# فصل چهارم

# اثر زلزله بر ساختمانها

۴-۱- مقدمه
۴-۲- ساختمانهای خشتی
۴-۳- ساختمانهای مصالح بنایی
۴-۴- ساختمانهای فولادی
۴-۵- ساختمانهای بتن مسلح
۴-۶- اجزای غیرسازه ای
۴-۷- آموخته ها
۴-۸- مراجع

## ۴-۱- مقدمه

ساختمانهایی که در منطقه زلزله زده قرار داشتند را می توان به گروههایی شامل ساختمانهای خشتی مصالح بنایی، فولادی و بتنی مسلح دسته بندی نمود که این گروه شامل ساختمانهای خشتی و بنایی بیش از ۹۰ درصد ابنیه و سازه های منطقه را در برمی گیرند. هر یک از این گروههای ساختمانی، از نظر مصالح بکار برده شده، نحوه اجرا، تاریخچه ساخت و قدمت، توزیع مکانی در منطقه و خسارانی که در زلزله متحمل گشتند شرایط ویژه ای را دارا بودند که آنها را با دسته های دیگر متفاوت می نمود. قسمت اعظم این ساختمانها را منازل مسکونی اهالی به خود اختصاص داده و ساختمانهای غیرخصوصی و عمومی درصد پائینی از آنها را شامل می شدند. در بخش مسکونی ساختمانهای خشتی و مصالح بنابی بیش از ۹۰ درصد ساختمانها را شامل می‌شد و در صد بقیه به ساختمانهای اسکلت فولادی و بتنی مسلح اختصاص داشت. ساختمانهای بتنی مسلح به ندرت در بافت مسکونی یافت می‌شد. بیش از نیمی از ساختمانهای عمومی و دولتی و تجاری شهر بم ومناطق زلزله زده اطراف را ساختمانهایی با اسکلت فولادی و بتنی تشکیل می دادند. در این فصل پس از اشاره ای کوتاه به تاریخچه ساخت، مصالح ساختمانی بکار برده شده، نحوه اجرایی و مسائل آن و توزیع مکانی ساختمانها در منطقه به حالتهای مختلف شکست و خرابی یا مدهای گسیختگی، به تفکیک نوع ساختمانها اشاره شده و در انتها به عملکرد مطلوب آن دسته از ساختمانهایی که در زلزله دچار آسیب نشدند پرداخته می‌شود.

## ۴-۲- ساختمانهای خشتی

ساختمانهای خشتی و گلی که رقم بالایی از ساختمانهای منطقه را تشکیل می‌داد؛ از نظر قدمت، توزیع جغرافیایی، نوع‌مصالح و نحوه اجرا ازویژگیهای‌خاصی برخوردار بودندکه دراینجا به آن پرداخته می گردد.

### ۴-۲-۱- تاریخچه ساخت

ساختمانهای خشتی و گلی از قدیمی ترین ساختمانها در منطقه به شمار میروند. به نظر می رسد در حدود ۱۵۰سال پیش و پس از آنکه مردم قریه بم، بخشهای مسکونی ارگ بم را ترک کردند، ساخت این ابنیه در شهر بم و آبادیهای اطراف به تدریج رواج پیدا کرد [۴-۱]. ساخت و ساز با این گروه از ساختمانها عمدتاً تا حدود سال ۱۳۳۵ ادامه داشته و پس از ورود آهن به بازار ایران به تدریج جای خود را به ساختمانهای آجری با طاق ضربی دادند. پس از آن این نوع ساخت و سازها بیشتر در حد مرمت و بازسازی منازل قدیمی خشتی شامل سقف ها و نازک کاری ها ادامه پیدا نمود.

### ۴-۲-۲- توزیع ساختمانها در منطقه

از نظر توزیع مکانی و جغرافیایی، ساختمانهای خشتی و گلی در شهر بم بیشتر در شمال شرق شهر و در اطراف ارگ بم تمرکز یافته و به تدریج به اطراف و خصوصاً در محدوده مرکز شهر گسترش پیدا کردند. در

بافت قدیمی و میانه شهر بم غیر از حاشیه خیابانهای اصلی، در داخل کوچه ها این نوع ساختمانها فراوان به چشم می خوردند . در روستاها بیش از ۵۰٪ ابنیه را این دسته تشکیل داده و به صورت مسکونی از آنها استفاده می‌شد.

### ۴-۲-۳- مصالح و نحوه اجرا

ساختمانهای خشتی و گلی در منطقه از واحدهای بنایی خشت خام در ابعاد مختلف و ملات گل ساخته می شدند. اندود کاه و گل بعنوان نازک کاری داخل خانه های گلی را پوشش می داد. در شهر بم اندود گچ پرداختی نیز در دوره های مختلف بازسازی به لایه های زیرین نازک کاری اضافه می گردید. سقف این منازل نیز عموماً از بلوک های خشتی و ملات گلی بوده و ندرتاً از تیرهای چوبی استفاده می شد.
دیوارهای باربر با ضخامت بیش از ۵۰ سانتیمتر و در دو طرف یک اتاق قرار داشت. سقف ها بیشتر به دو صورت گنبدی با پلان مربع و بصورت نیم استوانه با پلان مستطیلی اجرا شده بود که در دو ضلع کوچک به شکل خاصی به دیوارهای جانبی ختم می شد. اتصال سقف با دیوارها معمولا بدون المانهای متصل کننده و کش یا مهار صورت می گرفت.

### ۴-۲-۴- خسارات وارده از دیدگاه سازه ای

ساختمانهای خشتی و گلی عمدتاً دچار خسارات شدید و فروریختگی کامل گردیدند. در منطقه زلزله زده تعداد معدودی ساختمان خشتی با خسارات جزئی مشاهده شد. در نتیجه تشخیص مدهای شکست مشکل می‌باشد. با این حال مدهای شکست زیر در این دسته از ساختمانها قابل اشاره است:

#### ۴-۲-۴-۱- *ایجاد ترک و جدا شدن دیوارها از یکدیگر*

در نواحی با شدت لرزش کمتر، این مد شکست به چشم می‌خورد. بدلیل عدم انسجام بین دیوارها و مقاومت کششی اندک ملات گل، دیوارها در محل تلاقی با یکدیگر، ترک خورده، از هم جدا شده و موجب تضعیف ساختمان گردیدند.

#### ۴-۲-۴-۲- *ایجاد ترک و جدا شدن دیوار غیرباربر از سقف*

شکل (۴-۱) حالت خرابی مذکور را بوضوح نشان می‌دهد. بدلیل عدم اتصال مناسب بین سقف و دیوار مانند کلاف و نیروی محوری کم دیوارهای غیرباربر، تحت اثر بارهای جانبی این ترکها ایجاد شده و دیوار از سقف جدا شده است.. در این حالت دیوار به سمت فروریختگی خارج از صفحه پیش رفته است.

#### ۴-۲-۴-۳- *فروریختگی خارج از صفحه دیوارها*

در ساختمانهای خشتی که بطور کامل تخریب نگردیدند، این حالت شکست بیش از سایرین به چشم می‌خورد. دیوارهای غیرباربر که در دو انتهای اتاق های با طاق رومی (سقف نیم استوانه ای) قرار دارند،

بدلیل عدم اتصال مناسب با سقف و دیوارهای باربر کناری خود دچاراین فروریختگی گردیدند. شکل (۴-۲) نمونه ای از فروریختگی خارج از صفحه را نشان می‌دهد.

### ۴-۲-۴-۴- ترکهای مورب قطری در کنار بازشوها

بدلیل ضعف مقاومت کششی در مصالح خشت و گل، ترکهای کششی مورب در دیوارها ایجاد گردید. این ترکها معمولاً بین بازشوها و جایی که بازشوها به دیوار انتهایی یا سقف نزدیک بوده اتفاق افتاد. شکل (۴-۳) نمونه ای از این نوع خسارت را در ساختمانهای خشتی و گلی نشان می‌دهد.

### ۴-۲-۴-۵- تخریب دیوارهای باربر و فروریختن سقف

شکل (۴-۴) تخریب دیوارهای باربرخشتی را نشان می‌دهدکه بدنبال آن‌سقف نیز فرو ریخته است.

### ۴-۲-۴-۶- فروریختن طاق ها

در بسیاری از سقف های طاق پوش با دهانه بزرگ، با تغییر مکان جانبی دیوارهای باربر یا پایه ها، سقف ها فروریختند. این مطلب در سقف های قوسی بیشتر به چشم می‌خورد. شکل (۳-۵) نمونه ای از این نوع خسارت را نشان می‌دهد. در شکل (۴-۶) گسیختگی درپوسته یک سقف گنبدی دیده می شود.

### ۴-۲-۴-۷- فروریختگی کلی ساختمان

در بسیاری از موارد ساختمانهای خشتی بدلیل کمبود مقاومت کافی بطورکلی دچار گسیختگی و فروریختگی گردیدند. شکل (۴-۷) نمونه ای از فروریختگی کلی ساختمانهای خشتی را نشان می‌دهد.

**شکل (۴-۱): ایجاد ترک و جدا شدن دیوار غیرباربراز سقف در ساختمانهای خشتی**

**شکل(۴-۲): فروریختگی خارج از صفحه دیوار در یک ساختمان خشتی**

**شکل(۴-۳): ترکهای مورب قطری کنار بازشو باربردر دیوارهای خشتی**

**شکل (۴-۴): تخریب دیوارهای خشتی و فروریختن سقف**

**شکل (۴-۵): فروریختن یک طاق قوسی در ساختمانهای خشتی**

**شکل(۴-۶): گسیختگی و فروریختگی جزئی در یک سقف گنبدی خشتی**

**شکل (۴-۷): فروریختگی کلی در ساختمانهای خشتی**

## ۴-۳- ساختمانهای مصالح بنایی

ساختمانهای مصالح بنایی عمدتاً شامل ساختمانهای آجری و بلوک سیمانی در دو دسته بدون کلاف بندی و با کلاف بندی در منطقه وجود داشتند. این ساختمانها که نیمی از ساختمانهای شهر بم، بروات و روستاهای اطراف را شامل می‌شدند از نظر تاریخچه ساخت، مصالح مصرفی و نحوه احرا دارای خصوصیاتی هستند که در این قسمت به آنها پرداخته می‌شود.

### ۴-۳-۱- تاریخچه ساخت

پس از ورود آهن به بازارهای منطقه و ساخت کوره های آجرپزی ساختمانهای خشتی و گلی به تدریج جای خود را به ساختمانهای مصالح بنایی دادند. به نظر می‌رسد این تغییر از سالهای۱۳۳۰الی۱۳۴۰ آغاز گردید و رو به گسترش نهاد. این تغییرات از ساختمانهای حاشیه خیابانهای شهر آغاز گردیده و در نواحی مسکونی نیزادامه داشته است. به نظر می رسد بعد از انتشار آئین نامه۲۸۰۰ زلزله ایران درسال ۱۳۶۸ [۴-۳] به تدریج ساخت ساختمانهای بنایی کلاف دار در منطقه رواج پیدا نمود. البته در مجموع تعداد اینگونه ساختمانها زیاد نبوده و کمتر از حدود ۲۰٪ ساختمانها را تشکیل می‌داد. متاسفانه در دهه ۶۰ خورشیدی بعد از واگذاری زمینهای در حاشیه شهر بم به افراد کم بضاعت سازمانها و نهادهای انقلابی اجازه داده شد ساختمانهای بنایی بدون کلاف بسازند که این امر موجب گردید در شهرکهای نظیر شهرک رجایی، تقریبا صد در صد ساختمانها دچار فرو ریزش کامل گردد. این موضوع در مورد شهرک جدیدالاحداث جانبازان نیز تکرار شد.

### ۴-۳-۲- نوع مصالح و نحوه اجرا

واحدهای ساختمانی در ساختمانهای مصالح بنایی منطقه شامل آجر قزاقی (گری) و بلوک سیمانی بوده و دیوارهای آجری عمدتاً با ملات گل، ملات ماسه آهک و ندرتاً یا ملات ماسه سیمان اجرا شده بود. برای پوشش سقفها نیز عمدتاً از تیرآهن و طاق ضربی استفاده شده بود. در اکثر موارد سقف ها فاقد مهاربندی افقی بوده و تیرچه ها مهار نشده بودند. همچنین تیرچه ها روی دیوارها بدون هیچگونه اتصالی قرار گرفته و کلافی در این میان دیده نمی شد. کلاف بندی قائم نیز ندرتاً یافت می شد و کلاف افقی بدون میل گرد یا با ملات کیفیت پایین بسیار به چشم می‌خورد.

### ۴-۳-۳- خسارت وارده از دیدگاه سازه ای

در این زلزله ساختمانهای مصالح بنایی موجود در منطقه از ۲۰٪ تا ۱۰۰٪ خسارت دیدند. مدهای مختلف شکست در آنها به صورت زیر قابل تفکیک است.

### ۴-۳-۳-۱- ایجاد ترک و جدا شدن دیوارها از یکدیگر

بدلیل عدم انسجام ساختمانهای مصالح بنایی و اتصال ناکافی در محل تلاقی دو دیوار با یکدیگر ترک ایجاد شده و دیوارها ازیکدیگرجدا می‌شدند. اشکال (۴-۸) نمونه‌ای ازاین نوع خسارت را در ساختمانهای بنایی نشان می‌دهد.

### ۴-۳-۳-۲- فروریختگی خارج از صفحه دیوارها

از آنجائیکه اتصال دیوار غیرباربر با سقف نامناسب بوده و با دیوارهای مجاور نیز قفل و بست نشده بودند دیوارها از سقف جدا شده و خمش خارج از صفحه و نهایتاً فروریختند. شکل (۸-۹) نمونه ای از این فروریختگی ها را نشان می‌دهد.

### ۴-۳-۳-۳- ایجاد ترکهای مورب کششی در کنار بازشوها

پایه های آجری بین بازشوها در دیوارهای مصالح بنایی مانند ستون کوتاه رفتار نموده و غالباً دچار ترکهای مورب کششی شدند. این ترکها که به صورت ضربدری بودند در شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است. شکل (۴-۱۱) نیز خرابی عمده در پایه های آجری بین دو بازشو را نشان می‌دهد که موجب کج شدگی سقف گردید.

شکلهای (۴-۱۲) نمونه های دیگری از ترکهای مورب ۴۵ درجه در دیوارهای پایه پهن آجری را نشان می‌دهد.

### ۴-۳-۳-۴- فروریختن دیوارهای باربر و سقف ها

دیوارهای باربر بدلیل عدم مهار جانبی و انسجام و همچنین پیچش دچار خرابی گردیدند. در اغلب موارد فروریختن دیوارهای باربر موجب فروریختگی جزئی یا کامل سقف ها نیز شدند. شکل (۴-۱۳) فروریختن یک دیوار باربر را نشان می‌دهد. احتمالا تغییر مکان جانبی زیاد و عدم وجود مهار جانبی برای این دیوار باعث فروریختن آن شده بود. علت سراپا ماندن سقف ساختمان وجود تیرچه های یکسره می‌باشد که توسط دو دیوار باربر دیگر نگهداری شده بودند. شکل (۴-۱۴) نیز نمونه دیگری از فروریختن دیوارهای باربر و بدنبال آن پایین آمدن سقف را نشان می‌دهد. در این شکل که مربوط به یک مدرسه در شهر بروات می‌باشد فروریختن جزئی سقف و فضایی که ایجاد شده، امکان زنده ماندن ساکنین احتمالی را فراهم آورد. در حالیکه گاهی اوقات تمامی دیوارهای باربر بعنوان پایه های سقف دچار گسیختگی می‌شده و موجب سقوط کامل سقف و درهم شکستن آن می‌گردند. شکل (۴-۱۵) فروریختن کامل سقف در اثر تخریب دیوارهای باربر در دو طرف را نشان می‌دهد. در شکل (۴-۱۶) سقوط یک سقف تیرچه بلوک به چشم می‌خورد که تنها بوسیله میل گرد تیرچه ها آن نگهداشته شده بود. این مورد بعلت تخریب دیوار باربر بوجود آمد.

### ۴-۳-۳-۵- از بین رفتن انسجام سقف و فروریختن آجرهای طاق ضربی

در بیشتر خرابی های مشاهده شده درمنطقه، سقف ها فاقد مهاربند افقی ضربدری یا مهار جانبی تیرچه ها بودند. این مسئله باعث گردید تا تیرچه ها تحت اثر زلزله جابجا شده و طاق ضربی آنها فرو بریزد. شکلهای (۴-۱۷) بیانگر نمونه هایی از این نوع خسارت می‌باشد.

### ۴-۳-۳-۶- شکست کلافها و فروافتادن آنها از روی دیوار

عمدتاً ساختمانهایی که دارای کلاف بندی بودند از رفتار بهتری برخوردار بوده اند. ولی بسیاری از آنها دچار خسارات شدیدی گردیدند که علت آن عدم وجود کلاف قائم، عدم اتصال مناسب و انسجام بین کلافها، بتن با کیفیت نازل فاصله زیاد خاموتهای آن بود. اشکال (۴-۱۸) نمونه هایی از این خسارت را نشان می‌دهد.

### ۴-۳-۳-۷- جدا شدن تیرهای سقف از کلاف

در اشکال (۴-۱۹) نحوه اتصال‌تیرچه های سقف طاق ضربی به یکدیگر ملاحظه می‌گردد. ظاهراً نبشی های اتصال دهنده باید نقش کلاف را بازی می‌نمودند. ولی به علت عدم مهار آنها در دیوار انسجام سقف حفظ نشد. چگونگی رفتار این اعضای کلاف گونه و شکست آنها در شکل مشهود است. نبشی های متشکل از چند المان به یکدیگر جوش شده، در محل اتصال شکسته شده و سقف انسجام خود را از دست داده بود.
اشکال (۴-۲۰) عملکرد کم و بیش مناسب کلافهای بتنی را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل (۴-۲۰-الف) پیداست، با وجود فروریختن دیوار زیر زیرین، کلاف پایدار مانده و توانسته بود سقف را نیز نگهدارد. در شکل (۴-۲۰-ب) نیز با وجود اینکه قسمتی از دیوارها آسیب دیده ولی وجود کلاف قائم توانسته بود تا حدودی از فروریختن سقف جلوگیری کند.

### ۴-۳-۳-۸- خسارت در گوشه ساختمانها و فروریختگی جزئی

شکلهای (۴-۲۱) خسارات متمرکز در گوشه دیوارها و در کنج سقف در ساختمانهای مصالح بنایی را نشان می‌دهد. یکی از این اشکال ترک خوردگی در گوشه و روند ایجاد خسارت را به خوبی بیان می کند. عدم وجود کلاف و اتصال مناسب که بتواند دو دیوار مجاور و سقف را به یکدیگر مهار نماید و گاهی پیچش جزئی ساختمان موجب بروز اینگونه خسارات گردید.

### ۴-۳-۳-۹- تغییر شکل جانبی ساختمان

شکلهای (۴-۲۲) نمونه هایی از تغییر شکل جانبی ساختمان و کج شدگی را نشان می‌دهد. عدم وجود اعضای باربر جانبی در یک جهت، بدلیل بازشوهای بزرگ که عمدتاً در مغازه ها اتفاق می‌افتد، این مد شکست را بوجود آورد. تغییر شکل زیاد باعث شکسته شدن در و پنجره ها و صدمات زیاد به نازک کاری گردید. وجود ساختمانهای مجاور از فروریختن دیوارها و سقف ها جلوگیری کرد. بهرحال عدم توجه به

ضوابط مربوط به حفظ تقارن درتوزیع دیوارهای برشی دردوجهت مندرج در آئین نامه های طراحی لرزه ای ]۴-۴[ موجب بروز این دسته از خسارات گردید.

### ۴-۳-۳-۱۰- فروریختگی کلی

بسیاری از ساختمانهای مصالح بنایی بدلیل عدم انسجام بین اجزای مختلف، کیفیت پایین مصالح، عدم بکارگیری روشهای صحیح اجرایی و دقت در اجرا، کمبود مقاومت برشی اجزای باربر جانبی، دچار خسارات عمده و فروریختگی های کلی گردیدند. شکلهای (۴-۲۳) نمونه ای از اینگونه ساختمانها را نشان می‌دهند. در عمده این ساختمانها سقف ها چند لایه ای و بسیار سنگین بودند. دیوارهای آجری با ملات گل بنا شده و به ندرت از کلاف بندی قائم و افقی در ساخت آنها استفاده شده بود. فروریختگی های کلی بدنبال تخریب دیوارهای باربر و پایین آمدن سقف اتفاق افتاد. این ساختمانها نتوانستند در حفظ جان ساکنین خود در حین زلزله انجام وظیفه نمایند.

### ۴-۳-۴- عملکرد مناسب

رعایت ضوابط آئین نامه طراحی [۴-۴]، اجرا و نظارت صحیح در حد مطلوبی توانسته بود متضمن پایداری و عملکرد مناسب ساختمانهای مصالح بنایی گردد. شکلهای (۴-۲۴) رفتار اینگونه ساختمانها را نشان می‌دهد. هر چند که تعداد ساختمانهای بنایی که کاملاً سالم و بدون آسیب مانده اند اندک بودند، ولی نشان دادند که ساختمانهای مصالح بنایی کلاف داری که طبق ضوابط آئین نامه ۲۸۰۰ ساخته شوند خواهند توانست در برابر زمین لرزه های نسبتا شدید مقاومت نمایند. این در حالیست که اینگونه ابنیه نسبتا ارزان تمام شده و تخصص و مهارت نسبتا کمی برای اجرای آنها لازم بوده و بکارگیری ملات ماسه سیمان مرغوب برای آجرچینی و کلافها، میل گرد کافی و دقت در بهم بستن کلافها، اتصال دیوارها و انسجام سقف می‌تواند باعث رفتار قابل قبول آنها در برابر زلزله گردد.

**شکل (۴-۸-الف): جدا شدن دیوارهای بنائی از یکدیگر**

**شکل (۴-۸-ب): جدا شدن دیوارهای بنایی از یکدیگر**

**شکل (۴-۸-ج): جدا شدن دیوارهای بنایی از یکدیگر**

**شکل (۴-۹): فروریختن خارج از صفحه دیوارهای بنایی**

شکل (۴-۱۰): ترک ضربدری بین دوبازشو در یک دیوار آجری

شکل (٤-١١): خرابي در پايه هاي بين بازشوها كه منجر به كج شدگي سقف در يک ساختمان بنايي گشته است

**شکل (۴-۱۲- الف): نمونه ای از ترکهای برشی مورب در دیوارهای بنایی**

**شکل (۴-۱۲-ب): نمونه هایی از ترکهای برشی مورب در دیوارهای بنایی**

**شکل (۴-۱۲-ج): نمونه هایی از ترکهای برشی مورب در دیوارهای بنایی**

**شکل (۴-۱۲-د): نمونه هایی از ترکهای برشی مورب در دیوارهای بنایی**

**شکل (۴-۱۳): فروریختن دیوار باربر در یک ساختمان بنایی**

**شکل (۴-۱۴): فروریختن دیوار باربر و کج شدگی تیرچه های سقف در یک ساختمان بنایی**

شکل (۴-۱۵): فروریختن کامل سقف در اثر تخریب دیوارهای باربر در یک ساختمان بنایی

شکل (٤-١٦): فروريختن سقف تيرچه بلوک در اثر تخريب ديوارهاي باربر در يک مسجد بنايي

**شکل (۴-۱۷-الف): فروریختن سقف ها و طاق های ضربی در ساختمانهای بنایی**

**شکل (۴-۱۷-ب): فروریختن سقف ها و طاق های ضربی در ساختمانهای بنایی**

**شکل (۴-۱۷-ج): فروریختن سقف ها و طاق های ضربی در ساختمانهای بنایی**

**شکل (۴-۱۸-الف): شکست کلافها و فروریختن آنها از روی دیوار در ساختمانهای بنایی**

**شکل (۴-۱۸-ب): شکست کلافها و فروریختن آنها از روی دیوار در ساختمانهای بنایی**

شکل (۴-۱۸-ج): شکست کلافها و فروریختن آنها از روی دیوار در ساختمانهای بنایی

شکل (۴-۱۸-د): شکست کلافها و فروریختن آنها از روی دیوار در ساختمانهای بنایی

شکل (۴-۱۸-ه): شکست کلافها و فروریختن آنها از روی دیوار در ساختمانهای بنایی

شکل (۴-۱۸-و): شکست کلافها و فروریختن آنها از روی دیوار در ساختمانهای بنایی

**شکل (۴-۱۹-الف): اتصال تیرچه های سقف با نبشی در سقف یک ساختمان بنایی**

**شکل (۴-۱۹-ب): اتصال تیرچه های سقف با نبشی در سقف یک ساختمان بنایی**

شکل (۴-۲۰-الف): نقش کلاف افقی در نگهداری سقف در یک ساختمان مصالح بنایی

شکل(۴-۲۰-ب): نقش کلاف قائم در نگهداری سقف یک ساختمان مصالح بنایی

شکل (۴-۲۱-الف): خسارت در گوشه ساختمانهای مصالح بنایی و فروریختگی جزئی

شکل (۴-۲۱-ب): خسارت در گوشه ساختمانهای مصالح بنایی و فروریختگی جزئی

**شکل (۴-۲۱-ج): خسارت در گوشه ساختمانهای مصالح بنایی و فروریختگی جزئی**

**شکل (۴-۲۱-د): خسارت در گوشه ساختمانهای مصالح بنایی و فروریختگی جزئی**

**شکل (۴-۲۲-الف): تغییر شکل جانبی و کج شدگی در ساختمانهای مصالح بنایی نیمه اسکلت**

**شکل (۴-۲۲-ب): تغییر شکل جانبی و کج شدگی در ساختمانهای مصالح بنایی نیمه اسکلت**

**شکل (۴-۲۳-الف): فروریختگی کلی در ساختمانهای مصالح بنایی**

**شکل (۴-۲۳-ب): فروریختگی کلی در ساختمانهای مصالح بنایی**

شکل (۴-۲۳-ج): فروریختگی کلی در ساختمانهای مصالح بنایی

شکل (۴-۲۳-د): فروریختگی کلی در ساختمانهای مصالح بنایی

شکل (۴-۲۴-الف): عملکرد مناسب ساختمانهای مصالح بنایی که مطابق آئین نامه طراحی واجرا شده اند

شکل (۴-۲۴-ب): عملکرد مناسب ساختمانهای مصالح بنایی که مطابق آئین نامه طراحی واجرا شده اند

شکل (۴-۲۴-ج): عملکرد مناسب ساختمانهای مصالح بنایی که مطابق آئین نامه طراحی واجرا شده اند

شکل (۴-۲۴-د): عملکرد مناسب ساختمانهای مصالح بنایی که مطابق آئین نامه طراحی و اجرا شده اند

## ۴-۴- ساختمانهای فولادی

ساختمانهای دارای اسکلت فولادی در منطقه شامل ساختمانهای ۱ الی ۴ طبقه و در چند مورد ساختمان ۵ طبقه بودند.

### ۴-۴-۱- تاریخچه ساخت

ساخت و ساز ساختمانهای فولادی با توسعه ساختمانهای اداری و از سال ۱۳۴۰به بعد در شهر بم شروع گردیده بود. به نظر می رسیدبانکها، ادارات دولتی، تعدادی از بیمارستانها، برخی مساجد و ساختمانهای بیش از دو طبقه که در حاشیه خیابانهای اصلی شهر خصوصاً در مرکز شهر از این نوع ساختمانها بود. در سالهای اخیر توسعه ساخت و ساز مناطق مسکونی با اسکلت فولادی شدت بیشتری گرفته و درصد بالایی از ساختمان سازی را به خود اختصاص داده بود [۴-۲].

### ۴-۴-۲- کیفیت مصالح و نحوه اجرا

از نظر کیفیت مصالح اسکلت فولادی باید به جوش در اتصالات اشاره نمود که در آسیب پذیری لرزه ای ساختمان تأثیر مستقیم دارد. عمدتاً کیفیت جوشکاری اسکلت خصوصاً در مورد ساختمانهای شخصی ساز با کیفیت پائین و بدون استفاده از جوشکار ماهر و نظارت فنی و لازم صورت گرفته بود. ساختمانهای اسکلت فولادی که بیشتر در شهر بم تمرکز داشته اکثراً بصورت قاب ساده توام با بادبند و گاهی بدون بادبند و به ندرت بصورت قاب خمشی اجرا گردیده بود.

پروفیل های قوطی، ستونهای تسمه ای (مشبک نردبانی) و تیرآهن دوبل با اتصال سراسری بعنوان ستون بکار رفته بودند. همچنین تیرآهن لانه زنبوری، تیرآهن تک و دوبل بعنوان تیر استفاده شده بود. برای عضو بادبند هم از نبشی تک، تیرآهن تک، ناودانی تک استفاده شده بود. سقفها در اکثر موارد بصورت طاق ضربی و کمتر بصورت تیرچه بلوک اجرا شده بود. اتصالات ساده از طریق نبشی نشیمن و نگهدارنده تأمین می شد و به ندرت نبشی جان تیر به چشم می‌خورد. اتصال خمش گیر کمتر دیده می‌شد که آنهم بدون تمهیدات لازم مانند ورقهای فارسی بر شده و جوش نفوذی اجرا شده بود. ورقهای اتصال بادبند با ابعاد ناکافی و طول جوشهای کم فراوان مشاهده می گردید. به نظر می‌رسد در طراحی ساختمانها به مسائل عمده ای چون پیچش، طبقه نرم و اثر میانقابها توجهی نشده و مهمتر از آن ساختمانهای فولادی بسیاری بدون بادبند یا هر نوع اجزای باربر جانبی ساخته شده بود.

### ۴-۴-۳- خسارات وارده از دیدگاه سازه ای

خسارت وارد بر ساختمانهای فولادی به دو دلیل عمده ضعف عمومی مجموعه و ضعف های موضعی ایجاد شدند.

### ۴-۴-۳-۱- کامل نبودن مسیر بار و نداشتن بادبند

بسیاری از ساختمانهای فولادی منطقه یا فاقد بادبند بوده و یا بادبند فقط در تعدادی از طبقات آنها وجود داشت. این ساختمانها بدلیل کامل نبودن مسیر بار دچار خسارت گردیدند. غالباً خسارت در این ساختمانها بسیار شدید بوده و باعث فروریختگی کلی آنها شد. خسارات ضعیف تر در این دسته از ساختمانها در اشکال (۴-۲۵) و (۴-۲۶) نشان داده شدند. ساختمان شکل (۴-۲۵) که بدون بادبند و با اتصالات خورجینی بوده دچار تغییر مکان نسبتاً زیاد گشته و دیوارهای جانبی آن نیز فرو ریختند. در شکل (۴-۲۶) نیز ملاحظه می‌گردد که بادبند تنها در دو طبقه فوقانی ساختمان وجود داشته است. ضمن بدلیل وجود پاگردهای راه پله، دهانه مناسبی برای بادبندی انتخاب نگردیده و ستون کوتاه تشکیل شده بود. این امر موجب گردیده تا سقف دوم دچار تغییر مکان زیاد شده و میانقابها فرو ریزند.

### ۴-۴-۳-۲- کافی نبودن سختی جانبی ساختمان

شکلهای (۴-۲۷) و (۴-۲۸) تغییر مکان جانبی شدیدی را در دو ساختمان نشان می دهند. بدلیل کافی نبودن سختی جانبی اجزای باربر جانبی این تغییر مکان زیاد و جداشدگی در محل درز انقطاع مشاهده می‌گردد. در شکل (۴-۲۷) مربوط به دو قسمت از یک ساختمان بیمارستان است. وجود ستونهای بلند و طبقه نرم نیز در شکل (۴-۲۸) دیده می‌شود.

### ۴-۴-۳-۳- کافی نبودن مقاومت برشی جانبی طبقات

در بسیاری از موارد عدم وجود اجزای باربر جانبی و کافی نبودن مقاومت برشی در ساختمانها موجب فروریختگی کلی یا جزئی گردید. وجود طبقه ضعیف در ساختمان شکل (۴-۲۹) باعث تغییر مکان جانبی قابل توجه در سقف ها، انهدام قاب انتهایی و فروریختن سقف ها از روی آن شد. شکل (۴-۳۱) نیز یک ساختمان فولادی با طبقه ضعیف را نشان می‌دهد. طبقه دوم این ساختمان بدلیل نداشتن بادبند یا اجزای بار بر جانبی دچار تغییر مکان زیاد گشته است. تغییر شکل قابل توجه ستون مشبک این طبقه در نما دیده می‌شود.

### ۴-۴-۳-۴- طبقه نرم

شکل (۴-۳۰) یک ساختمان فولادی را نشان می دهد که در طبقه همکف دچار طبقه نرم شد. ایجاد مکانیزم در این طبقه باعث فروریختن ساختمان گردید. چنانچه سختی یک طبقه نسبت به طبقات فوقانی خود به میزان قابل توجهی کم باشد، طبقه نرم خوانده می شود. طبقه همکف اکثر ساختمانهای تجاری حاشیه خیابانهای اصلی در شهر بم، خصوصیات یک طبقه نرم را به نمایش گذارد.

شکل (۴-۳۲) وجود طبقه نرم را در ساختمان فولادی دیگری نشان می‌دهد. این ساختمان در جهت شمالی – جنوبی دچار تغییر مکان جانبی زیادی گشته بود. در شکل (۴-۳۳) جدا شدن بادبند و تغییر شکل موضعی ستون مشبک همان ساختمان قابل ملاحظه است. توجه شود که تغییر شکل ستون در فاصله

بین بست های افقی صورت گرفته بود. شکل (۴-۳۴) گسیختگی بادبند در محل اتصال و تغییر شکل کلی ستون ساختمان شکل (۴-۳۲) دیده می شد.

### ۴-۴-۳-۵- نامنظمی در پلان و ارتفاع و پیچش

بدیهی است وجود نامنظمی در پلان و ارتفاع یا فاصله قابل توجه بین مراکز سختی و جرم طبقات می تواند موجب بروز پیچش در طبقات گردد. عدم تقارن در پلان معماری، نامتقارن بودن بادبندها، وجود میانقابهای با سختی زیاد در قسمتی از ساختمان و وجود بازشوهای بزرگ در نمای ساختمانها نیز غالباً باعث پیچش می‌شود. در ساختمان نشان داده شده در شکل (۴-۳۲) علاوه بر وجود طبقه نرم ساختمان دچار پیچش شدید نیز گشته است. تغییر شکل ستون گوشه ساختمان در یک سمت و سالم ماندن ستونهای پشت ساختمان می تواند نماینگر پیچش در ساختمان مذکور باشد که دوران آن نیز از نزدیک و در محل کاملاً قابل رویت بود. شکل (۴-۳۵) نیز ایجاد مکانیزم در یک ساختمان فولادی را نشان می‌دهد که احتمالاً پیچش و وجود طبقه نرم باعث خرابی گشته بود. شکل (۴-۳۷) گسیختگی ستون مشبک این ساختمان را نشان می‌دهد. توجه شود که شکست ستون در فاصله بین بستهای افقی صورت گرفته بود. شاید اگر بست ها با فاصله کمتری اجرا می‌شدند می توانست از شکست آن جلوگیری نمایند.

### ۴-۴-۳-۶- عدم انسجام بین اجزا و ضعف سیستم ساختمانی

عدم انسجام اجزای مختلف سازه ای، عدم وجود سیستم مشخصی برای باربری جانبی ساختمان مانند بادبند و ضعیف بودن اتصالات موجب فروریختگی کلی ساختمان نشان داده شده در شکل (۴-۳۸) گردید. شکلهای (۴-۳۹) الی (۴-۴۳) جزئیات مربوط به این ساختمان آسیب دیده را نشان می‌دهد. شکل (۴-۳۹) باز شدن درز یک ستون را در این ساختمان نشان می‌دهد. در شکل (۴-۴۰) خسارت وارده بر یک اتصال خورجینی مشاهده می‌گردد. لهیدگی شدید و کمانش ورق پروفیل قوطی در ستون بخوبی قابل ملاحظه است. شکل (۴-۴۱) خم شدن یک نبشی نشیمن روی ستون را نشان می‌دهد. اگر این نبشی دارای سخت کننده بود اینگونه دچار تغییر شکل نمی‌شد و تیر از روی آن سقوط نمی‌کرد. شکل (۴-۴۲) بخوبی ضعف مجموعه اتصالات این ساختمان را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که اکثر ستونهای این ساختمان نیز دچار شکست شدند. شکل (۴-۴۳) جدا شدن نبشی های برشی جان و یک نبشی نگهدارنده فوقانی تیر را نیز در یک اتصال ساده نشان می‌دهد.

شکلهای (۴-۴۴) مربوط به یک ساختمان فولادی۵ طبقه به نام (( ساختمان کیمیا)) است که در مرکز شهر بم و به ظاهری مدرن ساخته شده بود. این ساختمان نوساز دارای یک زیرزمین بعنوان پارکینگ، طبقه همکف شامل واحدهای تجاری با بازشوهای بزرگ و چهار طبقه مسکونی بود. شکل (۴-۴۴- الف) که نمای روبروی این ساختمان را در ضلع غربی نشان می‌دهد حکایت از ایجاد مکانیزم حداقل در دو طبقه از آن دارد. شکل (۴-۴۴- ب) نمای جنبی ساختمان در ضلع جنوبی را نشان می‌دهد. همان طور که در این اشکال پیداست ساختمان در یک جهت و در دو ضلع شمالی و جنوبی دارای دهانه های متعدد بادبندی

شده بود. اما وجود بازشوهای بزرگ در دو ضلع دیگر نشان می‌دهد که در این جهت ساختمان فاقد بادبندی بوده و احتمالاً با اتصالات ممان گیر اجرا شده بود. اشکال (۴-۴۴- پ) و (۴-۴۴- ث) نشان می‌دهند اتصالات بادبندها از محل جوش ورق اتصال به ستون گسیخته شده بود و در یک مورد حتی باعث پارگی ورق جان در ستون نیز گشته بود.
همچنین کمانش شدید بادبندهای متشکل از پروفیل تیرآهن تک بخوبی مشهود است. شکل (۴-۴۴- ت) کنده شدن ورق اتصال تیر به ستون را نشان می‌دهد. در شکل (۴-۴۴-ج) گسیختگی یک ستون در محل وصله قابل ملاحظه است. احتمالاً اجرای ضعیف و عدم دقت کافی در نظارت وطراحی باعث خرابیهای گسترده در این ساختمان گردید.

### ۴-۴-۳-۷- کمانش بادبندها

استفاده از اجزای لاغر برای اعضایی که تحت نیروی فشاری زیادی قرار می‌گیرند موجب کمانش جانبی می گردد. در ساختمانهای فولادی منطقه موارد بسیاری از این نوع خسارت دیده می‌شد. در شکلهای (۴-۴۵) و (۴-۴۶) نمونه هایی از کمانش جانبی بادبندها نشان داده شده است. در شکل (۴-۴۵) بادبند از یک پروفیل تک تیرآهن ساخته شده و در شکل (۴-۴۶) از یک نبشی تک استفاده شده است. اشکال (۴-۴۸) و (۴-۴۹) نیز کمانش بادبند را نشان می‌دهد. ساختمان نشان داده شده در شکل (۴-۴۸) بدلیل وجود پنجره بزرگ در نما از داشتن بادبند ضربدری کامل محروم مانده است.

### ۴-۴-۳-۸- خسارت ستونها

خسارت در ستونها عمدتاً بصورت کمانش جانبی، کمانش موضعی ستونهای مشبک، شکسته شدن ستون در محل وصله دیده می‌شد. شکل (۴-۴۷) کمانش کلی یک ستون فولادی مشبک را در اثر جداشدن ورق اتصال بادبند و تغییر مکان جانبی طبقه نشان می‌دهد. در طبقات نرم معمولاً ستونها دچار تغییر شکل های بزرگی گردیدند که نمونه ای از آن در شکل (۴-۳۳) دیده می‌شود. همچنین گسیختگی ستون در محل وصله نیز در شکل (۴-۴۴- ج) مشاهده می‌گردد.
شکل (۴-۶۰) یک ستون کوتاه فولادی را نشان می‌دهد. در ستونهای کوتاه، المان تحت نیروهای برشی شدیدی قرار گرفته و دچار گسیختگی گردید. همانگونه که از این شکل پیداست ورق جان پروفیل قوطی شکل دچار لهیدگی و کمانش موضعی گردید.

### ۴-۴-۳-۹- خسارت تیرها

خسارت و گسیختگی تیرها بیشتر در محل اتصالات متمرکز بود ولی مواردی هم مانند شکل (۴-۵۰) مشاهده گردیده که ضعیف بودن تیر موجب گسیختگی آن گردید. همانگونه که این شکل نشان می‌دهد تیرهای لانه زنبوری تک دچار تغییر شکل های پلاستیک بزرگی شدند و نتوانستند سقف را روی

خود نگه دارند. تغییر شکل ورق جان در اطراف سوراخهای لانه زنبوری نشان دهنده گسیختگی برشی در این تیرها است.

### ۴-۴-۳-۱۰- خسارت در اتصالات

نمونه های فراوانی از گسیختگی در اتصالات ساختمانهای فولادی مشاهده گردید. در مجموع می‌توان به جداشدن ورق اتصال بادبند به ستون (شکل ۴-۳۳ و ۴-۴۴-ث)، گسیختگی در اتصال ساده تیر به ستون در اثر عدم وجود سخت کننده نبشی نشیمن (شکل ۴-۴۱)، جدا شدن ورق تقویت کننده بال در اتصال تیر به ستون (شکل ۴-۴۴-ت)، جدا شدن نبشی جان (شکل ۴-۴۳)، خسارت در اتصال خورجینی (شکل ۴-۴۰ و ۴-۵۹) و همچنین خسارت در اتصال پای ستون (شکل۴-۵۷) اشاره کرد. در شکل (۴-۵۷) بلندشدگی و نیروی کششی زیاد در ستون باعث لغزش و در رفتن بولتها در اتصال صفحه ستون به پی گردیده است که موجب ترک خوردگی شالوده نیز گشته است.

### ۴-۴-۳-۱۱- خسارت سقفها

سقفها که عمدتاً از نوع طاق ضربی و کمتر بصورت تیرچه بلوک بود، بدلیل وزن زیاد، عدم انسجام، عدم اتصال مناسب به تیرها، شکست کلی ستونها، وجود بازشوهای بزرگ و زیاد بودن عرض دهانه دچار خسارت شدند. شکل (۴-۵۱) شکست تمامی ستونهای یک ساختمان و فروریختن یک پارچه سقف را در یک ساختمان فولادی نشان می‌دهد. احتمالاً وزن زیاد سقف و زیاد بودن مؤلفه قائم زلزله باعث بروز این مد خرابی گشته است. در شکل (۴-۵۲) نیز فروریختن یک طرفه یک طاق ضربی را در ساختمانهای فولادی نشان می‌دهد. احتمالاً گسیختگی در اتصال تیر باعث این خرابی شده است.
در شکل (۴-۵۳) نیز فروریختن سقفهای طاق ضربی یک ساختمان دیده می‌شود. توجه شود که چگونه یک یخچال در نگهداری سقف و ایجاد فضایی در زیر آن موفق بوده است.

### ۴-۴-۳-۱۲- خسارت پلکان

راه پله ها و کریدورهای یک ساختمان بعنوان مجاری فرار ساکنین باید بتوانند بهنگام زلزله عملکرد خود را حفظ نمایند، تا ساکنان بتوانند برای خارج شدن از ساختمان از آنها استفاده کنند. نمونه های فراوانی از خسارات وارد بر راه پله ها مشاهده گردید که چنین امکانی را از ساکنین ساختمان سلب کرده بود.
در اشکال (۴-۵۴) یک ساختمان فولادی دیده می‌شود که علاوه بر فروریختن سقف دچار خسارت شدید و فروریختگی در راه پله هم گردیده و راه نجات ساکنین آن از بین رفت. همچنین در اشکال (۴-۵۵) نیز دو ساختمان اداری، مسکونی ملاحظه می‌گردد که وضعیت مشابهی داشتند.

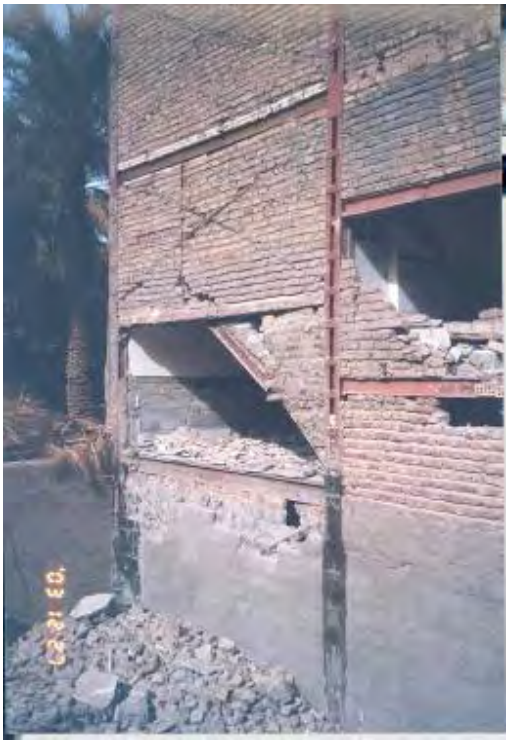
### ۴-۴-۳-۱۳- فروریختگی خارج از صفحه

میانقابها و دیوارهای جدا کننده نیز دچار خسارت و فروریختگی خارج از صفحه گشتند که در بخش ۴-۶ بطور مفصل به آن پرداخته می‌شود. اشکال (۴-۵۶) چند نمونه از فروریختگی دیوارهای آجری و بلوک سفالی را در ساختمانهای فولادی نشان می‌دهد.

## ۴-۴-۴- عملکرد مناسب

آن دسته از ساختمانهایی که ضوابط طراحی مقاوم در برابر زلزله در آنها رعایت شده و از کیفیت مطلوبی در اجرا برخوردار بودند سالم مانده یا کمتر دچار خسارت گردیدند. شکلهای (۴-۶۱) چند نمونه از این ساختمانها را نشان می‌دهند. همانگونه که مشاهده می‌گردد این ساختمانها دارای بادبندهای ضربدری به تعداد کافی و در دو جهت بوده و احتمالاً از کیفیت مناسبی در اجرا بهره برده بودند.

**شکل (۴-۲۵): عدم وجود بادبند یا هرگونه اجزای باربر در یک ساختمان فولادی**



**شکل (۴-۲۶): کامل نبودن مسیر بار در یک ساختمان فولادی**

**شکل (۴-۲۷): جدا شدن دو قسمت یک ساختمان در محل درز اجرایی**

**شکل (۴-۲۸): طبقه نرم و تغییر مکان افقی در یک ساختمان فولادی**

**شکل (۴-۲۹- الف): فروریختن قاب انتهایی و سقف های منتهی به آن در یک ساختمان فولادی؛ به عدم انسجام سقف ها توجه شود**

**شکل (۴-۲۹-ب): فروریختن قاب انتهایی و سقف های منتهی به آن در یک ساختمان فولادی؛ به عدم انسجام سقف ها توجه شود**

**شکل (۴-۲۹-ج): فروریختن قاب انتهایی و سقف های منتهی به آن در یک ساختمان فولادی؛ به عدم انسجام سقف ها توجه شود**

شکل (۴-۳۰-الف): ایجاد مکانیزم در اثر طبقه نرم در یک ساختمان فولادی

شکل (۴-۳۰-ب): ایجاد مکانیزم در اثر طبقه نرم در یک ساختمان فولادی

**شکل (۴-۳۱): تغییر مکان طبقه دوم در اثر عدم وجود بادبند و تغییر شکل شدید ستونهای مشبک در یک ساختمان فولادی**

**شکل (۴-۳۲): طبقه نرم و تغییر مکان جانبی در یک ستون مشبک**

**شکل (۴-۳۳): جداشدن بادبند و تغییرشکل ساختمان فولادی، به تشکیل مفصل پلاستیک در ستون توجه شود**

**شکل (۴-۳۴): گسیختگی بادبند در اتصال و تغییر شکل ستون مشبک در ساختمان شکل (۴-۳۲)**

**شکل (۴-۳۵): ایجاد مکانیزم در یک ساختمان فولادی**

**(شکل (۴-۳۶): نمای دور از ساختمان شکل (۴-۳۵**

**شکل (۴-۳۷): گسیختگی ستون مشبک در ساختمان شکل (۴-۳۵)؛ به فاصله زیاد بست ها توجه شود**

**شکل (۴-۳۸): فروریختگی کلی در یک ساختمان فولادی بدون بادبند**

**شکل (۴-۳۹): بازشدن درز یک ستون در ساختمان شکل (۴-۳۸)**

**شکل (۴-۴۰): لهیدگی ستون قوطی شکل در اتصال خورجینی**

**شکل (۴-۴۱): تغییر شکل خمشی در نبشی نشیمن**

**شکل (۴-۴۲): جداشدن تیرها از اتصالات**

**شکل (۴-۴۳): جدا شدن نبشی های جان و نگهدارنده فوقانی در یک اتصال ساده**

شکل (۴-۴۴-الف): خسارت شدید و فروریختگی در یک ساختمان ۵ طبقه فولادی (ساختمان کیمیا)؛نمای غربی (روبرو)

شکل (۴-۴۴-ب): خسارت شدید و فروریختگی در یک ساختمان ۵ طبقه فولادی نمای جنوبی

**شکل (۴-۴۴-پ): خسارت شدید و فروریختگی در یک ساختمان ۵ طبقه فولادی**
**جداشدن ورق اتصال و کمانش بادبندها در نمای شمالی**

**شکل (۴-۴۴-ت): خسارت شدید و فروریختگی در یک ساختمان ۵ طبقه فولادی؛**
**جداشدن ورق اتصال تیر به ستون**

**شکل (۴-۴۴-ث): خسارت شدید و فروریختگی در یک ساختمان ۵ طبقه فولادی؛ جداشدن اتصال و کمانش بادبند در نمای جنوبی**

**شکل(۴-۴۴-ج): خسارت شدید و فروریختگی در یک ساختمان ۵ طبقه فولادی؛ شکست ستون در محل اتصال**

**شکل (۴-۴۵-الف): کمانش بادبند متشکل از تیرآهن تک در یک ساختمان فولادی؛ به عدم وجود بادبند در طبقات بالا توجه شود**

**شکل (۴-۴۵-ب): کمانش بادبند متشکل از تیرآهن تک در یک ساختمان فولادی؛ به عدم وجود بادبند در طبقات بالا توجه شود**

**شکل (۴-۴۵-ج): کمانش بادبند متشکل از تیرآهن تک در یک ساختمان فولادی؛**

شکل (۴-۴۶-الف): کمانش بادبند متشکل از نبشی تک

شکل (۴-۴۶-ب): کمانش بادبند متشکل از نبشی تک

**شکل (۴-۴۷): کمانش ستون در اثر جداشدن ورق اتصال بادبند و تغییر مکان جانبی طبقه**

**شکل (۴-۴۸): کمانش یک بادبند از پروفیل تیرآهن تک؛ تغییر مکان زیاد طبقه باعث فروافتادن سقف نیز گشته است**

**شکل (۴-۴۹): نمای دور از ساختمان شکل (۴-۴۸)؛ به فرم بادبند توجه شود**

**شکل (۴-۵۰): گسیختگی تیرهای لانه زنبوری و فروریختن سقف ها**

**شکل (۴-۵۱): شکست ستونها و فروریختن سقف در یک ساختمان فولادی**

**شکل (۴-۵۲): گسیختگی در اتصال تیر و فروریختن سقف طاق ضربی در یک ساختمان فولادی**

**شکل (۴-۵۳): فرو ریختن سقف در یک ساختمان فولادی؛ به نقش یخچال در نگهداری سقف و ایجاد فضایی در زیر آن توجه شود**

**شکل (۴-۵۴-الف): فروریختن راه پله و سقف طاق ضربی در یک ساختمان فولادی**

**شکل (۴-۵۴-ب): فروریختن راه پله و سقف طاق ضربی در یک ساختمان فولادی**

**شکل (۴-۵۵-الف): خسارت در راه پله ساختمانهای فولادی**

**شکل (۴-۵۵-ب): خسارت در راه پله در ساختمانهای فولادی**

**شکل (۴-۵۶-الف): شکست و فروریختن خارج از صفحه دیوارها در ساختمانهای فولادی**

**شکل (۴-۵۶-ب): شکست و فروریختن خارج از صفحه دیوارها در ساختمانهای فولادی**

**شکل (۴-۵۶-ج): شکست و فروریختن خارج از صفحه دیوارها در ساختمانهای فولادی**

**شکل (۴-۵۷): لغزش و در رفتن بولتها در اتصال صفحه ستون به پی در یک ساختمان فولادی نیمه کاره**

**شکل (۴-۵۸): وصله یک بادبند نبشی با میل گرد**

**شکل (۴-۵۹): گسیختگی در یک اتصال خورجینی در ساختمانهای فولادی**

**شکل (۴-۶۰): کمانش موضعی ورق جان پروفیل قوطی شکل در عملکرد ستون کوتاه**

شکل (۴-۶۱-الف): عملکرد مناسب ساختمانهای فولادی دارای بادبند

شکل (۴-۶۱-ب): عملکرد مناسب ساختمانهای فولادی دارای بادبند

## ۴-۵- ساختمانهای بتن مسلح

تعداد ساختمانهای بتن مسلح در منطقه کم بود و اکثرا ۳ یا ۴ طبقه بودند. ساخت سازه های بتنی مسلح در منطقه سالهای اخیر صورت گرفته و شامل ساختمانهای اداری از جمله چندین بانک و ساختمانهای مسکونی بودند.

### ۴-۵-۱- کیفیت مصالح و نحوه اجرا

از نظر کیفیت مصالح ساختمانهای بتن مسلح باید به کیفیت بتن اشاره کرد. با توجه به شرایط اقلیمی و مهندسی اجرا در منطقه نمی‌توانست انتظار بتن با کیفیت بالا را داشت. ولی در بعضی موارد ابتدائی ترین مسائل نظیر پاکیزه بودن مصالح سنگی رعایت نشده و در عناصر تیر و ستون بتنی خرده آجر و نخاله ساختمانی یافت می‌شد. اظهار نظر بیشتر راجع به کیفیت بتن در حال حاضر مشکل است و نیاز به آزمایشات لازم دارد. در مورد مشکلات طراحی و اجرای ساختمانهای بتن مسلح منطقه می‌توان به کم بودن تعداد میل گردها اشاره کرد که در تصاویر نیز مشهود است. همچنین عدم انجام ویبره بتن در حین عملیات بتن ریزی و وجود حفره در داخل بتن خصوصاً در اتصالات بود در بازدید های فنی بعمل آمده، مشاهده گردید.

### ۴-۵-۲- خسارات وارده از دیدگاه سازه ای

بدلیل کم بودن تعداد ساختمانهای بتنی مسلح در منطقه نمی توان خسارات وارده را براساس الگوهای کلاسیک خسارت، دسته بندی کرد. در اینجا با توجه به تصاویر پیوست خرابی ها بصورت موردی بحث می‌شود.

در شکل (۴-۶۲) یک ساختمان بتنی مسلح در حین اجرا مشاهده می‌گردد. جهت اجرای راه پله در وسط ستون یک شکاف ایجاد شده که برای آن بعنوان نقطه ضعف درآمده است. ملاحظه می‌گردد که ستون در همان نقطه دچار شکست شده و باعث فروریختن سقف گشته است. از طرف دیگر اتصال تیرچه ها به تیر نیز ضعیف بوده و سقف از تیر تکیه گاهی خود سقوط کرده است. قابل توجه است که ستون شکسته شده تنها دارای ۴ میل گرد بود. همچنین در محل تیرهایی که در تصویر دیده می‌شود تیرآهن های فولادی به چشم می‌خورد.

در شکل (۴-۶۳) یک بیمارستان بتن مسلح دیده می‌شود که طبقه فوقانی آن متحمل خسارات شدیدی گردیده است. در تصویر نزدیکتر ابعاد بزرگ تیرها در مقایسه با ستون‌ها مشاهده می‌گردد. در محل اتصال ستون به تیر، پوشش بتن فروریخته و هسته بتن نیز قطعه قطعه شده است. در اینجا فاصله زیاد تنگها قابل مشاهده است.

شکل (۴-۶۴) نیز نمونه دیگری از خسارت ناشی از ستون ضعیف و تیر قوی را نشان می‌دهد. ایجاد مفصل در ستونها و در محل اتصال به تیر باعث تغییر مکان قابل توجهی در طبقه فوقانی ساختمان مذکور گردید.

ساختمان نشان داده شده در شکل (۴-۶۵) با وجود اینکه از نظر سازه ای پایداری خود را حفظ نموده ولی متحمل خسارات ناسازه ای کم و بیش زیادی گردید.
این ساختمان دو طبقه در چهار تراز و بصورت چهار نیم طبقه در هر پاگرد ساخته شده و هر قسمت از ساختمان در محل اتصال با یک نیم طبقه دچار خسارت در نما یا نازک کاری گردید. شکل (۴-۶۶) ترک خوردگی در نازک کاری و نمای این ساختمان را از نزدیک نشان می‌دهد.

### ۴-۵-۳- عملکرد مناسب

ساختمانهای بتنی مسلحی که از کیفیت مطلوبی از نظر مصالح و اجرا برخوردار بودند دچار خرابی عمده ای نگردیدند. بعنوان مثال می‌توان به ساختمان اداری نشان داده شده در شکل (۴-۶۷) اشاره نمود که بتنی مسلح بوده و مورد خاصی از نظرسازه ای یا عناصر غیرسازه ای در آن به چشم نمی‌خورد. همان گونه که از شکل پیداست تیرها در اتصال با قابهای انتهایی دارای عضو سرتیر (Stub) هستند که باعث تأمین طول مهاری میل گردهای طولی می‌گردد . هر چند که تغییر مکان یکی از این سرتیرها باعث شکسته شدن سنگ نما گشته بود، ولی خود اتصال آسیب ندیده و سازه عملکرد مطلوبی را از خود نشان داده بود. شکل (۴-۶۸) نیز یک ساختمان بتنی مسلح مسکونی با عملکرد مناسب را نشان می‌دهد. در این ساختمان سه طبقه رفتار مطلوب سازه متضمن سلامت اجزای غیرسازه ای حتی شیشه پنجره ها گردید.

**شکل (۴-۶۲-الف): یک ساختمان بتن مسلح در حین اجرا؛ به ایجاد گسیختگی در وسط ستون که بدلیل اجرای راه پله ضعیف شده بود توجه شود**

**شکل (۴-۶۲-ب): یک ساختمان بتن مسلح در حین اجرا؛ به ایجاد گسیختگی در وسط ستون که بدلیل اجرای راه پله ضعیف شده بود توجه شود**

**شکل (۴-۶۳-الف): یک بیمارستان بتنی مسلح که ستون آن در محل اتصال با تیر دچار خسارت شده است**

**شکلهای(۴- ۶۳-ب): یک بیمارستان بتنی مسلح که ستون آن در محل اتصال با تیر دچار خسارت شده است**

**شکل (۴-۶۴): یک ساختمان بتنی مسلح که طبقه فوقانی آن دچار خسارت شده است؛ ظاهراً عدم رعایت ضابطه ستون قوی – تیر ضعیف علت این خرابی شده است**

**شکل (۴-۶۵-الف): یک ساختمان بتن مسلح مسکونی که متحمل خسارت جزئی غیرسازه ای شده است**

**شکل (۴-۶۵-ب): یک ساختمان بتن مسلح مسکونی که متحمل خسارت جزئی غیرسازه ای شده است**

**شکل (۴-۶۶-الف): ترک خوردگی در نازک کاری ساختمان بتن مسلح شکل (۴-۶۵-ب)**

**شکل(۴-۶۶-ب): ترک خوردگی در نمای ساختمان بتن مسلح شکل (۴-۶۵-ب)**

**شکل (۴-۶۷-الف): یک ساختمان بتن مسلح دولتی که دچار خسارات جزئی غیرسازه ای شد؛ به اجرای سرتیر (Stub) در محل اتصالات خارجی تیر به ستون توجه شود**

**شکل (۴-۶۷-ب): یک ساختمان بتن مسلح دولتی که دچار خسارات جزئی غیرسازه ای شد؛ به اجرای سرتیر (Stub) در محل اتصالات خارجی تیر به ستون توجه شود**

**شکل (۴-۶۸): یک ساختمان بتنی مسلح مسکونی با عملکرد مناسب**

## ۴-۶- اجزای غیرسازه ای

### ۴-۶-۱- انواع اجزای غیرسازه ای

اجزای غیرسازه ای در ساختمانها از نظر عملکرد و خسارات وارده بسیار متنوع بوده وشامل نازک کاری ها، سنگ پلاک یا آجرنما، دست انداز بالکن ها، درو پنجره، پارتیشن ها یا دیوارهای جداکننده و میانقابها، تجهیزات ووسایل داخلی و تأسیسات مکانیکی و برقی بودند. خسارات وارد براین‌اجزا بستگی به میزان خسارت و ارتعاشات وارد بر ساختمان داشت. بهرحال در صورت بروز خسارات شدید در ساختمان، این اجزا نیز کلاً از بین رفته بودند. خساراتی که در بخش ۴-۶-۲ تشریح می‌گردند مربوط به خسارات کم و متوسط در ساختمانهای مربوطه است.

### ۴-۶-۲- خسارات وارده

به همراه ترک خوردگیهای شدید دیوارها، در ساختمانهای بنایی نازک کاری‌ها نیز دچار ترک خوردگی یا فروریختگی گردیدند. تغییر مکان زیاد در ساختمانهای دارای اسکلت نیز موجب ترک خوردگی در نازک کاری ها شد. شکلهای(۴-۶۹) این نوع خسارت را نشان می‌دهد. در ساختمان هتل ارگ جدید نیز ترک خوردگی و سقوط گچ بری ناشی از زلزله به چشم می‌خورد. کنده شدن کف پله ها در پلکان ساختمان هلال احمر بعنوان یک مرکز امداد رسانی نیز در شکل (۴-۷۰) قابل توجه می‌باشد.

عدم چسبندگی مناسب عناصر نما به دیوار عمدتاً باعث فروریختن آنها گشت. همانگونه که شکلهای (۴-۷۱) نشان می‌دهند نماهای سنگ پلاک بدون هیچگونه تمهیداتی چون رول پلاک یا اسکوپ اجرا شده بودند که این امر باعث ریزش آنها شد. همچنین نماهای آجری نیز بدلیل ضعیف بودن و عدم‌چسبندگی ملات به دیوار فرو ریختند. فروریختن عناصر نما به پیاده روها و خیابانها می‌توانست خسارات جانی و مالی فراوانی ببار آورد.

جان پناه بام و بالکن ها نیز در اکثر موارد دچار شکستگی، ناپایداری و فروریختگی‌گشتند. شکلهای (۴-۷۲) نشان دهنده فروریختن دست انداز بالکن ها و خساراتی است که به زیردست خود وارد کردند. قطعاً وجود مهارهای مناسب یا دستک از بروز این خسارات جلوگیری می‌نمود. شکلهای(۴-۷۳) درو پنجره هایی را نشان می‌دهند که دچار خسارت گشتند. بسیاری از در و پنجره ها یا دچار فروریختگی خارج از صفحه شده و یا بدلیل تغییر شکل زیاد دیوارها خسارت دیدند.

پارتیشن ها و دیوارهای جداکننده در ساختمانهای دارای اسکلت دچار ترک خوردگی و فروریختگی خارج صفحه شدند. شکلهای(۴-۷۴) نمونه ای از این خسارات را نشان می‌دهند.

همانگونه که شکل (۴-۷۵) نیز نشان می‌دهد میانقابها نیز دچار خسارت شدند. عملکرد خارج از صفحه میانقابهای مصالح بنایی در ساختمانهای اسکلت دار بصورت ترک خوردگیهای ضربدری و در حالت شدید ارتعاش، فروریختگی خارج از صفحه بود.

دیوارهای محوطه نیز بدلیل نداشتن مهار جانبی یا کلاف قائم دچار فروریختگی شدند. نوع خسارت در این دیوارها به دو گونه درون صفحه‌ای (بصورت گسیختگی‌های کششی مورب) وخارج صفحه ای (گسیختگی خمشی خارج از صفحه در پایه دیوار و فروریختگی) بود. شکلهای(۴-۷۶) نمونه ای از این نوع خسارات را نشان می‌دهند.

تخریب و فروریختگی های جزئی یا کلی و حتی تغییر مکان شدید ساختمانها موجب خسارات شدید به تجهیزات و وسایل داخلی ساختمانها گردید. فروریختن دیوارهای محوطه خسارات شدید به خودروهایی که درکنار آنها متوقف بوده اند وارد کرد. اشیا واجناس داخل مغازه‌ها و ویترین ها، وسایل اداری و اجناس داخل انبارها نیز دچار خسارات متعددی گردیدند. شکلهای(۴-۷۷) چند نمونه از خسارات وارد بر تجهیزات و وسایل داخل ساختمانها را نشان می‌دهند.

همچنین تأسیسات مکانیکی و برقی داخل ساختمانها نیز مانند وسایل گرمایشی و سرمایشی، کولرها، دیگ، مشعل و منبع، تأسیسات برقی مانند کنتور برق در ساختمانها دچار خسارت گردیدند. شکلهای (۴-۷۸) این نوع خسارات را نشان می‌دهد.

### ۴-۶-۳- عملکرد مناسب

در ساختمانهایی که اجزای غیرسازه ای مطابق ضوابط طراحی مقاوم اجزای غیرسازه‌ای ]۴-۴[ اجرا شده بود خسارات کمتری مشاهده گردید و می توان عملکرد آنان را مناسب و در حد مطلوب ارزیابی نمود. تعبیه مهار مناسب از فروریختگی بسیاری از اقلام غیرسازه ای جلوگیری کرد. در این مورد می‌توان به استفاده از مهارهای قائم و افقی برای پایداری دیوارهای نما در ساختمانها اشاره کرد که دراین زلزله سرپا ماندند. شکل (۴-۷۹) نمونه ای از این دیوارها و مهارهای آنها را نشان می‌دهد.

شکل(۴-۶۹-الف): خسارت در نازک کاریها در یک ساختمان بتنی مسلح

شکل(۴-۶۹-ب): خسارت در نازک کاریها در یک ساختمان بتنی مسلح

**شکل(۴-۷۰): کنده شدن و فروریختن کف پله ها در راه پله ساختمان هلال احمر**

**شکل(۴-۷۱-الف): فروریختن نمای آجری، سنگ پلاک و سرامیک در ساختمانها**

شکل(۴-۷۱-ب: فروریختن نمای آجری، سنگ پلاک و سرامیک در ساختمانها

شکل (۴-۷۱-ج): فروریختن نمای آجری، سنگ پلاک و سرامیک در ساختمانها

**شکل (۴-۷۲-الف): خسارت در بالکن ها و فروریختن جان پناه بام و بالکن در ساختمانها**

**شکل (۴-۷۲-ب): خسارت در بالکن ها و فروریختن جان پناه بام و بالکن در ساختمانها**

**شکل (۴-۷۲-ج): خسارت در بالکن ها و فروریختن جان پناه بام و بالکن در ساختمانها**

**شکل (۴-۷۲-د): خسارت در بالکن ها و فروریختن جان پناه بام و بالکن در ساختمانها**

**شکل (۴-۷۳-الف): خسارت در و پنجره ها و فروریختن آنها**

**شکل (۴-۷۳-ب): خسارت در و پنجره ها و فروریختن آنها**

شکل (۴-۷۴-الف): ترکهای مورب ۴۵ درجه و فروریختن خارج از صفحه دیوارهای جداکننده

شکل (۴-۷۴-ب): ترکهای مورب ۴۵ درجه و فروریختن خارج از صفحه دیوارهای جداکننده

**شکل(۴-۷۵): فروریختن خارج از صفحه میانقاب در یک ساختمان بتنی مسلح**

شکل (۴-۷۶-الف): خسارات وارد بر دیوارهای محوطه

شکل(۴-۷۶-ب): خسارات وارد بر دیوارهای محوطه

شکل (۴-۷۶-ج): خسارات وارد بر دیوارهای محوطه

شکل (۴-۷۶-د): خسارات وارد بر دیوارهای محوطه

**شکل (۴-۷۶-ه): خسارات وارد بر دیوارهای محوطه**

**شکل (۴-۷۶-و): خسارات وارد بر دیوارهای محوطه**

**شکل (۴-۷۷-الف): خسارات وارد بر تجهیزات و وسایل داخل ساختمان**

**شکل (۴-۷۷-ب): خسارات وارد بر تجهیزات و وسایل داخل ساختمان**

شکل (۴-۷۷-ج): خسارات وارد بر تجهیزات و وسایل داخل ساختمان

شکل (۴-۷۷-د): خسارات وارد بر تجهیزات و وسایل داخل ساختمان

شکل (۴-۷۷-الف): خسارات وارد بر تجهیزات و وسایل داخل ساختمان

شکل (۴-۷۸-ب): خسارات وارد بر تأسیسات ساختمانها

**شکل (۴-۷۹-الف): عملکرد مناسب مهارهای قائم در نگهداری دیوارهای غیرسازه ای به طور نسبی**

**شکل (۴-۷۹-ب): عملکرد مناسب مهارهای قائم در نگهداری دیوارهای غیرسازه ای به طور نسبی**

## ۴-۷- آموخته ها

ساختمانهای منطقه زلزله زده بم اعم از مسکونی، تجاری، اداری، آموزشی – فرهنگی، درمانی و همگانی عمدتاً شامل ساختمانهای خشتی، مصالح بنایی آجری، اسکلت فولادی و اسکلت بتنی مسلح بودند. بسیاری از خسارات وارد بر این ساختمانها را می توان منطبق بر الگوهای رابی ساختمانهای مشابه آنها در زلزله های گذشته دانست. بطور خلاصه آموخته های این زلزله بشرح زیر است:

۱. **ساختمانهای خشتی** بدلیل ضعف مصالح و عدم مقاومت در برابر نیروی زلزله دچار شدیدترین خسارات و عمدتا فروریختگی کامل گردیدند. مدهای خرابی در این ساختمانها عبارتند از ایجاد ترک و جداشدن دیوارها از یکدیگر، ایجاد ترک و جدا شدن دیوارهای غیرباربر از سقف، فروریختگی خارج از صفحه دیوارها، ترکهای برشی قطری در کنار بازشوها، تخریب دیوارهای باربر و فروریختن سقف، فروریختن طاق ها و فروریختگی جزئی و کلی ساختمان.

۲. **ساختمانهای مصالح بنایی آجری** بدلیل سنگینی زیاد، عدم انسجام بین اجزای ساختمان، عدم وجود کلاف قائم و افقی، کیفیت پایین در مصالح ملات دچار خسارات شدیدی گردیدند. مدهای شکست در این ساختمانها عبارتند از ایجاد ترک و جداشدن دیوارها از یکدیگر، جداشدن دیوارها از سقف، ایجاد ترکهای مورب قطری کنار بازشوها، فروریختن خارج از صفحه دیوارها، از بین رفتن انسجام سقف ها و فروریختن طاق های ضربی، شکست کلاقها و فروافتادن از روی دیوارها، جداشدن تیرهای سقف از کلاف، خسارت در کنج ها و فروریختگی جزئی و کلی.

۳. **ساختمانهای دارای اسکلت فولادی** بدلیل نداشتن اجرای باربر جانبی مانند بادبند، عدم انسجام بین اجزای سازه ای، کیفیت پائین اجرای اتصالات و عدم رعایت ضوابط طراحی مقاوم دچار خسارات نسبتاً شدیدی گردیدند. مدهای شکست در این ساختمانها عبارتند از تغییر مکان جانبی نسبتاً زیاد، فروریختن خارج از صفحه دیوارها، ایجاد مکانیزم در اثر طبقه نرم، خسارت در گوشه ساختمانها بدلیل وجود پیچش قابل توجه، فروافتادن سقفها، تغییر شکل جانبی ستونها، شکست ستونها از محل وصله، کمانش ستونها و بادبندها، گسیختگی و جداشدن اتصالات از محل جوشها، لغزش بولتها در صفحه ستون، گسیختگی تیرهای لانه زنبوری و فروریختگی پلکان.

۴. **ساختمانهای دارای اسکلت بتن مسلح** که تعداد کمی از آنها در منطقه وجود داشت دچار خسارات کمتری گردیدند که علت آن کیفیت پایین مصالح و اجرا بود. مدهای گسیختگی در این ساختمانها عبارت بودند از شکست ستونها از محلی که برای اجرای پاگرد راه پله ضعیف شده بود، گسیختگی خمشی ستون در محل اتصال بدلیل سختی زیاد تیرها، ایجاد مکانیزم در اثر طبقه نرم، ترک خوردگی در نما و نازک کاری بدلیل عملکرد ستونهای کوتاه.

۵. **خسارات وارد بر اجزای غیرسازه ای** عبارتند از ترک خوردگی و فروریختن نازک کاریها، سنگ یا آجرنما، فروریختن جان پناه، شکسته شدن و فروریختن در و پنجره ها، ترک خوردگی و فروریختگی خارج از صفحه دیوارهای محوطه، دیوارهای جداکننده داخلی و خارجی و میانقابها،

خسارات وارد بر تجهیزات و وسایل داخلی ساختمانها و خسارات وارد بر تأسیسات مکانیکی و برقی بود. عمدتاً عدم وجود مهار مناسب و اتصال نامناسب این اجزا به سازه ساختمانها باعث بروز این خسارات گردید.

## ۴-۸- مراجع

[۴-۱] سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، "سالنامه آماری استان کرمان سال "۱۳۸۰، آبان ماه ۱۳۸۱.
[۴-۲] مهندسان مشاور آرمان شهر، "گزارش تفضیلی طرح جامع شهر بم"، ۱۳۷۰.
[۴-۳] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، "آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله"، ویرایش اول، ۱۳۶۶.
[۴-۴] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، "آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله" ویرایش دوم، ۱۳۷۸.