نشریه هنرهای زیبا • شماره ۱۷ • بهـــار ۱۳۸۳

# آسیب شناسی ساختمان

## آسیب های ناشی از مراحل اجرا و نظارت در ساختمان های خسارت دیده از زلزله بم دیماه ۱۳۸۲ *

دکتر محمد جواد ثقفی **

تاریخ دریافت مقاله: ۸۲/۱۱/۲۷
تاریخ پذیرش نهایی: ۸۳/۳/۲

## چکیده:

بروز زلـزلـه جمعه پنجم دیماه سال ۱۳۸۲ در منطقه بم کرمان به کشته شدن بیش از ۲۵/۰۰۰ نفر انجامید و شهر بم و روستاهای نزدیک ویران شدند. آنچه که در این فاجعه ملی قابل توجه است، علاوه بر تداوم ساخت و ساز به شیوه سنتی - و نامناسب - ، شکل گیری ساختمان هایی با اسکلت فلزی، اسکلت بتنی، دیوار باربر، و ...است و اینکه در این زلـزلـه کمتر ساختمانی بدون آسیب باقی ماند. بی تردید نقص در برنامه‌ریزی، طراحی،محاسبات، اجرا و نظارت هر یک به نوبهٔ خود می توانند در این حادثه بزرگ نقش داشته باشند. اما مرحلهٔ اجرا و نظارت بر آن، به دلیل آنکه در قیاس با مراحل دیگر، دخالت افراد غیرمتخصص با فراوانی بیشتری صورت می گیرد و ضعف‌ها و نارسایی‌ها نیز پوشیده می‌شوند اهمیتی دوچندان می‌یابد. در این بررسی توجه بیشتر به عناصر ساختاری و چگونگی اتصالات میان اجزاء - با توجه به آیین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلـزلـه - معطوف و با ارایه تصاویر شاهد در پایان به این نکته توجه شده است که اجرای نامناسب ساختمان خود ریشه در کدام مقوله دارد.

## واژه های کلیدی:

زلزله ، بم ، آسیب ، ساختار، آیین‌نامه ، نظارت ، اجرا.

* این مقاله در قالب طرح پژوهشی مصوب شورای پژوهشی دانشگاه تهران تحت عنوان آسیب های ناشی از اجرای نامناسب در ساختمان های خسارت دیده زلزله دیماه ۱۳۸۲ منطقه بم - کرمان، نگاشته شده است. بدینوسیله امتنان خود را از حمایت های معاونت محترم پژوهشی دانشگاه ابراز می دارم.

** دانشیار گروه آموزشی معماری، دانشکده هنر های زیبا، دانشگاه تهران. E-mail:msaghafi@ut.ac.ir

# مقدمه

• در میان سوانح طبیعی گوناگونی که در سطح کره خاکی ما روی می‌دهد، بدون تردید حرکت‌های ناشی از زلـزلـه بیشترین تاثیر تخریبی بر مناطق را از خود بر جای می‌گذارد. آیا زمین لرزه را می‌توان پیش‌بینی کرد؟ به نظر می‌رسد که از نتایج کم و بیش تجربی ناشی از مشاهدات گوناگون در زمینه‌های مختلف تنها به پاسخ‌های مقطعی و غیرقطعی دست یافته‌ایم. تنها مسئله قطعی آن است که متاسفانه زلـزلـه به غافلگیر کردن انسان ادامه خواهد داد. آنچه با قطعیت کامل می‌توانیم پیش‌بینی کنیم آن است که هر قدر از زمان آخرین زمین لرزه دور می‌شویم به زمین لرزه بعدی نزدیک‌تر هستیم. در مقابل این خطر و عدم امکان پیش‌بینی آن، تنها پیشگیری قابل قبول احداث ساختمان مقاوم در برابر زلـزلـه است.

• پدیده‌های زلـزلـه هنوز به طور کامل شناخته شده نیستندو زمین‌لرزه‌های بزرگ اتفاق افتاده در یک منطقه نیز قدیمی‌تر از آن هستند که حافظه جمعی شهری به یاد بیاورد. به همین دلیل نیز جوامع مورد تهدید - به ویژه کشورهای در حال توسعه و توسعه نیافته - در برابر این خطراجتماعی و اقتصادی بزرگ پناه نیافته‌اند. غالب ساکنین مناطق دارای خطر تنها با شنیده‌ها و نه با تجربهٔ شخصی و مستقیم در جریان وقوع آخرین زلـزلـه قرار دارند. و حتی اگر چنین نیز باشد و زنگ خطر شنیده شده باشد به نظر می‌رسد که برای واداشتن به واکنش لازم انگیزه‌ای کافی نیست. همواره میل بر این است رخداد اتفاقاتی که دوست داریم پیش بیایند بسیار ممکن و اتفاقاتی را که دوست نداریم پیش بیایند کمتر ممکن تلقی کنیم. حساسیت نسبت به این خطر در میان مردم، متخصصین و مسئولین بسیار آرام اما به هر حال به صورتی پیش‌رونده صورت می‌گیرد. برای آنکه این حرکت به سرانجام برسد، لازم است که بازتاب آن در تمام محافل و مجامعی که به هر طریق با امر ساختمان و ساختمان سازی مرتبط می‌شوند دیده شود.

• با وقوع زلـزلـه‌های بزرگ در نقاط مختلف دنیا، لزوم پرداختن به ساختمان‌های مقاوم در برابر زلـزلـه هر چه بیشتر دیده و احساس می‌شود. در سطح جهانی بروز زلـزلـه‌های بسیار بزرگ کوبهٔ ژاپن در سال ۱۹۹۵ و زلـزلـه کالیفرنیا در سال ۲۰۰۳ و در ایران بروز زلـزلـه‌های ۱۳۵۹ منجیل، ۱۳۷۶ قائنات، بوئین‌زهرا و بالاخره زلـزلـه ۱۳۸۲ منطقه بم همگان را به رویکردی دیگر به سوی ساختمان‌های مقاوم در برابر زلـزلـه دعوت می‌کند.

• بی‌تردید حتی اگر تصمیم گرفته شود که ساختمان‌های جدید بر اساس آیین‌نامه‌های مقاوم‌سازی در برابر زلـزلـه ساخته شود، مجموعه عظیم ساختمان‌هایی قدیمی ضعیف آسیب‌پذیر باقی خواهد ماند (موسسه بین المللی،۱۳۷۲ ص۶) که همواره شامل ساختمان‌های قدیمی و میراث فرهنگی و ملی کشور می‌شود. اما به هر حال کم بهتر از هیچ است و راه با این امید طی می‌شود که در طول زمان نسبت ساختمان‌های حفاظت شده معکوس خواهد شد.

• از سوی دیگر، با توجه به اینکه ازنظر اقتصادی هزینهٔ ساختمان‌هایی که می‌تواند در برابر زلـزلـه مقاوم باشند - برای آنکه فن‌آوری گسترش یافته وشامل تمام ساختمان ها شود - بسیار زیاد است، می‌توان و باید چنین فکر کرد که تمام زلـزلـه‌هایی که به وقوع می‌پیوندند زلـزلـه‌های بسیار بزرگ نیستند. تعداد زلـزلـه‌های متوسط بسیار بیشتر از زلـزلـه‌های بزرگ است (محدوده ای که در آن لزوم حفاظت قابل توجه است). در این میان حاصل تجربهٔ ناشی از سفرها، بازدیدها و گزارش‌ها بیانگر آن است که حفاظت در مقابل زلـزلـه در صورتی کارایی لازم را خواهند داشت که پیشتر و هنگام شکل گیری ایده‌های اولیه درنظر گرفته شوند و ضمن استفاده و رعایت آیین‌نامه‌های مقاوم‌سازی در برابر زلـزلـه در طراحی، به کیفیت خوب اجرا و نظارت و نیز چگونگی حفاظت ادواری توجه شود. (دیویدوویچی، ۱۳۷۸ ،ص ۱۰) از سوی دیگر می‌توان با تقسیم بندی ساختمان های موجود به تخریبی، پر خطر، خطر متوسط و کم خطر نسبت به ترمیم (و دخالت)طبق یک جدول زمان بندی اقدام کرد. (مرکز تحقیقات،،۱۳۶۸ ص ۱۰۶)

• در روند شکل گیری ساختمان های ساخته شده و در حال ساخت آسیب شناسی هر یک از مراحل یادشده به نوبهٔ خود از اهمیت به سزایی برخوردار هستند. با توجه به اهمیت ویژه مرحلهٔ اجرا و آسیب‌های بسیاری که بر اثر اشتباه‌ها و بی‌توجهی‌ها و ... بر ساختمان وارد می‌شود، در این بررسی با مورد توجه قرار دادن عناصر سازه‌ای ساختمان از جمله دیوارها، سقف‌ها و اسکلت ساختمان، ما به بخشی از این صورت از آسیب شناسی ساختمان می‌پردازیم.

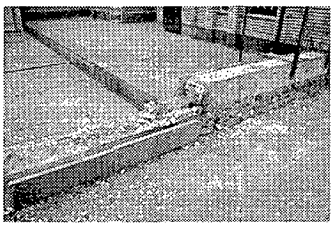
تحقیق در باره زلزله و پیامد های آن پیشینه ای دور در کشور های مختلف - به ویژه در کشور های پیشرفته مبتلابه آن مانند ژاپن و آمریکا- و پیشینه ی جدی کمتر از سه دهه در کشورمان دارد. برگزاری کنفرانس‌ها،سمینار ها و... ونیز انتشار کتاب ها و مقاله های متعدد داخلی و بین المللی در این زمینه حکایت از عزم راسخ همگان در شناخت زلزله و راهکارهای مقابله با اثرات مخرب آن دارد. در میان موضوع های مورد بررسی، آسیب های وارده بر ساختمان -ناشی از زلزله- بخش قابل توجهی را به خود اختصاص داده است. اما از آنجا که موضوع این بخش نیز تک بعدی نیست، از دیدگاه های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. در این میان نیز جنبه‌های سازه ای ساختمان و توجه به تعیین و تعریف دستورالعمل های سازه ای - که رفتار ساختمان را به کنترل در آورد - سهم بزرگی از این تلاش را به خود اختصاص داده است. اما در کشور ما ، حاصل این تلاش های همه جانبه و بی وقفه نتوانسته است نتایج قابل قبولی را موجب شود و تلفات جانی و مالی فراوان ناشی از چند زلزله اخیر شاهد این مدعا است. بدین جهت، در بررسی حاضر با پذیرش اینکه بسیاری از مشکلات و آسیب‌های پیش آمده می توانند مبنای زمین ساختی منطقه آسیب دیده، نقشه‌های معماری و یا سازه‌ای داشته باشند و محاسبات را منشا آن بدانیم، بر این نکته تاکید می‌کند که شواهد فراوان نشان از دخالت آشکار مرحله اجرای ساختمان - فاز۳- و نقش مجریان و مهندسین ناظر در بروز آسیب های مورد ذکر دارد.

## ۱- دیوارها

دیوارهای موجود در منطقه را باید به دیوارهای محوطه، دیوارهای ساختمان‌های اسکلت فلزی و اسکلت بتنی (دیوارهای درون قابی و دیوارهای باربر) تقسیم کرد که هر یک به نوبهٔ خود، به دلیل مشکلات ناشی از اجرای نامناسب و مقابله با نیروهای وارده ناشی از زلـزلـه، متحمل خسارت های شدیدی شده‌اند که برخی از موارد قابل ترمیم و بیشتر لازم به تخریب برده‌اند.

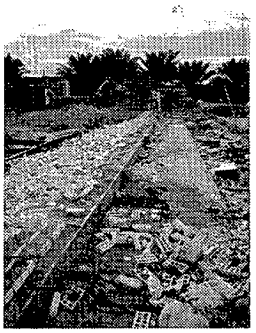
**الف: دیوارهای محوطه:** اغلب دیوارهای محوطه، با ارتفاع‌های کم، متوسط و یا زیاد، بدون توجه به آیین‌نامه‌ها بدون هیچگونه تمهید ویژه‌ای جهت انتقال نیروهای جانبی (مانند پشت‌بندها) نسبت مناسب ضخامت به ارتفاع و یا هرگونه کلافبندی ساخته شده‌اند. (آیین‌نامه ۲۸۰۰)

فروریختن دیوارها از پایهٔ آن که ناشی از ریشه‌دار نبودن دیوار در زمین است و یا واژگونی دیوار از روی سنگ ازاره ناشی از عـدم وجـود هرگـونه اتصال میان دو قسمت بالایی و پایین دیوار است که از شایع‌ترین اشکال آسیب‌های وارده بر این گونه دیوارها است. (شکل ۱)



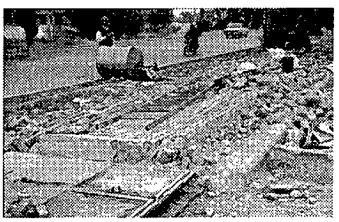
(تصویر ۱)

در معدود دیوارهایی که به این امر توجه شده است نیز متاسفانه تمهیدات بکار گرفته شده کافی نبوده و میل‌گرد ها به راحتی از داخل دیوار خارج گشته و موجب فروریختن آن شده‌اند. (شکل ۲)



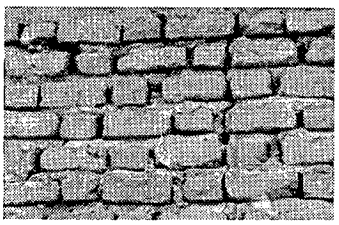
تصویر۲

در این مورد نکات دیگری نیز قابل توجه هستند: اول آنکه دیوارهای طویل تماماً فروریخته‌اند که یکی از دلایل آن - واکنش زنجیره‌ای - عدم اجرای درز انقطاع در طول دیوار است. (آیین‌نامه ۲۸۰۰). (شکل۳)



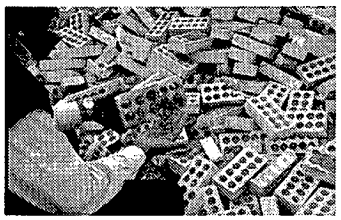
تصویر ۳

دوم آنکه در برخی موارد عدم اجرای دقیق آجرچینی پیوستگی اجزاء دیوار را کاهش و امکان بروز آسیب را افزایش داده‌است. (شکل۴).



تصویر۴

سـوم آنکـه هنـگام واژگونی بسـیاری از دیوارها، آجرها از ملات جدا شده اند که ناشی از عدم زنجابی کردن آجر و نیز استفاده نامناسب از ملات - علاوه بر ملات با کیفیت نامناسب- است. (شکل ۵)



تصویر ۵

نکته قابل توجه دیگر دراین گونه دیوارها آن است که بیشتر دیوارهای محوطه‌ای که اندود سیمان شده بودند نسبتاً سالم مانده بودند که خود تاییدی بر افزایش مقاومت دیوارهای آجری است که اندود سیمان نما شده اند.

**ب - دیوارهای درون قابی:** در اینگونه از دیوارهای درون قابها - قاب فلزی یا بتنی - که دیوارهای غیرباربر پرکننده یا جداکننده هستند به موارد متعددی از آسیب می‌توان اشاره کرد که در مجموع ناشی از عدم هماهنگی میان واکنش دیوار و قاب در برابر کنش‌های ناشی زلـزلـه است.

عدم اتصال و مهار مناسب دیوار به ستون - و بادبند - موجب استقلال دیوار از سایر عناصر ساختمان شده است و با توجه به چگونـگی حـرکت مجموعـه ساختمان، آسـیب‌های وارده از بروز ترک‌های قطری در دیوار تا تخریب و واژگونی کامل آن متفاوت است. (شکل ۶)

(تصویر ۶)

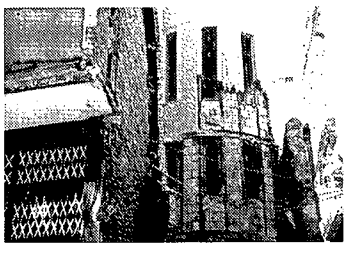
نکته دیگری که در بررسی ساختمان‌های اسکلت‌های فلزی و رفتار ساختمان‌های چندطبقه قابل توجه می‌نمود آن است که دیوارها به راحتی از داخل قاب خود خارج شده بودند و یا برعکس با تحمل نیروهای بسیار زیاد وارد شده بر آنها به عنوان دیوار برشی، موجب گسیختگی اتصال میان ستون و تیر شده‌اند. با توجه به وجود بادبند فلزی در داخل قاب بسیاری از

تصویر۷

این دیوارها، به نظر می‌رسد که این دیوارها می‌بایست خارج از قاب قرار می‌گرفتند و یا در صورت قرار گرفتن در داخل قاب مانعی برای انعطاف‌پذیری قاب فلزی بوجود نمی آورند. و نیز چنانچه لازم باشد به عنوان دیوار برشی عمل کنند باید اتصال میان دیوار و قاب به گونه‌ای باشد که در رفتار مقاومت سازه موثر و با توجه به محل قرار گیری آن از نظر تقارن در پلان و عدم وجود تغییر ناگهانی سختی در ارتفاع، در محاسبات سازه نیز منظور شود(شکل ۷). (مرکز تحقیقات، ۱۳۷۰، ص ۱۱۴)

قابل توجه است که در ساختمان های مشابه ، وجود دیوار های میان قاب ها در طبقات بالا موجب کاهش تغییر شکل در این طبقات شده است و در مقابل موجب تمرکز آن در تراز طبقه همکف -که انعطاف پذیر تر بوده است - شده‌اند. (مرکز تحقیقات، ۱۳۷۰ص ۲۴۲)

**ج- دیوارهای نماسازی شده (روکار)** . بیشتر ساختمان‌هایی که با آجر نماسازی شده‌اند دچار آسیب گردیده‌اند. عدم مهار دیوار نماسازی به دیوار باربر آن موجب شده است که با توجه به شکل و ابعاد دیوار و نیز حرکت سازهٔ ساختمان، آسیب های متفاوتی از تخریب موضعی تا واژگونی کامل نماسازی آجری مشاهده شود.

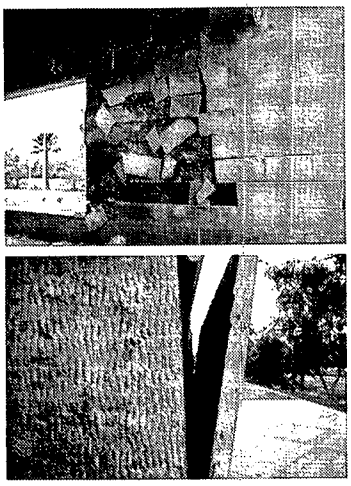


تصویر۸

(شکل ۸)

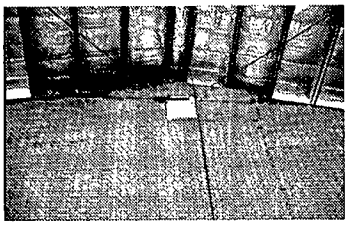
در منطقه مورد بازدید، تعداد ساختمان‌هایی که با سنگ پلاک نماسازی شده‌اند قابل توجه هستند. تقریباً تمام نماهای سنگی آسیب دیده و کم و بیش سنگ ها از دیوار بستر خود جدا شده و فرو ریخته‌اند. گرچه میزان آسیب سنگ ها با توجه به نوع و ابعاد سنگ و نیز حرکت دیوار پشت آن در ساختمان‌های گوناگون متفاوت است، سنگ‌های جابه‌جا شده، آویخته به دیوار و فرو ریخته نشان از توجه به اجرای مناسب و استفاده از اسکوپ سنگ دارد. اما در عمل سیم‌های به کار رفته در اسکوپ پشت سنگ ها یکلا و بسیار نازک بوده و در اثر حرکت ساختمان پاره و یا کشیده شده است.

(شکل ۹و۱۰)



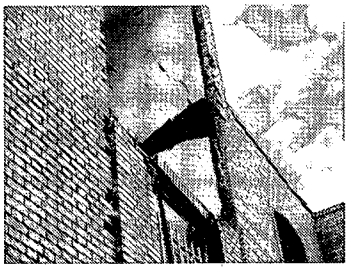
تصاویر ۹و۱۰

**د- دیوار های سوله** نا همگونی واکنش در برابر نیرو های وارده و ناسازگاری میان تغییر مکان های قاب فلزی و تغییر شکل‌های قابل تحمل به وسیله مصالح بنایی، در بسیاری موارد موجب آسیب پذیری دیوار در اینگونه ساختمان‌ها شده است(شکل ۱۱). (مرکز تحقیقات ،۱۳۷۰ ص۲۶۱)



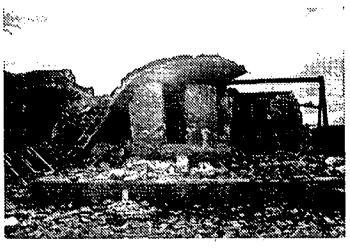
تصویر۱۱

**ه- دیوارهای باربر** - در این دیوارها عدم توجه به توصیه‌های آیین‌نامه در مورد قرار نگرفتن درزهای قائم آجرها در امتداد یکدیگر، داشتن قفل و بست - هشت‌گیر - و پر شدن درزهای قائم ملات (هرزه ملات) موجب شده است که دیوارها در همین امتداد و محل دچار آسیب شوند . (شکل ۱۲)



تصویر۱۲

جدا شدن آجر از ملات، بدون آنکه اثری از ملات بروی آن باقی بماند نشان از ضعف ملات و زنجابی نشدن آجرها در زمان اجرا دارد. میزان تناسب سطح بازشوها نسبت به کل سطح دیوار نیز از عوامل مهم پایداری دیوارها است.



تصویر۱۳

این نسبت‌ها نه تنها در رفتار ساختمان‌های قدیمی که در ساختمان‌های نوساز نیز تاثیر گذارده است.(شکل ۱۳) (آئین‌نامه ۲۸۰۰).

از بررسی‌های محلی و مقایسه دیوارهای تخریب شده و نیز مقایسه میزان آسیب‌دیدگی آنها تردیدی باقی نمی‌ماند که اجرای انواع اندودهای سیمانی و یا اجرای سنگ پلاک روی دیوار (به علت دوغاب‌ریزی پشت سنگ) نقش مهمی در افزایش پایداری دیوارها داشته‌اند و در مجموع آسیب‌های وارده به این دیوارها نسبت به دیوارهایی که بدون هیچ‌گونه اندود نما ساخته شده‌اند به مراتب کمتر بوده است.

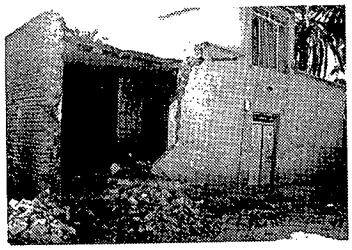
## ۲- سقف

در بررسی آسیب‌های وارده ناشی از عملکرد سقف بر ساختمان‌های خسارت‌دیده از زلزله، در ساختمان‌های سنتی ساخته شده از خشت و گل، سقف های گنبدی (با پلان مربع) و یا نیم استوانه (با پلان مستطیل) بدون هر گونه عنصر متصل کننده کششی یا مهاری روی دیوار قرار گرفته بودند. در این صورت است که با عدم انسجام و یکپارچگی سقف، عدم وجود تکیه‌گاه‌های مطمئن برای سقف و مصالح سنگین با مقاومت نسبی بسیار کم (عدم مقاومت در کشش اعمال‌شده) موجب شده‌اند که با توجه به بزرگی زیاد زلزله، این‌گونه ساختمان - با تعداد بسیار زیاد - تخریب گسترده و فراگیر داشته باشد(مرکز تحقیقات،۱۳۷۶ ص۱۲۵). در ساختمان‌های نسبتاً نوساز اجرای سقف با طاق ضربی فراگیر بوده و تنها در چند مورد از تیرچه بلوک استفاده شده که بیشتر در ساختمان‌های اسکلت بتنی بوده است. علاوه بر این موارد باید به چندمورد اجرای سوله اشاره کرد که مشکل ویژه‌ای ازنظر سقف نداشته‌اند و نیز در یک مورد تعدادی سقف نوساز -به شکل قوسی مشابه سنتی- که علیرغم تمهیدات در نظر گرفته شده به علت عدم احراز یکپارچگی لازم- به دلیل اجرای غلط و نامناسب - با مجموعه ساختمان، اغلب از تکیه‌گاه خود جدا شده و تعدادی نیز فرو ریخته‌اند.(شکل ۱۴)

تصویر ۱۴

**الف - طاق ضربی** - آسیب‌های ناشی از تنش‌های اعمال شده درزلزله در این سقف ها از بروز چند ترک تا فروریختن کامل آن متغیر و متفاوت است. در ناهنجاری‌های بوجود آمده و خسارت های وارد شده نقش اجرای نامناسب و عدم توجه به آیین‌نامه و اصول اولیه ساخت اینگونه سقف‌ها بسیار چشمگیر است.

ساختمان‌های بسیار زیادی با سقف طاق ضربی ساخته شده‌اند که به هیچیک از توصیه‌های آیین‌نامه مربوط به زلزله کوچکترین توجهی نشده است. ساختمان‌هایی که نه دارای مهاربندی‌های ضربدری در سطح سقف، نه دارای تکیه‌گاه مناسب برای تیرها و دهانه آخر و نه دارای کلافبندی افقی در زیر سقف هستند. بدین‌ترتیب است که در تمام منطقه زلزله‌زده مواجه شدن با هر گونه ناهنجاری و آسیب در این سقف ها دور از انتظار نیست.



تصویر ۱۵

عدم استفاده از پاطاق و یا استفاده از پاطاق ضعیف و عدم مهاربندی در دهانه آخر طاق‌های ضربی موجب اعمال رانش سقف در این دهانه‌ها و فروریختن آن شده است (شکل ۱۵).

عدم وجود کلاف افقی به عنوان تکیه‌گاه تیرهای طاق ضربی، عدم مهار تیر در تکیه‌گاه و تمرکز تنش در محل استقرار روی دیوار در برخی نقاط موجب حرکت نسبی اجزای سقف نسبت به یکدیگر و در نتیجه فروریختن کامل آن شده‌است.(شکل ۱۶)

تصویر ۱۶

قابل ذکر است که در هیچیک از سقف‌های طاق ضربی اجرای مهاربندی ضربدری مشاهده نشده است(آیین نامه ۲۸۰۰). و این سوال مطرح می شود که آیا همانگونه که در مقدمه اشاره شد، گمان همگان این نبوده است که در آن محل - با توجه به سابقه طولانی - هرگز زلزله‌ای به وقوع نخواهد پیوست و بدین جهت اجرای این ضربدری (که برای پیشگیری از آسیب‌های .....عنوان می شود) لازم نیست؟.

## ۳- کلافبندی

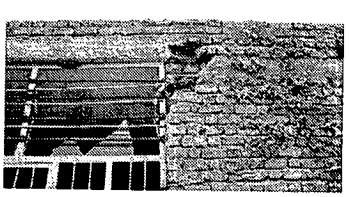
اهمیت و نقش کلافبندی در پایداری سیستم‌های مقاوم در برابر زلزله، به ویژه در ساختمان‌های بنایی و غیرمسلح، قابل انکار نیست. از همین رو است که آیین‌نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله - آئین‌نامه ۲۸۰۰ - اجرای

کلاف های افقی را در تراز زیر دیوار و روی دیوار در تراز سقف و نیز کلاف های قائم را در فاصله‌های حداکثر ۴ متر در طول دیوار و ترجیحاً در تقاطع دیوارها در ساختمان‌هایی با مصالح بنایی الزامی دانسته است(آیین نامه ۲۸۰۰). در میان ساختمان‌های ساخته شده با دیوار باربر به غیر از تعداد انگشت‌شماری که با کلافبندی مناسب ساخته شده‌اند - و پایداری خود را نیز حفظ کرده‌اند - کمتر دیوار باربری همراه با کلافبندی اجرا شده است که به این دلیل و نیز با توجه با فراوانی ساختمان‌های ساخته شده با دیوار باربر متاسفانه آسیب‌های وارده بسیار زیاد و گسترده بوده است در این مورد می توان به عدم رعایت آیین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله در مراحل اجرای شهرک رجایی و شهرک جدید جانبازان - با تخریب ۱۰۰٪ - اشاره کرد. بر اثر حرکت‌های جانبی ناشی از زلـزلـه، دیوارها که بدون هیچگونه تمهید ویژه‌ای از نظر کلافبندی ساخته شده‌اند به راحتی جابه‌جا شده و فروریخته‌اند. در برخی موارد نیز که احداث کلاف های افقی و قائم به چشم می‌خورد، کلاف ها نتوانسته‌اند نقش خود را جهت پایداری مجموعه و پیوستگی اجزاء بر عهده گیرند و آسیب‌ها و ناهنجاری‌های فراوان و گوناگونی به چشم می‌خورد که به شرح زیر می‌توان به آنها اشاره کرد:

تصویر ۱۷

**الف - کیفیت بتن** - موارد متعدد تخریب و ناهنجاری‌ها در نقاط مختلف کلاف نشانگر کیفیت نامطلوب بتن است. مصالح نامرغوب، دانه‌بندی نامناسب، مقدار کم سیمان، میزان زیاد آب و ویبره نشدن - و در نتیجه تخلخل و پوکی بتن- از جمله عوامل موثر در ایجاد این ناهنجاری‌ها هستند. (شکل ۱۷)

**ب - آرماتورگذاری** - علاوه بر نوع آرماتور باید به چگونگی اجرا و میزان آرماتورها در داخل کلاف ها اشاره کرد. در بسیاری از موارد عدم دقت در اجرا، صرفه‌جویی در مصرف آرماتورها و... موجب بروز ناهنجارها بسیاری شده‌اند که به برخی از این عوامل به شرح زیر می‌توان اشاره کرد:


تصویر ۱۸

• عدم توجه به علت وجودی کلاف و برداشت غلط از عملکرد آن موجب شده است که در هر نقطه ازکلاف - به هر دلیل و به دلخواه- اقدام به قطع آن شود (شکل ۱۸)

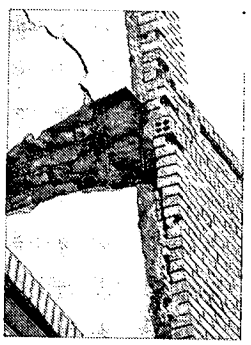
• مقطع و تعداد میلگردها به نسبت مقطع بتن نامناسب است و در مواردی نیز کلاف های بتنی با یک و حتی بدون آرماتور اجرا شده‌اند. (شکل ۱۹)

تصویر ۱۹

• فاصله بیش از اندازه مجاز میان خاموت ها (که به کمانش موضعی کلاف و ترکیدگی بتن انجامیده است). گاهی فاصلهٔ میان خاموت ها به اندازه‌ای زیاد است که اصولاً در فاصلهٔ نسبتاً طولانی موضع تخریب خاموتی دیده نمی‌شود. (شکل ۲۰و۲۱)

تصاویر ۲۰و۲۱

• عدم همپوشانی آرماتورهای کلاف- در ساختمانی تیپ که به تعداد ساخته شده است، نه تنها همپوشانی وجود نداشته است بلکه حتی میلگردهای طولی بلافصل یکدیگر نبوده و با فاصله کار گذاشته شده‌اند. (شکل ۲۲)


تصویر ۲۲

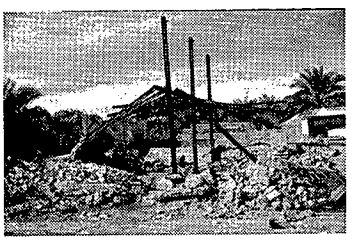
**ج - عملکرد** - در برخی از ساختمان‌های ساخته شده با دیوار باربر که در آنها از کلاف های قائم استفاده شده است توجه کافی به دستورالعمل‌های لازم در این مورد (فاصله کلاف ها، محل آنها، چگونگی اتصال و یکپارچگی آنها با دیوار و ... ) به عمل نیامده و علیرغم اجرای نسبتاً مناسب کلاف ها - در صورت نگاه مجرد به آنها - به

تصویر ۲۳

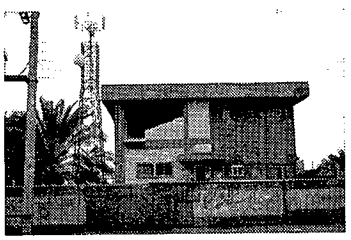
دلیل در نظر گرفته نشدن نقش آنها در مجموعه و اهمیت ترکیب و ترتیب آنها، از ایفای نقش اصلی خود بازمانده‌اند .(شکل ۲۳)

## ٤- اسکلت ساختمان

علاوه بر سازه ترکیبی - اسکلت فلزی و دیوار باربر- که هیچیک نتوانسته اند مقاومت مناسبی از خود نشان دهند و تماماً فرو ریخته اند (شکل ۲۴)، در بسیاری از ساختمان‌های نوساز منطقه از دو سازه فلزی و بتنی استفاده شده است. آنچه که در این مورد قابل توجه است مقاومت نسبی بهتر ساختمان‌های اسکلت بتنی نسبت به ساختمان‌های اسکلت فلزی در رویارویی و مقاومت در برابر تنش‌های ناشی از زلزله است. ساختمان‌های اسکلت بتنی گرچه از نظر تعداد بسیار کمتر از ساختمان‌های با اسکلت فلزی هستند ولی این تعداد کم پایداری نسبی بیشتری را ازخود نشان داده‌اند و اگر آسیب دیده‌اند، مانند بسیاری از موارد ساختمان‌های اسکلت فلزی سقف بر سر ساکنان فرود نیامده است و آسیب‌هایی در حد آیین‌نامه بوده که حفظ جان انسان‌ها را در اولویت قرار داده است. (شکل ۲۵).



تصویر ۲۴



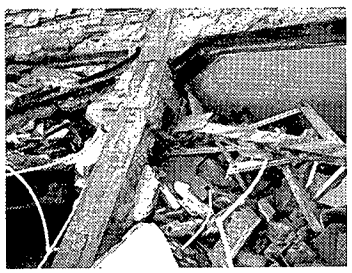
تصویر ۲۵

بی‌تردید برآورد شدت زلزله - که مشاهده‌ای و غیردستگاهی است - بستگی به عوامل گوناگونی چون فاصله کانونی مکان موردنظر، عمق کانونی، مدت دوام زلزله، نوع خاک، عمق سنگ کف ساختمان، عمق سطح ایستایی و ... از دیدگاه علم زمین‌شناسی دارد. اما آنچه که در نتیجه بررسی‌ها باید مورد توجه مهندسین قرار گیرد تفاوت قابل توجه مقاومت این دو گونه سازه در یک فرآیند است. این نکته از آن رو اهمیت می‌یابد که در زلزله اردیبهشت ۱۳۷۶ منطقه قائنات - جنوب خراسان - با بزرگی ۷/۶ ریشتر که تقریباً همانند بزرگی زلزله بم است، نه تنها موضوع مشابه نبود بلکه بررسی‌ها خلاف آن را نشان می‌دهد. بدین‌ترتیب که در مجموع، اسکلت‌های فلزی مقاومت بهتر و بیشتری نسبت به اسکلت‌های بتنی از خود نشان داده بودند.

در زلزله منطقه بم بیشتر ساختمان‌های ساخته شده با اسکلت فلزی آسیب جدی دیده‌اند. بررسی میدانی این ساختمان‌ها نشان می‌دهد که آسیب‌های وارده ناشی از موارد مختلفی هستند که فراوانی برخی از این نشان‌ها بسیار معنی‌دار است.

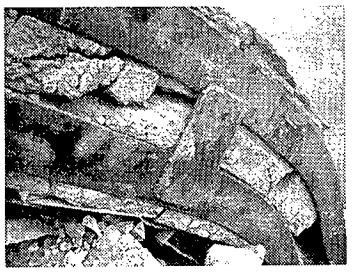
تصویر ۲۶

- جابه‌جایی طبقات فوقانی روی طبقه مرتفع همکف (طبقه نرم) با خم شدن و پیچیدن ستون ها در طبقه همکف (شکل ۲۶).



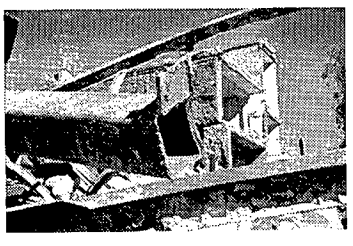
تصویر ۲۷

- عمل نکردن بادبندهای ضربدری داخل قاب به علت رها شدن ورق اتصال بادبند از محل جوش (شکل ۲۷).



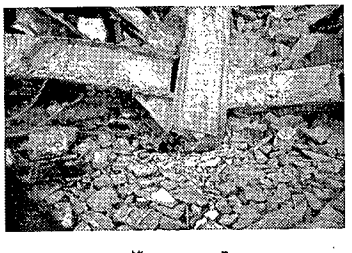
تصویر ۲۸

- عدم تحمل تنش‌های وارده بر صفحات اتصال نیمرخ های فلزی ستون مشبک به یکدیگر و رهاشدن جوش (شکل۲۸).



تصویر ۲۹

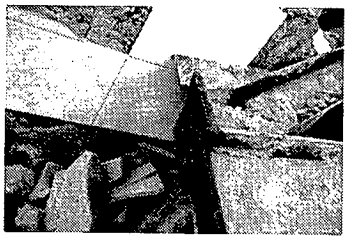
- عدم اتصال مناسب ستون به صفحه زیر ستون (بیس پلیت) و جدا شدن از آن (شکل۲۹).



تصویر ۳۰

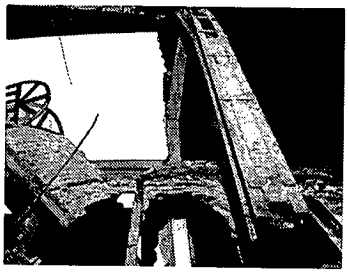
- عدم مقاومت ستون فلزی در برابر نیروی برشی اعمال شده در تراز زیر سقف (شکل۳۰).

• عدم مقاومت کافی اتصال تیر به ستون و رهاشدن از محل جوش (شکل ۳۱)



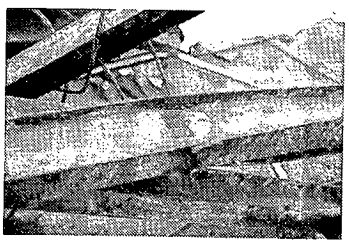
تصویر ۳۱

• عدم اتصال تیرهای فرعی به تیر اصلی و تیر اصلی به ستون (شکل ۳۲).



تصویر ۳۲

در یافتن علت جابجایی طبقات فوقانی بر روی طبقه همکف - طبق نرم - گرچه توجه به مراحل مختلف شکل‌گیری ساختمان به ویژه نقشه‌های معماری و محاسبات آن ضروری است - زیرا در حالی که تعدادی ساختمان از روی طبقه همکف جابه‌جا شده و پاپیچ خورده‌اند، تعدادی دیگر بدون

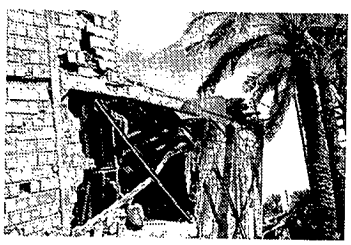


تصویر ۳۳

بروز این مشکل پابرجا باقی مانده اند - اما به هر ترتیب شروع این حرکت را باید در مرحله اجرای ساختمان و نظارت آن جستجو کرد. گسیختگی اتصال جوش در یک نقطه - بادبند - موجب شده است که فشار وارده بر گرهٔ اتصال تیر و ستون افزایش یابد و تمرکز تنش تغییر شکل ستون را در محل اتصال به دیافراگم سقف به دنبال داشته باشد. عدم جوشکاری مناسب نه تنها در عدم کارآیی مناسب این بادبندها دخالت داشته بلکه در اتصال تیر و و ستون و نیز تیرهای اصلی و فرعی به یکدیگر هم مؤثر بوده و موجب عدم انتقال و توزیع مناسب بار و گسیختگی در محل اتصال شده است. (تصاویر ۳۳ و ۳۴)

تصویر ۳۴

در ساختمان های ساخته شده با تیرچه بلوک نیز رها شدن اتصال جوش وعدم اجرای میلگرد مورب جهت انتقال برش و مسلح نمودن منطقه اتصال تیرچه به اسکلت فلزی تاثیر مشابهی داشته است (شکل ۳۵).



تصویر ۳۵

## نتیجه‌گیری

۱. زلزله مانند ظهور و نشان یک پدیده قابل رؤیت و احساس است که در مقیاس زمان زمین‌شناسی تکرار می‌شود. پس اگر وقوع زلزله‌های جدید را در مناطقی که پیشتر زلزله در آن اتفاق افتاده است قطعی بدانیم، به آن معنی نیست که از عدم بروز زلزله در منطقه‌ای که تا به حال در آن زلزله اتفاق نیافتاده است مطمئن هستیم. (در کشور فرانسه محاسبه زلزله تاسیسات ساختمان‌های طبقه‌بندی شده، حتی در مناطق با احتمال صفر زلزله، اجباری است). بدین‌جهت، به دلیل ناتوانی در پیش‌بینی دقیق و ممانعت از بروز زلزله - که بدون تردید مدت های مدیدی ادامه خواهد داشت - باید به محدود کردن خسارت های ناشی از آن پرداخت. این حرکت با شناخت دقیق از کنش زلزله، بوجود آمدن زلزله، شکل گیری و پخش امواج، ثبت امواج و... شروع و به احداث ساختمان های مقاوم در برابر زلزله منجر و با نگهداری مناسب ادامه یابد.

۲. حفاظت در برابر زلزله و تمامی حرکت هایی که در این راستا صورت می گیرد بستگی به میل حرکت دولت در این زمینه دارد که به وضع آیین نامه ها، دستور العمل ها و چاپ و نشر آن می پردازد ( و مجامع علمی نیز به سهم خود جهت وضع فرم ها و انتشار مدارک علمی لازم به منظور به کارگیری و درک قوانین وضع شده حرکت می کنند). اما یک آیین نامه هر قدر هم پیشرفته باشد، بدون شناخت محدودهٔ کاربرد و تاثیر عملی آن در ساختمان سازی نمی تواند مؤثر واقع شود. امروز ما از مجموعهٔ توانایی هایی علمی، فنی و کاربردی لازم جهت "ساختمان سازی مقاوم در برابر زلزله" یعنی توان محدود ساختن عوارض زلزله برخوردار هستیم، یعنی هنر ساختن به شکلی که ساختمان، هر قدر هم آسیب دیده فرو نریزد. با این وجود در طی کمتر از سه دهه گذشته که با چهار زلزله نسبتاً قابل توجه در نقاط مختلف این مرز و بوم مواجه شدیم، میزان تلفات و خسارت ها به قدری زیاد بود که بسیار دور از ادعاهای یاد شده هستیم.

آیا ضعف را باید در کدام نقطه از مسیر شکل گیری ساختمان جستجو کرد؟ در مبانی و اصول شکل گیری ساختمان، در طراحی معماری، در محاسبات فنی در اجرا و یا نگهداری؟. و شاید در همه موارد؟ روشن است که شکل گیری کالبدی ساختمان ها با گذر از فراز و نشیب هایی چون زنجیر پیوسته و وابسته ممکن گردیده است. بی تردید نمی توان مشکلات و محدودیت های زمانی، مکانی، اقتصادی، نیروی انسانی کارآمد و ... را نادیده گرفت. اما زمانی که تلاش ها می روند که به بار بنشینند و ساختمان شکل گیرد، غفلت و بی توجهی به چگونگی شکل گیری دور از عقل و انتظار می نماید. خسارت های ناشی از اجرای نامناسب ساختمان - علاوه بر خسارت هایی که ناشی از روند برنامه ریزی و طراحی آن است - در تمام عناصر و اجزای ساختاری آن به چشم می خورد. در مرحله اجرا، علاوه بر وجود نیروی انسانی متخصص که به آسانی قابل حل بوده است (با توجه به فاصله کمتر از دو ساعت از شهر کرمان) و استفاده از مصالح مرغوب که شواهد بر امکان پذیر بودن آن دلالت می کند(ساختمان هایی که با مصالح بسیار خوب در محل ساخته شده اند). بیشترین مشکل را باید در عدم التزام عملی به آیین نامه ها دانست.

اینکه نقشه های اجرایی و محاسبات ساختمان های جدیدالاحداث فروریخته تا چه میزان منطبق بر ضوابط بوده است امری است که می باید توسط مسئولین امر پیگیری شود و مانندستورالعمل های بدون ضمانت اجرایی، باری به هر جهت از آن نگذرند. اما در این میان به نظر نمی رسد که نقشه ای اجرایی فاصله خاموت را بیش از ۶۰ سانتی متر ذکر کند و ممتد بودن آرماتورها(و اصولاً حضور آنها را ) لازم نشمارد. بدین ترتیب باید به نقش درخور توجه و انکارناپذیر اجرا و نظارت - که بسیار کمرنگ بوده است - توجه کرد و باید امر نظارت بر اجراء که قوانین و ضوابطی دقیق بر آن مترتب نیست، قانونمند گردد. و در پایان پاسخ به این سؤال باقی می ماند که اگر مجری ساختمان تخریب شده خود به نوعی واضع آیین نامه باشد تکلیف چیست؟.

**پیشنهاد**: توصیه آن است که مانند بسیاری از کشورهای دیگر ساختمان در برابر هرگونه آسیب ناشی از مراحل نظارت و اجرا، به قیمت روز، بیمه اجباری شود. بدین ترتیب شرکت های بیمه به عنوان بخش خصوصی که منافع مالی خویش را دنبال می کنند به شکل مناسبی بر چگونگی امر نظارت و اجرا نظارت عالیه خواهند داشت که نتیجهٔ آن، علاوه بر کم شدن تصدی بخش دولتی، بسیار چشمگیر و غیر قابل قیاس با وضعیت کنونی خواهد بود.

دیگر آنکه نظر به ویژگی های این سرزمین و شرایط حاکم بر کشور و با عنایت به اینکه در بسیاری از نقاط امکان منع ساخت وساز به شیوه سنتی وجود ندارد. لازم است که در کوتاه ترین زمان ممکن جهت اینگونه ساختمان ها ضوابط وآیین نامه هایی تدوین و به شکل موثری لازم الاجرا گردند.

**فهرست منابع:**

پژوهشکده بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، گزارش مقدماتی شناسایی زلزله، دیماه ۱۳۸۲ .....، تهران، ۱۳۸۲
ثقفی، محمدجواد، بررسی آسیب های ناشی از اجرای نامناسب در ساختمان های خسارت دیده از زلزله منطقه قائنات، مجله هنرهای زیبا، شماره ۴و۵ سال ۱۳۷۸، ص ۶۲-۷۲
دیویدوویچی، ویکتور، ساختمان سازی در مناطق زلزله خیز، لومونیتور، پاریس، ۱۹۹۹

کرمی، محمدجعفر، زلزله و ساختمان، انتشارات کرمیت پاریس، تهران، ۱۳۷۸
مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، آئین نامه طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله (۲۸۰۰)، تهران
مرکزتحقیقاتساختمان‌ومسکن، سوانح، پیشگیری‌وامداد، تهران، ۱۳۶۸
مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، کنفرانس آزاد زلزله ۳۱ خردادماه ۱۳۶۹ منجیل، تهران، ۱۳۷۰
مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، زمین‌لرزه ۲۰ اردیبهشت ۱۳۷۶ زیرکوه قائنات، تهران، ۱۳۷۶
وزارت امور خارجه، سیستم‌های حفاظت در مقابل زلزله برای ساختمان‌های روستایی، موسسه چاپ وانتشارات تهران، ۱۳۷۲

دیگر منابعی که در نگارش این مقاله مورد استفاده قرارگرفته‌اند:
اداره‌کل‌مسکن‌وشهرسازی‌آذربایجان‌شرقی-مجموعه مقالات سمینار مهندسی زلزله و مصالح ساختمان
مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن -بازطراحی، تعمیر و تقویت ساختمان‌ها در نواحی زلزله خیز
مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن-ساختمان در مناطق زلزله خیز
مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن-ساختمان مسکونی مقاوم در برابر زلزله
مرکز مطالعات مقابله با سوانح طبیعی ایران- ارزیابی‌رفتارسازه‌های‌منطقه زلزله‌زده قائنات