Archive of SID

ارزیابی مفهومی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای غیرسازه‌ای در ساختمان‌های میان مرتبه‌ی متعارف

براساس تجارب زلزله‌های گذشته

آزاده نوری فرد[۱]، فاطمه مهدی زاده سراج[۲]، محسن وفامهر[۳]

چکیده

در حال حاضر اغلب مهندسین سازه در فرایند طراحی، دیوارها را به عنوان عناصر غیرسازه‌ای به شمار آورده و تنها جرم آن‌ها را در محاسبات مدنظر قرار می‌دهند. از طرف دیگر معماران نیز، مشخصات دیوارها را بدون توجه به عملکرد لرزه‌ای آن‌ها تعیین می‌کنند. در حالی که تجربیات زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد دیوارها می‌توانند آثار مثبت یا منفی بر رفتار ساختمان داشته باشند. هدف از این مقاله شناسایی نقاط ضعف دیوارها و آثار آن‌ها بر عملکرد لرزه‌ای ساختمان به شیوه‌ای مفهومی می‌باشد. در این تحقیق از مشاهده خسارت‌های زلزله‌های گذشته به عنوان یک آزمایشگاه با مقیاس یک به یک استفاده شده است.

نتیجه مطالعات نشان می‌دهد رفتار لرزه‌ای دیوارها در یک نمودار شامل سه سطح و هر یک در دو جهت مثبت و منفی قابل تحلیل است. در سطح یک از عملکرد نامطلوب، تنها دیوار دچار آسیب می‌گردد، در سطح دو، احتمال وارد شدن آسیب به دیگر عناصر ایجاد می‌گردد، در سطح سه، دیوار موجب آسیب دیدن سازه ساختمان می‌گردد. در سطح یک از عملکرد مطلوب، دیوار پایدار باقی می‌ماند، در سطح دو، دیوار آسیبی بر عناصر دیگر وارد نمی‌کند، در سطح سه، دیوار می‌تواند موجب پایداری سازه‌های غیرمقاوم در برابر زلزله گردد یا پتانسیل اضافی برای سازه‌های مقاوم در برابر زلزله به‌وجود آورد.

واژه‌های کلیدی: دیوار غیرسازه‌ای، خسارت، تجارب زلزله‌های گذشته، عملکرد لرزه‌ای.

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۵/۲۴

این مقاله برگرفته از مطالعات رساله دکتری با عنوان "فرایند تعیین مشخصات دیوارها در طراحی معماری به منظور ارتقای عملکرد لرزه ای ساختمان؛ مطالعه موردی مسکن میان مرتبه متعارف شهر تهران" است که توسط نویسنده اول درحال انجام است.

۱. دانشجوی دکتری معماری دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران (نویسنده مسوول) anoorifard@iust.ac.ir
۲. دانشیار دانشکده معماری وشهرسازی دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. mehdizadeh@iust.ac.ir
۲. استاد دانشکده معماری وشهرسازی دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران vafamehr@iust.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

برخلاف عناصر سازه‌ای، بیشتر عناصر غیرسازه‌ای از جمله عناصر معماری در زلزله‌های خفیف تا متوسط نیز دچار آسیب می‌شوند[۳-۱]. از جمله عناصر غیرسازه‌ای که بیشترین پتانسیل تخریب کلی ساختمان را دارد، دیوارهای پرکننده می‌باشد[۴]. خسارات وارده بردیوارها می‌تواند خطراتی برای سازه، ساکنین و سایر عناصر غیرسازه‌ای ایجاد کرده و همچنین مشکلات اساسی برای کارایی سازه و کاربری ساختمان ایجاد نماید [۲,۳,۵,۶,۷].

مشاهده تجربیات زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد که میانقاب می‌تواند آثار مثبت یا منفی روی رفتار کلی ساختمان داشته باشد[۶,۸,۹]. برخی از ساختمان‌های طراحی و اجرا شده توسط مهندسان به دلیل عدم توجه به آثار منفی دیوارها، آسیب دیده ، در حالی که برخی از ساختمان‌های ساخته شده توسط افراد غیرمتخصص به علت آثار مثبت دیوارها کاملاً پایدار باقی مانده‌اند [۱۳-۱۰]. بررسی عملکرد میانقاب‌ها نشان می‌دهد که علاوه بر اجرای نادرست، کاربرد مصالح ضعیف در ساخت [۶] و بی توجهی در طراحی سازه‌های دارای میانقاب نیز از دلایل مهم تخریب آن‌ها در برابر نیروهای جانبی بوده‌است [۲,۳,۶,۱۴].

معمولاً مهندسین سازه در روند تحلیل و طراحی ساختمان، دیوارهای پرکننده را به عنوان عناصر غیرسازه‌ای به شمار آورده [۸] و تنها جرم آن‌ها را در طراحی سازه درنظر می‌گیرند. درنتیجه تحلیل سازه بر پایه قاب بدون دیوار می‌باشد[۱۲]. از طرف دیگر معماران نیز، مشخصات دیوارهای پرکننده را بدون توجه به عملکرد لرزه‌ای آن‌ها تعیین می‌کنند، در حالی که این عناصر بسته به جزییات ساخت، بر رفتار لرزه‌ای سازه تاثیرگذارند [۱۵].

در ارتباط با آثار میانقاب بر عملکرد سازه، تحقیقات متعددی توسط محققین علوم سازه و زلزله با دیدگاه جزءنگر انجام گردیده‌است، لکن در کمتر تحقیقی به صورت جامع و با شیوه‌ای مفهومی به بررسی کلیه عوامل موثر بر عملکرد لرزه‌ای دیوارها به نحوی که برای جامعه معماران نیز قابل درک و استفاده کاربردی باشد، پرداخته شده‌است. لذا در این مقاله سعی خواهد شد با مطالعه خسارات وارد بر دیوارها در زلزله‌های گذشته و آثار مثبت و منفی آن‌ها بر عملکرد لرزه ای ساختمان، در سه سطح اصلی به بررسی علل اصلی خسارات پرداخته شود تا طراحان و به ویژه معماران در هر مرحله از طراحی به پیامدهایی که تصمیمات آن‌ها در زلزله به همراه خواهد داشت، آگاهی داشته و بر این اساس تمهیدات لازم را پیش بینی نموده و بستر لازم جهت عملکرد لرزه‌ای مطلوب تر ساختمان را فراهم آورند.

سوالات تحقیق

چه خطاهایی در طراحی و اجرا موجب آسیب دیدن دیوارها در زلزله می‌گردد؟

چگونه دیوارهای غیرسازه‌ای می‌توانند، منجر به فروپاشی ساختمان‌هایی با سازه‌های مقاوم در برابر زلزله گردند؟

نقش دیوارهای غیرسازه‌ای در پایداری لرزه‌ای ساختمان چیست؟

اهداف

شناسایی نقاط ضعف دیوارها در برابر زلزله

شناسایی آثار نامطلوب دیوارها بر عملکرد لرزه‌ای سا ختما ن

شناسایی آثار مطلوب دیوارها بر عملکرد لرزه‌ای ساختمان

تعاریف

با توجه به واژه‌های متعددی که در خصوص انواع دیوارها وجود دارد نخست لازم است به بررسی تعاریف ارائه شده در آیین نامه‌ها و منابع معتبر پرداخته شود تا معانی یکسانی از واژه‌های مورد استفاده در بخش‌های بعدی استنباط گردد.

در آیین نامه ۲۸۰۰ ایران، واژه تیغه‌ها و جداگرها، معادل دیوارهای غیرسازه‌ای می‌باشد[۱۶]. در آیین نامه EN ۱۱۱۹۹۶ (Eurocode 6)، دیوار غیرباربر، دیواری است که برای مقاومت در برابر نیروها نبوده و می‌تواند برداشته شود بدون این که آسیبی به یکپارچگی سازه باقی مانده وارد گردد[۱۷]. در استاندارد NZS ۴۲۳۰:۲۰۰۴ نیوزلند، پانل پرکننده، دیواری است که از هر چهار طرف توسط تیرها و ستون ها قاب شده و در مقاومت برشی درون صفحه‌ای قاب مشارکت می‌کند، ولی برای مقاومت در برابر بارهای عمودی به غیر از وزن خود طراحی نمی‌شود[۱۸]. تیغه نیز یک دیوار غیر باربر بوده و به عنوان بخشی از سازه مقاوم در برابر زلزله نمی‌باشد[۱۸]. در FEMA ۲۷۳ و FEMA ۴۵۰، دیوار غیرباربر، دیواری است که نیروهای قائم به غیر از وزن خود را تحمل نمی‌کند[۱۹]، پرکننده، یک پانل بنایی است که در میان یک قاب فولادی یا بتنی محصور شده‌است. دیوار غیرسازه‌ای، شامل تمام دیوارها به غیر از دیوارهای باربر یا دیوارهای برشی است[۱۹]. تیغه نیز

www.SID.ir

Archive of SID

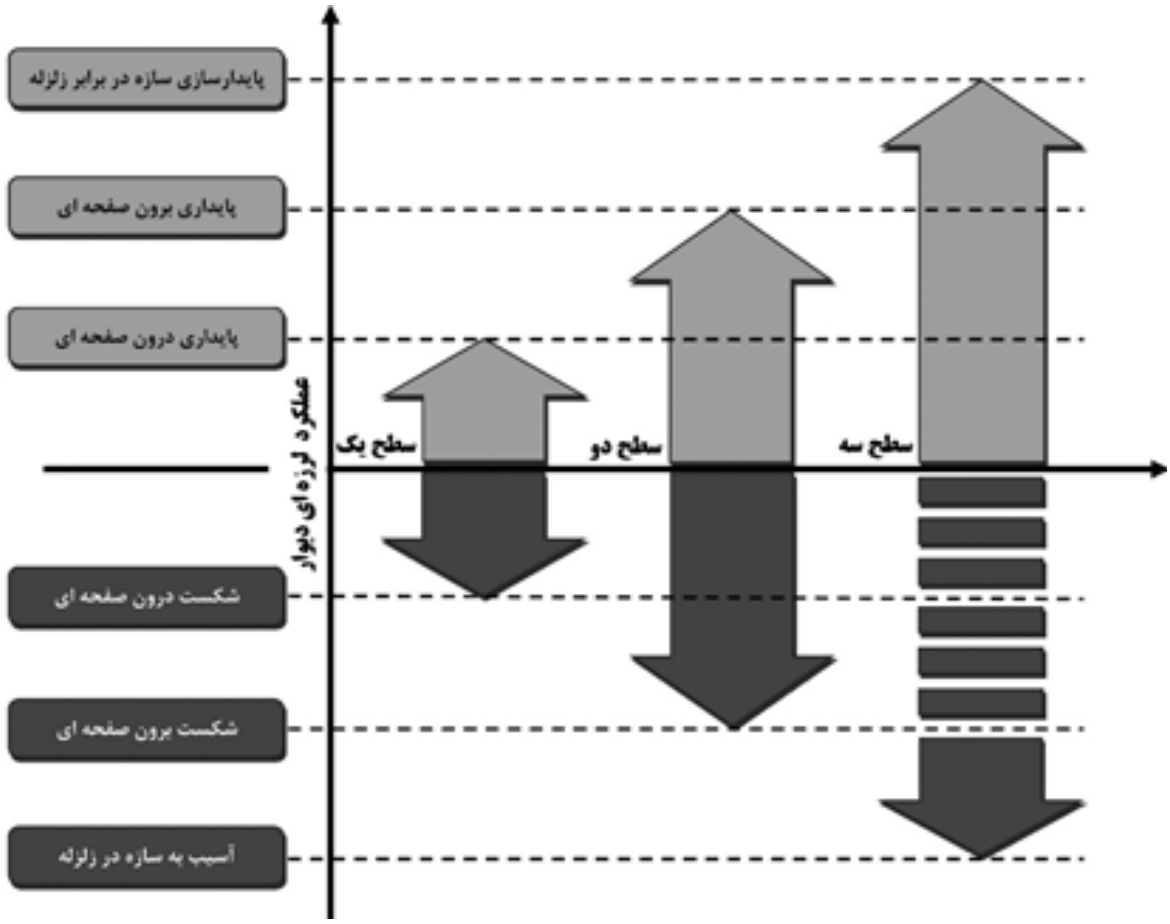
جزء عناصر داخلی غیرسازه‌ای است که فضاها را تقسیم می‌کند[۱۹,۲۰].

در خصوص مفهوم دیوارهای پرکننده اندرو چارلسون در کتاب طراحی لرزه‌ای برای معماران اشاره می‌کند؛ دیوارهای پرکننده، دیوارهای غیرسازه‌ای هستند که در فاصله بین ستون‌ها ساخته می‌شوند. عبارت «دیوار غیرسازه‌ای»، عبارت غلط اندازی است. چراکه این دیوارها به منظور تحمل هیچ گونه بار ثقلی و جانبی طراحی نشده‌اند لکن به دلیل سختی و مقاومت ذاتی درون صفحه‌ای خود، در برابر نیروهای جانبی مقابله کرده و می‌تواند زمینه ساز بروز آسیب‌های شدید سازه‌ای به ساختمان گردد[۴].

با توجه به تعاریف ارائه شده فوق لازم است اشاره شود حوزه مطالعات این مقاله دیوارهای غیرسازه‌ای به معنی هر دیواری به غیر از دیوار برشی و دیوار باربر می‌باشد. به عبارتی هم دیوارهای پرکننده و هم تیغه‌های جداکننده را شامل می‌شود.

روش تحقیق

رویکرد اصلی در این مقاله یک رویکرد تحلیلی است و روش به کار رفته روش تجربی می‌باشد، در واقع با مشاهده خسارت وارد بر دیوارها در زلزله‌های گذشته به نوعی از یک آزمایشگاه با مقیاس یک به یک استفاده شده‌است. این روش در مقایسه با روش‌های مدلسازی کامپیوتری یا آزمایشگاهی به لحاظ مقیاس، خواص مصالح و ... هیچ گونه محدودیتی نداشته و با توجه به رویکرد تحقیق که یک رویکرد پهنانگر به معنی شناسایی کلیه عوامل تاثیرگذار بر عملکرد لرزه‌ای دیوارها در ساختمان‌های میان مرتبه متعارف می‌باشد بسیار راهگشا خواهد بود. داده‌های اصلی مقاله از خسارات وارد بر ساختمان‌ها در زلزله‌های ۱۳۶۹ رودبار منجیل،۱۳۸۱ چنگوره (آوج)، ۱۳۸۲بم، ۱۹۶۸ تاکاچی اوکی ژاپن، ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی، ۱۹۲۵ سانتاباربارا، ۱۹۷۱سان فرناندو، ۱۹۹۴ نورث ریج آمریکا، ۱۹۹۵ کوبه ژاپن، ۱۹۹۸ آدانا جیحان ترکیه، ۱۹۹۹ ایزمیت (کوکایلی) ترکیه، ۲۰۰۱ آرکیپا پرو، ۲۰۰۲ مولیس ایتالیا، ۲۰۰۷ سوماترای اندونزی، ۲۰۰۸ سیچوآن چین، ۲۰۰۹ آبروزو ایتالیا، ۲۰۱۱ توهوکوی ژاپن، ۲۰۱۱ وان ترکیه و ۲۰۱۱ لیتلتون نیوزلند حاصل شده‌است. ساختار این مقاله با



تصویر۱: نمودار سطوح عملکرد لرزه‌ای دیوارها (نگارندگان)

www.SID.ir

Archive of SID

توجه به نتایج به دست آمده از عملکرد لرزه‌ای دیوارها در یک نمودار شامل سه سطح در جهت مثبت و سه سطح در جهت منفی تنظیم گردیده‌است (تصویر یک).

۱. عملکرد نامطلوب دیوارها در زلزله

بر اساس تجارب زلزله‌های گذشته آسیب‌های وارد بر دیوارها و آن دسته از آسیب‌های وارد بر سازه که در اثر عملکرد دیوارها ایجاد می‌شود در سه سطح کلی قابل بررسی می‌باشد؛ در سطح یک تنها دیوار دچار آسیب می‌گردد، این آسیب‌ها تحت عنوان شکست درون صفحه‌ای دیوار قابل بررسی بوده و در مورد دیوارهای مجزا و میانقاب‌ها صادق است. در سطح دو، دیوار دچار آسیب شده و احتمال وارد شدن آسیب به دیگر عناصر غیرسازه‌ای وانسان‌ها[۲۱] نیز ایجاد می‌گردد. این دسته از آسیب‌ها تحت عنوان شکست برون صفحه‌ای دیوارها شامل دیوارهای مجزا و میانقاب‌ها قابل بررسی است. در سطح سه، دیوار موجب وارد شدن آسیب به سازه ساختمان می‌گردد. در این سطح ممکن است ابتدا دیوار دچار شکست، به ویژه شکست درون صفحه‌ای گردیده و سپس سازه دچار آسیب شود و یا دیوار دچار آسیب نشده بلکه به دلیل فرم، مصالح، نحوه اتصالات و چیدمان موجب آسیب دیدن سازه گردد، بدیهی است در صورت آسیب دیدن سازه، آسیب‌های وارد بر عناصر غیرسازه‌ای از جمله دیوارها و ایجاد خطرات جانی برای انسان‌ها نیز مورد انتظار می‌باشد. در ادامه به بررسی این سه سطح اصلی از آسیب‌های به وقوع پیوسته پرداخته می‌شود (تصویر هشت).

۱-۱. سطح یک: شکست درون صفحه‌ای

شکست درون صفحه‌ای زمانی به وقوع می‌پیوندد که جهت نیروهای وارده موازی دیوار باشد. بسته به این که دیوار به صورت مجزا بوده یا داخل قاب قرار گرفته باشد، حالت‌های مختلفی جهت شکست درون صفحه‌ای قابل بررسی می‌باشد. در ادامه ابتدا به بررسی شکست درون صفحه‌ای این دو حالت پرداخته شده و سپس دو عامل اصلی شکست درون صفحه‌ای که ناشی از ضعف پیوند اجزای دیوار و موقعیت و ابعاد بازشوهاست مورد بررسی قرار می گیرد.

۱-۱-۱. شکست درون صفحه‌ای دیوار مجزا

شکست درون صفحه‌ای دیوار مجزا بسته به تناسبات دیوار و ترکیب نیروهای وارده به سه صورت ذیل رخ می دهد.

شکست برشی: دیوارهای پهن که از نسبت ارتفاع به طول کمتر از واحد برخوردارند و بار قائم زیادی نیز بر آن‌ها وارد می‌شود، تحت نیروهای جانبی دچار شکست برشی می‌شوند[۱۰،۲۲،۲۳]. در شکست برشی، ترک های ۴۵ درجه در دیوار ایجاد می‌شود که از گوشه پایین دیوار شروع شده و بالا می‌رود، به دلیل عوض شدن جهت نیروهای زلزله این ترک‌ها به صورت ضربدری و دو طرفه خواهد بود[۵] (تصویر ۲ الف).

شکست برشی لغزشی: زمانی که دیوار تحت برش خالص قرار گرفته[۵] یا بار جانبی در مقایسه با بار قائم بزرگ باشد و نسبت ارتفاع به طول دیوار کمتر از ۱/۵ به ۱ و در حدود ۱ به ۱ باشد [۲۲،۲۳] در پایه دیوار ترك افقی ایجاد خواهد شدکه به ترک برشی لغزشی معروف است (تصویر ۲ ب).

شکست خمشی: در صورتی که مقاومت برشی دیوار به اندازه کافی بوده و نسبت ارتفاع به طول در حدود ۲ به ۱ باشد، شکست خمشی رخ می‌دهد[۱۰،۲۲،۲۳](تصویر ۲ ج).

۱-۱-۲. شکست درون صفحه‌ای میانقاب

لهیدگی گوشه ها: این حالت هنگامی رخ می‌دهد که میانقاب از بلوک‌های آجری ضعیف تشکیل شده و قاب دارای اعضای قوی و اتصالات ضعیف باشد[۲۲] (تصاویر ۳ الف).

شکست برشی لغزشی: این حالت هنگامی رخ می‌دهد که ملات مورد استفاده در دیوارچینی، ضعیف بوده و قاب نسبتاً قوی باشد، در این حالت شکست برشی در محل درز افقی بین آجرها اتفاق می‌افتد[۲۲](تصاویر ۳ ب).

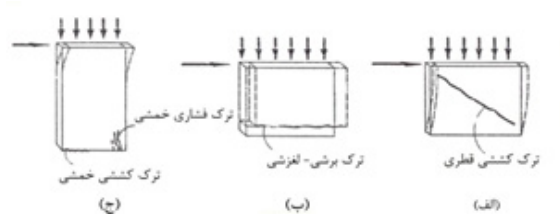
کمانش قطر فشاری: در صورتی که میانقاب لاغر باشد، بخش مرکزی به علت کمانش برون صفحه‌ای دچار لهیدگی می‌گردد[۲۲] (تصاویر ۳ ج).

ترک قطری: چنانچه مقاومت میانقاب در مقایسه با قاب زیاد باشد[۲۲]، دیوار در امتداد قطر فشاری ترک می خورد و رفتار آن، وارد ناحیه غیرخطی می‌گردد. این ترک معمولاً با صدا همراه است و از امتداد درزهای افقی و قائم به طور زیگزاک می‌گذرد. ترک قطری بیانگر شکست برشی میانقاب است[۲۱] (تصاویر ۳ د).

شکست کنج: در صورتی که مقاومت میانقاب در مقایسه با قاب زیاد بوده و قاب دارای اتصالات ضعیفی باشد [۲۲]، افزایش نیرو و تمرکز تنش، موجب شکست مصالح کنج میانقاب شده و در نزدیکی کنج تیر یا ستون، لولای

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر۲: انواع شکست درون صفحه‌ای دیوار مجزا؛ (الف) شکست برشی، (ب) شکست برشی لغزشی، (ج) شکست خمشی [۵]

خمیری ایجاد می‌شود. این حالت شکست را شکست کنج می‌نامند[۲۱] (تصاویر ۳ ه). در واقع این آسیب بر اساس تقسیم بندی مقاله حاضر در سطح سه آسیب‌ها به شمار می‌آید، لکن جهت تکمیل مطالب شکست درون صفحه‌ای دیوار در این قسمت نیز به صورت مختصر ارائه گردیده است.

۱-۱-۳. شکست درون صفحه‌ای ناشی ازضعف اجزا و پیوند اجزای دیوار

ترک خوردگی درون صفحه‌ای دیوارها در زلزله‌های گذشته عمدتاً ناشی از ضعف ذاتی واحدهای بنایی و ملات مورد استفاده و عدم یکپارچگی اجزای دیوار با یکدیگر بوده‌است. اصولاً از آنجا که سطح خسارات درون صفحه‌ای دیوار متناسب با سطح تغییرمکان درون طبقه‌ای [۳]، مقاومت و ظرفیت تغییرشکل دیوار می‌باشد. بر این مبنا در دستورالعمل FEMA ۳۰۶ محدودیت تغییرمکان براساس نوع دیوار به ترتیب ۱/۵٪ برای دیوار آجری، ۲٪ برای بلوک سیمانی با ملات و ۲/۵٪ برای بلوک سیمانی بدون ملات متغیر می‌باشد[۲۴].

۱-۱-۴. شکست درون صفحه‌ای ناشی از موقعیت و ابعاد بازشوها

مشاهده خرابی زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد که تعداد زیاد و ابعاد بزرگ بازشوها در دیوار خارجی و در مجاورت لبه دیوار یا گوشه ساختمان باعث خرابی در زلزله می‌شود، این امر به علت تجمع تنش در گوشه‌های بازشو و قسمت‌های ضعیف دیوار در اثر تغییر ناگهان در مقطع آن ایجاد می‌گردد. در زلزله جرزهای میان بازشوها انعطاف بیشتری نسبت به قسمت بالا و پایین بازشوها دارند. با توجه به این که نیروهای ناشی از زلزله به صورت رفت و برگشتی است، ترک‌های ایجاد شده به صورت ترک‌های ضربدری خواهد بود (تصویر شش هشت). اگر ارتفاع دیوار مابین بازشوها زیاد باشد برخلاف این که انتظار می‌رود، ترک‌های ضربدری برشی ایجاد شود، آسیب در قسمت ابتدا و انتهای دیوار ناشی از ترکیب خمش و نیروی محوری خواهد بود. برای اجتناب از آثار مخرب در اثر وجود بازشوها در دیوار اکثر آیین نامه‌ها توصیه‌هایی در ارتباط با نسبت مساحت و طول بازشو به دیوار و همچنین فاصله بازشو از لبه دیوار یا فواصل بازشوها از یکدیگر ارائه داده‌اند که با توجه به ساختار مقاله حاضر به بررسی این ضوابط پرداخته نمی‌شود.

۲۱. سطح دو: شکست برون صفحه‌ای

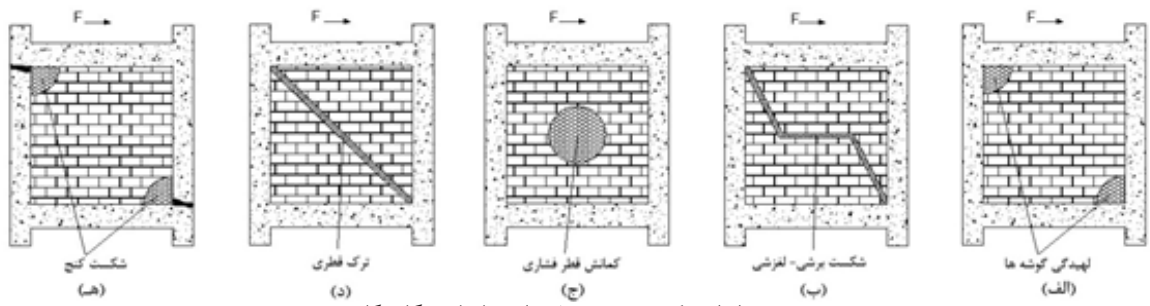
شکست برون صفحه‌ای عمدتاً زمانی به وقوع می‌پیوندد که جهت نیروهای وارده عمود بر دیوار باشد، در ادامه ابتدا به بررسی شکست برون صفحه‌ای دیوار مجزا و میانقاب پرداخته شده و سپس سه عامل اصلی شکست برون صفحه‌ای که ناشی از تناسبات نامطلوب دیوار، ضعف پیوند اجزای دیوار و ضعف اتصال دیوار به عناصر سازه‌ای می‌باشد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱۲۱. شکست برون صفحه‌ای دیوار مجزا

شکست برون صفحه‌ای دیوار مجزا بسته به تناسبات دیوار به دو صورت شکست خمشی درراستای قائم و شکست خمشی در راستای افقی رخ می‌دهد.

شکست خمشی در راستای قائم: اگر تنش کششی منجر به شکست، موازی درزهای افقی آجرها باشد، ترک قائم در ارتفاع دیوار به وجود می‌آید این شکست معمولاً هنگامی به وجود می‌آید که طول دیوار زیاد باشد[۲۲,۲۳,۱۶,۲۵] (تصویر ۴ الف).

شکست خمشی در راستای افق: اگر تنش کششی منجر به شکست، عمود بر درزهای افقی آجرها باشد، ترک افقی در میانه دیوار به وجود می‌آید این شکست



تصویر۳: انواع شکست درون صفحه‌ای میانقاب (نگارندگان)

www.SID.ir

Archive of SID

معمولاً هنگامی به وجود می‌آید که ارتفاع دیوار زیاد باشد[۲۲,۲۳,۱۶,۲۵] (تصویر۴ب).

۱-۲-۲. شکست برون صفحه‌ای میانقاب

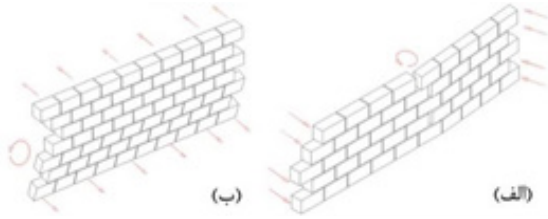
شکست برون صفحه‌ای میانقاب بسته به تناسبات دیوار و نحوه اتصال دیوار به سازه به دو صورت شکست خمشی افقی و شکست خمشی افقی با دو شاخه ۴۵ درجه رخ می‌دهد.

شکست خمشی افقی: چنانچه طول دیوار زیاد باشد، دیوار مانند دال یک طرفه رفتار کرده و خمش عمدتاً بین سقف و زمین صورت می‌گیرد، در این حالت ترک‌های خمشی در امتداد افقی ظاهر می‌شود. در صورتی که قسمت فوقانی دیوار به قاب متصل نبوده و دیوار شبیه به تیر یک سرگیردار رفتار کند نیز این نوع از ترک خمشی به وجود می‌آید[۲۳] (تصاویر ۵ الف و هفت-هشت).

شکست خمشی افقی با دو شاخه۴۵ درجه: چنانچه طول دیوار زیاد نباشد، دیوار مانند دال دو طرفه با چهار تکیه گاه رفتار می‌کند. در این حالت ترک‌هایی در نیمه ارتفاع دیوار به صورت افقی و سراسری ایجاد شده که در نزدیکی انتهای دیوار به دو شاخه تقریباً ۴۵ درجه تقسیم می‌شود. در این حالت قسمت فوقانی دیوار از طریق اتصالات مناسب به قاب متصل شده‌است (تصاویر ۵ ب و هشت-هشت).

۱-۲-۳. شکست برون صفحه‌ای ناشی از تناسبات نامطلوب دیوار

برخلاف شکست درون صفحه‌ای که بستگی به نسبت ارتفاع به طول دیوار دارد، در شکست برون صفحه‌ای نسبت طول به ضخامت و ارتفاع به ضخامت دیوار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در خصوص انواع دیوارها از جمله دیوارهای باربر، برشی، غیرسازه‌ای و ... ضوابط مختلفی در استانداردها ارائه شده‌است که در ادامه با توجه به موضوع مقاله حاضر تنها به بررسی موارد مربوط به دیوارهای غیرسازه‌ای پرداخته می‌شود.

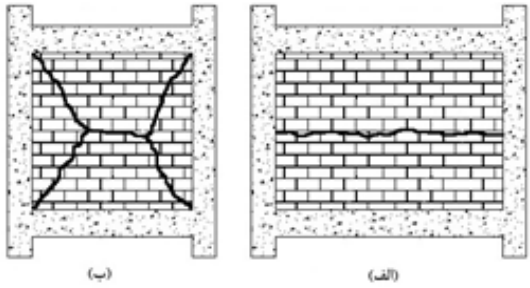


تصویر۴: انواع شکست برون صفحه‌ای دیوار مجزا: (الف) شکست خمشی در راستای قائم، (ب) شکست خمشی در راستای افقی[۲۵]

در آیین نامه ۲۸۰۰ ایران طول دیوار غیرسازه‌ای بین دو پشت بند به میزان ۴۰ برابر ضخامت دیوار، یا ۶ متر و حداکثر ارتفاع آن به میزان ۳/۵m محدود شده‌است[۱۶]. در Eurocode۸ نیز حداکثر نسبت لاغری دیوار به معنی نسبت بعد کوچکتر طول یا ارتفاع به ضخامت، ۲۵ است[۲۶]. در FEMA۳۵۶ برای جلوگیری از شکست برون صفحه‌ای، جهت حداکثر نسبت ظاهری h/t برای مناطق با خطر لرزه خیزی مختلف و برای سطوح عملکرد متفاوت، نسبت‌هایی از ۸ الی ۱۶ ارائه شده‌است[۲۷].

۱-۲-۴. شکست برون صفحه‌ای ناشی ازضعف اجزا و پیوند اجزای دیوار

یکی از عوامل موثر در فروپاشی برون صفحه‌ای دیوارها ناشی از ضعف ذاتی و عدم یکپارچگی اجزای دیوار با یکدیگر به ویژه ضعف ملات به کاررفته در پیوند بین واحدهای بنایی و ضعف اتصال در دیوارهای دوجداره بوده‌است. دیوارهای خارجی در سال‌های اخیر به دلیل مسائل مربوط به عملکرد حرارتی و اصلاح پل‌های حرارتی دچار تغییر گردیده و این امر خطرات جدیدی را در اثر کمبود اتصال جدار خارجی به داخلی، کاهش پهنای تکیه‌گاهی جدار خارجی و ... به وجود آورده‌است[۳] (تصویر نه-هشت).



تصویر۵: انواع شکست برون صفحه‌ای میانقاب: (الف) شکست خمشی افقی، (ب) شکست خمشی افقی با دو شاخه ۴۵ (نگارندگان)

۱-۲-۵. شکست برون صفحه‌ای ناشی از ضعف اتصال دیوار به عناصر سازه‌ای

اغلب، دیوارها در اثر کمبود اتصالات مکانیکی با ستون‌ها و تیرهای پیرامونی، کمبود اتصال به دیوارهای عمودی، عدم پیش بینی کلاف قائم در گوشه‌ها در زلزله دچار شکست خارج از صفحه می‌گردند[۳]. تصویر ده-هشت).

اصولاً مقاومت خارج از صفحه میانقاب به عملکرد قوسی آن بستگی دارد. هرچه قاب دور سخت‌تر باشد و میزان چسبندگی قاب به میانقاب بیشتر باشد عملکرد قوسی

www.SID.ir

Archive of SID

بیشتر است. با به کارگیری مقدار اندکی آرماتور در دیوار، می‌توان از خروج دیوار از صفحه جلوگیری نمود [۱۰].

۱-۳. سطح سه: شکست سازه در اثر دیوارها

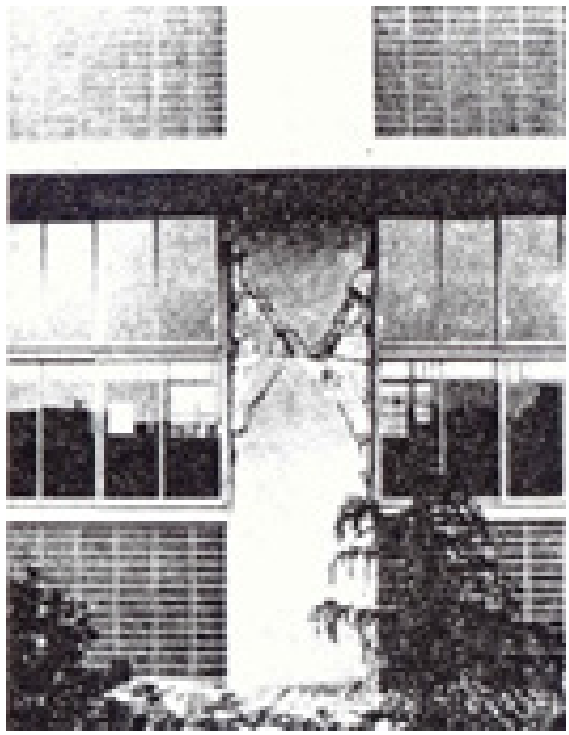
در این سطح ممکن است ابتدا دیوار دچار شکست، به ویژه شکست درون صفحه‌ای گردیده و سپس سازه دچار آسیب شود و یا دیوار دچار آسیب نشده بلکه به دلیل فرم، مصالح، نحوه اتصالات و چیدمان موجب آسیب دیدن سازه گردد. بر این اساس جهت پیشگیری از آسیب‌های این سطح لازم است تمهیدات ویژه‌ای هم در طراحی فاز یک و هم در طراحی فاز دو معماری و سازه درنظر گرفته شود. در جدول ۱ آثار منفی دیوارها بر عملکرد لرزه‌ای سازه ارائه شده‌است.

۱-۳-۱. شکست برشی عناصر سازه

اصولاً وجود دیوارهای پرکننده باعث می‌شود که رفتار سازه‌ای از کنش خمشی به کنش محوری تبدیل گردد. این نحوه توزیع نیرو در اندرکنش بین دیوار و قاب را با بادبند معادل می‌توان جایگزین کرد که بسته به خصوصیات هندسی و مقاومت دیوار به صورت میله ستون به ستون، تیر به تیر و یا اتصال به اتصال در نظر گرفته می‌شود [۲۲-۲۳]. بر این اساس در اثر برش‌های متمرکز در بالا و پایین ستون، در ابتدا و انتهای تیر و یا ناحیه اتصال و کمبود مقاومت برشی، شکست برشی در عناصر سازه‌ای به وقوع خواهد پیوست (تصویر یازده-هشت).

۱-۳-۲. ستون کوتاه

این پدیده یکی از دلایل اصلی فروریختن ساختمان‌ها در زلزله می‌باشد. پدیده ستون کوتاه در اثر پرشدن تنها بخشی از قاب توسط دیوارهای پرکننده میانقاب رخ می‌دهد[۱۵,۳,۳۰] (تصویر دوازده-هشت). زمانی که طول ستون‌ها کوتاه می‌شود، صلب‌تر شده و جذب بخش عمده‌ای از نیروی برشی طبقه توسط این ستون‌ها با توجه به تناسب سختی ستون با عکس مکعب طول آن اتفاق می‌افتد[۱۰,۴]. لازم به ذکر است در ستون‌های کوتاه (نسبت کم ارتفاع به عرض)، شکست برشی رخ داده وترک‌ها به صورت قطری پدید می‌آید (تصویر شش) و در ستون‌های لاغر (نسبت زیاد ارتفاع به عرض)، شکست به صورت خمشی رخ می‌دهد (تصویر هفت).

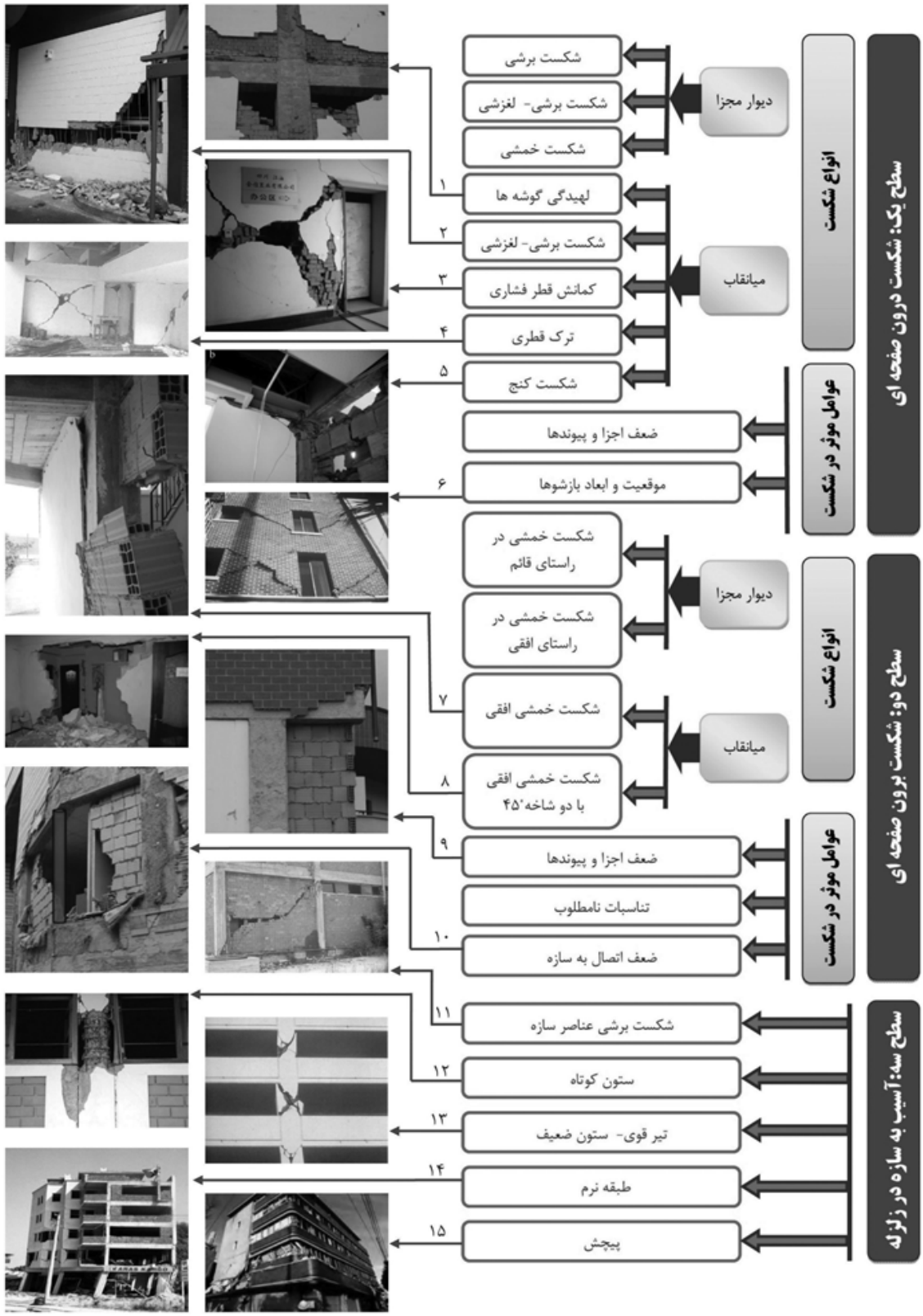


تصویر۶: شکست برشی ستون کوتاه درزلزله۱۹۶۸ تاکاچی اوکی ژاپن [۲۸]

تصویر۷: شکست خمشی ستون کوتاه [۲۹]

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر ۸: نمودار و تصاویر مربوط به سطوح عملکرد نامطلوب دیوارها در زلزله جهت توضیحات تکمیلی تصاویر به پی نوشت‌ها مراجعه شود. (نگارندگان)

www.SID.ir

Archive of SID

۱-۳-۳. تیر قوی ستون ضعیف

در سازه‌ای که نیروی زلزله در آن توسط قاب‌ها تحمل می‌شود. لازم است طراحی به نحوی صورت پذیرد که ابتدا مفصل‌های پلاستیک در تیرها ایجاد شود و ستون‌ها در حالت الاستیک باقی بمانند، [۳,۳۱] زیرا در صورتی که تغییرشکل انعطاف پذیر در ستون‌ها قبل از تیرها ایجاد شود، فروریزش کل طبقه یا ساختمان قطعی است [۳,۳۱,۳۲]. در صورتی که بخش پیشانی یا دست انداز پنجره‌ها در نما به صورت پیوسته با تیرهای سازه اجرا شود، علی رغم پرهیز از اصل تیر قوی ستون ضعیف در طراحی، ساختمان در زلزله رفتاری مشابه را از خود نشان خواهد داد[۳](تصویر سیزده-هشت).

۱-۳-۴. طبقه نرم

طبقه نرم عبارت است از عدم پیوستگی سختی که در اتصالات طبقه بعدی خودنمایی می‌کند. چنانچه سختی یک طبقه (اغلب طبقه همکف) به نحو بارزی کم‌تر از طبقات فوقانی باشد [۳۳-۳۵]، بخش قابل توجهی از کل تغییرمکان جانبی ساختمان متوجه طبقه همکف شده [۳۶, ۳۲, ۹, ۳۳, ۳۴, ۳۵] و این امر منجر به ایجاد مفصل پلاستیک در بالا و پایین ستون‌ها می‌گردد. به این ترتیب عناصر باربر قائم در طبقه همکف به شدت آسیب دیده در حالی که سایر عناصر ساختمان معمولاً سالم باقی می‌مانند[۳۵]. این مطلب اغلب به دلایل معماری برای ایجاد ورودی با دهانه‌های باز، لابی ساختمان‌ها، پارکینگ‌ها و... اتفاق می‌افتد. در بسیاری از مواقع علی رغم طراحی سازه منظم در ارتفاع، در اثر کاهش یا حذف میانقاب‌ها در طبقات مجاور، نامنظمی در ارتفاع رخ می‌دهد[۶,۳۱,۳۵,۳۶,۳۷] (تصویر چهارده-هشت).

۱-۳-۵. پیچش

از دیدگاه تحلیل سازه نیروی زلزله به مرکز جرم طبقات وارد می شود و نیروی مقاوم در برابر زلزله در مرکز سختی سیستم مهاری جانبی اثر می‌کند. چنانچه این دو مرکز در ساختمان بر یکدیگر منطبق نباشند علاوه بر حرکت جانبی زلزله یک ممان پیچشی نیز حول مرکز سختی به آن افزوده خواهد شد. تجارب زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد پیچش بحرانی‌ترین عاملی است که منجر به خسارات عظیم یا فروپاشی ساختمان می‌گردد[۳,۳۸]، بخش قابل توجهی از آثار پیچشی ناشی از به هم خوردن توزیع سختی به دلیل عدم ملاحظه موقعیت دیوارها در طراحی است[۳,۴,۱۰,۱۵,۲۳,۳۱](تصویر پانزده-هشت).

۲. عملکرد مطلوب دیوارها در زلزله

مطابق با نمودار ارائه شده در تصویر ۱، برای عملکرد مطلوب دیوارها نیز سه سطح می‌توان درنظر گرفت. بر این اساس در سطح یک، دیوار در برابر نیروهای درون صفحه‌ای پایدار باقی می‌ماند، در سطح دو، دیوار در برابر نیروهای برون صفحه‌ای پایدار باقی مانده و آسیبی بر دیگر عناصر نیز وارد نمی‌کند، در سطح سه، دیواری که پایداری خود را در هر دو سطح قبلی حفظ نموده باشد و از لحاظ مشخصات مصالح، اتصالات بین اجزا، تناسبات، اتصال به سازه، سطوح و موقعیت بازشوها و نحوه چیدمان در پلان و نما از شرایطی مطلوبی که به تفصیل در بخش‌های قبل مورد بحث قرار گرفت برخوردار باشد، می‌تواند موجب پایداری سازه‌های غیرمقاوم در برابر زلزله گردیده یا پتانسیل اضافی برای سازه‌های مقاوم در برابر زلزله به وجود آورد.

دلیل اصلی سودمندی دیوارها از این جهت می‌باشد که میزان تاثیر آن‌ها بر افزایش نیروی اینرسی نسبتاً کم ولی بر مقاومت و سختی زیاد است[۶,۳۹]. در شرایطی که دیوار به اندازه کافی قوی یا انعطاف پذیر است تا زمانی که به صورت سالم و یکپارچه می‌باشد[۳۰] خواص لرزه‌ای قاب را به میزان قابل توجهی بهبود می‌بخشد[۱۰,۳۰].

میانقاب‌های مصالح بنایی تاثیر زیادی در افزایش سختی جانبی قاب دارند[۶,۳۵]. با توجه به سختی بیشتر دیوارها نسبت به قاب، در هنگام زلزله به صورت دیوار برشی عمل می‌کنند. این امر موجب افزایش سختی و مقاومت قاب از یک طرف [۱۰,۱۲] و افزایش نرمی و شکل پذیری میانقاب از سوی دیگر می‌شود[۱۰]، دراین حالت جابه‌جایی و تغییرشکل دیوارها با قاب مساوی خواهد بود. لذا دیوارها باید به اندازه کافی قوی یا انعطاف‌پذیر باشند تا این تغییرشکل‌ها را جذب کنند[۴۰] در واقع به جای این که نیروهای جانبی توسط اعضای قاب خمشی تحمل شود، نوعی اعضای قطری فشاری در دیوار شکل گرفته [۴] و به این ترتیب دیوار پرکننده باعث می‌شود که رفتار سازه‌ای از کنش خمشی به کنش محوری تبدیل شود[۹]. علاوه بر این در قاب‌های مهاربندی شده نیز دیوار پرکننده آجری در تحمل نیروی محوری فشاری مشارکت نموده و ضعف مقاومت فشاری مهاربندی‌های کششی را جبران می‌کند[۹]. در جدول ۱ آثار مثبت دیوارها بر عملکرد لرزه‌ای سازه ارائه شده‌است.

با توجه به موارد فوق در بسیاری از زلزله‌های گذشته دیوارهای پرکننده موجب پایداری ساختمان‌های فاقد مقاومت جانبی کافی شده‌اند. به عنوان نمونه می‌توان

www.SID.ir

Archive of SID

به زلزله خرداد ۱۳۶۹ رودبار منجیل، وجود میانقاب‌ها موجب استقامت ساختمان‌های فاقد سیستم لرزه‌بر و با اتصال خرجینی در لوشان و رشت گردید[۲۱]، در زلزله تیرماه ۱۳۸۱ چنگوره (آوج) استفاده از دیوارهای پرکننده در ساختمان‌های فلزی دو طبقه دو جهت مفصل و بدون بادبند موجب پایداری ساختمان شد[۴۱]، در مرکز مخابرات بم حضور دیوارهای پرکننده بنایی دلیل اصلی پاسخ‌های نزدیک به خطی این ساختمان بوده‌است [۱۲]، در زلزله ۲۰۰۷ سوماترای اندونزی، پرکننده‌های آجری غیرسازه‌ای مقاومت کلی قاب‌های بتن مسلح را به میزان قابل توجهی افزایش دادند[۱۳] و در زلزله ۲۰۱۱ منطقه وان ترکیه دیوارهای پرکننده به سیستم سازه‌ای در برابر نیروهای جانبی کمک کردند[۱۱].

۳. نتیجه گیری

در حال حاضر اغلب، مهندسین سازه در فرایند طراحی، دیوارها را به عنوان عناصر غیرسازه‌ای به شمار آورده و تنها جرم آن‌ها را در محاسبات مدنظر قرار می‌دهند. از طرف دیگر معماران نیز، مشخصات دیوارها را بدون توجه به عملکرد لرزه‌ای آن‌ها تعیین می‌کنند. مطالعات حاضر نشان می‌دهد برخلاف این فرایند مرسوم، دیوارها از جمله عناصر غیرسازه‌ای به شمار می‌روند که بیشترین پتانسیل تخریب کلی ساختمان را داشته و در زلزله‌های خفیف تا متوسط نیز دچار آسیب می‌شوند. بر اساس مطالعه تجارب زلزله‌های گذشته که با شیوه‌ای مفهومی و قابل استفاده برای جامعه معماری در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌است انواع رفتارهای لرزه‌ای دیوارها در یک نمودار شامل سه سطح و هریک در دو جهت مثبت و منفی قابل تحلیل است. در سطح یک از عملکرد نامطلوب دیوارها، تنها دیوار دچار آسیب می‌گردد، این آسیب‌ها تحت عنوان شکست درون صفحه‌ای دیوار قابل بررسی بوده و در مورد دیوارهای مجزا و میانقاب‌ها صادق است. از عوامل موثر در این شکست به دو عامل ضعف اجزا و پیوندها و موقعیت و ابعاد بازشوها می‌توان اشاره کرد. در سطح دو، دیوار دچار آسیب شده و احتمال وارد شدن آسیب بر دیگر عناصر غیرسازه‌ای وانسان‌ها نیز وجود دارد. این دسته از آسیب‌ها تحت عنوان شکست برون صفحه‌ای دیوارها شامل دیوارهای مجزا و میانقاب‌ها قابل بررسی است. از جمله عوامل موثر در ایجاد آسیب‌های این سطح به سه عامل ضعف اجزا و پیوندها، تناسبات نامطلوب و ضعف اتصال به سازه می‌توان اشاره کرد. در سطح سه، دیوار موجب وارد شدن آسیب به سازه ساختمان می‌گردد. در این سطح ممکن است ابتدا دیوار دچار شکست، به ویژه شکست درون صفحه‌ای گردیده و سپس سازه دچار آسیب شود و یا نخست دیوار دچار آسیب نشده بلکه به دلیل فرم، مصالح، نحوه اتصالات و چیدمان موجب آسیب دیدن سازه گردد. بدیهی است در صورت آسیب دیدن سازه، آسیب‌های وارد بر عناصر غیرسازه‌ای از جمله دیوارها و ایجاد خطرات جانی برای انسان‌ها نیز مورد انتظار می‌باشد. در خصوص عملکرد مطلوب دیوارها نیز سه سطح می‌توان درنظر گرفت. بر این اساس در سطح یک، دیوار در برابر نیروهای درون صفحه‌ای پایدار باقی می‌ماند، در سطح دو، دیوار در برابر نیروهای برون صفحه‌ای نیز پایدار باقی مانده و آسیبی بر دیگر عناصر وارد نمی‌کند، در سطح سه، دیواری که پایداری خود را در هر دو سطح قبلی حفظ نموده و از لحاظ مشخصات مصالح، اتصالات بین اجزا، تناسبات، اتصال به سازه، سطح و موقعیت بازشوها و نحوه چیدمان در پلان

جدول ۱: بررسی آثار منفی و مثبت دیوارها بر عملکرد لرزه‌ای سازه

آثار منفی دیوارها در عملکرد لرزه‌ای سازه		آثار مثبت دیوارها در عملکرد لرزه‌ای سازه	
کاهش زمان تناوب طبیعی	۶-۸-۴-۹-۲۱-۲۳	افزایش مقاومت جانبی	۴۳-۱۰-۹-۳۹-۱۲-۲
شکست برشی ستون، تیر، ناحیه اتصال	۹-۱۰-۲۱-۴۲	افزایش سختی جانبی	۱۰-۶-۴-۳۹-۱۲-۲-۸-۴۴-۳۱-۲۳-۴۳
ایجاد ستون کوتاه	۱۰-۴-۳۰-۶-۲۲-۱۵-۳۴-۳-۸-۲۳-۳۱	افزایش ظرفیت جذب و استهلاک انرژی	۳۴-۱۵
ایجاد تیر قوی ستون ضعیف در صورت یکپارچگی دست‌انداز پنجره‌ها با تیرها	۴	کاهش تغییرمکان	۴-۱۵-۸-۲-۴۳
ایجاد طبقه نرم	۳۴-۱۵-۳۰-۶	ایجاد سیستم دوگانه با کنش محوری قاب	۲۳-۳۱
به هم خوردن توزیع سختی و ایجاد آثار پیچشی بزرگ	۲۳-۳۱-۳۳-۱۵-۲۲	جبران ضعف مقاومت فشاری بادبندهای کششی	۲۳

www.SID.ir

Archive of SID

و نما از شرایط مطلوبی برخوردار باشد، می‌تواند موجب پایداری سازه‌های غیرمقاوم در برابر زلزله گردد یا پتانسیل اضافی برای سازه‌های مقاوم در برابر زلزله به وجود آورد.

به عنوان نتیجه نهایی لازم است اشاره شود برای دستیابی به ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله در کنار طراحی سازه، طراحی دیوارها نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. با اندکی توجه به عملکرد لرزه‌ای دیوارها در مراحل مختلف طراحی معماری و سازه می‌توان از آثار نامطلوب دیوارها در زلزله جلوگیری و در مقابل از عملکرد مطلوب آن‌ها بهره برداری نمود. با این شیوه در هزینه های سازه صرفه جویی گردیده و یا در ساختمان‌های با کیفیت ساخت پایین، بدون افزایش هزینه یک پتانسیل اضافی جهت پایداری در برابر زلزله ایجاد خواهد شد.

پی نوشت‌ها

توضیحات تکمیلی نمودار تصویر ۸:

۱. لهیدگی گوشه های دیوار؛ زلزله ۲۰۰۸ سیچوآن چین (Zhao, et al, 2009: 1714)

۲. شکست برشی لغزشی دیوار؛ زلزله ۲۰۱۱ لیتلتون نیوزلند (Kam, et al, 2011: 250)

۳. کمانش بخش میانی دیوار؛ زلزله ۲۰۰۸ سیچوآن چین (Zhao, et al, 2009: 1714)

۴. ترک خوردگی قطری دیوار؛ زلزله ۱۹۹۹ ایزمیت ترکیه (باخمن، 1389: 31)

۵. شکست کنج دیوار و ستون؛ زلزله ۲۰۰۸ سیچوآن چین (Zhao, et al, 2009: 1714)

۶. ایجاد ترک‌های قطری در دیوار بین بازشوها؛ زلزله ۱۹۹۴ نورث ریج آمریکا (باخمن، 1389: 71)

۷. شکست برون صفحه‌ای دیوار به صورت خمشی افقی؛ زلزله ۲۰۰۲ مولیس ایتالیا (Decanini, et al, ۲۰۰۴: s225)

۸. شکست برون صفحه‌ای دیوار به صورت خمشی افقی با دو شاخه ۴۵؛ زلزله ۲۰۰۹ آبروزو ایتالیا (Ceci, et al, 1920:2010)

۹. فروپاشی جدار خارجی دیوار در اثر ضعف اتصال دو جدار و کاهش پهنای تکیه گاهی جدار دوم دیوار؛ زلزله ۲۰۰۹ آبروزو ایتالیا (Vicente, et al, 2012: 26)

۱۰. شکست برون صفحه‌ای در اثر عدم استفاده از کلاف قائم در گوشه‌ها؛ زلزله ۲۰۰۹ آبروزو ایتالیا (Vicente, et al, 2012: 28)

۱۱. شکست برشی ستون در اثر اندرکنش بین میانقاب و ستون؛ زلزله ۱۹۹۸ آدانا جیحان ترکیه (باخمن، 389 ال 31)

۱۲. شکست ستون و ایجاد پدیده تیر قوی ستون ضعیف در اثر یکپارچگی دست اندازها با تیر طبقات؛ زلزله ۱۹۹۴ نورث ریج آمریکا (باخمن، 389 ال 42)

۱۳. شکست برشی ستون کوتاه در زلزله ۲۰۰۱ آرکیپا پرو (Aliaari, Memari, 2005)

۱۴. ایجاد طبقه نرم در اثر حذف دیوارهای آجری طبقه همکف در زلزله ۱۹۹۹ کوکایلی ترکیه (Yatağan, 2011: 226)

۱۵. تخریب ساختمان در اثر پیچش ناشی از چیدمان دیوارها؛ زلزله ۱۹۹۵ کوبه (Tabeshpour, et al, 2012: 289)

فهرست منابع

1-Lee, T., (et al), (2007), «Seismic performance evaluation of non-structural components : Drywall partitions», Earthquake Engineering and Structural Dynamics, No 382–367 ,36.

2-Tasligedik, A. S., (et al), (2011),«Damage Mitigation Strategies of "Non-Structural" Infill Walls: Concept and Numerical-Experimental Validation Program», Proceedings of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering Building an Earthquake-Resilient Society 16-14 April, 2011, Auckland, New Zealand.

3-Vicente, Romeu Silva, (et al),(2012),«Performance of masonry enclosure walls: lessons learned from recent earthquakes», Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Vol.11, No.:1 34-23.

4-Charleson, Andrew W., (2011), Seismic Design for Architects Outwitting the Quake, (in Farsi), Translated by Golabchi, M.; Sorooshnia, E., 2nd Edition, Tehran, University of Tehran Press.

5-Nateghi elahi, F.; Motamedi, M., (2003), Seismic Design and Construction of Masonry Building, (in Farsi), Tehran, Nou Pardazan Press.

6-Mahdi, T., (et al), (2010), Partition Walls Types and Structural Design Issues, (in Farsi), Research Report No. R569-, Tehran, Building and Housing Research Center.

7-Paulo, M. F., (et al), (2011), «Behavior of Masonry Infill Panels in RC Frames Subjected to in Plane and Out of Plane Loads», IN7th

www.SID.ir

Archive of SID

16-Standard No. 2005) ,05-2800), Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, (in Farsi), 3rd Edition, Tehran, Building and Housing Research Center.

17-EN 2005) ,1-1-1996), Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures, European Committee for Standardization, Brussels.

18-NZS 2004) ,4230:2004), Design of Reinforced Concrete Masonry Structures, Published by Standards New Zealand.

19-FEMA 2003) ,450), NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Part 1: Provisions, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.

20-FEMA 1997) ,273), NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

21-Moghadam, H., (et al), (2010), Behavior of Single and Multilayer Infill Steel Frame, (in Farsi), Research Report No. R555-, Tehran, Building and Housing Research Center.

22-Tabeshpour, M. R., (2006), Conceptual Applied Interpretation of Iranian Code for Seismic Resistant Design of Buildings 3rd Edition, Standard No. 2800, (in Farsi), Tehran, Ganje Honar Press.

23-Tabeshpour, M. R., (2013), Infilled Frames, (in Farsi), Tehran, Fadak Issatis Publisher.

24-FEMA 1998) ,306), Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings, Basic Procedures Manual, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

25-URL 1:www.staff.city.ac.uk/earthquakes/MasonryBrick/PlainBrickMasonry.htm (visited:2013/23/12)

26-EN 2003) ,1-1998), Eurocode8: Design of structures for earthquake resistance -Part 1: General rules, seismic actions and rules

International Conference amcm, Kraków, Poland.

8-Rodrigues, Hugo, (et al), (2010), «Simplified Macro-Model for Infill Masonry Panels», Journal of Earthquake Engineering, No :14 416-390.

9-Tabeshpour, Mohammad Reza, (et al), (2012), «Seismic Behavior and Retrofit of Infilled Frames», Earthquake-Resistant Structures - Design, Assessment and Rehabilitation, Prof. Abbas Moustafa (Ed.), Available from: http://www.intechopen.com/books/earthquake-resistantstructures-design-assessment-and-rehabilitation/seismic-design-and-retrofit-of-infilled-frames.

10-Moghadam, H., (2003), Earthquake Engineering Theory and Application, (in Farsi), 2nd Edition, Tehran, Farhang Press.

11-Alaluf, Rafael, (et al), (2012), Learning from Earthquakes The Mw 7.1 Erciş-Van, Turkey Earthquake of October 2011 ,23, EERI Special Earthquake Report.

12-Mostafaei, H.; Kabeyasawa, T, (2004), «Effect of Infill Masonry Walls on the Seismic Response of Reinforced Concrete Buildings Subjected to the 2003 Bam Earthquake Strong Motion: A Case Study of Bam Telephone Center», Bull. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, Vol. ,79 156-133.

13-Sanada, Y, (et al), (2011), «Effects of Nonstructural Brick Infills on an Indonesian Earthquake-Damaged Building», in Procedia Engineering, No 2085–2077 ,14.

15-Paulo, M. F., (et al), (2011), «Behavior of Masonry Infill Panels in RC Frames Subjected to in Plane and Out of Plane Loads», IN7th International Conference amcm, Kraków, Poland.

16-Aliaari, Mohammad; Memari, Ali M., (2005),«Analysis of masonry infilled steel frames with seismic isolator subframes», Engineering Structures,No500–487 :27.

www.SID.ir

Archive of SID

for buildings, European Committee for Standardization, Brussels.

27-FEMA 2000) ,356), Prestandard and commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

1372□□□□□□□□□□□□ -28:

29-URL 2: http://fanomran.com/feducation2.htm (visited:2013/18/10)

30-Bachmann, H., (2010), Seismic Conceptual Design of Buildings – Basic principles for engineers, architects, building owners, and authorities, (in Farsi), Translated by Eshghi, S., Tehran, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology.

31-Özmen, Cengiz; Ünay, Ali ìhsan, (2007), «Commonly encountered seismic design faults due to the architectural design of residential buildings in Turkey», Building and Environment, No 1416-1406 ,42.

32-Harmankaya, Zeynep Yesim; Soyluk, Asena, (2012), «Architectural Design of Irregular Buildings in Turkey», in International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS, Vol. 12, No48-42 ,1.

□1371□□□□□□ -33

34-Arslan, M.H.; Korkmaz, H.H.,(2007),«What is to be learned from damage and failure of reinforced concrete structures during recent earthquakes in Turkey?», in Engineering Failure Analysis, No 22–1 ,14.

35-Asteris, P. G, (2003), «Lateral Stiffness of Brick Masonry Infilled Plane Frames», Journal of Structural Engineering, No -129,1071 1079.

36-Arnold, Christopher, (2006),«Seismic Issues in Architectural Design», FEMA 454: Designing for Earthquakes, A manual for Architects.

37-Zhao, Bin, (et al), (2009), «Field Investigation on the Performance of Building Structures During the 12 May 2008 Wenchuan Earthquake in China», Engineering Structures, No 1723-1707 :31.

38-Dubey, S.K.; Sangamnerkar, P.D., (2011), «SEISMIC BEHAVIOUR OF ASSYMETRIC RC BUILDINGS», in IJAET, Vol.II, Issue IV, -296 301.

39-Güney, D.; Kuruşçu, A. O., (2011),«Optimization of the configuration of infill walls in order to increase seismic resistance of building structures», International Journal of the Physical Sciences,Vol.706–698 ,(4)6.

40-Dowrick, David, (2009), Earthquake Resistant Design and Risk Reduction, Second edition, Singapore, A John Wiley and Sons Ltd. Publication.

41- Jabbarzadeh, M.J, (et al), (2002), «Assessing the damage of steel structures in 22nd of June 2002 earthquake occurred in Changureh (Avaj)», (in Farsi), Research Bulletin of Seismology and Earthquake Engineering, 5th Year ,No 40-33 ,1.

42-Koutromanos, Ioannis, (et al), (2011), «Numerical modeling of masonry-infilled RC frames subjected to seismic loads», in Computers and Structures, No -1026 ,89 1037.

43-Kam, Weng Y. , (et al), (2011), «Seismic Performance of Reinforced Concrete Buildings in The 22 February Christchurch (Lyttelton) Earthquake», Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. 44, No. 278-239 ,4.

44-Key, David, (1988), Civil Engineering Design - Earthquake Design Practice for Buildings, London, Thomas Telford.

www.SID.ir