بررسی آسیب‌های ناشی از اجرای نامناسب در ساختمانهای خسارت دیده از زلزله*

منطقهٔ قائنات ـ اردیبهشت‌ماه ۱۳۷۶

دکتر محمدجواد ثقفی
دانشیار گروه آموزشی معماری
دانشکده هنرهای زیبا ـ دانشگاه تهران

چکیده

در پی بروز زلزلهٔ اردیبهشت‌ماه ۱۳۷۶ در منطقهٔ قائنات ــ جنوب خراسان ــ که به کشته شدن بیش از ۱۷۰۰ نفر انجامید، تعدادی روستا به کلّی ویران شد و به تعدادی دیگر آسیب قابل توجّهی وارد آمد. آنچه که در این فاجعه قابل تأمل است بروز تخریب و خسارتهای ناشی از زلزله در چند سال پیش از آن ــ سال ۱۳۵۸ ــ در همین منطقه است که در پی آن بازسازی منطقه مورد توجه قرارگرفت و بناهای بسیاری ساخته شدند. ساختمانهایی که با اسکلت فلزی، اسکلت بتنی، دیوار باربر، اسکلت فلزی و دیوار باربر، دیوار باربر مسلح (تک میلگردی) و ... ساخته شدند. اما در زلزلهٔ اخیر کمتر ساختمانی در منطقه بدون آسیب جدّی باقی ماند و این سئوال شکل گرفت که مشکل از کجا ناشی شده‌است. نقص در برنامه‌ریزی، طراحی و محاسبه، اجرا و نظارت هریک به نوبهٔ خود قابل تأمل هستند، امّا مرحلهٔ اجرا و نظارت بر آن به دلایل گوناگون اقتصادی، فرهنگی، اجتماعی و ... درخور توجّه است و درعمل، به جهت آنکه در قیاس با مراحل دیگر دخالت افراد غیر متخصص با فراوانی بیشتری انجام می‌شود و از سویی ضعف‌ها و نارسایی‌ها پوشیده می‌شوند اهمیّتی دو چندان پیدا می‌کند. در بررسی آسیب‌های ناشی از اجرای نامناسب درمنطقه، توجّه به عناصر اصلی ساختاری مانند شالوده، دیوار، سقف، کلاف، ستون و نیز اتصالات معطوف و در پایان به این نکته توجه شده است که اجرای نامناسب ساختمان خود ریشه در کدام مقوله دارد.

کلید واژه:

زلزله
آسیب
تکرار حادثه
دلیل
بررسی
مراحل شکل‌گیری ساختمان
شالوده
دیوار
اسکلت
سقف
مشکلات اجرایی
نقش دستگاه نظارت

* این مقاله حاصل طرح پژوهشی است که با حمایت‌های مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران انجام پذیرفت است.

مقدمه

سرزمین پهناور ایران بر روی یکی از دو کمربند جهانی زلزله قرار گرفته است و از این‌رو است که هرازگاه از بروز این حادثهٔ طبیعی متحمّل خسارت‌های جانی و مالی فراوانی می‌شود. آمارها نشان می‌دهند که در هشتاد سال گذشته در جهان بیش از ۱/۵ میلیون نفر و در ایران بیش از ۱۵۰ هزار نفر جان خود را از دست داده‌اند. نکتهٔ قابل توجه آن است که این رقم در حدود ۱۰٪ تلفات کل جهان در این مدت است در حالی که جمعیت ایران تنها حدود ۱/۲٪ جمعیت کل جهان را تشکیل می‌دهد.

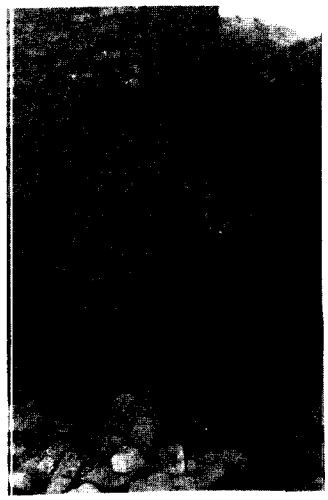
زلزلهٔ اردیبهشت ماه ۱۳۷۶ در منطقهٔ قائنات ـ جنوب استان خراسان ـ که بدنبال فعال شدن گسل شمال غربی ـ جنوب شرقی اردکول با شدت ۷/۱ در مقیاس ریشتر بوقوع پیوست و بیش از ۱۷۰۰ کشته باقی گذاشت، تعدادی روستا را بکلّی ویران نمود و به روستاهای بسیاری خسارت‌های قابل توجه وارد آورد. دو نکتهٔ قابل توجه یکی تعداد تلفات انسانی نسبتاً زیاد این حادثه و تکرار آمار بالا است و نکتهٔ دیگر آن است که بیشترین روستاهای تخریب شده و زیان‌دیده از جمله روستاهایی بودند که پس از وقوع زلزلهٔ ۲۳ آبانماه و ۶ آذر ماه سال ۱۳۵۸ دراین منطقه مورد بازسازی قرار گرفته بودند. و این سؤال باقی است که چرا این بازسازی نتوانسته است با مقاوم‌سازی ساختمانها در مقابل زلزله موجب کاهش خسارت‌های مالی و جانی شود.

در روند شکل‌گیری ساختمانهای ساخته شده و در حال ساخت، آسیب‌شناسی هریک از مراحل برنامه‌ریزی، طراحی و محاسبه، اجرا و نگهداری به نوبهٔ خود از اهمیت بسزایی برخوردار هستند. باتوجه به اهمّیت ویژهٔ مرحلهٔ اجرا و آسیب‌های بسیاری که در اثر اشتباهها، بی‌توجهی‌ها و ... بر ساختمان وارد می‌شود در نوشته‌ای که به دنبال می‌آید ما به بخشی از این صورت از آسیب‌شناسی ساختمان می‌پردازیم.

۱. شالوده

در بخش وسیعی از منطقهٔ خسارت دیده، از آن جهت که روی شیب قرار گرفته است ـ منطقهٔ کوهستانی ـ برای تراز کردن سطح کار اقدام به اجرای دیوارهٔ سنگی (وگاه بتنی) از سطح شیبدار موجود تا سطح زیر شالوده شده و شالوده (غالباً بتنی) روی این دیواره اجرا شده است. این بستر که در واقع نقش رابط میان زمین و شالودهٔ ساختمان را برعهده دارد به علت نداشتن یکپارچگی لازم و اتصال مناسب و کافی میان اجزاء (دیوارهٔ سنگی)، ارتفاع متغیّر آن و نیز نداشتن ریشه و نفوذ در عمق خاک نتوانسته است به خوبی عمل کرده و در انتقال تنش‌های ناشی از زلزله به ساختمان و از ساختمان به زمین نقش مؤثری ایفا کند. بدین ترتیب، شالوده که خارج از زمین و بدون ریشه‌ای در آن و در معرض آسیب‌های ناشی از ضربه‌های دینامیکی از یکسو و آسیب‌های ناشی از انقباض و انبساط بتن، ترک‌های مویین آن، نفوذ آب و ترکیدن بتن و خوردگی آرماتورها از سوی دیگر قرار گرفته است، در مقابل نیروهای جانبی ناشی از زلزله احتمال لغزش و حتّی کنده شدن از محلّ خود را دارد. (شکل ۱-۱)

در چند مورد که واحدهای مسکونی توسط مالک و ساکنین آن ساخته شده‌اند، دیوار چینی سنگی به عنوان بستر دیوار و رابط میان ساختمان و زمین فرض شده و از اجرای شالودهٔ بتنی صرف نظر شده است. در این دیواره‌های سنگی که نقش شالوده به آن واگذار شده است علاوه بر استفاده از سنگهای گرد گوشه و عدم توجه به چیده شدن مناسب سنگها ـ بوجود آمدن درزهای قائم ادامه‌دار ـ از ملاتهای گلی به فراوانی استفاده شده است. از این‌رو قادر به پذیرش و انتقال مناسب تنش‌های کششی ناشی از زلزله نبوده و در نقاط مختلف ترک و گسیختگی را به دیوار انتقال داده است. (شکل ۲-۱)



شکل ۱-۱

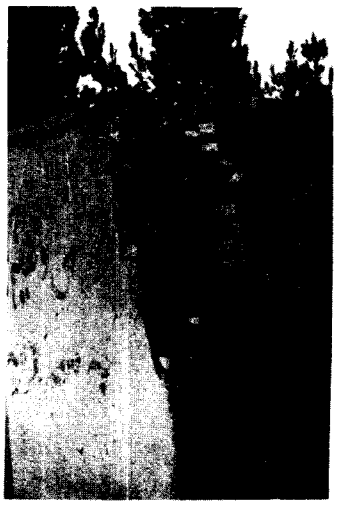
شکل ۲-۱

۲. دیوارها

دیوارهای موجود در منطقه را باید به دیوارهای محوّطه، دیوارهای خارجی غیر باربر، دیوارهای درون قابی، دیوارهای

داخلی و خارجی باربر و نیز دیوارهای تکیه تقسیم کرد که هریک به نوبهٔ خود به جهت مشکلات ناشی از اجرای نامناسب در مقابله با نیروهای وارد شده ـ ناشی از زلزله ـ بر آنها متحمّل خسارتهایی شده‌اند که برخی قابل ترمیم و برخی دیگر لازم به تخریب بوده‌اند.

الف ـ دیوارهای محوطه: اغلب دیوارهای محوطه ـ با ارتفاع کم، متوسط و یا زیاد ـ بدون توجه به آئینامه‌ها و بدون هیچگونه تمهید ویژه‌ای جهت انتقال نیروهای جانبی (مانند پشت‌بندها، نسبت مناسب ضخامت به ارتفاع و یا هرگونه کلافبندی) ساخته و اجرا شده‌اند (شکل ۱-۲). تأثیر این امر در معدود دیوارهایی دیده می‌شود که در نقاط مختلف آن ـ بویژه در گوشه‌ها ـ از عناصر پایدارکننده استفاده شده است.

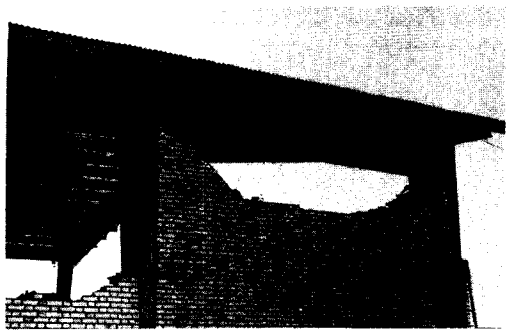


شکل ۱-۲

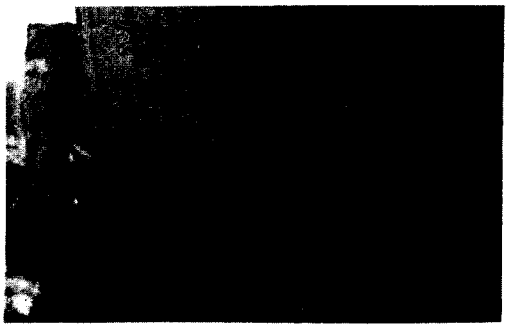
فروریختن دیوارها از پایه که ناشی از ریشه‌دار نبودن دیوارها در زمین است و یا از روی سنگ ازاره و محلّ اجرای عایق رطوبتی که ناشی از عدم وجود هرگونه اتصال میان دو قسمت بالایی و پایینی عایق رطوبتی است از شایع‌ترین اشکال آسیب‌های اینگونه دیوارها است (شکل ۲-۲، ۳-۲).

شکل ۲-۲

شکل ۳-۲



شکل ۴-۲



شکل ۵-۲

چند نکته در خور توجه اینکه: اولاً غالب دیوارهای محوطه‌ای که دارای اندود سیمانی نما بوده‌اند سالم مانده‌اند که این امر تأییدی بر افزایش مقاومت دیوار پس از اجرای اندود است. دوّم آنکه دیوارهای طویل محوطه تماماً فروریخته‌اند که یکی از دلایل این امر ـ واکنش زنجیره‌ای ـ عدم اجرای درزهای انقطاع در طول دیوار است. سوّم آنکه به هنگام فروریختن دیوار آجرها از یکدیگر و ملات بین آنها جدا شده‌اند که ناشی از عدم زنجابی شدن آجر به هنگام اجرای دیوار و استفاده از ملات نامناسب است و بالاخره آنکه عدم اجرای دقیق آجر چینی نیز در موارد متعدد پیوستگی دیوار را کاهش و امکان بروز آسیب را افزایش داده است.

ب ـ دیوارهای درون قابی: در این‌گونه از دیوارهای درون قابها ـ قاب فلزی یا بتنی ـ که دیوارهای غیرباربر پُرکننده یا جداکننده هستند به موارد متعددی از آسیب به شرح زیر می‌توان اشاره کرد که در مجموع ناشی از عدم هماهنگی واکنش میان قاب و دیوار محیط در آن در مقابل کنش‌های ناشی از زلزله است.

از موارد فوق باید به عدم وجود کلاف افقی در میانه و در بالای دیوار ـ با توجه به ارتفاع بیش از چهار متر دیوار ـ اشاره کرد (شکل ۴-۲). نکته قابل توجه، پایداری نسبی دیوار دهانهٔ آخر سوله نسبت به دهانهٔ ماقبل آن است که ناشی از وجود مهار ضربدری در این دهانه است. عدم اتصال و مهار مناسب دیوار به ستون (شکل ۵-۲) موجب استقلال دیوار از سایر عناصر ساختمان شده و با توجه به اینکه عمود بر جهت زلزله و یا هم سو با آن قرار گرفته باشد آسیب‌های وارده از

بروز ترک‌های قطری تا تخریب کامل متفاوت است. ضمن تأکید بر نقش و لزوم مهار دیوارهای درون قابها و ارائه و اجرای جزئیات مناسب بایستی به برداشت غلط و ناقص مجریان ـ و شاید طراحان ـ و تلاش بی‌ثمر انجام شده اشاره کرد. (شکل ۶-۲)

ج ـ دیوارهای آزاد: بخشی دیگر از دیوارهای غیربابر دیوارهای محصورکننده فضاهای روبازی هستند که به عناوین مختلف از جمله حیاط خلوت به ساختمان اضافه شده‌اند. در این دیوارها که غالباً توسط خود مردم ساخته شده‌اند مشکلات اجرای نامناسب از جمله عدم مهاربندی، عدم دقت در دیوارچینی، مصالح نامناسب و ... به چشم می‌خورد و میزان تخریب اینگونه دیوارها نیز از بروز چند ترک تا تخریب و واژگونی آن متفاوت است. (شکل ۷-۲)

د ـ دیوارهای نماسازی (روکار): نکتهٔ قابل توجه در اینگونه دیوارها آنست که: آن گروه که با ملات و اتصال مناسب اجرا شده

شکل ۶ـ۲

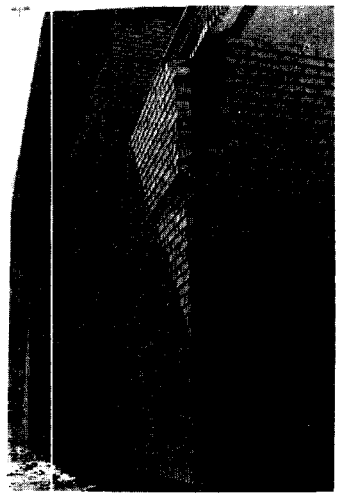
شکل ۷ـ۲

است علاوه بر حفظ پایداری خود کمک شایانی به پایداری نسبی دیوار اصلی نیز کرده است. در حالیکه عدم مهار مناسب در لبهٔ بالایی دیوار موجب شده است که دیوار نما به شکل یک ورقه از دیوار اصلی ساختمان جدا شود. و نیز عدم توجه و دقت در استفادهٔ مناسب از هشت‌گیر در گوشهٔ همین دیوار ـ هنگام اجرا ـ موجب بروز ترک قائم در محلّ شده است. (شکل ۸-۲)

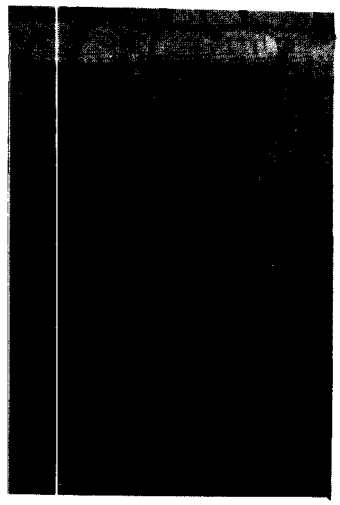
ه ـ دیوارهای باربر: در این دیوارها عدم توجه به توصیه‌های آیین‌نامه در مورد قرار نگرفتن درزهای قائم آجر در امتداد یکدیگر، داشتن قفل و بست مناسب و پُر شدن درزهای قائم از ملات (هرزه ملات)، موجب شده است که دیوارها در همین امتداد و محلّ دچار شکست و ازهم‌گسیختگی شوند (شکل ۹-۲). علاوه بر آن استفاده از آجرهایی که شکل و ابعاد منظم و مشخصی ندارند و جدا شدن آجر از ملات که نشان از ضعف چسبندگی ملات و زنجابی نشدن آجر در زمان اجرا دارد، تماماً بر عدم توانایی دیوار بر ایفای نقش خود (باربری) دلالت دارد. به جهت وفور سنگ در منطقه، استفاده از آن در ساخت دیوار بسیار رایج است. امّا حتّی هنگامی که تنها بخشی از دیوار (کرسی چینی) با سنگ ساخته می‌شود، استفاده از سنگهای گرد گوشه (بوجود آمدن درزهای قائم ممتد) و ملات گل، آسیب‌پذیری ساختمان را به شدت افزایش می‌دهد. عبور مجراهای تأسیساتی ـ بویژه دودکش ـ از داخل دیوارها و از جمله دیوارهای باربر نمونه‌ای شایع از خلل در یکپارچگی و تضعیف دیوارها است. بسیاری از ترک‌های دیوار از جمله ترک‌های برشی در این محلها بوجود آمده و یا از این نقاط عبور کرده‌اند. (شکل ۱۰-۲)

میزان و تناسب سطح بازشوها نسبت به سطح کلّ دیوار نیز از عوامل مهم پایداری دیوارها است. این نسبت (کمتر از یک سوم سطح دیوار و کمتر از یک دوّم طول دیوار) نه تنها در رفتار ساختمانهای نوساز که در ساختمانهای سنّتی‌ساز نیز مؤثر بوده‌اند (شکل ۱۱-۲)، و عدم رعایت دستورالعمل‌های مربوطه نیز منشاء تأثیرپذیری ساختمان از کنش نیروهای ناشی از زلزله است. (شکل ۱۲-۲)

پس از بررسی‌های محلّی و مقایسهٔ دیوارهای تخریب شده و تخریب نشده و مقایسهٔ میزان آسیب‌دیدگی آنها تردیدی



تصویر ۸ـ۲



تصویر ۹ـ۲

باقی نمی‌ماند که اجرای انواع اندودهای نماسازی مانند انواع اندودهای سیمان و سنگ پلاک نقش بزرگی در پایداری دیوارها داشته‌اند (به دلیل دوغاب‌ریزی پشت آن) و میزان آسیب‌های وارده بر این دیوارها نسبت به دیوارهایی که بدون اندود نما ساخته شده‌اند به مراتب کمتر بوده است.

گونه‌ای دیگر از دیوارهای باربر در منطقه دیوارهای حایل رودخانه‌های فصلی و جاده است (دیوار تکیه) که در اصطلاح محلّی به «آبنما» شهرت دارد. این دیوارها با سنگهای تراش خوردهٔ منظم و ملات ماسه سیمان و کتیبه‌ای غیرمسلح از بتن ساخته شده استاند، اگر چه بنظر نمی‌رسد که از نظر اجرای آن مشکل ویژه‌ای وجود داشته باشد ولی میزان آسیب‌های وارده نشان از عدم تناسب مقاومت دیوار با تنشهای وارده بر آن دارد. هم از این‌رو بنظر می‌رسد که حداقل باید در مورد کیفیت مصالح، فاصلهٔ درزهای قائم با یکدیگر و عدم آرماتورگذاری کتیبهٔ آن تجدید نظر شود. (شکل ۱۳-۲)

۳. سقف

در بررسی آسیب‌های وارده بر ساختمان، بدون در نظر گرفتن ساختمانهای ساخته شده از خشت و گل ـ با تعداد کم و تخریب زیاد ناشی از تکیه‌گاههای نامطمئن سقف، عدم انسجام و یکپارچگی سقف، مصالح سنگین با مقاومت نسبی کم و... ـ عملاً ساختمانهای ساخته شده با دو نوع سقف طاق ضربی و دال بتنی فراگیر هستند و تنها یک مورد سوله با سقف سبک (ورق‌گالوانیزه موجدار) ساخته شده است.

الف ـ سقف بتنی: سقفهای بتنی به دلیل استفاده از مصالح نسبتاً قابل قبول و همزمانی اجرا و مقاطعی غالباً بزرگتر از آنچه لازم بوده است ـ مقطع تیر ۶۰×۴۰ برای دهانهٔ حداکثر ۳/۸۰ متر ـ به عنوان یک دیافراگم افقی یکپارچگی خود را حفظ کرده‌اند. لیکن از سوی دیگر افزایش ابعاد موجب افزایش غیرضروری بار سقف شده و به همین میزان نیز نیروی بُرشی و لنگر خمشی ایجاد شده توسط سقف ـ ناشی از شتاب زلزله ـ غالباً خارج از توان باربری ستون‌ها بوده و علاوه بر تغییر شکل بیش از اندازهٔ قاب بتنی و شکسته شدن ستون در قسمت میانی، به علت افزایش تنش ناشی از تأثیر P-Δ موجب بروز آسیب‌های جدّی در اتصالات شده است. (شکل ۱-۳)

علاوه بر افزایش غیرضروری بار ثقلی سقف ـ به دلیل انتخاب مقاطع بزرگتر از میزان لازم ـ باید به استفاده از خاک (گِل) به عنوان عایق رطوبتی سقف اشاره کرد که با ضخامت زیاد (تا ۴۵ سانتیمتر) باری معادل نصف وزن سقف را بر سازه تحمیل کرده و با افزایش نیروی افقی حاصل از زلزله در تراز سقف احتمال بروز خسارت‌های یاد شده را به شدت افزایش داده است. (شکل ۲-۳، ۳-۳)

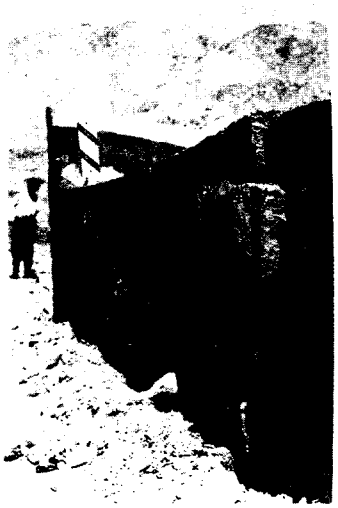
ب ـ طاق ضربی: آسیب‌های ناشی از تنش‌های مربوط به زلزله در این نوع سقفها از بروز چند ترک تا فروریختن کامل آن متغیر و متفاوت است. در این ناهنجاریها و خسارتهای ناشی از آن، نقش اجرای نامناسب و عدم توجه به آئینامه‌ها و نادیده گرفتن اصول اولیهٔ ساخت این‌گونه سقفها بسیار چشمگیر است.

ساختمانهای بسیاری درمنطقه وجود دارند که در ساخت آنها به هیچیک از توصیه‌های آئینامهٔ مربوط به زلزله کوچکترین توجهی نشده است.

تصویر ۱۰-۲

تصویر ۱۱-۲

تصویر ۱۲-۲



تصویر ۱۳-۲

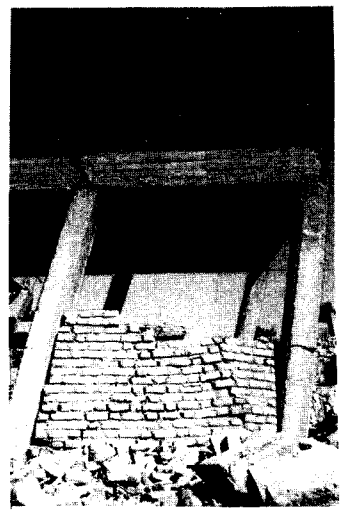
ساختمانهایی که نه دارای مهاربندی‌های ضربدری در سطح سقف، نه دارای تکیه‌گاه مناسب برای تیرهای سقف و نه دارای کلافبندی تراز زیر سقف هستند. بدین ترتیب است که در منطقه، مواجه شدن با هرگونه ناهنجاری و آسیب در این سقفها به دور از انتظار نیست. (شکل ۴-۳)

استفاده از پا طاق نامناسب و ضعیف و عدم مهاربندی دهانهٔ آخر موجب اعمال رانش سقف در این دهانه‌ها و انهدام آن شده‌است. تصویر ۵-۳ اجرای پاطاق ضعیف و تصویر ۶-۳ که مرحله‌ای پس از آن یعنی اجرای سقف را در همان گروه از ساختمانها نشان می‌دهد بیان روشنی از نقش مستقیم اجرای نامناسب در آسیبهای ناشی از زلزله است. این نقص اجرایی در بسیاری از ساختمانهای ساخته شده با طاق ضربی وجود دارد و بسیاری از دهانه‌های آخر دچار ناهنجاری شده و آسیب جدّی دیده‌اند. (شکل ۷-۳).

قرار گرفتن تیرهای سقف بر روی تکیه‌گاههایی با مقاومت کم، طول تکیه‌گاهی کوتاه ـ کمتر از ۲۰ سانتیمتر ـ و عدم مهار تیرها در محل استقرار و گاه تمرکز تنش که به لهیدگی بستر تکیه‌گاه منجر شده‌است از دیگر دلایل فروپاشی سقف‌ها است. (شکل ۸-۳)

۴. کلافبندی

امروزه با پیشرفت دانش مهندسی و زلزله‌شناسی اهمیّت و نقش کلاف و کلافبندی در ایجاد سیستمهای مقاوم در برابر زلزله، بویژه در ساختمانهای بنّایی غیرمسلح قابل انکار نیست. هم از این‌رو است که آیین‌نامهٔ زلزله (آئین‌نامهٔ مرسوم به ۲۸۰۰) اجرای کلافهای افقی را در تراز زیر دیوار و زیر سقف تمامی ساختمانهای با مصالح بنایی ـ یک طبقه دو طبقه و یا



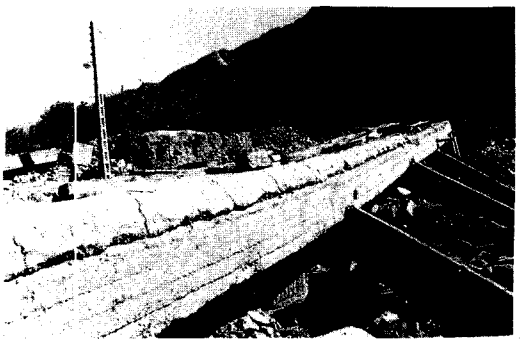
تصویر ۱-۳

مصالح بنایی ـ یک طبقه دو طبقه و با هرگونه مصالح مجاز بنایی ـ الزامی می‌داند.

از نمونه‌های نادر در منطقه دیوار بلند غیرباربر است که آسیب‌پذیری این گونه دیوارها از محتمل‌ترین آنها پس از وقوع زلزله هستند. عدم مهار دیوار با محدود کردن و کلافبندی قائم و افقی مناسب ـ به لحاظ نوع پروفیل و اجرا و اتصال، محل و تعداد ـ و نیز اتصال نامناسب دیوار و کلافهای قائم و افقی از جمله دلایل ناپایداری و بروز آسیب در این‌گونه دیوارها است. (شکل ۱-۴)

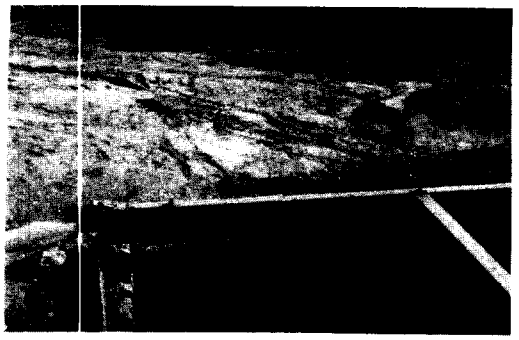
در میان ساختمانهای ساخته شده با دیوار باربر علاوه بر ساختمانهایی که با اجرای مناسب کلافهای افقی و قائم تضمین‌های کافی جهت پایداری و سلامت بنا بوجود آمده است (شکل ۲-۴)، باید نمونه‌هایی را برشمرد که علیرغم برخی آسیب‌های وارده بر دیوارها، به جهت وجود کلافها، بویژه کلافهای افقی، سقف همچنان پابرجا و پایدار باقی

تصویر ۲-۳



تصویر ۳-۳

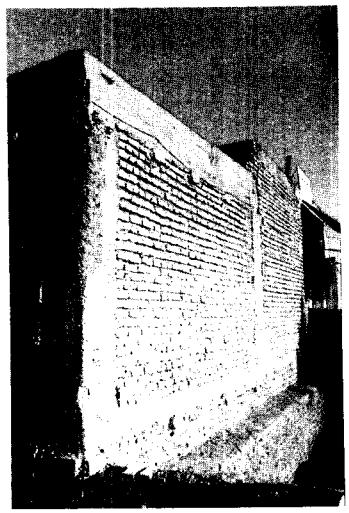
تصویر ۴-۳



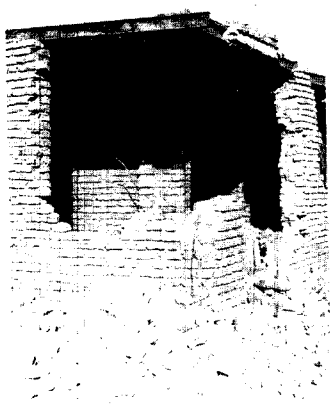
تصویر ۵-۳

مانده‌است ـ که خود تأکیدی بر نقش مؤثر این کلافها در حفظ پایداری ساختمان و

تصویر ۷ـ۳

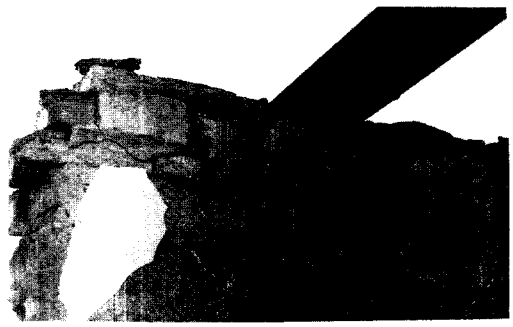


تصویر ۲ـ۴

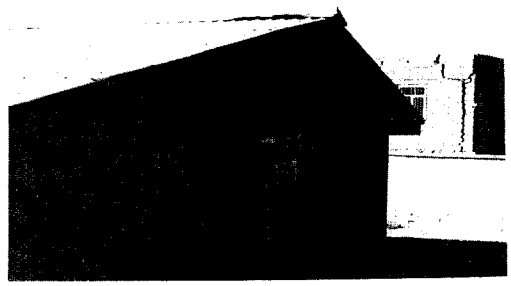


تصویر ۳ـ۴

تصویر ۶ـ۳



تصویر ۱ـ۴ تصویر ۸ـ۳



تأمین اهداف مقاوم‌سازی در برابر زلزله است ـ شکل (۳-۴). نمونه‌های دیگری دیگری که باتوجه به آئین‌نامه موسوم به ۲۸۰۰ و لزوم اجرای کلافبندی قائم در ساختمانهای با اهمیت زیاد و متوسط در مناطق با خطر نسبی زیاد زلزله ساخته شده‌اند. در ساختمان حوزهٔ علمیه، اجرای مناسب و اصولی کلاف قائم مانع از بروز ناهنجاری ناشی از زلزله در دیوار و سقف شده است. (شکل ۴-۴)

در میان ساختمانهای ساخته شده با دیوار حمال برخی ـ که از نوع ساختمانهای با اهمیت نیز محسوب می‌شوند ـ بدون کلاف افقی زیر دیوار ساخته شده‌اند (شالوده منفرد بدون کلاف مربوط به ساختمان مسجد) و برخی دیگر نیز در کمال حیرت تنها نما و نمادی از کلاف افقی زیر سقف را نشان می‌دهند (طرح کلاف افقی زیر سقف با اندود گچ مربوط به ساختمان مدرسه). (شکل ۵-۴)

اما در ساختمانهای بنایی دارای کلافبندی نیز آسیب‌ها و ناهنجاریهای فراوان و گوناگونی به چشم می‌خورد. آسیب‌های ناشی از اجرای نامناسب کلافبندی در این گونه ساختمانها نیز به نوبهٔ خود قابل توجه هستند که در یک جمع‌بندی به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

۱. کیفیت بتن: تخلخل، پوکی و پوسته شدن بتن که به فراوانی در نقاط مختلف کلافها دیده می‌شود نشانگر کیفیت نامطلوب بتن مصرفی و عدم دقت در اجرا است. مصالح نامرغوب، دانه‌بندی نامناسب، مقدار کم سیمان، مقدار زیاد آب و ویبره نشدن بتن و مرطوب نگه نداشتن بتن به مدّت زمان لازم پس از اجرای بتن‌ریزی، از جمله عوامل مؤثر در ایجاد این ناهنجاریها هستند. (شکل ۶-۴، ۷-۴)

۲. آرماتورگذاری: در مورد چگونگی و میزان آرماتور گذاری کلافبندیها نیز عدم دقت در اجرا و در برخی موارد صرفه‌جوییها ـ و شاید سودجوییها ـ موجب بروز آسیبهای مختلفی شده‌اند که به شرح زیر می‌توان به برخی از این عوامل اشاره کرد:

- عدم گیرداری مناسب آرماتورهای انتظار شالوده در بتن کلاف قائم (شکل ۶-۴).
- امتداد نیافتن میلگردهای کلاف قائم در کلافهای افقی زیر سقف.
- فاصلهٔ بیش از اندازهٔ مجاز بین خاموتها (که به کمانش موضعی و ترکیدن

بتن انجامیده است). در پاره‌ای موارد این فاصله بقدری زیاد است که اصولاً به عدم وجود خاموت در محل (از جمله در قسمت فوقانی کلاف) منتهی شده است.

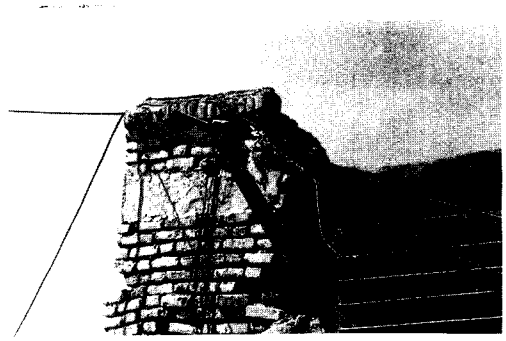
- انتخاب محلّ نامناسب جهت همپوشانی آرماتورهای کلاف و طول بسیار کم این همپوشانی. (شکل ۸-۴)
- عدم برخورداری آرماتورهای کلاف از پوشش بتن به اندازه لازم. (شکل ۸-۴)

۳. عملکرد: در برخی از ساختمانهای ساخته شده با دیوار باربر که از کلافهای قائم استفاده شده است توجه لازم به دستورالعمل‌های لازم در این مورد (فاصلهٔ کلافها، محلّ آنها، چگونگی اتصال و یکپارچگی آنها با دیوار و ...) به عمل نیامده و علیرغم اجرای نسبتاً مناسب کلافها ـ چنانچه به صورت مجرد به آنها نگاه شود ـ به دلیل در نظر نگرفتن نقش آنها در مجموعه و اهمیّت ترکیب و ترتیب آنها، از ایفای نقش اصلی خود بازمانده‌اند (شکل ۹-۴). و یا با عدم اجرای همزمان کلاف و دیوار ـ بتن‌ریزی کلاف در قالب دیوار ـ موجبات عدم پیوستگی و یکپارچگی دیوار و آسیب‌پذیری بیشتر آن فراهم شده است (شکل ۱۰-۴). در چند مورد نیز نقش کلاف افقی زیر سقف و عملکرد آن با عبور دودکش و سایر مجراهای تأسیساتی از داخل آن ـ بدون تقویت موضعی کلاف ـ تضعیف شده است.

۵. ستونها

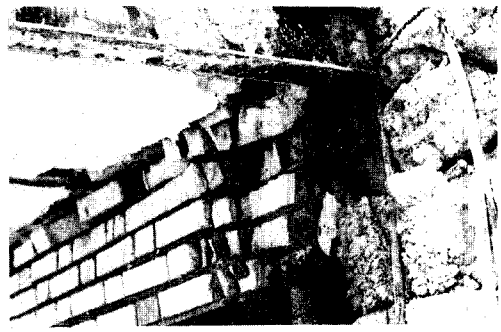
در ساخت و سازهای منطقه ـ بویژه پس از زلزلهٔ ۱۳۵۸ ـ از دو سازهٔ بتنی و فولادی به فراوانی استفاده شده است که در هریک از این دوگونهٔ سازه ضعفهای اجرایی منجر به آسیبِ ویژه‌ای دیده می‌شود که هریک به نوبهٔ خود درخور تأمل هستند.

الف ـ ستون بتنی: از جمله عوامل مهّم در آسیب‌های وارد شده بر ستونهای بتنی،



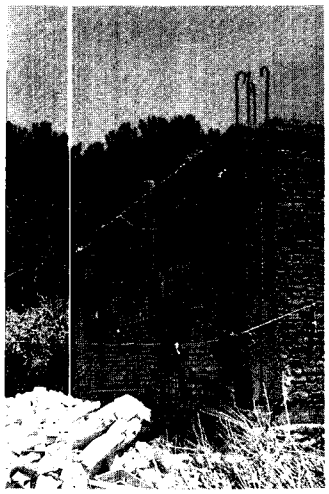
تصویر ۴-۵

تصویر ۴-۶



تصویر ۴-۸

علاوه بر ضعف در اجرای اتصالات که در فصل دیگری به آن می‌پردازیم، کیفیت نه چندان مطلوب بتن مصرفی ـ ناشی از میزان و کیفیت مواد مصرفی چگونگی و زمان عمل‌آوری و مصرف بتن، و ... ـ و چگونگی و میزان میلگردگذاری آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. عدم توجه به سطح مقطع مناسب میلگرد مصرفی نسبت به سطح مقطع بتن، عدم مهار میلگردهای طولی تیر که در منطقهٔ کششی قرار دارند در تکیه‌گاهها و عدم توجه به حداقل پوشش بتنی آرماتورها و استفاده از میلگردهای

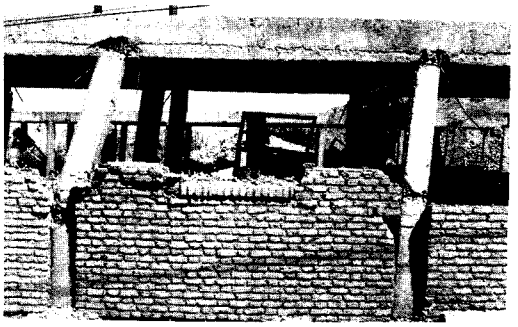


تصویر ۴-۴

تصویر ۴-۷

تصویر ۴-۹

تصویر ۱۰ـ۴



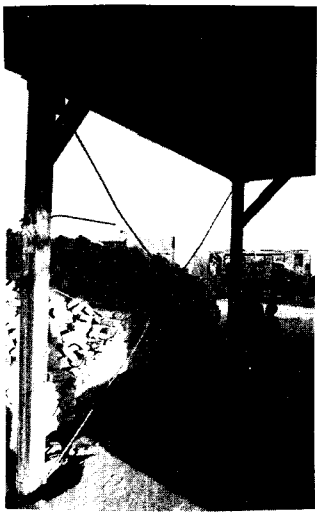
تصویر ۱ـ۵

تصویر ۲ـ۵

ساده که منجر به کمترین درگیری میان میلگرد و بتن شده است از جمله نکاتی هستند که همراه با سطح مقطع ضعیف و ناکافی ستون بتنی موجب شده‌اند مقاومت ستون‌ها نسبت به مقاومت تیرها ـ که غالباً با ابعاد بسیار بزرگتر اجرا شده‌اند ـ به شدت کاهش پیدا کند (برخلاف آئینامه). در نتیجه ستونها در مقابل تنش‌های ناشی از زلزله مقاومت نکرده و با بروز گسیختگی در نقاط مختلف آن، سقف تغییر مکان داده و یا به صورت یکپارچه فروریخته است.

(شکل ۱-۵، ۲-۵)

تصویر ۳ـ۵



تصویر ۴ـ۵

تصویر ۵ـ۵

ب ـ ستون فلزی: پیش از هر نکته باید به عدم اجرای باد بند در بیشتر ساختمانهای اسکلت فلزی اشاره کرد که در تعدادی از آنها، حتی اگر محاسبه و انتخاب مقاطع ستونهای فلزی را برای پاسخگویی به برخی نیروهای وارده کافی بدانیم، تنشهای ایجاد شده در اثر زلزله موجب حرکت جانبی قابل توجّه اسکلت شده است (شکل ۳-۵). نقش ستونها در حفظ و پایداری بنا نه به صورت مجرد که در قالب یک نظام ساختاری ـ آنجا که همراه با دستکها و میلگردهای بادبندی (هرچند ضعیف) عمود برهم اجرا شده‌اند ـ قابل توجه و دارای اهمیت است. (شکل ۴- ۵)

اجرای یک ساختار ترکیبی ـ مجموعه‌ای از ستونهای فلزی و دیوار باربر ـ به فراوانی مورد استفاده قرار گرفته است. واکنش مجموعهٔ دیوار انعطاف‌ناپذیر در کنار انعطاف‌پذیری اسکلت فلزی در مقابل نیروهای ناشی از زلزله به تخریب دیوارها و بخشی از سقف منجر شده است.

(شکل ۵ - ۵)

در مجموع، ستونهای ـ اسکلت ـ فلزی مقاومت و واکنش مناسبتری ـ نسبت به اسکلت بتنی ـ در مقابل تنش‌های ناشی از زلزله از خود نشان داده‌اند. بدون شک علاوه بر انعطاف‌پذیری بیشتر فولاد نسبت به بتن، عدم دخالت کارگر در ساخت قطعات در کارگاه ساختمانی نیز درخور توجه است. این نکته هنگامی که به اتصالات فلزی دقت شود اهمیّت دو چندانی پیدا می‌کند، آنجا که بیشترین آسیب‌های ناشی از زلزله ـ اتصالات و جوش‌ها ـ دیده شده است (رجوع به بخش اتصالات).

۶. اتصالات

پرداختن به مقولهٔ اتصالات از آن‌رو اهمیت دارد که به عنوان نقاط حساس و گره‌هایی که محل تلاقی و انشعاب بیشترین خطوط نیروها هستند، بیشترین آسیبها را ـ به علت عدم توجه به اجرای مناسب ـ نیز

در آن نقاط سراغ می‌توان گرفت.

از جمله شایعترین دلایل بروز آسیب در اتصالات فلزی مشکلات ناشی از چگونگی جوش و جوشکاری است. عدم توجه به طول جوش، عمق جوش، فواصل جوش‌ها و بالاخره اجرای نامناسب توسط افراد غیرمتخصص، اتصالات جوشی را به ضعف اصلی ساختارهای فلزی تبدیل کرده است. (شکل ۱-۶)

اجرای اتصال نیمرخهای هم شماره با یکدیگر از دیگر مشکلات اجرایی موجود در اتصالات فلزی است. عدم توجه به اجرای این اتصال با برش صحیح و وصلهٔ مناسب میزان آسیب را افزایش داده است (شکل ۲-۶).

مهار ناقص، عدم وجود زیرسری مطمئن و طول تکیه‌گاهی کوتاه موجب شده‌است که علیرغم یکپارچگی و دوام سقف، دیوارهای باربر که بدین ترتیب فاقد هرگونه پیش‌بینی و تمهیدی برای اتصال مناسب با سقف هستند فرو بریزند و سقف آسیب دیده معلق بماند و یا کاملاً فرو بریزد (شکل ۳-۶).

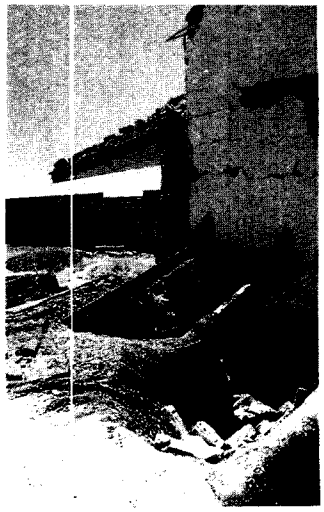
عدم توجه به چگونگی انتقال نیروها و پیچیدگی اتصالات، بویژه در محل برخورد عناصر بتنی و فلزی دیوار و سقف، از جمله نقاط ضعف اجرا است. جزئیات سردرگم تیر لانه زنبوری و عناصر باربر، همراه با حرکتها و خمهای نامناسب آرماتورها و عدم وجود خاموت در محل، اتصال را ضعیف و نامطمئن ساخته است (شکل ۴-۶). در تصویر ۵-۶ـ اتصال تیر سقف و کلاف قائم ـ هیچگونه تمهید و جزئیات ویژه‌ای دیده نمی‌شود. تیرآهن به صورت مناسبی تکیه نکرده است، بتن کلاف دارای کیفیت قابل قبولی نیست، آرماتورهای کلاف همپوشانی لازم را ندارند، در آرماتوربندی کلاف خاموت دیده نمی‌شود و ....

اتصال دیوارها با یکدیگر، با کلاف‌بندی و با ستونها نیز باتوجه به نقش آنها در انتقال نیروها و تنش‌های ناشی از زلزله اهمیت بسزایی دارد. وجود ترکهای بلند قائم در خط تماس دو دیوار باربر عمود بر هم، ناشی از عدم دقت در آجر

تصویر ۱-۶

تصویر ۲-۶

تصویر ۴-۶



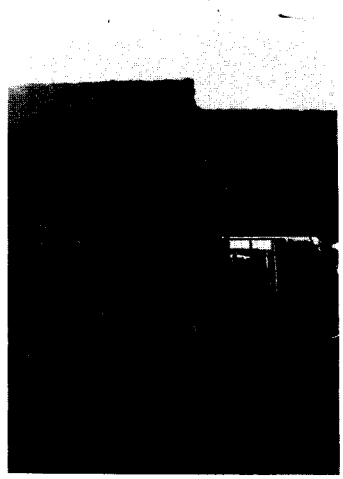
تصویر ۳-۶

تصویر ۵-۶

چینی و قفل و بست مناسب آنها است (شکل ۶-۶). انفصال کامل دیوار غیرباربر از قاب بتنی ـ در راستای قائم و افقی ـ نیز بیانگر عدم پیش‌بینی هرگونه شیوهٔ اتصال دیوار به قاب است (شکل ۷-۶). ترکهای عمیق و گاه انفصال کامل کلاف و دیوار نشان از عدم درگیری کلاف و دیوار ـ با استفاده از جزئیات و شیوهٔ مناسب اجرا ـ دارد (شکل ۸-۶).

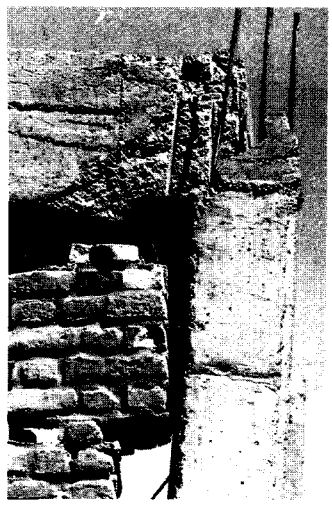
در اتصالات بتنی ـ ستون به تیر و کلاف قائم به کلاف افقی ـ نیز آسیب‌ها فراوان و

تصویر ۶-۶



تصویر ۷-۶

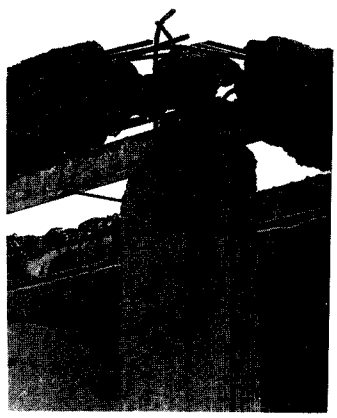
تصویر ۹-۶



تصویر ۱۰-۶

تصویر ۸-۶

درخور توجه هستند. از جمله علت‌های آن استفاده از میلگردهای ساده در آرماتورگذاری این عناصر است که همراه با پوشش بتنی ناکافی و عدم اجرای خم‌های انتهایی مناسب موجب شده است که آرماتورها براحتی از بتن بیرون کشیده شوند (شکل ۹-۶). ادامه نیافتن خاموت گذاری تا انتهای میلگردهای طولی ستونها نیز به عدم درگیری مناسب میلگرد و بتن، ترکیدن پوشش بتنی و خروج میلگرد از داخل بتن کمک کرده‌است (شکل ۱۰-۶). و هنگامی که چگونگی آرماتورگذاری تقریباً مناسب به نظر می‌رسد، بتن با کیفیت نازل خود موجب بروز گسیختگی در اتصال شده‌است (شکل ۱۱-۶).



تصویر ۱۱-۶

نتیجه

پوشیده نیست که شکل‌گیری ساختمانهای ساخته شده پس از زلزله سال ۱۳۵۸ باگذر از فراز و نشیب‌های فراوان و حل مشکلاتی چون زنجیر پیوسته و وابسته امکان‌پذیر شده است. بی‌هیچ تردید نمی‌توان مشکلات اقتصادی، محدودیت‌های نیروی انسانی، فاصلهٔ مکانی و زمان و ... را نادیده گرفت. امّا آنجا که تمام تلاش‌ها جمع شده و می‌روند که به بار بنشینند و ساختمان شکل بگیرد غفلت و بی‌توجهی به چگونگی شکل‌گیری کالبد آن دور از انتظار و انصاف است. خسارتهای ناشی از اجرای نامناسب ساختمان ـ هرچند که ممکن است در طی فرایند برنامه‌ریزی و طراحی آن نیز تسامح صورت گرفته باشد ـ در تمام عناصر و اجزاء ساختمان به چشم می‌خورد. در مرحلهٔ اجرا علاوه بر مشکل نیروی انسانی ـ که به سهولت قابل حل بوده‌است ـ بیشترین مشکل متوجّه عدم التزام عملی به آئین‌نامه‌ها است که در دو بحث نقشه‌های اجرایی و نظارت قابل تأمل است. گذشته از نقشه‌های اجرایی منطبق بر آئین‌نامه‌ها ـ که با عملکرد ارگانهای ذیربط در امر ساخت و ساز در منطقه صورت ویژه‌ای به خود می‌گیرد و بحثی دیگر را طلب می‌کند ـ نقش درخور توجّه و انکار ناپذیر مرحلهٔ اجرا و نظارت بر اجرا ـ که در منطقه بسیار کمرنگ بوده است ـ از اهمیّتی ویژه برخوردار است و لازم است که جهت اِعمال نظارتی دقیق و شایسته تمهیداتی دیگر اندیشیده شود.

منابع

۱. آیین‌نامهٔ طرح ساختمانها در برابر زلزله (موسوم به آئین‌نامه ۲۸۰۰)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
۲. ارزیابی رفتار سازه‌های منطقه زلزله‌زدهٔ قائنات، دکتر حمزه شکیبا ـ مهندس حسین بیات.
۳. ساختمان در مناطق زلزله‌خیز، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
۴. زمینلرزه ۲۰ اردیبهشت ماه ۱۳۷۶ زیرکوه قائنات، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن