فرم های مناسب برای سازه های مقاوم درمقابل زلزله

نوشته . دکترحجت‌اله‌عادلی استادیاردانشکده‌فنی دانشگاه‌تهران

چکیـــده

در کشور زلزله خیزی همچون ایران منطقی بودن فرم سازه ها اهمیت اساسی دارد . طراح میباید قادر باشد کـه رفتار سازه را هنگام وقوع یک زمین لرزه شدید بطور رضایت بخشی پیش بینی کند . او همچنین باید در باره آثار ناشـی ازخسارت و عوامل اقتصادی مربوطه باندازه‌کافی اطلاع داشته‌باشد . در این مقاله براساس آخرین اطلاعات موجوداصولی که برای انتخاب فرم‌های مناسب برای سازه های مقاوم در مقابل زلزله باید در نظر گرفت ارائه شده است . رفتار فرم‌های سازه های متداول بررسی شده و نقاط ضعف آنها تشریح شده است .

۱ ــ پیشگفتار

در این مقاله فرمهای مناسب برای سازه های مقاوم در مقابل زلزله مورد بحث قرار میگیرد . در یک منطقه زلزله خیز معقول بودن فرم سازه اهمیت اساسی دارد . هرچقدر که فرم سازه نامناسب تر انتخاب شود تحلیل دقیق تری لازم است و مخارج ساختن آن بیشتر خواهد بود . در جائیکه اکثر مهندسان پارا از محاسبات استاتیکی ساده فراتر نمی‌نهند ، اصول مورد بحث در این مقاله راهنمائی برای معماران و مهندسان‌خواهد بود . لازم به تاکید است که طراح میتواند هر نوع سازه هرچقدر هم که پیچیده باشد ارائه دهد ولی باید از رفتار سازه در هنگام وقوع زلزله آگاه بوده‌و برای هر نوع مشکلی راه حلی مناسب پیش بینی کند .

البته برای هر نوع سازه[1] خاصی فرم ایده ال کلی وجود ندارد ولی اصول چندی را بعنوان راهنما باید بخاطـر داشت . بطور خلاصه سازه باید :

الف ــ ساده باشد ،

ب ــ متقارن باشد ،

پ ــ در سطح یا ارتفاع در ازوکشیده نباشد ،

ت ــ توزیع مقاومت یکنواخت و پیوسته داشته باشد ،

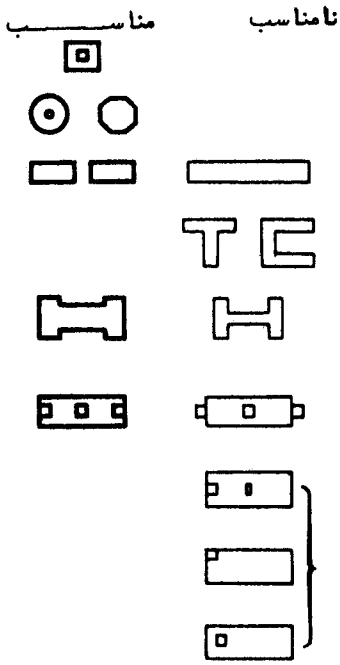
ث ــ در اعضاء افقیش قبل از اعضاء قائمش مفصل خمیری ایجاد شود ،

ج ــ سختی[2] اش بخواص خاک زیر آن ارتباط داشته باشد .

زلزله تمام ضعف های موجوددرساختمان راچه قبلا" معلوم شده باشد ویا نباشد سرسختانه جستجو خواهد کرد . قواعدکلی بالاهمراه با بکار بردن نقشه جزئیات مناسب برای اتصالات به مهندس بهترین امکان درک رفتار سازه را هنگام وقوع زلزله میدهد . شکل های ۱ و ۲ بترتیب قواعد ساده ای را که باید در طرح ساختمانهای مقاوم در مقابل زلزله در تصویرافقی و تصویرقائم درنظر گرفت نشان می‌دهند . در مواقعیکه قواعد مذکور رعایت نشود حتما" باید تحلیل دینامیکی سازه در مقابل نیروهای ناشی از زلزله صورت گیرد ونقشه جزئیات دقیق برای اتصالات آن تهیه شود .

1- Structure

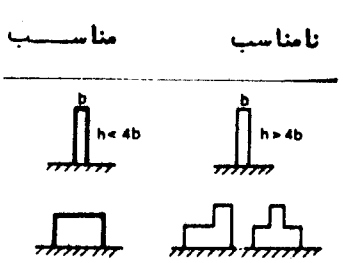
2- Stiffness



شکل ۱ ــ قواعد ساده برای نقشه های افقی ساختمانهای مقاوم درمقابل زلزله

۲ ــ سادگی و تقارن

زلزله های مختلف کرارا "نشان داده اندکه ساده ترین سازه ها بیشترین شانس آسیب ناپذیری را دارند . دودلیل اساسی برای این وجود دارد . دلیل اول قدرت مهندسین در درک رفتارزلزله ای یک سازه ساده بطورقابل ملاحظه ای بیشتراز یک سازه پیچیده است . دلیل دوم این است که اطلاعات مادر مورد اتصالات سازه های ساده خیلی بیشتر از اتصالات سازه های پیچیده است .



شکل ۲ ــ قواعد ساده برای نقشه های قائم ساختمانهای مقاوم در مقابل زلزله

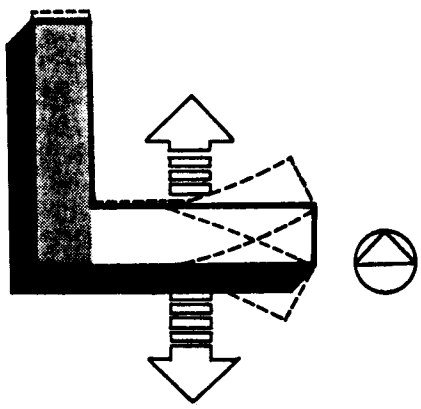
تقارن نیز بهمان دلایل بالا مطلوب است . بهتر است که تقارن در تصویر افقی در دو جهت وجود داشته باشد واین نکته ایست که غالبا "رعایت نمی شود .اگر تقارن موجود نباشدآثار پیچشی در سازه ایجاد می شود که میتواند خیلی مخرب باشد وحتما" باید ارزیابی گردد . همچنین هر چقدر فاصله بین مرکز جرم [1] و مرکز صلبیت [2] بیشتر باشد نیروهای پیچشی بیشتری درسازه ایجاد می شود که میتواند برای ستون های گوشه ساختمان و دیوارهای انتهائی و خیم باشد .

اشکال گوشه دارمانند T وL برای تصویر افقی بطورکلی مناسب نیستند . همین طور بلوکهای ساختمانی H شکل باوجوداینکه متقارن هستند نباید توصیه شوند . شکل H نسبت بطرح افقی باعقب نشینی [3] های کوچک از لحاظ نورداون بهتر است . ولی طرح افقی با عقب نشینی های کوچک را میتوان با اطمینان بکار برد بشرط آنکه اثر ناپیوستگی در اعضاء افقی روی نمای پله کانی درک شده و اتصال آنها بیکدیگر بطورصحیحی طرح شود .

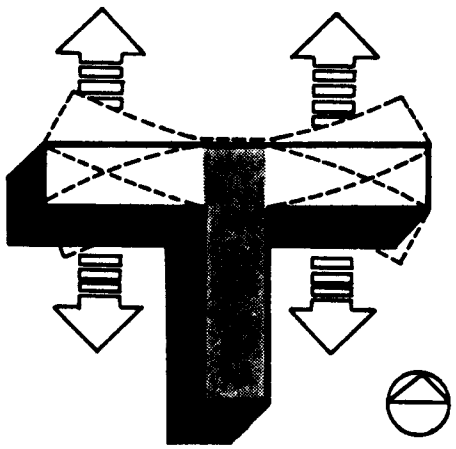
برای مطالعه رفتارساختمانها با تصویرافقی نامتقارن ،اشکال L و T را در نظر میگیریم (شکل های ۳و۴) . در این نوع اشکال بسته به جهت نیروی زلزله نسبت به ساختمان ، بالهای ساختمان ممکن است تحت حرکات مختلف قرار بگیرند .

1- Mass center 2- Center of rigidity 3- Setback

برای مثال اگر زلزله در جهت شمال ــ جنوب اثرکند (شکلهای ۳ و ۴) بال شمال ــ جنوبی یک ساختمانT یا L شکلنسبت به بال دیگرش سخت تر خواهد بود زیرا محورطویلش موازی حرکت زلزله است ودرنتیجه بطور قابل ملاحظه ای حرکت نخواهدکرد .از طرف دیگر بال شرقی ــ غربی درجهت زلزلهدارایطول کوتاه میباشد و از اینرو اگر برای جذب نیروهای زلزله ظرفیت کافی موجود نباشد خسارات زیادی بویژه در نقطه اتصال بال ها بیکدیگر به ساختمان وارد خواهدآمد .

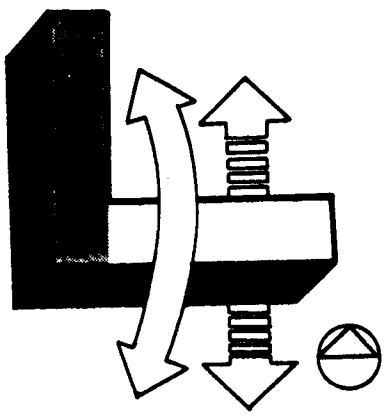


شکل ۳ ــ رابطه سختی یک سازه L شکل با تصویر افقی آن

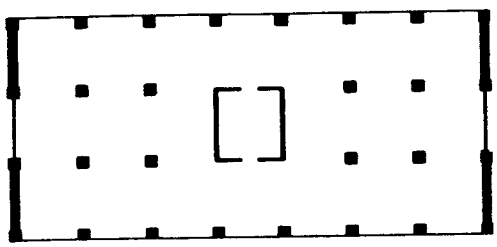


شکل ۴ ــ رابطه سختی یکسازه T شکل باتصویر افقی آن

در ساختمانهای L شکل در اثر زلزله ممکن است حرکات پیچشی ایجاد شود (شکل ۵) . پیچش نتیجه دوران یک جرم خارج از مرکز یا دوران یک جرم کوچکتر نسبت به بقیه یا جرم بزرگتر ساختمان میباشد . در شکل ۵ حرکت ناشی از زلزله باعث دوران جرم بال شرقی ــ غربی نسبت به جرم بال شمالی ــ جنوبی میگردد .



شکل ۵ ــ اثرپیچش روی تصویر افقی ساختمان

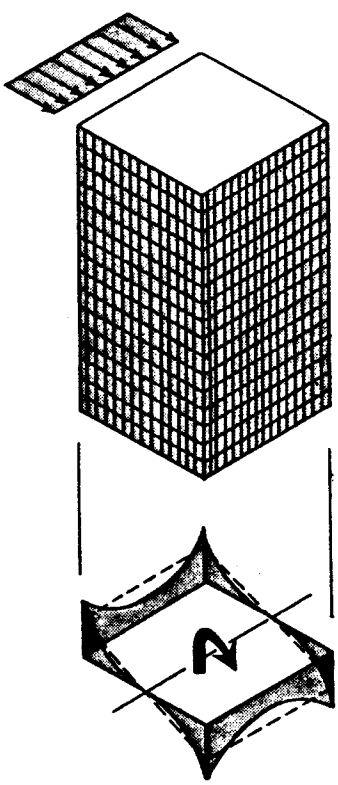


شکل ۶ ــ سازه قابی توام بادیوارهای برشی

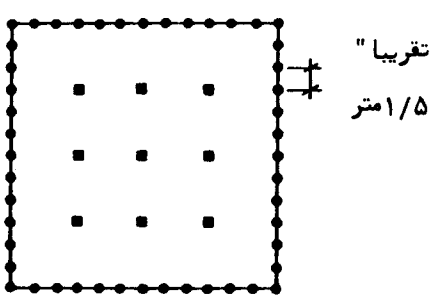
برج های اسانسوروپله خارجی نیز خطر مشابه ای ایجاد میکنند و در هنگام زلزله تمایل دارند که بطورمستقل عمل کنند و منجر بایجاد تمرکز نیروها وپیچش خارج از توازن میشوند که ارزیابی اثر آنها بدون تحلیل های دینامیکی پیچیده وگران امکانپذیرنیست . درچنینمواردیبایدبرجهایاسانسور و پله را در داخل ساختمان طرح کرد (شکل ۱) .
برای ساختمان هایبا ارتفاع متوسط ترکیبی از قاب و دیوار برشی بصورت شکل ۶ میتواند مناسب باشد . برای

سازه‌های بلنداخیرا "ایده جدیدی بوسیله خان[1] ارائه شده که موسوم به سیستم لوله‌ای[2] می‌باشد. در حال حاضر درچهار مورداز پنج ساختمانی که بلندترین ساختمان های دنیا می باشند از این روش استفاده شده است [۷]. این ساختمانها عبارتند از ساختمان هنکاک[3]، برج سیرز[4] و ساختمان استاندارد اویل[5] در شیکاگو و ساختمان مرکز تجارت دنیا[6] در نیویورک. بازده سازه ای سیستم های لوله ای بقدری زیاد می‌باشد که در بسیاری موارد مقدار مصالح سازه ای مصرف شده برای هر متر مربع سقف قابل مقایسه با مقدار مصالح مصرف شده در ساختمانهای قابی متداول بارتفاع نصف می‌باشد.

در طرح لوله ای فرض می‌شود که عناصر سازه ای پیرامونی ساختمان در مقابل بارهای جانبی همچون یک تیر با مقطع جعبه ای توخالی که از زمین طره‌شده باشد عمل می‌کنند در چنین سیستمی ستونهای پیرامونی ساختمان بفواصل کم در مجاورت یکدیگر در نظر گرفته می‌شود که بیکدیگر با تیرهای به عمق زیاد متصل می‌گردند، بطوریکه سازه نما (پیرامون ساختمان) به صورت دیوار با سوراخ های متعدد بنظر میرسد (شکل های ۷ و ۸). صلبیت لوله چنان زیاد است که در مقابل بارهای جانبی بصورت یک تیر طره ای عمل می‌کند. برای ازدیاد سختی گاهی علاوه بر لوله خارجی در داخل سازه نیز میتوان دیوارهای برشی در نظر گرفت (شکل های ۹ و ۱۰).



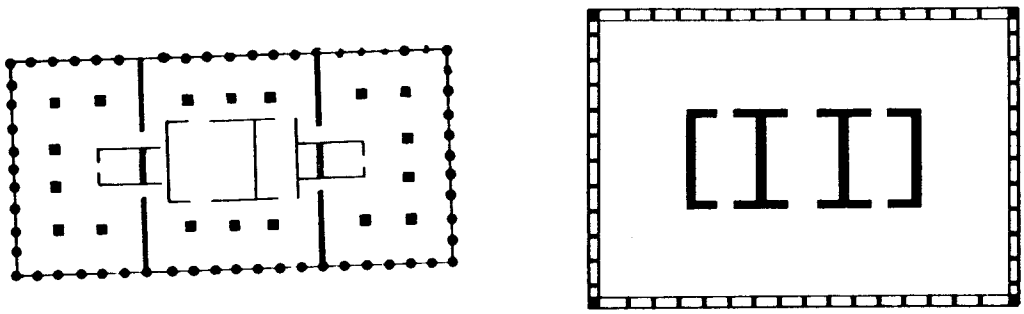
شکل ۸ ــ سیستم لوله ای



شکل ۷ تصویر افقی یک سیستم لوله ای

1- Fazlur khan 2- Tubular 3- Hancock

4- Sears tower 5- Standard Oil 6- World Trade Center

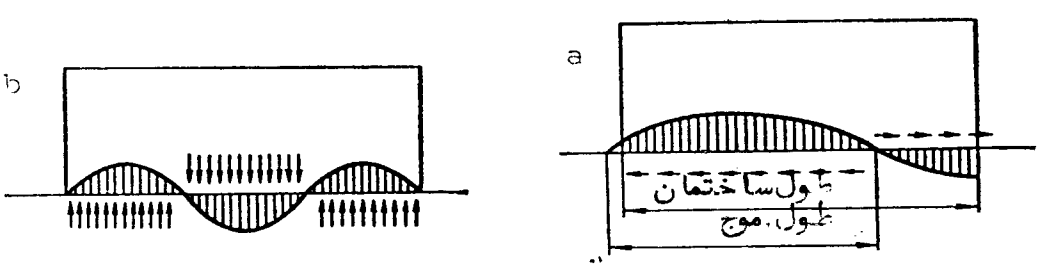


شکل‌های ۹ و ۱۰ دو نوع سیستم لوله ای توام با دیوارهای برشی

۳ــ شکل کلی نباید بیش از اندازه درازوکشیده باشد

هرچقدر که در تصویر افقی طول ساختمان درازتر باشد شانس بیشتری وجود دارد که دو انتهایش در آن واحد تحت حرکات مختلف زلزله قرار بگیرد و این حالت ممکن است نتایج فاجعه انگیز ایجاد کند .

تعیین نیروهای زلزله معمولا" براساس این فرض قرار دارد که سازه همچون سیستمی ارتعاش خواهد کرد که در آن همه نقاط سازه درارتفاع معینی از سطح زمین و در هر زمان معین ، تغییر مکان ، سرعت وشتاب یکسان خواهند داشت . ولی درواقع عبور امواج زلزله آنی نیست بلکه دارای سرعت محدودو معینی می‌باشدکه بستگی به تراکم خاک وخصوصیات سازه روی آن دارد . در اثر مولفه افقی زلزله قسمتهای مختلف فونداسیون سازه شتاب های مختلف پیدامیکند کهباعث ایجادتنش های کششی وفشاری طولی و تنش برشی افقی درساختمان میگردد (شکل a – ۱۱) . هرچقدر که طول ساختمان بیشترباشد ، بافرض اینکه تمام شرایط یکسان باشد مقدار این تنش ها بیشتر خواهد بود . ملاحظات مشابه ای را در مورد ارتعاشات قائم میتوان بیان کرد (شکل b– ۱۱) . در شکلهایa – ۱۱ و b – ۱۱ سطح های هاشورخورده منحنی های توزیع شتاب را درامتداد طول ساختمان نشان میدهند . همچنین در این شکل ها جهت نیروی لختی بوسیله پیکان نشان داده شده است .



شکل ۱۱ ــ تنش های ایجاد شده در یک ساختمان طویل در اثر ارتعاشات افقی (a) و قائم (b)

در هر ساختمانی تنش های حرارتی و ناشی از انقباض[1] و همچنین تنش های ناشی از نشست نایکسان ساختمان کم و بیش وجوددارندولی غالبا" در محاسبات در نظر گرفته نمی‌شوند . شدت این تنش ها با اضافه شدن طول ساختمان اضافه میگردد که باید به تنش های مورد بحث در بالا اضافه شود [۶] .

هرگاه بدلایل معماری تصویر افقی طویل و یا یک شکل پیچیده مطلوب باشد در اینصورت جواب ممکن است دویا چند ساختمان جدا از هم باشد . این عمل بعضی اوقات با چند قطعه کردن ساختمان بوسیله درزهای ضد زلزله[2] صورت میگیرد (شکل ۱۲).درزهای ضد زلزله بطورکلی در موارد زیر بکار می‌روند :

1- Shrinkage

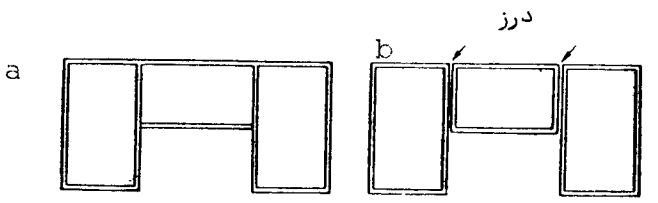
2- Earthquake-proof seams

الف ــ موقعیکه شکل افقی ساختمان پیچیده باشد ودرزها ساختمان را به قسمت های ساده تر تقسیم کنند .

ب ــ موقعیکه ارتفاع یا نحوه اجرای قسمتی از ساختمان‌باقسمت دیگر آن بطور قابل ملاحظه ای فرق داشته باشد .

پ ــ موقعیکه کف های قسمت های مختلف در ارتفاعات مختلف قرار دارند. قسمت هایی که دارای کف های هم ارتفاع هستند بوسیله درز از یکدیگر جدا می‌شوند .

ت ــ موقعیکه بارهای سرویس زیادی در یک قسمت از ساختمان قرار داده شده که منجر به توزیع نامتقارن جرم گردیده و باعث ایجاد نیروهای لختی پیچشی در ساختمان گردد . در اینصورت قسمت هایی راکه دارای بار تقریبا" مشابه باشند بوسیله درزهایی از یکدیگر جدا میکنند .



شکل ۱۲ ــ کاربرد درز ضد زلزله درساختمانهای با تصویرافقی پیچیده
(شکلa جواب نادرست وشکل b جواب درست می‌باشد) .

درزهای ضد زلزله باید واحدهای مجاور را در تمام ارتفاع آنها از یکدیگر جدا کنند . روی فونداسیون درزی در نظر گرفته نمی‌شود مگر در حالاتیکه درز ضد زلزله منطبق بردرزنشست گردد . عرض درزهای ضد زلزله باید حداقل‌برابر مجموع تغییر شکل های ماکزیمم دو ساختمان مجاور که از یک تحلیل دینامیکی بدست میاید باشد تا در موقع وقوع زلزله ساختمانهای مجاور بیکدیگر ضربه نزنند .

۴ ــ توزیع یکنواخت و پیوسته مقاومت

این مفهوم ارتباط نزدیکی به مفاهیم سادگی و تقارن دارد . سازه بیشترین شانس آسیب ناپذیری راخواهدداشت اگر:

الف ــ اعضاء باربر بطور یکنواخت توزیع شده باشند ،

ب ــ تمام ستون ها ودیوارها ازبام تافونداسیون پیوسته وبدون انحراف باشند ،

پ ــ تیرها بدون انحراف باشند ،

ت ــ ستون ها و تیرها هم محور باشند ،

ث ــ عرض ستون و تیرهای بتن مسلح با هم اختلاف زیادی نداشته باشد ،

ج ــ مقطع هیچکدام از عضوهای اصلی بطور ناگهانی تغییر نکند ،

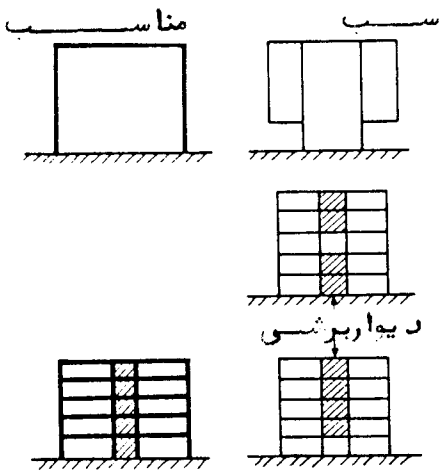
چ ــ سازه حتی الامکان پیوسته (هیپراستاتیک و دارای عضوهای اضافی[1]) و یکپارچه باشد .

هرچندکه توصیه های بالا اجباری نیست ولی هرچه کمتر رعایت شوند سازه آسیب پذیرتر و گران تر خواهد بود .

باوجودیکه توصیه های بالا باعث می‌شودتاسازه ها ساده ترتحلیل‌شده‌وازتمرکز تنش و پیچش نامطلوب اجتناب شود از لحاظ معماری‌محدودیت هایی ایجاد می‌کنند که بعضی مواقع قبول آنها مشکل است . ولی در هر صورت تغییرات ناگهانی در سختی جانبی ساختمان در جهت قائم عاقلانه نیست (شکل ۱۳) . زیرا حتی با پیشرفته ترین و گرانترین تحلیل های کامپیوتری تنش های زلزله را نمی‌توان با دقت کافی حساب کرد . بعلاوه حتی اگر ما نیروهای ایجادشده در

1- Redundant

سازه رابدانیم ،بامعلومات موجودنمیتوان اتصالات را درنقاط حساس با دقت کافی طرح‌کرد . خسارت واردەبه هتل‌شراتون ـ ماکوتو[1] درزلزله ۱۹۶۷ کاراکس[2] (ونزوئلا)و بیمارستان آلیوویو[3] در زلزله ۱۹۷۱ ـ سان فرناندو[4] (جنوب‌کالیفرنیا) این نکته را آشکار واثبات میکند ۱ و ۸ .

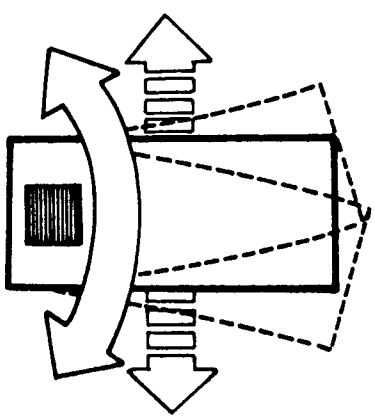


ملاحظات

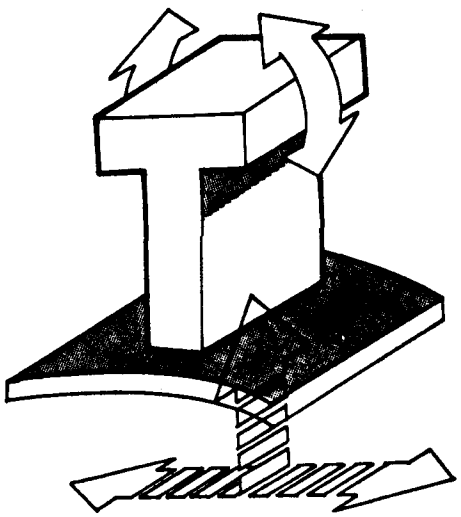
طره های بادرجه هیپراستاتیکی پائین مناسب نیستندباشکست یکی ازطره هاخطرفروریختگی قسمتی از ساختمان وجود دارد . تغییرات ناگهانی‌سختی درارتفاع‌باعث اشکال در تحلیل سازه وطرح اتصالات آن میگردد . ملاحظات بالا دراین مورد نیز صادق است . "طبقه نرم " دراثر بارهای جانبی آسیب پذیر می‌باشد .

شکل ۱۳ ـ قواعد ساده برای قابهای قائم ساختمانهای مقاوم در مقابل زلزله

هرگاه شکل ساختمان منظم ولی توزیع سختی در آن یکنواخت نباشد در آن پیچش ایجاد می‌شود . برای مثال در ساختمانی مستطیل شکل که در قسمتی از سطح آن یک هسته برشی خارج از مرکز خیلی سخت وجود دارد و بقیه سازه انعطاف پذیر است ، قسمت انعطاف پذیر حول هسته سخت خواهد پیچید (شکل ۱۴) ، از اینرو ساختمان های با شکل منظم‌که درآنها بین عناصر سخت موازنه‌برقرارباشداز آثار ثانوی ناشی از پیچش وحرکات تقاضلی درامان‌خواهندبود .



شکل ۱۴ ـ پیچش درساختمان باتصویر افقی منظم‌ولی‌باتوزیع سختی‌نامتقارن .



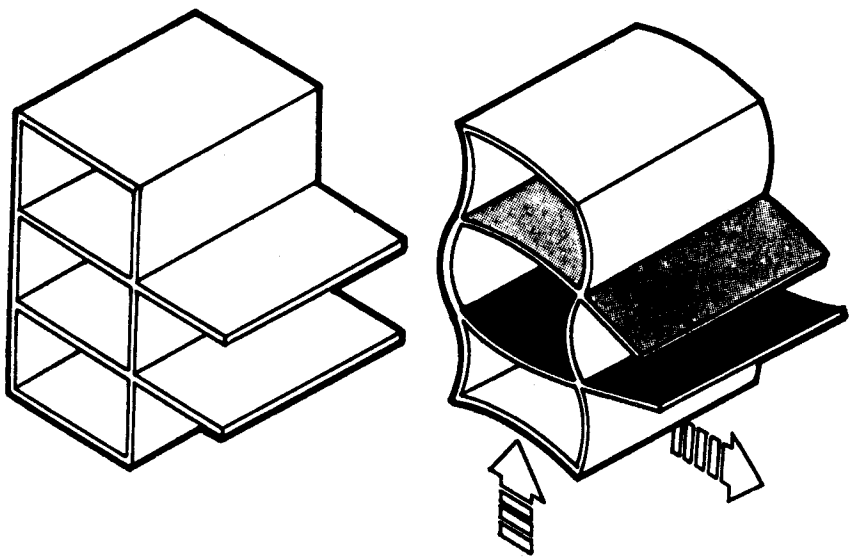
شکل ۱۵ ـ اثر پیچش ناشی از حرکت قائم

اشکال نامنظمی که میتوانند آثار پیچشی را تجربه کنند فقط محدود به بی‌نظمی در تصویر افقی یا قائم نیستند . در شکل ۱۵ طبقات بالای یک سازه بلند دارای سطح بیشتری نسبت به طبقات پائین آن می‌باشند . درچنین حالتی نیز در اثر شتاب های قائم ، سازه تحت پیچش قرار خواهدگرفت بعلاوه درچنین موردی بین تغییرمکان برج و تغییر مکان قسمت بالای آن بعلت اینکه طبقات بالا دارای سختی بیشتری هستند اختلاف زیادتری وجود خواهد داشت .

1- Sheraton-Macuto 2- Caracas 3- Olive View

4- San Fernando

اعضای طره ای تمایل باضافه کردن دوران اتصالات قاب های سازه دارند . از این جهت طرح طره های بلنـــد برای بارهای زلزله باید با دقت کافی صورت گیرد . انتهای آزاد طره درهنگام وقوع زلزله می‌تواند تغییر مکان زیادی دهد . بعلاوه کاملا" واقع گرایی است که انتظار داشت این تغییر مکان قائم در طبقات مجاور در جهات مخالف یکدیگر باشند (شکل ۱۶) . چنین شرایطی می‌تواند خطرجانی قابل ملاحظه ای بعلت شکست شیشه ها و فروریختن دیوارهای خارجی ایجاد کند .

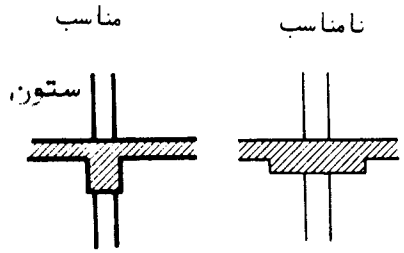


شکل ۱۶ ــ رفتار طره ها در هنگام وقوع زلزله

اصولا" مقرون بصلاح است که سازه از حرکات شدید زمین بوسیله نوعی لایه اسفنجی جدا شود . برای حفاظـت سازه هایی که اساسا" سخت[1] می‌باشند در مقابل ارتعاشات با پریود[2] کوتاه پیشنهاد شده است که ستون های طبقه اول نسبتا" انعطاف پذیر باشند [۲] . به چنین طبقه انعطاف پذیری در اصطلاح "طبقه نرم[3]" می‌گویند (شکل ۱۳) . متاسفانه بسیاری از ساختمانهای‌مدرن‌که باین ترتیب ساخته شده اند در هنگام وقوع زلزله بخوبی عمل نکرده وآسیـــب دیده اند . مطالعات اخیر نشان داده اند که ایده" طبقه نرم " از لحاظ تئوری و هم از لحاظ اجرائی با مشکلاتی همراه است . مطالعات انجام‌شده در دانشگاه کالیفرنیا (برکلی) نشان میدهد که نیروی تسلیم [4] خیلی کم و اساسا" مکانیزم تسلیم خمیری کاملی در طبقه اول لازم است و ظرفیت تغییر مکان لازم برای طبقه اول خیلی زیاد می‌باشد . از اینرو در ایالات متحده در حال حاضر عدم استفاده از ایده"طبقه نرم " راتوصیه میکنند .

توصیه (ث) در بالا باعث می‌شودکه اتصال تیروستون بخوبی صورت گرفته و بانتقال لنگرخمشی و نیروی برشـی از اتصالات به اعضاء کمک شود . تیرهای بتن مسلح باعرض خیلی زیاد وعمق کم در مجاورت ستون های باندازه معمولـی در محل اتصالات شکست خورده اند ودرحال حاضر در رفتار چنین اتصالاتی نادانی زیادی وجود دارد (شکل ۱۷) .

1- Stiff 2- Period 3- Soft storey 4- Yield force



ملاحظـــات

عرض تیرها نباید بیش از اندازه از عرض ستون ها بیشتر باشد .
در غیر اینصورت اشکال عدم پیوستگی بوجود می‌آید .

شکل ۱۷ ــ قاعده ساده برای عرض تیرها و ستون ها در ساختمانهای بتن مسلح مقاوم در مقابل زلزله

مقاومت سازه ای که بطور اقتصادی طرح شده باشد در مقابل نیروهای زلزله بستگی به ظرفیت جذب انرژی وارده به ساختمان یا اساسا " ظرفیت تغییر شکل مکرر خمیری اعضاء (شکل پذیری[1]) آن دارد . از این رو هر چقدر که سازه ای پیوسته تر و یک پارچه تر باشد مفصل های خمیری بیشتری برای جذب انرژی موجود خواهند بود . بدین دلیل است کـــه ساختن سازه های بتنی پیش ساخته مقاوم در مقابل زلزله خیلی مشکل است .

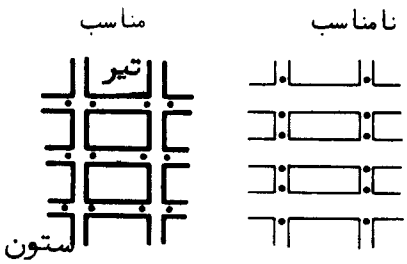
ایجاد اتصالات یکپارچه و کاملا " پیوسته نه فقط برای جذب انرژی اهمیت دارد بلکه همچنین از شکست موضعی در اثر تمرکز تنش که غالبا "بعلت تغییر مکانها ودوران های ایجاد شده در اثر زلزله ایجاد می‌شود جلو گیری میکند . این مشکل در جاهائی همچون اتصال تیرهای اصلی به دال ها یا تیرهای فرعی ، واتصال تیرها به ستون ها ممکن است ایجاد شود .

۵ ــ اعضاء افقی وقائم

در سازه های ساختمان های قابی مقاوم در مقابل زلزله ، یک شرط اساسی اینست که شکست اعضاء افقی قبل از شکست اعضاء قائم صورت گیرد . این اصل در جلوگیری از تلفات جانی تاثیر مهمی دارد زیرا فروریختن کامل ساختمان را بتعویق می‌اندازد . تیرها ودال ها بطورکلی حتی پس از خرابی شدید در محل مفصل های خمیری بپائین فرو نمی‌ریزند ، حال آنکه ستون ها همین که خرد شدگی کافی در آنها پیدا شد تحت بارقائم بسرعت فرو خواهند ریخت . از اینروبرای مثال تیرهای عمیق پیوسته روی ستون های سبک در نواحی زلزله خیز مناسب نیست (شکل ۱۸) . اگر بدلایل معماری تیرهای عمیق روبه بالا یا به پائین مطلوب باشد عمق موثرشان را میتوان به مقدار قابل ملاحظه ای بوسیله درزهائی در دو طرف ستون کاهش داد (شکل ۱۹) .

ملاحظات

برای جذب حداکثر انرژی قبل از فروریختن ساختمان ،
تیرهاباید قبـــل از ستونهـــا گسیختـه شونـــد .



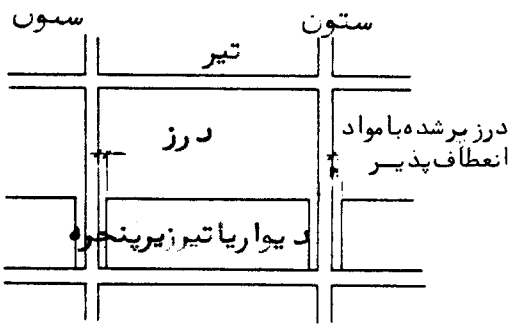
شکل ۱۸ ــ قاعده ساده برای رابطـــه بین مقاومـت ستون ها و تیرها در طـــرح ضـــد زلزلـــــه .

۶ ــ سازه های سخت در مقابل سازه های انعطاف پذیر

درروی این جنبه طرح درگذشته بحث های زیادی شده که به نتیجه روشن ودقیقی نرسیده است . مسئله روی این نکته دور میزند که اگر فرکانس حرکت زمین در محل ساختمان نزدیک فرکانس طبیعی ساختمان باشد ، در این صورت سازه حداکثر صدمه راخواهد دید . اگر خاک موجود در محل بیشتر حرکت با فرکانس زیاد زمین را مانند یک صافی جذب کند (همچون در زلزله مکزیکوسیتی[2]) ، در این صورت یک سازه سخت نسبت به یک سازه انعطاف پذیرتحت نیروهای ناشی از زلزله کمتری قرار خواهد گرفت و بالعکس .

1- Ductility

2- Mexico City



شکل ۱۹ ـ جزئیات یک قاب خارجی که در آن جداکردن دیوار (یاتیر) زیر پنجره یا جان ـ پناه از ستون ها برای اجتناب از اثر متقابل نامطلوب نشان داده شده است.

باوجود مسئله رزونانس[1] مورد بحث در بالا هنوز در دنیادو مکتب وجوددارد [۳]. یکدسته طرفدار سازه‌های سخت (انعطاف ناپذیر)و دسته دیگرطرفدارسازه های نرم (انعطاف پذیر) هستند. برای مثال در اوایل دهه ۱۹۷۰ در سانفرانسیسکوفلسفه سازه نرم طرفدار بیشتری داشت ولی درلس آنجلس سازه سخت متداول بود هر چند که شرایط محلی خاک در هر دو شهر مشابه می‌باشد. دلایل موافق ومخالف این نوع سازه در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱

	برتری	زیان و مشکلات
سازه های نرم (انعطاف پذیر)	۱ ـ ساختمان های با پریود بلند بخصوص برای محل های با پریودکوتاه مناسب می‌باشد. ۲ ـ تغییرشکل پذیری زیاد قبل از شکست. ۳ ـ امکان بیشتر برای تحلیل های دقیقتر	۱ ـ تنش ها و تغییر شکل های زیاد در محل های باپر بود بلند ۲ ـ مسلح کردن قابهای بتن مسلح انعطاف پذیر مشکل‌است. ۳ ـ ناسازه‌ها[2] ممکن است تحلیل را نادرست کنند. ۴ ـ اتصال ناسازه ها به عناصر سازه ای مشکل است.
سازه‌های سخت (انعطاف ناپذیر)	۱ ـ مناسب برای محل های باپریود بلند ۲ ـ مسلح کردن قابهای بتن مسلح سخت آسانتر است (برای مثال با استفاده از دیوار برشی) ۳ ـ اتصال ناسازه ها آسانتر است	۱ ـ تنش های زیاد در محل های با پریود کوتاه ۲ ـ تغییر شکل پذیری کم قبل از شکست ۳ ـ امکان کمتر برای تحلیل های دقیقتر

بسیاری ازمتخصصین زلزله معتقدند که استفاده از دیوارهای برشی بتن مسلح در ساختمان های قابی باید بیشتر صورت گیرد[۴]. استفاده از این دیوارها باعث می‌شود:

الف ـ تغییر مکان جانبی کاهش یابد،

ب ـ مشکلات مربوط به اتصالات در ساختمان های بتن مسلح کاهش یابد،

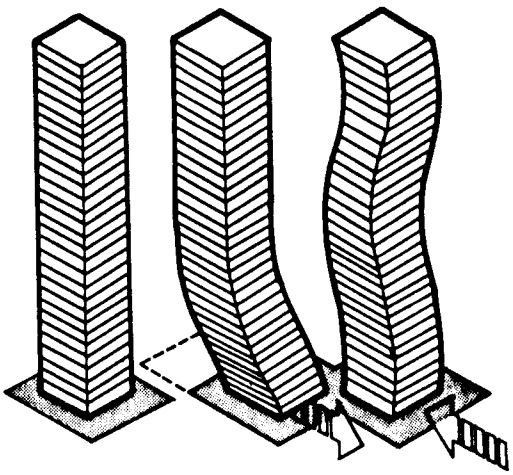
پ ـ بتوسعه یکنواخت رفتار خمیری در تمام ساختمان کمک شود،

ت ـ ازشکست ستون ها در اثر تغییرمکان جانبی ناشی از خمش ثانوی بعلت حاصلضرب نیروی قائم در تغییر شکل جانبی (این پدیده به اثر $P\Delta$ موسوم می‌باشد) جلوگیری شود.

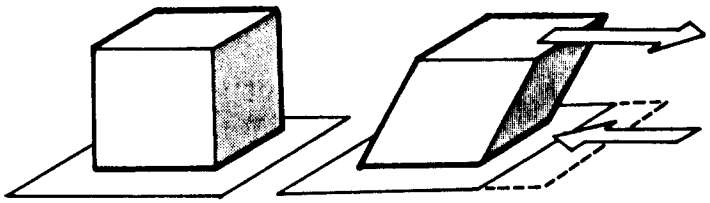
تغییر مکان جانبی ساختمان بیشترین خطررابرای اجزاءناسازه ای دارد. تمام طبقات بایک سرعت ودریک زمان تغییر مکان نمیدهند واین باعث تغییرمکان افقی بین طبقات می‌شود. از آنجائیکه نیروبی که درپای ساختمان از زمین بآن منتقل می‌شود تغییر جهت میدهد، درساختمان های نسبتا" بلند باعث می‌شود که بعضی از طبقات در یک جهت و بعضی دیگر درجهت مخالف حرکت کنند (شکل های ۲۰ و ۲۱).

1- Resonance

2- Nonstructural elements

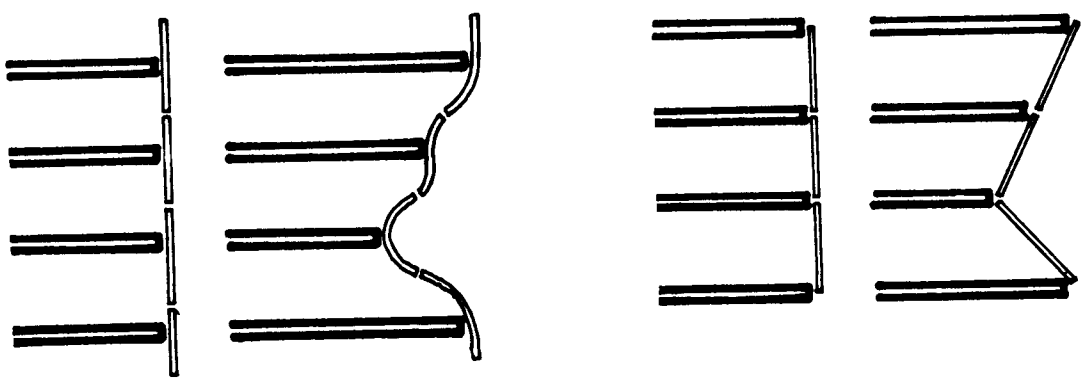


شکل ۲۰ ــ تغییرمکان افقی نسبی بین طبقات یک ساختمان بلند در اثر مولفه افقی ارتعاشات زلزله



شکل ۲۱ ــ نمودار تغییر مکان نسبی دو طبقه مجاور هم که نشان دهنده کوتاه شدن فاصله بین دو طبقه نیز می‌باشد .

آثار ناشی از تغییر مکان جانبی فقط روی آن اجزاء ناسازه ای اثر می‌کند که در طولی بیش از یک طبقه پیوسته باشند . حتی در این حالت نیز این اثر بستگی به طرح اتصالات اجزاء دارد . برای مثال یک دیوار کناری ساختمان که دهانه اش از طبقه ای به طبقه دیگرساده باشد بندرت تحت تاثیرمخرب ارتعاشات زلزله قرار میگیرد (شکل ۲۲)و حال آنکه یک دیوار خارجی که درهرطبقه به دال آن طبقه اتصال داشته و بصورت طره ای از بالا وپائین آن ادامه داشته باشد بشدت خسارت خواهددید . درخاتمه‌می‌توان گفت که در بسیاری ازمواقع هریک از انواع سازه های نرم و سخت رامی‌توان طوری طرح کرد که بخوبی کارکند ولی در هنگام انتخاب به برتری ها و زیان های فرم های مختلف ساختمانی باید توجه دقیق کرد .



شکل ۲۲ ــ مقایسه رفتار دیوارهای کناری طره ای با دیوارهای کناری بادهانه ساده

۷ ــ تاثیر ناسازه ها

در موقع مطالعه سازه لازم است بدانیم که بعضی از ناسازه ها در هنگام وقوع زلزله بطور سازه ای واکنش نشان میدهند . این بمعنای مداخله‌درتغییر شکل آزادسازه در هنگام وقوع زلزله می‌باشد . درساختمان ها عناصر اصلی‌ناسازه ای که مورد توجه هستند عبارتند از پوشش ساختمان ، دیوارهای پرکننده پیرامونی و جداکننده های داخلی . موقعیکه این عناصر از موادخیلی انعطاف پذیر ساخته شوند اثر قابل ملاحظه ای روی سازه نمیگذارند . ولی غالبا " بدلایل ناسازه‌ای این عناصر از مصالح انعطاف ناپذیر همچون بتن پیش ریخته یا بلوک یا آجر ساخته می‌شوند . در چنین صورتی آنها می‌توانند اثر مهمی روی رفتار و ایمنی سازه داشته باشند . هر چند که این عناصر ممکن است بار قائم ناچیزی حمل کنند ، آنها موقع زلزله همچون دیوارهای برشی با آثار مهم زیر عمل می‌کنند . آنهاممکن است :

الف ــ پریودطبیعی ارتعاش سازه راکاهش دهندوباعث تغییرمقدارانرژی زلزله ای وارده درسازه وتغییرتنش‌های زلزله ای سازه "رسمی" شوند،

ب ــ باعث توزیع مجدد سختی جانبی سازه واز اینرو تغییر توزیع تنش شوند،

پ ــ باعث شکست زود رس سازه معمولا" در اثر برش یا ضربه های متوالی[1] گردند،

ت ــ خودشان در اثر نیروهای برشی یا ضربه خسارت زیادببینند.

هرچقدر که سازه اساسی نرم تر باشد آثارفوق بدتر خواهد بودومخصوصا" وقتی که توزیع عناصر ناسازه ای نامتقارن باشد ویا در طبقات متوالی فرق کند خطرناک خواهند بود.

برای برطرف کردن اشکالات فوق یکی از دو راه حل مخالف یکدیگر را میتوان اقتباس کرد. روش اول وارد کردن عمدی این عناصر برشی اضافی در سازه رسمی و تحلیل سازه و طرح اتصالات مطابق آن می‌باشد. این متدوقتی مناسب است که ساختمان‌اساسا" سخت باشدویاد رمحل مورد نظر واکنش زلزله ای کمی برای سازه سخت مطلوب باشد. این‌بدان مفهوم است که عناصر برشی باید بطور موثری در داخل سازه بویژه بستون ها بسته شوند و احتمالا" خودعناصر برشی لازم است که در مقابل نیروهای زلزله تقویت شوند.

درمتددوم عناصر ناسازه ای طوری طرح می‌شوند که از سختی برشی آنها سهمی به سازه نرسد. این متد بویژه در مورد سازه نرمی که لازم است واکنش کمی در مقابل نیروهای زلزله داشته باشد مناسب است. این نوع ساختمان را می‌توان باایجاددرز در مقابل سازه در کناره ها و بالای عناصر اجرا کرد. برای اینکه عنصر ناسازه ای بوسیله نیروهای خارج از صفحه واژگون نشود دربالامیتوان آن را بوسیله نروماگی اتصال داد. اگردرزها لازم‌است که‌پر شوند بایداز ماده واقعا" انعطاف پذیری استفاده کرد.

متاسفانه هیچیک از راه حل های فوق خیلی رضایتبخش نمی‌باشند چون نصب اتصالات لازم، تقویت اتصالات، ایجاد نروماگی یا پرکردن شکاف ها وقت گیر، گران وکنترل صحیح آنهامشکل است. همچنین پرکننده های انعطاف‌پذیر درز از لحاظ عایق صدا مناسب نمی‌باشند.

فهرست منابع

[1] "Architects and Earthquakes", AIA Research Corporation, 1975.

[2] Chopra, A.K., Clough. D.P., and Clough, R.W., "Earthquake Resistance of Buildings with a Soft first Storey", Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics " No. 4, June 1973.

[3] Dowrick, D.J., "Earthquake Resistant Design, A Manual for Engineers and Architects", John Wiley & Sons, 1977.

[4] Fintel, M., "Handbook of Concrete Engineering", Van Nostrand Reinhold, 1974.

1- Pounding

[5] Muto, K., "Earthquake Resistant Design of 36-storied Kasumigaseki Building", Proceedings of the 4th World conference of Earthquake Engineering, Chile, Vol. 3, 1969.

[6] Poliakov, S.V.,"Earthquake Resistant Construction", U.S. National Technical Information Service, 1973.

[7] Schueller, W., "High-Rise Building Structures", John Wiley & Sons, 1977.

[8] Sozen, M.A., Newmark, N.M., and Housner, G.W., "Implications on Seismic Structural Design of the Evaluation of Damage to the Sheraton-Macuto", Proceedings of the 4th World Conference on Earthquake Engineering,Chile, Vol. 3, 1969.

DETERMINATION OF STRUCTURAL FORMS FOR SEISMIC RESISTANT DESIGN

By: Hojjat Adeli, Assistant professor,

Faculty of Engineering Tehran-University

Abstract

In an earthquake country like Iran it is of paramount importance that the structural form be sound. The designer must be able to predict satisfactorily the behavior of the structure in the event of a strong ground motion.

In order to be able to make a wise choice, he also should know enough about the consequences of the earthquake damage to the structure and economic factors involved. This paper presents state- of- the-art guidelines for selecting suitable structural forms for seismic resistant design.

Behavior of common structural forms are studied and their deficiencies are pointed out. Effect of the nonstructural members on the seismic behavior of the structure is discussed.