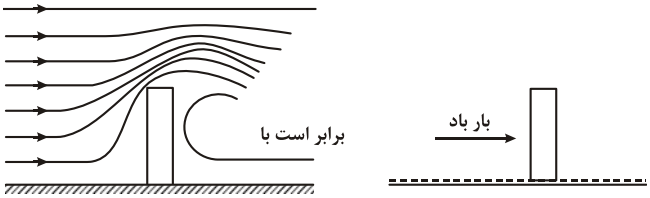




در نزدیکی سطح زمین باد را می‌توان موازی سطح زمین در نظر گرفت، اما تغییر در الگوی جریان باد به دلیل وجود یک شیء، همواره سبب به‌وجود آمدن یک نیروی وارد بر آن می‌شود. تصور تغییر الگوی جریان باد در اطراف ورودی یک ساختمان به‌عنوان نیروی وارده یا بار باد یک کار بزرگ ذهنی است، ولی این دیدگاه عملکرد باد بر یک ساختمان را روشن می‌کند.

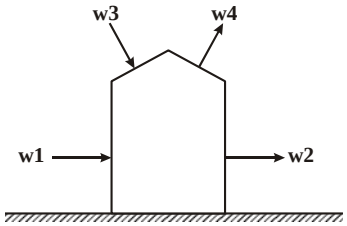


اگر مانعی بر سر راه باد باشد، الگوی جریان باد را تغییر می‌دهد.

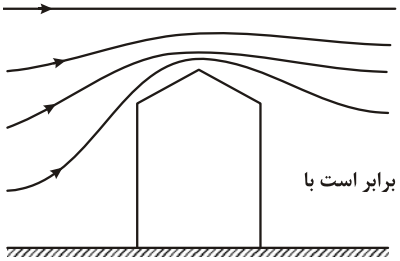


چگونگی جریان باد به سرعت باد و شکل شیء بستگی دارد. این دو عامل آیرودینامیک شناخته می‌شوند.

بارهای ناشی از باد به‌طور عمده در زوایای عمود بر سطح ساختمان وارد می‌شوند. در شکل زیر بارهای (W_1 و W_2) عمود بر دیوارها و (W_3 و W_4) عمود بر شیب سقف هستند.

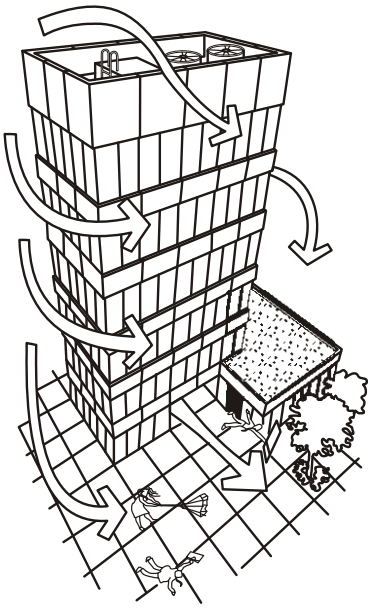


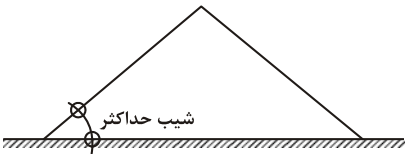
تغییر جریان باد شامل چهار نوع نیروی سمت راست می‌شود.



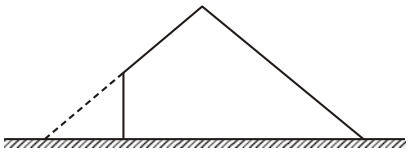
آثار باد بر روی ساختمان: ۱) فشار، ۲) کشش (مکش)، ۳) نیروی بالابرنده، ۴) برش، ۵) لغزش، ۶) واژگونی.

مشکلات باد: در سطح زمین در اطراف یک ساختمان بلند جریان شدید باد از راه حرکت سریع هوا از سمت پرفشار بادخور ساختمان به سمت فضاهای پشت آن با فشار کم ایجاد می‌شود.





تغییر شکل محل احداث ساختمان در معرض قرار گرفتن بخش‌هایی از سازه تحت نیروی فشار زمین است ـ شیب حداکثر توسط توده ماسه به‌وجود می‌آید.



زمین‌های ماسه‌ای با افزودن آب پیچیده‌تر می‌شوند (دلیل ساختن قلعه‌های ماسه‌ای) نیرویی به شکل غیرطبیعی برای نگه داشتن توده لازم است.

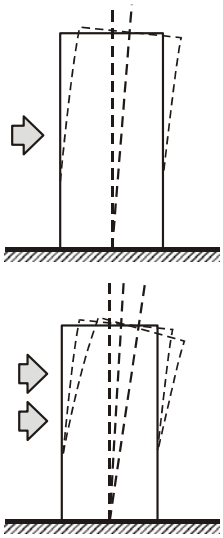
می‌توان با ایجاد بازشوهای بسیار بزرگ که در یک یا دو طبقه بالاتر از سطح زمین طراحی می‌شوند، یا با استفاده از سطوح طره‌ای در این ارتفاع برای هدایت جریان‌های بسیار شدید باد در اطراف ساختمان پیش از اینکه به زمین برسد، از مشکلات باد در سطح زمین به میزان زیادی ممانعت کرد.

ویژگی‌های باد که از عوامل تأثیرگذار در رفتار باد می‌باشند:

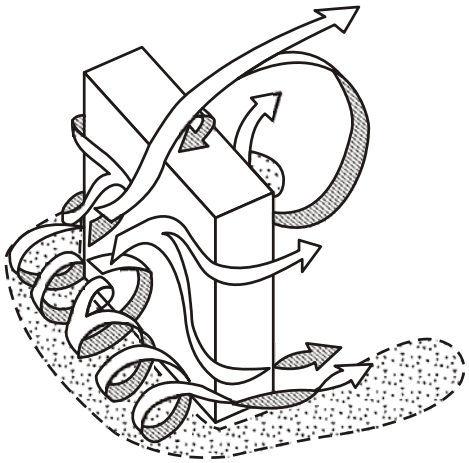
الف) سرعت باد: به دو صورت قابل بررسی است:

۱) سرعت متوسط باد: سرعت متوسط استاتیکی باد مقدار متوسطی در زمان طولانی‌تر می‌باشد. فشار باد حاصل‌شده از آن نیز فشار متوسطی است که تغییر شکل یکنواختی به ساختمان می‌دهد.

۲) سرعت وزش ناگهانی باد: سرعت‌های وزش ناگهانی دینامیکی، متقابلاً فشارهای باد دینامیکی تولید کرده و تغییر شکل‌های اضافی ایجاد می‌کنند که ممکن است برابر تغییر شکل یکنواخت ساختمان باشد و برای ساختمان‌های باریک، این تغییر شکل‌های اضافی ممکن است حتی بیشتر نیز باشد. (تصویر مقابل)



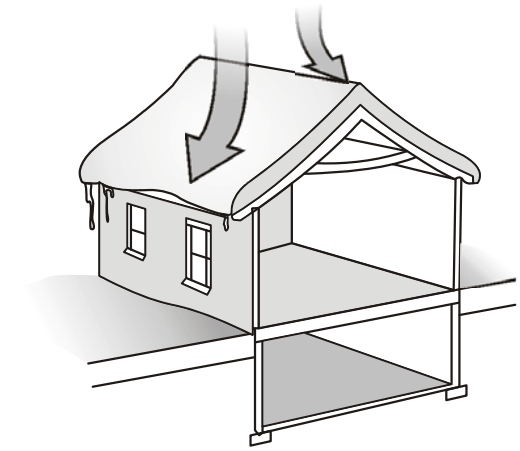
ب) جهت باد: هنگامی‌که جهت باد عمود بر نمای ساختمان باشد، فشار باد همیشه بیشترین است؛ از این‌رو زمانی‌که جریان هوا در زاویه‌ای غیر از 90° نسبت به سطح برخورد می‌کند، مقدار زیادی از فشار باد به‌طور طبیعی کاهش می‌یابد.



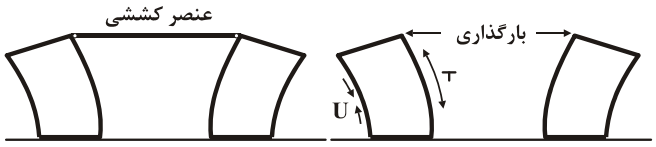
ج) توزیع نیروی باد: هنگامی‌که جریان سیال هوا با ساختمان بلند برخورد می‌کند، به‌دلیل سرعت و نیرویی که دارد ترکیب اثرات آن بر روی ساختمان بلند به‌صورت دینامیکی در نظر گرفته می‌شود. در بعضی شرایط در اثر برخورد باد با ساختمان بلند، مقدار آن در اطراف بنا شدت می‌یابد و بر اثر رفتار باد، در جوار ساختمان بلند مناطق فشار و مکش ایجاد می‌شود.

بار برف: بار برف و یخ به موقعیت جغرافیایی منطقه، شکل هندسی سازه و بادگیری آن بستگی دارد. یخ‌زدگی علاوه بر وزن، بر سطح بادگیر و در نتیجه اثر باد می‌افزاید.

بار باران: ممکن است در هنگام بارندگی، در اثر گرفتن آب‌رو بام و جمع شدن آب برروی بام، پدیده حوض‌شدگی یا برکه‌ای شدن رخ دهد که بار پیش‌بینی نشده و فزاینده‌ای به بام وارد می‌آورد.

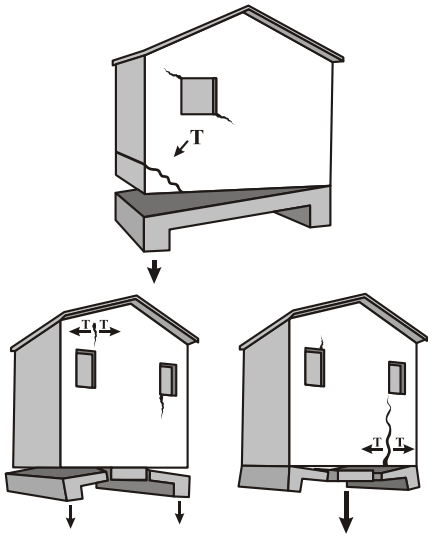


بارهای ناشی از تغییر درجه حرارت

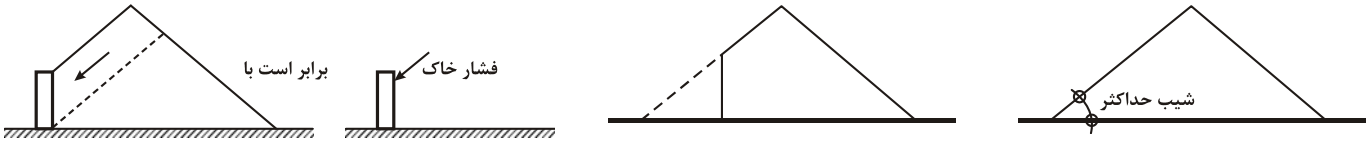


بارهای ناشی از فشار خاک

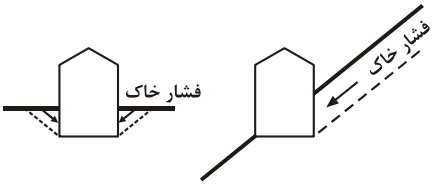
بار ناشی از نشست نامتقارن: اگر پی ساختمان به‌صورت متقارن نشست کند، همه اجزای ساختمان با یکدیگر مقداری به سمت پایین حرکت می‌کنند و در نتیجه بار قابل توجهی به سازه وارد نمی‌شود. اما هنگامی‌که زمین دارای مقاومت یکنواختی نباشد، در برخی نقاط زیر ساختمان، نشست بیشتر خواهد بود؛ در نتیجه قسمتی از ساختمان تکیه‌گاه خود را از دست می‌دهد و تحمل بار آن قسمت برعهده سایر قسمت‌های سازه خواهد بود.



هنگامی‌که ماسه خشک به‌صورت توده درآورده شود، شیب حداکثری برای کناره‌های آن وجود دارد. اگر توده‌ای با یک ضلع عمودی موردنظر باشد، نیروهایی برای نگاه داشتن توده به شکل غیرطبیعی موردنیاز است. این کار اغلب با ساختن یک دیوار حائل انجام می‌شود. از آنجا که توده ماسه می‌خواهد به شکل طبیعی بازگردد، دیوار باید تمامی ماسه‌ها را که در بالای خط‌چین نشان داده شده نگه دارد، که سبب وارد شدن بار بر دیوار می‌شود. مشابه این امر در ساختمان‌ها زمانی رخ می‌دهد که ساختمان پی داشته یا برروی یک زمین شیب‌دار قرار گرفته باشد.

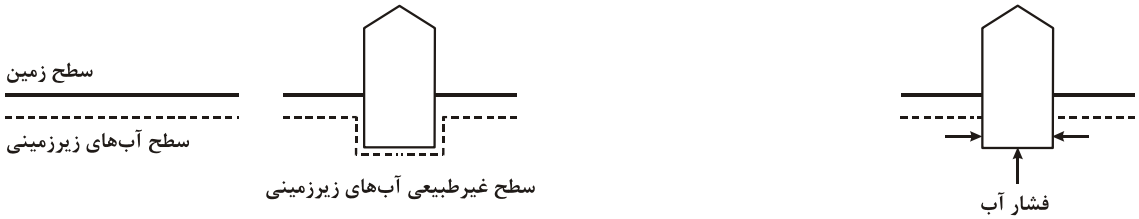


ساخت دیوار حائل برای جلوگیری از حرکت توده ماسه



تأثیر فشار خاک بر روی پی یک دیوار روی یک زمین شیب‌دار

در زیر سطح زمین در بعضی سطوح، آب وجود دارد. سطح بالای این آب، سفره آب زیرزمینی نامیده می‌شود. اگر محل قرارگیری ساختمان سفره آب طبیعی را قطع کند، یک سفره آب غیرطبیعی در اطراف و زیر ساختمان ایجاد می‌شود. فشار آب نه‌تنها به دیواره‌ها نیرو وارد می‌کند، بلکه سبب ایجاد نیروی رو به بالا بر کف ساختمان نیز می‌شود؛ در این حالت ساختمان سعی می‌کند شناور شود.



سطح غیرطبیعی آب‌های زیرزمینی

چند تعریف مهم در بارهای دینامیکی

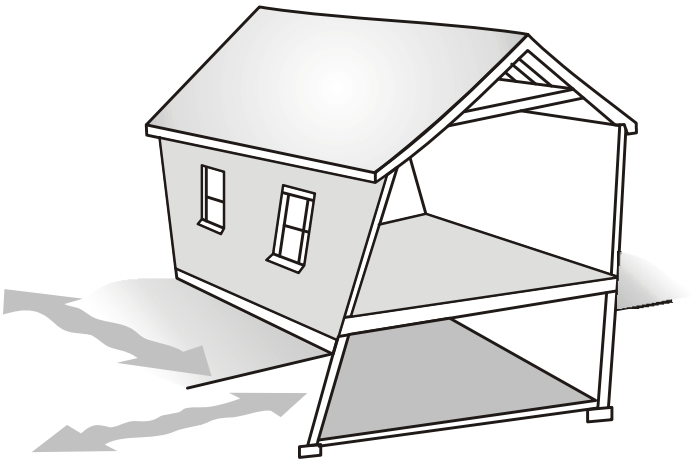
گسل: سطحی که در امتداد شکست پوسته زمین در اثر زلزله قرار می‌گیرد.

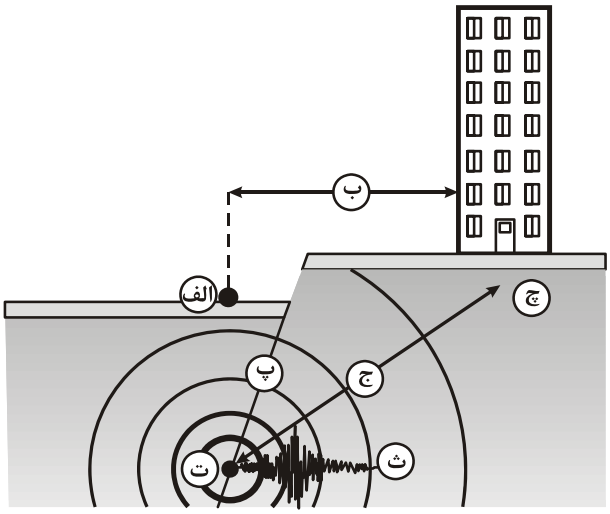
کانون زلزله: نقطه‌ای برروی سطح گسل که به‌عنوان نقطه آزاد شدن انرژی تلقی می‌شود.

مرکز زلزله: تصویر عمودی فاصله کانون تا سطح زمین

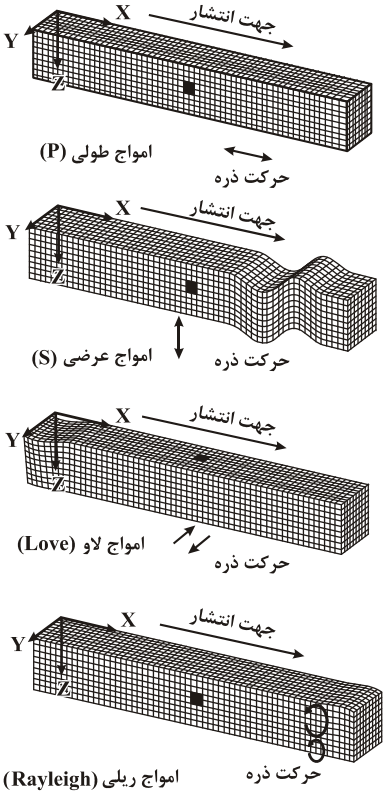
فاصله کانونی: فاصله بین نقطه تحت بررسی و مرکز زلزله

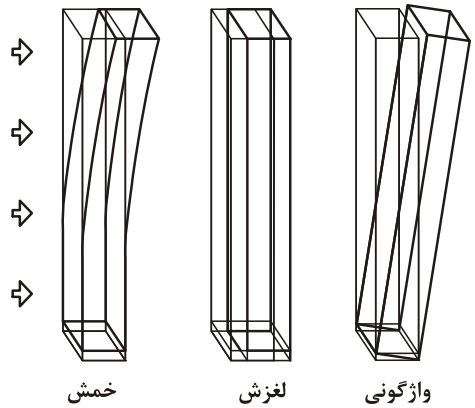
عمق کانونی: فاصله بین کانون زلزله تا مرکز زلزله





ساختمان بر اثر امواج زلزله با انجام تغییر شکل‌هایی مرتعش شده که این ارتعاشات در سه جهت طولی، عرضی و قائم ایجاد می‌شوند. این تغییر شکل‌ها در بنا به یکی از حالت‌های محوری، خمشی، برشی، پیچشی یا ترکیبی از آن‌ها خواهد بود.



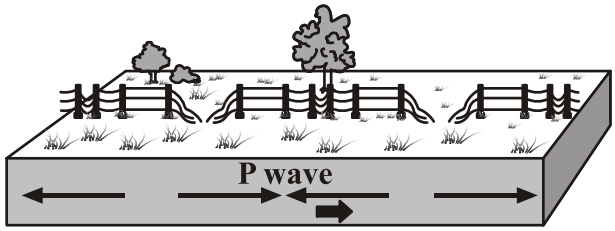


معرفی امواج زلزله

امواج زیرزمینی: موج‌های زلزله که از داخل زمین عبور می‌کنند.

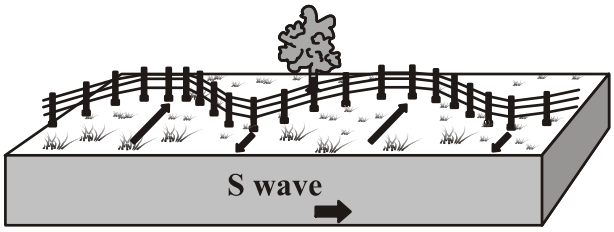
الف) موج‌های P (موج‌های اصلی یا اولیه)

بسیار سریع حرکت می‌کند و تأثیر آن باز و جمع‌شدن سنگ‌هاست.



ب) موج‌های S (امواج برشی)

خاک را در جهت افقی و عمودی جابه‌جا می‌کند.



مدرسان شریف

فصل ششم

«مسائل تکمیلی»

مقدمه

در این فصل به مباحثی همچون معماری دیجیتال، معماری بایونیک، معماری آرکی‌تایپی یا کهن‌الگوها پرداخته شده و نمونه‌های موردی هر کدام بررسی خواهند شد.

درسنامه (۱): معماری دیجیتال

مبحث بهره‌گیری از کامپیوتر در معماری به دو بخش اصلی تقسیم می‌شود:

۱) استفاده از یک محیط طراحی دیجیتال برای غنی کردن طرح؛ ۲) استفاده از امکانات دیجیتال برای اجرای آن.

این دو بخش در یک سامانه واحد و جامع به نام سامانه طراحی و ساخت دیجیتال (CAD/ CAM) معنا پیدا می‌کند که هدف آن طراحی و تولید بنا با استفاده از ابزارهای دیجیتال است.

اساس چنین سامانه‌هایی بر نوعی مدل‌سازی یا شبیه‌سازی کامپیوتری از واقعیت استوار است. مدل‌سازی صحیح دیجیتالی عبارت است از ارائه مدلی کامپیوتری با استفاده از نرم‌افزارهای مدل‌سازی که به کمک آن بتوان خواسته‌ها و شرایط دنیای واقعی را (مانند مسائل اقلیمی) برروی آن بار کرده و اطلاعات موردنیاز برای ساخت بنا مانند تحلیل تنش‌ها در بنا را از آن استخراج کرد.

اساساً هسته مرکزی سامانه طراحی و تولید به کمک کامپیوتر از سه بخش اصلی تشکیل شده است:

۱) محیط تجزیه و تحلیل دیجیتال هندسه اشیا به‌منظور تولید نهایی آن‌ها (سامانه CAD)؛ ۲) نرم‌افزار تولید به کمک کامپیوتر (CAM) که در آن کاربر به تشریح نحوه تبدیل مد دیجیتال به دستورالعمل ماشین بپردازد. ۳) ماشین تولیدکننده حجم براساس داده‌های دیجیتال

دو دیدگاه در طراحی معماری وجود دارد: ۱ـ دیدگاه کل‌نگر که بیان می‌کند طراحی به‌طور کامل توسط ذهن انجام می‌شود و قابل تفکیک به مراحل مختلف و قابل سنجش نیست و ۲ـ دیدگاه گسسته که بیان می‌کند طراحی را می‌توان به مراحل مجزا تقسیم کرده و هریک از این اجزا را به صورت مجزا تحلیل کرد.

خصوصیات و امکانات محیط طراحی به کمک کامپیوتر (سامانه CAD)

۱) نسخه‌های ابتدایی تنها با قابلیت ترسیم دوبعدی خطوط: اساس کار بر مبنای ویرایش خطوط و نقاط بود. برای نمایش حجم نیز تنها از مدل سیمی (wire) که تنها مشخص‌کننده لبه‌های حجم بود، استفاده می‌شد.

۲) محیط‌هایی بر مبنای شکل‌دهی سطوح: حجم براساس سطوح پوشش‌دهنده تعریف می‌شد.

مشکلات این محیط: ۱) تعیین مرکز ثقل جسم را نمی‌توان از مدل سطحی برداشت کرد، ۲) مشکلاتی در تبدیل مدل به کار ماشین.

۳) روش مدل صلب: در این روش مدل کار اساساً حجمی بوده و بنابراین تحلیل آن براساس اعداد و ارقام و تبدیل آن به کار ماشین امکان‌پذیر است. همچنین طراحی هرگونه سطح پیچیده و نامعینی که در روش‌های گذشته امکان‌پذیر نبود، میسر شده است.

دسته‌بندی نرم‌افزارها براساس نوع ابزارها و خروجی آن‌ها

۱) نرم‌افزارهایی با اهمیت بالای طراحی کانسپت و رندرینگ

۱) هدف اصلی این نرم‌افزارها، ایجاد امکانات خلق کانسپت است. ۲) گروهی از این نرم‌افزارها بیشتر به خلق اسکیس توجه دارند و دسته دیگر نرم‌افزار طراحی کانسپت به شمار می‌روند. ۳) اغلب امکانات اسکن و ورود اسکیس‌های دستی را نیز به محیط خود دارند. خروجی این نرم‌افزارها فایل‌های سه‌بُعدی است.

۲) نرم‌افزارهایی برای تولید بازی و فیلم‌های کامپیوتری مانند Maya و Softimage: کاربرد این نرم‌افزارها در همه مراحل طراحی و همه پروژه‌ها از طرح‌های کوچک تا سطوح کلان طراحی بوده و خروجی آن‌ها اغلب هماهنگ با فرمت فایل‌های ویدئویی است.

۳) نرم‌افزارهایی برای ارائه‌های دوبعدی با دقت بالا مانند Autocad و VectorWorks: بیشتر تحت عنوان CAD شناخته می‌شوند. ابزار طراحی در این‌گونه نرم‌افزارها، عناصر هندسی مانند خط، نقطه، قوس و ... است.

مشکلات این نرم‌افزارها: ۱) ضعف‌هایی در مدل‌سازی سه‌بعدی دارد. ۲) هیچ‌گونه هوشمندی وجود ندارد.

خروجی این نرم‌افزارها قابلیت تبدیل به دستورات ماشین برش سی‌ان‌سی را هم دارد، ولی اغلب خروجی‌های آن به‌صورت پرینت یا پلات استفاده می‌شود.

۴) نرم‌افزارهایی بر مبنای حجم‌سازی سه‌بعدی

۱) ابزارهای مورد استفاده در این نرم‌افزارها، عبارت است از سقف، کف، ستون، در، پنجره و ... . ۲) به این روش طراحی محیط‌های نرم‌افزاری که نوعی شبیه‌سازی واقعیت است، رویکرد BIM می‌گویند. ۳) مشکل عمده این نرم‌افزارها ضعف آن‌ها در تولید احجام و سطوح آزاد و نیز ضعف در ارتباط با دستگاه‌های برش خودکار و سایر ماشین‌آلات است.

۵) نرم‌افزارهایی که در ابتدا برای مصارف صنعتی تولید شدند، مانند CATIA

۱) در این برنامه‌ها برخلاف دسته قبل، عناصر و اجزای معماری به چشم نمی‌خورد؛ در عوض در این نرم‌افزارها بلوک‌های ساختمانی تعریف می‌شوند که می‌توان به وسیله تکرار آن‌ها حجم و سطح را پوشش داد. ۲) برای هوشمندسازی این نرم‌افزارها تمامی اعمال و فرایندهایی که در تولید حجم و در محیط نرم‌افزاری انجام می‌شود، ذخیره می‌شود. به این روش ساختار سلسله‌مراتبی یا «پدر ـ فرزند» می‌گویند. ۳) خروجی این نرم‌افزارها قابلیت تبدیل مستقیم به دستورات ماشین‌های برش خودکار را دارد.

نکته۱: محیط‌های نرم‌افزارهای دیگر که به‌منظور بسط و توسعه ایده‌های طراحی استفاده می‌شوند، امکان طراحی پارامتری و الگوریتمی را در اختیار طراحی قرار می‌دهند.

طراحی پارامتری: طراح به جای طراحی یک فرم یا یک هندسه، یک مدل پارامتری قابل انعطاف را طراحی می‌کند که با تغییر پارامترها، فرم و محصول نهایی طراحی عوض می‌شود.

الگوریتم: نحوه ارتباط بین پارامترها

از نمونه‌های بارز می‌توان به محیط برنامه‌نویسی لیسپ (Lisp) در کنار Autocad، محیط گرس‌هاپر (Grass hopper)و راینواسکریپت و زبان برنامه‌نویسی مستقل فرمین (Formain) اشاره کرد.

آشنایی با محیط ساخت و تولید دیجیتال (سامانه CAM)

تبدیل فایل‌های کامپیوتری به احجام، به‌وسیله ماشین‌آلات دیجیتال و سامانه‌های CAM صورت می‌پذیرد که بسته به نوع ابزار و نحوه عمل هریک در گروه‌های زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

۱) ماشین‌آلات اسکن و برداشت سه‌بعدی؛ ۲) دستگاه‌های برش‌دهنده دوبعدی؛ ۳) دستگاه‌هایی با فرایند تولید کاهشی حجم؛ ۴) دستگاه‌های تولید افزایشی حجم؛ ۵) دستگاه‌های حالت‌دهنده به حجم.

۱) ماشین‌آلات اسکن و برداشت سه‌بعدی: ابتدا نقاطی از سطح حجم به‌وسیله دستگاه‌های دستی یا خودکار برداشته شده و سپس این نقاط به‌وسیله منحنی‌هایی که به‌وسیله کامپیوتر ترسیم می‌شوند، به یکدیگر متصل می‌گردند. این روش «**مهندسی معکوس**» نامیده می‌شود. مثال: دستگاه دستی بازوی دیجیتال و دستگاه خودکار سی‌ام‌ام (CMM).

۲) دستگاه‌های برش‌دهنده دوبعدی

الف) دستگاه‌های برش پلاسما: ورق را به کمک ایجاد قوس الکتریکی در توده‌ای از گاز فشرده و افزایش حرارت برش می‌دهند.

ب) روش برش آبی: آب با شدت فراوان از نوک باریک دستگاه عبور کرده و سطح را می‌شکافد.

ج) برش‌دهنده لیزری: از طریق عبور دادن نور متمرکز از گاز دی‌اکسید کربن فشرده، اقدام به برش سطح می‌کنند و تنها برای برش مواد جاذب نور کاربرد دارند.

۳) دستگاه‌هایی با فرایند تولید کاهشی حجم (CNC): این گروه بیشتر از رأسی دورانی برخوردارند که امکان حرکت در جهات مختلف را داشته و می‌تواند به ماده خام، شکل بخشیده و حجم‌سازی کند. در انواع سه‌محوری و پنج‌محوری عرضه شده‌اند که نوع سه‌محوری، انعطاف‌پذیری کمتر و تولید حفره در حجم محدودتری دارد.

۴) دستگاه‌های تولید افزایشی حجم: توده‌ای از یک ماده خام به‌صورت لایه‌به‌لایه شکل داده شده و حجم به‌دست می‌آید؛ مانند دستگاه استریولیتوگراف که به‌وسیله تابش لیزر بر توده‌ای از مواد پلیمری نرم، موجب سخت شدن نقاط مورد تابش قرارگرفته شده و حجم تولید می‌کند.

ابزارهای این گروه اغلب به‌دلیل محدودیت در مقیاس حجم تولیدی و نیز طول زمان حجم‌سازی و قیمت بالای دستگاه در ساختمان‌سازی کمتر استفاده می‌شوند.

۵) دستگاه‌های حالت‌دهنده به حجم: عمل فرم‌بخشی به‌وسیله گرم کردن مصالح یا دمیدن بخار به آن‌ها همزمان با عبور مصالح از میان چند رول استوانه‌ای‌شکل صورت می‌پذیرد که در اصطلاح صنعتی آن را «نورد» می‌نامند.

نقش کامپیوتر در طراحی: منطق کامپیوتر دارای فرایند گسسته متناهی و محدود است. در تصمیمات هوشمندانه و از روی آگاهی قبلی ضعف دارد. تفکر انسان، نامتناهی، کل‌نگر و پیوسته است. در محاسبه و درک پیچیدگی‌های عددی ضعف دارد.

فرایند طراحی معماری پیش از پیدایش کامپیوتر: طراحی فرایند اختراع کردن و ساختن یک جسم است که دارای سازمان‌دهی، ترکیب و فرم جدیدی برای پاسخ‌گویی به یک عملکرد معلوم و موردنیاز باشد. می‌توان طراحی را فرایندی مبتنی بر تکرار، از طریق آزمون و خطا تعریف کرد که با این تعریف نقش دانش و تجربه در طراحی به درستی آشکار می‌شود. از گذشته تأکید بر نقش **ابداع، خلاقیت و قدرت طراحی معمار** پایه بسیاری از نظریه‌ها در زمینه طراحی بوده و از آن به‌عنوان جعبه‌سیاه طراحی یاد شده است.

فرایند طراحی معماری پس از پیدایش کامپیوتر: اگر طراحی یک حرکت رفت‌وبرگشتی بین خواسته‌ها و نیازها از یک طرف و خواص فرم از طرف دیگر تعریف شود، می‌توان طراحی را به‌عنوان یک فرایند به‌وسیله تصاویر مرحله به مرحله‌ای که فقط ساختار و خصیصه‌های اصلی آن مرحله را نشان می‌دهد،

ثبت کرد و این تعبیری است که کمک می‌کند استفاده از الگوریتم در طراحی عملی شود. با کمک گرفتن از ابزارهای محاسباتی به‌عنوان ابزاری برای حل مسائل طراحی، عناصر کمّی و رخدادهای حین طراحی را می‌توان ثبت و بررسی کرد.

یکی از زمینه‌هایی که کامپیوتر به خوبی می‌تواند به معمار کمک کند، حل مسئله **تخصیص فضا (اختصاص دادن فضا)** است. مسئله تخصیص فضا عبارت است از: تصمیم‌گیری در مورد برنامه فیزیکی موردنیاز یک ساختمان و چیدن فضاها در کنار هم به گونه‌ای که خواسته‌های اولیه رعایت شده باشد.

طراحی شهری بخشی از شهر استانبول ترکیه در سال ۲۰۰۶ ـ زاها حدید

شکل مقابل طرح ارائه‌شده توسط زاها حدید برای طراحی جدید بخشی از شهر استانبول ترکیه می‌باشد.

این‌گونه سیستم‌ها برای مسائل طراحی مهندسی استفاده می‌شوند که در آن‌ها هدف بهینه‌سازی یک خصوصیت قابل اندازه‌گیری است، بدون اینکه مسائلی مانند زیبایی کلی مدنظر باشد.

تفاوت کامپیوتری کردن و الگوریتمی کردن

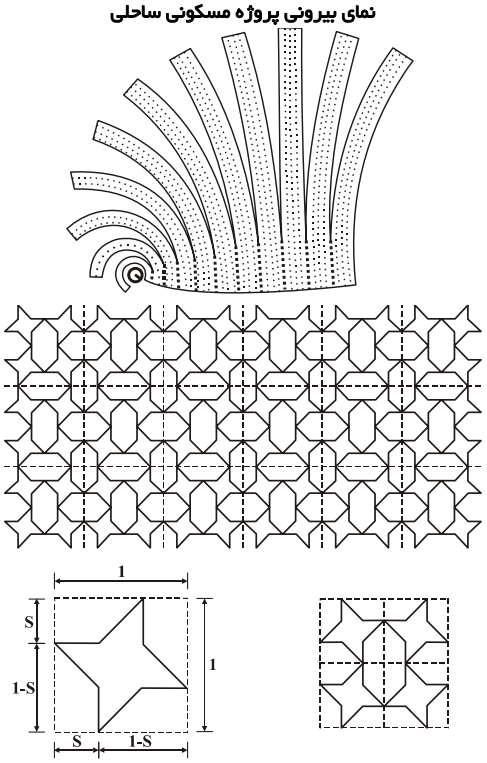
۱) کامپیوتری کردن: دیجیتالی کردن اطلاعات و فرایندهای از قبل تنظیم‌شده

۲) الگوریتمی کردن: طراحی بر مبنای علم محاسبات، کشف و توسعه یک فرایند مبهم و ناشناخته.

شکل مقابل، مدل حجمی یک پروژه مسکونی را نمایش می‌دهد. هندسه حاکم در این پروژه مسکونی، لوله مدور (تیوپ) است که جداره‌ها و سقف براساس آن شکل گرفته‌اند.

نمای بیرونی پروژه مسکونی ساحلی

فرم‌های ساده‌شده این امکان را به طراح می‌دهند که برای ساخت مدل از ساخت شکل گسترده با هندسه مشخص و نه‌چندان پیچیده استفاده کنند.

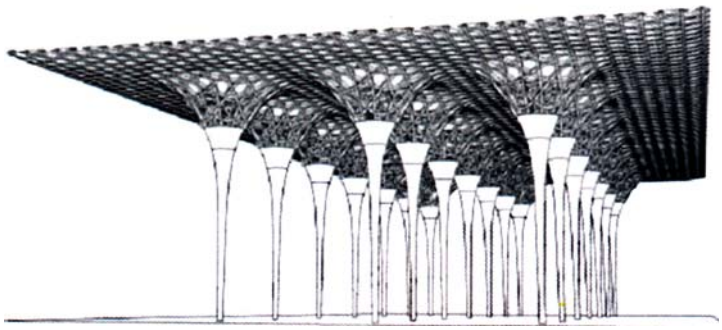


شکل مقابل، هندسه پارامتریک گره هندسی قناس را نشان می‌دهد. به مدول پایه آن توجه کنید.

در مدول پایه یک نقش هندسی متغیر s تعریف شده است که فاصله رأس ستاره مربع است. از دو بار آینه‌کردن مدول پایه، یک نقش چهارتایی تولید می‌شود که نقش اصلی حاصل تکرار ماتریسی این نقش است.

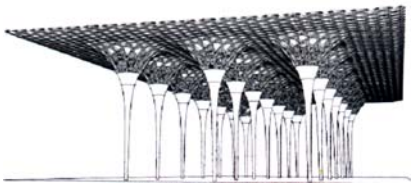
کاربرد نقوش هندسی در معماری امروز: دو پروژه‌ای که در آن‌ها سعی شده از هندسه منظم نقوش در جهت طراحی معماری استفاده شود، در اینجا معرفی می‌شود. نحوه استفاده این نقوش گرچه صرفاً جنبه ظاهری و بصری دارد اما می‌توان آن را تلاش‌هایی برای استفاده از هندسه نقوش سنتی در معماری امروز دانست.

پروژه اول، پوششی سقفی است که شیگروبن، معمار ژاپنی، برای مرکز پمپیدو طراحی و اجرا کرده است. در این پروژه یک سازه کاملاً چوبی استفاده شده که برش قطعات آن همگی توسط دستگاه‌های برش CNC انجام شده است.



قسمتی از سازه اصلی مجموعه مرکز پمپیدو، طراحی‌شده توسط شیگروبن

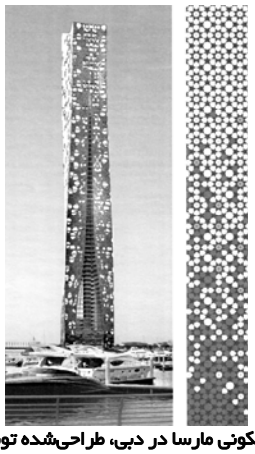
مثال۱: کدام عبارت در مورد ساختمانی مطابق شکل زیر صحیح نیست؟ (معماری ـ سراسری ۹۱)



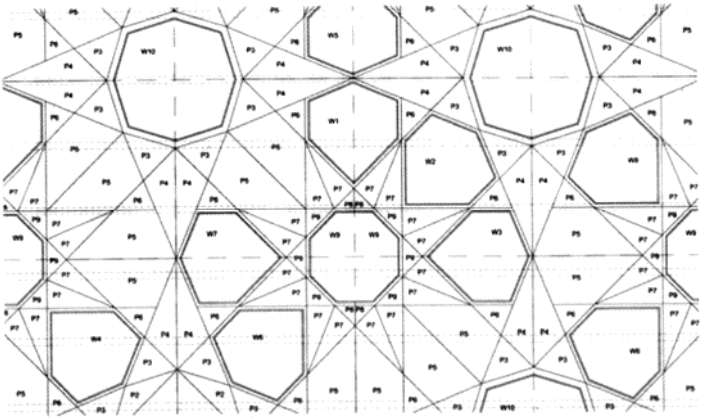
۱) امکان اجرای سازه ساختمان با چوب وجود دارد.
۲) سقف به صورت مدول‌های تکرارشونده قابل اجرا است.
۳) امکان برش قطعات به صورت خودکار توسط دستگاه‌های برشی CNC وجود دارد.
۴) به دلیل فرم سه بعدی سقف اجرای سازه فقط با فولاد معمولی (MILD STEEL) میسر است.

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» در سقف مذکور به دلیل فرم خاص، بیشتر از بتن در ساخت آن استفاده می‌کنند (مانند سقف‌های لاملا در آشیانه‌های هواپیما اثر پیر لوییجی نروی). هرچند که قالب‌بندی آنها به دلیل فرم خاص سقف پرهزینه‌تر و سخت‌تر است، با مصالحی مانند چوب و فولاد هم می‌توان سقف مذکور را اجرا کرد.

نمونه دیگر، برج مسکونی مارسا در دبی است که توسط زاها حدید طراحی شده است.



پروژه برج مسکونی مارسا در دبی، طراحی‌شده توسط زاها حدید



نقش به‌کار رفته و نمایی نزدیک از برج مسکونی مارسا در دبی

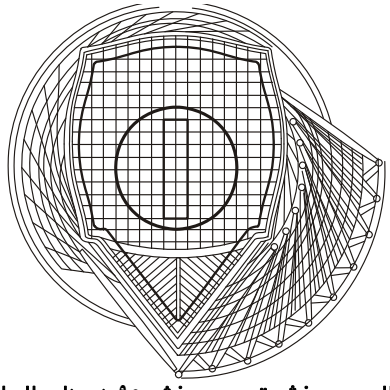
تکنیک‌های طراحی دیجیتال

۱) تغییر شکل‌های زنجیره‌ای، ۲) میان‌یابی هندسی، ۳) فرایندهای اتفاقی، ۴) استفاده از عملگرهای منطقی روی احجام، ۵) فراکتال‌ها.

۱) تغییر شکل‌های زنجیره‌ای: با استفاده از تکرار شکل‌ها و احجام هندسی و اعمال تغییر شکل‌هایی بر روی آن‌ها، می‌توان ریتم و نظمی تدریجی تولید کرد. یکی از الگوریتم‌هایی که براساس تغییر شکل‌های زنجیره‌ای بنا نهاده شده، الگوریتم‌هایی هستند که در آن‌ها هر طبقه از برج نسبت به طبقات قبلی دوران پیدا کرده است.

حالت‌های مختلف برج دینامیک طراحی‌شده توسط دیوید فیشر در دبی. در طرح این برج یک هسته مرکزی ثابت وجود دارد و طبقات حول آن چرخش می‌کنند. شکل نامنظم پلان طبقات سبب می‌شود در اثر میزان چرخش‌های گوناگون طبقات مختلف، فرم بیرونی برج تغییر کند.

برج مارپیچ شیکاگو

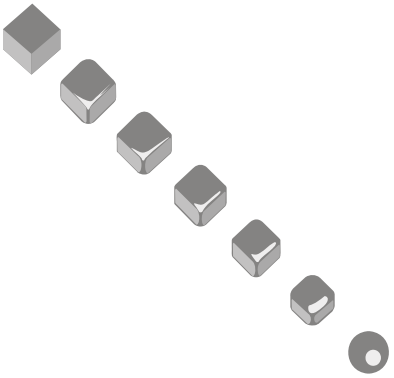


پلان برج چرخشی تورسو، چرخش ۹۰ درجه‌ای پلان از طبقه اول تا آخر

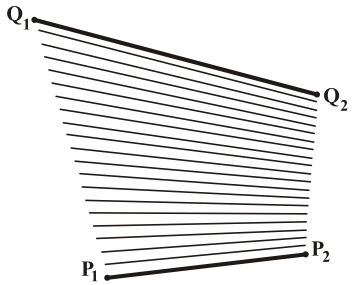
دو پارامتر اساسی در این الگوریتم‌ها وجود دارد: شکل و فرم طبقه و نحوه تکرار آن.

۲) میان‌یابی هندسی: می‌توان در ترکیب دو شکل برای به‌دست آوردن خواص اشکال میانی، خواص شکل‌های اولیه و نهایی را میان‌یابی کرد.

برای به‌دست آوردن فرم حجمی و هندسه وجوه یک حجم پدیدآمده از میان‌یابی و تبدیل یک چندضلعی به چندضلعی دیگر، ضروری است چندضلعی‌های میانی را به‌دست آورد. با توجه به اینکه تعداد چندضلعی‌های میانی که بین دو چندضلعی ابتدا و انتها قرار می‌گیرند، مشخص است، کافیست فرمولی به‌دست آورد تا چندضلعی iام از طریق آن مختصات چندضلعی‌ها یکی‌یکی به‌دست آیند.

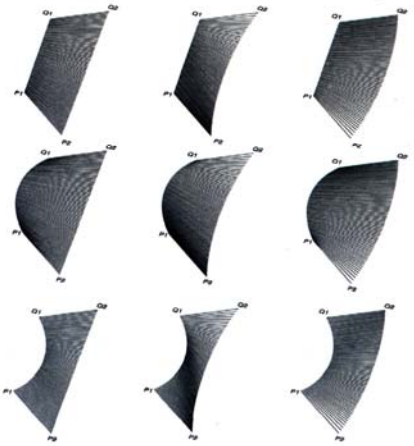


نمونه یک فرم به‌دست‌آمده از میان‌یابی چند شکل دوبعدی، طرح پیشنهادی برای موزه سومایا ژاپن



روش میان‌یابی مستقیم به معنای تقسیم پاره‌خط‌های حاصل از وصل‌کردن انتهای دو پاره‌خط به هم با فواصل مساوی است.

در شکل مقابل سطوح مختلف حاصل از میان‌یابی بین دو پاره‌خط ثابت از ترکیب میان‌یابی‌های مختلف شامل میان‌یابی روی خط مستقیم و منحنی‌های مقعر و محدب نشان داده شده است.



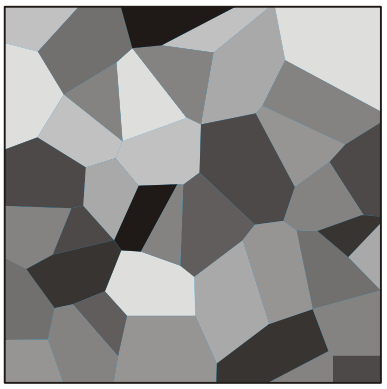
سطوح مختلف حاصل از میان‌یابی بین دو پاره‌خط ثابت

۳) فرایندهای اتفاقی: اتفاق و تصادف به معنای حالتی در نتیجه الگوریتم است که به‌دلیل نسبت‌دادن مقادیر تصادفی به بعضی از متغیرها در طول الگوریتم قابل پیش‌بینی نیست. شیوه نسبت‌دادن یک مقدار تصادفی به یک متغیر به این صورت است که به جای آنکه به یک متغیر عددی ثابت اختصاص داده شود، عددی تصادفی در محدوده‌ای مشخص به آن نسبت داده می‌شود. در واقع محدوده تغییرات عدد تصادفی را طراح الگوریتم معین کرده ولی مقدار آن متغیر را کامپیوتر یا پردازنده تعیین می‌کند.

الف) متغیرهای تصادفی: برای تصادفی شدن نتیجه یک الگوریتم می‌توان در فرایند تولید فرم به نوعی متغیرهای تصادفی وارد کرد.

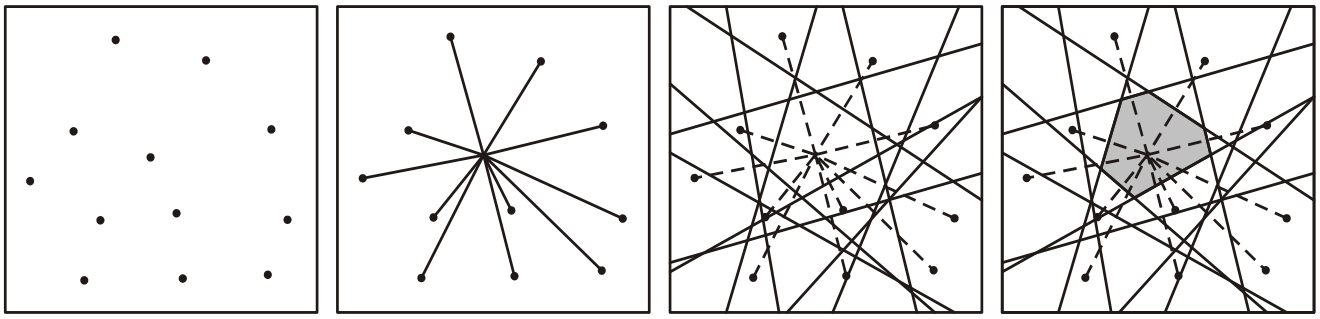
ب) الگوریتم‌های جست‌وجوی تصادفی: در این الگوریتم‌ها برخلاف الگوریتم‌های تصادفی بالا که یک پارامتر اتفاقی قابل تغییر داشتند، تعدادی قاعده و قانون وجود دارد و الگوریتم همواره به دنبال یافتن جواب‌هایی است که در آن قوانین صدق کند.

ج) الگوریتم ورنوئی: یک الگوریتم هندسی است. مجموعه‌ای از نقاط را به‌عنوان ورودی دریافت می‌کند و خروجی الگوریتم ورنوئی یک‌سری نواحی در صفحه است.

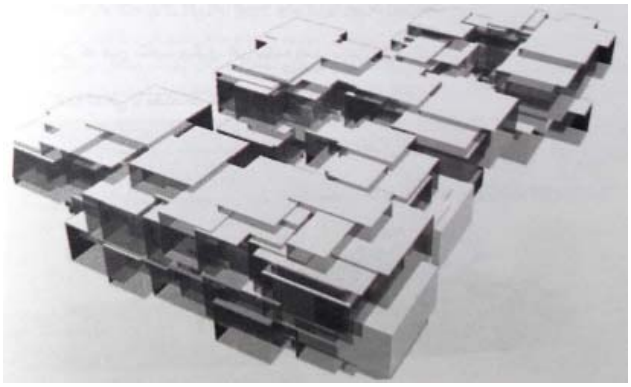


نتیجه یک الگوریتم ورنوئی. ناحیه هر نقطه با رنگ متمایزی نشان داده شده است.

نقش شکاف‌های کویر شباهت زیادی به نقوش حاصل از الگوریتم ورنوئی دارند.

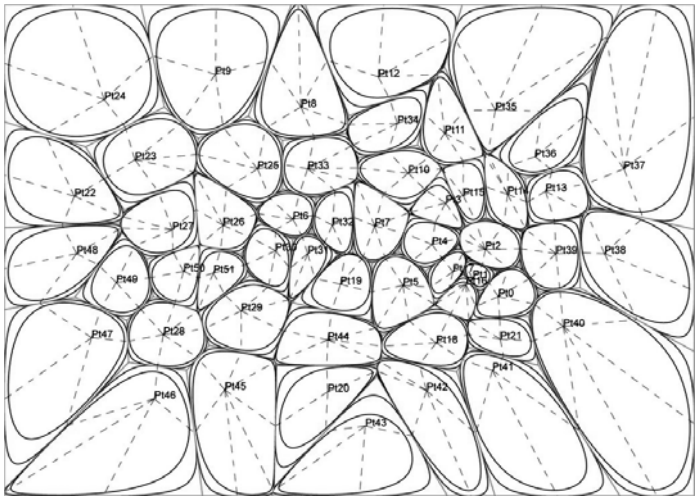


از چپ به راست، مراحل به‌دست‌آوردن ناحیه یک نقطه به وسیله الگوریتم ورنوئی نشان داده شده است.



طرح معماری یک مجتمع مسکونی که به وسیله جست‌وجوهای تصادفی شکل گرفته است.

صورت‌های پیچیده‌تری از الگوریتم‌های ورنوئی وجود دارد که مثلاً نواحی آن را به‌جای خطوط شکسته با منحنی‌های نرم می‌سازد.



الگوریتم ورنوئی با نواحی منحنی‌وار

در شکل مقابل، طراحی برج ۵۰ طبقه تجاری ـ اداری، تعداد نقاط و در نتیجه سطح نواحی ورنوئی در نماهای مختلف متفاوت است.

طراحی برج ۵۰ طبقه تجاری ـ اداری در استانبول، طراحی‌شده توسط گروه KOL

فصل هفتم

«سیستم‌های ساختمانی بلندمرتبه»

مقدمه

سیستم‌های سازه‌های بلند در دو دهه گذشته تغییرات اساسی کرده است. در سال ۱۹۸۰ مدل متداول سازه‌های بلند با هندسه عمودی تکرارشونده منشوری و دال‌های تخت شناخته می‌شد. توسعه **سیستم‌های لوله‌ای** برای سازه‌های بلند دلیلی بر شکل ساختمان‌های بلند به صورت متغیر امروزی بود. نظم ثابت بیرونی برج با مدول‌های هم‌بسته عمودی که مشخصه پوشش ساختمان‌های بلند امروزی هستند، جابه‌جا شده است. ناپیوستگی نمای بیرونی سبب به‌وجودآمدن نسل جدیدی از سیستم‌های ساختمان‌های بلند شد که پاسخگوی نیازمندی‌های انعطاف‌پذیر و انحصاری قوانین روبه‌رشد و پویای معماری می‌باشد.

سیستم‌های نوآورانه سازه‌ای شامل **ابرقاب‌ها** (mega frames)، قاب‌های مهاربندی با ابرمهاربندی‌های قطری داخلی، هسته ترکیبی فولاد و بتن پرمقاومت، سیستم‌های **مهار بازو** (outriggers)، سازه‌های میراشده مصنوعی، سازه‌های با دیوارهای ستونی از ترکیب‌هایی هستند که نمایانگر گام‌هایی در توسعه سیستم‌های سازه‌ای ساختمان‌های بلند می‌باشند.

نقش **اعضای فولادی** در سازه‌های اولیه عمدتاً برای باربری بارهای ثقلی بوده است. به تدریج کاربرد آن در سیستم‌های باربر جانبی بارهای باد و زلزله که از قاب‌های پرتال ساده تا سیستم‌های نوآورانه‌ای همچون مهار بازوها، ابرقاب‌ها و ابرمهارهای قطری داخلی تشکیل شده‌اند، توسعه یافته است.

امروزه سیستم‌های مهاربندی فراوانی وجود دارد که ممکن است در دسته‌بندی‌های مجزا قرار بگیرند که هرکدام دارای ارتفاع کاربردی مختص به خود هستند. اگرچه انتخاب سیستم باربر جانبی معمولاً شامل یک یا ترکیبی از سیستم‌های زیر است که تعداد تقریبی از تعداد طبقات مناسب هر سیستم بیان شده است.

سیستم باربر جانبی	تعداد طبقات
قاب‌های با اتصالات نیمه صلب	۱۰ ـ ۱۵
قاب‌های صلب	۲۵
قاب‌های مهاربندی	۲۵-۳۰
خرپاهای متناوب	۲۵
مهاربندهای واگرا	۲۵-۳۰
ترکیب سیستم‌های مهاربندی و قاب‌های صلب	۴۵-۵۰
سیستم‌های مهار بازو و کمربندهای خرپایی	۴۰-۵۰
قاب‌های لوله‌ای	۵۰-۶۰
لوله‌های خرپایی	۶۰-۷۰
لوله‌های دسته‌ای	۸۰-۱۰۰
سیستم‌های با بازدهی بالا برای ساختمان‌های فوق بلند	۱۰۰-۱۵۰

درسنامه (۱): ساختمان‌های بلند و انواع سازه‌های آن

تعریف ساختمان بلند

از دیدگاه مهندس سازه، ساختمانی که در آن نیروهای جانبی مهم‌تر از نیروهای عمودی باشند، ساختمان بلند نامیده می‌شود. اما از دیدگاه معماری ساختمانی که نسبت ارتفاع به قطر آن π باشد، ساختمان بلند نامیده می‌شود. در دیدگاه حریق ساختمانی که طبقات بالایی آن برای ماشین‌های آتش‌نشانی معمولی قابل دسترس نیست، ساختمان بلند است.

در ساختمان‌های بلند به دلیل ارتفاع زیاد، ایمنی، هم در اجرا و هم در دوران بهره‌برداری و نگهداری در اولویت قرار دارد. پس از ایمنی، وزن به دلیل ایجاد لنگرهای سنگین در طبقات پایین بسیار مهم است. کنترل انرژی، زیبایی (به دلیل تأثیر بصری زیاد بر محیط اطراف) و اقتصاد در اولویت‌های بعدی هستند.

نکته۱: ساختمان بلند در ایران براساس ضوابط و مقررات شورای عالی معماری و شهرسازی به ساختمان شش طبقه گفته می‌شود. احداث ساختمان‌های بلند مسکونی پس از تدوین و تصویب قانون تملک آپارتمان‌ها در ایران آغاز شد.

مثال۱: کدام‌یک از موارد، اولویت‌بندی مناسب‌تری برای انتخاب مصالح نما در بلندمرتبه‌سازی است؟ (هنرهای ساخت و معماری ـ سراسری ۹۷)

۱) ایمنی ـ اقتصاد ـ زیبایی ـ تعمیر و نگهداری ـ کنترل انرژی ـ وزن
۲) اقتصاد ـ زیبایی ـ وزن ـ کنترل انرژی ـ تعمیر و نگهداری ـ ایمنی
۳) ایمنی ـ تعمیر و نگهداری ـ وزن ـ کنترل انرژی ـ زیبایی ـ اقتصاد
۴) تعمیر و نگهداری ـ وزن ـ اقتصاد ـ ایمنی ـ کنترل انرژی ـ زیبایی

☑ **پاسخ:** گزینه «۳»

مثال۲: پس از کدام فرایند، احداث ساختمان‌های بلند مسکونی در ایران آغاز شد؟ (هنرهای ساخت و معماری ـ سراسری ۹۶)

۱) تأسیس وزارت آبادانی و مسکن
۲) تأسیس شرکت خانه‌سازی ایران
۳) تدوین و تصویب قانون تملک آپارتمان‌ها
۴) شکل گرفتن سبک معماری بین‌المللی در جهان

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» احداث ساختمان‌های بلند مسکونی پس از تدوین و تصویب قانون تملک آپارتمان‌ها آغاز شد. این قانون برای اولین بار در سال ۱۳۴۳ هجری شمسی تصویب شد و متعاقب آن با تصویب ماده صد قانون مالیات‌های مستقیم در سال ۱۳۴۵، ساخت ساختمان‌های بلند تسریع یافت.

عوامل مؤثر بر توسعه ساختمان‌های بلند

۱) عوامل اقتصادی و اجتماعی، ۲) توسعه سیستم‌های مکانیکی و الکتریکی، ۳) ابداع مصالح پربازده، ۴) افزایش توانمندی علمی و تکنیکی سازه

مثال۳: کدام مورد، در انتخاب سیستم سازه‌ای ساختمان‌های بلند تأثیر بیشتری دارد؟

۱) ملاحظات قراردادی ۲) ملاحظات اقتصادی ۳) ملاحظات دید و منظر ۴) عوامل منطقه‌ای

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» معیارهایی که به صورت مستقیم بر انتخاب سیستم سازه‌ای تأثیر دارند، عبارتند از: هزینه، زمان، دسترسی عمومی، باد، زلزله، بازیافت مصالح، فرم معماری، انعطاف‌پذیری در پلان، دید و چشم‌انداز و... .

در بین معیارهای بالا با توجه به اینکه حدود ۳۰ درصد هزینه وابسته به سیستم سازه‌ای است؛ بنابراین مهم‌ترین معیار، ملاحظات اقتصادی است.

بارهای وارد بر ساختمان‌های بلند

۱) باد: هرچه از زمین فاصله بگیریم، فشار وارد بر ساختمان بیشتر شده و سرعت باد در نزدیکی زمین به‌علت اصطکاک کاسته می‌شود.

عوامل مؤثر بر نحوه تأثیر عمل باد بر روی ساختمان‌های بلند

ناهمواری و شکل زمین محدوده و اطراف بنا؛ شکل ساختمان؛ باریکی و ترکیب نما؛ ـ نحوه قرارگیری ساختمان‌های مجاور؛ ـ ارتفاع بناهای مجاور

نکته۲: سرعت باد به دو صورت قابل بررسی است: ۱) سرعت متوسط باد که ثابت است. ۲) سرعت وزش ناگهانی باد: فشارهای بار دینامیکی تولید می‌کند و تغییر شکل‌های اضافی موسوم به ضربه وزش ناگهانی ایجاد می‌کند.

نکته۳: با تولید فولاد و کاهش وزن ساختمان و دهانه‌های بزرگ و دیوارهای غیرباربر، هم از صلبیت ساختمان کاسته شد و هم از وزن آن، که این امر باد را به یک مسئله اساسی در ساختمان‌های بلند تبدیل کرد.

خمش مضاعف: زمانی‌که بار باد به دو وجه ساختمان اثر می‌کند با اینکه نیروی کمتری به ساختمان وارد می‌شود، ولی به‌علت تمایل خمش از دو راستا باعث خمش مضاعف می‌شود که این خمش مضاعف باعث پیچش می‌گردد.

توزیع نیروی باد

بر اثر رفتار باد بر ساختمان‌های بلند مناطق فشار و مکش در جوار ساختمان ایجاد می‌شود.

محدوده تأثیرگذاری باد در اطراف ساختمان بلند

باد در برخورد با ساختمان بلند برای محیط اطراف بنا عدم آسایش پدید می‌آورد. حدود تأثیرگذاری باد دایره‌ای به مرکز خود ساختمان و به شعاعی معادل ارتفاع بناست. هرچه ساختمان بلندتر باشد، به همان میزان از آسایش اطراف بنا نیز کاسته می‌شود.

نکته۴: وزش باد بر گوشه‌ها گرادیان‌های افقی قابل توجهی ایجاد می‌کند.

راهکارهای کاهش اثر سایه باد

۱) استقرار بنا به گونه‌ای که کوچک‌ترین تصویر قائم آن در جهت باد باشد؛ ۲) ایجاد پوشش گیاهی در اطراف بنا؛ ۳) ایجاد تراکم و فشردگی در محیط اطراف ساختمان

حلقه تلاطم: برخورد باد با ساختمان و حرکت عمودی آن به سمت زمین و به‌طور پیچشی به سمت بالا را گویند.

مثال۴: به منظور حل مشکل ایجاد حلقه تلاطم ناشی از باد در ساختمان‌های بلند کدام راهکار زیر توصیه می‌شود؟ (هنرهای ساخت و معماری ـ سراسری ۹۴)

۱) اجتناب از پیش‌آمدگی در ساختمان

۲) کاهش تراکم محیط نزدیک به ساختمان

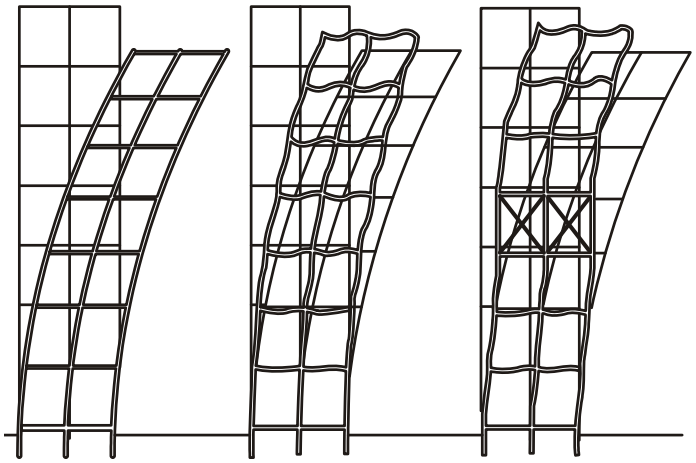
۳) کاهش فضاهای مسقف منطقه مورد وزش باد در نزدیکی ساختمان

۴) ایجاد عناصر با خلل و فرج در ارتفاع بالاتر از محل عبور پیاده در نمای ساختمان

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» برای جلوگیری از تلاطم باد در فضای مقابل ساختمان‌های بلند از یک پیش‌آمدگی بلند یا یک حفره یا خلل و فرج در طبقه بالای محل ورودی و عبور پیاده استفاده می‌شود. (رجوع شود به کتاب ساختمان‌ها چگونه عمل می‌کنند؟)

۲) زلزله: تجارب نشان داده که شتاب ایجادشده در سازه‌ها گاهی بزرگ‌تر از شتاب ثقل است. سازه‌هایی که براساس آیین‌نامه طراحی می‌شوند، مقاومتی بسیار کمتر از نیرویی که در زلزله‌های قوی به سازه‌های ارتجاعی داده می‌شود، خواهند داشت؛ بنابراین به اجبار وارد قلمرو غیرارتجاعی خواهند شد.

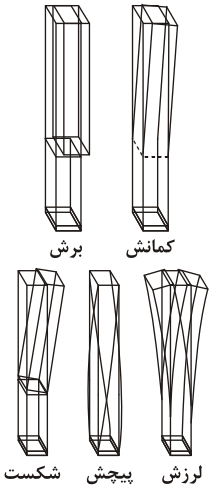
تصویر تغییر مکان‌های سازه‌های شکل‌پذیر



تغییر مکان جانبی در سازه‌هایی با شکل‌پذیری‌های مختلف، تصاویر به ترتیب از سمت چپ: تکیه‌گاه‌های گیردار با تیرهای دوسر مفصل؛ شبکه قاب صلب پیوسته؛ شبکه قاب صلب با مهاربندی کمربندی در وسط ارتفاع

امواج ناشی از زلزله: ۱) امواج طولی، ۲) امواج عرضی، ۳) امواج لاو، ۴) امواج ریلی.

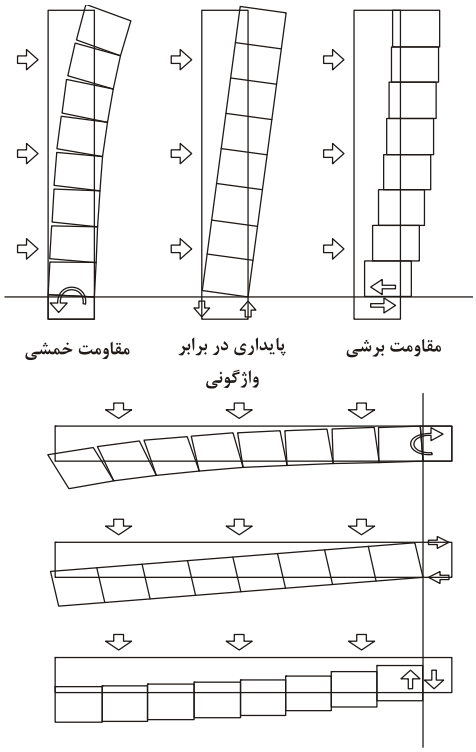
تصاویر انواع گسیختگی‌های محتمل ساختمان‌های بلند در برابر زلزله در مقابل آورده شده است:



انواع گسیختگی‌های محتمل ساختمان‌های بلند بر اثر نیروی جانبی

نکته۵: ترکیب مقاومت، سختی و شکل‌پذیری در آیین‌نامه با ضریب رفتار ساختمان (R) نشان داده می‌شود.

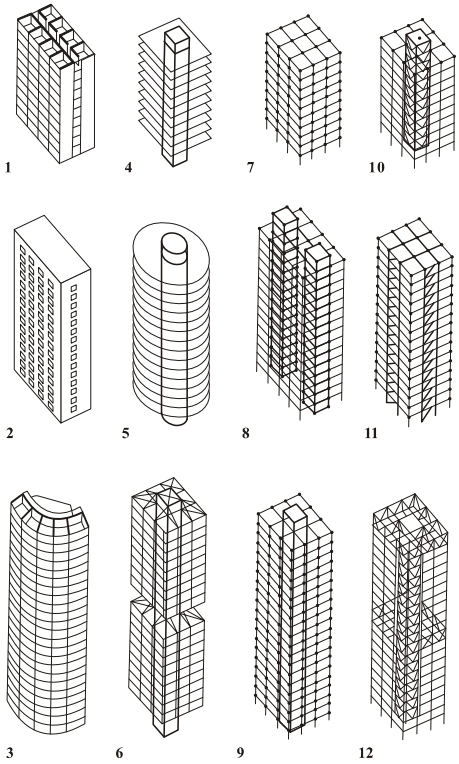
مصالح مصرفی مقاوم در برابر زلزلـه بایـد دارای دو ویژگـی: ۱) خاصـیت جـذب انرژی و تغییر شکل‌پذیری زیاد، ۲) نسبت بالای مقاومت به وزن باشد.
ساختمان بلند در برابر نیروی جانبی ماننـد طـره عمـودی اسـت کـه رفتـار پیچیده‌تری نسبت به ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه دارد.



مکانیزم باربری جهت بارهای جانبی (تصویر بالا) و مقایسه با یک تیر طره‌ای (تصویر پایین)

سازه‌های ساختمان‌های بلند

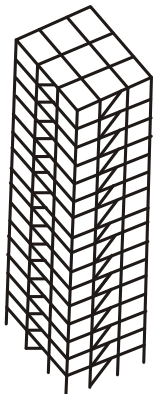
اهمیت انتخاب یک سیستم مؤثر متناسب با ارتفاع ساختمان، به منظور دستیابی به سازه‌ای مناسب‌تر با وزن کمتر هر طبقه و بهینه‌سازی زمان و هزینه اجرا، افزایش می‌یابد. چنانچه سیستم غالب باربری جانبی در پیرامون بنا باشد، سازه خارجی و اگر در داخل بنا باشد، سازه داخلی نامیده می‌شود.
دسته‌بندی زیر براساس سیستم باربری جانبی شکل گرفته است: سازه‌های داخلی عبارت‌اند از: ۱) سیستم‌های مقاوم در برش، ۲) سازه دیوار باربر، ۳) قاب مهاربندی‌شده، ۴) قاب صلب، ۵) قاب خمشی مهاربندی‌شده، ۶) سیستم‌های مرکب از قاب و دال مسطح، ۷) سیستم مرکب از قاب و دیوار برشی، ۸) خرپاهای کمربندی و خرپاهای کلاهی، ۹) سازه تکمیل‌کننده نیروی متکی بر هسته، ۱۰) سیستم مرکب از قاب و هسته توأم با خرپاهای کمربندی صلب، ۱۱) سازه تیر دیواری، ۱۲) سیستم‌های طره‌ای، ۱۳) سیستم‌های معلق.
سازه‌های خارجی عبارت‌اند از: ۱) سیستم لوله‌ای، ۲) سیستم شبکه مورب (دایاگرید)، ۳) خرپای فضایی، ۴) ابرقاب.
سیستم لوله‌ای عبارت است از: ۱) لوله قابی، ۲) لوله مهاربندی‌شده، ۳) لوله دسته‌شده.



تعدادی از متداول‌ترین سیستم‌های سازه‌ای ساختمان‌های بلند:

۱) دیوارهای برشی سلولی، ۲) دیوارهای برشی خارجی، ۳) دیوارهای برشی منحنی، ۴) هسته طره‌ای با طبقه‌های طره‌شده، ۵) هسته مدور طره‌ای با طبقه‌های طره‌شده، ۶) هسته طره‌ای با طبقه‌های معلق، ۷) قاب مقاوم خمشی، ۸) قاب خمشی با دو هسته برشی، ۹) قاب خمشی با یک هسته برشی، ۱۰) هسته مهاربندی‌شده، ۱۱) قاب با دهانه‌های خارجی مهاربندی‌شده، ۱۲) هسته مهاربندی‌شده با خرپای کمربندی و کلاهی

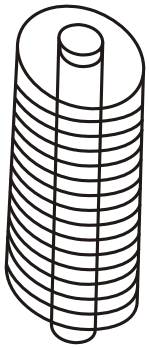
مثال۵: شکل زیر، نشان‌دهنده کدام سیستم سازه‌ای است؟ (هنرهای ساخت و معماری ـ سراسری ۹۵)



۱) لوله‌های دسته‌شده متقارن
۲) قاب صلب و هسته مشبک
۳) قاب ساده با سیستم لوله‌ای متناوب
۴) قاب با دهانه‌های خارجی مهاربندی‌شده

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» قالب‌های بیرونی با سیستم مهاربندی قطری در هر دو جهت x و y مهاربندی شده است.

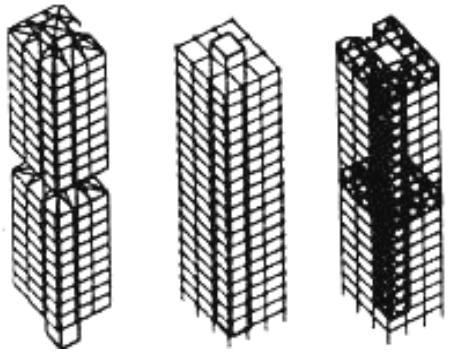
مثال۶: مناسب‌ترین عنوان برای سیستم سازه‌ای زیر کدام است؟ (هنرهای ساخت و معماری ـ سراسری ۹۵)



۱) سازه معلق مدور و هسته استوانه‌ای
۲) سازه محدب لوله‌ای با هسته معلق دوار
۳) هسته مدور طره‌ای با طبقه‌های طره‌شده
۴) قاب طره‌ای، هسته‌های برشی سلولی مدور

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» در سازه معلق همیشه کابل وجود دارد که در ساختمان‌های بلند از بخش بالایی ستون یا هسته طره اتکا یافته و بخشی از سازه را (مانند سقف‌ها) معلق کرده تا بهینگی سازه‌ای افزایش یابد و بدین طریق مصالح اتصالات کم شود.
در سازه نشان داده‌شده یک هسته بتنی طره‌شده نقش پایداری (مقابله با بارهای جانبی) و همچنین انتقال بارهای ثقلی را بر عهده دارد.

مثال۷: کدام سیستم سازه‌ای در میان سیستم‌های نشان داده‌شده در تصویر زیر نیست؟ (هنرهای ساخت و معماری ـ سراسری ۹۳)



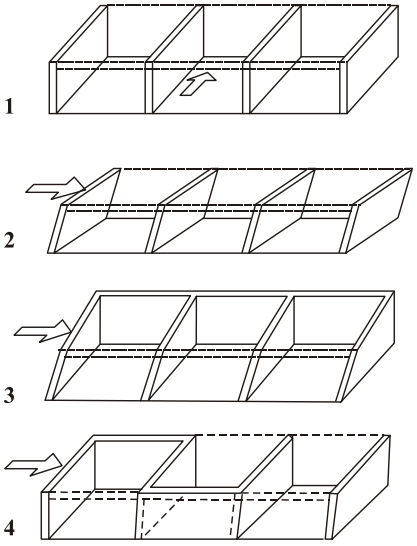
۱) قاب خمشی با یک هسته برشی
۲) هسته طره‌ای با طبقات معلق
۳) هسته طره‌ای با طبقات طره شده
۴) هسته مهاربندی شده با خرپای کمربندی و کلاهی

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» از سمت راست به چپ به ترتیب اشکال نشان‌دهنده سازه:
هسته مهاربندی‌شده (خرپایی) با خرپای کمربندی و کلاهی ـ هسته بتنی برشی با قاب خمشی (سازه اصلی هسته است) ـ و در نهایت هسته طره‌شده با طبقات معلق است که به‌علت معلق‌شدن طبقات ستون‌های بیرونی تحت فشار جای خود را به کابل‌های کششی داده‌اند و خطر کمانش از بین رفته است.

درسنامه (۲): سازه‌های داخلی

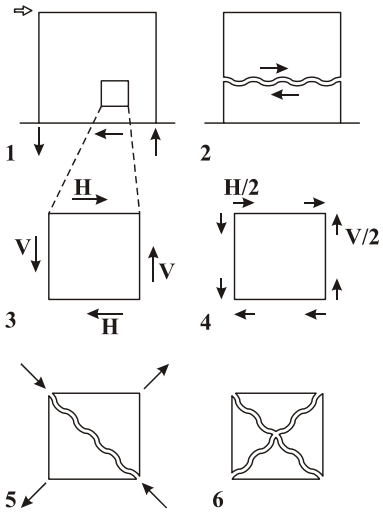
سیستم مقاوم در برابر برش

این سیستم شامل دو گروه دیوار برشی و دیوار برشی لوله (هسته برشی) می‌شود. تنها بارهای موازی با امتداد دیوار را تحمل می‌کنند و ممکن است تحت بار عمود بر سطح دیوار فرو بریزند.



رفتار دیوار برشی

تنش‌های برشی موجب ایجاد ترک‌های قطری می‌شود و شکست دیوار برشی با ایجاد ترک‌های قطری همراه است.



دیوار برشی تحت بار جانبی

نکته۶: برای آرایش قرارگیری دیوار برشی بایستی به دو نکته برای جلوگیری از پیچش توجه کرد: ۱) دیوارهای برشی متقارن باشند. ۲) دیوارهای برشی در پیرامون بنا قرار گیرند.

ضوابط طراحی دیوار برشی:

۱) دیوارهای برشی با طول بلند به خوبی واژگونی را تحمل می‌کنند.

۲) دیوارهای برشی کوتاه در برابر واژگونی مقاوم نیستند.

۳) دیوارهای برشی دوتایی که با اتصال مفصلی به هم وصل شده‌اند، مستقل از هم عمل می‌کنند.

۴) بار مرده در برابر واژگونی مقاومت ایجاد می‌کند.

۵) دو دیوار برشی کوتاه که با راهرو از هم جدا شده‌اند، در معرض واژگونی هستند.

۶) دو دیوار برشی کوتاه که با تیرچه متصل شده‌اند، پایداری در برابر واژگونی را دوبرابر می‌کنند.

۷) فاصله کم پنجره‌ها باعث ایجاد ناپایداری می‌شود.

۸) فاصله بیشتر پنجره‌ها پایداری را افزایش می‌دهد.

۹) دیوار برشی چوبی با اتصال مناسب به طبقه پایین محکم می‌شود.

۱۰) دیوار برشی چوبی با اتصال مناسب کششی به پی محکم می‌شود.

۱۱) دیوارهای برشی بتنی یا ساخته‌شده از مصالح بنایی باید با میلگردهای مهاری به فونداسیون متصل شوند.

مدرسان شریف

فصل هشتم

«فن‌شناسی معماری ایران»

درسنامه (۱): طاق و قوس

چَفد (قوس)

فرم هر پوشش منحنی‌شکل بر پایه چفدی است که اساس تشکیل‌دهنده فرم آن نوع طاق و گنبد است. چفد یک شکل است و فاقد بُعد فضایی است؛ همانند مربع، مستطیل و دایره که یک شکل را برای ما تداعی می‌کنند نه حجم را؛ و هریک از این اشکال در صورت گرفتن بعد فضایی نام‌های دیگری به خود می‌گیرند، همچون مربع که وقتی تبدیل به حجمی سه‌بعدی می‌شود، نام مکعب و دایره زمانی‌که سه‌بعدی می‌شود، نام کره را به خود می‌گیرد. چفد نیز شکل پایه سه عنصر مهم به نام‌های تویزه، طاق و گنبد است که وقتی سه‌بعدی می‌شود، این نام‌ها را به خود می‌گیرد. براساس این تعریف، چفد یک فرم منحنی‌شکل است که به صورت منفرد کارکرد سازه‌ای ندارد و با انتقال شکل آن به تویزه، طاق و گنبد ویژگی‌های سازه‌ای خود را نمایان می‌سازد، پس چفدها اساس و بنیاد ساخت تویزه‌ها، طاق‌ها و گنبدها می‌باشند.

تعاریف تویزه، طاق و گنبد را می‌توان براساس چفد مطابق زیر ارائه کرد:

تویزه (باریکه طاق): درصورتی که یک چفد را در راستای طولی خود (افقی) امتداد دهیم، به طوری که عمق آن از دهانه آن بیشتر نشود، به آن تویزه می‌گوییم. به عبارتی در این رابطه اگر x دهانه و y عمق باشد، رابطه عمق و دهانه تویزه به صورت روبه‌رو است: $y > x$

طاق: درصورتی که یک چفد را در راستای طولی خود (افقی) امتداد دهیم، به طوری که عمق آن از دهانه آن بیشتر شود، به آن طاق می‌گوییم. به عبارتی در این رابطه اگر x دهانه و y عمق باشد، رابطه عمق و دهانه تویزه به صورت روبه‌رو است: $y < x$

گنبد: با چرخش یک چفد بر گِرد محور قائم مرکزی خود گنبد ساخته می‌شود.

یک چفد از بخش‌های مختلفی تشکیل می‌شود که هر ناحیه با توجه به ویژگی‌های سازه‌ای خود دارای رفتارها و نقش‌های مختلفی در پایداری یک نوع چفد یا طاق و گنبدی است که از آن شکل گرفته‌اند. برای مثال، مقاوم‌ترین چفدی که در پوشش دهانه‌های بزرگ مانند پیشان مساجد استفاده شده، چفد چمانه با خیزی بیش از نصف دهانه است. در ادامه مهم‌ترین بخش‌های یک چفد تیزه‌دار نام برده شده است:

۱ـ پاکار: به پای چفد گویند، جایی‌که چفد از آنجا شروع می‌شود. هر چفدی دارای دو پاکار در دو سوی خود است.

۲ـ تیزه چفد: به رأس چفد و بالاترین نقطه چفد گفته می‌شود.

۳ـ افریز: به دهانه چفد می‌گویند که فاصله میان دو پاکار را تشکیل می‌دهد.

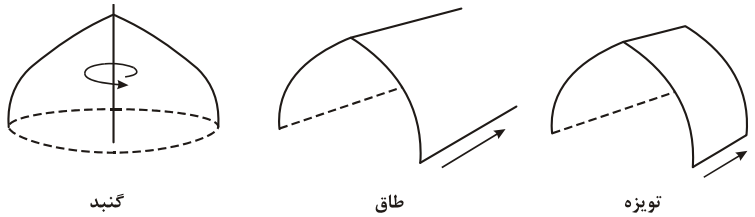
۴ـ افراز: به خیز چفد گفته می‌شود که فاصله میان افریز تا تیزه را شامل می‌شود.

۵ـ شکرگاه (شکن‌گاه): به زاویه ۲۲/۵ درجه‌ای که بر روی چفد قرار دارد، گفته می‌شود. نخستین شکاف‌ها و خرابی‌ها در این نقطه مشخص می‌شود. در شکرگاه بیشترین نیروی رانشی را داریم.

۶ـ ایوارگاه (آوارگاه): به زاویه ۶۷/۵ درجه‌ای که بر روی چفد قرار دارد، گفته می‌شود. ایوارگاه نقطه‌ای است که بیشترین نیروی فشاری چفد را در آن نقطه شاهد هستیم.

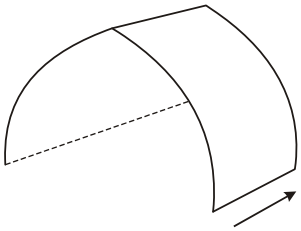
۷ـ شانه: فاصله میان شکرگاه تا ایوارگاه را بر روی منحنی چفد، شانه گویند.

۸ـ بالنج یا کناله: بخش میان پاکار تا شکرگاه را نامند.



چگونگی شکل‌گیری تویزه، طاق و گنبد از شکل پایه چفد

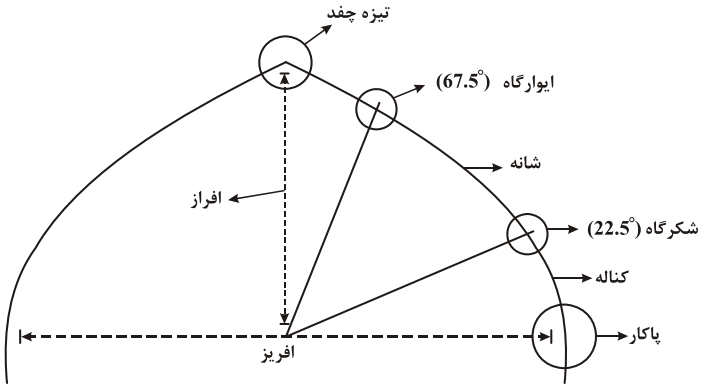
مثال۱: تصویر زیر نشان‌دهنده چیست؟ (هنرهای ساخت و معماری ـ سراسری ۹۴)



۱) افراز
۲) تویزه
۳) طاق
۴) رسمی‌بندی

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» درصورتی که یک چفد را در راستای طولی خود امتداد دهیم، به‌طوری که عمق آن از دهانه آن بیشتر نشود به آن تویزه یا باریکه طاق گفته می‌شود.

بارهایی که از بالا بر روی چفد وارد می‌شود، به وسیله پایه به دیواره‌ها و از آن طریق به زمین انتقال می‌یابد. تعادل هر چفدی پیوند نزدیکی با پایه، جرز و گشتاور چرخشی واردشده از طرف بارها که به شانه چفد انتقال پیدا می‌کند، دارد. در صورت هرگونه اختلال در این نظام باربری و انتقال ناهماهنگ بار، چفد از حالت تعادل خارج شده و موجبات آسیب آن را فراهم می‌سازد. در چفدهای آسیب‌پذیر اولین شکاف‌ها در رأس و شکرگاه‌های چفد ایجاد می‌شود.
البته نباید این نوع چفد مورد بحث را با چفدهای کاذب رایج در معماری بین‌النهرین، مصر و کشورهای دیگر یکی دانست. در چفدهای کاذب وزن هر آجر یا سنگ بر روی نصف آجر یا سنگ زیرین خود به صورت عمودی وارد شده و سپس به پایه انتقال پیدا می‌کند. بدین جهت در سازه هیچ نوع رانشی به وجود نیامده و به همین منظور به وسیله‌ای برای مهار نیروی رانشی احتیاج نخواهد بود.
چفدها در معماری ایران تنوع زیادی دارند که از پرکاربردترین آن‌ها می‌توان به چفدهای پنج و هفت (تند، کند، کفته)، شاخ‌بزی (تند، کند)، سه‌بخشی (تند، کند)، شبدری (تند، کند، پاتوپا) و کلیل (آذری، کومشی) اشاره کرد.
در دوره تیموری برای پوشش‌های کوتاه از چفدهای بزرگ که به صورت کلیل درآمده بود، استفاده می‌کردند.



بخش‌های مختلف یک چفد

نمونه‌ای از چفدهای کاذب

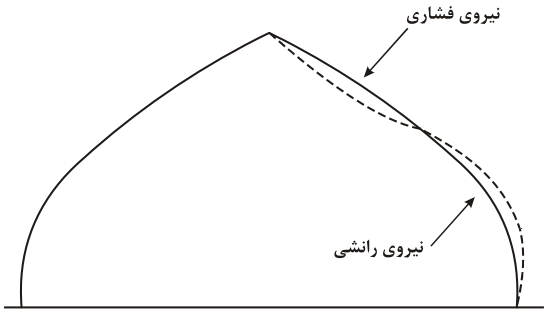
شابلون گچی (تویزه گچی): برای اینکه بخواهند تویزه، طاق یا گنبدی اجرا کنند، نیاز به انتقال طرح و شکل چفد بر روی بنا و محل اجرای آن است. یکی از این روش‌ها ساختن نمونه‌ای از شکل موردنظر چفد بر روی زمین و نصب آن به عنوان شابلون طرح در محل اجرای سازه موردنظر است. شابلون‌های گچی یکی از روش‌هایی است که بدین منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شابلون‌ها را بعد از خشک شدن و بیرون آوردن از قالب خود، به کمک چوب بر روی دیوار سوار کرده و براساس شکل آن که بر مبنای چفدی ترسیم و ساخته شده است، اقدام به اجرای تویزه، طاق یا گنبد می‌کنند.
شابلون چوبی (تویزه چوبی): در برخی موارد که نیاز به تهیه شابلون گچی نیست و محدوده اجرای کار نیز کوچک است، می‌توان از شابلون چوبی استفاده کرد. شابلون‌های چوبی نیز یا به صورت یکپارچه یا با کنار هم قرار دادن قطعات چوبی و به شکل چفد موردنظر تهیه می‌شوند. شابلون‌های چوبی

عمر بیشتری دارند و حتی می‌توان با کنار هم قرار دادن تعدادی از آن‌ها، فرم چفدها و طاق موردنظر را نیز ساخت و سپس بر روی آن اقدام به ساخت و اجرای طاق کرد.

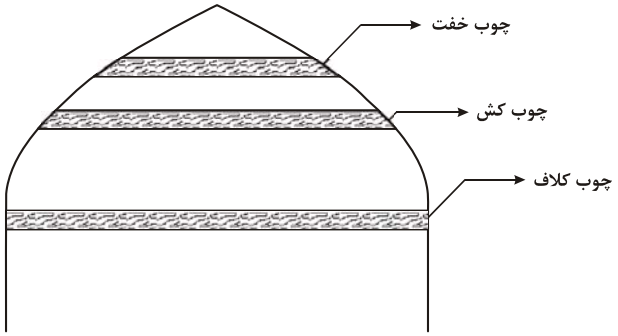
طاق

طاق آسمانه‌ای خمیده است که برای پوشش فضاهای متنوعی به‌کار می‌رود. تعریف کلاسیک طاق عبارت است از: پوششی که می‌تواند دو دیوار یا دو رده ستون همسو (موازی) با هم را بپوشاند. به بیان دیگر، طاق با ساختن چفد بر روی دهانه و امتداد دادن آن در طول حاصل می‌شود. مهم‌ترین تفاوت میان پوشش طاقی و پوشش گنبدی، تفاوت در شیوه انتقال بارها است که در ادامه به آن اشاره خواهد شد.

کَلکَن شدن (سرَبَر کردن): به تغییر شکل دادن طاق (یا تویزه) بر اثر نیروهای فشاری و رانشی، کلکن شدن طاق می‌گویند. بدین منظور و برای مقابله با چنین مسئله‌ای برای مقاوم کردن چفد در برابر نیروهای رانشی از چوب‌های کِش و برای مقاوم‌سازی در برابر نیروهای فشاری از چوب‌های خفت استفاده می‌کنیم.



چگونگی کلکن شدن طاق

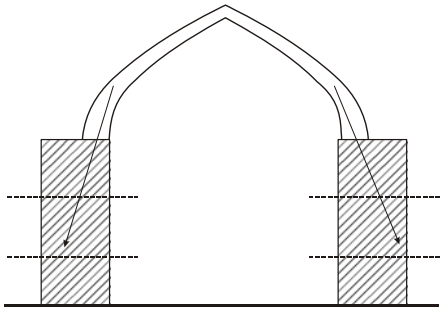


محل‌های استفاده از چوب خفت و چوب کش

روش‌های مهار نیروهای رانشی و فشاری در طاق‌ها و تویزه‌ها: یکی از مهم‌ترین مواردی که در ساخت سازه‌های طاقی همواره مورد توجه معماران بوده است، مهار نیروهای رانشی و فشاری است که از همان مراحل اولیه اجرای طاق‌زنی وجود داشته و تا پس از اتمام آن نیز تهدیدی برای ناپایداری سازه به شمار می‌آمد.

جرزهای ضخیم زیر طاق‌ها و تویزه‌ها: یکی از روش‌هایی که معماران به هنگام طراحی و ساخت بنا به آن توجه می‌کردند، اجرای جرزهای ضخیمی در اطراف محل‌هایی بود که دارای طاق‌ها و گنبدهای وسیع بودند.

هرچه دهانه طاق و گنبد بیشتر شود، نیروهای رانشی که به صورت مایل به جرزهای اطراف خود وارد می‌کند نیز بیشتر خواهد بود. در صورتی که معمار می‌توانست این نیروها را در $\frac{۱}{۳}$ پایین ضخامت جرز مهار کند، پایداری طاق و گنبد تا حد بسیار زیادی تضمین شده بود و اگر نیروها به $\frac{۱}{۳}$ میانی جرز وارد شود و در ناحیه خروج منحنی نیز فشار از $\frac{۱}{۳}$ میانی مقطع خارج شود، طاق ترک می‌خورد.

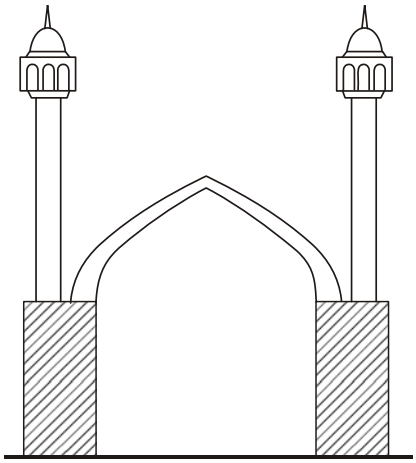


شیوه اجرای جرزهای ضخیم اطراف طاق‌ها

استفاده از عناصر ثانوی (منار) در اطراف طاق‌ها: از روش‌های دیگر پیش‌اندیشیده شده برای مهار نیروهای رانشی طاق‌ها، اجرای عناصر ثانوی (همچون مناره‌ها) در دو سوی اطراف طاق و بر بالا یا در کنار پاکار طاق بوده است.

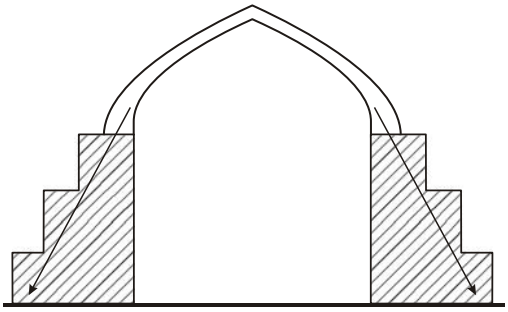
در این شرایط، نیروهای فشاری که از مناره‌های بلند اطراف طاق تولید می‌شود، بخش زیادی از نیروهای رانشی ایجادشده در طاق را در جرزهای اطراف آن مهار می‌کند.

از مهم‌ترین شروط پایداری طاق و جرزهای اطراف آن، محاسبه دقیق نیروها و محل و چگونگی اجرای مناره‌ها است، به طوری که اگر ابعاد و اندازه‌های این مناره‌ها با یکدیگر متفاوت باشد و در نتیجه نتوانند نیروهای یکسانی به جرزها وارد کنند، خود به عنوان عاملی مخل در ناپایداری و گسترش آسیب‌های ناشی از بارهای ناهماهنگ محسوب شده و سازه را بیش از پیش تهدید خواهد کرد. این مسئله را به وضوح می‌توان در بناهایی که دارای یک مناره هستند یا یکی از دو مناره آن‌ها تخریب شده است، شاهد بود.



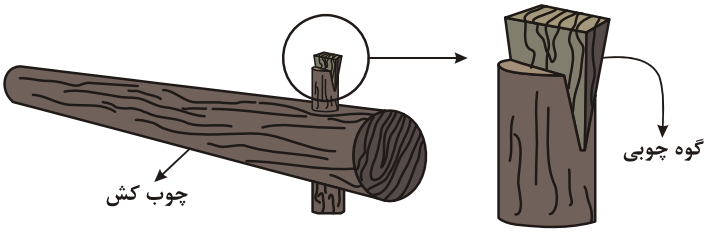
اجرای مناره اطراف پاکار طاق‌ها

استفاده از دیوار پله‌ای در اطراف طاق‌ها: این روش نیز همانند روش اول است، با این تفاوت که معمار با آگاهی از محل وارد آمدن نیروها و چگونگی انتقال این نیروها از پاکار طاق‌ها به سوی زمین، توانسته است با هنرمندی خویش علاوه‌بر هدایت و مهار مناسب نیروها، به لحاظ طراحی نیز فرم زیبایی بیافریند که علاوه‌بر حذف جرزهای ضخیم و یکپارچه سازه اطراف طاق‌ها، موجب سبک‌تر شدن جرزهای بنا شود.



دیوارهای پله‌ای اطراف طاق‌ها

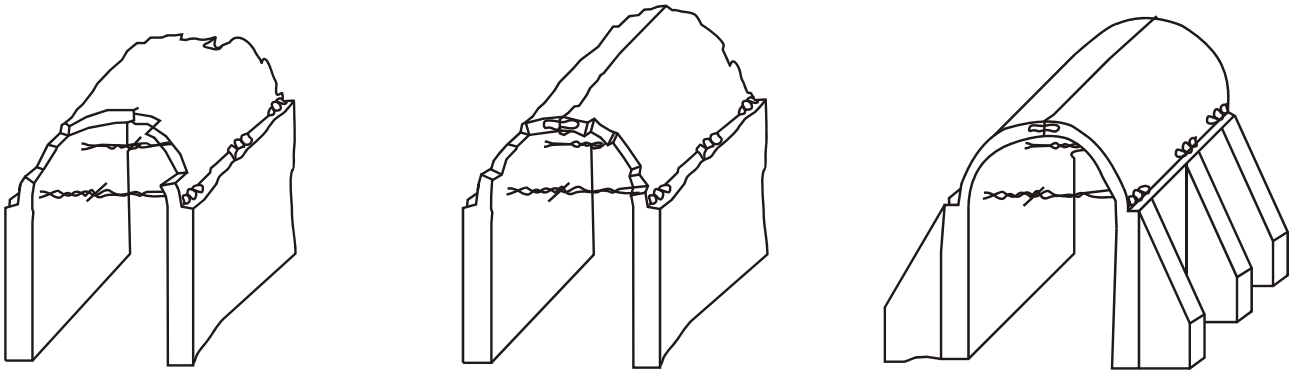
استفاده از چوب کش و چوب خفت: قابلیت ویژه‌ای که چوب در برابر نیروهای رانشی دارد، کمک می‌کند تا از آن در سازه بناها و برای مهار نیروهای رانشی استفاده شود. چوب کش در پاکار طاق‌ها موجب اتصال دو پاکار به یکدیگر شده و مانعی برای فاصله گرفتن آن‌ها از یکدیگر می‌شود. این روش از گذشته‌های دور همواره مطرح بوده و در بسیاری از بناهای تاریخی کشور، می‌توان استفاده از این تکنیک را شاهد بود، حتی امروزه با دیدن جای خالی چوب در سازه طاق‌ها می‌توان به قدمت استفاده از این روش که همزمان با ساخت بنا صورت می‌گرفته، پی برد.



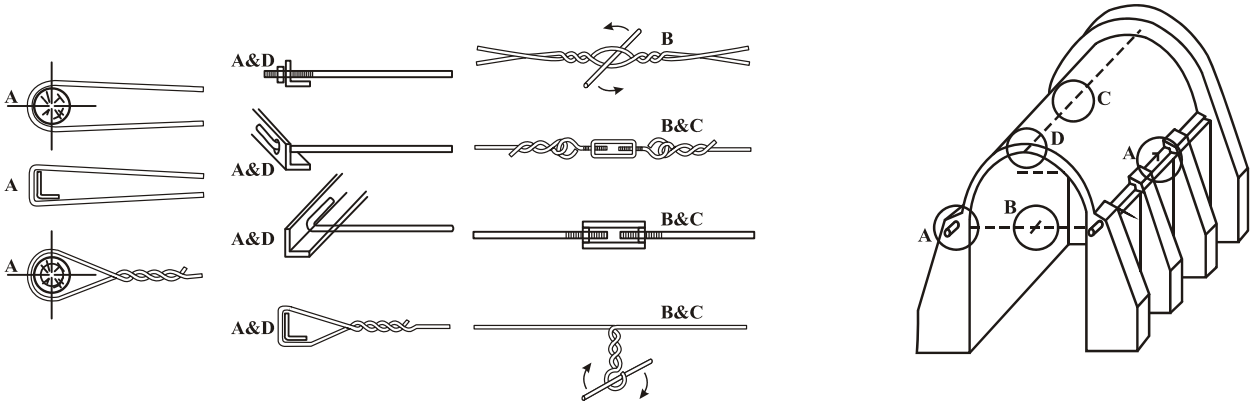
نحوه هشت و گیر کردن چوب کش در محل شکرگاه طاق

کلاف‌بندی دورتادور زمینه طاق: از روش‌های دیگری که برای مهار نیروهای رانشی و نیز تقسیم یکنواخت بار در بناها مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از کلاف‌بندی دورتادور زمینه محلی است که طاق یا گنبد بر روی آن می‌نشیند. کلاف‌بندی سبب می‌شود اتصال مناسبی میان کلاف و ساختمان بنا صورت گرفته و مانع باز شدن یا فاصله گرفتن جرزها از یکدیگر و از زیر زمینه محل قرارگیری طاق یا گنبد شود.

کلاف‌بندی برای اینکه بتواند کارایی لازم را داشته باشد، باید دورتادور زمینه اجرا شود، به عبارت دیگر از محلی که آغاز می‌شود به همان محل نیز ختم شود؛ همچنین بهتر است که محور اتصال کلاف‌ها نیز به‌صورت نیمانیم باشد تا اتصال و چفت شدن کلاف‌ها با یکدیگر به بهترین نحو ممکن صورت گیرد. در صورتی که کلاف ویژگی‌های گفته‌شده را نداشته باشد، خوب عمل نکرده و سازه را دچار مشکل می‌کند.

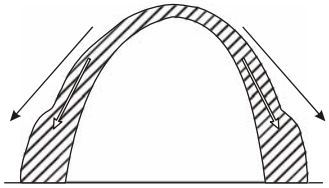


انواع روش‌های جدید کلاف‌کشی در زمینه طاق آهنگ



شیوه اتصالات در مهارهای کلاف‌کشی مدرن که با کابل‌های پیش‌تنیده صورت می‌گیرد.

مثال ۲: طرح زیر نشان‌دهنده کدام‌یک از انواع طاق است؟ (هنرهای ساخت و معماری ـ سراسری ۹۴)



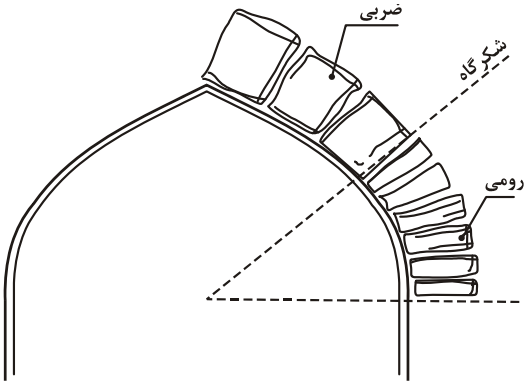
۱) آهنگ
۲) ترکین
۳) طاق و چشمه
۴) کلمبو

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» مقطع نشان داده‌شده، متعلق به طاق کسری است که طاق آن از نوع آهنگ می‌باشد.

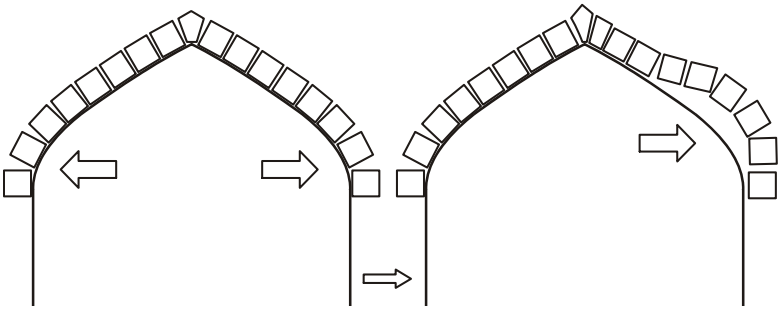
ترکیب‌های مختلف آجرچینی

برای مقاوم ساختن طاق و تویزه در برابر نیروهای رانشی از ترکیب آجرچینی رومی و ضربی استفاده می‌شود؛ به این صورت که ابتدا تا شکرگاه را آجرچینی رومی اجرا کرده و از آنجا به بعد را آجرچینی ضربی کار می‌کنند. از جمله دلایلی که سبب می‌شود از این روش برای اجرای طاق استفاده شود، هشت و گیر بودن دو آجرچینی و نیاز نداشتن آجرچینی رومی به قالب تا محل شکرگاه است، که این مسئله موجب مقاومت این نوع از آجرچینی در برابر نیروهای رانشی می‌شود؛ زیرا نیروهای رانشی در شکرگاه به طرف بیرون چفد می‌باشند.

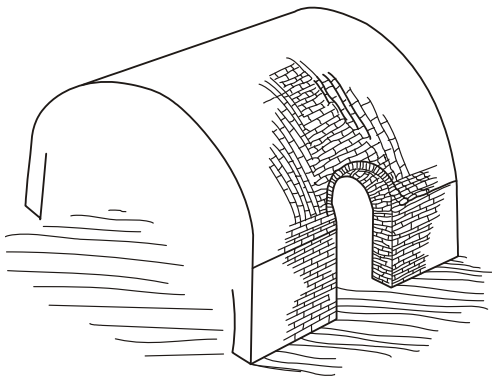
آجرچینی ضربی نیز به‌دلیل مقاوم بودن در برابر نیروهای رانشی پس از آجرچینی رومی اجرا می‌شود و همجواری این دو نوع آجرچینی کیفیت سازه‌ای طاق را بالا می‌برد. در این روش طاق ضربی به عنوان قالبی برای اجرای طاق رومی است که پس از اتمام طاق ضربی از روی آن اقدام به اجرای طاق رومی می‌کنند؛ به عبارت دیگر، ترکیب دو نوع آجرچینی سبب می‌شود که بتوانیم طاقی رومی بدون اجرای قالب در محل طاق ایجاد کنیم.

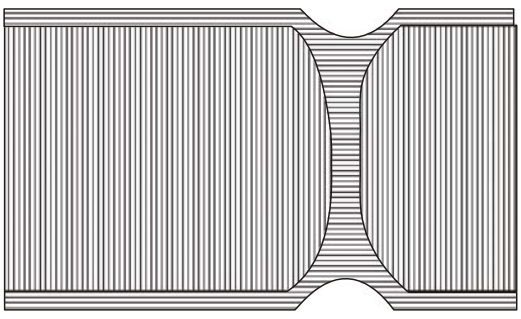


چگونگی ترکیب آجرچینی رومی و ضربی



دررفتگی آجرها از محل شکرگاه در آجرچینی ضربی





پلان معکوس سقف **آجرچینی در منزل**

پشت‌بند

پشت‌بند نیز از روش‌هایی است که در بالا بردن پایداری عناصر طاقی نقش بسیاری دارد. پشت‌بندها در معماری گذشته ما، به خصوص در بافت‌های تاریخی برای پایداری بناها با پیوند آن‌ها به یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گرفتند، به گونه‌ای که بافت‌های تاریخی شهرهایی مانند یزد و دزفول شاهد پشت‌بندهای فراوانی در گذرها و کوچه‌ها بوده است. در اغلب موارد با اتصال این پشت‌بندها به یکدیگر، فضای سرپوشیده‌ای تحت عنوان سابات در بافت خلق می‌شد. شیوه کار این پشت‌بندها به این صورت بود که با دریافت و انتقال بار موجود در سازه بناهای ساخته‌شده در دو سوی گذر، موجب خنثی شدن بارهای اضافی آن‌ها شده و در نهایت موجبات پایداری سازه را فراهم می‌کردند. در استفاده از پشت‌بند باید آجرچینی به صورتی باشد که نخست در جهت و هم‌راستای آجرچینی دیوار نبوده و سپس به صورت مورب اجرا شده باشد که نیروها را به طور مستقیم با زاویه ۴۵ درجه به زمین منتقل کند. برای کم کردن وزن پشت‌بند، بهتر است از پشت‌بندهای معلق استفاده شود (پشت‌بندهایی که زیر آن‌ها برای عبور و مرور خالی است).

پالانه کردن: پالانه کردن عبارت است از: تقویت سازه طاق یا گنبد اجراشده با استفاده از ساخت‌مایه‌های مکمل. در این روش برای تقویت طاق معمولاً پس از اجرا، پشت آن را غوره گل ریخته و پس از پر شدن تمام درزهای میان آجرها، بین دو تا پنج رج آجرچینی به روش چپیله انجام می‌شود.

طاق اصلی ← دوغاب تیز گچ ← پالانه ← عایق‌کاری ← آجرفرش ختایی ← کاهگل

تعریف دیگری که از پالانه وجود دارد، عبارت است از اجرای چند ردیف طاق آجری به صورت خمیده بر روی نعل درگاه‌ها تا بارهای وارده به چوب کمتر شده و در عوض تمرکز بارها بیشتر بر روی ابتدا و انتهای آن که بر روی دیوار قرار دارد، صورت گیرد که به این اقدام نیز پالانه کردن یا جهازه گویند. در برخی نواحی مرکزی، بخش بالای درگاه‌ها را که عرض کمی دارد به صورت شیبدار به طرف بیرون پوشش می‌دهند که نقش آن‌ها بیشتر جلوگیری از ورود نور آفتاب به درون اتاق (سه دری، پنج دری) است. به این نوع پوشش نیز «خرک‌پوش» گفته می‌شود.

پَکُفته (پَت کوفته): به پر کردن فضای خالی بالای دیوار یا طاق در زیر آسمانه با چیدن آجر، خشت یا سنگ به صورت اریب یا عمودی پَکُفته کردن می‌گویند. در این حالت پس از اینکه طاق مورد نظر را اجرا کردیم، برای اینکه از وارد شدن نیروی فشاری آجرها به طاق جلوگیری کنیم، آجرها را به صورت عمودی با ملات به دیوار بالایی چفد می‌زنیم، همچنین برای تقسیم بار از تیرهای چوبی به فواصل مختلف روی طاق بهره می‌گیریم تا وزن آجرها روی این تیرهای چوبی وارد شود. در تعریف دیگری از پکفته، خشت را به صورت عمودی در محل خراب‌شده سازه (دیوار، طاق یا گنبد) اجرا می‌کنند.

عوامل مؤثر در انتخاب شیوه طاق‌زنی: به کارگیری روش‌های متنوع در طاق‌زنی به عوامل مختلفی بستگی دارد. به عبارت دیگر، سازنده بنا در جایی که قرار بود به اجرای طاق بپردازد، با محاسبه و در نظر گرفتن مواردی تصمیم به انتخاب نوع و چگونگی اجرای آن طاق خاص می‌کرد. بر این اساس می‌توان موارد زیر را به عنوان عوامل وابسته به طاق‌زنی دانست:

توان باربری هریک از روش‌های اجرای طاق: طاق‌هایی که در معماری ایران استفاده شده‌اند، با توجه به نوع ترسیم و اجرای چفد پایه خود ویژگی‌های باربری متفاوتی دارند. برخی از آن‌ها به لحاظ پایداری و توان باربری آنچنان مورد توجه معماران بوده‌اند که با گذشت چندین هزار سال از ساخت برخی بناهای طاقی و گنبدی همچنان پابرجا می‌باشند و در مقابل، طاق‌هایی در معماری ما وجود دارند که نمی‌توان دهانه آن‌ها را بیش از یک متر امتداد داد، زیرا ناپایدار شده و تخریب می‌شوند.

در میان چفدهای ایرانی چفدهای شبدری، چمانه، پاتوپا و چفدهایی با مقطع بیضی مثل هلوچین تند و کند و در مجموع چفدهایی که دارای خیز زیاد و افراز بلند هستند، ایستایی بهتری دارند. چفدهایی مثل پنج و هفت کند و شاخ‌بزی و دیگر چفدهایی که دارای خیز کم می‌باشند، مقاومت کمتری دارند.

نوع مواد، ساخت‌مایه و ملات به‌کار رفته در طاق: همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، ساخت‌مایه‌هایی که برای اجرای بناها در کشور ما مدنظر بودند، معمولاً متناسب با اقلیم و وضعیت جغرافیایی منطقه تعیین می‌شدند، همچنین دسترسی به یک نوع ساخت‌مایه خاص نیز عامل تعیین‌کننده‌ای در نوع و نحوه اجرای طاق موردنظر بود؛ به عنوان مثال اجرای طاق‌های سنگی نیاز به تدابیری داشت تا سنگینی این نوع طاق سبب ریزش آن در حین اجرا یا پس از آن نشود یا در صورتی که از این نوع ساخت‌مایه برای ساخت طاق استفاده می‌شود، متناسب با ابعاد و دهانه محل اجرای طاق باشد.

شاید بتوان چنین گفت که در مناطق با امکان دسترسی به ساخت‌مایه‌های متنوع، معمار توانسته به اتکای تنوع ساخت‌مایه‌های موجود، انتخاب بهتری در نوع طاق، فرم طراحی معماری محل طاق‌زنی و ابعاد و اندازه‌های آن داشته باشد و برعکس در مناطقی که دسترسی فقط به یک نوع از ساخت‌مایه خاص صورت می‌گرفت، گزینه‌های پیش روی معماران نیز می‌توانست تحت‌الشعاع چنین مسئله‌ای قرار گیرد.

ابزار اجرایی در دسترس: محدود بودن ابزار اجرایی برای انجام فعالیت‌های معماری همواره از مهم‌ترین مشکلات معماران بوده است؛ با وجود این، آن‌ها همواره روش‌های مختلفی را ابداع کرده بودند تا بدین وسیله بتوانند بناهای دلخواه خود را مطابق نیازها و امکانات موجود طراحی و اجرا کنند. در اغلب موارد دسترسی به ابزار مورد نیاز به راحتی امکان‌پذیر نبوده یا مستلزم زمان و هزینه‌های بسیاری است. در سازه‌های طاقی مشکلات اجرایی بیشتر بوده و ابزارهای موجود نیز محدودتر می‌شود.

مهم‌ترین دغدغه معماران در ساخت پوشش‌های غیرتخت، پایداری سازه اجرایی تا مراحل پایانی کار بوده است، بر این اساس نیز برخی از سازه‌های طاقی نیاز به قالب و یا سیستم سازه‌ای پشتیبان داشته‌اند که بی‌شک معمار را برای اجرای آن نوع از سازه تا حدودی دچار مشکل می‌کرد. به عبارت دیگر، اجرای چنین سازه‌هایی نیاز به ابزارهایی داشت که اگر معمار توانایی فراهم‌کردن آن را نداشت ـ چه به لحاظ مالی و چه از دید فنی ـ امکان اجرای برخی از فنون نیز میسر نمی‌شد. برای مثال در طاق‌هایی که به روش رومی اجرا می‌شوند، نیاز به اجرای قالب دبه است. این قالب دارای ساختار چوبی و سنگین است که بار پوشش