

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

مهندس آزاده نوری فرد^{**}، دکتر محمد فرضیان^{*}

^{*} کارشناس ارشد معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

^{*} عضو هیات علمی دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

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

چکیده:

در حال حاضر زلزله به عنوان یکی از عوامل تاثیرگذار در مراحل شکل‌گیری معماری مورد بی‌توجهی واقع شده‌است 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 خلاه 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 تعریف شده است و محدوده آن با توجه به خلاه‌های موجود، ساختمان‌های معمول، با ارتفاع کوتاه‌تا متوسط و با تکنولوژی رایج کشور را در بر می‌گیرد. در بخش اول این مقاله تاثیر زلزله در پنج مرحله اصلی شکل‌گیری معماری به صورت چک‌لیستی جهت کنترل طرح ارائه شده و در بخش دوم این چک‌لیست به صورت عملی در طراحی یک مدرسه به کار گرفته شده است. به عنوان نتیجه کار می‌توان ادعا کرد تنها در صورتی دستیابی به بنایی با بهترین کیفیت‌های فضایی و بهینه‌ترین سازه‌ای لحاظ مقاومت در برابر زلزله امکان پذیر است که از مراحل اولیه طراحی تا جزئیات اجرایی مشارکت نزدیک بین سازه و معماری وجود داشته باشد.

واژه‌های کلیدی:

زلزله، پایداری جانبی، عناصر مقاوم در زلزله، مراحل شکل‌گیری 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 فرضیان می‌باشد.

** نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲-۳۸۵۶۳۲۹، نامبر: 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 بناء 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 می‌تواند در صورت پابرجا ماندن به عنوان پایگاه امداد و نجات نیز عمل کند، به عنوان جایگاه مناسبی برای مطالعات موردی انتخاب شده است وسعي شده براساس 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.

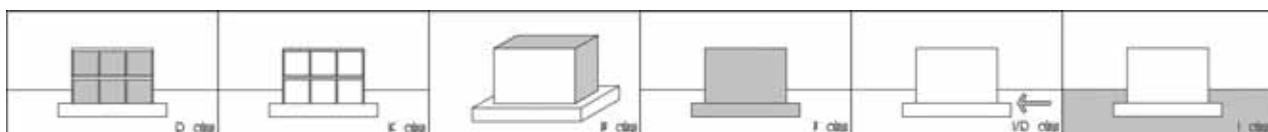
با توجه به هدف این مقاله ابتدا به بررسی چک لیست مذکور پرداخته می‌شود و سپس به عنوان نمونه موردی با استفاده از چک لیست مذکور به بررسی مراحل طراحی و ویژگی‌های مدرسه طراحی شده به صورت مختصر پرداخته می‌شود.

بر اساس جستجوهای انجام شده می‌توان گفت علی‌رغم اهمیت توجه به زلزله در معماری به منظور طراحی ساختمان‌های پایدار، جای این مباحثت در رشتة معماری بسیار خالی است. در رشتة های مهندسی سازه و ژئوتکنیک نیز علی‌رغم این که مطالعات مربوط به زلزله از گسترده‌گی بالایی برخوردار است و لی در حال حرکت به سمت جزئیات می‌باشد. در مجموع می‌توان ادعای 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، میلان و تجهیزات داخلی، نقاط امن، راه‌های فرار و... که هریک از اهمیت ویژه‌ای در طراحی پایدار در زلزله برخوردارند، بر اساس تئوری‌های موجود و تجربه زلزله‌های گذشته تحلیل و تمهدیاتی 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 می‌توان بر اساس شیوه طراحی به صورت تعاملی از آنها استفاده کرد. در ادامه ضمن بررسی مختصر این مراحل ماتریس‌های کنترلی نیزارائه‌ی می‌گردد. از آن جا که بررسی تئوری‌های موجود در رابطه با هر یک از اعضای این ماتریس‌ها 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 می‌توان به منابع اشاره شده در پی نوشت‌ها 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 غیرسازه‌ای کنترل می‌کند و به صورت ماتریس‌هایی تنظیم شده است که بین تمامی موارد لازم برای طراحی ساختمان پایدار در زلزله نظمی سیستماتیک برقرار می‌کند و جهت پاسخگویی به هر یک از موارد آن، طراح می‌تواند از تمهدیات خاصی با توجه به موضوع، موقعیت، امکانات و محدودیت‌های 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: نگارندهکان)

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

سنگ ریزش	زمین لغزش	گسلش	نشست های بزرگ	روانگرایی	پدیده
<ul style="list-style-type: none"> • رعایت فاصله مناسب از دامنه های با احتمال ریزش سنگ در اثر نیروهای زمین لغزش خاک در اثر نیروهای زمین لوزه و فشار آب خود را تحریم بستر ساختمان های واقع بر دامنه های با احتمال افقی سنگ های پشت سنگ 	<ul style="list-style-type: none"> • رعایت فاصله مناسب از دامنه های با احتمال واژگونی و لغزش خاک در اثر نیروهای زمین لوزه و فشار آب خود را تحریم بستر ساختمان های واقع بر دامنه های با احتمال افقی سنگ های پشت سنگ 	<ul style="list-style-type: none"> • رعایت فاصله لازم از گسل های فعل 	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش جگالی نسبی زمین های ماسه ای • انتخاب زمین های سنگی برای ساخت و ساز 	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش جگالی نسبی زمین های ماسه ای • نمود کوبی در لایه های با احتمال کمتر روانگرایی • جایگزینی خاک محل • به کار بردن سیستم زهکشی 	

(ماخذ: نگارندگان)

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

زمین های سنگی با زمان تناوب کوتاه	زمین های نرم با زمان تناوب بالا	جنس ساختگاه
ساختگاه منطبق با بلند با زمان تناوب بلند*	ساختگاه صلب با کوتاه با زمان تناوب کوتاه	ساختمان

(ماخذ: نگارندگان)

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

عدم انتقال نیرو به ساختمان	انتقال نیرو به ساختمان	انتقال نیرو از طبق اعضا مقاوم جانبی به بین ها
عدم انتقال نیرو از طبق جذب گشته ها	استهلاک نیرو از طبق جذب گشته 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 طريق جذب گشته 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 بررسی های خاص خود در مراحل بعدی دارد. 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 تمهدیات اولیه و کلان طرح در سه حوزه مورد بررسی قرار می گیرد. ابتدا تمهدیات 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 تنشیات قائم بنا، میزان سطح تماس با خاک، میزان عمق بنا در خاک و تمهدیات 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 باشد ارتباط سازه با ساختار بنا مشخص شود، به این معنی که یا سازه و ساختار بنایکی است و خواه ناخواه از ابتدای طراحی معماري تمامی مسائل از جمله پایداری در برابر نیروهای جانبی مورد ملاحظه قرار

مرحله (۱)، تحلیل آثار زلزله بر ساختگاه: هدف اصلی در این مرحله بررسی سایت پروره 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 وکلان در زمینه طراحی معماري می باشد 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 بر بشی خود را از دست داده و نظری گل مایع رفتار می کند (واکابایاشی، ۱۳۷۲، ۱۳۸۳)، (Key, 1988,3)، (واکابایاشی، ۱۳۷۲، ۱۳۸۲)، (ناطق الهی و معتمدی، ۱۳۸۲، ۱۳۸۱)، (Key, 1988,3) و اصولاً احتمال رخداد 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، ۱۳۸۰)، (Ambrose, Vergun, 1998,53).

مرحله (۱/۵)، چگونگی برخورد ساختمان با نیروهای زلزله: این مرحله به عنوان یک مرحله میانی جهت تکمیل مراحل

به مرکز جرم طبقات وارد می‌شود و چنانچه جرم در سطح به صورت یکواخت 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. هرچه 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 سطربوم با ستون اول این ماتریس می‌توان گفت؛ در برخی از ساختمان‌ها به دلایل معماري سیستم‌های مقاوم در برابر نیروهای جانبی در یک یا چند طبقه قطع می‌شوند 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).

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 ۳-۲). مسلماً پس از تصمیم گیری اولیه بر اساس موضوع، موقعیت، محدودیت‌ها و امکانات پروژه می‌بایست تمهیدات لرزه‌ای خاص هر سیستم مورد ملاحظه قرار گیرد.

به عنوان نمونه در توضیح تقاطع سطربوم با ستون اول از دو مین 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، می‌تواند نیروهای بزرگی را بدون فروریختگی تحمل کند (ناتق الهی و معتمدی، ۱۳۸۲). از آنجایی که این تغییرشکل غیرالاستیک موجب به وجود آمدن مفاصل پلاستیک در سازه می‌شود، لذا اولین شرط امکان تامین شکل پذیری این است که سازه نامعین یا هیبراستاتیک 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 پیش‌بینی 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 دیدگاه‌های مختلفی چون توزیع سختی عناصر مقاوم جانبی، توزیع جرم، چگونگی فرم و تناسبات ابعاد آن مرکز می‌شود (ماتریس ۳).

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

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

پدیده	واژگونی	لغزش
• بروزی میزان کشیدگی و تنشیات قائم با	• افزایش سطح تماس ساختمان با خاک	
• کاهش ارتفاع مرکز تقال ساختمان از طریق کاهش تریجی جرم در ارتفاع و جانبی	• افزایش میزان عمق ساختمان در خاک	
تجیزیات سنگین در طبقات تحتانی	• مهار ساختمان با استفاده از شمع	
• افزایش عمق ساختمان در خاک		
• مهار ساختمان با استفاده از شمع		

(ماخذ: نکارندگان)

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

سازه جدای از ساختار	سازه همان ساختار
• قاب ساده با مهارندی (محیطی با هسته ای)	• سازه های جبهه ای
• قاب ساده با دیوار پرشی (محیطی با هسته ای)	• سازه های قوسی
• قاب خشن	• سازه های گندی شکل
• سیستم ترکیبی	• سازه های چوبی
	• سازه های چوبی

(ماخذ: نکارندگان)

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

نماینده	غیر نماینده	شکل نماینده
نماینده	غیر نماینده	
نماینده	نماینده	

(ماخذ: نکارندگان)

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

متوجهات در صفحه افق	متوجهات در صفحه فاصله	سختی	فرم و جرم	تناسبات
• توزیع متقارن سختی در پلان • انتساب مرکز سختی بر مرکز جرم به منظور اجتناب از آثار پیچشی	• استفاده از اشکال ساده و اجتناب از اشکال زاویه دار 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 دیواراگه ^۶		
• توزیع یکنواخت سختی در ارتفاع به منظور اجتناب از ایجاد طبقه نرم و آثار شلاقی • توزیع یکنواخت سختی در زمین های شبیدار ^۷	• استفاده از اشکال ساده و اجتناب از اشکال زاویه دار در ارتفاع ^۸ • تداوم اعصابی باربر قائم و اعصابی مهاری جانبی در ارتفاع ^۹ • 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 ستون ها ^{۱۰} • موقعیت و ابعاد بازشوها در دیوار		

(ماخذ: نگارندهان)

مرحله (۵)، تحلیل آثار زلزله بر اجزا و عناصر مرحله (۴)، تحلیل آثار زلزله بر اجزا و عناصر سازه ای غیرسازه ای ساختمان: این مرحله به عنوان آخرین مرحله و تقریباً در مقیاس بررسی های مرحله (۴) می باشد ولی موضوع بررسی های آن به جای عناصر سازه ای متمرکز بر عناصر غیرسازه ای می باشد. در این مرحله ابتدا می باشد تابعه عناصر غیرسازه ای با سازه بنا به معنی جداسازی عناصر غیرسازه ای از عناصر سازه ای و یا یکپارچگی آنها با توجه به امکانات و محدودیت های پژوهه مشخص شده (ماتریس ۱-۵) و سپس برای پایداری کلیه جزای ساختمان، تمامی عناصر غیرسازه ای در قالب چهار گروه اصلی عناصر معماری، تاسیسات مکانیکی، تاسیسات الکتریکی، مبلمان و تجهیزات داخلی از لحاظ موقعیت های مطلوب و حساس در ساختمان، پیش بینی های لازم جهت جلوگیری از شکست در موقعیت و جایه جایی از موقعیت به منظور حفظ سلامت اجزا و عدم لطمہ به سایر عناصر ساختمان و افراد مورد بررسی قرار گیرند و برای هر یک تمهدات خاصی در نظر گرفته شود (ماتریس ۲-۵). به علاوه از آنجا که کاهش جرم ساختمان به معنی کاهش نیروهای وارد بر آن می باشد، لازم است در کلیه مراحل طراحی عناصر غیرسازه ای کاهش جرم اجزا و عناصر به منظور کاهش بار مرده ساختمان و در نتیجه نیروهای زلزله مورد توجه قرار گیرد.

در ارتباط با این یکپارچگی در سطح دوم ماتریس اول می توان گفت، در این حالت اصولاً مشارکت عناصر غیرسازه ای، سازه ساختمان را سخت تر می کند. این به معنی یک پریود طبیعی پایین تر است که در آن با استفاده از پتانسیل عناصر غیرسازه ای قابلیت استهلاک انرژی افزایش می یابد (قالیبافیان، ۱۳۷۲، ۲۸).

لذا ضروری است خصوصیات عناصر غیرسازه ای در تحلیل سازه منظور شود. از آنجا که در این حالت جایه جایی 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 سازه ای ساختمان: پس از شکل گیری فرم کلی طرح، موقعیت، نوع و میزان عناصر مقاوم، در این مرحله مقیاس بررسی ها کوچک تر شده و به بررسی جزئیات عناصر سازه ای به عنوان عناصر مقاوم اصلی در برابر نیروهای وارد بر ساختمان پرداخته می شود. بر این اساس انواع ساختمان ها از نظر نوع مصالح سازه به پنج گروه اصلی شامل ساختمان های بنایی مسلح، ساختمان های بتنی، ساختمان های فولادی، ساختمان های چوبی و ساختمان های بتونی پیش ساخته تقسیم شده و به لحاظ نسبت مقاومت به وزن، شکل پذیری، مقاومت در برابر حریق، کیفیت مصالح، اتصالات، ضوابط طراحی و کنترل های اجرایی مورد بررسی قرار می گیرند (ماتریس ۴). در این ماتریس تنها به ویژگی های اصلی هر یک از ساختمان ها و نکات کلیدی که عمدتاً بر اساس تجارب زلزله های گذشته می باشد، اشاره شده است، مسلمانه اینکه هر مورد می باشد ویژگی های مصالح مصرفی به دقت بررسی شده و ضوابط آئین نامه های ساختمانی مربوطه در طراحی و اجرا رعایت شود و هزینه نیز به عنوان عاملی که نقش تعیین کننده در تصمیم گیری ها دارد در این مرحله مورد بررسی قرار گیرد.

در ارتباط با نسبت مقاومت به وزن در ستون اول این ماتریس می توان گفت: از آنجا که نیروهای زلزله به صورت نیروهای اینرسی بر ساختمان عمل می کنند، استفاده از مصالح و یا سیستم سازه ای سبک و با مقاومت بالا در فشار، کشش و برش مقید خواهد بود. در توضیح میزان شکل پذیری در ستون دوم باید اشاره کرد؛ ظرفیت تغییر شکل پلاستیک بالا می تواند جبران کننده کمبود مقاومت باشد. همچنین شکل پذیری بالا به معنی قابلیت جذب انرژی بیشتر و ضریب میرایی بالاتر می باشد (واکابایاشی، ۱۳۷۲، ۲۵۲)، (ناطق الهی 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 نداشت و میزان درز بین دیوار و سازه بر اساس محاسبات جابه جایی‌های سازه مشخص خواهد شد.

انعطاف پذیر باشند تا این تغییر شکل‌ها را جذب کنند (Dowrick, 1987, 445)، (دلیمی، 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	مقاطومت در برابر حریق	کیفیت مصالح، اتصالات، طراحی و اجرا
نمایه‌نامه‌های فولاد و مس	کم (مطلوب تر از ساختمان‌های بنایی غیر مسلح)	مطلوب	<ul style="list-style-type: none"> استفاده از اجر با کیفیت مطلوب و رعایت کلیه ضوابط اجرچینی استفاده از مصالح مرغوب و رعایت کلیه ضوابط ساخت و اجرای بن در مورد کلافها کنترل کیفیت و مقاومت ارماتورها و رعایت کلیه ضوابط ارماتوریندی در کلافها استفاده از کلاف قائم در گوشه‌ها و موقعیت‌های لازم استفاده از کلاف افقی در تراز زیر دیوار و سقف و سایر موقعیت‌های افقی تامین اتصال کافی بین قطعات دیوار به کلاف افقی و قائم، کلاف‌های قائم به افقی و سقف به کلاف‌های افقی عدم عبور لوله‌های تاسیساتی از داخل کلاف‌های افقی و قائم
نمایه‌نامه‌های فولاد و چوب	مطلوب (وزن بالا نسبت به سازه‌های فولادی و چوبی علی رغم مقاومت مطلوب)	مطلوب	<ul style="list-style-type: none"> استفاده از مصالح مرغوب و رعایت کلیه ضوابط ساخت و اجرای بن کنترل کیفیت و مقاومت ارماتورها و رعایت کلیه ضوابط ارماتوریندی عدم استفاده از جوش در اتصال ارماتورها عدم استفاده از اتصال خارج از مرکز تیر به ستون رعایت کلیه ضوابط در مورد طول مهاری، خم‌ها و تراکم ارماتورها در اتصالات تیر به ستون^{۱۱} عدم عبور لوله‌های تاسیساتی از داخل تیرها و ستون‌ها
نمایه‌نامه‌های فولادی	خیلی مطلوب (الزوم طراحی پوشش‌هایی جهت افزایش مقاومت در برابر حریق)	کم	<ul style="list-style-type: none"> برخورداری از خاصیت ایزوتروبیک محافظت کافی در برابر خودگی و زنگ زدگی رعایت ضوابط در مورد ابعاد ورق‌ها و نیش‌های 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 تامین اتصال کافی کنترل کماش موضعی، لهیگری و سایر کنترل‌ها در طراحی قسمت‌های مختلف اعضا تامین طول مهاری کافی در بولت‌های اتصالی صفحه زیر ستون به بی عدم استفاده از اتصال خورجینی در اتصال تیر به ستون^{۱۳} استفاده از دستگاه‌های مهاری به میزان کافی و با اتصال کافی در مورد کسول‌ها
نمایه‌نامه‌های چوبی	خیلی مطلوب (الزوم اعمال تهیه‌نامه افزایش مقاومت در برابر حریق)	کم	<ul style="list-style-type: none"> استفاده از چوب با کیفیت مطلوب و محافظت آن در برابر پوسیدگی رعایت ضوابط در مورد مخ‌ها، بیچ و مهره‌ها و تسمه‌ها در اتصالات اعضا به یکدیگر^{۱۴} الزوم تامین صلیبت کافی در سقف‌های چوبی تامین مقاومت جانی کافی از طریق مهارهای چوبی با دیوار برشی
نمایه‌نامه‌های پتینی مسلح	مطلوب (افزایش شکل پذیری از طریق افزایش درصد فولاد فشاری، مقاومت فشاری بتن، گرنش نهایی بتن و خاموت‌ها)	مطلوب	<ul style="list-style-type: none"> استفاده از مصالح مرغوب چهت دستیابی به کیفیت مطلوب با توجه به شرایط دقیق کنترل شده کارخانه‌ای در اختلاط، ریختن و عمل آوردن بن رعایت کلیه ضوابط ارماتوریندی تامین صلیبت کافی در اتصال اعضا از طریق جوش ارماتورهای انتظار و بتن‌ریزی درزها^{۱۵} تامین مقاومت جانی از طریق اتصالات صلب بین اعضا یا استفاده از مهارهای دیوار برشی با اتصال کافی به اعضا

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

محدودیت‌ها	مزایا
<ul style="list-style-type: none"> • حذف مقاومت و سختی دیوارها از سیستم مقاوم جاتی • 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^{۲۷} • مشکلات اجرایی در تامین مقاومت برونو صفحه ای • افزایش اثرات PΔ 	<ul style="list-style-type: none"> • اطمینان از تحلیل‌های انجام شده در محاسبه سازه • مناسب در سازه‌های بلند و منعطف • سهولت در انتخاب موقیع دیوارها • عدم ایجاد پدیده ستون کوتاه • عدم وارد شدن شوک به سازه در اثر تخریب دیوار
<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 اختلال پیچش سازه در اثر توزیع نامتقاضی دیوارها • امکان ایجاد ستون کوتاه در مجاورت دیوارهای کوتاه • وارد شدن شوک به سازه در لحظه خرابی دیوار • لزوم استفاده از مصالح قوی یا انعطاف‌پذیر جهت سازگاری با تغییر مکان‌های سازه 	<ul style="list-style-type: none"> • افزایش مقاومت و سختی قاب • بفره 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 برونو صفحه ای • کاهش اثرات PΔ

(ماخذ: نکارندگان)

ماتریس ۱-۶- کنترل پایداری اجزا و عناصر غیرسازه‌ای در زلزله.

عنصر	موقعیت‌های مناسب / حساس	عدم شکست در موقعیت	عدم جایه‌جایی از موقعیت
دیوارهای خارجی، تیله‌های داخلی، دیوارهای محوطه و جان‌بینه‌ها	<ul style="list-style-type: none"> • توجه به دیوارهای خارجی و جان‌بینه‌های مجاور سربرهای پرتردد و معابر عمومی • توجه به دیوارهای داخلی مجاور راهروها و راه پله‌ها 	<ul style="list-style-type: none"> • اسقاطه از مصالح با کیفیت مطلوب و تامین یکپارچگی کافی بین اجزا و عنابر دیوار • رعایت نسبت‌های لازم بین بعد مختلط دیوار • نامن اتصال کافی بین دیوار و سازه • پیش‌بینی کلافهای افقی و قائم در فواصل و موقعیت‌های لازم با اتصال کافی به دیوار 	<ul style="list-style-type: none"> • اسقاطه از مصالح با کیفیت مطلوب و تامین یکپارچگی کافی بین اجزا و عنابر دیوار • رعایت نسبت‌های لازم بین بعد مختلف دیوار • نامن اتصال کافی بین دیوار و سازه • پیش‌بینی کلافهای افقی و قائم در فواصل و موقعیت‌های لازم با اتصال کافی به دیوار
دراها و پنجره‌ها	<ul style="list-style-type: none"> • توجه به نهایی مجاور معابر عمومی • توجه به نازک‌کاری دیوارهای مجاور راه راه پله‌ها و راهروها 	<ul style="list-style-type: none"> • اسقاطه از مصالح با کیفیت مطلوب و تامین یکپارچگی کافی بین اجزای آن • عدم اسقاطه از مصالح ترد در پوشش دیوارهای پرشی • جداسازی مصالح ترد از دیوارهای پرشی 	<ul style="list-style-type: none"> • نامن اتصال کافی به دیوار پشت
سقف کاذب‌ها	<ul style="list-style-type: none"> • توجه ویرزه به درهای واقع در راههای خروج • توجه به سقف راهروها و مسیرهای پرتردد 	<ul style="list-style-type: none"> • اسقاطه از مصالح با کیفیت مطلوب و تامین یکپارچگی کافی بین اجزای آن • عدم اسقاطه از مصالح ترد در پوشش دیوارهای پرشی • توجه ویرزه به درهای واقع در راههای خروج • توجه به سقف راهروها و مسیرهای پرتردد 	<ul style="list-style-type: none"> • نامن مهار کافی جهت اتصال به دیوار پرآمودی • نامن اتصال کافی به سازه • مهار قطعات پوشش سقف به سازه اصلی
پله‌ها	<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 • نامن سیستم سازه‌ای با مقاومت کافی در برابر نیروهای جانبی 	<ul style="list-style-type: none"> • اسقاطه از ایده جمهه سیاه^{۲۸} • کنترل نسبت‌های بعدی • نامن مهار افقی و قائم کافی به سازه
تجهیزات مکانیکی	<ul style="list-style-type: none"> • توزیع مقارن 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 پاره‌ری • احتساب از عبور لوله‌ها و کانال‌ها از درزهای انقطاع 	<ul style="list-style-type: none"> • اسقاطه از تکیه گاههای انعطاف پذیر • کاهش تبلخهای و استدانز ریوایی ملائم در آنها • حفاظت در برابر خودگیری • رفع ترک و نشتن لوله‌ها • تامین انعطاف‌پذیری در اتصالات به دستگاه‌ها • اسقاطه از لوله‌های یا اتصالات انعطاف‌پذیر در درزهای انقطع^{۲۹} • تامین فاصله کافی بین لوله‌ها و کانال‌ها از بازشوی دیوارها و دیافراگم‌ها • اسقاطه از شیر قلعه خودکار در لوله‌های گاز 	<ul style="list-style-type: none"> • تامین مهار کافی در سازه • کنترل نسبت‌های بعدی • نامن مهار افقی و قائم کافی به سازه
دودکش‌ها	<ul style="list-style-type: none"> • کاهش در سطح مقطع دیوار 	<ul style="list-style-type: none"> • عبور دودکش از کنار دیوار بدون هیچ گونه 	<ul style="list-style-type: none"> • تامین مهار کافی در مصالح مورد اسقاطه جهت جلوگیری از واژگویی • اتش‌سوزی در اثر تقدیم مواد قابل احتراق
تجهیزات الکتریکی	<ul style="list-style-type: none"> • توزیع مقارن تجهیزات سنگین • جانمایی تجهیزات سنگین در طبقات تحتانی 	<ul style="list-style-type: none"> • اسقاطه از ایده جمهه سیاه • اسقاطه از تکیه گاههای انعطاف‌پذیر 	<ul style="list-style-type: none"> • تامین مهار کافی بعدی • کنترل نسبت‌های بعدی
روشنایی‌ها	<ul style="list-style-type: none"> • اسقاطه از چراغ‌های دیواری به جای 	<ul style="list-style-type: none"> • توجه به ارتقای رشته و فواصل لامپهای رویی جهت کاهش صدمات وارد در اثر برخورد چراغ‌ها به پکدیکر^{۳۰} • پیش‌بینی تکه‌گاهه سنقل از سقف کاذب^{۳۱} 	<ul style="list-style-type: none"> • تامین اتصال کافی به سازه • اسقاطه از حفاظت مقاوم جهت جلوگیری از افتادن چراغ‌ها
قسسه‌ها و کمدها	<ul style="list-style-type: none"> • توزیع مقارن قسمه‌ها • پیش‌بینی قسمه‌های سنگین در طبقات تحتانی • تنبیه میله‌های حفاظتی در جلوی قسمه‌ها • جهت جلوگیری از سقوط اشیا • انتقال اشیا سنگین به طبقات پائین قسمه‌ها 	<ul style="list-style-type: none"> • توزیع مقارن قسمه‌ها • جلوگیری از سقوط اشیای درون آنها • تنبیه میله‌های حفاظتی در جلوی قسمه‌ها • جهت جلوگیری از سقوط اشیا • انتقال اشیا سنگین به طبقات پائین قسمه‌ها 	<ul style="list-style-type: none"> • تامین مهار کافی به سازه یا دیوار مقاوم
میز و صندلی‌ها و تختخواب‌ها	<ul style="list-style-type: none"> • پیش‌بینی میز و نیمکت‌ها و تختخواب‌ها در اماكن با قابلیت دسترسی سریع و آسان به عنوان نقاط امن 	<ul style="list-style-type: none"> • تامین مقاومت کافی میز و نیمکت‌ها در تختخواب‌ها... و به عنوان نقاط امن 	<ul style="list-style-type: none"> • پیش‌بینی میز و نیمکت‌ها... و تختخواب‌ها
مواد خطرناک	<ul style="list-style-type: none"> • جانسایی مواد خطرناک در طبقات پائین 	<ul style="list-style-type: none"> • اسقاطه از ظروف پلاستیک یا نشکن در مورد مواد قابل احتراق، سمی و خطرناک 	<ul style="list-style-type: none"> • قسمه‌ها

(ماخذ: نکارندگان)

نمونه موردی: طراحی یک مدرسه راهنمایی در تهران

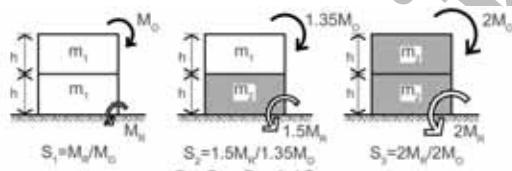
مرحله (۲)- تحلیل آثار زلزله بر ساختمان به عنوان یک کل

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 اعضاء پایداری کل 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 ساخته مان 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).

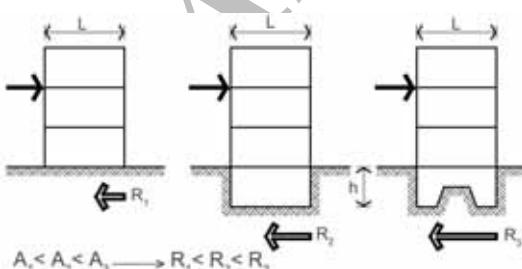
به منظور استهلاک نیروهای زلزله از سازه نامعین یا هیبراستاتیک استفاده شده که امکان ایجاد تغییر شکل غیرالاستیک را در سازه فراهم می کند به این ترتیب تعداد عناصر مقاوم در برابر زلزله در هر راستا افزایش یافته است. نهایتاً به عنوان آخرین تصمیم در این مرحله سازه از ساختار بنا جدا گشته و از سیستم قاب ساده مهاربندی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

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

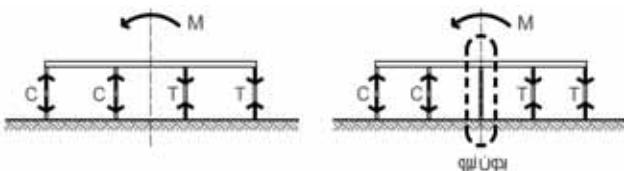
توزیع متداول جرم و سختی به منظور انطباق مرکز جرم و سختی و پیشگیری از آثار پیچش ساختمان در زلزله هدف اصلی در این مرحله را



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

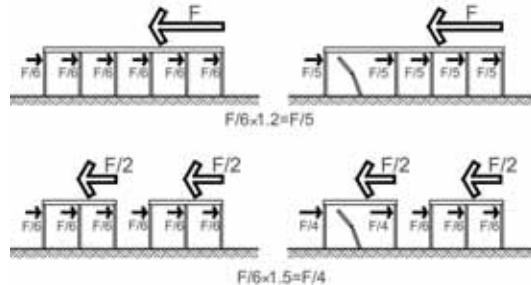


تصویر ۷- طراحی دهانه های فرد به منظور استفاده از توان کلیه اعضاء در زلزله.
ماخذ: نگارندگان

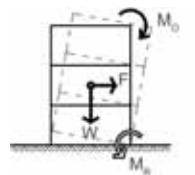
در این قسمت روش مطرح شده به صورت عملی در طراحی یک مدرسه راهنمایی ۱۵ کلاسه به ظرفیت ۸۴۰ دانش آموز به کار گرفته شده است^{۲۱}. با توجه به این که بررسی مطالعات گسترده و روند طولانی طراحی این مدرسه که در آن علاوه بر عوامل متعدد موجود در طراحی معماری به عامل پایداری در زلزله نیز به عنوان یک عامل ساخته توجه شده است خارج از محدوده این مقاله می باشد سعی شده با استفاده از ماتریس های پیشنهادی تأکید 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 ساختمان

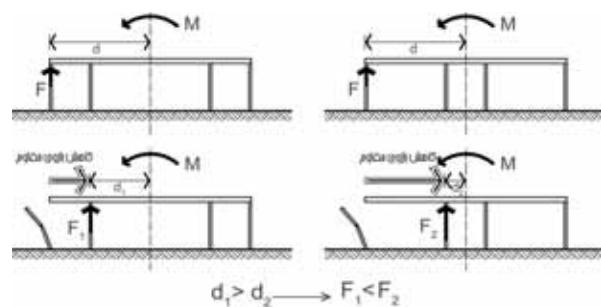
زمین پروره در محله ۵ شهرداری منطقه ۱۴ تهران واقع شده است. در مرحله مطالعات سایت علاوه بر مسائل شهری، کلیه خسارات احتمالی وارد بر بستره و ساختگاه پروره در زلزله مورد بررسی قرار گرفته و در این زمینه مساله مهمی وجود ندارد. همچنین با توجه به جنس رسی زمین مشکل خاصی در ارتباط با محدوده ارتفاعی ساختمان های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



تصویر ۲- تاثیر یکپارچگی سازه در توزیع نیرو بین اعضاء.
ماخذ: نگارندگان



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



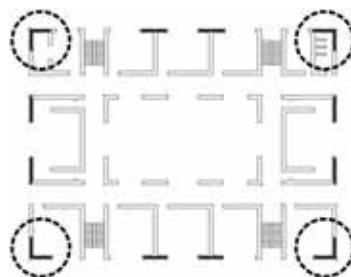
تصویر ۶- تاثیر موقعیت فضاهای خود و وسیع در میزان تغییر توان سازه در اثر شکست عناصر جانبی در زلزله.
ماخذ: نگارندگان

اغلب در کاربری‌های مشکل 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 خمی طراحی می‌گردد. در این طرح با نیم دهانه جابه‌جایی ستون‌های جداره خارجی و انتقال دهانه‌های مهاربندی شده به بخش پرجداره جهت هماهنگی با معماری فضای، یک سیستم یکپارچه I شکل از طریق تیرهای اتصالی مورب در سقف پیشنهاد شده که با تعداد ستون‌های مشابه سیستم رایج فوق الذکر 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 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 خربه‌های مورب در گوشه‌های سقف استفاده شده است (تصویر ۱۳).

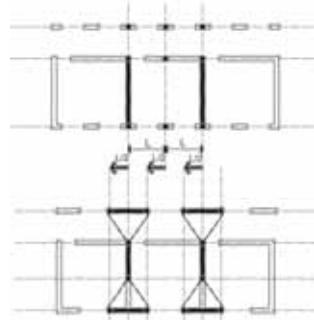
در صفحه قائم سعی شده از تغییر ناگهانی سختی به منظور اجتناب از آثار ناشی از طبقه نرم و آثار شلاقی پرهیز شده و جهت

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 فضاهای 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).

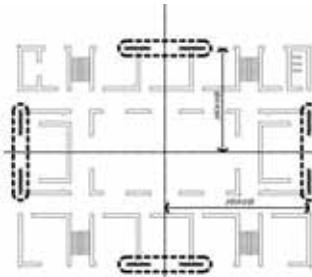
به منظور استفاده از توان کلیه عناصر در زلزله طراحی سازه به صورت دهانه‌های فرد در هر دو راستا انجام شده است (تصویر ۷). جهت حداقل استفاده از بازوی مقاوم و کاهش مقاومت اعضا، مهاربندی‌ها در جداره خارجی ساختمان طراحی شده‌اند (تصویر ۸) و با توجه به تمرکز تنش در گوشه‌ها و به منظور بهره‌مندی از حداقل مقاومت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



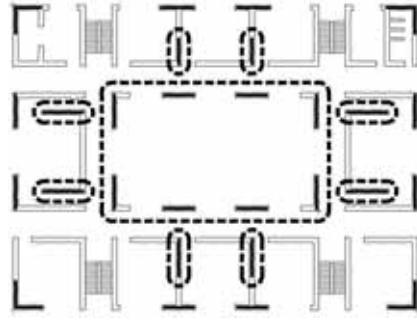
تصویر ۹- طراحی عناصر مقاوم در گوشه‌ها.
ماخذ: نگارندگان



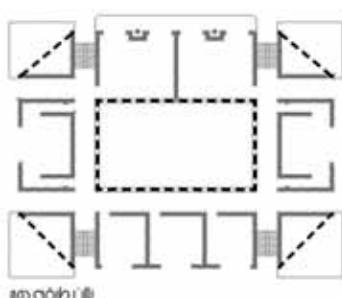
تصویر ۱۱- نیم دهانه جابه‌جایی ستون‌های نما.
ماخذ: نگارندگان



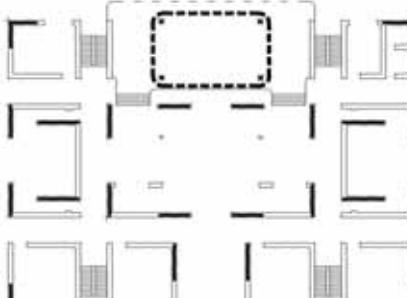
تصویر ۸- طراحی مهاربندی‌ها در جداره خارجی.
ماخذ: نگارندگان



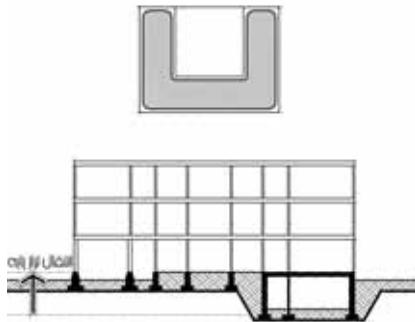
تصویر ۱۰- طراحی حلقه مقاوم داخلی و عناصر میانی.
ماخذ: نگارندگان



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



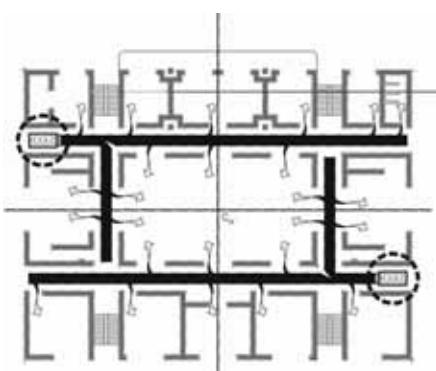
تصویر ۱۲- طراحی ستون‌های سخت تر و با اتصال گیردار در هال ورودی.
ماخذ: نگارندگان



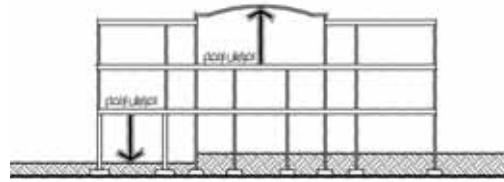
تصویر ۱۵- انتقال تراز پایه از سطح پی به کف همکف.
(ماخذ: نگارندگان)

منتھی‌الیه شمالی و جنوبی راهروها در کلیه طبقات تامین شده است. علی‌رغم 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 فرمان واقعی آن در زلزله و هم از حداقل آسیب‌وارده 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 فضاهای 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 فضاهای 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 مستقیم ترین مسیر برای کانال‌های اصلی، توزیع متقارن جرم نسبت به مرکز سختی و دسترسی به هوای آزاد، دستگاه‌های سرد و گرم کننده تبخیری در منتهی‌الیه غربی راهروهای شمالی و منتهی‌الیه شرقی راهروهای جنوبی طبقات جانمایی شده‌اند (تصویر ۱۶).



تصویر ۱۶- موقعیت دستگاه‌های تهویه مطبوع و کانال‌های اصلی.
(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 باشد. 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 L شکل زیرزمین به منظور پرهیز از آثار پیچشی و شکست، از طریق استفاده از دیوارهای برشی پیرامونی زیرزمین و پدستال‌های بتُنی 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 فوق العاده 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 بتُنی بادانه‌های لیکا استفاده شده است. همچنین با توجه به تمهیمات تاسیساتی، پوکه ریزی‌ها حذف شده و در پوشش نهایی کف‌ها با توجه به ضخامت و وزن کم، سرامیک‌گرانیتی و در سقف‌های کاذب صفحات روکش دار گچی ضدآتش کناف به کار رفته است و کلیه بام‌ها از خرپای فولادی و پوشش نهایی سفال در نظر گرفته شده‌اند. دیوارهای ساختمان به سه گروه اصلی شامل؛ دیوارهای خارجی و دیوارهای داخلی تقسیم شده‌اند. دیوارهای زیرزمین به صورت دیوار برشی و از بتُن لیکا و دیوارهای خارجی از پانل‌های سه بعدی می‌باشد و برای حفظ خطوط پلان در نمای ساختمان از دو مصالح ورق‌های کامپوزیت الومینیومی به صورت برجسته تر در بخش‌های مهاربندی شده و سرامیک سیستم Kera Twin K3 با بسته‌های پنهان در سایر قسمت‌ها استفاده شده است. دیوارهای داخلی نیز با استفاده از دیوارهای جدا کننده کناف و بادو لایه پبل 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 پرورده، تکنولوژی رایج سقف تیرچه بلوك و دیوار سفال و تکنولوژی نسبتاً قیمتی 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٪ سبکتر از سیستم تیرچه بلوك و سفال 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 ظرفیت‌تر و سبکتر 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 می‌شود همچنان از میز و نیمکت که امکان پناه گرفتن دانش آموزان در موقع خطر را فراهم می‌کند استفاده شود. در مورد تخته سیاه‌ها، کمد 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 انتهای 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 پرورده 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 می‌توان به بنایی با کلیه کیفیت‌های فضایی و اصول معماری مورد نظر و بهینه ترین سازه از لحاظ مقاومت در برابر زلزله دست یافت که از مراحل اولیه طراحی تا جزئیات اجرایی پرورده مشارکت نزدیک بین سازه و معماری وجود داشته باشد و برای پاسخگویی به کلیه اصول تعیین شده مرتب‌آیک 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

پی‌نوشت‌ها:

- ۱ رجوع شود به (صبری، ۱۲۷۲، ۲۸).
- ۲ رجوع شود به (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۲۸۲).
- ۳ رجوع شود به (Ambrose, Vergun, 1998, 53) و (Key, 1988) و (Dowrick, 1987, 53).
- ۴ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (عبد شریف آبدی، ۱۳۷۳) و (واکابایاشی، ۱۳۷۳) و (Arya, 1370).
- ۵ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (ناوید ووچی، ۱۲۶۸) و (واکابایاشی، ۱۲۶۸).
- ۶ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (ناوید ووچی، ۱۲۶۸) و (واکابایاشی، ۱۲۶۸).
- 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، ۱۳۷۶) و (فکر، ۱۳۷۶) و (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۸) و (Ambrose, Vergun, 1998).
- ۹ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (شققی، 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 (زهراei و حاج اسماعیلی، ۱۳۸۱) و (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۸) و (مسکن، ۱۳۸۲) و (ناطق الله 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).
- ۱۲ جهت مشاهده تجارب زلزله‌های گذشته رجوع شود به (دادمان و قلی پور)، (رازانی و ایزدی فرد، ۱۳۸۱) و (عشقی و دیگران، ۱۳۸۲) و (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۲) و (مقدم، ۱۳۸۲) و (نادرزاده، ۱۳۷۴) و (نادرزاده، ۱۳۷۴).
- ۱۳ جهت مشاهده تجارب زلزله‌های گذشته رجوع شود به (تاتار و دیگران، ۱۳۷۵) و (حسینی و افشین، ۱۳۸۴) و (حسینی و دیگران، ۱۳۸۲) و (حسینی و افشین، ۱۳۸۴) و (حسینی و دیگران، ۱۳۸۲) و (مقدم، ۱۳۸۲).
- ۱۴ رجوع شود به (امبروز و درگن، ۱۳۷۷) و (زهراei و حاج اسماعیلی، ۱۳۷۷) و (غفوری آشتیانی، ۱۳۷۷) و (ماجدی اردکانی، ۱۳۷۷) و (Key, 1988) و (Dowrick, 1987).
- ۱۵ رجوع شود به (امبروز و درگن، ۱۳۷۷) و (کف، ۱۳۷۷) و (واکابایاشی، ۱۳۷۷).
- ۱۶ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (قالیبافیان، ۱۳۷۲) و (واکابایاشی، ۱۳۷۲) و (Pillakoutas, et al, 1995).
- ۱۷ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (واکابایاشی، ۱۳۷۲) و (Hosseini, 2004) و (Dowrick, 1987).
- ۱۸ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (صنعت تاسیسات، ۱۳۸۴).
- ۱۹ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (ناطق الله، ۱۳۷۸).
- ۲۰ برای مطالعه بیشتر رجوع شود به (وقلکی 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؛ درگن، دیمیتری (۱۳۷۷)، طرح ساده شده ساختمان‌های باد و زلزله، ترجمه نبیی، احمد، انتشارات احرار، تبریز.
- تاثار، محمد (و دیگران) (۱۳۷۵)، گزارش مقدماتی زمین لرزه ۷۵/۱۱/۱۶ شمال بجنورد، پژوهشگاه بین‌الملی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- توكلی، شهاب (و دیگران) (۱۳۷۰)، گزارش تحلیلی شماره ۱ (زلزله منجل-رودبار) (ایران)، نشریه شماره ۱، ۱۳۶۹ خرداد ۲۱، نشریه شماره ۱، ۷۰-۹۱-۱۰-۰۶-۰۹-۱۳۷۰.
- تفقی، 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؛ افشنین، حسن (۱۲۸۴)، "بررسی عملکرد سیستم‌های سازه‌ای ساختمان‌های منطقه بمناسبت زلزله ۵ دی ماه ۸۲"، اساس، فصلنامه انجمن مهندسین عمران ایران، سال هشتم، شماره ۱۷، صص ۴۱-۵۲.
- حسینی‌هاشمی، بهرخ (۱۲۷۸)، "بررسی رفتار اعضا و اتصالات ساختمان‌های بتی در زلزله ۱۷ آوت ۱۹۹۹ ایزیمت ترکیه"، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، شماره چهارم، صص ۴۴-۶۱.
- دادمان، امیر عباس؛ قلی‌پور، یعقوب (بی‌تا)، "روش مقاوم سازی ساختمان‌های آسیب‌بیندیر در مقابل زلزله"، مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی بلایای طبیعی در مناطق شهری، بخش اول، زلزله، فقرت مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، صص ۴۷-۹۶.
- دانش، خرالدین (۱۲۷۸)، "ازیابی عملکرد ساختمان‌های دارای زلزله ۱۷ آوت ۱۹۹۹ ایزیمت ترکیه"، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، شماره چهارم، صص ۴۲-۴۳.
- داویدویچی، وی‌ای (۱۲۶۸)، "تأثیر فرم بر پایداری ساختمان در برابر زلزله (نشریه شماره ۲۰)"، ترجمه ساعد سمعیعی، اصغر، مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری، تهران.
- دلیمی، اردشیر، (۱۳۷۶) "طراحی لرزه‌ای اجزای غیر سازه‌ای"، در پور حمزه، کیخسرو، مجموعه مقالات زلزله و عملکرد فضایی آموزشی، شیراز، ستاد برگزاری همایش زلزله و عملکرد فضایی آموزشی، صص ۱۱۸-۱۲۵.
- رازانی، رضا، (۱۳۶۵)، "چند درس از تاثیر زلزله‌های مغرب گذشته در ایران بر ساختمان‌های تردشکن با مصالح بنایی"، در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مجموعه سخنرانی‌های سمینار آموزشی اثرات زلزله در ساختمان‌های متعارف (نشریه شماره ۴۷)، تهران، صص ۱۲۳-۱۸۸.
- رازانی، رضا؛ ایزدی فرد، رمضانعلی (۱۳۸۱)، "ازوم ایجاد تعادل بین طرح‌های معماری، محاسبات سازه‌ای، نحوه اجرا و نظارت و تحلیل اقتصادی هزینه مقاوم سازی در برابر تقلیل خطرات احتمالی در آئینه نامه زلزله ایران"، در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مجموعه مقالات سومین همایش ملی نق و بررسی آئین نامه طراحی ساختمان‌هادر برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، تهران، صص ۱۲-۲۲.
- رده، ابوالحسن (۱۳۷۶)، "زمین لرزه ۱۹۷۲ (فوردین ۱۳۵۱) اقیرو کارزین"، مدرسه‌نو، شماره ۹، صص ۱۸-۲۲.
- زهراei، مهدی؛ حاج اسماعیلی، مهدی (۱۳۸۱)، "رفتار ساختمان‌های استان قزوین و همدان در برابر زلزله اول تیرماه ۱۳۸۱ چنگورده و روش‌های بازسازی آن‌ها"، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندس زلزله، سال پنجم، شماره سوم، صص ۲-۱۴.
- سازمان برنامه و بودجه (دقتر امور فنی و تدوین معيارها) (۱۳۷۷)، مقررات و معیارهای طراحی و اجرای جزئیات تیپ ساختمانی، جلد دوم: ویژگی‌های ساختاری ابینه، ویژگی‌های عملکردی ابینه (نشریه شماره ۱۶۷-۲)، تهران.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی (۱۳۷۹)، آئین نامه بتن ایران، آیا (نشریه شماره ۱۲)، تجدید نظر اول، تهران.
- صادق آذر، مجید (۱۳۶۵)، "چگونگی اثر زلزله بر ساختمان‌های متعارف (نشریه شماره ۴۷)"، تهران، صص ۱۰۰-۱۲۲.
- آموزشی اثرات زلزله در ساختمان‌های متعارف (نشریه شماره ۱۲)، پایدار سازی ساختمان‌های آموزشی (در برابر زلزله)، انتشارات تمند، تهران.
- صری، علی (۱۳۷۳)، "طراحی سیستم‌های تاسیساتی مقاوم در برابر زلزله"، شماره ۸۸، سال ششم، صص ۵۱-۶۰.
- صنعت تاسیسات (۱۳۸۴)، "صنعت تاسیسات (۱۳۸۴)"، مهندسی زلزله، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- عادلی، حجت... (۱۳۵۹)، "مهندسي زلزله، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- عبد شریف آبدی، هوشمند (۱۲۷۲)، "زلزله و ساختمان‌های متداول: روش‌های پایدارسازی ساختمان‌هادر برابر زلزله، (چاپ چهارم)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران.
- عشقی، ساسان (و دیگران) (۱۲۸۲)، "گزارش مقدماتی شناسایی زلزله ۵ دی ماه ۱۳۸۲ بهم، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- غفوری آشتیانی، محسن (۱۳۷۴)، "گزارش زمین لرزه ۱۹۹۵ هاشمین-کوبه-زاین، موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- فکرت، عباسی (۱۳۷۶)، "اصول مهندسی زلزله، مسکن و انقلاب"، صص ۴۱-۵۰.
- قالیبافیان، مهدی (۱۳۷۷)، "نقش تعیین کننده اتصال طرح معماري در تامین اینمی ساختمان‌هادر برابر زلزله و تقلیل هزینه‌های مربوطه"، آگاهی نامه راه و ساختمان و معماري، سال اول، شماره ۲، صص ۲۲-۴۴.
- کف، پولیا (بی‌تا)، طرح سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، ترجمه نبی، احمد، ناشر احرار.
- ماجدی اردکانی، محمد حسین (۱۲۷۷)، "طراحی به منظور محافظت از ساختمان‌های آموزشی در برابر زلزله"، مسکن و انقلاب، بهار ۱۳۷۷، صص ۵۵-۶۲.
- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۷۸)، آئین نامه طراحی ساختمان‌هادر برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰ (نشریه ض ۲۵۳)، تهران.
- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۸۳)، "بم و زمین لرزه‌اش می‌آموزد؛ آشنایی با مهندسی زلزله و عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌ها، نشریه شماره ۲-۴۰۷، تهران.
- مقنم، حسن (۱۳۸۲)، "مهندسي زلزله مبانی و کاربرد، چاپ دوم، نشر فرهنگ، تهران.
- موتوهیکو، هاکانو (و دیگران) (۱۲۸۲)، "زلزله در آلمون تجربه؛ فرآگیری مهندسی زلزله با مشاهده خوابی‌ها، شرکت یادمان سازه، تهران.
- نادرزاده، احمد (۱۳۷۴)، "زلزله ۱۷ ژانویه ۱۹۹۵ کوبه، زاین و درس‌هایی برای ایران، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران، تهران.
- ناطق الهی، فریبز (۱۳۷۸)، ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود به روشن ATC (مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ایران)، بینای مسکن انقلاب اسلامی (مرکز پژوهش و مطالعات سوانح طبیعی)، تهران.
- ناطق الهی، فریبز؛ معتمدی، مهرتابش (۱۳۸۲)، طراحی و اجرای ساختمان‌های بتنی مقاوم در برابر زمین لرزه، انتشارات نوپردازان، تهران.
- هاشمی، اکبر، (مترجم) (۱۳۷۱)، "تأثیر زلزله در طراحی معماري، مهندسان مشاور گروه ۴"، تهران.
- واکابایاشی، 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)