

زلزله بم ۲۷۰۰ سال تاریخ در ۷ ثانیه از دست رفت

دکتر حسن مقدم*

چکیده

زلزله ای با بزرگی حدود ۶/۵ ریشتر در پنجم دیماه ۱۳۸۲ ظرف ۷ ثانیه ارگ تاریخی بم با قدمت ۲۷۰۰ سال را درهم کوبید و همچون صاعقه ای شهر بم را با خاک یکسان کرد. در این میان دهها هزار تن از هم میهنان بمی جان باختند و ایران به سوگ نشست. در این مقاله عملکرد کلی ساختمان ها و بناها در زلزله بم بررسی شده و نقاط ضعف شناسایی شده است. شتابنگاشت ثبت شده در ایستگاه بم تشریح و طیف های پاسخ ارتجاعی محاسبه گردیده اند. نشان داده شده است که نیروی ارتجاعی زلزله خیلی بیش از مقاومت اغلب ساختمان های غیر مسلح بوده و تخریب این نوع ساختمان ها امری طبیعی و قابل پیش بینی است. ساختمان های اتصال خرچینی، میانقاب ها و ساختمان های کلاف بندی شده به طور اخص مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند و نشان داده شده است که کلاف بندی و استفاده از بادبند شیوه مناسبی برای تقویت ساختمان ها در برابر زلزله می باشد. همچنین مشخص گردیده است که وجود میانقاب ها نقش مؤثری در مقاومت ساختمان ها در برابر زلزله داشته است.

مشخصات زلزله

زلزله بم در تاریخ پنجم دیماه ۱۳۸۲ و در ساعت ۵:۲۶:۲۶ به وقت تهران (۱:۵۶:۵۶ به وقت گرینویچ) با بزرگی گشتاوری ۶/۵ (۱) در اطراف شهر بم در جنوب غربی ایران رخ داد. موقعیت کنونی این زمین لرزه طبق داده های شبکه زلزله نگاری پژوهشگاه

* عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف

زلزله شناسی (۱) ۲۹/۰۱ درجه عرض شمالی و ۵۸/۲۶ درجه طول شرقی در حدود ۱۰ کیلومتری جنوب غرب شهر بم واقع می‌گردد که با موقعیت گزارش شده توسط یواس جی اس (۲) یعنی ۲۹ درجه عرض شمالی و ۵۸/۲۹ طول شرقی تقریباً همخوانی دارد اما به اعتقاد نگارنده با توجه به بازدید از بم، و مشاهده تمرکز تخریب در خود بم و سالم ماندن ارگ جدید در ۱۰ کیلومتری جنوب بم، احتمالاً مرکز زلزله در خود بم و کانون در زیر شهر بم بوده است این موضوع توسط زارع (۳) نیز عنوان شده است. پژوهشگاه زلزله شناسی (۱) عمق زلزله را در حدود ۸ کیلومتر گزارش نموده است. نگارنده شدت زلزله در مرکز آن (بم) را براساس میزان و نوع تخریب و یا ایستایی سازه‌ها بین ۸ تا ۹ مرکالی اصلاح شده برآورد می‌نماید و شدت زلزله با دور شدن از مرکز آن (شهر بم) به سرعت کم می‌شود به طوری که در ارگ جدید بم در فاصله ۱۰ کیلومتری جنوب بم اثر چندانی از خرابی مشاهده نشد. موقعیت گسل بم در شکل ۱ نشان داده شده است. یواس جی اس (۲) سازکار کانونی زلزله را امتداد لغز راستگرد ذکر نموده است که با مشخصات عمومی زلزله‌های زاگرس مطابقت دارد. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۴) مؤلفه‌های طولی، عرضی و قائم شتابنگاشت ثبت شده در ایستگاه بم به ترتیب ۰/۸۱، ۰/۶۵ و ۱/۰۱ برابر شتاب ثقل اعلام نموده است هرچند با توجه به خراب شدن بخشی از ساختمان محل نصب دستگاه شتابنگار (ساختمان فرمانداری بم) باید به این اطلاعات با احتیاط برخورد نمود.



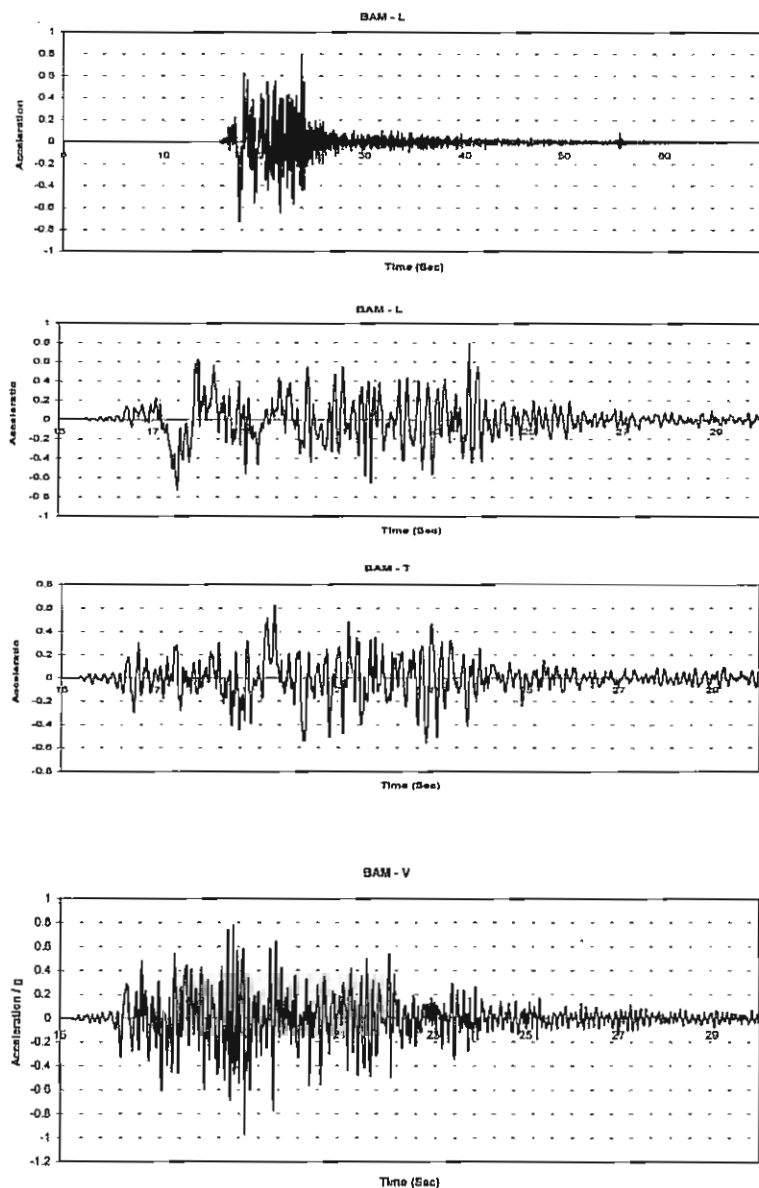
شکل ۱. موقعیت گسل بم و منطقه زلزله زده

شتابنگاشت‌ها و طیف‌های پاسخ

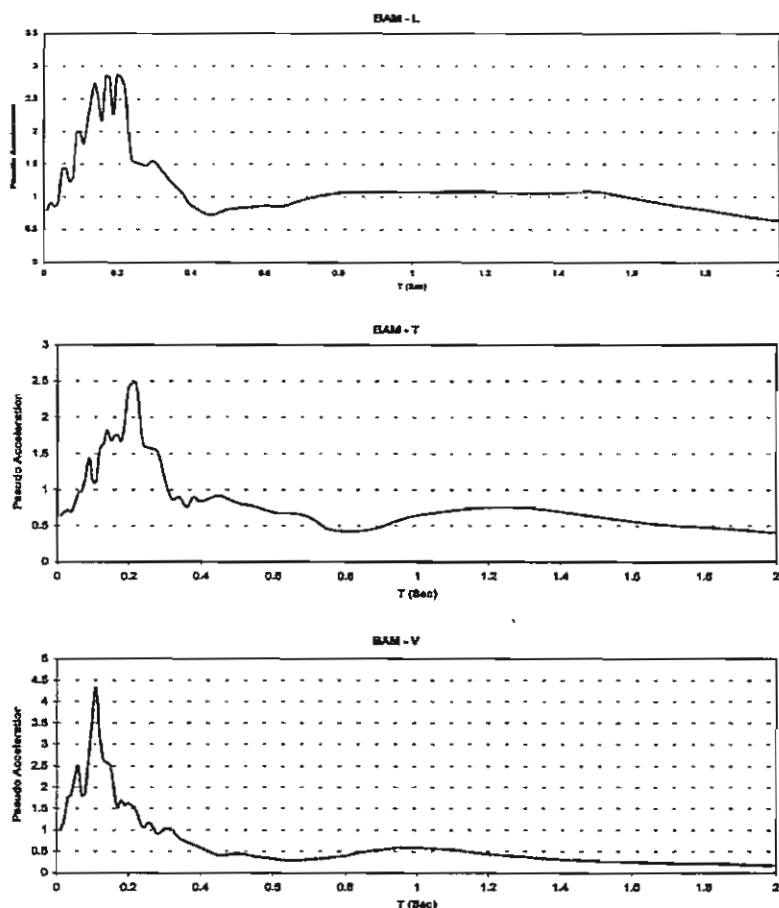
سه مؤلفه طولی، عرضی و قائم شتابنگاشت ثبت شده در ایستگاه بم در شکل ۲ و طیف پاسخ ارتجاعی مربوطه در شکل ۳ آمده است. شتابنگاشت‌ها به خوبی نشان می‌دهد که تکان‌های اصلی و سنگین در فاصله زمان ۱۷ ثانیه تا ۲۴ ثانیه رخ داده است. به عبارت دیگر در مدت ۷ ثانیه ساختمان‌های زیر اثر شتاب‌های بسیار شدید در هر سه جهت طولی، عرضی و قائم قرار گرفته‌اند به طوری که مقدار شتاب اوج زمین در جهات افقی (طولی و عرضی) حدود ۰/۸ و ۰/۶۵ شتاب ثقل، و در جهت قائم برابر شتاب ثقل بوده است. شتاب قائم معمولاً کوچکتر از شتاب افقی است اما در نواحی مرکزی زلزله که به کانون نزدیکند و عمق زلزله نیز کم است شتاب قائم می‌تواند برابر و یا بزرگتر از شتاب افقی باشد. از این رو، بیشتر شدن شتاب قائم از افقی دلیلی بر این است که کانون زلزله در زیر بم قرار داشته و زلزله از نوع کم عمق است. بالا بودن فرکانس امواج زلزله در مؤلفه قائم نسبت به مؤلفه‌های افقی به خوبی مشهود است و بیانگر تأثیر چشمگیر امواج حجمی (موج) می‌باشد در حالی که در نواحی دورتر از مرکز زلزله اثر امواج مزبور در مقایسه با امواج سطحی (موج) خیلی کمتر است (فرکانس امواج حجمی نسبت به امواج سطحی بزرگتر، و دامنه‌شان کوچکتر است). طیف‌های پاسخ ارتجاعی در شکل ۳

نشان می دهد که بخش عمده از انرژی زلزله در زمان های تناوب کوچکتر از $0/4$ ثانیه بوده است و در محدوده $0/1$ تا $0/3$ ثانیه زلزله دارای بیشترین انرژی بوده است .

این نیز از ویژگی های زلزله های کم عمق و مناطق مرکزی زلزله می باشد. این طیف ها بیانگر این است که شتاب پاسخ سازه های کوتاه (یک تا سه طبقه) با زمان تناوبی در حدود $0/1$ تا $0/2$ ثانیه در جهات طولی و عرضی برابر $2/5$ و بیشتر، و در جهت قائم بین 2 تا 4 بوده است. نکته دیگری که از مشاهده این طیف ها به دست می آید وجود انرژی قابل توجهی در محدوده تناوب های بالا می باشد به طوری که مثلاً شتاب پاسخ مؤلفه طولی در محدوده $0/4$ تا $1/6$ ثانیه برابر 1 می باشد. اینچنین پاسخ قوی در این ناحیه معمولاً مستلزم وجود یک جابجایی قابل ملاحظه ای در زمین می باشد. این واقعیت که دستگاه شتابنگار در ساختمان فرمانداری قرار داشته و بخشی از این ساختمان در زلزله فرو ریخته است باعث می شود که با احتیاط بیشتری به نتایج برخورد کنیم.



شکل ۲. مؤلفه های طولی، عرضی و قائم شتابنگاشت ثبت شده در ایستگاه بم



شکل ۳. طیف‌های پاسخ ارتجاعی مؤلفه‌های طولی، عرضی و قائم شتابنگاشت ثبت شده در بم برای میرایی ۵٪

نگاهی کلی به زلزله بم

شهر بم و ارگ تاریخی آن در زلزله پنجم دیماه تقریباً یکسره نابود شد. وقوع چندین پیش لرزه در روز قبل و ساعاتی قبل از زلزله برخی از ساکنان را متوحش ساخته و بعضاً در شب سرد زمستان ساعاتی را در بیرون از منزل گذرانده بودند اما بالاخره سرما و خواب تاب را از ایشان گرفت و در سحرگاه آن روز غم‌انگیز زلزله بخش بزرگی از ساکنان بم را به خواب ابدی فرو برد.

واقعیتی که این نگارنده بارها به مسئولین متذکر شده است: در شرایط لرزه خیزی یکسان، با بزرگ شدن شهرها و تمرکز جمعیت از روستاها در شهرها، آسیب‌پذیری کشور مرتباً در حال افزایش است به طوری که وقوع زلزله‌هایی که در اوایل قرن بیستم تلفات جانی کوچکی داشتند اکنون می‌تواند به یک فاجعه ملی تبدیل گردد.

در بم مانند سایر شهرهای مناطق کم‌آب، ساختمان‌های خشتی با دیوارهای سنگین و سقف‌های گنبدی، فرم رایج را تشکیل می‌داده است. این گونه ساختمان‌های در زلزله بم بکلی نابود شده‌اند. در کنار آن، ساختمان‌های جدیدتر با مصالح فولادی و بتنی نیز وجود دارد که عموماً به دلیل بی‌اعتنایی در بکارگیری ضوابط آیین‌نامه دچار شکست و ناپایداری گردیده‌اند.

شدت زلزله با دور شدن از بم به سرعت کاسته شده به طوری که در ارگ جدید بم در فاصله ۱۰ کیلومتر جنوب بم بناها بدون آسیب جدی از کمند زلزله رسته‌اند. حتی در چهار کیلومتری بم، دیوار گلی باغات فرو نریخته است که خود نشان از میرایی سریع و عمیق کم‌زلزله می‌باشد. در جست‌وجوهای اولیه اثری از جداشدگی و حرکت زیاد در گسل ملاحظه نگردید و فقط ترک‌های جزئی در سطح زمین و جاده قابل رؤیت می‌باشد.



شکل ۴. از میان رفتن ارگ تاریخی بم حادثه غم‌انگیز و فاجعه‌ای دردناک که هنوز عمق آن مکشوف نیست و در آینده مشخص خواهد شد که چه گوهری از دست رفت: نشان تمدن از عهدی که اروپا و اروپاییان همچون انسان‌های نخستین در جنگل می‌زیستند.



شکل ۵. کوچه‌های غم‌گرفته بم چه بد شاهد شکست ساختمان‌هایند.



شکل ۶. اینجا هم زمانی محله‌ای بوده است.



شکل ۷. و باز جست و جو برای یافتن عزیزان



شکل ۸. ارگ جدید بم در ۱۰ کیلومتر جنوب بم آسیب جدی ندید



شکل ۹. دیوار باغی در آستانه ورود به بم که فرو نریختن آن نشانه شدت کم زلزله است.



شکل ۱۰. در جستجوهای اولیه اثری از جداسدگی و حرکت زیاد در گسل ملاحظه نگردید و فقط ترک‌های جزئی در سطح زمین و جاده قابل رؤیت می‌باشد.

تحلیلی از عملکرد بناهای بم

بناهای بم به چند دسته تقسیم می‌شوند: بناهای خشتی و گلی، ساختمان‌های آجری بدون اسکلت و نیمه اسکلت، و ساختمان‌های دارای اسکلت. در اینجا به طور مجزا عملکرد هر دسته مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ساختمان‌های خشتی و گلی و آجری غیر مسلح

در دهه‌های اخیر در ایران چندین زلزله بزرگ و مخرب روی داده است که موجب تلفات سنگینی شده‌اند؛ آخرین آنها، زلزله منجیل ۱۳۶۹ با بزرگی ۷/۳ ریشتر، سبب مرگ ده‌ها هزار تن شد. علاوه بر زلزله‌های بزرگ، حتی زلزله‌های متوسط نیز گاهی در ایران فاجعه آفریده‌اند.

در جدول ۱ تعدادی از زلزله‌های ثبت شده همراه با تعداد تلفات آمده است. به طور کلی با نگاهی به تاریخچه زلزله‌های کشور مشخص می‌شود که خانه‌های روستایی خشتی و گلی که در ناحیه مرکزی زلزله‌هایی با بزرگی بیش از ۵/۵ ریشتر قرار گرفته باشند در معرض خطر ترک خوردن و فرو ریختن هستند. البته ساختمان‌های آجری شهری که با ملات سیمان چیده شده باشند مقاومت بیشتری دارند و ممکن است در برابر زلزله‌هایی با بزرگی ۶ تا ۶/۵ ریشتر نیز پایدار بمانند. اما برای اغلب ساختمان‌های آجری غیرمسلح تحمل زلزله‌هایی با بزرگی ۷ یا بیشتر، امکان پذیر نیست. شک بالا بودن کیفیت مصالح و نحوه ساخت، یکپارچگی سقف و سبک کردن آن، و نیز تعبیه عناصری که شکل پذیری ساختمان را افزایش دهد (مانند کلاف‌های افقی) می‌تواند سبب افزایش مقاومت ساختمان شود، اما هیچ‌یک از این تمهیدات به معنای تضمین پایداری قطعی سازه در مقابل زلزله‌های مخرب نیست. همان‌طور که این نگارنده پیوسته متذکر شده است (۵، ۶) با توجه به عملکرد ساختمان‌های آجری در زلزله‌های سده اخیر در ایران باید نتیجه گرفت که این ساختمان‌ها، هر قدر هم خوب ساخته شوند مادام که مسلح نباشند نمی‌توان از پایداری لرزه‌ای آنها مطمئن شد و با کمال تأسف باید دانست که این ساختمان‌ها در زلزله‌های مخرب محکوم به فنایند.

زلزله بم نیز از این قاعده جدا نبود و تقریباً تمام ساختمان‌های خشتی و گلی آن فرو ریختند که در رأس آن ارگ باشکوه و تاریخی بم بود.

علاوه بر این تقریباً کلیه ساختمان‌های آجری غیرمسلح که در آنها از عناصر تسلیح مانند کلاف بندی استفاده نشده از میان رفته‌اند.

سال	مرکز زلزله	بزرگی	تعداد تلفات
۱۲۹۰	راور (کرمان)	۶/۲	۷۰
۱۳۰۲	کچ درخت	۵/۸	۷۸۰
۱۳۰۲	شمال بجنورد (بین ایران و شوروی)	۷/۳	۳۲۰۰
۱۳۰۹	ساماس	۷/۲	۲۵۰۰
۱۳۱۴	مازنداران	۶/۳	۵۰۰
۱۳۱۹	شمال بیرجند	۶/۱	۶۸۰
۱۳۲۶	دوست آباد	۶/۸	۲۰۰
۱۳۴۱	بوئین زهرا	۷/۲	۱۲۲۰۰
۱۳۴۷	دشت بیاض	۷/۴	قسمت اعظم دشت بیاض نابود شد و جمع کثیری کشته شدند
۱۳۴۷	فردوس	۶/۴	فردوس با خاک یکسان شد
۱۳۵۱	فارس	۶/۹	۵۰۰۰
۱۳۵۶	کرمان	۵/۷	۶۶۵
۱۳۵۷	طبس	۷/۳	۱۸۰۰۰
۱۳۶۹	منجیل	۷/۳	۳۰۰۰۰

جدول ۱ آمار تلفات از زلزله‌های ثبت شده ایران در سده اخیر

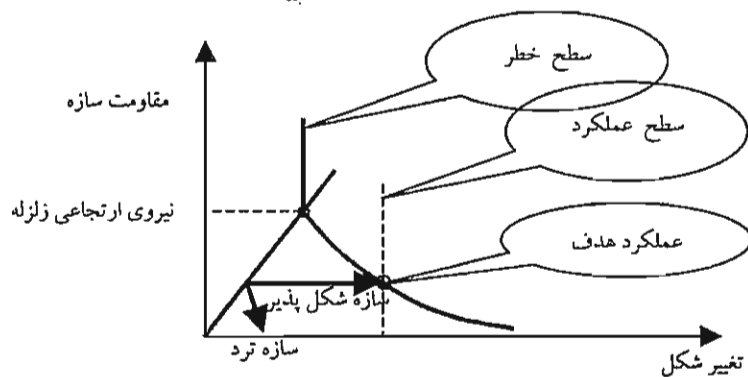
علت ناپایداری ساختمان‌های خشتی، گلی و آجری غیر مسلح

علت اصلی ناپایداری لرزه‌ای این نوع ساختمان کمبود مقاومت آن نیست، بلکه نبود شکل پذیری است. دیوارهای آجری، خشتی و گلی از مقاومت برشی چشمگیری برخوردارند که گاهی از قاب‌های خمشی فولادی و بتنی نیز بیشتر است. روش محاسبه مقاومت این دیوارها در مرجع (۴) ارائه شده است اما می‌دانیم که نیروی زلزله در حیطه ارتجاعی بسیار بزرگتر از نیروهایی است که به عنوان نیروی طراحی در نظر گرفته می‌شود و در برابر چنین نیروهایی، هیچ سازه‌ای اعم از فولادی، بتنی و یا آجری تاب ایستادگی ندارد. به عنوان مثال برای یک ساختمان دو طبقه آجری به مساحت تقریبی جمعاً ۲۰۰ متر مربع، و وزن تقریبی ۲۰۰ تن (با احتساب جرم دیوارها در ارتعاش زلزله)، نیروی وارد در حیطه ارتجاعی در زلزله بم برابر است با

$$V = S_d W = 2.5 \times 200 = 500 \text{ t}$$

در این محاسبه شتاب پاسخ از شکل ۳ برای مؤلفه طول و با در نظر گرفتن زمان تناوب ۰/۲ ثانیه برای ساختمان دو طبقه بدست آمد. اگر فرض کنیم ساختمان مزبور در جهت طولی دارای ۸ عدد دیوار ۲۰ سانتی به طول ۲ متر باشد، هر دیوار باید ۶۲/۵ تن نیروی برشی را تحمل کند در حالی که یک دیوار آجری هر قدر هم خوب اجرا شود به هیچ وجه نمی‌تواند چنین نیرویی را تحمل کند و وارد حیطه غیر ارتجاعی می‌گردد. متأسفانه برخلاف سازه‌های فولادی و بتنی، ساختمان‌های آجری در حیطه غیر ارتجاعی رفتار خوبی ندارند و خیلی زود فرو می‌ریزند. به همین دلیل است که اکثر آیین‌نامه‌ها ضریب رفتار ساختمان‌های بنایی غیر مسلح را برابر ۱ توصیه نموده‌اند (۶). همان‌طور که در شکل زیر دیده می‌شود، برای یک سطح خطر معین (زلزله با شدت مشخص)، برای هر سازه می‌توان یک نیروی ارتجاعی محاسبه نمود که اگر مقاومت سازه از این نیرو بیشتر باشد وارد حیطه غیر ارتجاعی نمی‌شود اما در غیر این صورت باید بتواند تغییر شکل ارتجاعی را تحمل نماید. در روش جدید طراحی براساس عملکرد برای سازه، یک عملکرد هدف در نظر گرفته می‌شود و براساس آن سازه شکل پذیر مجاز است مقدار مشخصی تغییر شکل غیر ارتجاعی را پذیرا شود در حالی که سازه ترد هرگز نمی‌تواند به هدف مزبور برسد زیرا پس از رسید به حد مقاومت خود به سرعت از پا درمی‌آید، از این رو، برای پایدار ماندن در زلزله باید مقاومت سازه از حد نیروی ارتجاعی زلزله بیشتر باشد. بدین ترتیب، می‌توان دریافت که با دور شدن از مرکز زلزله و کاهش شدت آن، نیروی زلزله تا حد مقاومت ساختمان کاهش می‌یابد.

این نقطه را آستانه ترک نامیده‌ایم (۵). بدیهی است که در نقاط دورتر، چون سازه‌ها از حیطه ارتجاعی خارج نمی‌شوند کاملاً سالم و پایدار به نظر می‌رسند در حالی که به محض عبور از آستانه ترک با یک شهر ویران شده مواجه می‌شویم. این پدیده عجیب به خوبی در زلزله بم دیده می‌شود به طوری که با دور شدن از بم، خیلی زود ساختمان‌های خشتی و گلی را سالم و پایدار می‌یابیم.



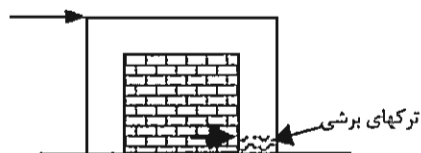
شکل ۱۱. تفاوت پاسخ لرزه ای سازه شکل پذیر و ترد

ساختمان های آجری کلاف بندی شده

آیین نامه ۲۸۰۰ استفاده از کلاف های افقی و قائم را برای ساختمان های آجری تجویز نموده است. اثر مثبت این توصیه در اغلب زلزله های مخرب به خوبی به اثبات رسیده است. در زلزله بم نیز وجود کلاف بندی باعث پایدار ماندن تعدادی از ساختمان ها گردیده بود که به عنوان نمونه می توان به ساختمان آجری دو طبقه زیر اشاره نمود.



شکل ۱۲. کلاف بندی باعث پایداری و عدم فرو ریختن ساختمان دو طبقه شده است هر چند اشتباهاتی چند در نحوه کلاف بندی و عدم مهار کردن مناسب نما به سازه باعث بروز خرابی هایی شده است.



شکل ۱۳. بروز ترک برشی در کلاف قائم در نزدیکی اتصال

همان طور که در شکل زیر دیده می شود نیروی افقی بین دیوار و کلاف به وجود می آید که در صورت پایین بودن ظرفیت برشی، عضو قائم کلاف در نزدیکی اتصال دچار شکست برشی می شود. نمونه این نوع شکست در ساختمان دو طبقه مزبور دیده شد.

گاهی آیین نامه ملامت می شود که علیرغم بکارگیری توصیه های آن ، ساختمان ها خراب می شوند. باید توجه داشت که ممکن است ضوابط آیین نامه به طور صوری و یا به غلط رعایت شده باشد، مثلاً ساختمان فرمانداری بم که دارای کلاف بندی است خراب شده است. در بررسی ساختمان معلوم شد که پیمانکار به جای اجرای کلاف قائم، فقط روی آجرها را سیمان کرده و به صورت کلاف درآورده است! گاهی مشاهده می شود که میلگردها در داخل کلاف افقی مهار نشده و همچون تصویر زیر روی خاک قرار گرفته است. گاهی هم همچون تصویر بعد، کلاف اجرا می شود اما در داخل آن دیواری وجود ندارد. در نتیجه عملاً اندر کنش لازم بین کلاف و دیوار به وجود نمی آید و سختی و مقاومت جانبی کافی برای سازه ایجاد نمی گردد.



شکل ۱۴. میلگردهای اصلی کلاف قائم به جای آنکه در کلاف افقی مهار شود بر روی خاک قرار گرفته است



شکل ۱۵. کلاف اجرا شده اما در داخل آن دیواری وجود ندارد

ساختمان های اسکلت فولادی با اتصال خرچینی

اثر میانقاب

تحقیق نشان داده است که اتصالات خرچینی علیرغم سختی چشمگیرشان (معمولاً بیش از ۱۰۰۰ تن متر بر رادیان)، به علت تمرکز تنش در جوش بسیار شکننده اند و زیر اثر لنگرهای ناشی از زلزله همچون شکل زیر جوش گسیخته می شود. از این رو ساختمان اتصال خرچینی به طور کلی در برابر زلزله از ایستایی لازم برخوردار نمی باشد.



شکل ۱۶. اتصال خرچینی زیر اثر لنگر به علت تمرکز تنش در جوش گسیخته شده است (۶)

با این وجود، حضور میانقاب‌های آجری در داخل قاب عملاً اندرکنش چشمگیری را ایجاد می‌کند که در ایستایی لرزه‌ای این نوع ساختمان‌ها بسیار مؤثر است. در واقع بدون شناخت اثر میانقاب‌ها بر مقاومت جانبی قاب، عملاً هر نوع تحلیلی با خطاهای بسیار همراه است. نگارنده ظرف ۲۰ سال گذشته تلاش بسیار نموده تا جامعه مهندسی را متوجه این مهم نماید (۷-۱۲). خوشبختانه این تلاش‌ها با پیگیری‌های همکاران در سایر کشورها اینک به ثمر نشسته است به طوری که در آیین‌نامه بهسازی آمریکا (فیما ۳۵۶) نقش میانقاب در گرفتن نیروی زلزله به رسمیت شناخته شده و در پی آن، در ترجمه ضوابط مزبور (آیین‌نامه بهسازی) نیز استفاده از میانقاب برای مقاوم‌سازی مجاز شمرده شده است. در هر حال، لازم است به دو نکته اشاره شود: اول اینکه اتصال خرچینی دارای ظرفیت تغییر شکل معینی است (۶ و ۱۳) و با عبور از این ظرفیت، اتصال گسیخته می‌شود. در نتیجه چنانچه، میانقاب‌ها نتوانند سختی کافی را برای محدود نمودن چرخش اتصال ایجاد کنند امکان گسیخته شدن اتصال وجود دارد.

دوم اینکه میانقاب تا زمانی مؤثر است که از صفحه خود خارج شده باشد اما اگر در اثر نیروهای عرضی (عمود بر صفحه) از صفحه خود خارج شود سازه ناپایدار می‌گردد. نحوه محاسبه مقاومت لرزه‌ای میانقاب در مراجع ۵ و ۶ به تفصیل ارائه شده است. توصیه می‌گردد محققان گرامی برای تحلیل و مطالعه واقع بینانه عملکرد ساختمان‌های بم (یا هر زلزله دیگری) نقش میانقاب‌ها را به دقت لحاظ نمایند. نمونه‌ای از عملکرد میانقاب‌ها در شکل زیر دیده می‌شود.



شکل ۱۷. ساختمان اتصال خرچینی به کمک میانقاب‌ها در برابر زلزله پایدار مانده است. تعدادی از میانقاب‌ها در اثر مؤلفه عرضی از صفحه خود به خارج پرت شده‌اند.

اثر بادبند

همچون زلزله منجیل ۱۳۶۹، در زلزله بم نیز اثر بادبند بر پایداری ساختمان‌ها بسیار مثبت بوده است. تقریباً کمتر ساختمان بادبندی شده‌ای را می‌توان یافت که فرو ریخته باشد (به جز یک مورد استثنایی که باید به طور جداگانه بررسی شود). حتی در مواردی به جای بادبند از میلگرد استفاده شده بود اما با این وجود ساختمان پایداری کلی خود را حفظ نموده. در استفاده از بادبند، توجه به برخی نکات مهم است:

۱- اتصال بادبند باید برای تمام ظرفیت عضو طرح شود در غیر این صورت، در هنگام زلزله بادبند از محل اتصال کنده خواهد شد (شکل زیر).

۲- سعی شود برای افزایش کارایی بادبند از مقاطع با ضریب لاغری کوچکتر استفاده گردد.

۳- انتقال نیرو از بادبند یک طبقه به طبقه دیگر باید از طریق صفحه اتصال باشد. چنانچه این کار مقدور نباشد می‌توان نیروی بادبند یک طبقه را از طریق تیر به بادبند طبقه دیگر منتقل نمود اما در هر صورت تحت هیچ شرایطی نباید این نیرو از طریق ستون منتقل گردد زیرا موجب ایجاد برش شدید و مخربی در ستون‌ها می‌گردد. تخریب یک ساختمان چند طبقه در شکل زیر نمونه‌ای از این وضعیت می‌باشد.



شکل ۱۸. کنده شدن بادبند، اتصال نامناسب بادبند به ستون

نتیجه گیری

در این مقاله موارد زیر مورد بررسی و نتیجه گیری قرار گرفته است:

۱. زلزله بم بار دیگر نشان داد که بی توجه بودن به ضوابط آیین نامه، حوادث مصیبت بار را در پی دارد.
۲. ساختمان های خشتی و گلی، و آجری غیر مسلح در زلزله های مخرب سخت آسیب پذیرند.
۳. کلاف بندی شیوه مناسب برای تقویت ساختمان ها در برابر زلزله می باشد.
۴. وجود میانقاب ها نقش مؤثری در مقاومت ساختمان ها در برابر زلزله داشته است.
۵. وجود بادبند در ساختمان در هر حال موجب افزایش پایداری لرزه ای می گردد.

مراجع

۱. پژوهشکده زلزله شناسی، ۱۳۸۲ جنبه های زلزله شناسی زمین لرزه ۵ دی ماه ۱۳۸۲ بم، با بزرگای گشتاوری $MW=6.5$ سایت اینترنتی پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله: http://www.iiies.ac.ir/Bam_Report_2.pdf
۲. <http://earthquake.usgs.gov/recenteqsww/Quakes/uscvad.Htm>: USGS,2003.
۳. زارع، مهدی ۱۳۸۲، گزارش مقدماتی شناسایی مناطق زلزله زده، سایت اینترنتی پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله http://www.iiies.ac.ir/bam_report_reacon_farsi.htmls.
۴. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۱۳۸۲، سایت اینترنتی http://www.bhrc.gov.ir/bhrc/reports/bam/bam_pdf.pdf

۵. حسن مقدم ، طرح لرزه ای ساختمان های آجری ، انتشارات شریف ، ۱۳۷۳ .
۶. حسن مقدم ، مهندسی زلزله - مبانی و کاربرد ، انتشارات فرهنگ ، ۱۳۸۱ .
7. Moghaddam, H.A., Dowling, P.J, 1987, the state_of_art in infilled frames, ESEE report, No87_2, Imperial college, London.
۸. حسن مقدم ، طراحی ضد زلزله قاب های مرکب ، سومین کنگره بین المللی مهندسی راه و ساختمان ، شیراز ، اردیبهشت ۱۳۶۹ .
۹. حسن مقدم ، معجزه قاب های مرکب در رشت ، ماهنامه ساختمان ، شماره ۲۰ ، مرداد ۱۳۶۹ .
۱۰. حسن مقدم ، مقاومت قاب های مرکب ، اولین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ، تهران ، ۱۳۷۰ .
11. Moghaddam, H. A, 1994, seismic strengthening of masonry infilled structures, 10 th European Confon Earthquake Eng, Vienna, pp2293_2297.
12. Moghaddam, H, 2003, Lateral load behaviour of maonry infilled steel frames with repair and retrofit, ASCE, Struc. Div., accepted for pub lication.
۱۳. حسن مقدم ، سیدعلی مؤید علایی ، بررسی ظرفیت چرخش و دیگر خصوصیات مقاومتی و رفتاری اتصال خرچینی ، چهارمین کنفرانس بین المللی زلزله ، تهران ، اردیبهشت ۱۳۸۲ .

