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

مهندس آزاده نوری فرد[1]، دکتر محمد فرضیان[2]**

[1] کارشناس ارشد معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
[2] 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 بی‌توجهی واقع‌شده‌است و تمام مسؤولیت پایداری ساختمان در برابر زلزله به عهده مهندس سازه می‌باشد. این امر طراحی ساختمان‌های پایدار در برابر زلزله را مشکل، پرهزینه، در مواردی غیرممکن می‌کند. از آنجا که کلیه مسائل یک بنا به عهده مهندس معمار است، لذا پر کردن خلاء موجود به عهده او می‌باشد تا با دید وسیع خود بهینه‌ترین 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 تعریف‌شده‌است و محدوده آن با توجه به خلاءهای موجود، ساختمان‌های معمول، با ارتفاع کوتاه تا متوسط و با تکنولوژی رایج کشور را در بر می‌گیرد. در بخش اول این مقاله تاثیر زلزله در پنج مرحله اصلی شکل گیری معماری به صورت چک‌لیستی جهت کنترل طرح ارائه شده و در بخش دوم این چک‌لیست به صورت عملی در طراحی یک مدرسه به‌کار گرفته‌شده‌است. به عنوان نتیجه کار می‌توان ادعا کرد تنها درصورتی دستیابی به بنایی با بهترین کیفیت‌های فضایی و بهینه‌ترین سازه از لحاظ مقاومت در برابر زلزله امکان‌پذیر 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 بر گرفته 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 فرضیان می‌باشد.

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

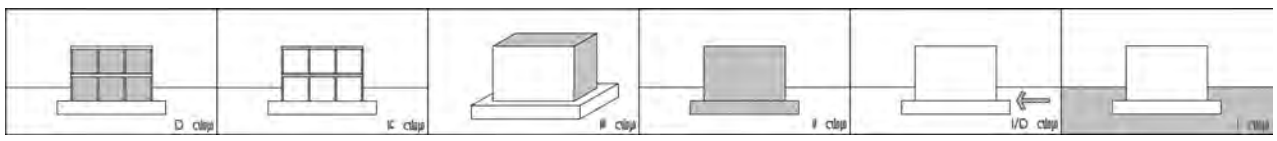
مقدمه

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 می‌باشد 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 هریک از اهمیت ویژه ای در طراحی پایدار در زلزله برخوردارند، بر اساس تئوری‌های موجود و تجارب زلزله های گذشته تحلیل و تمهیداتی در هر زمینه برای بهینه کردن طرح معماری جهت پایداری آن در 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 نامه‌های زلزله دنیا با اهمیت بالا قلمداد می‌شود 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 وسعی شده بر اساس چک لیست ارائه شده به نحو مطلوب به کلیه اصول معماری و سازه‌ای 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 می‌شود و سپس به عنوان نمونه موردی با استفاده از چک لیست مذکور به بررسی مراحل طراحی و ویژگی های مدرسه طراحی شده به صورت مختصرپرداخته می‌شود.

چک لیست تاثیر زلزله در مراحل شکل گیری معماری

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 عناصرغیرسازه‌ای کنترل می کند و به صورت ماتریس هایی تنظیم شده‌است 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 (تصویر۱). لازم به ذکر است ارتباط این پنج مرحله لزوماً به صورت خطی نبوده و می‌توان 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.



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 ساختگاه در زلزله.

پدیده	روانگرایی	نشست های بزرگ	گسلش	زمین لغزش	سنگ ریزش
تمهیداتی جهت حفظ پایداری	•افزایش چگالی نسبی زمین‌های ماسه ای •شمع کوبی در لایه های با احتمال کمتر روانگرایی •جایگزینی خاک محل •به کار بردن سیستم زهکشی	•افزایش چگالی نسبی زمین‌های ماسه‌ای •انتخاب زمین‌های سنگی برای ساخت و ساز[1]	•رعایت فاصله لازم از گسل‌های فعال	•رعایت فاصله مناسب از دامنه‌های با احتمال واژگونی و لغزش خاک در اثر نیروهای زمین لرزه و فشار اب حفره‌ای •تحکیم بستر ساختمان‌های واقع بر دامنه‌های با احتمال لغزش زمین	•رعایت فاصله مناسب از دامنه‌های با احتمال ریزش سنگ در اثر نیروهای زمین لرزه، فشار آب حفره‌ای و سنگ های پشتی[2]

(ماخذ: نگارندگان)

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

جنس ساختگاه	زمین های نرم با زمان تناوب بالا	زمین های سنگی با زمان تناوب کوتاه
ساختمان	ساختمان صلب یا کوتاه با زمان تناوب کوتاه	ساختمان منعطف یا بلند با زمان تناوب بلند[3]

(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 پی‌ها	استهلاک نیرو از طریق جذب کننده‌ها	عدم انتقال نیرو از طریق جداسازی لرزه ای پی‌ها

(ماخذ: نگارندگان)

مرحله (۱)، تحلیل آثار زلزله بر ساختگاه: هدف اصلی در این مرحله بررسی سایت پروژه به لحاظ احتمال وارد شدن خسارات مختلف در زلزله می‌باشد تا بر این اساس پیش‌بینی‌های لازم جهت تعیین موقعیت و حفظ پایداری ساختمان صورت گیرد (ماتریس ۱-۱). در ادامه به عنوان یک تصمیم اولیه وکلان در زمینه طراحی معماری می‌بایست جنس خاک محل جهت تعیین ارتفاع مجاز ساختمان به‌منظور اجتناب از ایجاد پدیده رزونانس در زلزله مورد بررسی قرار گیرد (ماتریس ۱-۲).

به عنوان نمونه پدیده روانگرایی در ستون اول این ماتریس پدیده‌ایست 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 (واکاباياشی،۱۳۷۲، ۳۱۸)،(Key,1988,3). این پدیده می‌تواند موجب نشست پی‌ها، کج شدن، فرورفتن و واژگونی ساختمان، گسیختگی شیب‌ها، خاکریزها، سدها، جوشش ماسه از لابه‌لای منافذ به سطح زمین وتورم درخاک‌های ناپایدار شود (واکاباياشی،۱۳۷۲، ۳۱۸)، (ناطق الهی و معتمدی، ۱۳۸۲، ۶۰)، (Key,1988,3) و اصولاً احتمال رخ دادن آن در زمین های نسبتاً نرم، در زمین‌های ماسه‌ای ریز و در زمین های با سطح بالای آب های زیرزمینی بالاتر است (موتوهیکو و دیگران،۱۳۸۲، ۷۰)، (Ambrose, Vergun,1998,53).

مرحله (۱/۵)، چگونگی برخورد ساختمان با نیروهای زلزله: این مرحله به عنوان یک مرحله میانی جهت تکمیل مراحل 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 جذب‌کننده 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. مسلما هر یک از این موارد نیاز به بررسی‌های خاص خود در مراحل بعدی دارند. با توجه به این که دو مورد اول خارج از محدوده مطالعات این مقاله می‌باشد، 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 قرارمی‌گیرد. ابتدا تمهیدات اصلی جهت جلو گیری 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 ۲-۱). 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 می‌شود(ماتریس ۲-۲) و نهایتاً به عنوان مهم ترین تصمیم گیری در این مرحله می‌بایست 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

خواهدگرفت و یا سازه چیزی جدا از ساختار بناست و به منظور پایداری ساختمان در زلزله باید در مراحل مختلف طراحی معماری مرتبا 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 می‌بایست تمهیدات لرزه‌ای خاص هر سیستم مورد ملاحظه قرار گیرد.

به عنوان نمونه در توضیح تقاطع سطر دوم با ستون اول از دومین ماتریس این مرحله می‌توان اشاره کرد؛ شکل پذیری با ایجاد تغییرشکل پلاستیک در سازه تامین می‌شود. یعنی چنانچه سازه‌ای پس از رسیدن به مقاومت نهایی، توانایی تغییرشکل پلاستیک را داشته باشد، می تواند نیروهای بزرگی را بدون فروریختگی تحمل کند (ناطق الهی و معتمدی،۱۳۸۲، ۱۷). از آنجایی که این تغییرشکل 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).

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، بررسی‌ها در دو صفحه افق و قائم از دیدگاه های مختلفی چون توزیع سختی عناصر مقاوم جانبی، توزیع جرم، چگونگی فرم و تناسبات 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 به مرکز جرم طبقات وارد می‌شود و چنانچه جرم در سطح به‌صورت یکنواخت توزیع شده باشد، مرکز جرم منطبق بر مرکز سطح (هندسی) طبقه خواهد بود، از طرفی نیروی مقاوم سازه در برابر زلزله در مرکز سختی سیستم مهاری جانبی اثر می‌کند و چنانچه این دو مرکز (مرکز سختی و جرم) در ساختمان بر یکدیگر منطبق نباشند علاوه بر حرکت جانبی زلزله حرکت پیچشی نیز به آن افزوده خواهد شد. هر چه فاصله بین مرکز جرم و مرکز سختی بیشتر باشد ممان پیچشی بیشتر می‌شود (عادلی،۱۳۵۹). لذا توصیه می‌شود در هر طبقه فاصله بین مرکز جرم و سختی در هر یک از دو امتداد متعامد ساختمان از ۵٪ بعد ساختمان در آن امتداد بیشتر نشود (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۸، ۴۴).

در ارتباط با توزیع سختی در راستای قائم در تقاطع سطر دوم 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 سازه‌ای به نام "طبقه نرم" خوانده می‌شود. ویژگی ذاتی طبقه نرم عبارت است از عدم پیوستگی سختی که در اتصالات طبقه بعدی خودنمایی می‌کند (هاشمی،۱۳۷۱، ۴۰). طبقه نرم در واقع مانند یک پاندول فنری عمل می‌کند که بر روی آن مقدار زیادی جرم طبقات دیگر وارد می‌شود (صادق‌آذر، ۱۳۶۵). لازم است اشاره شود بر عکس طبقه نرم چنانچه بخش‌های انعطاف‌پذیر ساختمان بر روی طبقات صلب واقع شوند، در زمان وقوع زلزله این قسمت‌های فوقانی که انعطاف‌پذیرند گرایش دارند تا از پهلو بر روی قسمت‌های تحتانی که صلب هستند بخوابند. به این پدیده اصطلاحاً، اثر "شلاقی" نیروی زلزله می‌گویند (داویدوویچی، ۱۳۶۸).

ماتریس۲-۱- کنترل حرکات کلی ساختمان در زلزله.

پدیده	واژگونی	لغزش
تمهیداتی جهت حفظ پایداری	• بررسی میزان کشیدگی و تناسبات 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	• افزایش سطح تماس ساختمان با خاک • افزایش میزان عمق ساختمان در خاک • مهار ساختمان با استفاده از شمع

(ماخذ: نگارندگان)

ماتریس۲-۲- تعیین میزان استهلاک نیروهای زلزله در ساختمان.

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

(ماخذ: نگارندگان)

ماتریس۲-۳- تعیین رابطه سازه و ساختار بنا.

	سازه همان ساختار	سازه جدای از ساختار
سیستم های ساختمانی	• سازه های جعبه ای • سازه های قوسی • سازه های گنبدی شکل • سازه های خرپای فضایی و گنبد ژئودزیک • سازه های پوسته ای نازک و ورق های تاشده • سازه های کابلی • سازه های غشایی • سازه های هوای فشرده	• قاب ساده با مهاربندی (محیطی یا هسته ای) • قاب ساده با دیوار برشی (محیطی یا هسته ای) • قاب خمشی • سیستم ترکیبی

(ماخذ: نگارندگان)

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

	سختی	فرم و جرم	تناسبات
ملاحظات در صفحه افق	• 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[5] • 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[8]
ملاحظات در صفحه قائم	• توزیع یکنواخت سختی در ارتفاع به منظور اجتناب از ایجاد طبقه نرم و آثار شلاقی • توزیع یکنواخت سختی در زمین های شیبدار[4]	• استفاده از اشکال ساده و اجتناب از اشکال زاویه‌دار در ارتفاع[6] • تداوم اعضای باربر قائم و اعضای مهاری جانبی در ارتفاع[7] • توزیع یکنواخت و یا کاهش تدریجی جرم در ارتفاع	• میزان کشیدگی در ارتفاع • میزان عقب رفتگی ها و پیش آمدگی ها درارتفاع • تناسبات دیوارهاو ستون‌ها[9] • موقعیت و ابعاد بازشوها در دیوار

(ماخذ: نگارندگان)

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 بررسی ها کوچک تر 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 پیش ساخته 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 (ماتریس۴). 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 تعیین کننده 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 برساختمان 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 شکل پذیری در ستون دوم باید اشاره کرد؛ ظرفیت تغییرشکل پلاستیک بالا می تواند جبران کننده کمبود مقاومت باشد. همچنین شکل پذیری بالا به معنی قابلیت جذب انرژی بیشتر و ضریب میرایی بالاتر می‌باشد (واکاباياشی، ۱۳۷۲، ۲۵۳)، (ناطق الهی و معتمدی، ۱۳۸۲، ۳۰-۲۹).

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(ماتریس۵-۱) 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 (ماتریس۵-۲). به علاوه از آنجا که کاهش جرم ساختمان به معنی کاهش نیروهای وارد بر آن می‌باشد، لازم است درکلیه 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 می توان گفت؛ در این حالت اصولاً مشارکت عناصر غیرسازه ای، سازه ساختمان را سخت‌تر می‌کند. این به معنی یک پریود طبیعی پایین‌تر است که در آن با استفاده از پتانسیل عناصرغیرسازه‌ای قابلیت استهلاک انرژی افزایش می‌یابد (قالیبافیان،۱۳۷۳، ۳۸). لذا ضروری است خصوصیات عناصر غیرسازه‌ای در تحلیل سازه منظور شود. از آنجا که دراین حالت جابه جایی و تغییرشکل این عناصر با قاب مساوی است لذا باید به اندازه کافی قوی یا

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(حسینی هاشمی، ۱۳۷۸، ۵۶).در مورد ایده جداسازی در سطر اول این ماتریس باید اشاره شود این 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.

ماتریس ۴- کنترل ویژگی های عناصر سازه ای بر اساس مصالح انتخابی.

	نسبت مقاومت به وزن	شکل پذیری	مقاومت در برابر حریق	کیفیت مصالح، اتصالات، طراحی و اجرا
ساختمان‌های بنایی مسلح	کم	کم (مطلوب‌تر از ساختمان‌های بنایی غیرمسلح)	مطلوب	●استفاده از آجر با کیفیت مطلوب و رعایت کلیه ضوابط آجرچینی ●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 گوشه ها و موقعیت های لازم ●استفاده از کلاف افقی در تراز زیر دیوار و سقف و سایر موقعیت های لازم ●تامین اتصال کافی بین قطعات دیوار، دیوار به کلاف افقی و قائم، کلاف های قائم به افقی و سقف به کلاف های افقی[۱۰] ●عدم عبور لوله های تاسیساتی از داخل کلاف های افقی و قائم
ساختمان‌های بتن (درجا)	مطلوب (وزن بالا نسبت به سازه‌های فولادی و چوبی علی رغم مقاومت مطلوب)	اغلب کم (افزایش شکل پذیری از طریق افزایش درصد فولاد فشاری، مقاومت فشاری بتن، کرنش نهایی بتن و خاموت‌ها)	مطلوب	●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 مهاری، خم ها و تراکم آرماتورها در اتصالات تیر به ستون[۱۱] ●عدم عبور لوله های تاسیساتی از داخل تیرها و ستون ها
ساختمان‌های فولادی	خیلی مطلوب	خیلی مطلوب	کم (لزوم طراحی پوشش‌هایی جهت افزایش مقاومت در برابر حریق)	●برخورداری از خاصیت ایزوتروپیک ●محافظت کافی در برابر خوردگی و زنگ زدگی ●رعایت ضوابط در مورد ابعاد ورق ها و نبشی های اتصالی، طول، بعد و کیفیت جوش در اتصالات اعضا[۱۲] ●رعایت ضوابط در مورد میزان و فواصل بست ها در اعضای مرکب ●توجه به موقعیت قطع عضو و تامین اتصال کافی ●کنترل کمانش موضعی، لهیدگی و سایر کنترل ها در طراحی قسمت‌های مختلف اعضا ●تامین طول مهاری کافی در بولت های اتصالی صفحه زیر ستون به پی ●عدم استفاده از اتصال خورجینی در اتصال تیر به ستون[۱۳] ●استفاده از دستک‌های مهاری به میزان کافی و با اتصال کافی در مورد کنسول‌ها
ساختمان‌های چوبی	خیلی مطلوب	خیلی مطلوب	کم (لزوم اعمال تمهیداتی جهت افزایش مقاومت در برابر حریق)	●استفاده از چوب با کیفیت مطلوب و محافظت آن در برابر پوسیدگی ●رعایت ضوابط در مورد میخ ها، پیچ و مهره ها و تسمه ها در اتصالات اعضا به یکدیگر[۱۴] ●لزوم تامین صلبیت کافی در سقف های چوبی ●تامین مقاومت جانبی کافی از طریق مهارهای چوبی یا دیوار برشی
ساختمان‌های بتنی پیش ساخته	مطلوب	اغلب کم (افزایش شکل پذیری از طریق افزایش درصد فولاد فشاری، مقاومت فشاری بتن، کرنش نهایی بتن و خاموت ها)	مطلوب	● استفاده از مصالح مرغوب جهت دستیابی به کیفیت مطلوب با توجه به شرایط دقیق کنترل شده کارخانه ای در اختلاط، ریختن و عمل آوردن بتن ●رعایت کلیه ضوابط آرماتوربندی ●تامین صلبیت کافی در اتصال اعضا از طریق جوش آرماتورهای انتظار و بتن‌ریزی درزها[۱۵] ●تامین مقاومت جانبی از طریق اتصالات صلب بین اعضا یا استفاده از مهاربندی و دیوار برشی با اتصال کافی به اعضا

(ماخذ: نگارندگان)

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

	مزایا	محدودیت ها
جداسازی	● اطمینان از تحلیل های انجام شده در محاسبه سازه ● مناسب در سازه های بلند و منعطف ● سهولت در انتخاب موقعیت دیوارها ● عدم ایجاد پدیده ستون کوتاه ● عدم وارد شدن شوک به سازه در اثر تخریب دیوار	● 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
یکپارچگی	● افزایش مقاومت و سختی قاب ● بهره برداری از پتانسیل دیوار در جذب و استهلاک انرژی ● مناسب در سازه های 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	● عدم اطمینان از فرض های اعمال شده در تحلیل و طراحی سازه با واقعیت ● نامطلوب در سازه های 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)

ماتریس۵-۲-کنترل پایداری اجزا و عناصر غیرسازه ای در زلزله.

	عناصر	موقعیت‌های مناسب / حساس	عدم شکست در موقعیت	عدم جابه جایی از موقعیت
عناصر معماری	دیوارهای خارجی، تیغه‌های داخلی، دیوارهای محوطه و جان‌پناه‌ها	●توجه به دیوارهای خارجی و جان‌پناه‌های مجاور مسیرهای پرتردد و معابر عمومی ●توجه به دیوارهای داخلی مجاور راهروها و راه پله‌ها	●استفاده از مصالح با کیفیت مطلوب و تامین یکپارچگی کافی بین اجزا و عناصر دیوار ●رعایت نسبت‌های لازم بین ابعاد مختلف دیوار	●استفاده از مصالح با کیفیت مطلوب و تامین یکپارچگی کافی بین اجزا و عناصر دیوار ●رعایت نسبت‌های لازم بین ابعاد مختلف دیوار ●تامین اتصال کافی بین دیوار و سازه ●پیش‌بینی کلاف‌های افقی و قائم در فواصل و موقعیت‌های لازم با اتصال کافی به دیوار
	نماهای خارجی و نازک‌کاری‌های داخلی	●توجه به نماهای مجاور معابر عمومی ● توجه به نازک‌کاری دیوارهای مجاور راه پله‌ها و راهروها	●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	●تامین اتصال کافی به دیوار پشت
	درها و پنجره‌ها	●توجه ویژه به درهای واقع در راه‌های خروج	●استفاده از شیشه نشکن، نوار لاستیکی، بطانه نرم و غلطک در قسمت‌های شیشه‌ای بازشوها[۱۷]	●تامین مهار کافی جهت اتصال به دیوار پیرامونی
	سقف کاذب‌ها	●توجه به سقف راهروها و مسیرهای پرتردد	●تامین فاصله کافی بین محیط سقف و دیوار	●تامین اتصال کافی به سازه ●مهار قطعات پوشش سقف به سازه اصلی
	پله‌ها	●توجه فوق العاده به پله‌ها به عنوان راه فرار	●جداسازی سازه پلکان از سیستم سازه ساختمان ●تامین سیستم سازه‌ای با مقاومت کافی در برابر نیروهای جانبی	
تاسیسات مکانیکی	تجهیزات مکانیکی	●توزیع متقارن تجهیزات سنگین ●جانمایی تجهیزات سنگین در طبقات تحتانی	●استفاده از ایده جعبه سیاه[۱۸] ●استفاده از تکیه‌گاه‌های انعطاف پذیر	● تامین مهار کافی به سازه ●کنترل نسبت‌های بعدی
	لوله‌ها و کانال‌ها	● 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 وکانال‌ها از درزهای انقطاع	●کاهش تعداد خم‌ها و استفاده از زوایای ملایم در آن‌ها ●حفاظت در برابر خوردگی ●رفع ترک و نشتی لوله‌ها ●تامین انعطاف‌پذیری در اتصالات به دستگاه‌ها ●استفاده از لوله‌های یا اتصالات انعطاف‌پذیر در درزهای انقطاع[۱۸] ●تامین فاصله کافی بین لوله‌ها و کانال‌ها از بازشوی دیوارها و دیافراگم‌ها ●استفاده از شیر قطع خودکار در لوله‌های گاز	●تامین مهار افقی و قائم کافی به سازه
	دودکش‌ها	●عبور دودکش از کنار دیوار، بدون هیچ‌گونه کاهش در سطح مقطع دیوار	●یکپارچگی در مصالح مورد استفاده جهت جلوگیری از ایجاد ترک و پیشگیری از آتش‌سوزی در اثر نفوذ مواد قابل احتراق	●تامین مهار کافی در بخش بالای تراز بام جهت جلوگیری از واژگونی
تاسیسات الکتریکی	تجهیزات الکتریکی	●توزیع متقارن تجهیزات سنگین ●جانمایی تجهیزات سنگین در طبقات تحتانی	●استفاده از ایده جعبه سیاه ●استفاده از تکیه‌گاه‌های انعطاف‌پذیر	●تامین مهار کافی به سازه ●کنترل نسبت‌های بعدی
	روشنایی‌ها	●استفاده از چراغ های دیواری به جای چراغ‌های سقفی[۱۹]	●توجه به ارتفاع رشته و فواصل لامپ‌های ردیفی جهت کاهش صدمات وارده در اثر برخورد چراغ‌ها به یکدیگر[۱۹] ●پیش بینی تکیه‌گاهی مستقل از سقف کاذب[۱۹]	●تامین اتصال کافی به سازه ●استفاده از حفاظ مقاوم جهت جلوگیری از افتادن چراغ‌ها
مبلمان و تجهیزات داخلی	قفسه‌ها و کمدها	●توزیع متقارن قفسه‌ها ●پیش‌بینی قفسه‌های سنگین در طبقات تحتانی ●تعیین موقعیت قفسه‌ها و کمدها جهت نگهداری سقف در صورت تخریب عناصر باربر قائم[۲۰]	●تعبیه قفل بر روی درب قفسه‌ها جهت جلوگیری از سقوط اشیای درون آن‌ها ●تعبیه میله‌های حفاظتی در جلوی قفسه‌ها جهت جلوگیری از سقوط اشیا ●انتقال اشیا سنگین به طبقات پائین قفسه‌ها	●تامین مهار کافی به سازه یا دیوار مقاوم
	میز وصندلی‌ها و تختخواب‌ها	●پیش‌بینی میز و نیمکت‌ها و تختخواب‌ها در اماکنی با قابلیت دسترسی سریع و آسان به عنوان نقاط امن	●تامین مقاومت کافی میز و نیمکت‌ها، تختخواب‌ها و... به عنوان نقاط امن	●پیش بینی مهار کافی برای میز و نیمکت‌ها، تختخواب‌ها و...
	مواد خطرناک	●جانمایی مواد خطرناک در طبقات پائین قفسه‌ها	●استفاده از ظروف پلاستیکی یا نشکن در مورد مواد قابل احتراق، سمی و خطرناک	●مهار ظروف حاوی مواد خطرناک

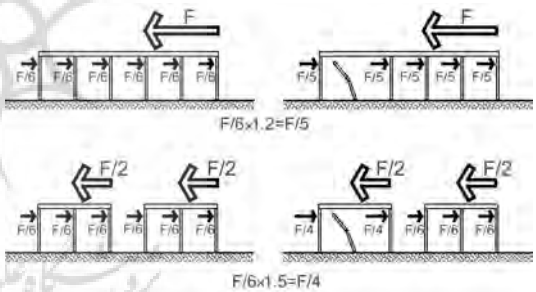
(ماخذ: نگارندگان)

نمونه موردی: طراحی یک مدرسه راهنمایی در تهران

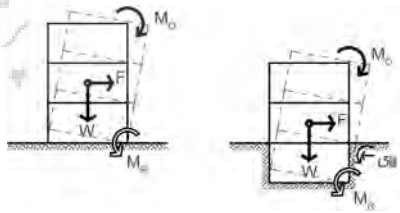
در این قسمت روش مطرح شده به صورت عملی در طراحی یک مدرسه راهنمایی ۱۵ کلاسه به ظرفیت ۸۴۰ دانش‌آموز به‌کارگرفته شده‌است[۲۱]. با توجه به این که بررسی مطالعات گسترده و روند طولانی طراحی این مدرسه که در آن علاوه بر عوامل متعدد موجود در طراحی معماری به عامل پایداری در زلزله نیز به عنوان یک عامل شاخص توجه شده است خارج از محدوده این مقاله می‌باشد سعی شده با استفاده از ماتریس‌های پیشنهادی تاکید اصلی بر ویژگی‌هایی از طرح باشد که به نحو مطلوب همراهی سازه و معماری را جهت رسیدن به بنایی پایدار در برابر زلزله نشان می‌دهد. همچنین علی رغم این که در فرآیند طراحی به صورت تعاملی از ماتریس‌های مذکور استفاده شده ولی در ادامه به منظور درک ارتباط هر مرحله با چک لیست پیشنهادی روند طراحی به صورت خطی ارائه شده‌است.

مرحله(۱)- تحلیل آثار زلزله بر ساختگاه

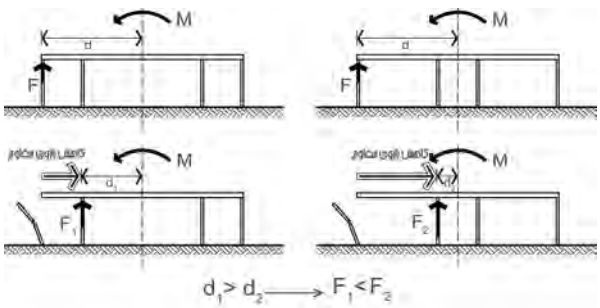
زمین پروژه در محله ۵ شهرداری منطقه ۱۴ تهران واقع شده است. در مرحله مطالعات سایت علاوه بر مسائل شهری، کلیه خسارات احتمالی وارد بر بستر و ساختگاه پروژه در زلزله مورد بررسی قرار گرفته و در این زمینه مساله مهمی وجود ندارد. همچنین با توجه به جنس رسی زمین مشکل خاصی در ارتباط با محدوده ارتفاعی ساختمان های مدارس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

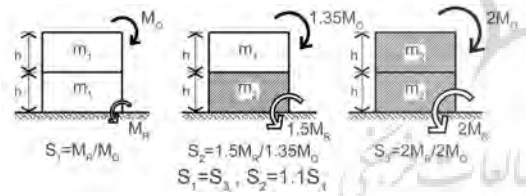
مرحله(۲)- تحلیل آثار زلزله بر ساختمان به‌عنوان یک کل

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 می‌باشد به این ترتیب کلیه عناصر سازه‌ای 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).

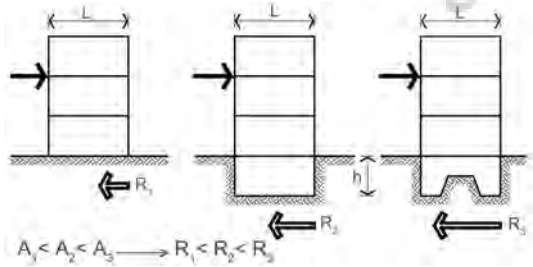
به منظور استهلاک نیروهای زلزله از سازه نامعین یا هیپراستاتیک استفاده شده که امکان ایجاد تغییرشکل غیرالاستیک را در سازه فراهم می‌کند به این ترتیب تعداد عناصر مقاوم در برابر زلزله در هر راستا افزایش یافته است. نهایتاً به عنوان آخرین تصمیم در این مرحله سازه از ساختار بنا جدا گشته و از سیستم قاب ساده مهاربندی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

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

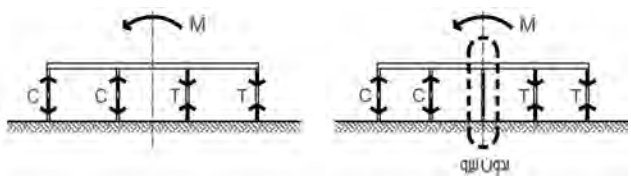
توزیع متعادل جرم و سختی به منظور انطباق مرکز جرم و سختی و پیشگیری از آثار پیچش ساختمان در زلزله هدف اصلی در این مرحله را



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)



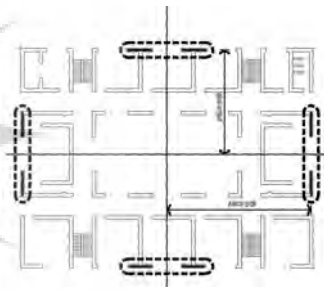
تصویر ۷- طراحی دهانه های فرد به منظور استفاده از توان کلیه اعضا در زلزله.
(ماخذ :نگارندگان)

شکل داده‌است. در راستای تامین یکپارچگی کل سازه که در مرحله (۲) بررسی شده‌است 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 یافته‌است (تصویر ۶).

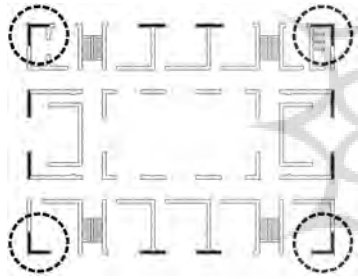
به منظور استفاده از توان کلیه عناصر در زلزله طراحی سازه به صورت دهانه‌های فرد در هر دو راستا انجام شده‌است (تصویر ۷). جهت حداکثر استفاده از بازوی مقاوم و کاهش مقاومت اعضا، مهاربندی‌ها در جداره خارجی ساختمان طراحی شده‌اند (تصویر ۸) و با توجه به تمرکز تنش در گوشه‌ها و به منظور بهره‌مندی از حداکثر مقاومت پیچشی، از عناصر مقاوم در کنج‌ها نیز استفاده‌شده‌است (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 شده‌است (تصویر ۱۰).

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 پرجداره 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 هال 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 شده‌است (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 شده‌است (تصویر ۱۳).

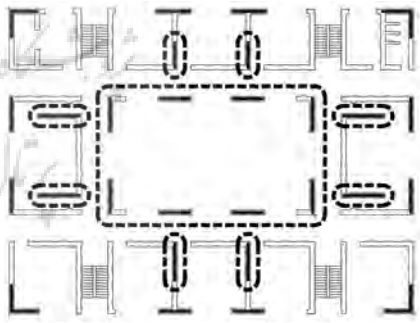
در صفحه قائم سعی شده از تغییر ناگهانی سختی به منظور اجتناب از آثار ناشی از طبقه نرم و آثار شلاقی پرهیز شده و جهت



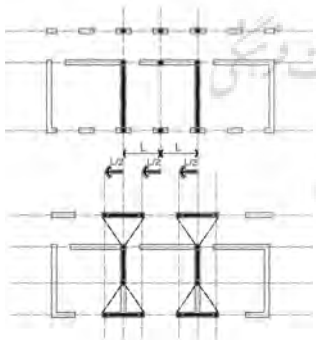
تصویر ۸- طراحی مهاربندی ها در جداره خارجی.
(ماخذ: نگارندگان)



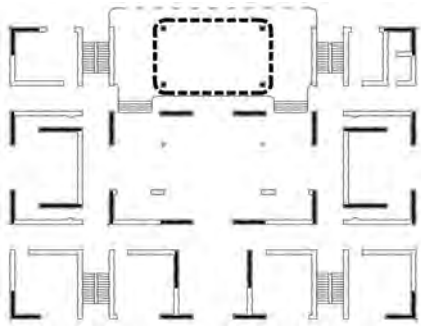
تصویر ۹- طراحی عناصر مقاوم در گوشه ها.
(ماخذ: نگارندگان)



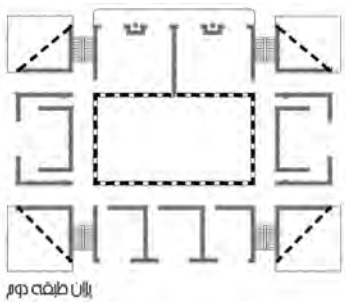
تصویر ۱۰- طراحی حلقه مقاوم داخلی و عناصر میانی.
(ماخذ: نگارندگان)



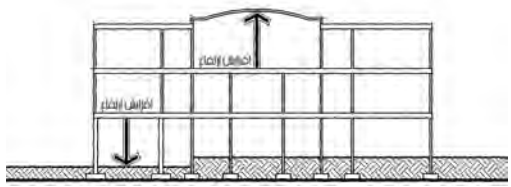
تصویر ۱۱- نیم دهانه جابه جایی ستون های نما.
(ماخذ: نگارندگان)



تصویر ۱۲- طراحی ستون های سخت تر و با اتصال گیردار در هال ورودی.
(ماخذ: نگارندگان)



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



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

انتقال مناسب نیروها، عناصر باربر ثقلی و جانبی تا روی پی امتداد داشته باشند. به منظور جلوگیری از بر هم 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 شده‌است. 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 پدستال های بتنی هال ورودی، تراز پایه ساختمان از سطح پی به کف طبقه همکف منتقل گردیده‌است (تصویر ۱۵).

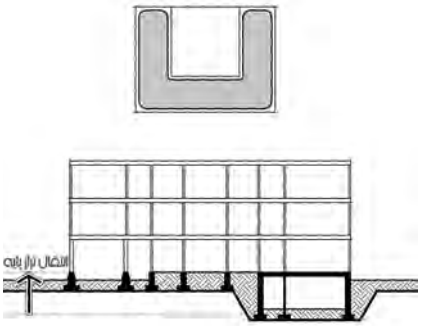
مرحله (٤)- تحلیل آثار زلزله بر اجزا و عناصر سازه‌ای ساختمان

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 داده‌است. 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 شده‌است. همچنین با توجه به تمهیدات تاسیساتی، پوکه ریزی ها حذف شده و در پوشش نهایی کف‌ها با توجه به ضخامت و وزن کم، سرامیک گرانیتی و در سقف های کاذب صفحات روکش دار گچی ضدآتش کناف به‌کار رفته است و کلیه بام‌ها از خرپای 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 می باشد و برای حفظ خطوط پلان در نمای ساختمان از دو مصالح ورق‌های کامپوزیت آلومینیومی به صورت برجسته تـــر در بخش های مهاربندی شـــده و سرامیک سیستم Kera Twin K3 با بست‌های پنهان در سایر قسمت‌ها استفاده شده‌است. دیوارهای داخلی نیز با استفاده از دیوارهای جدا کننده کناف 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

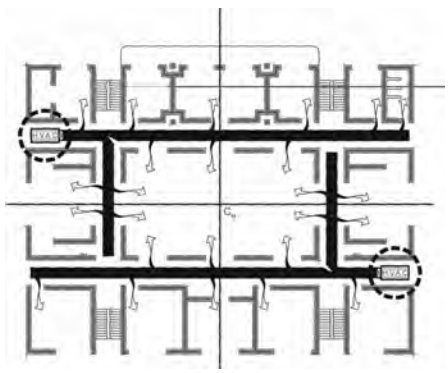


تصویر ۱۵- انتقال تراز پایه از سطح پی به کف همکف.
(ماخذ: نگارندگان)

منتهی‌الیه شمالی و جنوبی راهروها در کلیه طبقات تامین شده‌است.

علی رغم مقاومت برشی اندک دیوارهای پیشنهادی، در طراحی جزئیات از ایده جداسازی کلیه دیوارها از سازه استفاده شده‌است. به این ترتیب هم از مطابقت تحلیل سازه با رفتار واقعی آن در زلزله و هم از حداقل آسیب وارده به عناصر غیرسازه‌ای می توان اطمینان داشت. در مورد پنجره‌ها با توجه به نمای طراحی شده دو حالت وجود دارد یکی حالتی است که پنجره درون دیوار واقع شده‌است 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 شده‌است. 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 شده‌است 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 دستگاه های تهویه مطبوع و کانال های اصلی.
(ماخذ: نگارندگان)

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 می‌شود همچنان از میز و نیمکت که امکان پناه گرفتن دانش آموزان در مواقع خطر را فراهم می‌کند استفاده شود. در مورد تخته سیاه‌ها، کمدها و قفسه‌های بلند کتاب نیز توصیه می‌شود 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 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 قدیمی‌تر 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٪ سبک‌تر از سیستم تیرچه بلوک وسفال و ۶۹٪ سبک‌تر از سیستم طاق ضربی و آجر فشاری می‌باشد. 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 ظریف‌تر و سبک‌ترخواهند شد.

نتیجه

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 می‌توانند طرح را در مراحل مختلف به لحاظ موارد لازم در طراحی ساختمان های پایدار در زلزله کنترل کنند. همچنین لازم است با توجه به۶۳٪ 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.

پی‌نوشت‌ها:

۱ رجوع شود به (صبری،۱۳۷۳، ۳۸).
۲ رجوع شود به (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن،۱۳۸۳).
۳ رجوع شود به (Ambrose, Vergun,1998,53) و(Dowrick,1987,53).
۴ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (عبد شریف آبادی،۱۳۷۳) و (واکاباياشی،۱۳۷۲) و (Key,1988) و (http://www.devalt.org).
۵ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (داویدوویچی،۱۳۶۸) و (Arya,1370).
۶ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (داویدوویچی،۱۳۶۸) و (واکاباياشی،۱۳۷۲).
۷ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (Ambrose, Vergun,1998) و (http://www.devalt.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 (ثقفی،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 (زهرایی و حاج اسماعیلی،۱۳۸۱) و (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن،۱۳۷۸) و (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن،۱۳۸۳) و (ناطق اللهی 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 قلی‌پور) و (رازانی و ایزدی‌فرد،۱۳۸۱) و (عشقی و دیگران،۱۳۸۲) و (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن،۱۳۸۳) و (مقدم،۱۳۸۲) و (نادرزاده،۱۳۷۴) و (Key,1988).
۱۳ جهت مشاهده تجارب زلزله‌های گذشته رجوع شود به (تاتار و دیگران،۱۳۷۵) و (حسین و افشین،۱۳۸۴) و (عشقی و دیگران،۱۳۸۲) و (مقدم،۱۳۸۲).
۱۴ رجوع شود به (امبروز و ورگن،۱۳۷۷) و (زهرایی 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،۱۳۷۳) و (واکاباياشی،۱۳۷۲) و (Dowrick,1987).
۱۷ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (واکاباياشی،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 اللهی،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، دیمیتری (۱۳۷۷)، طرح ساده شده ساختمان‌ها در برابر نیروهای باد و زلزله، ترجمه نبیی، 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.
ثقفی، محمد جواد (۱۳۷۸)، " بررسی آسیب های ناشی از اجرای نامناسب در ساختمان های خسارت دیده از زلزله منطقه قائنات "، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۴ و ۵، صص ۷۳-۶۲.

حسینی، داریوش؛ افشین، حسن (۱۳۸۴)، " بررسی عملکرد سیستم‌های سازه‌ای ساختمان‌های منطقه بم در زلزله ۵ دی ماه ۸۲ "، اساس، فصلنامه انجمن مهندسین عمران ایران، سال هشتم، شماره۱۷، صص ۵۲-۴۱.
حسینی هاشمی، بهرخ (۱۳۷۸)، " بررسی رفتار اعضا و اتصالات ساختمان‌های بتنی در زلزله ۱۷ اوت ۱۹۹۹ ایزمیت ترکیه "، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، شماره چهارم، صص ۶۱-۴۴.
دادمان، امیر عباس؛ قلی پور، یعقوب (بی‌تا) " روش مقاوم سازی ساختمان‌های آسیب پذیر 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 زلزله شناسی و مهندسی زلزله، شماره چهارم، صص ۴۳-۳۳.
داویدوویچی، وی‌ای (۱۳۶۸)، تاثیر فرم بر پایداری ساختمان در برابر زلزله (نشریه شماره ۳)، ترجمه ساعد سمیعی، اصفر، 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 تاثیر زلزله های مخرب گذشته در ایران بر ساختمان های تردشکن با مصالح بنایی "، در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مجموعه سخنرانی های سمینار آموزشی اثرات زلزله در ساختمان‌های متعارف (نشریه شماره ۶۷)، تهران، صص ۱۸۸-۱۳۳.
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 آن ها "، پژوهشنامه زلزله شناسی 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 جزییات تیپ ساختمانی، جلد دوم: ویژگی های ساختاری ابنیه، ویژگی های عملکردی ابنیه (نشریه شماره ۲-۱۶۷)، تهران.
سازمان مدیریت و برنامه ریزی (۱۳۷۹)، آیین نامه بتن ایران، آبا (نشریه شماره ۱۲۰)، تجدید نظر اول، تهران.
صادق آذر، مجید (۱۳۶۵)، " چگونگی اثر زلزله بر ساختمان ها و نحوه ایجاد پایداری سازه ای در مقابل نیروهای زلزله "، در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مجموعه سخنرانی های سمینار آموزشی اثرات زلزله در ساختمان های متعارف (نشریه شماره ۶۷)، تهران، صص ۱۳۲-۱۰۰.
صبری، علی (۱۳۷۳)، پایدار سازی ساختمان های آموزشی (در برابر زلزله)، انتشارات تمدن، تهران.
صنعت تاسیسات (۱۳۸۴)، " طراحی سیستم‌های تاسیساتی مقاوم در برابر زلزله "، شماره ۶۸، سال ششم، صص ۶۰-۵۱.
عادلی، حجت ا... (۱۳۵۹)، مهندسی زلزله، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
عبد شریف آبادی، هوشمند (۱۳۷۳)، زلزله و ساختمان های متداول: روش های پایدارسازی ساختمان ها 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 زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
غفوری آشتیانی، محسن (۱۳۷۴)، گزارش زمین لرزه ۱۹۹۵ هانشین- کوبه- ژاپن، موسسه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
فکرت، عباسعلی (۱۳۷۶)، " اصول مهندسی زلزله "، مسکن و انقلاب، صص ۵۰-۴۱.
قالیبافیان، مهدی (۱۳۷۳)، " نقش تعیین کننده 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 ۲۵۳)، تهران.
مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۸۳)، بم و زمین لرزه‌اش می آموزد ؛ آشنایی با مهندسی زلزله و عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌ها، نشریه شماره ک- ۴۰۷، تهران.
مقدم، حسن (۱۳۸۲)، مهندسی زلزله مبانی و کاربرد، چاپ دوم، نشر فرهنگ، تهران.
موتوهیکو، هاکانو (و دیگران) (۱۳۸۲)، زلزله در آلبوم تجربه؛ فراگیری مهندسی زلزله با مشاهده خرابی ها، شرکت یادمان سازه، تهران.
نادرزاده، احمد (۱۳۷۴)، زلزله ۱۷ ژانویه ۱۹۹۵ کوبه، ژاپن و درس هایی برای ایران، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران، تهران.
ناطق الهی، فریبرز (۱۳۷۸)، ارزیابی لرزه‌ای 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، مهرتاش (۱۳۸۲)، طراحی و اجرای ساختمان‌های بنایی مقاوم در برابر زمین لرزه، انتشارات نوپردازان، تهران.
هاشمی، اکبر، (مترجم) (۱۳۷۱)، تاثیر زلزله در طراحی معماری، مهندسان مشاور گروه۴، تهران.
واکاباياشی، مینورو (۱۳۷۲)، ساختمان های مقاوم در برابر زلزله، ترجمه سعادتپور، محمدمهدی، مرکز انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.
Ambrose, James; Vergun, Dimitry (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)