

معماری پایدار در برابر زلزله: طراحی یک مدرسه راهنمایی در تهران*

مهندس آزاده نوری فرد**^۱، دکتر محمد فرزین^۲

^۱ کارشناس ارشد معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
^۲ عضو هیات علمی دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۱۲/۲۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۸۷/۷/۶)

چکیده:

در حال حاضر زلزله به عنوان یکی از عوامل تاثیرگذار در مراحل شکل گیری معماری مورد بی توجهی واقع شده است و تمام مسؤولیت پایداری ساختمان در برابر زلزله به عهده مهندس سازه می باشد. این امر طراحی ساختمان های پایدار در برابر زلزله را مشکل، پرهزینه، در مواردی غیرممکن می کند. از آنجا که کلیه مسائل یک بنا به عهده مهندس معمار است، لذا بر کردن خلاء موجود به عهده او می باشد تا با دید وسیع خود بهترین راه را جهت پایداری ساختمان در زلزله ارائه دهد. بر این اساس هدف اصلی این مقاله تحت عنوان مشارکت طرح معماری با سازه بنا در تمام مراحل طراحی جهت پایداری در برابر زلزله تعریف شده است و محدوده آن با توجه به خلاءهای موجود، ساختمان های معمول، با ارتفاع کوتاه تا متوسط و با تکنولوژی رایج کشور را در بر می گیرد. در بخش اول این مقاله تاثیر زلزله در پنج مرحله اصلی شکل گیری معماری به صورت چک لیستی جهت کنترل طرح ارائه شده و در بخش دوم این چک لیست به صورت عملی در طراحی یک مدرسه به کار گرفته شده است. به عنوان نتیجه کار می توان ادعا کرد تنها در صورتی دستیابی به بنایی با بهترین کیفیت های فضایی و بهترین ترین سازه از لحاظ مقاومت در برابر زلزله امکان پذیر است که از مراحل اولیه طراحی تا جزییات اجرایی مشارکت نزدیک بین سازه و معماری وجود داشته باشد.

واژه های کلیدی:

زلزله، پایداری جانبی، عناصر مقاوم در زلزله، مراحل شکل گیری معماری.

* این مقاله برگرفته از رساله کارشناسی ارشد مهندس آزاده نوری فرد تحت عنوان "معماری پایدار در برابر زلزله: طراحی یک مدرسه راهنمایی در تهران"، به راهنمایی دکتر محمد فرزین می باشد.

** نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲-۳۸۵۶۳۲۹، نمابر: ۰۲۱-۶۶۹۷۲۰۸۳، E-mail: anoorifard@yahoo.com

مقدمه

زلزله پیشنهاد شود و نهایتاً چک لیستی مطابق با مراحل شکل گیری معماری از ایده اولیه تا جزئیات اجرایی در جهت طراحی ساختمانی پایدار در برابر زلزله ارائه گردد و سپس میزان کارایی تئوری مطرح شده به صورت عملی در طراحی معماری یک بنا بررسی شود. به این منظور مدرسه به عنوان فضایی که در کلیه آئین نامه های زلزله دنیا با اهمیت بالا قلمداد می شود و در میان فضاهای عمومی بالاترین تعداد را دارد و می تواند در صورت پابرجا ماندن به عنوان پایگاه امداد و نجات نیز عمل کند، به عنوان جایگاه مناسبی برای مطالعات موردی انتخاب شده است و سعی شده بر اساس چک لیست ارائه شده به نحو مطلوب به کلیه اصول معماری و سازه ای به صورت تعاملی در مراحل مختلف طراحی از ایده اولیه تا جزئیات اجرایی پاسخ داده شود.

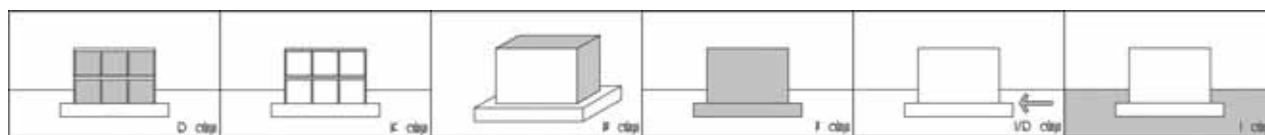
با توجه به هدف این مقاله ابتدا به بررسی چک لیست مذکور پرداخته می شود و سپس به عنوان نمونه موردی با استفاده از چک لیست مذکور به بررسی مراحل طراحی و ویژگی های مدرسه طراحی شده به صورت مختصر پرداخته می شود.

بر اساس جستجوهای انجام شده می توان گفت علی رغم اهمیت توجه به زلزله در معماری به منظور طراحی ساختمان های پایدار، جای این مباحث در رشته معماری بسیار خالی است. در رشته های مهندسی سازه و ژئوتکنیک نیز علی رغم این که مطالعات مربوط به زلزله از گستردگی بالایی برخوردار است ولی در حال حرکت به سمت جزئیات می باشد. در مجموع می توان ادعا کرد بررسی منسجمی که تاثیر زلزله را در مراحل طراحی از طرح اولیه تا جزئیات اجرایی ساختمان در برداشته باشد، وجود ندارد. مقاله حاضر، حاصل مطالعات رساله کارشناسی ارشد می باشد که در آن سعی شده است ابتدا با یک دیدگاه کاربردی، کلیه مسائل یک ساختمان از قبیل بررسی ساختگاه، انتقال نیروها در ساختمان، فرم، مصالح، عناصر معماری، تاسیسات، مبلمان و تجهیزات داخلی، نقاط امن، راه های فرار و... که هر یک از اهمیت ویژه ای در طراحی پایدار در زلزله برخوردارند، بر اساس تئوری های موجود و تجارب زلزله های گذشته تحلیل و تمهیداتی در هر زمینه برای بهینه کردن طرح معماری جهت پایداری آن در

چک لیست تاثیر زلزله در مراحل شکل گیری معماری

صورت خطی نبوده و می توان بر اساس شیوه طراحی به صورت تعاملی از آنها استفاده کرد. در ادامه ضمن بررسی مختصر این مراحل ماتریس های کنترلی نیز ارائه می گردد. از آن جا که بررسی تئوری های موجود در رابطه با هر یک از اعضای این ماتریس ها خارج از محدوده این مقاله است لذا سعی شده تا در هر مورد تنها به بررسی کلیات پرداخته شود و به عنوان نمونه تنها یکی از موارد به صورت مختصر ارائه گردد. جهت کسب اطلاعات کامل تر در هر مورد می توان به منابع اشاره شده در پی نوشت ها رجوع نمود.

این چک لیست آثار زلزله را در پنج مرحله اصلی شکل گیری معماری شامل مطالعه ساختگاه، طراحی ساختمان به عنوان یک کل، طراحی پلان و نمای ساختمان، طراحی سازه و طراحی عناصر غیرسازه ای کنترل می کند و به صورت ماتریس هایی تنظیم شده است که بین تمامی موارد لازم برای طراحی ساختمان پایدار در زلزله نظمی سیستماتیک برقرار می کند و جهت پاسخگویی به هر یک از موارد آن، طراح می تواند از تمهیدات خاصی با توجه به موضوع، موقعیت، امکانات و محدودیت های پروژه استفاده کند (تصویر ۱). لازم به ذکر است ارتباط این پنج مرحله لزوماً به



تصویر ۱ - کنترل تاثیر زلزله در پنج مرحله اصلی شکل گیری معماری.
(ماخذ: نگارندگان)

ماتریس ۱-۱ - کنترل پایداری ساختمان در اثر خسارات وارد بر ساختمان در زلزله.

پدیده	روانگرایی	نشست های بزرگ	گسلش	زمین لغزش	سنگ ریزش
تمهیداتی جهت حفظ پایداری	<ul style="list-style-type: none"> افزایش چگالی نسبی زمین های ماسه ای شمع کوبی در لایه های با احتمال کمتر روانگرایی جابجایی خاک محل به کار بردن سیستم زهکشی 	<ul style="list-style-type: none"> افزایش چگالی نسبی زمین های ماسه ای انتخاب زمین های سنگی برای ساخت و ساز^۱ 	<ul style="list-style-type: none"> رعایت فاصله لازم از گسل های فعال 	<ul style="list-style-type: none"> رعایت فاصله مناسب از دامنه های با احتمال لغزش خاک در اثر نیروهای زمین لرزه و فشار آب حفره ای تعمیر بستر ساختمان های واقع بر دامنه های با احتمال لغزش زمین 	<ul style="list-style-type: none"> رعایت فاصله مناسب از دامنه های با احتمال ریزش سنگ در اثر نیروهای زمین لرزه، فشار آب حفره ای و سنگ های پستی^۲

(ماخذ: نگارندگان)

ماتریس ۱-۲ - تعیین ارتفاع مناسب ساختمان بر اساس جنس ساختمان.

جنس ساختمان	زمین های نرم با زمان تناوب بالا	زمین های سنگی با زمان تناوب کوتاه
ساختمان	ساختمان سلب یا کوتاه با زمان تناوب کوتاه	ساختمان متعطف یا بلند با زمان تناوب بلند ^۳

(ماخذ: نگارندگان)

ماتریس ۱/۵ - تعیین نحوه برخورد ساختمان با نیروهای زلزله.

انتقال نیرو به ساختمان		عدم انتقال نیرو به ساختمان
انتقال نیرو از طریق اعضای مقاوم جانبی به بی ها	استهلاک نیرو از طریق جذب کننده ها	عدم انتقال نیرو از طریق جداسازی لرزه ای بی ها

(ماخذ: نگارندگان)

کنترل ارائه شده است. در واقع ابتدا باید نحوه برخورد ساختمان با نیروهای زلزله به یکی از سه صورت جداسازی لرزه ای پی ها به منظور عدم انتقال نیرو به ساختمان، استهلاک نیرو از طریق جذب کننده ها و یا انتقال آن توسط عناصر مقاوم جانبی تا پی ها مشخص شود (ماتریس ۱/۵) و مراحل کنترل بعدی بر اساس این تصمیم اولیه انتخاب گردد. مسلماً هر یک از این موارد نیاز به بررسی های خاص خود در مراحل بعدی دارند. با توجه به این که دو مورد اول خارج از محدوده مطالعات این مقاله می باشد، در ادامه مراحل کنترل مربوط به حالت سوم مورد بررسی قرار می گیرد.

مرحله (۲)، تحلیل آثار زلزله بر ساختمان به عنوان یک کل:

در این مرحله تمهیدات اولیه و کلان طرح در سه حوزه مورد بررسی قرار می گیرد. ابتدا تمهیدات اصلی جهت جلوگیری از حرکات ساختمان و حفظ پایداری کلی آن در برابر واژگونی و حرکات لغزشی در زلزله مورد بررسی قرار می گیرد تا تناسبات قائم بنا، میزان سطح تماس با خاک، میزان عمق بنا در خاک و تمهیدات لازم جهت کاهش ارتفاع مرکز ثقل و... شکل بگیرد (ماتریس ۱-۲). سپس با توجه به اهمیت شکل پذیری ساختمان به منظور استهلاک نیروهای زلزله، میزان شکل پذیری و تعداد عناصر کمکی مقاوم جانبی به معنی معین بودن یا نامعین بودن سازه بررسی می شود (ماتریس ۲-۲) و نهایتاً به عنوان مهم ترین تصمیم گیری در این مرحله می بایست ارتباط سازه با ساختار بنا مشخص شود، به این معنی که یا سازه و ساختار بنا یکی است و خواه ناخواه از ابتدای طراحی معماری تمامی مسائل از جمله پایداری در برابر نیروهای جانبی مورد ملاحظه قرار

مرحله (۱)، تحلیل آثار زلزله بر ساختمان: هدف اصلی در

این مرحله بررسی سایت پروژه به لحاظ احتمال وارد شدن خسارات مختلف در زلزله می باشد تا بر این اساس پیش بینی های لازم جهت تعیین موقعیت و حفظ پایداری ساختمان صورت گیرد (ماتریس ۱-۱). در ادامه به عنوان یک تصمیم اولیه و کلان در زمینه طراحی معماری می بایست جنس خاک محل جهت تعیین ارتفاع مجاز ساختمان به منظور اجتناب از ایجاد پدیده رزونانس در زلزله مورد بررسی قرار گیرد (ماتریس ۱-۲).

به عنوان نمونه پدیده روانگرایی در ستون اول این ماتریس پدیده ایست که در آن لایه های ماسه ای اشباع به علت حرکت زلزله مقاومت برشی خود را از دست داده و نظیر گل مایع رفتار می کنند (واکابایاشی، ۱۳۷۲، ۳۱۸، ۳)، (Key, 1988, 3). این پدیده می تواند موجب نشست پی ها، کج شدن، فرورفتن و واژگونی ساختمان، گسیختگی شیب ها، خاکریزها، سدها، جوشش ماسه از لایه لایه منافذ به سطح زمین و تورم در خاک های ناپایدار شود (واکابایاشی، ۱۳۷۲، ۳۱۸، ۳)، (ناطق الهی و معتمدی، ۱۳۸۲، ۶۰، ۳)، (Key, 1988, 3) و اصولاً احتمال رخ دادن آن در زمین های نسبتاً نرم، در زمین های ماسه ای ریز و در زمین های با سطح بالای آب های زیرزمینی بالاتر است (موتوهیکو و دیگران، ۱۳۸۲، ۷۰، ۳) (Ambrose, Vergun, 1998, 53).

مرحله (۱/۵)، چگونگی برخورد ساختمان با نیروهای

زلزله: این مرحله به عنوان یک مرحله میانی جهت تکمیل مراحل

خواهد گرفت و یا سازه چیزی جدا از ساختار بناست و به منظور پایداری ساختمان در زلزله باید در مراحل مختلف طراحی معماری مرتباً کنترل شود و تمهیدات خاصی در هر مرحله برای آن در نظر گرفته شود (ماتریس ۲-۳). مسلماً پس از تصمیم گیری اولیه بر اساس موضوع، موقعیت، محدودیت ها و امکانات پروژه می بایست تمهیدات لرزه ای خاص هر سیستم مورد ملاحظه قرار گیرد.

به عنوان نمونه در توضیح تقاطع سطر دوم با ستون اول از دو مین ماتریس این مرحله می توان اشاره کرد؛ شکل پذیری با ایجاد تغییر شکل پلاستیک در سازه تامین می شود. یعنی چنانچه سازه ای پس از رسیدن به مقاومت نهایی، توانایی تغییر شکل پلاستیک را داشته باشد، می تواند نیروهای بزرگی را بدون فروریختگی تحمل کند (ناطق الهی و معتمدی، ۱۳۸۲، ۱۷). از آنجایی که این تغییر شکل غیرالاستیک موجب به وجود آمدن مفاصل پلاستیک در سازه می شود، لذا اولین شرط امکان تامین شکل پذیری این است که سازه نامعین یا هیپراستاتیک باشد (صبری، ۱۳۷۳، ۳۹).

به عنوان نمونه در توضیح تقاطع سطر اول با ستون اول این ماتریس می توان گفت؛ در برخی از ساختمان ها به دلایل معماری سیستم های مقاوم در برابر نیروهای جانبی در یک یا چند طبقه قطع می شوند تا فضای باز و بدون ستونی آماده گردد که در اصطلاح سازه ای به نام "طبقه نرم" خوانده می شود. ویژگی ذاتی طبقه نرم عبارت است از عدم پیوستگی سختی که در اتصالات طبقه بعدی خودنمایی می کند (هاشمی، ۱۳۷۱، ۴۰). طبقه نرم در واقع مانند یک پاندول فنری عمل می کند که بر روی آن مقدار زیادی جرم طبقات دیگر وارد می شود (صادق آذر، ۱۳۶۵). لازم است اشاره شود بر عکس طبقه نرم چنانچه بخش های انعطاف پذیر ساختمان بر روی طبقات صلب واقع شوند، در زمان وقوع زلزله این قسمت های فوقانی که انعطاف پذیرند گرایش دارند تا از پهلو بر روی قسمت های تحتانی که صلب هستند بخوایند. به این پدیده اصطلاحاً، اثر "شلاقی" نیروی زلزله می گویند (داویدوویچی، ۱۳۶۸).

مرحله (۳)، تحلیل آثار زلزله بر ساختمان در دو صفحه افق و قائم؛ در این مرحله پس از شکل گیری طرح کلی ساختمان جهت دقیق تر کردن تمهیدات پیش بینی شده به منظور مقاومت در برابر نیروهای زلزله با توجه به تاثیر امواج آن در تمامی جهات، بررسی ها در دو صفحه افق و قائم از دیدگاه های مختلفی چون توزیع سختی عناصر مقاوم جانبی، توزیع جرم، چگونگی فرم و تناسب ابعاد آن متمرکز می شود (ماتریس ۳).

به عنوان نمونه در توضیح تقاطع سطر اول با ستون اول این ماتریس می توان اشاره کرد؛ از دیدگاه تحلیل سازه نیروی زلزله

ماتریس ۲-۱- کنترل حرکات کلی ساختمان در زلزله.

پدیده	واژگونی	لغزش
<ul style="list-style-type: none"> بررسی میزان کشیدگی و تناسب قائم بنا کاهش ارتفاع مرکز ثقل ساختمان از طریق کاهش تدریجی جرم در ارتفاع و جانمایی تجهیزات سنگین در طبقات تحتانی افزایش عمق ساختمان در خاک مهار ساختمان با استفاده از شمع 	<ul style="list-style-type: none"> افزایش سطح تماس ساختمان با خاک افزایش میزان عمق ساختمان در خاک مهار ساختمان با استفاده از شمع 	

(ماخذ: نگارندگان)

ماتریس ۲-۳- تعیین رابطه سازه و ساختار بنا.

سیستم های ساختمانی	سازه همان ساختار	سازه جدای از ساختار
<ul style="list-style-type: none"> سازه های جبه ای سازه های قوسی سازه های گنبدی شکل سازه های خربای فضایی و گنبد ژئوزنیک سازه های پوسته ای نازک و ورق های تاشده سازه های کابلی سازه های غشایی سازه های هوای فشرده 	<ul style="list-style-type: none"> قاب ساده با مهاربندی (محیطی یا هسته ای) قاب ساده با دیوار برشی (محیطی یا هسته ای) قاب خمشی سیستم ترکیبی 	

(ماخذ: نگارندگان)

ماتریس ۲-۲- تعیین میزان استهلاک نیروهای زلزله در ساختمان.

معین	شکل پذیر	غیر شکل پذیر
غیر ممکن	غیر ممکن	نامطلوب
نامعین	خوبی مطلوب	مطلوب

(ماخذ: نگارندگان)

ماتریس ۳- کنترل ساختمان در دو صفحه افق و قائم.

ملاحظات در صفحه افق	سختی	فرم و جرم	تناسبات
● توزیع متقارن سختی در پلان ● انطباق مرکز سختی بر مرکز جرم به منظور اجتناب از آثار پیچشی	● استفاده از اشکال ساده و اجتناب از اشکال زاویه‌دار در پلان ^۵ ● توزیع متقارن جرم در پلان	● میزان کشیدگی در پلان ● میزان عقب رفتگی ها و پیش آمدگی ها در پلان ● موقعیت و ابعاد بازشوها در دیافراگم ^۶	
● توزیع یکنواخت سختی در ارتفاع به منظور اجتناب از ایجاد طبقه نرم و آثار شلاقی ● توزیع یکنواخت سختی در زمین های شیبدار ^۲	● استفاده از اشکال ساده و اجتناب از اشکال زاویه‌دار در ارتفاع ^۶ ● تداوم اعضای باربر قائم و اعضای مهارى جانبى در ارتفاع ^۷ ● توزیع یکنواخت و یا کاهش تدریجی جرم در ارتفاع	● میزان کشیدگی در ارتفاع ● میزان عقب رفتگی ها و پیش آمدگی ها در ارتفاع ● تناسبات دیوارها و ستون‌ها ^۸ ● موقعیت و ابعاد بازشوها در دیوار	

(ماخذ: نگارندگان)

مرحله (۵)، تحلیل آثار زلزله بر اجزا و عناصر

غیرسازه‌ای ساختمان: این مرحله به عنوان آخرین مرحله و تقریباً در مقیاس بررسی‌های مرحله (۴) می‌باشد ولی موضوع بررسی‌های آن به جای عناصر سازه‌ای متمرکز بر عناصر غیرسازه‌ای می‌باشد. در این مرحله ابتدا می‌بایست رابطه عناصر غیرسازه‌ای با سازه بنا به معنی جداسازی عناصر غیرسازه‌ای از عناصر سازه‌ای و یا یکپارچگی آنها با توجه به امکانات و محدودیت‌های پروژه مشخص شده (ماتریس ۵-۱) و سپس برای پایداری کلیه اجزای ساختمان، تمامی عناصر غیرسازه‌ای در قالب چهار گروه اصلی عناصر معماری، تاسیسات مکانیکی، تاسیسات الکتریکی، مبلمان و تجهیزات داخلی از لحاظ موقعیت‌های مطلوب و حساس در ساختمان، پیش‌بینی‌های لازم جهت جلوگیری از شکست در موقعیت و جابه‌جایی از موقعیت به منظور حفظ سلامت اجزا و عدم لطمه به سایر عناصر ساختمان و افراد مورد بررسی قرار گیرند و برای هر یک تمهیدات خاصی در نظر گرفته شود (ماتریس ۵-۲). به علاوه از آنجا که کاهش جرم ساختمان به معنی کاهش نیروهای وارد بر آن می‌باشد، لازم است در کلیه مراحل طراحی عناصر غیرسازه‌ای کاهش جرم اجزا و عناصر به منظور کاهش بار مرده ساختمان و در نتیجه نیروهای زلزله مورد توجه قرار گیرد.

در ارتباط با ایده یکپارچگی در سطر دوم ماتریس اول می‌توان گفت؛ در این حالت اصولاً مشارکت عناصر غیرسازه‌ای، سازه ساختمان را سخت‌تر می‌کند. این به معنی یک پیوند طبیعی پایین‌تر است که در آن با استفاده از پتانسیل عناصر غیرسازه‌ای قابلیت استهلاک انرژی افزایش می‌یابد (قالیبافیان، ۱۳۷۳، ۳۸). لذا ضروری است خصوصیات عناصر غیرسازه‌ای در تحلیل سازه منظور شود. از آنجا که در این حالت جابه‌جایی و تغییر شکل این عناصر با قاب مساوی است لذا باید به اندازه کافی قوی یا

مرحله (۴)، تحلیل آثار زلزله بر اجزا و عناصر سازه‌ای

ساختمان: پس از شکل‌گیری فرم کلی طرح، موقعیت، نوع و میزان عناصر مقاوم، در این مرحله مقیاس بررسی‌ها کوچک‌تر شده و به بررسی جزئیات عناصر سازه‌ای به عنوان عناصر مقاوم اصلی در برابر نیروهای وارد بر ساختمان پرداخته می‌شود. بر این اساس انواع ساختمان‌ها از نظر نوع مصالح سازه به پنج گروه اصلی شامل ساختمان‌های بنایی مسلح، ساختمان‌های بتن درجا، ساختمان‌های فولادی، ساختمان‌های چوبی و ساختمان‌های بتنی پیش‌ساخته تقسیم شده و به لحاظ نسبت مقاومت به وزن، شکل‌پذیری، مقاومت در برابر حریق، کیفیت مصالح، اتصالات، ضوابط طراحی و کنترل‌های اجرایی مورد بررسی قرار می‌گیرند (ماتریس ۴). در این ماتریس تنها به ویژگی‌های اصلی هر یک از ساختمان‌ها و نکات کلیدی که عمدتاً بر اساس تجارب زلزله‌های گذشته می‌باشد، اشاره شده است، مسلماً در هر مورد می‌بایست ویژگی‌های مصالح مصرفی به دقت بررسی شده و ضوابط آئین‌نامه‌های ساختمانی مربوطه در طراحی و اجرا رعایت شود و نهایتاً با توجه به شرایط، موقعیت، محدودیت‌ها و امکانات، عامل هزینه نیز به عنوان عاملی که نقش تعیین‌کننده در تصمیم‌گیری‌ها دارد در این مرحله مورد بررسی قرار گیرد.

در ارتباط با نسبت مقاومت به وزن در ستون اول این ماتریس می‌توان گفت؛ از آنجا که نیروهای زلزله به صورت نیروهای اینرسی بر ساختمان عمل می‌کنند، استفاده از مصالح و یا سیستم سازه‌ای سبک و با مقاومت بالا در فشار، کشش و برش مفید خواهد بود. در توضیح میزان شکل‌پذیری در ستون دوم باید اشاره کرد؛ ظرفیت تغییر شکل پلاستیک بالا می‌تواند جبران‌کننده کمبود مقاومت باشد. همچنین شکل‌پذیری بالا به معنی قابلیت جذب انرژی بیشتر و ضریب میرایی بالاتر می‌باشد (واکابایاشی، ۱۳۷۲، ۲۵۳)، (ناطق‌الهی و معتمدی، ۱۳۸۲، ۳۰-۲۹).

سیستم اغلب در مورد ساختمان‌های بلند (واکابایاشی، ۱۳۷۲) و ساختمان‌های انعطاف پذیر (Dowrick, 1987) مطلوب است. در این حالت دیوارها تاثیری در تحلیل سازه نداشته و میزان درز بین دیوار و سازه بر اساس محاسبات جابه‌جایی‌های سازه مشخص خواهد شد.

انعطاف پذیر باشند تا این تغییر شکل‌ها را جذب کنند (Dowrick, 1987, 445)، (دیلمی، ۱۳۷۶، ۱۲۲). چراکه اغلب به دلیل مقاومت نهایی اندک این عناصر در اثر شکست آنها تمام نیروی زلزله به صورت ناگهانی به سازه وارد شده و موجب فروپاشی آن خواهد شد (حسینی‌هاشمی، ۱۳۷۸، ۵۶). در مورد ایده جداسازی در سطر اول این ماتریس باید اشاره شود این

ماتریس ۴- کنترل ویژگی‌های عناصر سازه‌ای بر اساس مصالح انتخابی.

نسبت مقاومت به وزن	شکل پذیری	مقاومت در برابر حریق	کیفیت مصالح، اتصالات، طراحی و اجرا
کم	کم (مطلوب‌تر از ساختمان‌های بنایی غیر مسلح)	مطلوب	<ul style="list-style-type: none"> استفاده از اجر با کیفیت مطلوب و رعایت کلیه ضوابط اجرایی استفاده از مصالح مرغوب و رعایت کلیه ضوابط ساخت و اجرای بتن در مورد کلاف‌ها کنترل کیفیت و مقاومت آرماتورها و رعایت کلیه ضوابط آرماتوربندی در کلاف‌ها استفاده از کلاف قائم در گوشه‌ها و موقعیت‌های لازم استفاده از کلاف افقی در تراز زیر دیوار و سقف و سایر موقعیت‌های لازم تأمین اتصال کافی بین قطعات دیوار، دیوار به کلاف افقی و قائم، کلاف‌های قائم به افقی و سقف به کلاف‌های افقی^{۱۱} عدم عبور لوله‌های تاسیساتی از داخل کلاف‌های افقی و قائم
مطلوب (وزن بالا نسبت به سازه‌های فولادی و چوبی علی‌رغم مقاومت مطلوب)	اغلب کم (افزایش شکل پذیری از طریق افزایش درصد فولاد فشاری، مقاومت فشاری بتن، کرنش نهایی بتن و خاموت‌ها)	مطلوب	<ul style="list-style-type: none"> استفاده از مصالح مرغوب و رعایت کلیه ضوابط ساخت و اجرای بتن کنترل کیفیت و مقاومت آرماتورها و رعایت کلیه ضوابط آرماتوربندی عدم استفاده از جوش در اتصال آرماتورها عدم استفاده از اتصال خارج از مرکز تیر به ستون رعایت کلیه ضوابط در مورد طول مهار، خم‌ها و تراکم آرماتورها در اتصالات تیر به ستون^{۱۱} عدم عبور لوله‌های تاسیساتی از داخل تیرها و ستون‌ها
خیلی مطلوب	خیلی مطلوب	کم (لزوجم طراحی پوشش‌هایی جهت افزایش مقاومت در برابر حریق)	<ul style="list-style-type: none"> برخورداری از خاصیت ایزوتروپیک حفاظت کافی در برابر خوردگی و زنگ زدگی رعایت ضوابط در مورد ابعاد ورق‌ها و نبشی‌های اتصالی، طول، بعد و کیفیت جوش در اتصالات اعضا^{۱۲} رعایت ضوابط در مورد میزان و فواصل بست‌ها در اعضای مرکب توجه به موقعیت قطع عضو و تأمین اتصال کافی کنترل گمانش موضعی، لیدگی و سایر کنترل‌ها در طراحی قسمت‌های مختلف اعضا تأمین طول مهارهای کافی در بولت‌های اتصالی صفحه زیر ستون به بی عدم استفاده از اتصال خورجینی در اتصال تیر به ستون^{۱۳} استفاده از دستک‌های مهارهای به میزان کافی و با اتصال کافی در مورد گسول‌ها
خیلی مطلوب	خیلی مطلوب	کم (لزوجم اعمال تمهیداتی جهت افزایش مقاومت در برابر حریق)	<ul style="list-style-type: none"> استفاده از چوب با کیفیت مطلوب و محافظت آن در برابر پوسیدگی رعایت ضوابط در مورد میخ‌ها، پیچ و مهره‌ها و تسمه‌ها در اتصالات اعضا به یکدیگر^{۱۴} لزوجم تأمین صلبیت کافی در سقف‌های چوبی تأمین مقاومت جانبی کافی از طریق مهارهای چوبی یا دیوار برشی
مطلوب	اغلب کم (افزایش شکل پذیری از طریق افزایش درصد فولاد فشاری، مقاومت فشاری بتن، کرنش نهایی بتن و خاموت‌ها)	مطلوب	<ul style="list-style-type: none"> استفاده از مصالح مرغوب جهت دستیابی به کیفیت مطلوب یا توجه به شرایط دقیق کنترل شده کارخانه‌ای در اختلاط، ریختن و عمل آوردن بتن رعایت کلیه ضوابط آرماتوربندی تأمین صلبیت کافی در اتصال اعضا از طریق جوش آرماتورهای انتظار و بتن‌ریزی درزها^{۱۵} تأمین مقاومت جانبی از طریق اتصالات صلب بین اعضا یا استفاده از مهاربندی و دیوار برشی با اتصال کافی به اعضا

ماتریس ۵-۱- تعیین نحوه ارتباط سازه و عناصر غیرسازه‌ای به ویژه میانقاب ها.

مزایا	محدودیت‌ها
<ul style="list-style-type: none"> • اطمینان از تحلیل‌های انجام شده در محاسبه سازه • مناسب در سازه‌های بلند و منعطف • سهولت در انتخاب موقعیت دیوارها • عدم ایجاد پدیده ستون کوتاه • عدم وارد شدن شوک به سازه در اثر تخریب دیوار 	<ul style="list-style-type: none"> • حذف مقاومت و سختی دیوارها از سیستم مقاوم جانبی • حذف پتانسیل دیوارها در جذب و استهلاک انرژی • مشکلات اجرایی جهت آب بندی، عایق بندی حرارتی و صوتی در محل درزهای بین دیوار و سازه^{۱۶} • مشکلات اجرایی در تامین مقاومت برون صفحه ای • افزایش اثرات PΔ
<ul style="list-style-type: none"> • افزایش مقاومت و سختی قاب • بهره برداری از پتانسیل دیوار در جذب و استهلاک انرژی • مناسب در سازه‌های صلب و کوتاه • سهولت در آب بندی، عایق بندی حرارتی و صوتی در محل درزهای بین دیوار و سازه • سهولت در تامین مقاومت برون صفحه ای • کاهش اثرات PΔ 	<ul style="list-style-type: none"> • عدم اطمینان از فرض‌های اعمال شده در تحلیل و طراحی سازه با واقعیت • نامطلوب در سازه‌های بلند و منعطف • تغییر در توزیع نیروها و احتمال پیچش سازه در اثر توزیع نامتقارن دیوارها • امکان ایجاد ستون کوتاه در مجاورت دیوارهای کوتاه • وارد شدن شوک به سازه در لحظه خرابی دیوار • لزوم استفاده از مصالح قوی یا انعطاف پذیر جهت سازگاری با تغییر مکان‌های سازه

(ماخذ: نگارندگان)

ماتریس ۵-۲- کنترل پایداری اجزا و عناصر غیرسازه‌ای در زلزله.

عناصر	موقعیت‌های مناسب / حساس	عدم شکست در موقعیت	عدم جابه جایی از موقعیت	
عناصر معماری	<ul style="list-style-type: none"> • توجه به دیوارهای خارجی و جان‌پناه‌های مجاور مسیرهای پرتردد و معابر عمومی • توجه به دیوارهای داخلی مجاور راهروها و راه پله‌ها 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از مصالح با کیفیت مطلوب و تامین یکپارچگی کافی بین اجزا و عناصر دیوار • رعایت نسبت‌های لازم بین ابعاد مختلف دیوار 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از مصالح با کیفیت مطلوب و تامین یکپارچگی کافی بین اجزا و عناصر دیوار • رعایت نسبت‌های لازم بین ابعاد مختلف دیوار 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از مصالح با کیفیت مطلوب و تامین یکپارچگی کافی بین اجزا و عناصر دیوار • رعایت نسبت‌های لازم بین ابعاد مختلف دیوار
	<ul style="list-style-type: none"> • توجه به نماهای مجاور معابر عمومی • توجه به نازک‌کاری دیوارهای مجاور راه پله‌ها و راهروها 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از مصالح با کیفیت مطلوب و تامین یکپارچگی کافی بین اجزای آن • عدم استفاده از مصالح ترد در پوشش دیوارهای برشی • جداسازی مصالح ترد از دیوارهای برشی 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از مصالح با کیفیت مطلوب و تامین یکپارچگی کافی بین اجزای آن • عدم استفاده از مصالح ترد در پوشش دیوارهای برشی • جداسازی مصالح ترد از دیوارهای برشی 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از مصالح با کیفیت مطلوب و تامین یکپارچگی کافی بین اجزای آن • عدم استفاده از مصالح ترد در پوشش دیوارهای برشی • جداسازی مصالح ترد از دیوارهای برشی
	<ul style="list-style-type: none"> • توجه ویژه به درهای واقع در راه‌های خروج • توجه به سقف راهروها و مسیرهای پرتردد 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از شیشه نشکن، نوار لاستیکی، بطنه نرم و غلطک در قسمت‌های شیشه‌ای بازشوها^{۱۷} • تامین فاصله کافی بین محیط سقف و دیوار 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از شیشه نشکن، نوار لاستیکی، بطنه نرم و غلطک در قسمت‌های شیشه‌ای بازشوها^{۱۷} • تامین فاصله کافی بین محیط سقف و دیوار 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از شیشه نشکن، نوار لاستیکی، بطنه نرم و غلطک در قسمت‌های شیشه‌ای بازشوها^{۱۷} • تامین فاصله کافی بین محیط سقف و دیوار
	<ul style="list-style-type: none"> • توجه فوق العاده به پله‌ها به عنوان راه فرار 	<ul style="list-style-type: none"> • جداسازی سازه پلکان از سیستم سازه ساختمان • تامین سیستم سازه‌ای با مقاومت کافی در برابر نیروهای جانبی 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از ایده چمه سیاه^{۱۸} • استفاده از تکیه‌گاه‌های انعطاف پذیر 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از ایده چمه سیاه^{۱۸} • استفاده از تکیه‌گاه‌های انعطاف پذیر
تاسیسات مکانیکی	<ul style="list-style-type: none"> • توزیع متقارن تجهیزات سنگین • جانمایی تجهیزات سنگین در طبقات تحتانی • حفظ یکپارچگی دیافراگم‌ها و عناصر قائم • مقاوم در صورت عبور لوله‌ها و کانال‌ها از آن‌ها • عدم عبور لوله‌ها و کانال‌ها از گوشه عناصر باربر • اجتناب از عبور لوله‌ها و کانال‌ها از درزهای انقطاع 	<ul style="list-style-type: none"> • کاهش تعداد خم‌ها و استفاده از زوایای ملایم در آن‌ها • حفاظت در برابر خوردگی • رفع ترک و نشست لوله‌ها • تامین انعطاف‌پذیری در اتصالات به دستگاه‌ها • استفاده از لوله‌های یا اتصالات انعطاف‌پذیر در درزهای انقطاع^{۱۹} • تامین فاصله کافی بین لوله‌ها و کانال‌ها از بازشوی دیوارها و دیافراگم‌ها • استفاده از شیر قطع خودکار در لوله‌های گاز 	<ul style="list-style-type: none"> • کاهش تعداد خم‌ها و استفاده از زوایای ملایم در آن‌ها • حفاظت در برابر خوردگی • رفع ترک و نشست لوله‌ها • تامین انعطاف‌پذیری در اتصالات به دستگاه‌ها • استفاده از لوله‌های یا اتصالات انعطاف‌پذیر در درزهای انقطاع^{۱۹} • تامین فاصله کافی بین لوله‌ها و کانال‌ها از بازشوی دیوارها و دیافراگم‌ها • استفاده از شیر قطع خودکار در لوله‌های گاز 	<ul style="list-style-type: none"> • کاهش تعداد خم‌ها و استفاده از زوایای ملایم در آن‌ها • حفاظت در برابر خوردگی • رفع ترک و نشست لوله‌ها • تامین انعطاف‌پذیری در اتصالات به دستگاه‌ها • استفاده از لوله‌های یا اتصالات انعطاف‌پذیر در درزهای انقطاع^{۱۹} • تامین فاصله کافی بین لوله‌ها و کانال‌ها از بازشوی دیوارها و دیافراگم‌ها • استفاده از شیر قطع خودکار در لوله‌های گاز
	<ul style="list-style-type: none"> • عبور دودکش از کنار دیوار، بدون هیچ‌گونه کاهش در سطح مقطع دیوار 	<ul style="list-style-type: none"> • یکپارچگی در مصالح مورد استفاده جهت جلوگیری از ایجاد ترک و پیشگیری از آتش‌سوزی در اثر نفوذ مواد قابل احتراق 	<ul style="list-style-type: none"> • یکپارچگی در مصالح مورد استفاده جهت جلوگیری از ایجاد ترک و پیشگیری از آتش‌سوزی در اثر نفوذ مواد قابل احتراق 	<ul style="list-style-type: none"> • یکپارچگی در مصالح مورد استفاده جهت جلوگیری از ایجاد ترک و پیشگیری از آتش‌سوزی در اثر نفوذ مواد قابل احتراق
	<ul style="list-style-type: none"> • تجهیزات الکتریکی 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از ایده چمه سیاه • استفاده از تکیه‌گاه‌های انعطاف‌پذیر 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از ایده چمه سیاه • استفاده از تکیه‌گاه‌های انعطاف‌پذیر 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از ایده چمه سیاه • استفاده از تکیه‌گاه‌های انعطاف‌پذیر
تاسیسات الکتریکی	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از چراغ‌های دیواری به جای چراغ‌های سقفی 	<ul style="list-style-type: none"> • توجه به ارتفاع رشته و فواصل لامپ‌های ردیفی جهت کاهش صدمات وارده در اثر برخورد چراغ‌ها به یکدیگر^{۲۰} • پیش‌بینی تکیه‌گاهی مستقل از سقف کاذب^{۲۱} 	<ul style="list-style-type: none"> • توجه به ارتفاع رشته و فواصل لامپ‌های ردیفی جهت کاهش صدمات وارده در اثر برخورد چراغ‌ها به یکدیگر^{۲۰} • پیش‌بینی تکیه‌گاهی مستقل از سقف کاذب^{۲۱} 	<ul style="list-style-type: none"> • توجه به ارتفاع رشته و فواصل لامپ‌های ردیفی جهت کاهش صدمات وارده در اثر برخورد چراغ‌ها به یکدیگر^{۲۰} • پیش‌بینی تکیه‌گاهی مستقل از سقف کاذب^{۲۱}
	<ul style="list-style-type: none"> • قفسه‌ها و کمدها 	<ul style="list-style-type: none"> • توزیع متقارن قفسه‌ها • پیش‌بینی قفسه‌های سنگین در طبقات تحتانی • تعیین موقعیت قفسه‌ها و کمدها جهت نگهداری سقف در صورت تخریب عناصر باربر قائم^{۲۲} 	<ul style="list-style-type: none"> • توزیع متقارن قفسه‌ها • پیش‌بینی قفسه‌های سنگین در طبقات تحتانی • تعیین موقعیت قفسه‌ها و کمدها جهت نگهداری سقف در صورت تخریب عناصر باربر قائم^{۲۲} 	<ul style="list-style-type: none"> • توزیع متقارن قفسه‌ها • پیش‌بینی قفسه‌های سنگین در طبقات تحتانی • تعیین موقعیت قفسه‌ها و کمدها جهت نگهداری سقف در صورت تخریب عناصر باربر قائم^{۲۲}
مبلان و تجهیزات داخلی	<ul style="list-style-type: none"> • میز و صندلی‌ها و تختخواب‌ها 	<ul style="list-style-type: none"> • پیش‌بینی میز و نیمکت‌ها و تختخواب‌ها در اماکنی با قابلیت دسترسی سریع و آسان به عنوان نقاط امن 	<ul style="list-style-type: none"> • پیش‌بینی میز و نیمکت‌ها، تختخواب‌ها و ... 	<ul style="list-style-type: none"> • پیش‌بینی میز و نیمکت‌ها، تختخواب‌ها و ...
	<ul style="list-style-type: none"> • مواد خطرناک 	<ul style="list-style-type: none"> • جانمایی مواد خطرناک در طبقات پایین قفسه‌ها 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از ظروف پلاستیکی یا نشکن در مورد مواد قابل احتراق، سمی و خطرناک 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده از ظروف پلاستیکی یا نشکن در مورد مواد قابل احتراق، سمی و خطرناک

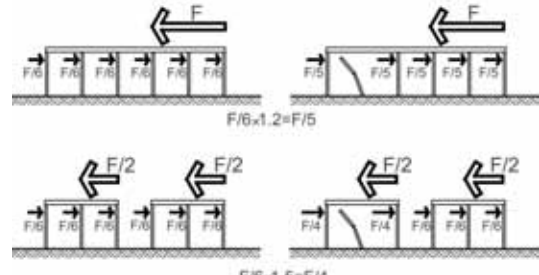
(ماخذ: نگارندگان)

نمونه موردی: طراحی یک مدرسه راهنمایی در تهران

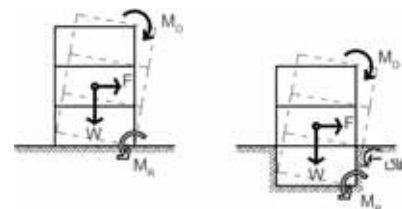
در این قسمت روش مطرح شده به صورت عملی در طراحی یک مدرسه راهنمایی ۱۵ کلاسه به ظرفیت ۸۴۰ دانش آموز به کار گرفته شده است^۱. با توجه به این که بررسی مطالعات گسترده و روند طولانی طراحی این مدرسه که در آن علاوه بر عوامل متعدد موجود در طراحی معماری به عامل پایداری در زلزله نیز به عنوان یک عامل شاخص توجه شده است خارج از محدوده این مقاله می باشد سعی شده با استفاده از ماتریس های پیشنهادی تاکید اصلی بر ویژگی هایی از طرح باشد که به نحو مطلوب همراهی سازه و معماری را جهت رسیدن به بنایی پایدار در برابر زلزله نشان می دهد. همچنین علی رغم این که در فرآیند طراحی به صورت تعاملی از ماتریس های مذکور استفاده شده ولی در ادامه به منظور درک ارتباط هر مرحله با چک لیست پیشنهادی روند طراحی به صورت خطی ارائه شده است.

مرحله (۱) - تحلیل آثار زلزله بر ساختگاه

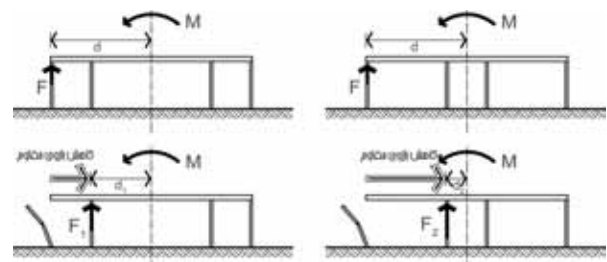
زمین پروژه در محله ۵ شهرداری منطقه ۱۴ تهران واقع شده است. در مرحله مطالعات سایت علاوه بر مسائل شهری، کلیه خسارات احتمالی وارد بر بستر و ساختگاه پروژه در زلزله مورد بررسی قرار گرفته و در این زمینه مساله مهمی وجود ندارد. همچنین با توجه به جنس رسی زمین مشکل خاصی در ارتباط با محدوده ارتفاعی ساختمان های مدارس وجود نخواهد داشت.



تصویر ۲- تاثیر یکپارچگی سازه در توزیع نیرو بین اعضا. (ماخذ: نگارندگان)



تصویر ۴- کاهش ریسک واژگونی ساختمان از طریق طراحی زیرزمین. (ماخذ: نگارندگان)



تصویر ۶- تاثیر موقعیت فضاهای خرد و وسیع در میزان تغییر توان سازه در اثر شکست عناصر جانبی در زلزله. (ماخذ: نگارندگان)

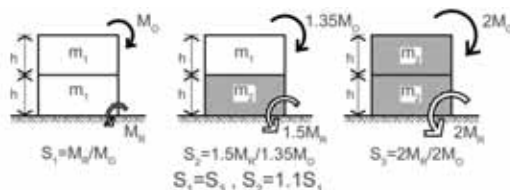
مرحله (۲) - تحلیل آثار زلزله بر ساختمان به عنوان یک کل

در این مرحله اولین تصمیم یکپارچگی کل سازه از طریق استفاده از اشکال ساده با پیش آمدگی، عقب نشستگی، بازشوها و تناسبات مجاز به منظور جلوگیری از ایجاد درزهای انقطاع در سازه می باشد به این ترتیب کلیه عناصر سازه ای در برابر زلزله مشارکت کرده و در صورت شکست یک یا تعدادی از اعضا پایداری کلی سازه دچار مشکل نخواهد شد (تصویر ۲). به منظور کاهش احتمال واژگونی ساختمان در زلزله سعی شده از طریق کاهش تدریجی مساحت طبقات و استفاده از مصالح سبک تر از جرم ساختمان در ارتفاع کاسته و مرکز ثقل سازه را تا حد امکان به سطح زمین نزدیک کرد (تصویر ۳). علی رغم کم بودن احتمال واژگونی ساختمان با توجه به تناسبات کلی آن به منظور افزایش مقاومت لغزشی ساختمان سعی شده از طریق طراحی زیر زمین سطح تماس با خاک افزایش یابد (تصاویر ۴ و ۵).

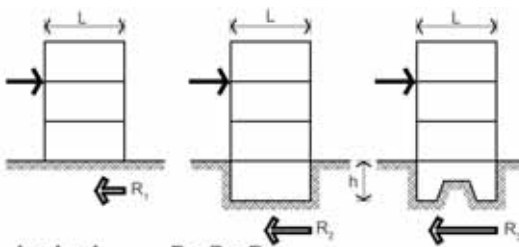
به منظور استهلاک نیروهای زلزله از سازه نامعین یا هیبراستاتیک استفاده شده که امکان ایجاد تغییر شکل غیرالاستیک را در سازه فراهم می کند به این ترتیب تعداد عناصر مقاوم در برابر زلزله در هر راستا افزایش یافته است. نهایتاً به عنوان آخرین تصمیم در این مرحله سازه از ساختار بنا جدا گشته و از سیستم قاب ساده مهاربندی شده به صورت برون محوری استفاده شده است.

مرحله (۳) - تحلیل آثار زلزله بر ساختمان در دو صفحه افق و قائم

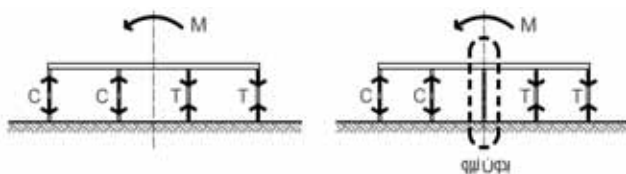
توزیع متعادل جرم و سختی به منظور انطباق مرکز جرم و سختی و پیشگیری از آثار پیچش ساختمان در زلزله هدف اصلی در این مرحله را



تصویر ۳- کاهش ریسک واژگونی از طریق کاهش جرم در ارتفاع. (ماخذ: نگارندگان)



تصویر ۵- تاثیر طراحی زیرزمین در میزان نیروی مقاوم در برابر لغزش. (ماخذ: نگارندگان)

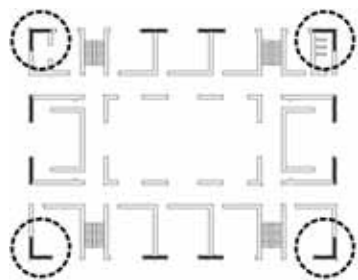


تصویر ۷- طراحی دهانه های فرد به منظور استفاده از توان کلیه اعضا در زلزله. (ماخذ: نگارندگان)

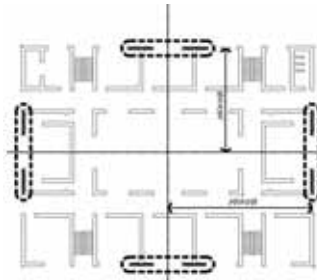
اغلب در کاربری‌های متشکل از ردیفی از اتاق‌ها و یک راهرو مانند مدارس، هتل‌ها، بیمارستان‌ها و ... امکان استفاده از مهاربندی در جداره خارجی ساختمان وجود نداشته و سازه در امتداد پنجره‌ها به صورت قاب خمشی طراحی می‌گردد. در این طرح با نیم دهانه جابه‌جایی ستون‌های جداره خارجی و انتقال دهانه‌های مهاربندی شده به بخش پر جداره جهت هماهنگی با معماری فضا، یک سیستم یکپارچه I شکل از طریق تیرهای اتصالی مورب در سقف پیشنهاد شده که با تعداد ستون‌های مشابه سیستم رایج فوق‌الذکر از مقاومت مطلوبی در هر دو راستا در برابر نیروهای زلزله برخوردار می‌باشد (تصویر ۱۱). از آنجا که امکان استفاده از عناصر I شکل مهاربندی شده در حال ورودی به عنوان یک فضای نیمه باز تطبیق پذیر برای تجمع و فعالیت‌های گروهی در ورودی ساختمان وجود ندارد برای حفظ انطباق مرکز سختی بر مرکز جرم از ستون‌های سخت تر و با اتصال گیردار در این قسمت استفاده شده است (تصویر ۱۲). در طبقه دوم نیز با توجه به حذف قسمت‌هایی از پلان، جهت حفظ تغییر مکان یکسان کلیه ستون‌ها، از یک رینگ مرکزی مقاوم و خرپاهای مورب در گوشه‌های سقف استفاده شده است (تصویر ۱۳). در صفحه قائم سعی شده از تغییر ناگهانی سختی به منظور اجتناب از آثار ناشی از طبقه نرم و آثار شلاقی پرهیز شده و جهت

شکل داده است. در راستای تامین یکپارچگی کل سازه که در مرحله (۲) بررسی شده است در این مرحله به جای جداسازی فضاهای وسیع با استفاده از یک سازماندهی مرکزی، هال ورودی و سالن چند منظوره سرپوشیده به صورت فضاهای تطبیق پذیر و انعطاف‌پذیر با امکان دسترسی از کلیه جوانب و همچنین قابلیت توسعه به راهروهای پیرامونی در قسمت میانی و سایر فضاها در پیرامون آنها جانمایی گردیده‌اند. به این ترتیب با طراحی فضاهای درشت دانه در وسط و فضاهای ریزدانه در جوانب، بازوی مقاوم افزایش و در نتیجه مقاومت عناصر و ریسک شکست سازه در اثر شکست عناصر جانبی کاهش یافته است (تصویر ۶).

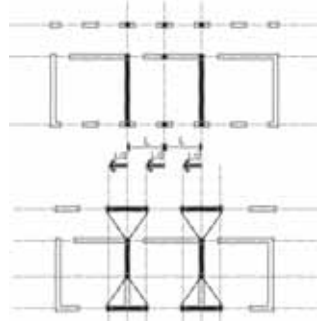
به منظور استفاده از توان کلیه عناصر در زلزله طراحی سازه به صورت دهانه‌های فرد در هر دو راستا انجام شده است (تصویر ۷). جهت حداکثر استفاده از بازوی مقاوم و کاهش مقاومت اعضا، مهاربندی‌ها در جداره خارجی ساختمان طراحی شده‌اند (تصویر ۸) و با توجه به تمرکز تنش در گوشه‌ها و به منظور بهره‌مندی از حداکثر مقاومت پیچشی، از عناصر مقاوم در کنج‌ها نیز استفاده شده است (تصویر ۹) و نهایتاً به منظور تامین صلبیت دیافراگم و توزیع نیروها با توجه به ابعاد سازه، یک حلقه مقاوم داخلی و عناصر مقاوم میانی علاوه بر حلقه مقاوم خارجی نیز در نظر گرفته شده است (تصویر ۱۰).



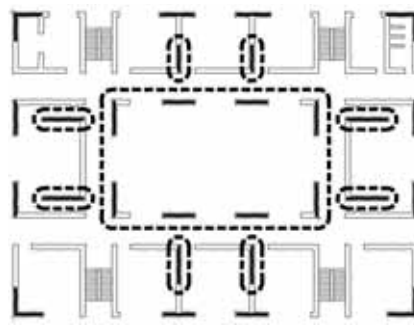
تصویر ۹- طراحی عناصر مقاوم در گوشه‌ها.
(ماخذ: نگارندگان)



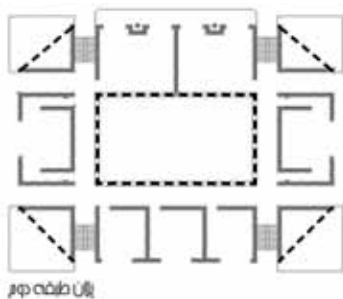
تصویر ۸- طراحی مهاربندی‌ها در جداره خارجی.
(ماخذ: نگارندگان)



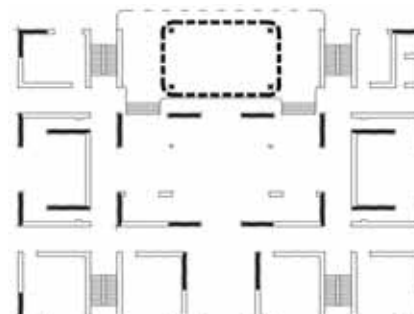
تصویر ۱۱- نیم دهانه جابه‌جایی ستون‌های نما.
(ماخذ: نگارندگان)



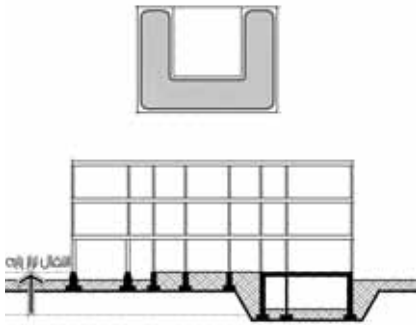
تصویر ۱۰- طراحی حلقه مقاوم داخلی و عناصر میانی.
(ماخذ: نگارندگان)



تصویر ۱۳- طراحی رینگ مقاوم مرکزی و خرپاهای مورب در گوشه‌های سقف طبقه دوم.
(ماخذ: نگارندگان)



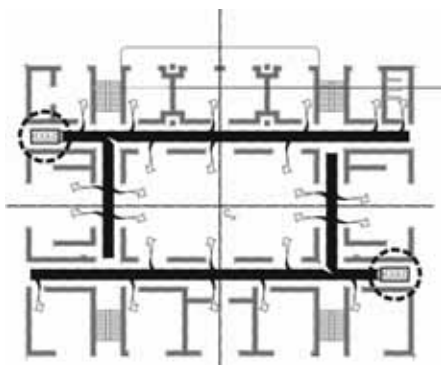
تصویر ۱۲- طراحی ستون‌های سخت تر و با اتصال گیردار در حال ورودی.
(ماخذ: نگارندگان)



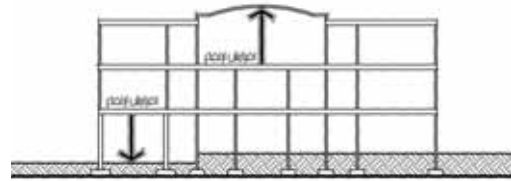
تصویر ۱۵- انتقال تراز پایه از سطح پی به کف همکف. (ماخذ: نگارندگان)

منتهی الیه شمالی و جنوبی راهروها در کلیه طبقات تامین شده است. علی رغم مقاومت برشی اندک دیوارهای پیشنهادی، در طراحی جزئیات از ایده جداسازی کلیه دیوارها از سازه استفاده شده است. به این ترتیب هم از مطابقت تحلیل سازه با رفتار واقعی آن در زلزله و هم از حداقل آسیب وارده به عناصر غیرسازه‌ای می‌توان اطمینان داشت. در مورد پنجره‌ها با توجه به نمای طراحی شده دو حالت وجود دارد یکی حالتی است که پنجره درون دیوار واقع شده است که به دلیل جداسازی دیوار از سازه مشکل خاصی وجود نداشته و حالت دوم مربوط به پنجره‌هایی است که مستقیماً به ستون‌ها اتصال دارند، در این مورد از یک قاب اضافی علاوه بر قاب کاذب پنجره استفاده خواهد شد به نحوی که این قاب اضافی به اسکلت ساختمان و قاب کاذب به پنجره ثابت شده ولی اتصال این دو قاب به یکدیگر به نحوی است که امکان تغییر شکل‌های افقی و قائم بین آنها وجود دارد به این ترتیب تغییر شکل سازه در حد فاصل این دو قاب اتفاق افتاده و تغییر شکلی به پنجره منتقل نخواهد شد.

در مورد تاسیسات مکانیکی برای سرمایش و گرمایش فضاها از دستگاه سرد و گرم کننده تبخیری استفاده شده است. این سیستم پاسخی مناسب در راستای سبک سازی ساختمان می‌باشد. به این ترتیب تنها از طریق کانال‌های هوارسان که برای سرمایش ساختمان اجتناب ناپذیر است، گرمایش ساختمان نیز انجام می‌شود، همچنین علاوه بر حذف فن کویل‌ها یا رادیاتورها از فضاها، کلیه لوله‌کشی‌های سیستم گرمایشی از کف‌ها حذف شده و به این ترتیب بار مرده طبقات به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. با توجه به تجهیزات سنگین موتورخانه، جانمایی آن در بخش مرکزی زیرزمین در نظر گرفته شده است و به منظور طراحی مستقیم‌ترین مسیر برای کانال‌های اصلی، توزیع متقارن جرم نسبت به مرکز سختی و دسترسی به هوای آزاد، دستگاه‌های سرد و گرم کننده تبخیری در منتهی الیه غربی راهروهای شمالی و منتهی الیه شرقی راهروهای جنوبی طبقات جانمایی شده‌اند (تصویر ۱۶).



تصویر ۱۶- موقعیت دستگاه‌های تهویه مطبوع و کانال‌های اصلی. (ماخذ: نگارندگان)



تصویر ۱۴- طراحی فضاهای مرتفع‌تر در طبقه اول و آخر. (ماخذ: نگارندگان)

انتقال مناسب نیروها، عناصر باربر ثقیل و جانبی تا روی پی امتداد داشته باشند. به منظور جلوگیری از برهم خوردن نظم سازه و ایجاد ستون‌های کوتاه با سختی بیشتر، فضاهای مرتفع‌تر در طبقه اول و آخر طراحی شده‌اند (تصویر ۱۴). با توجه به کاهش نیروی زلزله در ارتفاع و در نتیجه ایجاد فضاهای وسیع‌تر، از تعداد ستون‌ها و عناصر مقاوم جانبی در ارتفاع به تدریج کاسته شده است. نهایتاً در امتداد قائم با توجه به فرم U شکل زیرزمین به منظور پرهیز از آثار پیچشی و شکست، از طریق استفاده از دیوارهای برشی پیرامونی زیرزمین و پدستال‌های بتنی هال ورودی، تراز پایه ساختمان از سطح پی به کف طبقه همکف منتقل گردیده است (تصویر ۱۵).

مرحله (۴)- تحلیل آثار زلزله بر اجزا و عناصر سازه‌ای ساختمان

سازه این طرح از قاب فولادی مهاربندی شده به صورت برون محوری می‌باشد که علاوه بر سختی فوق‌العاده از قابلیت جذب انرژی بالایی نیز برخوردار است. صلبیت دیافراگم طبقات نیز با استفاده از سقف‌های کامپوزیت تامین شده است. با توجه به این که سایر ویژگی‌های طرح در این مرحله مربوط به طراحی جزئیات سازه است در ادامه از بررسی آنها خودداری می‌شود.

مرحله (۵)- تحلیل آثار زلزله بر اجزا و عناصر غیرسازه‌ای ساختمان

در ارتباط با عناصر معماری کاهش جرم به منظور کاهش نیروهای جانبی زلزله هدف اصلی در انتخاب مصالح را شکل داده است. براین اساس سقف‌ها به صورت کامپوزیت بوده و به منظور کاهش هر چه بیشتر جرم آنها از تیرهای لانه زنبوری و دال بتنی با دانه‌های لیکا استفاده شده است. همچنین با توجه به تمهیدات تاسیساتی، پوکه ریزی‌ها حذف شده و در پوشش نهایی کف‌ها با توجه به ضخامت و وزن کم، سرامیک گرانیتی و در سقف‌های کاذب صفحات روکش دار گچی ضدآتش کفاف به کار رفته است و کلیه بام‌ها از خریای فولادی و پوشش نهایی سفال در نظر گرفته شده‌اند. دیوارهای ساختمان به سه گروه اصلی شامل؛ دیوارهای زیرزمین، دیوارهای خارجی و دیوارهای داخلی تقسیم شده‌اند. دیوارهای زیرزمین به صورت دیوار برشی و از بتن لیکا و دیوارهای خارجی از پانل‌های سه بعدی می‌باشد و برای حفظ خطوط پلان در نمای ساختمان از دو مصالح ورق‌های کامپوزیت آلومینیومی به صورت برجسته‌تر در بخش‌های مهاربندی شده و سرامیک سیستم Kera Twin K3 با بست‌های پنهان در سایر قسمت‌ها استفاده شده است. دیوارهای داخلی نیز با استفاده از دیوارهای جدا کننده کفاف و با دو لایه پنل گچی اجرا شده‌اند.

با توجه به اهمیت مسیرهای حرکتی و راه‌پله‌ها در هنگام فرار، سیرکولاسیون افقی از طریق چهار مسیر خطی در پیرامون فضای مرکزی و سیرکولاسیون عمودی از طریق چهار پله واقع در

نیروهای زلزله، به محاسبه جرم اجزا مختلف بنا در سه گروه شامل مصالح انتخابی پروژه، تکنولوژی رایج سقف تیرچه بلوک و دیوار سفال و تکنولوژی نسبتاً قدیمی تر طاق ضربی و آجر فشاری پرداخته شده و به عنوان یک نمونه موردی بار مرده ساختمان بدون احتساب سازه بنا با استفاده از مصالح هر سه گروه محاسبه گردید. محاسبات نشان دادند بار مرده بنا به مقدار ۶۳٪ سبک تر از سیستم تیرچه بلوک و سفال و ۶۹٪ سبک تر از سیستم طاق ضربی و آجر فشاری می باشد. لازم به ذکر است محاسبات فوق بدون احتساب وزن سازه بوده و واضح است با چنین بار مرده‌ای علاوه بر کاهش نیروهای ثقلی، نیروهای زلزله نیز کاهش یافته و لذا اجزای سازه بسیار ظریف تر و سبک تر خواهند شد.

در زمینه تجهیزات داخلی ساختمان نیز علی رغم توصیه‌های اخیر در مورد استفاده از صندلی‌های تک نفره در مدارس به منظور حفظ مالکیت و استقلال فردی توصیه می شود همچنان از میز و نیمکت که امکان پناه گرفتن دانش آموزان در مواقع خطر را فراهم می کند استفاده شود. در مورد تخته سیاه‌ها، کمد‌ها و قفسه‌های بلند کتاب نیز توصیه می شود با توجه به سیستم دیوارهای داخلی، عناصر افقی زیرسازی به نحوی تنظیم شوند که حتماً یک عدد از این عناصر در ارتفاع مورد نظر قرار گرفته و حتی در این مکان‌ها از ورق‌های تقویتی استفاده شود و به نحوی مطلوب اتصال تخته سیاه و قفسه‌ها به دیوار فراهم شود. در انتها با توجه به اهمیت کاهش جرم ساختمان جهت کاهش

نتیجه

می‌توانند طرح را در مراحل مختلف به لحاظ موارد لازم در طراحی ساختمان‌های پایدار در زلزله کنترل کنند. همچنین لازم است با توجه به ۶۳٪ کاهش بار مرده پروژه موردی در مقایسه با تکنولوژی رایج ساخت و ساز کشور در کنار کلیه موارد مطرح شده در طراحی معماری و سازه به اهمیت انتخاب صحیح مصالح به منظور طراحی ساختمان‌های پایدار در زلزله و بهینه‌سازی اعضای سازه‌ای نیز تاکید شود.

تنها در صورتی می توان به بنایی با کلیه کیفیت های فضایی و اصول معماری مورد نظر و بهینه ترین سازه از لحاظ مقاومت در برابر زلزله دست یافت که از مراحل اولیه طراحی تا جزییات اجرایی پروژه مشارکت نزدیک بین سازه و معماری وجود داشته باشد و برای پاسخگویی به کلیه اصول تعیین شده مرتباً یک سری روابط رفت و برگشتی بین آنها ایجاد شود. به این منظور ماتریس‌های چک لیست پیشنهادی به صورت تعاملی و بر اساس شیوه طراحی به خوبی

پی نوشت ها:

- ۱ رجوع شود به (صبری، ۱۳۷۲، ۲۸).
- ۲ رجوع شود به (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۲).
- ۳ رجوع شود به (Ambrose, Vergun, 1998, 53) و (Dowrick, 1987, 53).
- ۴ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (عبد شریف آبادی، ۱۳۷۲) و (واکابایاشی، ۱۳۷۲) و (Key, 1988) و (<http://www.devalit.org>).
- ۵ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (داویدوویچی، ۱۳۶۸) و (Arya, 1370).
- ۶ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (داویدوویچی، ۱۳۶۸) و (واکابایاشی، ۱۳۷۲).
- ۷ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (Ambrose, Vergun, 1998) و (<http://www.devalit.org>).
- ۸ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۷) و (فکرت، ۱۳۷۶) و (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۸) و (Ambrose, Vergun, 1998).
- ۹ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (تقفی، ۱۳۷۸) و (رازانی، ۱۳۶۵) و (سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۷۹) و (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۸).
- ۱۰ جهت مشاهده تجارب زلزله‌های گذشته رجوع شود به (رده، ۱۳۷۶) و (زهراپی و حاج اسماعیلی، ۱۳۸۱) و (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۲) و (ناطق الهی و معتمدی، ۱۳۸۲).
- ۱۱ جهت مشاهده تجارب زلزله‌های گذشته رجوع شود به (حسینی و افشین، ۱۳۸۴) و (دانش، ۱۳۷۸) و (عشقی و دیگران، ۱۳۸۲) و (مقدم، ۱۳۸۲) و (Eisenberg, 1994) و (Newmark, Rosenblueth, 1971) و (Pilakoutas, et al, 1995).
- ۱۲ جهت مشاهده تجارب زلزله‌های گذشته رجوع شود به (دادمان و قلی پور) و (رازانی و ایزدی فرد، ۱۳۸۱) و (عشقی و دیگران، ۱۳۸۲) و (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۲) و (مقدم، ۱۳۸۲) و (نادرزاده، ۱۳۷۴) و (Key, 1988).
- ۱۳ جهت مشاهده تجارب زلزله‌های گذشته رجوع شود به (تاتار و دیگران، ۱۳۷۵) و (حسینی و افشین، ۱۳۸۴) و (عشقی و دیگران، ۱۳۸۲) و (مقدم، ۱۳۸۲).
- ۱۴ رجوع شود به (امبروز و ورگن، ۱۳۷۷) و (زهراپی و حاج اسماعیلی، ۱۳۸۱) و (غفوری آشتیانی، ۱۳۷۴) و (ماجدی اردکانی، ۱۳۷۷) و (Dowrick, 1987) و (Key, 1988).
- ۱۵ رجوع شود به (امبروز و ورگن، ۱۳۷۷) و (کف) و (Dowrick, 1987) و (Wiegel, 1970).
- ۱۶ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (قالیبافیان، ۱۳۷۲) و (واکابایاشی، ۱۳۷۲) و (Dowrick, 1987).
- ۱۷ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (واکابایاشی، ۱۳۷۲) و (Dowrick, 1987) و (Hosseini, 2004).
- ۱۸ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (صنعت تاسیسات، ۱۳۸۴).
- ۱۹ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (ناطق الهی، ۱۳۷۸).
- ۲۰ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (توکلی و دیگران، ۱۳۷۰) و (حسینی و افشین، ۱۳۸۴).
- ۲۱ به منظور مطالعه بیشتر و مشاهده نقشه‌های کامل طرح رجوع شود به رساله کارشناسی ارشد نگارنده تحت عنوان "معماری پایدار در برابر زلزله: طراحی یک مدرسه راهنمایی در تهران".

فهرست منابع:

- امبروز، جمز؛ ورگن، دیمتری (۱۳۷۷)، طرح ساده شده ساختمان‌ها در برابر نیروهای باد و زلزله، ترجمه نبی، احد، انتشارات احرار، تبریز.
تاتار، محمد (و دیگران) (۱۳۷۵)، گزارش مقدماتی زمین لرزه ۷۵/۱۱/۱۶ شمال بجنورد؛ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
توکلی، شهاب (و دیگران) (۱۳۷۰)، گزارش تحلیلی شماره (۱) زلزله منجیل-رودبار (ایران) - ۳۱ خرداد ۱۳۶۹، نشریه شماره ۱-۹۱-۷۰، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
تقفی، محمد جواد (۱۳۷۸)، "بررسی آسیب‌های ناشی از اجرای نامناسب در ساختمان‌های خسارت دیده از زلزله منطقه قائنات"، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۴ و ۵، صص ۶۲-۷۳.

- حسینی، داریوش؛ افشین، حسن (۱۳۸۴)، "بررسی عملکرد سیستم‌های سازه‌ای ساختمان‌های منطقه بم در زلزله ۵ دی ماه ۸۲"، اساس، فصلنامه انجمن مهندسان عمران ایران، سال هشتم، شماره ۱۷، صص ۴۱-۵۲.
- حسینی هاشمی، بهرخ (۱۳۷۸)، "بررسی رفتار اعضا و اتصالات ساختمان‌های بتنی در زلزله ۱۷ اوت ۱۹۹۹ ایزمیت ترکیه"، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، شماره چهارم، صص ۴۴-۶۱.
- دامان، امیر عباس؛ قلی‌پور، یعقوب (بی‌تا)، "روش مقاوم سازی ساختمان‌های آسیب‌پذیر در مقابل زلزله"، مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی بلایای طبیعی در مناطق شهری، بخش اول، زلزله، دفتر مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران، صص ۹۶-۴۷.
- دانش، فخرالدین (۱۳۷۸)، "ارزیابی عملکرد ساختمان‌ها در زلزله ۱۷ اوت ۱۹۹۹ ایزمیت ترکیه"، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، شماره چهارم، صص ۴۳-۳۳.
- داویدوویچی، وی‌ای (۱۳۶۸)، "تأثیر فرم بر پایداری ساختمان در برابر زلزله (نشریه شماره ۳)"، ترجمه ساعد سمیعی، اصغر، مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری، تهران.
- دیلمی، اردشیر، (۱۳۷۶) "طراحی لرزه‌ای اجزای غیر سازه‌ای"، در پورحمزه، کیخسرو، مجموعه مقالات زلزله و عملکرد فضاهای آموزشی، شیراز، ستاد برگزاری همایش زلزله و عملکرد فضاهای آموزشی، صص ۱۳۵-۱۱۸.
- رازانی، رضا، (۱۳۶۵) "چند درس از تأثیر زلزله‌های مخرب گذشته در ایران بر ساختمان‌های ترده‌شکن با مصالح بنایی"، در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مجموعه سخنرانی‌های سمینار آموزشی اثرات زلزله در ساختمان‌های متعارف (نشریه شماره ۶۷)، تهران، صص ۱۸۸-۱۳۲.
- رازانی، رضا؛ ایزدی فرد، رمضانعلی (۱۳۸۱)، "لزوم ایجاد تعادل بین طرح‌های معماری، محاسبات سازه‌ای، نحوه اجرا و نظارت و تحلیل اقتصادی هزینه مقاوم سازی در برابر تقلیل خطرات احتمالی در آئین نامه زلزله ایران"، در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مجموعه مقالات سومین همایش ملی نقد و بررسی آئین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، تهران، صص ۲۲-۱۳.
- رده، ابوالحسن (۱۳۷۶)، "زمین لرزه ۱۹۷۲ (فروردین ۱۳۵۱) قیر و کارزین"، مدرسه نو، شماره ۹، صص ۲۲-۱۸.
- زهرایی، مهدی؛ حاج اسماعیلی، مهدی (۱۳۸۱)، "رفتار ساختمان‌های استان قزوین و همدان در برابر زلزله اول تیرماه ۱۳۸۱ چنگوره و روش‌های بازسازی آن‌ها"، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندس زلزله، سال پنجم، شماره سوم، صص ۱۴-۲.
- سازمان برنامه و بودجه (دفتر امور فنی و تدوین معیارها) (۱۳۷۷)، مقررات و معیارهای طراحی و اجرای جزئیات تیب ساختمانی، جلد دوم: ویژگی‌های ساختاری اینیه، ویژگی‌های عملکردی اینیه (نشریه شماره ۲-۶۷)، تهران.
- سازمان مدیریت و برنامه ریزی (۱۳۷۹)، آیین نامه بتن ایران، آبا (نشریه شماره ۱۲۰)، تجدید نظر اول، تهران.
- صادق‌آذر، مجید (۱۳۶۵)، "چگونگی اثر زلزله بر ساختمان‌ها و نحوه ایجاد پایداری سازه‌ای در مقابل نیروهای زلزله"، در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مجموعه سخنرانی‌های سمینار آموزشی اثرات زلزله در ساختمان‌های متعارف (نشریه شماره ۶۷)، تهران، صص ۱۳۲-۱۰۰.
- صبری، علی (۱۳۷۳)، "پایدار سازی ساختمان‌های آموزشی (در برابر زلزله)"، انتشارات تمندر، تهران.
- صنعت تاسیسات (۱۳۸۴)، "طراحی سیستم‌های تاسیساتی مقاوم در برابر زلزله"، شماره ۶۸، سال ششم، صص ۶۰-۵۱.
- عادلی، حجت‌ا... (۱۳۵۹)، "مهندسی زلزله"، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- عبد شریف آبادی، هوشمند (۱۳۷۳)، زلزله و ساختمان‌های متداول: روش‌های پایدار سازی ساختمان‌ها در برابر زلزله، (چاپ چهارم)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران.
- عشقی، ساسان (و دیگران) (۱۳۸۲)، گزارش مقدماتی شناسایی زلزله ۵ دی ماه ۱۳۸۲ بم، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- غفوری آشتیانی، محسن (۱۳۷۴)، گزارش زمین لرزه ۱۹۹۵ هانشین- کوبه- ژاپن، موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- فکرت، عباسعلی (۱۳۷۶)، "اصول مهندسی زلزله"، مسکن و انقلاب، صص ۵۰-۴۱.
- قالیبافیان، مهدی (۱۳۷۳)، "نقش تعیین‌کننده اصالت طرح معماری در تامین ایمنی ساختمان‌ها در برابر زلزله و تقلیل هزینه‌های مربوطه"، آگاهی نامه راه و ساختمان و معماری، سال اول، شماره ۲، صص ۴۴-۲۲.
- کف، پولیا (بی‌تا)، طرح سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، ترجمه نبی، احد، ناشر احرار.
- ماجدی اردکانی، محمد حسین (۱۳۷۷)، "طراحی به منظور محافظت از ساختمان‌های آموزشی در برابر زلزله"، مسکن و انقلاب، بهار ۱۳۷۷، صص ۶۲-۵۵.
- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۷۸)، آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ (نشریه ض ۲۵۲)، تهران.
- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۸۳)، بم و زمین لرزه‌اش می‌آموزد: آشنایی با مهندسی زلزله و عملکرد لرزه‌های ساختمان‌ها، نشریه شماره ک-۴۰۷، تهران.
- مقدم، حسن (۱۳۸۲)، مهندسی زلزله مبانی و کاربرد، چاپ دوم، نشر فرهنگ، تهران.
- موتوهیکو، هاگانو (و دیگران) (۱۳۸۲)، زلزله در آلبوم تجربه: فراگیری مهندسی زلزله با مشاهده خرابی‌ها، شرکت یادمان سازه، تهران.
- نادرزاده، احمد (۱۳۷۴)، زلزله ۱۷ ژانویه ۱۹۹۵ کوبه، ژاپن و درس‌هایی برای ایران، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران، تهران.
- ناطق الهی، فریبرز (۱۳۷۸)، ارزیابی لرزه‌های ساختمان‌های موجود به روش ATC (مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ایران)، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی (مرکز پژوهش و مطالعات سوانح طبیعی)، تهران.
- ناطق الهی، فریبرز؛ معتمدی، مهرداد (۱۳۸۲)، طراحی و اجرای ساختمان‌های بنایی مقاوم در برابر زمین لرزه، انتشارات نوپردازان، تهران.
- هاشمی، اکبر، (مترجم) (۱۳۷۱)، تأثیر زلزله در طراحی معماری، مهندسان مشاور گروه ۴، تهران.
- واکاباایشی، مینورو (۱۳۷۲)، ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله، ترجمه سعادت‌پور، محمد مهدی، مرکز انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

Ambrose, James; Vergun, Dmitry (1998), Design for Earthquakes, John Wiley & Sons, Inc, Newyork.

Arya, Anand.S (1370), Earthquake Resistant Construction and Architecture,

در جعفری، محمد کاظم (و دیگران) (گردآورندگان)، مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی زلزله، جلد سوم، انتشارات علمی و فرهنگی، تهران.

Dowrick, David.J (1987), Earthquake Resistant Design for Engineers and Architects, Second Edition, Bath Press Ltd, Great Britain.

Eisenberg, J.M (1994), "The Lessons of Recent Earthquake in View of Seismic Building Codes Improvement", in Rutenberg, Avigdor, Earthquake Engineering, Netherlands, A.A, Balkema, Rotterdam, Brookfield, PP 29-36.

Hosseini, Mahmood (2004), "On the Nonstructural Elements and Their Behavior in the Bam, Iran Earthquake of December 26, 2003", JSEE, V 5, No4.

Key, David (1988), Civil Engineering Design - Earthquake Design Practice for Buildings, Thomas Telford, London.

Newmark, Nathan.M; Rosenblueth, Emilio (1971), Fundamentals of Earthquake Engineering, prentice - Hall, INC, United States of America.

Pilakoutas, Kypros, (et al) (1995), "The Paphos (Cyprus) 23 February 1995 Earthquake", in Elnashai, A.S, Fifth SECED Conference European Seismic Design Practice Research & Application, V1, London, A.A.Balkema, Rotterdam, Brookfield, PP 639-645.

Wiegel, Robert.L (1970), Earthquake Engineering, Prentice - Hall, INC, United States of America.

http://www.devalt.org(visited:21/10/2004)