مقالات اساتید

مودهای شکست سقف در سازه‌های بنایی و جزئیات اجرایی راه‌حل‌ها

محمدرضا تابش‌پور

استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، tabeshpour@sharif.edu

چکیده

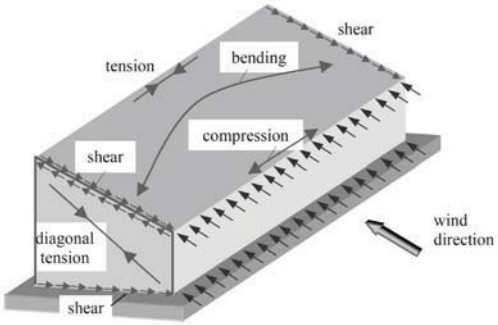
هرچند لرزه‌خیزی کشور ایران در مقایسه با کشورهایی نظیر ژاپن و نیوزیلند، بسیار کمتر است ولی ایران نسبت به جمعیت خود رکورددار تلفات جانی در زلزله می‌باشد. علت این امر، ریزش سقف‌ها در سازه‌های بنایی است. شاید بتوان گفت ریزش سقف‌ها در ساختمان‌های بنایی در ایران مهم‌ترین عامل تلفات جانی در زلزله باشد. پرتاب و ریزش مصالح سقف به علت عدم انسجام مناسب رخ می دهد. در برخی مواقع نیز که سقف، نسبتا منسجم است ممکن است سقف روی دیوار بلغزد و فرو بریزد. در اکثر ساختمان‌های بنایی موجود، سقف‌ها دارای دو مشکل اساسی هستند: عدم انسجام، عدم اتصال به دیوارها. همچنین در مناطق روستایی معمولاً سقف‌های سنگینی روی تیرهای چوبی اجرا می‌شود که منجر به نیروهای بزرگی در زلزله و تخریب می‌شود. در این مقاله دسته‌بندی نسبتاً کاملی در خصوص انواع سقف و رفتار لرزه ای آنها در زلزله های گذشته ارائه شده است.

۱ مقدمه

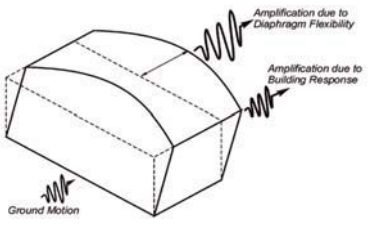
دلیل اصلی تلفات شدید جانی در زلزله های ایران، ریزش سقف ها به خصوص در ساختمان های بنایی است. متاسفانه در ساخت اغلب ساختمان های بنایی، به انسجام سقف و اتصال مناسب آن به دیوارها، توجه نشده است. اکنون تعداد بسیار زیادی ساختمان بنایی در ایران وجود دارد که سقف آن ها یکپارچگی کافی برای تحمل بارهای زلزله را ندارند و در روش مناسبی نیز به دیوارها متصل نشده اند. می توان گفت که سقف مهم ترین قسمت ساختمان است. آسیب پذیری شدید اغلب سقف ها در ساختمان های بنایی در زلزله های گذشته ی ایران اثبات شده است. در این فصل مودهای شکست انواع سقف ها و اشکالات رایج در اجرای آن ها بررسی می شود. توجه به این نقاط ضعف، راهنمای خوبی برای ارائه ی روشی مناسب برای بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود است و همچنین در اجرای جزئیات صحیح برای ساختمان در حال احداث، کمک می کند.

۲ دیافراگم سقف

در شکل ۱ به طور شماتیک، پاسخ سازه بنایی در زلزله رسم شده است. توجه شود که اگر سقف در رفتار درون صفحه‌ای، انعطاف‌پذیر باشد، مطابق شکل ۱ در زلزله نیروی بیشتری را باید تحمل کند. شکل ۲ مکانیزم انتقال و تحمل نیروی زلزله برای یک ساختمان نشان داده شده است. توجه شود که برای تحمل نیروهای کششی سقف و انتقال برش سقف به دیوارها، کلاف‌های افقی نیاز است. البته کلاف افقی کارکردهای دیگری نیز دارد، مثلاً به عنوان تکیه‌گاهی برای خمش خارج از صفحه دیوار عمل می کند.



شکل ۲ مکانیزم انتقال و تحمل نیروی زلزله



شکل ۱ انتقال حرکت زمین به دیوار و سقف

یکی از خصوصیات بارز سازه‌های آجری این است که سقف‌ها معمولاً به‌طور کامل صلب نیستند.

در صورتی‌که سقف انعطاف‌پذیر باشد، توزیع نیروی جانبی به نسبت سهم هر دیوار از بار ثقلی است. برخی مواقع ممکن است که انعطاف‌پذیر بودن سقف باعث توزیع مطلوب‌تری در نیروهای جانبی شود. اما در مجموع سقف انعطاف‌پذیر دارای آسیب‌پذیری بیشتری است. به‌منظور افزایش صلبیت سقف در یک سازه موجود می توان با برداشتن پوشش بام و اجرای مهاربند ضرب‌دری با تسمه و یا تعبیه‌ی میلگردهای عمود بر تیرها و بتن‌ریزی، نسبت به صلب کردن سقف، اقدام کرد. هم‌چنین می‌توان با برداشتن پوشش نازک‌کاری از قسمت تحتانی سقف، تسمه‌های جدیدی به این منظور نصب کرد.

در ساختمان‌های مهندسی‌ساز، معمولاً این تفکر وجود دارد که مهم‌ترین عضو ساختمان، ستون است. زیرا با شکست ستون، سقف فرو ریخته و منجر به تلفات جانی می‌شود. مطابق آیین‌نامه‌های لرزه‌ای، ایمنی جانی (مستلزم فرو نریختن سقف) در زلزله‌های شدید، به‌عنوان هدف در نظر گرفته می‌شود. با توجه به مشاهده‌ی ریزش متعدد سقف‌ها در ساختمان‌های بنایی و نیمه‌اسکلتی در زلزله‌های گذشته ایران می‌توان گفت که سقف مهم‌ترین قسمت سازه است. در خصوص سقف‌های سازه‌های بنایی در ایران می‌توان گفت که در اغلب سازه‌هایی با قدمت بیشتر از حدود ۱۵ سال، دو مشکل اساسی زیر وجود دارد:

منسجم نبودن سقف
عدم اتصال سقف به دیوارها

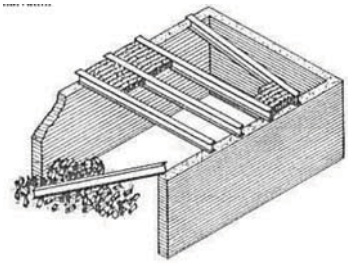
چه بسیار مواردی که قسمت‌های مختلفی از سقف به‌علت عدم انسجام و یک‌پارچگی فرو ریخته است. هم‌چنین به دلیل عدم اتصال بین سقف و دیوارها، سقف به‌راحتی فرو می‌ریزد و هم‌چنین دیوارهای غیربابر در شکست خارج از صفحه دچار شکست می‌شود. از آن‌جا که دیوارهای غیرباربر اگر تحت نیروهای برون‌صفحه‌ای قرار بگیرند، در کناره‌ها در امتداد ارتفاع از دیوارهای باربر جدا و ترک گوشه ایجاد می‌شود.

یکی از نکات مهم در مودهای شکست، جهت تیرریزی سقف است که به‌طور مفصل مورد بررسی قرار خواهد گرفت. هم‌چنین مطابق تعریف ارائه‌شده در فصل سوم استاندارد ۲۸۰۰، ساختمان‌های نیمه‌اسکلتی جزء ساختمان‌های بنایی محسوب می‌شوند. در این فصل مشاهده خواهد شد که رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های نیمه‌اسکلتی با ساختمان‌های بنایی تفاوت زیادی دارد. تعداد ساختمان‌های نیمه‌اسکلتی در شهرهای متوسط و کوچک، قابل‌ملاحظه است. دلیل اصلی فراوانی این ساختمان‌ها، هزینه‌های اجرایی است. یک نکته‌ی مهم در خصوص سازه‌های نیمه‌اسکلتی این است که نسبت به زلزله در تمام راستاها آسیب‌پذیرند و متداول‌ترین مود شکست این سازه‌ها، شکست ستون و ریزش کامل سقف است.

۳ انسجام سقف

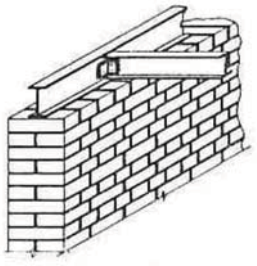
عدم انسجام سقف طاق ضربی باعث بازشدگی دهانه‌ی طاق می‌شود و آجرها به‌راحتی فرومی‌ریزند. در شکل ۳ نمونه هایی از عدم انسجام چشمه ی طاق ضربی مشاهده می شود که باعث ریزش آجرهای سقف شده است. توجه شود که ریزش آجرهای سقف طاق ضربی شدیداً خطرناک است و منجر به تلفات جانی می شود. یک راه ساده برای یکپارچه کردن سقف طاق ضربی و جلوگیری از جابه جایی نسبی تیرهای سقف به یکدیگر، اجرای بادبند ضربدری در سقف است. سختی محوری بادبند سقف باعث می شود که تیرها درون صفحه ی سقف نسبت به یکدیگر جابه‌جا نشوند. توجه شود که بادبند ضربدری سقف باعث افزایش سختی دیافراگم سقف در خمش خارج از صفحه ی سقف نمی شود، البته نیازی به این سختی هم نیست. در شکل ۴ به طور شماتیک، ریزش سقف طاق ضربی نشان داده شده است.

شکل ۳ امکان ریزش طاق‌ضربی به‌علت عدم انسجام سقف

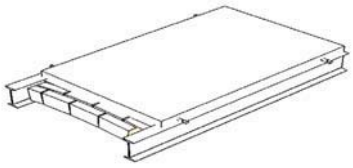


شکل ۴ ریزش سقف طاق ضربی

راه حل: *برای جلوگیری از این شکست باید امکان تحمل نیروهای کششی ناشی از خمش درون صفحه ایجاد شود. اگر تسمه‌هایی در راستای عمود به تیرها و در ابتدا و انتهای تیرها اجرا شود، تا حد زیادی این مشکل حل می شود. البته کلاف افقی عمود بر تیرها نیز همین کارکرد را دارد به شرط آنکه تیرها با کلاف افقی اتصال مناسبی داشته باشند (شکل ۵). ولی برای جلوگیری از تغییرشکل‌های برشی درون صفحه سقف، باید بادبندی افقی در سقف اجرا شود. در صورت اجرای بادبندی سقف دیگر نیازی به تسمه اشاره شده وجود ندارد. می توان به جای بادبندی افقی مطابق شکل ۶ از دال بتنی استفاده کرد.*



شکل ۵ اتصال مناسب تیرها با کلاف افقی برای ایجاد انسجام در سقف

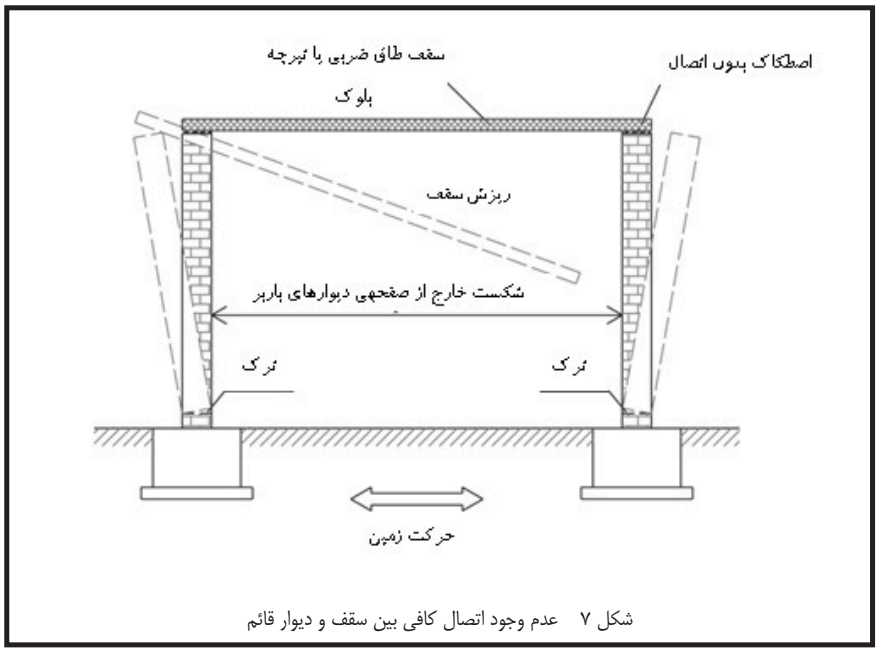


شکل ۶ اجرای دال بتنی به منظور یکپارچگی سقف

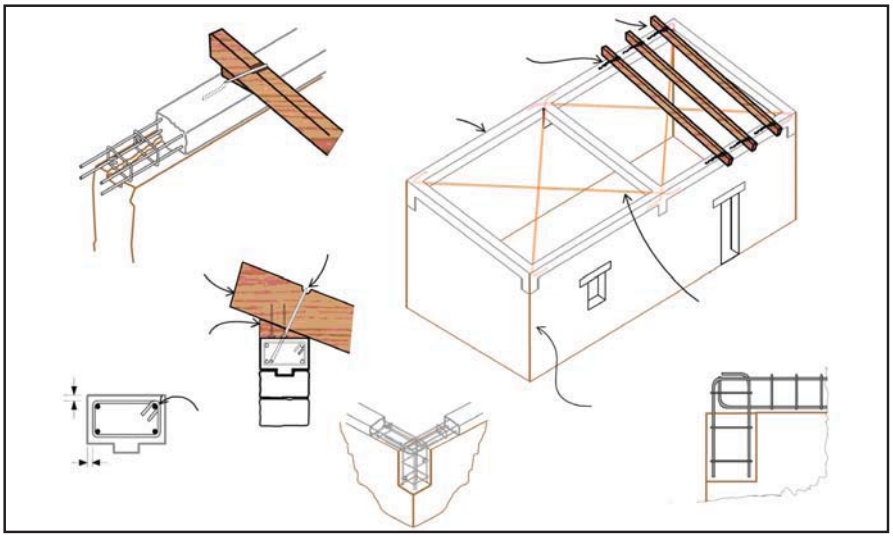
٤ اتصال سقف به دیوارها

یکی از مهمترین ضعف های ساختمان های بنایی در ایران این است که سقف ها به دیوارها اتصال مناسبی ندارند. در اغلب ساختمان های بنایی که تا حدود ۱۵ سال پیش ساخته شده اند، سقف ها هیچ اتصالی با دیوارها ندارند، شبیه یک صفحه ی مسطح که بعد از اجرای دیوارها بر روی آن قرار گرفته است. چنین سقفی فقط کارکرد سایه‌بان و محافظت از عوامل جوی را دارد و تحت نیروی اندکی در زلزله مطابق شکل ۷ کاملاً فرو می ریزد. این مود شکست در زلزله های ایران به وفور رخ می دهد. البته ریزش سقف ممکن است باعث ریزش دیوارها شده و کل ساختمان تبدیل به تلی از آوار شود. چنین شکستی به جهت تیرریزی سقف در مقایسه با جهت زلزله نیز بستگی دارد.

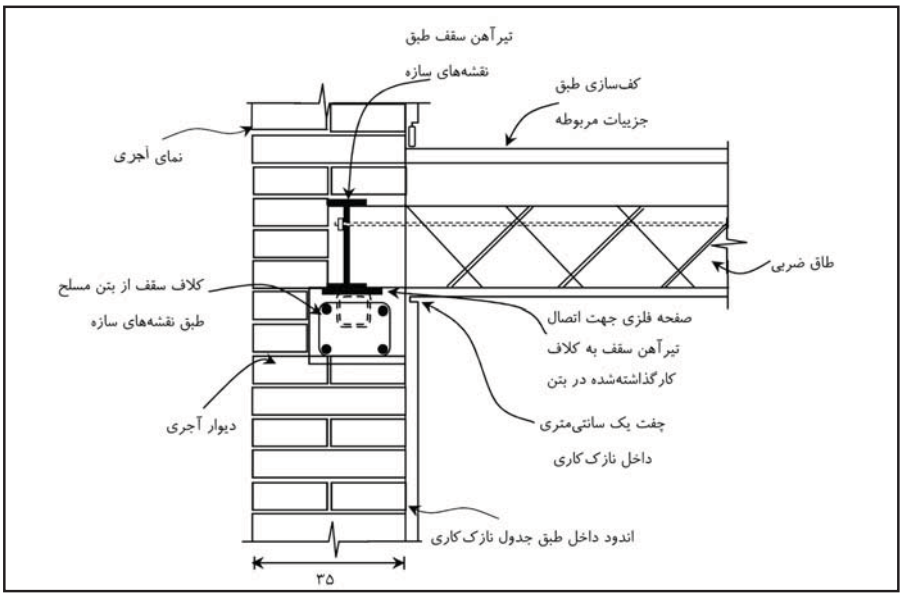
راه حل: *سقف باید با مصالح مناسب و به نحوی ساخته شود که در برابر نیروهای زلزله، اولاً از تکیه‌گاه خود جدا نشود و ثانیاً یکپارچگی و استحکام خود را حفظ نماید (شکل ۸). در شکل‌های ۹ تا ۱۱ جزئیات اجرایی مناسب از نشریه ۹۲ آورده شده است. در اجزای سازه‌های بنایی کلاف‌دار، کلاف‌های افقی به عنوان قسمتی از کلاف‌های قائم و افقی اجرا می‌شوند. کلاف‌های افقی می‌باید در محل و به صورت مسلح و از همان جنس کف‌ها ساخته شوند. کلاف‌های افقی می‌بایست در هر تراز طبقه بر روی تمام دیوارهای سازه‌ای اجرا شوند. حداقل سطح مقطع توصیه شده برای کلاف‌های افقی ۲۵۰*۱۵۰ میلیمتر می‌باشد. ابعاد بزرگتر بستگی به ضخامت دیوارها دارد. در شکل ۱۲ نمونه‌ای از اجرای یکپارچه کلاف افقی به همراه دال کف به نمایش در آمده است. جزئیات اجرایی سقف تیرچه بلوک و نیز جزییات اجرای همزمان دال بتنی به همراه کلاف‌های افقی به ترتیب در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ ارائه شده است.*



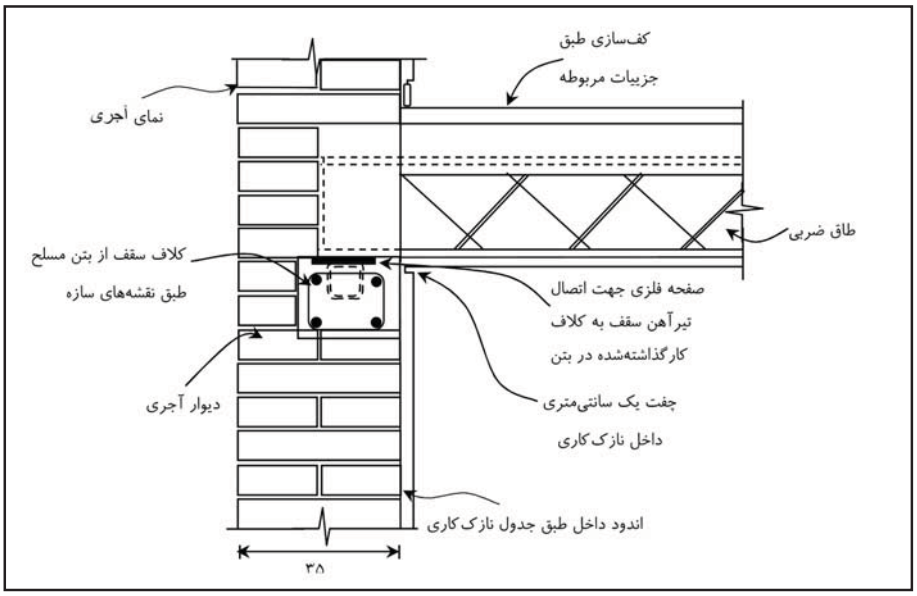
شکل ۷ عدم وجود اتصال کافی بین سقف و دیوار قائم



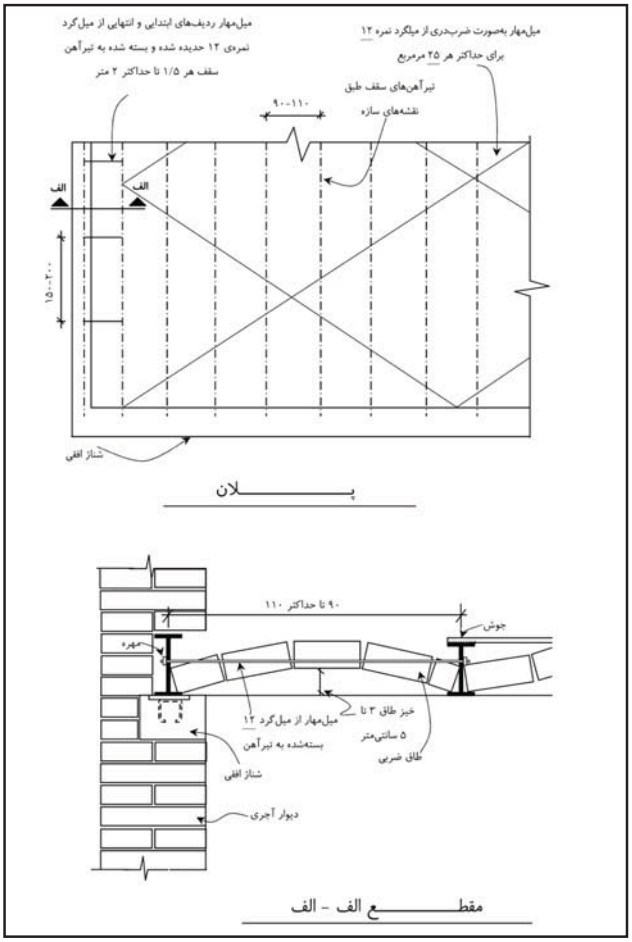
شکل ۸ انسجام مناسب در سقف و اتصال آن به دیوارها



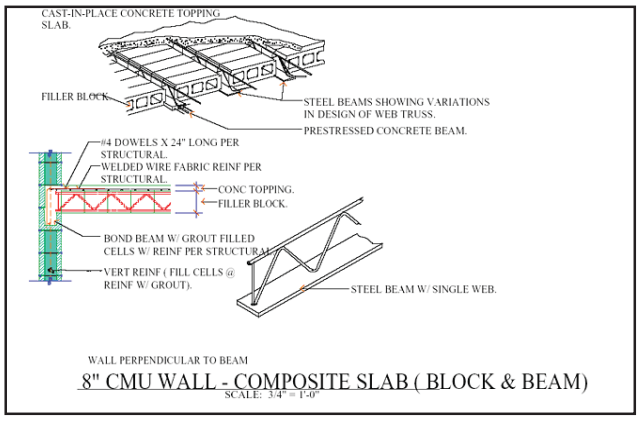
شکل ۹ جزئیات اتصال سقف به دیوار در جهت عمود بر تیرریزی سقف



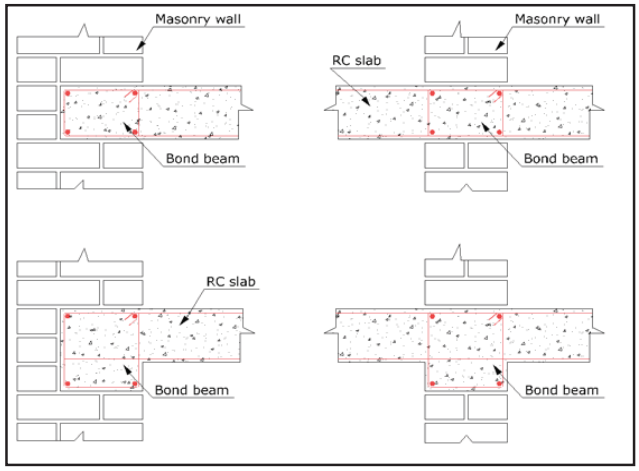
شکل ۱۰ جزئیات اتصال سقف به دیوار در جهت تیرریزی سقف



شکل ۱۱ جزئیات بادبند افقی سقف و اتصال سقف با دیوار



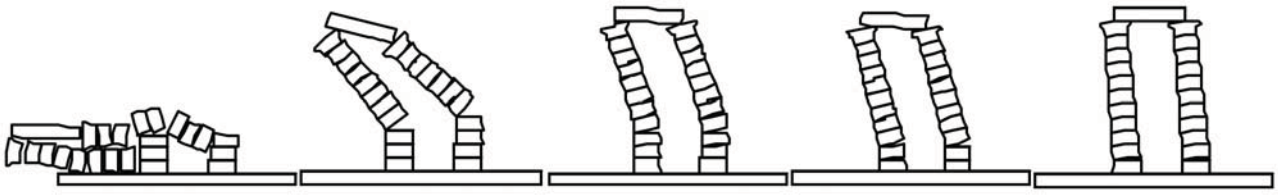
شکل ۱۲- جزئیات اجرایی سقف تیرچه بلوک



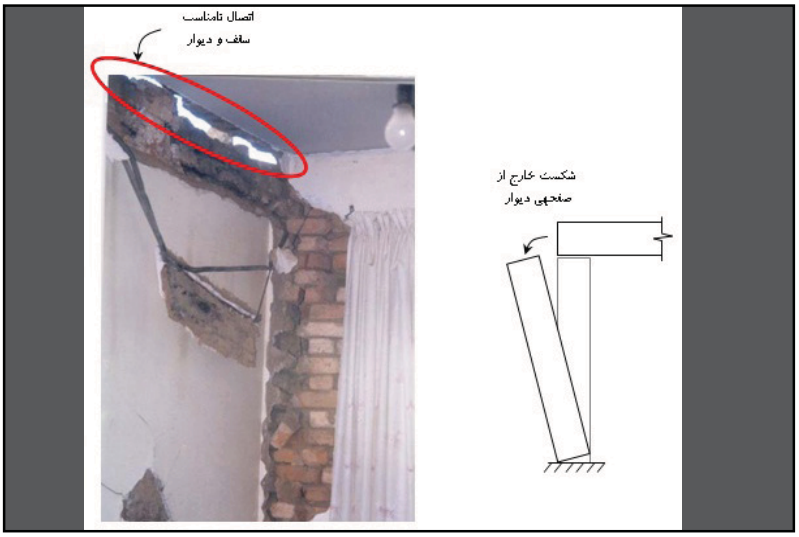
شکل ۱۳ جزییات اجرای همزمان دال بتنی به همراه کلاف‌های افقی

شکست دیوارها و سقف به زاویه بین جهت زلزله با جهت تیرریزی بستگی دارد. الگوی ریزش سقف در حالت زلزله موازی تیرریزی در شکل ۱۴ نشان داده است. اگر جهت زلزله با تیرهای سقف موازی باشد، آن گاه دیوارهای باربر تحت خمش خارج از صفحه قرار می گیرند. در این صورت مانند شکل ۱۴ دیوار باربر از قسمت میانی شکسته می شود و سقف و دیوار باربر هم زمان فرو می ریزند. چه بسیار افرادی که در طول ۵۰ سال اخیر در ایران به علت چنین شکستی جان خود را از دست داده اند.

ممکن است مانند شکل ۱۵ جهت تیرریزی طوری باشد که دیوارهای غیر باربر به علت عدم اتصال با سقف در خمش خارج از صفحه، شکست یابند و علاوه بر ایجاد ترک گوشه، با تداوم زلزله، کاملاً فرو بریزند. در این حالت ترک گوشه نیز ایجاد می شود. البته اگر سقف، انسجام مناسبی داشته باشد، با ریزش قسمت‌هایی از دیوار، باز هم سقف مانند شکل ۱۶ فرو نمی ریزد. پس دیوارها هم به اتصال با سقف نیاز دارند.



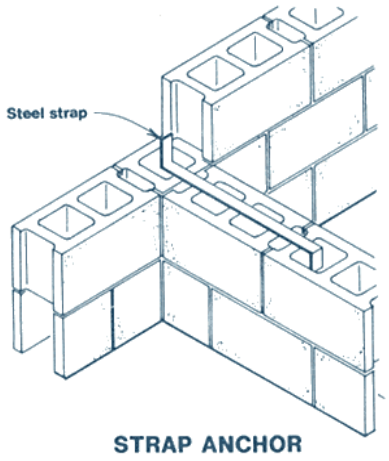
شکل ۱۴ الگوی ریزش سقف در حالت زلزله موازی تیرریزی



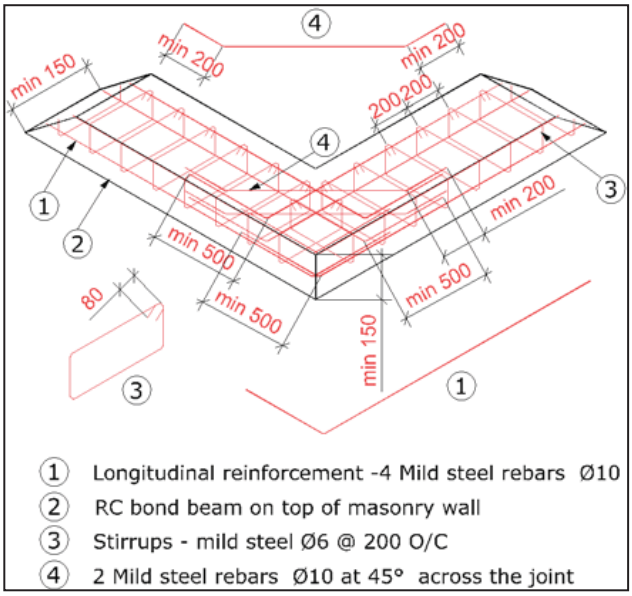
شکل ۱۵ اتصال نامناسب بین دیوار و سقف (زلزله عمود بر تیرریزی)

شکل ۱۶ ریزش دیوار غیرباربر و انسجام سقف

راه حل: *باید دیوارهای متقاطع توسط قطعات مکانیکی مانند شکل ۱۷ به یکدیگر متصل شوند و یا دیوار غیر باربر نیز توسط کلاف مناسب به سقف متصل شود. در شکل ۱۸ نمونه‌ای از کلاف افقی قرار گرفته در گوشه سازه مشاهده می‌شود.*



شکل ۱۷ اتصال مناسب دیوارهای عمود بر هم



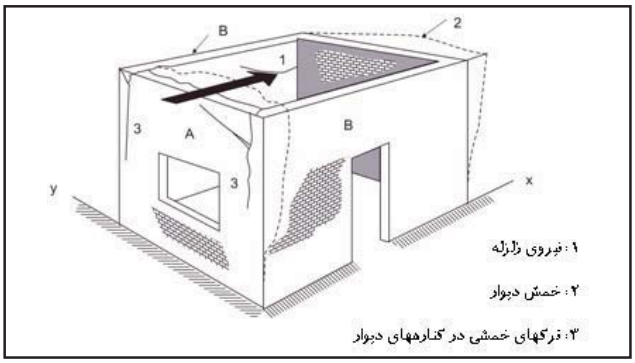
شکل ۱۸ جزییات اجرای کلاف افقی به همراه میلگردهای مورد نیاز در گوشه ساختمان

شکل ۱۹ شکست سقف به‌علت عدم انسجام و عدم اتصال به دیوار (بم). به وزن زیاد سقف توجه شود!

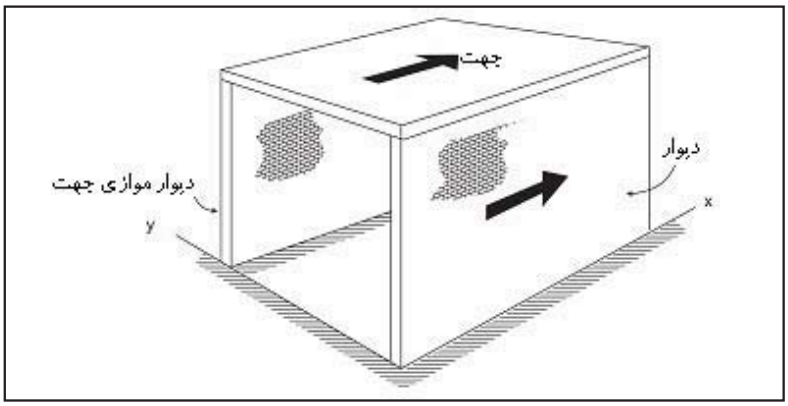
شکل ۲۰ ریزش سقف به‌علت عدم اتصال به دیوار (بم)

در شکل ۱۹ نمونه ای از ریزش سقف و شکست دیوار باربر در زلزله بم، نشان داده شده است. در این شکل به ضخامت زیاد سقف نیز توجه شود. نمونه ی دیگری از این شکست در شکل ۲۰ مشاهده می شود.

ترک های ناشی از زلزله در دیوارهای یک ساختمان بنایی ساده در شکل ۲۱ نشان داده شده است. اگر دیوارهای B بار سقف را تحمل کنند، نیروی برشی زلزله را نیز به راحتی جذب می کنند. البته به شرط آن که سقف به این دیوارها متصل باشد. ترک های شماره ی ۳ به نام ترک گوشه هستند. اگر دیوارهای A بار سقف را تحمل کنند و سقف به دیوارهای B متصل نباشد، این دیوارها نیروی زلزله را جذب نمی کنند و ممکن است ساختمان منهدم شود. اگر مطابق شکل ۲۲ سقف به دیوارهای موازی با جهت زلزله متصل نباشد، ولی انسجام کافی برای عملکرد یک پارچه را داشته باشد، روی دیوارها می لغزد. این نیروی لغزش با مقاومت اصطکاکی بین سقف و دیوار برابر است.



شکل ۲۱ ترک‌های ناشی از زلزله (به ترک‌های گوشه دقت شود).



شکل ۲۲ مقاومت جانبی سقف بدون اتصال به دیوار

اگر ضریب اصطکاک سقف با دیوار μ باشد، نیروی لازم برای لغزاندن سقف روی دیوار برابر است با:

$$F_f = \mu W_{roff}$$

که در آن W_{roof} وزن سقف است. معمولاً ضریب اصطکاک بین ۱/. و ۳/. است. به این ترتیب مقاومت جانبی سقف تقریباً برابر است با:

$$F_f = 0.2 W_{roff}$$

اکنون با فرض ضریب رفتار ۲ و ضریب بازتاب ۲/۵ در منطقه ی با خطر لرزه ای شدید، نیروی وارد بر سقف ساختمان یک طبقه ی بنایی به صورت زیر است:

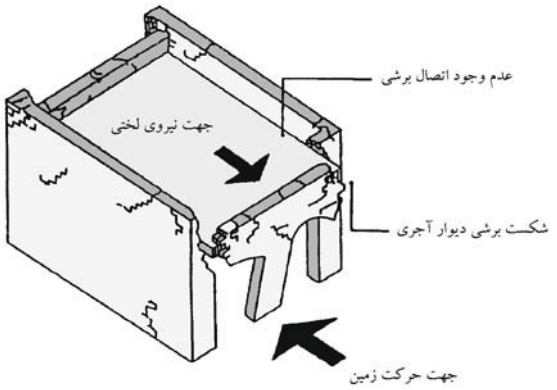
$$V_{des} \cong \frac{AB}{R} W = \frac{0.35 \times 2.5}{2} W \cong 0.4W \cong 2F_f$$

$$\overset{S.F.=1.5}{\Rightarrow} V_{demand} \cong 3F_f$$

اگر ضریب اطمینان ۱/۵ برای طراحی در نظر گرفته شود، می توان گفت که مقاومت مورد نیاز حدود ۳ برابر مقاومت اصطکاکی موجود است، یعنی:

حتماً باید سقف با اتصالات مکانیکی مناسبی به دیوارها متصل شود.

البته در صورت عدم اتصال دیوارها به سقف، شکست خارج از صفحه‌ی دیوارهای عمود به زلزله در همان ابتدای زلزله نیز رخ خواهد داد. در شکل ۲۳ حرکت لغزشی سقف و شکست خارج از صفحه ی دیوار بنایی به طور هم زمان نشان داده شده است. توجه شود که اگر سقف، منسجم نباشد، هم زمان با حرکت لغزشی سقف، گسیختگی هایی در آن رخ می دهد که ممکن است منجر به ریزش کامل سقف شود. نمونه ای از ریزش کامل سقف در زلزله ی بم در شکل ۲۴ نشان داده شده است. نمونه ای دیگر از فروریزش سقف به علت ریزش دیوارها و اتصال نامناسب سقف و دیوارها در شکل ۲۵ مشاهده می شود. به علت اجرا نشدن بادبند ضربدری سقف در چشمه های طاق ضربی، انسجام کافی در سقف وجود نداشته است. مثال دیگری از ریزش آجرها در چشمه های طاق ضربی در شکل ۲۶ نشان داده شده است.



شکل ۲۳ عدم وجود اتصال کافی بین سقف و دیوار قائم

شکل ۲۴ شکست دیوار در حالت سقف بسیار انعطاف‌پذیر و یا عدم وجود اتصال مناسب بین آن با دیوارها

شکل ۲۵ ریزش سقف به‌علت شکست دیوارهای باربر و عدم انسجام سقف (به جهت تیرریزی توجه شود.)

شکل ۲۶عدم انسجام سقف

۵ سقف چوبی

سقف های چوبی که به روش های مختلفی اجرا می شوند، در نقاط مختلف ایران مورد استفاده قرار می گیرند. سقف های چوبی معمولاً به یکی از دو روش کلی زیر اجرا شده اند:

سیستم خرپای چوبی

سیستم تیر چوبی

معمولاً سیستم خرپای چوبی دارای پوشش سقف سبک است. در حالتی که از تیرهای چوبی برای سقف استفاده می شود، معمولاً روی تیر ها با تخته پوشیده می شود. حال اگر این تخته ها در طرفین به تیرهای چوبی میخ شوند، انسجام نسبی در سقف ایجاد می شود. اگر تخته ها به تیرهای چوبی میخ نشوند و یا به جای تخته از پوشال برای پوشش سقف استفاده شود، سقف یکپارچگی کافی نخواهد داشت. در این صورت باید در امتداد دیوارهای باربر که تیرهای چوبی را تحمل می کنند، تمامی تیرها توسط اعضای کششی به هم متصل شوند.

در شکل ۲۷ نمونه ای از شکست سقف چوبی مشاهده می شود.

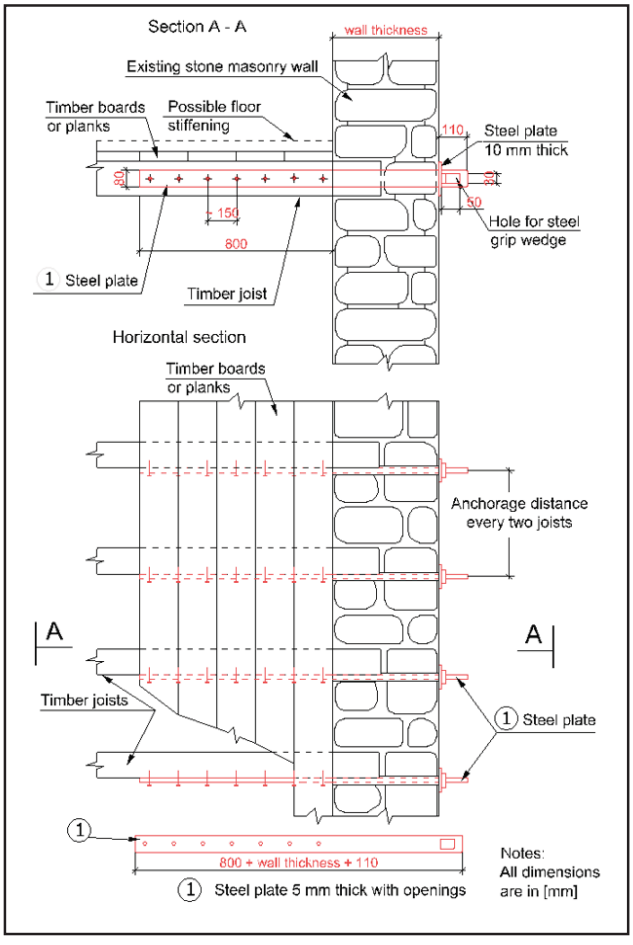
شکل ۲۸ سقف با مصالح بامبو که در زلزله ی ۷/۹ ریشتری در پرو رفتار قابل قبولی داشته است (۲۰۰۷).

رفتار سقف های چوبی نیز مانند سقف های طاق ضربی به جهت تیرریزی در مقایسه با جهت زلزله بستگی دارد. در شکل ۲۸ نمونه ای از سقف چوبی با مصالح بامبو در پرو نشان داده شده است که در یک زلزله ی شدید، رفتار قابل قبولی نشان داده است. ریزش نسبی سقف در زلزله نیز در شکل ۲۹ مشاهده می شود.

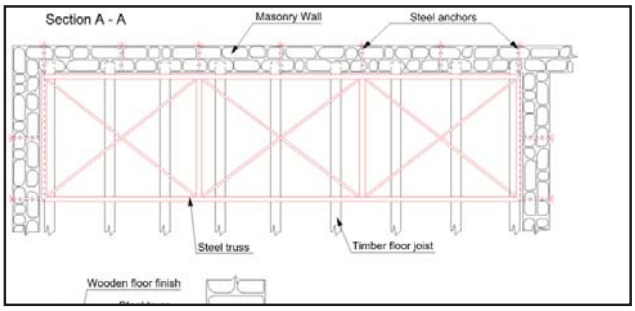
شکل ۲۹ ریزش سقف (ترکیه)

شکل ۲۷ شکست سقف چوبی

راه حل: *در مواردی که کف ساختمان بنایی چوبی بوده، بستن دیوارها به هم بوسیله بست‌های فلزی در محل تقاطع دیوارها برای تأمین رفتار یکپارچه سیستم کافی نیست مخصوصاً وقتی فاصله بین دیوارهای عرضی منتقل کننده بار زیاد باشد. برای کاهش ارتعاشات غیر کوپلی و جلوگیری از بوجود آوردن ترک یا شکست خارج از صفحه احتمالی، دیوارها می‌باید در طول دهانه بوسیله مهارهای فلزی به سیستم طبقات دوخته شوند. روشی برای اتصال کف‌های چوبی به دیوارهای سنگی در شکل ۳۰ نشان داده شده است. با توجه به فاصله قابل توجه دیوارهای عرضی از هم و با عنایت به پیچیدگی اتصال اجزای مختلف کف‌های چوبی به دیوارها، می‌توان از یک خرپای فلزی که بر روی کف چوبی تا زیر قسمت فوقانی کف اجرا می‌شود سود جست. این خرپا در محلی اجرا می‌شود که حداقل سه دیوار نزدیک به هم با اجزای خرپا در تماس باشند. با استفاده از مهارهای فلزی می‌توان خرپا را به دیوار متصل نمود. برای جزییات بیشتر به شکل ۳۱ مراجعه شود. مشابه سیستم‌های کف، بام نیز می‌باید قادر به ایجاد رفتار دیافراگمی بوده و بتواند بارهای برشی را به دیوارهای باربر منتقل نماید. با ایجاد یک کلاف افقی بتن مسلح بر روی دیوارها در تراز بام و با استفاده از مهارهای عمودی می‌توان اجزای بام یا المان‌های خرپای نصب شده را به صورت مناسب به یکدیگر متصل نمود تا از رفتار یکپارچه بام نیز مطمئن بود. این اجزا بوسیله بولت‌های مهاری به کلاف افقی متصل می‌شوند.*



شکل ۳۰ جزییات مهار کف های چوبی در دیوارها



شکل ۳۱ افزایش سختی کف های چوبی طویل بوسیله ایجاد خرپای فلزی

٦ ساختمان نیمه‌اسکلتی (کلاف افقی به جای تیر)

در شکل ۳۲ مشاهده می شود که دیوار در زیر کلاف افقی سقف، اتصال مناسبی با آن نداشته و فرو ریخته است. در این جا کلاف افقی علاوه بر آن که به عنوان تیر تحمل کننده ی نعل درگاه به کار رفته است، به عنوان شاه تیر تحمل کننده و انتقال دهنده ی بار سقف به دیوارها نیز مورد استفاده قرار گرفته است. حال آن که باربری ثقلی بر عهده ی دیوارها است و کلاف نباید به عنوان شاه تیر به کار رود. اکنون نه تنها دیوار بنایی فرو ریخته است، بلکه اگر قسمت باقی مانده از دیوار در گوشه ی ساختمان شکسته شود، کل سقف فرو می ریزد. اتفاق مشابه ای در شکل ۳۳ مشاهده می شود.

شکل ۳۲ کارکرد کلاف افقی به جای تیر حمال (اجرای نامناسب اتصال بین کلاف افقی و دیوار باعث ریزش خارج از صفحه‌ی دیوار غیرباربر شده است. عدم وجود کلاف قائم باعث جدا شدن دیوارها در گوشه‌ها از یک‌دیگر شده است.)

شکل ۳۳ آسیب‌پذیری شدید سقف و احتمال ریزش؛
(در صورت شکست باقی‌مانده‌ی دیوار باربر، سقف کاملاً فرو می‌ریزد.)

شکل ۳۴ شکست خارج از صفحه‌ی دیوار مرتفع به‌علت عدم اتصال به سقف میانی (به وجود پشت‌بندها قبل از زلزله توجه شود.)

شکل ۳۵ نقش اجزای غیرسازه‌ای در نگهداری دیافراگم سقف

۷ ساختمان دوطبقه

در شکل ۳۴ نمونه ای از ساختمان دو طبقه مشاهده می شود که سقف طبقه ی اول به دیوار متصل نیست. به علت آن که ارتفاع آزاد دیوار افزایش یافته است، این دیوار تحت بار ثقلی، تغییر شکل برون صفحه ای زیادی داده است، تا جایی که مالک ساختمان برای امنیت جانی، پشت بندهایی را اجرا کرده است. هر چند این پشت بندها برای جلوگیری از شکست کمانشی دیوار مرتفع، احداث شده اند، ولی در زلزله نیز به کمک ساختمان آمده و از شکست دیوار و فروریزش سقف جلوگیری کرده اند.

ممکن است اجزای غیرسازه ای در زلزله باعث تلفات جانی شود. اهمیت مهار کردن اجزای غیرسازه ای در این است که حتی ممکن است باعث جلوگیری از ریزش سقف شود و تلفات جانی را کاهش دهد. نمونه ای از این رفتار در شکل ۳۵ مشاهده می شود.

۸ وزن زیاد سقف

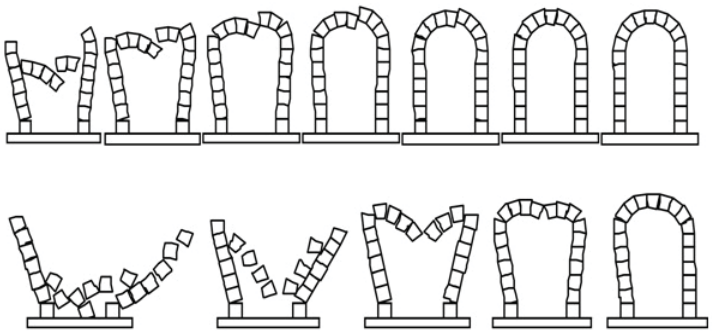
یکی از مهمترین نکات در خصوص ساختمان های بنایی، این است که در روش سنتی اجرای سقف ها، برای شیب بندی آن، حجم انبوهی از مصالح و نخاله های ساختمانی را در سقف به کار می برده اند. در نتیجه یکی از مشکلات اساس موجود در اغلب ساختمان های بنایی موجود، وزن زیاد سقف است. نمونه های متنوعی از این مشکل و مد های شکست متناظر در شکل های ۳۶ تا ۳۸ ملاحظه می شود.

شکل ۳۶ انباشت نخاله ها در سقف و سنگین شدن آن (بم)

شکل ۳۸ نمونه ای از سقف سنگین (ترکیه)

شکل ۳۷ ضخامت و سنگینی زیاد سقف چوبی

شکل ۳۹ شکست سقف قوسی (بم)



شکل ۴۰ شکست سقف قوسی به علت بار جانبی

۹ سقف های قوسی

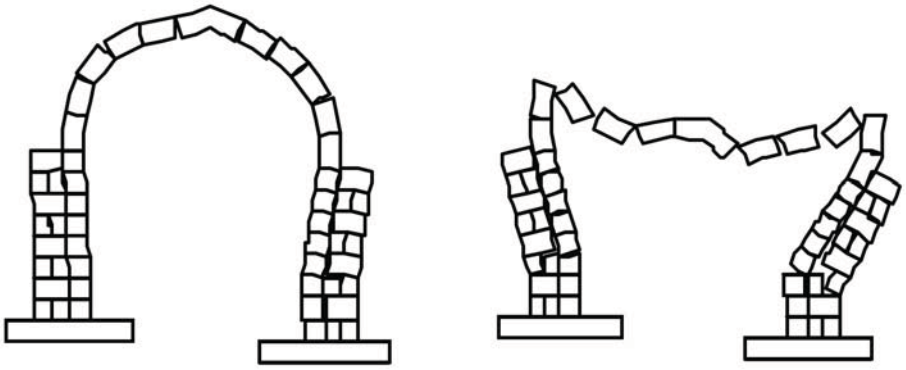
در خصوص سقف های قوسی، رفتار سقف شدیداً به جهت زلزله بستگی دارد. اگر دیوارهای برشی در جهت موازی قوس سقف به مقدار کافی برای تحمل نیروی زلزله باشند، در صورت وقوع زلزله در جهت موازی این دیوارها، رفتار ساختمان مطلوب خواهد بود، زیرا سقف از خود کنش قوسی نشان می دهد. اگر دیوارهای موازی قوس سقف، کافی نباشند، هر چند در این راستا سقف از خود کنش قوسی نشان می دهد، ولی به علت عدم وجود انسجام کافی بین سقف و دیوار (غیر باربر) ساختمان ضعیف خواهد بود و امکان ریزش سقف وجود دارد. از آن جا که دیوارهای طولی (عمود بر قوس سقف)، بار سقف را تحمل می کنند، مقاومت برشی کافی دارند و نیز در قسمت فوقانی این دیوارها شرایط مناسب تری برای اتصال سقف به دیوارها وجود دارد، در نتیجه رفتار ساختمان در این راستا ممکن است بهتر باشد. البته توجه شود که در این راستا سقف از خود کنش قوسی نشان نمی دهد. نمونه ای از شکست سقف قوسی در زلزله در شکل ۳۹ نشان داده شده است.

در خصوص سقف های گنبدی، عمکرد سقف به جهت زلزله بستگی ندارد و تقریباً همیشه این سقف ها در زلزله از خود رفتار مناسبی نشان می دهد. یک نمونه از آن در شکل ۴۱ نشان داده شده است. البته اگر دیوارهای برشی که سقف بر روی آن ها نهاده شده است دارای مقاومت کافی برای تحمل نیروهای برشی نباشد، ممکن است این دیوار ها شکسته شوند و مانند شکل ۴۲ سقف فرو می ریزد.

شکل ۴۱ رفتار مناسب سقف گنبدی (بم)

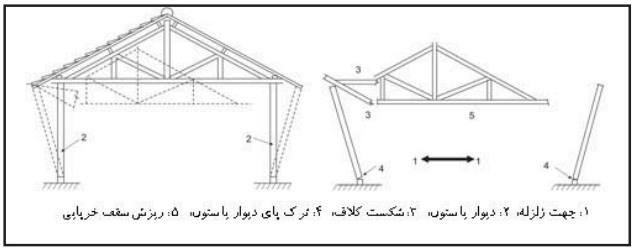
۱۰ سقف سبک

در مناطقی از ایران که بارش های زیادی دارد، سقف برخی از ساختمان های با مصالح بنایی با استفاده از خرپاهای چوبی یا فلزی به صورت شیروانی ساخته می شود. تجربیات مربوط به زلزله های گذشته در نقاط مختلف جهان نشان می دهد که اجرای نادرست این سقف ها ممکن است باعث فروریزش سقف یا شکست خارج از صفحه ی دیوارهای غیربارب شود. در شکل ۴۳ به طور شماتیک شکست خرپای سقف نشان داده شده است.



شکل ۴۲ ریزش سقف قوسی به علت بارهای لرزه ای یا نشست غیریکسان

در شکل ۴۴ نمونه ای از فروریزش سقف شیروانی به علت شکست دیوار در ترکیه



شکل ۴۳ شکست سقف خرپایی چوبی در ساختمان بنایی

شکل ۴۴ سقف در آستانه ی ریزش (ترکیه)

شکل ۴۵ خرابی سقف شیروانی ساختمان یک مدرسه با مصالح بنایی (زلزله ی نیوکاسل، ۱۹۸۹)

نشان داده شده است. در صورتی که جهت زلزله عمود بر خرپاها باشد، ممکن است مطابق شکل ۴۶ در امتداد دیوار شیروانی ترک ایجاد شود. برای جلوگیری از این ترک باید در همان محل، کلاف افقی اجرا شود.

شکل ۴۶ ایجاد ترک در امتداد دیوار شیروانی (اندونزی)

راه حل: *با توجه به EC8، گروه ویژه ای از سازه‌های بنایی را می‌توان بدون بررسی مقاومت لرزه‌ای اجرا نمود، مشروط بر اینکه کیفیت مواد مورد استفاده و همچنین نحوه اجرای سازه منطبق با شرایط آیین‌نامه باشد. به چنین سازه‌هایی، سازه ساده می‌گویند (۴۷).*

دسته ای از اشکالات رایج در اجرای ساختمان های بنایی، اشتباهات مربوط به میلگرد گذاری است. در این خصوص باید به نکات زیر توجه شود:

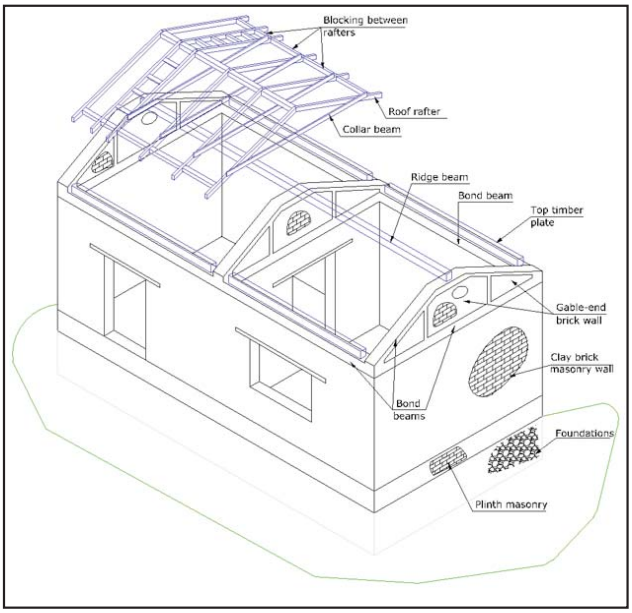
قفل و بست مناسب در محل اتصالات

طول هم پوشانی مناسب

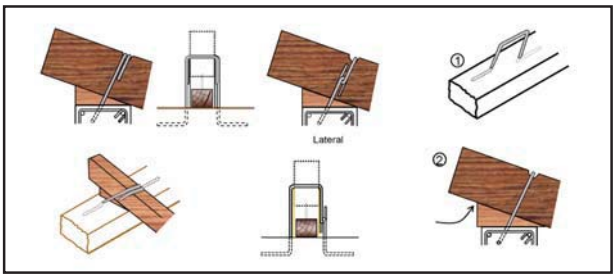
فاصله ی خاموت ها

ایجاد خم در قلاب های خاموت

در شکل ۵۰ نمونه ای از اشتباه در میلگرد گذاری در بالای دیوار شیروانی مشاهده می شود. روش درست این میلگردگذاری در شکل ۵۱ نشان داده شده است، که باعث انسجام و قفل و بست مناسب در محل اتصالات می شود. در شکل ۵۲ جزئیات اجرایی کاملی ارائه شده است. هنگامیکه کف به صورت چوبی اجرا می‌شود جهت حصول اطمینان از رفتار دیافراگمی کف و مقاومت خارج از صفحه دیوار ها، می‌باید از جزییات دقیق‌تر اجرایی استفاده نمود. به منظور عملکرد لرزه ای مناسب باید جزئیات اتصالات مربوط به کلاف افقی سقف مطابق شکل ۴۸ اجرا گردد.

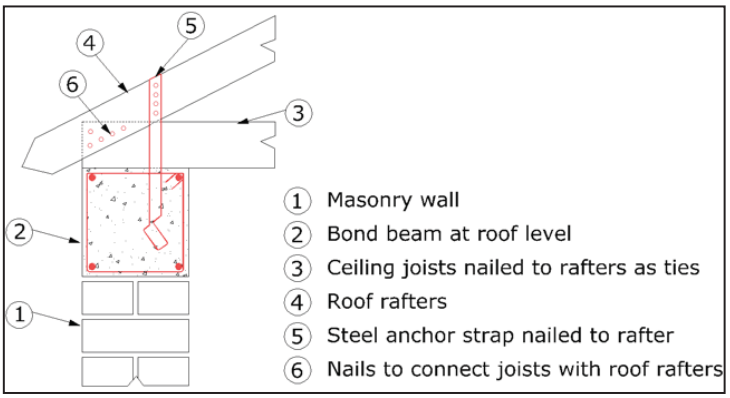


شکل ۴۷ ساختمان ساده و کلاف‌های افقی جهت حفاظت از دیوارهای اتاق زیر شیروانی



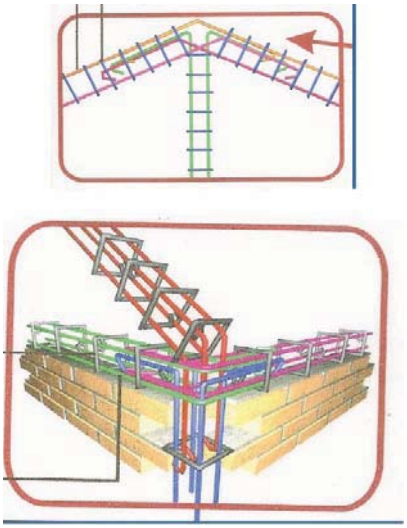
شکل ۴۹- اتصال مناسب سقف چوبی به بالای دیوار

شکل ۵۰ میلگرد گذاری اشتباه (اندونزی)



شکل ۴۸ اتصال کف چوبی به کلاف افقی

(۱-دیوار آجری، ۲- کلاف افقی سقف، ۳- تیرچه سقف کاذب میخ شده به تیرهای شیروانی سقف، ۴- تیرهای شیروانی سقف، ۵- بستهای فولادی میخ شده به تیرهای شیروانی سقف، ۶- میخ های اتصال)



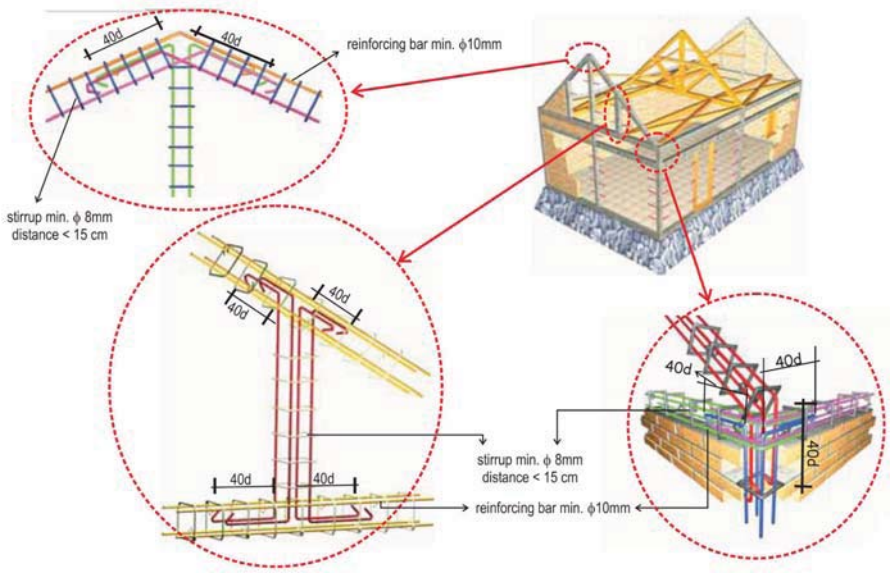
شکل ۵۱ میلگرد گذاری درست

۱۱ خلاصه و جمع بندی

متأسفانه در اغلب نقاط ایران، هنوز سازه های بنایی به روش سنتی اجرا می شوند و فاقد ابتدایی ترین جزئیات مربوط به انسجام سقف و اتصال به دیوارها هستند. تجربیات مربوط به زلزله‌های ۵۰ سال اخیر ایران نشان می دهد که فروریزش سقف سازه های بنایی مهمترین عامل تلفات جانی بوده است.

آشنایی با مودهای مختلف شکست سقف در این نوع سازه‌ها در کنار تحلیل رفتار لرزه ای آنها به کمک مفاهیم پایه ای، باعث می شود تا راهکارهای مورد نیاز برای رفع این نقایص پیدا شود. سقف‌های طاق ضربی و چوبی در انواع سازه‌های آجری و خشتی جزو پرفراوانی ترین سازه‌های مورد استفاده در روستاها و شهرهای کوچک و متوسط ایران می باشد. مهمترین اشکالات این سقف ها عدم انسجام سقف و عدم اتصال سقف با دیوارها می باشد. راهکارهای بسیار ساده ای برای حل هردو مشکل وجود دارد.

در این مقاله انواع سقف‌های متداول در سازه‌های بنایی و رفتار لرزه‌ای آنها در زلزله‌های گذشته مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی مودهای شکست، ابزار قدرتمندی برای تکمیل استانداردهای موجود و افزایش کیفیت ساخت و ساز ایجاد می‌شود. راه حل‌های کیفی و جزئیات اجرایی این راه‌ها نیز ارائه شد.



شکل ۵۲ – جزئیات اجرایی ساختمان با سقف های شیب دار

۱۲ مرجع

۱. تابش‌پور، محمدرضا؛ «رفتار لرزه ای سازه های بنایی و جزئیات اجرایی»، انتشارات فدک ایساتیس، ۱۳۸۹.
۲. تابش‌پور، محمدرضا؛ «دیافراگم سقف»، انتشارات فدک ایساتیس، آماده چاپ.
۳. تابش پور، محمد رضا؛ «بررسی تفصیلی مودهای شکست سازه‌های آجری»، مجله بنا، ۱۳۸۴.
۴. تابش‌پور، م. ر.، گل افشانی ع. ا. «مودهای شکست سازه‌های آجری»، دومین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، اردیبهشت ۱۳۸۴.
۵. تابش پور، محمد رضا؛ فرهنگ فر، حسن؛ « تقویت لرزه‌ای سازه‌های بنایی سنگی»، نخستین همایش ملی استحکام بخشی ساختمانهای بنایی غیر مسلح و بناهای تاریخی، شیراز، آذرماه ۱۳۸۴.
۶. تابش پور، محمد رضا؛ « بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و مقاوم‌سازی ساختمانهای آجری غیر مسلح بر اساس ضوابط موجود در ایران «، نخستین همایش ملی استحکام بخشی ساختمانهای بنایی غیر مسلح و بناهای تاریخی، شیراز، آذرماه ۱۳۸۴.
۷. تابش پور، محمد رضا؛ « مودهای شکست ساختمانهای بنایی»، نخستین همایش ملی استحکام بخشی ساختمانهای بنایی غیر مسلح و بناهای تاریخی، شیراز، آذرماه ۱۳۸۴.
۸. تابش‌پور، محمدرضا؛ « سازه‌های بنایی»، انتشارات فدک‌ایساتیس، زیر چاپ.
۹. طرح و اجرای ساختمانهای با مصالح بنایی، مبحث هشتم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۴.
۱۰. آئین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، «استاندارد ۸۴-۲۸۰۰»، ویرایش سوم، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴.
۱۱. تابش‌پور، محمدرضا؛ « تفسیر مفهومی کاربردی آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ویرایش سوم آیین‌نامه ۲۸۰۰ (جلد سوم: فصل سوم آیین‌نامه)»، انتشارات گنج هنر، تهران، ۱۳۸۶.
۱۲. تعدادی از عکس ها (زلزله‌های ایران) توسط افراد زیر تهیه شده است: حسن افشین ، محمدرضا چناقلو، عبادالله قنبری، داریوش حسینی، عبدالرضا سروقدمقدم، زراعتی، مهرتاش معتمدی، مهران حاتمی، فرامرز عالمی، محمدجواد جبارزاده.
۱۳. نشریه ۹۲، معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهموری.
۱۴. اینترنت

15. http://www.iiees.ac.ir/index.php?option=com_phocagallery&view=category&id=28:&Itemid=0
16. Euro Code 8, Design provisions for earthquake resistance of structures. Part 1-4: General rules- Strengthening and repair of buildings, 1996.
17. http:// www.smate.wwu.edu/teched/geology/eq-Iran.html