بررسی خسارات وارد برساختمانهای اسکلت فلزی درزمین لرزه اول تیرماه ۱۳۸۱ چنگوره(آوج)

محمدجواد جبارزاده،کارشناس پژوهشکده مهندسی سازه پژوهشگاه
مهرتاش معتمدی، دانشجوی دکترای مهندسی زلزله
فرامرز عالمی،کارشناس پژوهشکده مهندسی سازه پژوهشگاه
مهران حاتمی، دانشجوی دکترای مهندسی زلزله

۱- چکیده

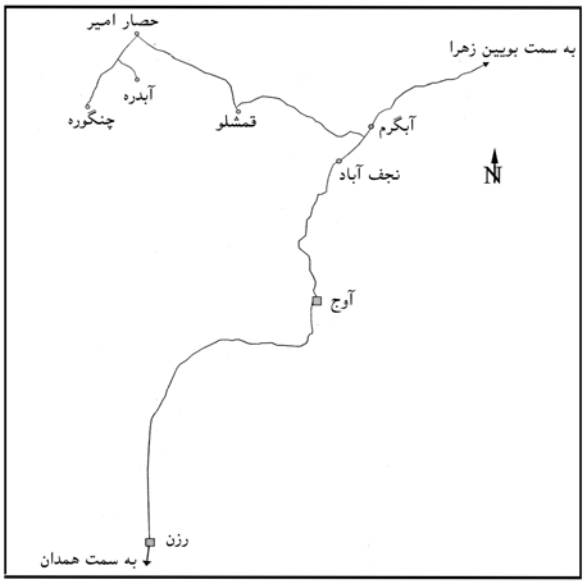
الگوهای تخریب ساختمانها بویژه در خانه‌های ساخته-شده با مصالح خشتی-گلی و بنایی بدون کلاف بندی و همچنین در قابهای بدون مهاربند، درست همانند زلزله های منجیل، گلستان (اردبیل)، اردکول (بیرجند- قائن) و ... مجدداً در زلزله آوج مشاهده شد.

واژگونی دیوارها، تخریب و ریزش جزئی و کلی سقفهای مهار نشده به دیوارها به دلیل استفاده از سقفهای سنگین، کاربرد مصالح نامناسب با مقاومت ناچیز و عدم استفاده از مهاربند در سیستم باربری جانبی قابها باز هم از عوامل اصلی کشتار و خرابی در این زلزله بود که با وجود تجارب تلخ گذشته، تکرار شد. در این مقاله، رفتار و خسارات وارد برساختمانهای اسکلت فلزی شهر آوج و روستاهای نجف‌آباد، چنگوره و آبدره مورد مطالعه قرار گرفته است.

کلیدواژه ها: زمین لرزه، ساختمانهای اسکلت فلزی، چنگوره، اتصالات فلزی

۲- مقدمه

لرزش اصلی زمین در ساعت ۷:۲۸ بامداد روز شنبه اول تیرماه ۱۳۸۱ رخ داد. بزرگای گشتاوری این زمین‌لرزه توسط پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۶/۴ گزارش گردید. بخشهای عمده مناطق آسیب‌دیده روستایی و شهری در بخش میانی حد فاصل بویین زهرا و همدان تمرکز یافته‌اند. در بازدید به عمل آمده از این مناطق روستاهای نجف آباد، چنگوره، آبدره و شهر آوج مورد بررسی قرار گرفته و نمونه‌های آسیب دیدهٔ ساختمانها اعم از آجری، خشتی-گلی، نیمه اسکلت فلزی و اسکلت فلزی شناسایی گردید. در شکل (۱)، مناطق مذکور نشان داده شده است.



شکل (۱): نقشهٔ راه مناطق زلزله زده

بر اساس مشاهدات انجام شده، شدت زمین لرزه در مقیاس مرکالی در روستای نجف آباد ۷، روستای چنگوره و آبدره ۹ و در شهر آوج ۸ تخمین زده می‌شود.

ساختمانهای آسیب‌دیده در روستاهای آبدره و چنگوره شامل ساختمانهای بنایی، خشتی-گلی و یا نیمه فلزی (اسکلت فلزی+ دیوارهای باربر پیرامونی) و چند نمونه اسکلت فلزی می‌باشد. در شهر آوج تعداد ساختمانهای اسکلت دار بویژه در مسیر اصلی شهر تراکم بیشتری دارد. این تراکم در حاشیه شهر به ساختمانهای بنایی و نیمه فلزی تغییر می‌یابد. آسیبهای عمدهٔ وارده در این شهر نیز مانند روستاها

بیشتر بر ساختمانهای بنایی متمرکز شده است. عدم رعایت اصول ابتدایی و سادهٔ اجرای این ساختمانها باعث شد تا عده زیادی از هموطنان جان خود را به سادگی از دست بدهند.

در بخش بعدی این مقاله چند نمونه از ساختمانهای اسکلت فلزی این مناطق و آسیبهای وارده بر آنها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

۳- مطالعه ساختمانهای اسکلت فلزی

در شهر آوج ساختمانهای اسکلت‌دار بر خلاف ساختمانهای بنایی موجود در آن عملکرد مناسبی از خود نشان داده اند. از جمله این ساختمانها بانک ملی مرکز آوج است که یک سازه دو طبقه بوده که بجز چند ترک و شکستگی جزئی از آسیب دیدگی کلی در امان مانده است. در تصویر (۱) نمای کلی سازه و در تصویر (۲) ترکهای ایجاد شده در دیوارهٔ آن نشان داده شده است. بروز ترکها ناشی از وجود بازشو در دیوارهاست که به علت اسکلت دار بودن سازه و باربر نبودن دیوارها خرابی مؤثری بر اثر بروز آنها ایجاد نشده است.

تصویر (۱): نمای بانک ملی مرکز آوج

ساختمان دوم آموزشگاه امام علی شهر آوج است. این ساختمان چهار طبقه و با اسکلت فلزی است که در سال ۱۳۷۹ به بهره‌برداری رسیده است (تصویر ۳). سقف این ساختمان مرکب و متشکل از پروفیل های فولادی و دال بتنی است که بجز چند ترک جزئی بر اثر نیروی برشی ناشی از تغییرشکل سقف درمحل اتصال تیرهای سقف مرکب با دال بتنی، خرابی دیگری در آن مشاهده نشده است (تصویر ۴).

تصویر (۲): ترک خوردگی دیوار کنار بازشوها (بانک ملی آوج)

تصویر (۳): آموزشگاه امام‌علی شهر آوج، سیستم سقف مرکب واسکلت فولادی

تصویر (۴): آموزشگاه امام علی شهر آوج، سیستم سقف مرکب، بروز ترک خوردگی ها در محل اتصال تیر و سقف بتنی مشخص است

نمونهٔ دیگر دو ساختمان دو طبقه فلزی هستند که هر دو کنسولی تقریباً ۱/۵ متری در طبقه اول دارند. نکته جالب توجه تفاوت عملکرد کنسول های دو سازه است. تصویر (۵) نشان می‌دهد که دیوارهای حاشیهٔ کنسول سقوط کرده و سقف آن آسیب دیده است. به نظر می‌رسد که اثر مؤلفه قائم زلزله در آسیب دیدگی این بخش از سازه مؤثر واقع شده است؛ اما در ساختمان تصویر (۶) با استفاده از یکسری دستکهای فلزی تیرهای کنسول تقویت و تغییرشکل قائم آن محدوده شده است. علاوه بر آن، به کمک کلاف بندی فلزی در طبقه دوم (افقی و قائم با نبشی) از تخریب دیوارها جلوگیری شده است. این عملکرد درست عکس حالت ساختمان تصویر (۵) است که در مقابل این ساختمان واقع شده است. در تصویر (۷) فرو ریختگی دیوارهای غیرسازه ای آجری بین اسکلت فلزی در طبقه سوم مشاهده می‌شود. عدم مهار مناسب دیوار آجری به اسلکت فلزی به گسیختگی و جدا شدگی دیوار منجر شده و تغییرشکلهای خارج از صفحه را امکان‌پذیر ساخته است.

تصویر (۵): کنسول آسیب دیدهٔ ساختمان دو طبقه فلزی (شهر آوج)

تصویر (۶): کنسول با دستک فلزی، بدون آسیب‌دیدگی (شهرآوج)، استفاده از کلافهای فلزی مشهود است

تصویر (۷): آسیب دیدگی دیوارهای غیر باربر (شهر آوج)

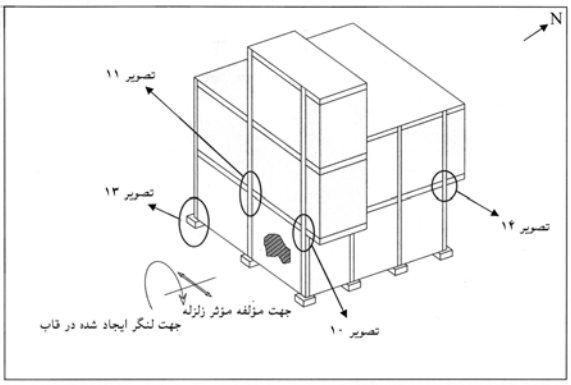
یک ساختمان فلزی دو طبقه در تصویر (۸) نشان داده-شده که در طبقه دوم آن در بخشهایی که از کلافهای فلزی استفاده شده به طرزی مناسب از فرو افتادگی پنجره ها و بخش زیادی از دیوارهای پرکننده جلوگیری گردیده است. این کلافها به تیرهای طبقات بالا و پایین و ستونهای کناری متصل شده اند. سیستم سازه ای این قاب در دو جهت مفصل است. تصویر (۹) نیز نمونه دیگری از کاربرد کلافهای فلزی را نشان می‌دهد. استفاده از کلافهای فلزی در نگهداری و جلوگیری از آسیب‌دیدگی دیوارهای غیر باربر، کاملاً مشهود است.

تصویر (۸): استفاده از کلافهای فلزی در نگهداری از دیوارهای غیرسازه ای و پنجره ها (روستای چنگوره)

از نمونه‌های قابل توجه سازه‌های تخریب شدهٔ اسکلت‌دار، ساختمان فولادی دو طبقه در روستای چنگوره است. این ساختمان در دو جهت مفصل، با سیستم باربری قائم خرجینی در یک طرف و سیستم باربری قائم با تیرهای

دو سر مفصل در جهت دیگر و بدون هر گونه مهاربندی جانبی است. نمای شماتیک این سازه در شکل (۲) نشان- داده شده است. با توجه به جهت خراب شدگی دیوارهای ساختمانهای بنایی و دیوارهای جداکننده باغهای مجاور، جهت مؤلفه مؤثر زلزله به صورت شرقی- غربی شناسایی و به صورت پیکان دو طرفه در شکل (۲) نشان داده- شده است.

تصویر (۹): استفاده از کلافهای فلزی در نگهداری از دیوارهای غیرسازه ای و پنجره ها (شهر آوج)

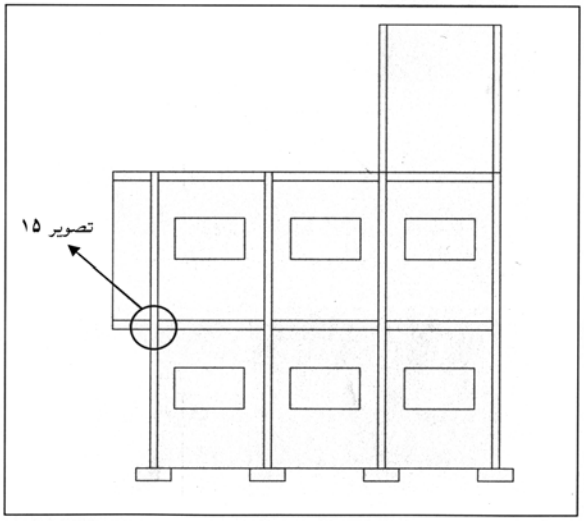


شکل (۲): نمای شماتیک یک ساختمان دو طبقه فلزی (روستای چنگوره)

با وجود تغییرشکلهای خمیری، کمانش موضعی و لهیدگی ورق جان و عدم وجود هرگونه بادبند یا سیستم مهاربندی جانبی، اثر دیوارهای پرکننده قاب در نگهداری و عدم تخریب این ساختمان جالب توجه به نظر می‌رسد (تصویر ۱۰). این در حالی است که حتی اتصال تیرهای دو سر مفصل قاب باربر در جهت زلزله در بعضی نقاط دچار گسیختگی شده است (تصویر ۱۱). دیوار پرکننده در این جهت با وجود شکست برشی قطری عامل مؤثری در تأمین مقاومت کافی و پایداری قاب بوده است.

تصویر (۱۰): تغییرشکلهای خمیری در ستونهای جلویی ساختمان (روستای چنگوره)

تصویر (۱۱): جدا شدن اتصال تیر به ستون (روستای چنگوره)



شکل (۳): نمای غربی ساختمان دو طبقه فلزی در تصویر ۱۰

تغییرشکلها و کشیدگی سقف طاق ضربی طبقهٔ اول نیز باعث جدا شدگی و کمانش جانبی یکی از تیرهای خرجینی در قاب میانی عمود بر جهت زلزله شده است (تصویر ۱۲). به عبارت دیگر، به علت استفاده از سقف طاق ضربی و تیرهای خرجینی و عدم مهار عرضی تیرهای خرجینی، انسجام سقف در محل تیرها از بین رفته و در نتیجه سقف میانی با انعطاف پذیری بیشتر، تغییرشکلهای بزرگتر از خود نشان داده است.

تصویر (۱۲): جدا شدن تیر خرجینی و کمانش جانبی به علت تغییرشکل سقف (روستای چنگوره)

تصویر (۱۳): بلند شدگی پی و ستون از روی زمین (روستای چنگوره)

نکته دیگر در مورد این ساختمان، بلندشدگی ستونها و پی انتهایی قاب است (تصویر ۱۳)؛ به گونه‌ای که عملکرد خمشی کل ستونهای قاب که توسط سقف به یکدیگر متصل شده‌اند با خمشی که عمود بر جهت زلزله بر سازه وارد شده است باعث به کشش افتادن ستونهای انتهایی و ایجاد نیروی فشاری بالا در ستونهای ابتدایی بوده است. شاید به همین دلیل ستونهای ابتدای قاب به ظرفیت لنگر خمیری *(Plastic)* رسیده اند.

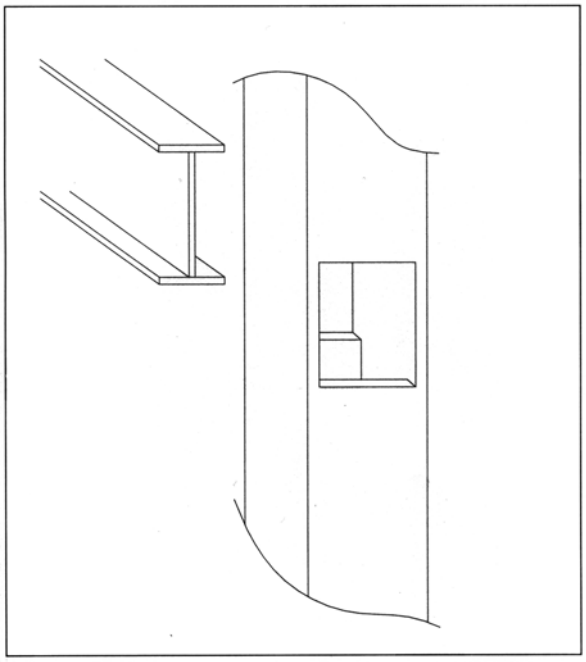
با وجود رفتار مناسب پرکننده‌ها در این جهت، دیوارهای جهت دیگر سازه به علت وجود بازشوها نمی‌توانستند نقش پرکننده‌های جهت زلزله را ایفا کنند. در شکل (۳) نمای شماتیک این جهت از ساختمان نشان داده شده است. در صورتی که اگر جهت مؤلفه مؤثر زلزله به شمالی- جنوبی تغییر می‌کرد امکان آسیب دیدگی بیشتر قاب به علت این نقطهٔ ضعف وجود داشت.

در تصویر (۱۴) نمونه‌ای از اتصال تیر به ستون قاب مذکور مشاهده می‌شود. مقطع ستون، قوطی و تیر از پروفیل I شکل است. در این اتصال به منظور استفاده از تیر سراسری در دو طرف اتصال بدون بریدن تیر I شکل، دیواره‌های مقطع قوطی شکل از دو جهت برداشته شده و تیر I از میان آن عبور داده شده است (شکل ۴). کمانش جان ستون پس از زلزله در تصویر (۱۴) قابل مشاهده است. در تصویر (۱۵) نمونه دیگری از این اتصال از جهت بیرونی مشاهده می‌شود. در این تصویر کنده شدن جوش نبشی اتصال تیر طاق ضربی دیده می‌شود.

تصویر (۱۴): کمانش موضعی جان ستون قوطی شکل (روستای چنگوره)، ستون قوطی برای عبور تیر سوراخ شده است

ساختمانهای فلزی دیگری که در روستای چنگوره خسارت دیده‌اند ساختمانهای اسکلت فلزی با طبقه نرم بودند.

این ساختمانها در طبقه همکف به علت تشکیل مفاصل خمیری (عدم وجود پرکننده‌ها و بادبند) دچار مکانیزم شده و فرو ریخته اند. در تصویر (۱۶، الف) نمونه ای از این نوع ساختمانها دیده می‌شود. تصاویر (۱۶، ب و پ) جزئیات کمانش ستونهای این ساختمان را نشان می‌دهند.



شکل (۴): نمای شماتیک اجرای اتصال تیر- ستون قوطی شکل با سوراخ کردن ستون

تصویر (۱۵): نمونهٔ دیگری از اتصال تیر- ستون قوطی شکل با سوراخ کردن ستون (روستای چنگوره)

در تصاویر (۱۷ و ۱۸) یک سیستم اسکلت فلزی در حال ساخت که در ترکیب با دیوار باربر به کار رفته است نشان- داده شده است. تصویر (۱۸) نشان دهندهٔ ریزش دیوار باربر نگهدارنده تیـــر کنـــاری به هنگام زلزله است. به نظر می‌رسد عدم تأمین مهار کافی برای اتصال دیوار و تیر باعث جدا شدن دیوار و ریزش آن شده است. اگرچه استفادهٔ همزمان از اسکلت فلزی در ساختمانهای چند طبقه و ترکیب آن با دیوار باربر نیز خود قابل تعمق به نظر می‌رسد.

تصویر (۱۶، الف): ایجاد طبقه نرم در ساختمان دو طبقه فلزی (روستای چنگوره)

تصویر (۱۶، ب): جزئیات کمانش ستون

تصویر (۱۶، پ): جزئیات کمانش ستون (عکس از مهندس مهران رزاقی)

در تصویر (۱۹) بریدگی اتصال دو پروفیل قوطی شکل که به عنوان ستون به کار رفته‌اند دیده می‌شود. مشخص است که در جوشکاری اتصال مزبور دقت کافی اعمال نشـده است.

تصویر (۱۷): اجرای ترکیبی اسکلت فلزی- دیوار حمال (شهر آوج)

تصویر (۱۸):اجرای ترکیبی اسکلت فلزی- دیوار حمال، شهر آوج، فرو ریختن دیوار باربر به هنگام زلزله (شهر آوج)

تصویر (۱۹): بریدگی اتصال جوشی در ستون قوطی شکل (روستای چنگوره)

در تصویر (۲۰، الف و ب) یک اتصال اتکایی که صرفاً با قرار- دادن تیر باربر روی ستون قوطی و مهار اتکایی آن به کمک دو میلگرد نبشی نشیمن تأمین شده است، مشاهده می‌شود. تنها جوش این اتصال در یکی از نبشی‌ها به تیر سقف صورت گرفته است. عدم تأمین جوش کافی برای تحمل خمش ایجاد شده به چرخش تیر و جدا شدن آن از روی ستون در محل اتصال بدون جوش و نتیجتاً ناپایداری سقف منجر گردیده است.

تصویر (۲۰، الف): اتصال اتکایی تیر روی ستون، (روستای چنگوره)

تصویر (۲۰، ب): جزئیات اتصال اتکایی تیر روی ستون

در تصاویر (۲۱ و ۲۲) نمونه‌هایی از کاربرد پروفیل‌های نامناسب در ساخت اسکلت سازه ای دیده می‌شود. در این سازه از پروفیل های سرد در و پنجره به عنوان تیر باربر و ستون استفاده گردیده که نهایتاً به هنگام زلزله دچار گسیختگی شده اند.

تصویر (۲۱):استفاده از پروفیل های سرد در و پنجره به عنوان تیر باربر سقف (روستای چنگوره)

تصویر (۲۲):استفاده از پروفیل های سرد در و پنجره به عنوان تیر باربر سقف (روستای چنگوره)

۴- جمع بندی

اهم نتایج حاصل از این بررسی عبارتند از:

۱- استفاده از دیوارهای پرکننده در ساختمانهای فلزی دو طبقهٔ دو جهت مفصل و بدون بادبند از عوامل مؤثر در پایداری آنها بوده است.

۲-ایجاد طبقهٔ نرم یکی از عوامل خرابی است که در سازه های اسکلت فلزی مشاهده شده است. این موارد به علت عدم وجود دیوارهای پرکننده و همچنین سیستم های بادبندی رخ داده است.

۳- استفاده از سیستم طاق ضربی و تیرهای خرجینی بدون مهار عرضی باعث عملکرد غیر یکپارچه سقف می‌شود. به این ترتیب انتظار می‌رود که تغییرشکلهای بزرگتر در سقف ایجاد شده و در نتیجه خرابی در بخشهای آجری میان تیرها و یا تیرهای خرجینی اتفاق افتد.

۴- وجود کلافهای فلزی و قائم برای نگهداری دیوارهای پر کننده و پنجره‌ها عملکرد بسیار خوبی از خود نشان داده است. علاوه بر آن، استفاده از دستکها برای نگهداری کنسول از تغییرشکلهای قائم آن و در نتیجه آسیبهای بیشتر جلوگیری کرده است. ◄