پایداری بناهای تاریخی در برابر زلزله

● کریستوفر آرنولد ـ روبرت ریترمان

● ترجمهٔ محمدرضا اولیاء

کرمان یکی از مناطق زلزله خیز کشور است و تاریخ این منطقه نشان می دهد که هر چند سال یک بار زمین لرزهٔ نسبتا شدیدی آثار و عواقب ناگواری از خود بر جای گذاشته است. امروزه با توجه به پیشرفت علم و تکنولوژی ثابت شده است که می توان برای از بین بردن و یا کاستن خسارات ناشی از زلزله، شیوه های مناسبی به کاربرد و طبیعتاً بر عهدهٔ مراکز مسؤول است تا در این زمینه، به علاج واقعه قبل از وقوع بیندیشند. امّا نکته قابل اهمیّت این است که بسیاری از بناهای قدیمی ما نیز در طول تاریخ، استحکام خود را در مقابل این حادثهٔ طبیعی نشان داده اند. وجود آثار و ابنیهٔ تاریخی در منطقه کرمان و سایر مناطق زلزله خیز ایران گواه این مدعاست. بی تردید استفاده از تجربیّات گذشتگان نیز در این مورد کارساز خواهد بود.
مقالهٔ زیر به بررسی چند بنای تاریخی و نحوهٔ ساخت آنها جهت مقاومت در برابر زلزله، اختصاص دارد.

توجه به موضوع طراحی فرم ساختمان یا شکل وهیاتْ که غالب بخشهای این تحقیق را شامل می شود، مسألهٔ عمده ای است که برخی از طراحان به لحاظ دشواری برخورد، توجه کمتری به آن نشان داده اند.

باید دید برای طراحی یك ساختمان مقاوم در برابر زلزله، که ازنظر اقتصادی و سازه‌ای قابل توجیه باشد، عنایت صرف به ابعاد بصری مانند تقارن، نظم، یك نواختی و یکدستی کفایت می کند؟

خیر، بلکه باید گفت: زمانی یك ساختمان در برابر زلزله پایدار می‌ماند که گذشته از رعایت ضوابط مربوط به جنبه‌های ظاهری آن، از نظر طراحی، با درکی عُمیق و آگاهانه از مفاهیم همراه باشد. این امر ابعاد تازه‌ای از طراحی را پیش روی ما می گذارد.

تفاوتی که در شکل وهیأت ساختمانها درمناطق زلزله خیز دنیا وجود دارد بسیار منطقی به نظر می‌رسد. این تفاوت در شکل ظاهری، به دور ازتأثیرات غیر اصولی و بوالهوسانه که تا حدود قابل ملاحظه‌ای به طراحی معاصر لطمه وارد ساخته، ممکن است به نوعی نظم و قانونمندی باز گردد که در غالب آثار بزرگ معماری می توان سراغ آن راگرفت.

«سادگی» را می توان به عنوان یکی از مبانی طراحی موفق در برابر زلزله مطرح و بررعایت آن در شکل وهیأت ساختمان تاکید کرد. سادگی که یکی از اصول و مبانی طراحی شاهکارهای بابرجای تاریخ معماری است که متأسفانه براحتی از آن در طراحی ساختمان‌های جدید غفلت می شود.

غالب شیوه‌های معماری سنتی در مناطق زلزله خیز جهان مانند بین النهرین، چین، مدیترانه، درّهٔ هند به خاطر درك آگاهانه ازمسائل موثر درطراحی ورعایت اصول طراحی در برابر زلزله، درمقایسه با دیگر شیوه های برخورد با موضوع درسایر نقاط غیر زلزله خیز دنیا قابل قیاس است.

تفکر تحلیل گرایانه درخصوص طراحی ساختمانها و مقاوم سازی آنها در برابر زلزله، یك پدیدهٔ قرن بیستم است. اززلزله بیشتر به عنوان عامل «مخرب» یاد شده وکمتر دربعد «طراحی» ملحوظ نظر قرار گرفته است. درحالی که رعایت اصول «سازه‌ای» در «طراحی» غیرقابل اجتناب وغیرقابل انکار بوده و هستند.

تاریخ معماری را به طور غالب می توان تاقبل از قرن نوزدهم به نوعی تلاش در جهت خلق فضای مناسب تحت تقیدّ مصالحی تلقی کرد که عمدتا در برابر نیروهای فشاری عمل می کردند. هرچه قدر ساختمان‌ها مرتفع‌تر وظریف‌تر شدند، پاسخ طراحان به طبیعت نیروهای جانبی و افقی باد، دانشی همانند را برای طراحیْ ساختمانها در برابر زلزله به وجود آورد. نگرانی مشابهی که معماری گوتیك برآن مبتنی است، در واقع در طیف وسیعی پاسخ چنین مسأله‌ای است.

پیش از تفکر راجع به طراحی بنا در برابر زلزله برای بناهای حال و آینده، تحقیق در خصوص بناهای تاریخی مشهور، از دیدگاه سازه ای، خصوصا سازه‌های سنتی مبتنی بر نیروهای افقی غیر مقاوم در برابر زلزله، بویژه قوس‌های باربر و تویزه‌ها آموزنده خواهد بود. دربعضی ازموارد مثلا در بنای تاریخی ایاصوفیه (استانبول) اقدامات استحفاظی، استحکامی و تقویتی در برابر زلزله، بخشی از تاریخ معماری بنا را تشکیل داده است.

ذکر این نکته جالب توجه است که بسیاری از بناهای تاریخی علی‌رغم آسیب‌پذیری، مسلح نبودن به عناصر کششی، فقدان اتصالات بتونی یا فولادی درمفاصل بنا، طراحی و اجرا قبل از ظهور تفکر تحلیل گرایانه، کمی و محاسباتی مربوط به زلزله، همچنان استوار و پای برجا باقی مانده‌اند. دلیل این امر، پیکربندی[1] صحیح و توجه به ترکیب و ریخت شناسی اساسی بنا بوده است. زیرا شکلها و هیاتهای

سادهٔ بنا تنشهای ناشی از زلزله را در ساختمان کاهش می‌دهد. استفاده از مصالح بنایی مقاوم در برابر نیروهای فشاری، طوری صورت گرفته که نیروهای کششی، خمشی و برشی به حداقل تقلیل یافته است. انتخاب فرم و هیات صحیح ساختمان تنها وسیلهٔ ممکن بوده، که در طراحی بناهای تاریخی از آن استفاده شده و به طرز قابل توجهی چنین آثاری را در برابر زلزله ایمن نموده است.

بنای تاریخی پارتنون (آتن) یك نمونه کامل از قوارهٔ مطلوب

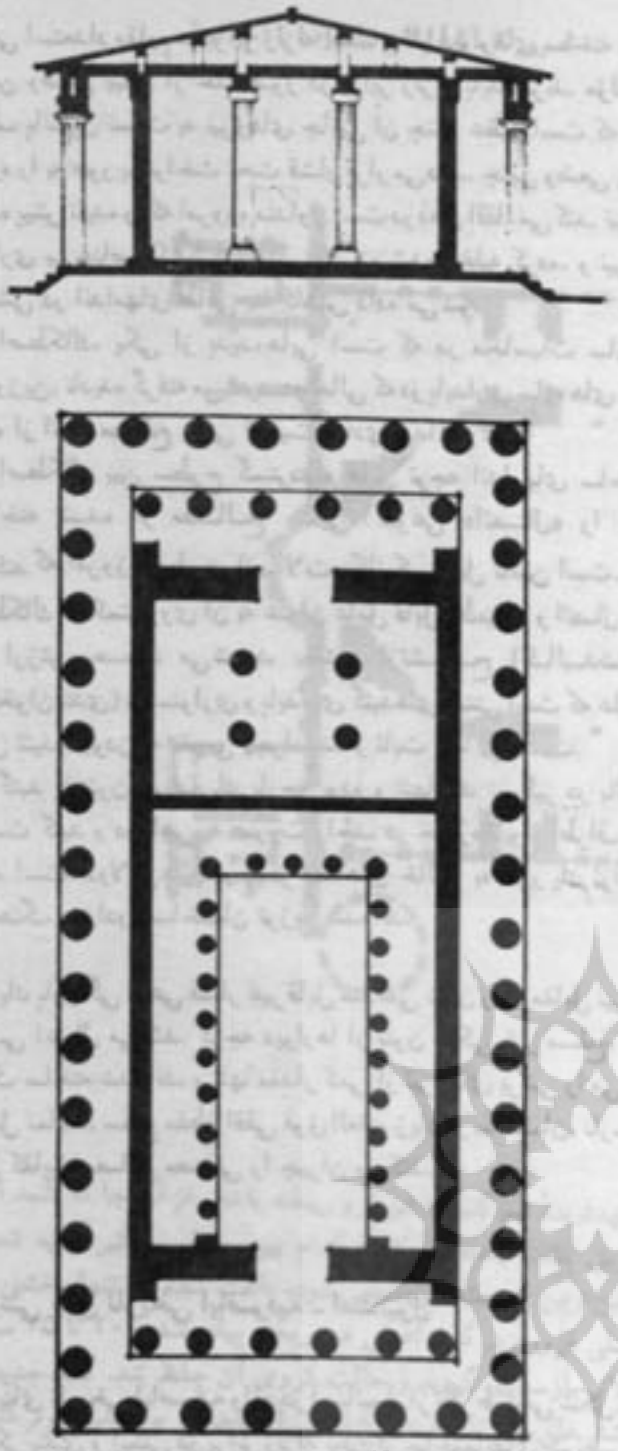
پارتنون بنایی است که در منطقه‌ای نیمه زلزله خیز از جهان واقع شده و ۲۴ قرن است که همچنان ثابت و استوار، پابرجاست. پلان آن تقریباً در دو محور عمود برهم متقارن است. ساختمان را ردیفی از ستون‌ها، با فواصلی اندك از هم، دربرگرفته است. دیواری پروبار بر فضای داخل را از خارج جدا می کند و ستونهای بیشتری را در اندرون بنا، جای می‌دهد، تصویر (۱ـ۱۲)

علی رغم عدم ضرورت یا عدم امکان ایجاد فضای وسیع، بدون استفاده از ستون، مقدار قابل توجهی مصالح ساختمانی مورد استفاده قرار گرفته است. همانند نمونه های معماری دوران اولیه رومی، اتاقی کوچك در وسط بنا کافی بوده است که نیازها را مرتفع سازد.

اگر قرار بود این بنا با همان فرم اولیه در دورهٔ معاصر ساخته شود، تنها تغییر احتمالی برای افزایش مقاومت بنا در برابر زلزله تغییر در نوع مصالح مصرفی بود (تغییر دیوار سنگی پیش تنیده نشده به دیوار یك پارچه باربر، استفاده از سقفی محکم‌تر و قوی‌تر و تغییر ستونهای سنگی به مصالحی مقاوم در برابر زلزله).

با تغییر وضعیت اندامهای باربر تیر و ستون به قاب مقاوم در برابر گشتاور، با جزئیات اجرائی بهتری در اتصالات بین سقف و دیوار، تکیه گاهها و بالکن‌ها و غیره سیستم سازه‌ای دیگری جایگزین می شود. اما در نگرش به شکل و هیأت ساختمان «جایگاه» عناصر مقاوم، در مقایسه با «جنسیت» آنها اهمیت و حساسیت بیشتری در تأمین مقاومت بنا در برابر زلزله پیدا می کند.

امروز اگر کسی بخواهد ساختمانی را در ابعاد پارتنون با قطعات سنگ مرمر، بدون استفاده از تجارب دورهٔ معاصر، دانش و فن مقاوم سازی بنا در برابر زلزله بسازد، شکل و هیأتی مناسب‌تر از هیأت پارتنون پیدا نخواهد شد.



تصویر ۱ـ۱۲ مقطع و پلان پارتنون

پانتئون ـ گنبد بزرگ رومی

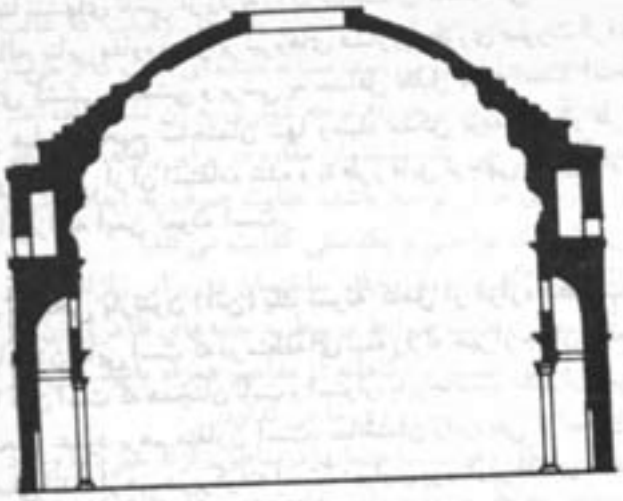
با توجه به این که مقیاس کلان ـ فضای داخلی در معماری رومی یکی از ویژگیهای برجستهٔ آن در مقایسه با معماری قدیمی یونان است، تأمل و مطالعهٔ بنای تاریخی پانتئون آموزنده و مفید خواهد بود. معبد مذکور با دهانه‌ای در حدود ۱۴۳ فوت بیشترین دهانه را در میان بناهای تاریخی دربردارد و ۱۷ قرن از عمر آن می گذرد.

پیکر و هیأت پانتئون فوق العاده ساده است. بنای یاد شده از جداره و دیواری استوانه‌ای تشکیل شده و گنبدی با دهانه زیاد روی آن قرار گرفته است. ایوانی ستون دار به شکل مستطیل ورودی بنا را پوشش می‌دهد. تصویر ۲ـ۱۲

ساختمان پانتئون با استفاده از مصالح بنایی با چنان ارتفاع و دهانه‌ای، آن را از نظر تاریخی ـ سازه‌ای در مقایسه با دیگر بناهای مشابه تاریخی برجسته و ممتاز می سازد. استفاده از پشت بندهای مقاوم در برابر نیروهای رانشی در نقاط حساس، همانند ساختمان های گوتیك، احتمالاً دیوارهای پانتئون را در برابر مؤلفه‌های عمودی وزن گنبد، مقاوم می سازد.

ذکر این حقیقت ضرورت دارد که توده[۲] و انبوهی مصالح، خود،

● زمانی یك ساختمان در برابر زلزله پایدار می ماند که گذشته از رعایت ضوابط مربوط به جنبه های ظاهری آن، از نظر طراحی با درکی عمیق و آگاهانه همراه باشد



نوعی استعداد مقاوم در برابر زلزله است و لذا دیوارهای ساخته شده با چنین وضعی بیش از حد تصور در برابر زلزله پایدارترند. مؤلفه‌های سقف پانتئون نسبت به نیروهای جانبی آن چنان عظیم است که تمامی سازه را به طور یکنواخت تحت فشار قرار می‌دهد. چنین وضعی یك فرم ساده پیش تنیده را که امروزه متداول است در ذهن القاء می‌کند. نیروهای فشاری بر عناصر کششی (خیلی کشیده شده) غلبه کرده، و نیروهای کششی در اندامهای طاقی بنا کاهش داده می‌شود.

اصطکاك، یکی از پدیده‌هایی است که در محاسبات سازه‌های امروزین، نادیده گرفته می‌شود، در حالی که در پایداری سازه‌های ساخته شده از انبوه مصالح بنایی اهمیت زیادی پیدا می‌کند.

اصطکاك بین سطوح گسترده و قابل توجه اندامهای ساختمانی ساخته شده از مصالح بنایی، نوعی «اتصال» را ایجاد می‌کند که امروزه از طریق اتصالات مکانیکی قابل تأمین است. عامل اصطکاك که کمتر روی آن به عنوان عامل قابل اطمینان و اتصال دهندهٔ با ارزش حساب می‌شود، بخشی از تشریح (کالبدشناسی استخوان‌بندی) و استواری و پایداری گنبدهای سنتی است که علی‌رغم پیش تنیده نبودن به خوبی اجرا شده و ثابت و پا برجاست.

گنبد پانتئون تقریبا یك پارچه بوده و تنها یك نورگیر در بالاترین قسمت گنبد و درگاهی به صورت واحد، در جداره دیوار اطراف ایجاد شده است. دولایی‌ها[۳] و دیگر فضاهای خالی، به طور یك نواخت و هماهنگ دورادور ساختمان توزیع شده‌اند.

این یك پارچگی نوعی فشار غیر قابل متلاشی شدن را در مقابل نیروهای رانشی اعمال می‌کند. گرچه دیوارها از بتون آهکی غیر مسلح، آجر و سنگ ساخته شده‌اند، و تنها مقدار کمی از نیروهای برشی را می‌توانند تحمل نمایند، سطح مقطع افقی فوق العاده زیاد در ساختمان، نارسایی و عدم کفایت مصالح مصرفی را جبران می‌کند.

بررسی بنای تاریخی ایاصوفیه ـ استانبول

بنای تاریخی ایاصوفیه واقع در استانبول از نظر طراحی شکل، هیأت و پیکر بندی و ایمنی در برابر زلزله یکی از ساختمانهای کم نظیر سنتی دنیاست. تجزیه و تحلیل بنای یاد شده به لحاظ حل ماهرانهٔ نیروهای رانشی در مقیاسی وسیع، در چنین بنای عظیمی فوق العاده جالب است.

طراحان بنا «آنتمیوس» و «آیزودوروس»[۴] بنا را طوری طراحی و پیکر بندی کردند که بتوانند با نیروهای رانشی (افقی) ناشی از گنبدها و تویزه‌ها، به جای نیروهای افقی ناشی از لرزش زمین مقابله نمایند.

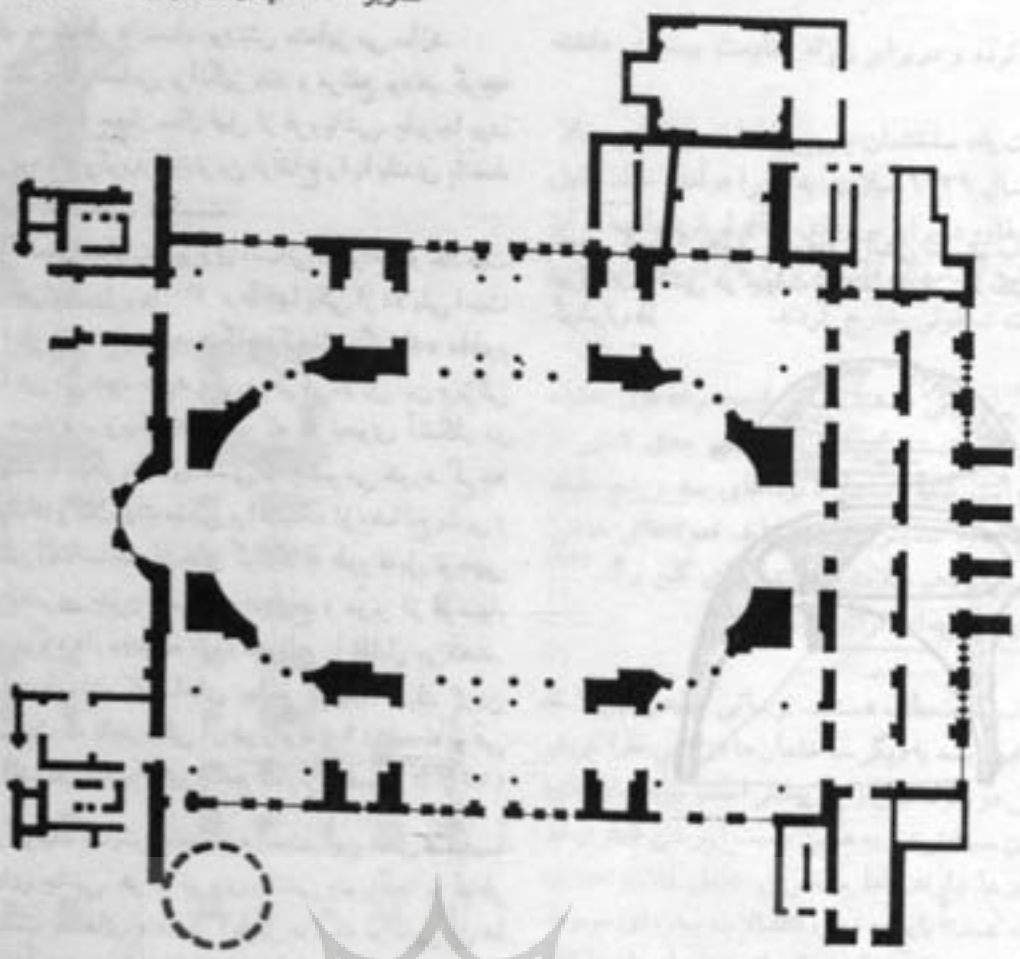
سادگی، تقارن، طبیعت و ساختار توده ای ساختمان، ثابت شده است که همگی با بارهای قائم عمل کرده و می توانند بر تمامی نیروهای افقی داخلی و خارجی مقابله نموده و بر آن‌ها غلبه نمایند.

تصویر (۳ـ۱۲) حل مسأله نیروهای رانشی و فشارهای جانبی گنبد کم خیز و پردهانهٔ ایاصوفیه مستقیما به هیأت معماری آن که با پیکر بندی و اندام سازه‌ای بنا تطابق دارد، ارتباط می‌یابد.

پیش آمدگیها در گوشه‌ها باعث می‌شوند تا پلان مدور گنبد، هرچه پائین‌تر می‌آید به پلان مربع نزدیك‌تر شده، نیروهای رانشی به طور یکنواخت و در تمامی جهات به سمت گوشوارها گرایش یابد. پشت بندهای غول پیکر در دوجهت و دو نیم گنبد در طرفین دیگر بنا نیروهای رانشی را تحمل می‌کنند. تصویر (۴ـ۱۲) جرزها و دیوارهای ساخته شده با مصالح بنایی با ضخامت زیاد آنها محملی برای انتقال نیروهای قائم و افقی به زمین هستند. نقش نیم گنبدهای شرقی و غربی تأمین خطی

● در بنای تاریخی ایاصوفیه (استانبول) اقدامات استحکامی در برابر زلزله، بخشی از تاریخ معماری آن را تشکیل می‌دهد. ایا صوفیه از نظر مقاومت در برابر زلزله یکی از بناهای کم نظیر جهان است

تصویر ۳ ـ ۱۲ پلان ایاصوفیه ـ استانبول



یك نواخت جهت عکس‌العمل نیروهای رانشی گنبد اصلی است. و این در حالی است که نیم گنبدهای کوچکتر (واقع شده در انحنای دیوار نیم استوانه) بار نیم گنبدهای بزرگ‌تر فوقانی را تحمل می‌کنند و در قسمت‌های شمالی و جنوبی پشت بندها رانش تویزه‌ها[۵] و طاقها را جلوگیری می‌نمایند.

تویزه‌ها در این دو قسمت به حد کافی عریض پیش‌بینی شده‌اند. این امر به صورتی است که تویزه‌های یاد شده در قسمت بیرونی بنا «جلوزده» و نمایان است.

واضح است مصالح مصرفی به شکل قوس یا تویزه در سمت یاد شده عمل می‌نمایند. پس از گذشت زمان، معلوم شد پشت بندها اندکی کوتاه است. مقدار کمی خطا که در آن زمان قابل پیش‌بینی نبوده و نیز تغییر حالتهای بیرونی پشت بندها باعث شد تا پس از وقوع زلزله جزئی از گنبد در جریان مرمت فرو ریزد.

ایاصوفیه در میان تمامی بناهای تاریخی تقریبا بیشترین زلزله‌ها را تحمل نموده است. اگر چه پیکربندی، هیأت و طراحی عمومی بنا وضعیتی مطلوب دارد، اما سازهٔ بنا به خاطر تحمل پاره‌ای نیروهای ناشی از وزن تویزه‌ها و همچنین زلزله آسیب دیده است. این ضعف را می‌توان به ناکافی بودن ابعاد و اندازهٔ اندامهای سازه‌ای، تناسب مصالح مصرفی و اتصالات، به جای نقص در طراحی شکل و هیأت بنا نسبت داد. یادداشتهای مربوط به اصلاحات در قوارهٔ بنا پس از وقوع زلزله‌های مکرر در قسطنطنیه که به لحاظ صدمات وارده به بنا انجام شده است، جالب توجه می‌باشد.

در سال ۵۵۸ میلادی زلزله به بخش شرقی بنا لطمه وارد ساخت. آقای پال سایلنتری[۶] می‌نویسد: فوقانی‌ترین قسمت نیم گنبد شرقی و بخشی از گنبد اصلی فرو ریخت. ممکن است یکی از گنبدهای کوچك‌تر نگهدارندهٔ نیم گنبدها نیز فرو ریخته باشد. از آن جا که گنبد اصلی از طریق پشت بندهائی که هرکدام بین چهل نورگیر تعبیه شده و در پائین‌ترین قسمت تقویت می‌شود، باعث شده که تنها بخشی از گنبد اصلی فروریزد. گنبد اصلی فروریخته پیاده شد و ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر بالاتر بازسازی گردید و حالت کروی آن حفظ شد. گنبد جدید با خیز بیشتر علی‌رغم تشابه به نوع اصلی آن پایدارتر بود. خیز کم‌تر گنبد پشت بندهای بیشتری را می‌طلبید. در نتیجه مصالح انبوه‌تری بر روی قسمت فوقانی پشت بندهای ضلع شمالی و جنوبی، اضافه شد.

در دوران حکومت باسیل اول[۷] در قرن نهم میلادی تعمیرات وسیعی انجام شد. در زلزله سال ۹۷۵ میلادی نیم گنبد غربی تویزه آن خسارت عمده‌ای دید و بخشی از آن فروریخت.

۳۶ بار زلزله بین سالهای ۳۶۶ و ۱۸۹۴ میلادی در استانبول ثبت شده است. در یك زلزله مهم در سال ۱۳۴۶ میلادی، تویزهٔ شرقی و گنبدی که در یك طرف آن قرار گرفته و بخشی از نیم گنبد در طرف دیگر، درست همانند آن چه در سال ۵۵۸ اتفاق افتاده بود، تماما تخریب شد. کمربندی فولادی در سال ۱۸۴۷ میلادی دورادور گنبد کشیده شد.

این گنبد عظیم که تنها با مصالح معمولی بنایی ساخته شده، زلزله‌های وحشتناکی را تحمل کرده که به گوشه‌هایی از آن اشاره شد، این بنا که رمز و رازهایی در ساختار سنتی آن وجود دارد، هم‌چنان به عظمت پرشکوه خود قرنها، ادامه می‌دهد.

نقش پاییل‌ها در کلیساهای جامع گوتیك

کلیساهای جامع قرون وسطایی مدتها به خاطر ویژگیهای بارز و قابل تحسین‌شان از وجوه ممیّزه‌ای برخوردار بوده‌اند. مفهوم صریح و متهورانهٔ سازه‌ای در کلیساهای گوتیك یکی ازمصادیق روشن و ویژگی‌های اصلی معماری گوتیك است. این مشخصه، معماری یاد شده

را از معماری کلاسیك به خاطر «ایستا» بودنش متمایز می‌سازد.

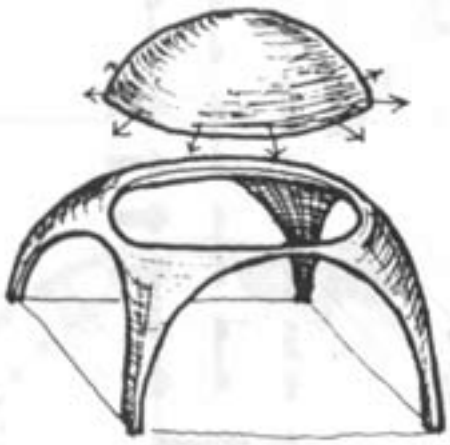
بناهای گوتیك به نحوی احساس برانگیز بلند و مرتفع بودند. گرچه برج کلیسای بیویس [۹] تنها چهار سال قبل از فروپاشی، پابرجا بود. لکن اولین ساختمانی بود که رکورد بلندترین ارتفاع را با بلندی پانصد فوت به عنوان بلندترین ساختمان شکست.

تضاد بین مفهوم ساختمان متکی بر نیروی انسانی (اهرام)، و خلاقیت متهورانه در طراحی و اجرای مناره‌ها[۱۰] و طاقها یکی از دلایلی است که جدای از ارقام و آمار انحصاری به هنگام ذکر نام «گوتیك» مفهوم «سازه» در ذهنمان تداعی می‌شود شاید یکی دیگر از دلایل این ویژگی تأثیر و تلاش فراگیر «سازه ـ زیبایی» است که به نحوی آشکار در معماری گوتیك در مقایسه با دیگر بناهای سنتی به چشم می‌خورد. گرچه هر دو شیوهٔ معماری گوتیك و کلاسیك متکی براستفاده از مصالح بنایی و غیر مقاوم در برابر کشش‌اند، ساختمان‌های گوتیك به طور قابل توجهی ضمن بهره‌گیری ازعناصری چون استفاده صحیح و مؤثر از قوسها، پاپیل‌ها، پشت بندها و تویزه‌ها، مصرف انبوه مصالح را تقلیل می‌دهند.

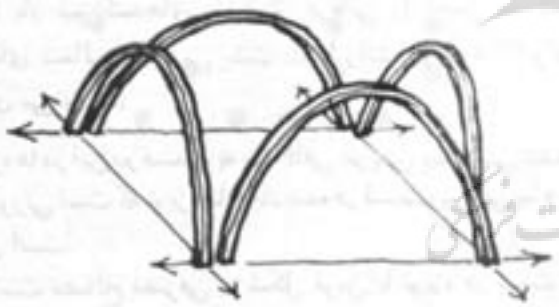
از ویژگی‌های بارز سازه‌ای کلیساهای جامع گوتیك، سبك کردن دیوارهاست. به این صورت که باچرخش آن در زاویه ۹۰ درجه به نوعی پشت بند تبدیل کرده‌اند. در کلیساهای جامع شارتز (تصویر ۵ ـ ۱۲)

ویژگیهای یك کلیسای گوتیك نمایش داده شده است. این عمل مستقیماً پاسخی است به نیروهای جانبی. هر دو نیروی رانشی وتویزه‌ها به خاطر سقف شیب‌دار تند، پشت بندهای منفصل (پاپیل‌ها) که توانایی آن‌ها تابعی است از عمق اتکا آن‌ها، به طرز قابل ملاحظه‌ای عرض مؤثر سازه را دربرابر خمش (ناشی از نیروهای رانشی سقف شیبدار و تویزه‌ها) بالا برده و به طرز قابل توجهی به بالاترین کیفیت ومفهوم سازه‌ای دست یافته است. پشت بندها درکلیساهای گوتیك راه حلی ساده وموفق ازنظر سازه‌ای، و فرم‌های صحیح ازنظر معماری‌اند. ذکر این نکته جالب است که به لحاظ اهمیت زیبایی، پشت بندها در قسمت بیرونی بناایجاد می‌شود تاضمن مقاومت دربرابر رانش یکنواختی دیوار بیرونی را ازبین ببرد.

تصویر ۴ ـ ۱۲ تحلیل نیروهای رانشی سیستم سازه‌ای اباصوفیه نحوه توزیع نیروهای رانشی در جهات مختلف که توسط گنبد ایجاد می‌شود و موقعیت گوشواره‌ها



تویزه‌ها نیروهای رانشی از تحمل سقف را در جهت دوگانه عمود برهم در وضعیتی جدید هدایت می‌کنند



نیروهای جانبی واقع در سطوح قائم به وسیله نیم گنبدها و پشت بندهای عرضی پشتیبانی می‌شود

سازه‌های چوبی ژاپن

طراحی وساختمان سازی بناهای تاریخی درژاپن درجهتی کاملا متفاوت با ساختمان سازی درغرب که بامصالح بنایی صورت می گیرد، توسعه یافته است. اسکلت چوبین، پیش آمدگی زیاد سقف نسبت به دیوار (به صورت کنسول) گونه شناسی ساختمان‌های ژاپنی است که بنارادر برابر عوامل فرسایش حفاظت می‌نماید.

لازم به تذکر است که معابد وقلاع تاریخی ژاپن براثرزلزله خسارات وصدمات قابل توجهی را متحمل شده‌اند که تاریخ معماری آن‌ها گواه انواع تعمیرات وبازسازی است. مثلا می‌توان بنای تاریخی هوکوجی [۱۱] را نام برد که به عنوان یك تالار درشهرکیوتو [۱۲] درسال ۱۵۸۹ میلادی به منظور تقدیس وبزرگ‌داشت بودا برپاشد. بنادر سال ۱۵۹۶ میلادی براثر زلزله ویران ومجدداً درسال ۱۶۱۴ میلادی بازسازی گردید. بنای مذکور بار دیگر درسال ۱۶۶۲ میلادی ویران شد. زلزله قبلی درسال ۱۵۹۶ میلادی به قلعه فوشی می [۱۳] در شیگاتسو [۱۴] نیز به نحوی خسارت وارد ساخت که باعث شد تادرموقعیت بناتجدید نظر شده، درمکانی دیگر بازسازی نمایند.

برای این نوع ساختمانها که پوشش سقف درسطحی وسیع باسفال صورت گرفته بود، نوعی سنگینی زیادی را درفوقانی‌ترین قسمت بناایجاد می‌کرد. این مسأله امروز نیز درمورد ساختمان‌های ساخته شده از اسکلت سبك چوبی با پوشش درسقف نیز وجود دارد. درهر صورت ساختمانهای چوبی سنتی قادرند تاحد زیادی «تغییرات وانعطاف» را

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

قبل از فروپاشی تحمل کرده و دربرابر زلزله مقاومت بیشتری داشته باشند.

به منظور آزمایش ماکت یك ساختمان چوبی یك طبقه درمقیاس ۱/۸ توسط دانشگاه توکیو درسال ۱۹۳۹ میلادی به اجرا درآمد. ماکت قبل ازتغییر حالت اندامهای مقاوم دربرابرنیروهای شاقولی‌فرونهاشید و آن زمانی بود که نیروهای جانبی اندامهای قائم باربر را به ازای هر مترارتفاع ۱۷/۵ سانتی متر ازحالت شاقولی خارج کردند.

بنابراین پاگوداهای [۱۵] چوبی عمدتا بخشی ازمجموعه‌های معابد، جالب برای مطالعات موردی هستند که کم‌تر خسارتی جدی ناشی از زلزله درخصوص آنها روایت شده است. پاگوداهای سه و پنج طبقه درشهر توکیو که درتصویر ۸ـ۱۲ نمایش داده شده‌اند، نمونه‌های خاص مربوط به قرون چهاردهم وپانزدهم میلادی هستند. آقای گلن برگ [۱۶] درخصوص این ساختمانها نظریه‌ای ارائه کرده است:

«پاگوداها ساختمانهایی نسبتاً منعطف هستند. نوسانی طبیعی بین ۱ تا ۱/۵ ثانیه دارند که در مقام مقایسه با دیگر ساختمان‌ها در ژاپن طولانی‌تر و نسبت به ارتعاشات زمین در زلزله‌های ژاپن بیشتر است ساختمان‌های چوبی به نسبت از نظر وزن سبك‌ترند و به همین نسبت اینرسی کمتری در مقایسه با دیگر ساختمان‌ها دارند. اما مهمترین عامل مقاوم سازی ساختمان‌ها در برابر زلزله عمدتاً باید به نحوه اتصالات سازه‌ای مربوط شود که در برابر هر نوع تغییر شکل پاگوداها براثر نیروهای اصطکاك فاق و زبانه‌های تیرها و ستون‌های چوبی ایجاد می‌شود.»

یکی دیگر از دلایل نظری مقاومت غیر متعارف پاگوداها مبتنی برویژگی ساختمانی آن‌هاست که یك ستون مستقر در قسمت مرکزی جدای از قاب‌های پیرامون شبیه به پاندولی معلق از بالای پاگودا آویزان می‌شود. این روش در قرن هفدهم میلادی ابداع شد تا تفاوت تغییر طول اندك بین ستون مرکزی در جهت طول جغرافیایی، و تغییر طول نسبتا زیاد تیرهای اصلی و تیرچه‌های محیطی را منتفی سازد. این شیوه ساختمانی در معابد پنج طبقه دیده می‌شود. به هرحال مثال‌هایی از معابد چینی موجود است که در آن‌ها ستون مرکزی مستقیما روی زمین قرار گرفته یا این که بوسیله شاه تیرهایی در طبقه دوم، همان طور که در تصویر (۸ـ۱۲) نمایش داده شده است، نگهداری شده است. در نتیجه کسی نمی‌تواند حدس بزند که طراحی خوب چنین معابدی متناسب با زلزله می‌تواند کاملاً بر سیستم پاندولی ستون مرکزی مبتنی باشد.

پروفسور تاناباشی استاد دانشگاه کیوتو دلایل یك طراحی خوب معابد ژاپنی را که تشابهی زیاد به نظرات گلن برگ دارد، دسته بندی نموده است. وی چهار ویژگی پاگودا را به شرح زیر تعریف می‌کند:

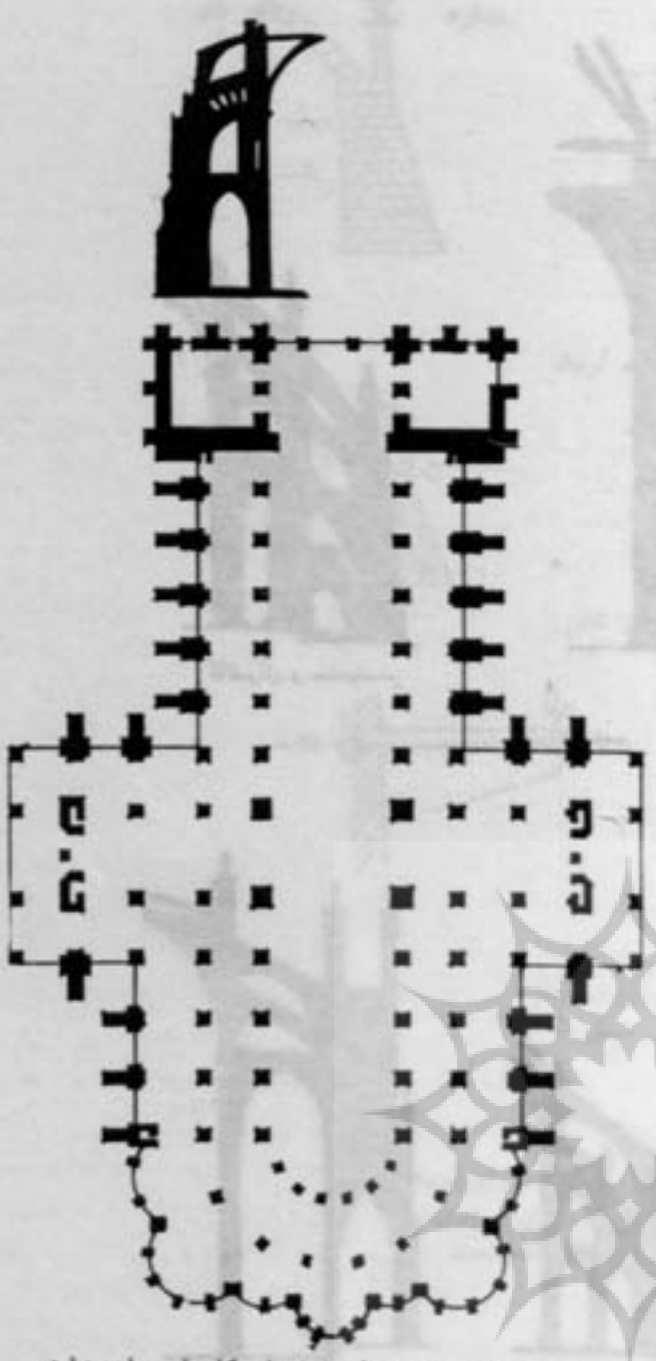
۱. نوسان طبیعی پاگودا در مقایسه با سایر ساختمان‌های سنتی خیلی زیاد و در حدود ۱ الی ۱/۵ ثانیه است. که کلا در مقام مقایسه طولانی‌تر از ارتعاشات زمین می‌باشد.

۲. پاگوداها به حد کافی توان دارند تا نیروهای جانبی را تحمل نمایند.

۳. پاگوداها قادرند مقدار معتنابهی تغییر شکل را قبل از فرو پاشیدگی تحمل نمایند.

۴. پاگوداها تا حد زیادی از نظر بادبندی مقاوم‌اند.

این چهار ویژگی همانطور که پروفسور تاناباشی بیان کرده است، مجموعه‌ای است ایده‌آل از عوامل مقاوم سازی بنا در برابر زلزله. مصالح و طراحی بنا نیز استراتژی و مشی مشابهی است که ما را به سمت قاب‌های لوله‌ای امروز هدایت می‌نماید.



تصویر ۵ ـ ۱۲ پلان و مقطع پاپیل‌های کلیسای جامع شارتز

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

● از سال ۳۶۶ تا ۱۸۹۴
زلزله ۳۶ بار گنبد عظیم ایاصوفیه را
لرزاند امّا این گنبد عظیم که تنها با مصالح معمولی
بنایی ساخته شده، قرنها است
که همچنان به عظمت پرشکوه خود ادامه می‌دهد

کاتدرال

کاتدرال رایم

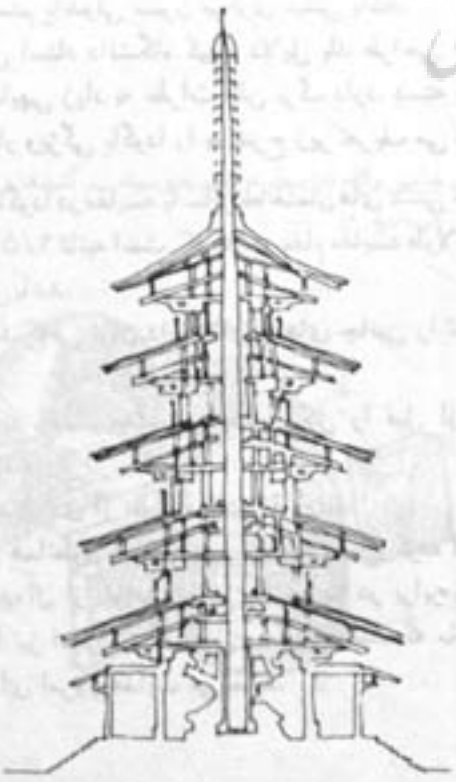
کاتدرال و ستمینستر

Bourges

نوتردام

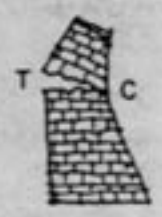
پالما

تصویر ۶ـ ۱۲. نمونه‌هایی از پاپیل‌های میلق
(همه مقاطع با یک مقیاس ترسیم نشده‌اند)

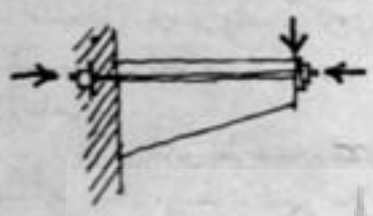


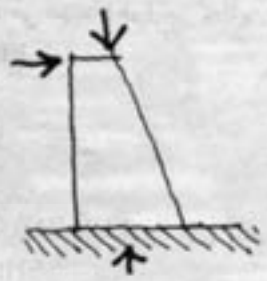
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

رفتار نیروها در ساختمان‌های گوتیک



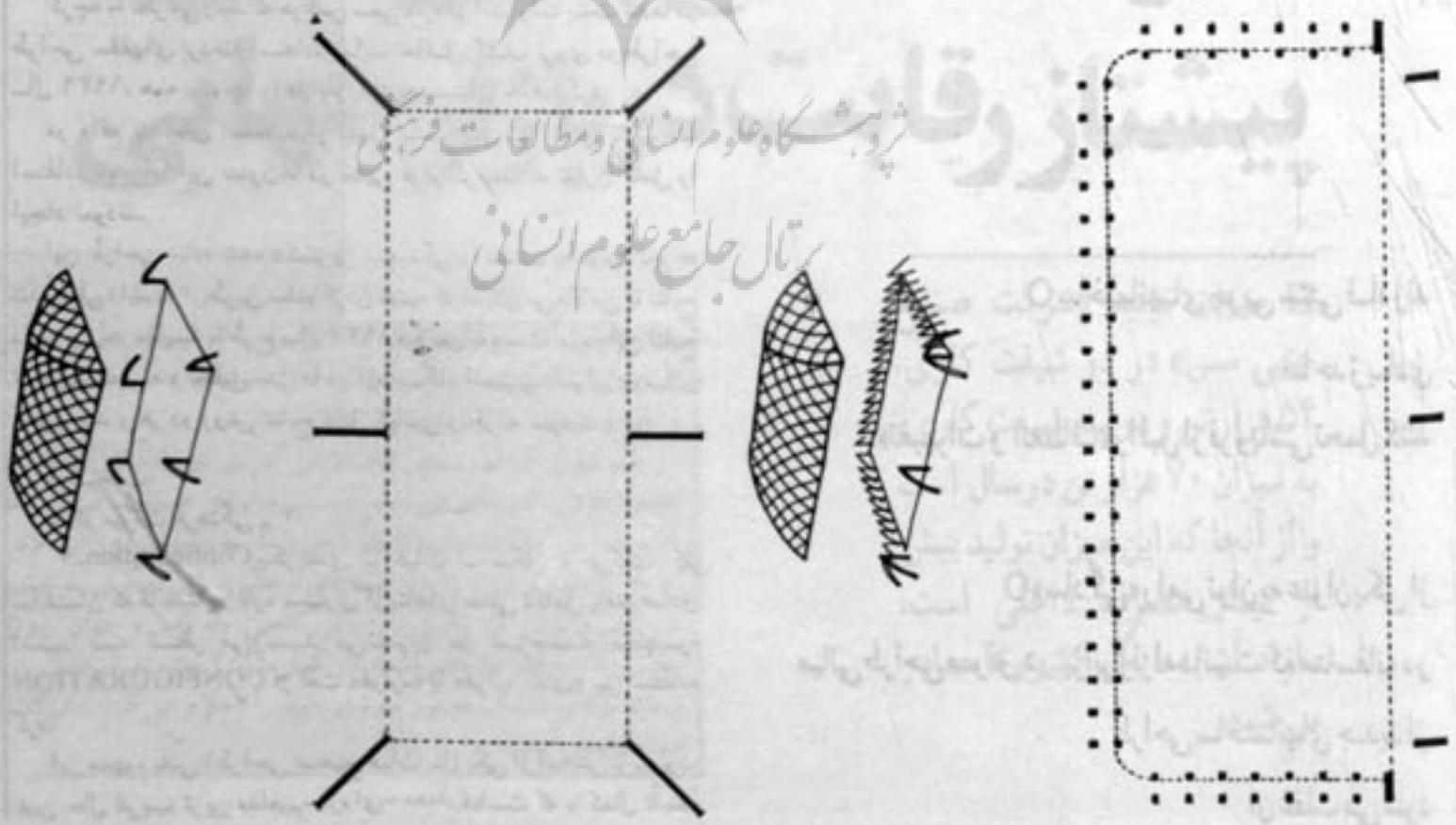
دو نمونه از ضعف‌های ناشی از تنش





نقش مناره‌های گوتیک در تامین نیروی فشار
نقش مهارکشی در عناصر بالکنی شکل بنا

تصویر ۷ ـ ۱۲ نقش مناره‌های گوتیک در تامین نیروی پایدار در برابر نیروهای رانشی (لازم به تذکر است که تمامی مناره‌ها برای تامین پایداری ضروری نبوده و بعضی از آنها در قرن نوزدهم در جریان نوسازی اضافه شده است.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تقارن: آشیانه‌های مشغله
کلان ـ فضای نروی

معمار و مهندس بزرگ ایتالیایی پیر لویی جی نروی[۱۷] ندرتاً با مسأله زلزله در طراحی مخالفت کرده است. او ادعا کرده است تمایل به «زیبایی شناسی» تا حدودی در سازه‌های منطقی[۱۸] برابری نمی‌کند. طراحی‌های سازه‌ای نروی به خاطر نظم و سادگی معروف بوده‌اند. وی توانسته است زیباترین فرم‌ها را از طریق تجسم مؤلفه‌های نیروهای سازه‌ای درحالی به دست آورد که زمینهٔ واقعی برای «ساختن» و قابلیت توجیه از نظر اقتصادی را به همراه دارد. تحلیل وی راجع به (خاصیت تقارن) یکی از شیوه‌های مخصوص نروی است که ذکر آن آموزنده خواهد بود.

آشیانه هایی که توسط شرکت ساختمانی نروی در سال ۱۹۳۶ میلادی جهت نیروی هوایی ایتالیا ساخته شد، به لحاظ امکان سهولت ورود و خروج هواپیما از یك طرف و امکان تحرك در داخل آن متقارن بود. ستونهای متصل پشتیبان در سه جهت دیگر بنا توزیع شدند.

نامعین و نامشخص بودن سازه ایجاب کرد تا ماکتی جهت انجام آزمایشهای لازم ساخته شود. اما تحلیل سازه‌ای مقدماتی نروی مبتنی براستفاده از درك وانتقال مستقیم نیروها در محل‌های ضروری به طرزی اساسی موضوع را به اثبات رساند.

پیشنهاد طراحی و اجرای این پروژه بر اساس نظریه ساده شده نروی ارائه شد و متعاقباً پس از برنده شدن پیمان توسط شرکتش اصلاح شد.

در سال ۱۹۳۹ میلادی مسابقه ای دیگر جهت کلان ـ فضای مشابهی برگزار شد که از نظر برنامه ریزی و خواسته ها یکسان بود. براساس تجربهٔ آشیانهٔ اولیه، نروی نتیجه گرفت که سه نوع مرحلهٔ اصلاحی و تکاملی لازم است در پروژه اجرا شود: سقف باید با اضافه کردن تیرها یا کش‌ها (در شیروانی) سبك شود. پشت بندهای قوسی شکل، به جای استفاده از اعضاء توپرسازه‌ای نیز از طریق استفاده از خرپاهای پیش تنیده سبك شوند. سومین راه حل اصلاحی تنها از طریق پیکربندی ساختمان قابل اعمال است تا از طریق سازماندهی متقارن پشت بندها، امکان برابر نمودن فشارها در داخل سازه فراهم گردد.

گرچه به نظر می‌رسد که هرکس سعی دارد از امتیازات پشت بندها در طراحی سقفهای پردهنه استفاده نماید، حاصل کشف نروی در طراحی سال ۱۹۳۹، همه ستونها را در باورهای پیشینیان حذف کرد.

در واقع به جای استفاده از چهل پشت بند تنها شش پشت بند استفاده شد، اما این ستون‌ها در جایی قرار گرفتند که تقارن کامل را ایجاد نمودند.

این طراحی ساده شده «کمترین پیچیدگی را نسبت به موارد تجربه شدهٔ قبلی داشت، از طریق ساده کردن قضیه که امکان می‌داد من به نتایج دقیق تری در مقایسه با طرح سال ۱۹۳۶ میلادی به دست آوردم این نتایج از طریق تجزیه و تحلیل مدل‌ها در آزمایشگاه انستیتو تکنولوژی میلان کنترل شد و هر دو روش نتایج قابل قیاسی را ارائه نمودند.»

توضیحات:

● از میراث فرهنگی ـ ۲

۱ـConfigurationپیکربندی ـ هیأت ـ شکل و ترکیب کلی ساختمان که قاعدتاً در بارهٔ بسیاری از بناهای سنتی تکامل یافته صادق است. به نظر می‌رسد می‌توان در ترجمهٔ مفهوم CONFIGURATION از لغت «قواره» یا «قواره بندی» نیز استفاده کرد.

این مفهوم یعنی (طراحی صحیح هیأت بنا) یکی از اساسی ترین و در عین حال غریب ترین مفاهیم‌سازه ای- معماری‌است که با کمال تأسف در زبان فنی متداول ما جایگاه شایستهٔ خود را پیدا نکرده است.

«قواره» اصطلاحی است که در زبان عامیانه ما مورد استعمال قرار می گیرد. چه خوبست این لغت در نورد ساختمانها نیز توسط اهل فن به کار گرفته شود. مثلاً بگوئیم: «ساختمان بدقواره در برابر زلزله پایدار نیست.»

۲ـ سازهٔ حجیم ساخته شده از مصالح بنایی:
MASSIVE MASONRY STRUCTURE

۳ـ فضاهای فرعی پیرامون فضای داخلی گنبد

۴ـ ANYHEMIOS & ISODOROS

۵ـ عنصری سازه ای در معماری سنتی که وزن طاق را تحمل و به ستونها و یا جرزهای باربر انتقال می‌دهد.

۶ـ PAUL SIENTIARY

۷ـ BASIL 1

۸ـ پشت بند منفصل (در مقایسه با پشت بندهای متصل) عضوی سازه‌ای در معماری سنتی که جهت جلوگیری از رانش طاق یا تویزه طراحی و اجرا می‌شود. (هو) نیز به این عضو گفته می‌شود

۹ـ BEAUVAIS

۱۰ـ SPIRES

۱۱ـ HOKOJI

۱۲ـ KIOTO

۱۳ـ FUSHIMI CASTLE

۱۴ـ SHIGATSH

۱۵ـ معابد چینی یا ژاپنی PAGODA

۱۶ـ GELEN BERG

۱۷ـ PIRE LUIGI NERVI HANGARS

۱۸ـ RATIONALIZED STRUCTURES

ـ مقالهٔ بالا از کتاب «Building Configuration And Seismic Design» برگزیده شده است.

○ ساختمانهای چوبی سنتی قادرند تا حد زیادی «تغییرات و انعطاف» را قبل از فروپاشی تحمل کنند

○ «سادگی» را می توان به عنوان یکی از مبانی طراحی موفق در برابر زلزله دانست که متاسفانه در طراحی ساختمانهای جدید از آن غفلت می شود