بسم الله الرحمن الرحیم
بسم الله الرحمن الرحیم
بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

تاثیر باز شوهای نا منظم بر خصوصیات لرزه ای دیوارهای برشی بتن آرمه

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد عمران

گرایش سازه

محمد رضا دهکردی

استاد راهنما

دکتر کیاچهر بهفرنیا

۱۳۸۹

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران-گرایش سازه آقای محمد رضا دهکردی

تحت عنوان:

تاثیر باز شوهای نا منظم بر خصوصیات لرزه ای دیوارهای برشی بتن آرمه

در تاریخ ۱۳۸۹/۱۲/۲۵ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه ..... دکتر کیاچهر بهفرنیا

۲- استاد مشاور پایان‌نامه ..... دکتر فرهاد بهنام‌فر

۳- استاد داور ..... دکتر مرتضی مدح خوان

۴- استاد داور ..... دکتر محمد علی رهگذر

۵- مسئول تحصیلات تکمیلی دانشکده ..... دکتر عبدالرضا کبیری

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران-گرایش سازه آقای محمد رضا دهکردی

تحت عنوان:

تاثیر باز شوهای نا منظم بر خصوصیات لرزه ای دیوارهای برشی بتن آرمه

در تاریخ ۱۳۸۹/۱۲/۲۵ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه دکتر کیاچهر بهفرنیا .....

۲- استاد مشاور پایان‌نامه دکتر فرهاد بهنام‌فر .....

۳- استاد داور دکتر مرتضی مدح خوان .....

۴- استاد داور دکتر محمد علی رهگذر .....

۵- مسئول تحصیلات تکمیلی دانشکده دکتر عبدالرضا کبیری .....

فهرست مطالب

عنـــــوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
چکیده ۱

فصل اول: نقش دیوارهای برشی در ساختمان ها

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- دیوارهای برشی بتنی ۲
۱-۲-۱- دیوارهای برشی از نظر رفتار ۲
۱-۲-۲- اثر شکل مقطع بر رفتار دیوار برشی ۳
۱-۲-۳- دیوارهای برشی از نظر تغییر در ارتفاع ٤
۱-۲-٤- دیوارهای برشی از نظر بازشو ٤
۱-۲-۵- برخی از ملاحظات دیگر در باره دیوار برشی ۱۱
۱-۳- نحوه شکست دیوارهای برشی ۱۳
۱-۳-۱- تخریب خمشی ۱۳
۱-۳-۲- تخریب ناشی از برش ۱۳
۱-۳-۳- تخریب برشی در لغزش ۱٤
۱-۳-٤- تخریب ناشی از چرخش شالوده ۱٤
۱-۳-۵- تخریب تیرهای همبند ۱٤
۱-۴- نکاتی راجع به مدل سازی دیوارهای برشی ۱۵
۱-۴-۱- طول لولای خمیری ۱۵
۱-۴-۲- خمش ۱٦
۱-٤-۳- برش و پیچش ۱۷
۱-٤-٤- شکل‌پذیری عضو ۱۸
۱-٤-۵- دیوارها، قطعات دیواری و تیرهای همبند ۱۹
۱-۵- مدل سازی دیوارهای سازه‌ای بتن مسلح ۲۱
۱-۵-۱ رویکرد های مدل سازی اعضای بتن مسلح ۲۲
۱-۵-۲- خصوصیات انواع المان معادل ۲٦
۱-٦- ارتباط موضوع با کارهای انجام شده ۲۷
۱-۷- محتوای فصل های بعدی ۲۷

فصل دوم: مروری بر روش های تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها

۲-۱- مقدمه ۲۸
۲-۲- تحلیل استاتیکی خطی(معادل) ۲۸
۲-۲-۱- الگوی بارگذاری در تحلیل استاتیکی معادل ۲۸
۲-۳- تحلیل دینامیکی خطی ۳۰
۲-۳-۱- تحلیل دینامیکی طیفی (مودال) ۳۰
۲-۳-۲- تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی خطی ۳۱
۲-۳-۳- خصوصیات شتابنگاشتهای انتخاب شده جهت تحلیل ۳۱
۲-۴- تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی ۳۲
۲-۵- تحلیل استاتیکی غیرخطی ۳۳
۲-۵-۱- مقدمه ۳۳
۲-۵-۲- اصول روش تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی ۳۳
۲-۵-۳- مزایای روش پوش آور ۳۴
۲-۵-۴- ارکان اصلی روش پوش آور ۳۵
۲-۵-۵- روش ضرایب تغییر مکان (FEMA356 و دستورالعمل بهسازی) ۳۷
۲-۵-۶- معایب آنالیز پوش آور متداول ۴۰
۲-۶- آنالیز پوش آور چند مودی ۴۰
۲-۷- آنالیز پوش آور تطبیقی ۴۳
۲-۷-۱- تحلیل پوش آور تطبیقی مبتنی بر نیرو ۴۴
۲-۷-۲- پوش آور تطبیقی مبتنی بر تغییر مکان (DAP) ۴۶
۲-۸- خلاصه ۴۸

فصل سوم: پارامترهای ارزیابی رفتار غیرخطی سازه‌ها

۳-۱- مقدمه ۴۹
۳-۲- تعیین ضریب رفتار و بررسی پارامترهای مؤثر در آن ۵۰
۳-۲-۱- ضریب اضافه مقاومت و تحقیقات انجام شده در مورد آن ۵۲
۳-۲-۲- ضریب تنش مجاز Y ۵۳
۳-۲-۳- ضریب کاهش در اثر شکل‌پذیری (ضریب کاهش نیرو) و مروری بر تحقیقات انجام شده ۵۴
۳-۳- خلاصه ۶۲

فصل چهارم: مدل سازی در نرم افزار

۴-۱- مقدمه ۶۳
۴-۲- تشریح مراحل مدل سازی ۶۵
۴-۲-۱- گره ها و المان ها ٦٥
۴-۲-۲- المانهای دیواری ٦٦
۴-۲-۳- مشخصات المان دیوار ٦٨

۴-۳- محدودیت های آنالیز در تحقیق ۷۳
۴-۴- بارگذاری ۷۴
۴-۵- آنالیز سازه ۷۵
۴-۵-۱- تعریف انواع بار ۷۵
۴-۵-۲- انجام آنالیز ۷۵
٤-٥-٣- نتایج تحلیل ٧٦
۴-۶- بررسی صحت مدل عددی ۷۸
۴-۶-۱- نمونه آزمایشگاهی در تحقیقات لیفاس ۷۸
۴-۷- خلاصه ۸۰

فصل پنجم: مدل های مورد بررسی ونتایج تحلیل آنها

۵-۱- مقدمه ۸۱
۵-۲- مدل‌های مورد بررسی ۸۱
۵-۲-۱- بتن و فولاد مدل ها ۸۵
۵-۳- روش انجام تحقیق ۸۵
۵-۴- بررسی موردی عوامل مؤثر بر پارامترهای ضریب رفتار در دیوارهای مدل شده ۸۷
۵-۴-۱- دیوارهای برشی ۵ طبقه با طول ۴ متر ۸۸
۵-۴-۲- دیوارهای برشی ۱۰ طبقه با طول ۴ متر ۹۱
۵-۴-۳- دیوارهای برشی ۱۰ طبقه با طول ۶ متر ۹٤
۵-۴-٤- دیوارهای برشی ۱۵ طبقه با طول ۶ متر ۹۷
۵-۵- خلاصه ۱۰۰
۵-۶- تحلیل استاتیکی غیر خطی مودال ۱۰۱
۵-۶-۱- پوش آور مودال دیوار ۵ طبقه ۴ متری ۱۰۲
۵-۶-۲- پوش آور مودال دیوار ۱۰ طبقه ۴ متری ۱۰۳
۵-۶-۳- پوش آور مودال دیوار ۱۰ طبقه ۴ متری با ۲۰ درصد بازشوی یک در میان ۱۰٤
۵-٦-٤- خلاصه ۱۰۵
۵-۷- آنالیز دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی ۱۰۶
۵-۷-۱- نتایج آنالیز دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی ۱۱۰
۵-۸- بررسی پاسخ تحلیل های غیرخطی استاتیکی و دینامیکی تاریخچه زمانی دیوارها ۱۱۴
۵-۹- خلاصه ۱۱۷

فصل ششم: نتیجه‌گیری

۶-۱- مقدمه ۱۱۸
۶-۲- نتایج بدست آمده در این پایان‌نامه ۱۱۹

۶-۳- پیشنهادات برای تحقیقات آینده ۱۲۰

پیوست

پیوست ۱: مشخصات طراحی دیوارهای برشی ۱۲۱

فهرست مراجع ۱۲۵

چکیده انگلیسی ۱۲۹

کلیهٔ حقوق مادی مترتب بر نتایج
مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی
از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله)
متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به :

پدر بزرگوارم :

که چون کوهی استوار، ایستادگی و پایداری را به من آموخت.

مادر مهربانم :

که آغوش گرمش بهترین پناهگاه در روزهای سخت زندگیم بود.

برادران فداکارم :

که بهترین دوستان بی ریا، پاک و باگذشت در تمام زندگیم بودند.

همسر عزیزم :

که شادمانی و امید زندگیم از اوست.

همه معلمان ارجمندم :

که سخاوتمندانه بزرگترین ارمغان عمرشان را به من هدیه کردند.

سپاس ویژه خود را به استاد گرانقدرم، جناب آقای « **دکتر کیاچهر بهفرنیا** » که دلسوزانه و صبورانه و پدرانه مرا در انجام این پایان نامه راهنمایی کرده و همواره مرا از گنجینه دانش خود بهره مند نموده‌اند، تقدیم می‌کنم.

همچنین از استاد بزرگوارم، جناب آقای « **دکتر فرهاد بهنام فر** » که با قبول زحمت مرا در تکمیل این پایان نامه یاری رساندند، تشکر می نمایم.

چکیده

یکی از انواع سیستم های مقاوم در برابر نیروی زلزله سیستم دیوار برشی بتنی می باشد که به دلیل عملکرد مناسب آن در مقابل نیروهای جانبی از جمله زلزله مورد استفاده گسترده ای در سازه های متوسط و بلند مرتبه قرار گرفته است. در بسیاری از موارد، دیوارهای برشی بنا به ملزومات معماری از جمله در، پنجره و یا عبور تأسیسات مکانیکی وبرقی نیازبه بازشدگی خواهند داشت.

وجود بازشدگی در دیوار بر رفتار آن در هنگام مقابله با نیروهای جانبی تأثیر گذار خواهد بود. نسبت ابعاد باز شو و همچنین تعداد وموقعیت مکانی آن در دیوار از مهمترین عوامل تأثیر گذار بر رفتار مقاومتی و لرزه ای دیوارهای برشی دارای بازشو می باشد.

علیرغم اهمیت و گستردگی استفاده از این نوع دیوارها هنوز اطلاعات کامل و جامعی از مشخصه های لرزه ای همانند ضریب رفتار، مقاومت نهایی، شکل پذیری و تاثیر مودهای بالاتر در دیوارهای با بازشوهای غیر منظم موجود نمی باشد. هدف از این تحقیق بررسی پارامتر های ذکر شده در این دیوارها با استفاده از روش تحلیل pushover می باشد.

در این تحقیق دیوارهای ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه دارای بازشوهای با اندازه ۵ و ۲۰ درصد مساحت طبقه و موقعیت مکانی متفاوت به صورت مرکزی، با خروج از مرکزیت به صورت یک طرفه و همچنین یک در میان در برنامه ی perform 3D مدل گردیدند و آنالیز استاتیکی غیر خطی(pushover) بر روی آنها انجام گرفت. نتایج بیان کننده ی شکل پذیری بیشتر و ضریب رفتار بزرگ تر برخی از این دیوارها نسبت به دیوارهای بدون بازشو می باشد. به صورت کلی بازشوهای خاصی با ابعاد محدود در جهت بهبود رفتار لرزه ای عمل خواهند کرد و تنها محدودیت استفاده از آنها کاهش مقاومت نهایی است که با مطالعه‌ی دقیق و پارامتریک این عوامل می توان با طرحی مناسب از آنها در سازه استفاده نمود.

همچنین به منظور کنترل تغییر مکان هدف به منظور تخمین تغییر مکان دقیق سازه های دارای دیوار برشی در هنگام وقوع زلزله، تمامی دیوارها تحت آنالیز دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی نیز قرار گرفتند. نتایج حاکی از تخمین دست پایین اعداد تغییر مکان هدف برای تخمین جابجایی سازه در هنگام زلزله بود.

کلمات کلیدی: دیوارهای برشی بتن آرمه، بازشو، آنالیز استاتیکی غیر خطی، ضریب رفتار

فصل اول
رفتار و مدل سازی انواع مختلف دیوار برشی

۱-۱- مقدمه

از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر طراحی ساختمان ها نیروهای جانبی وارد بر آنها مانند زلزله یا باد در طول مدت بهره برداری می باشد. از این رو می بایست سازه مقاومت کافی در مقابله با این نیروها در هنگام وقوع را داشته باشد.
با توجه به اینکه رفتار سازه در هنگام وقوع زلزله به صورت تصادفی می باشد سیستم باربر جانبی می‌بایست خسارت را در حد قابل قبول حفظ کرده و ضامن سلامت ساکنین باشد. بر این اساس سازه می‌بایست شکل‌پذیری کافی برای تحمل تغییر شکل های زیاد (غیر ارتجاعی) را داشته، و این تحمل به گونه‌ای باشد که فروریختگی در سازه به وجود نیاید (رفتار شکل پذیر).

برای مهار نیروهای جانبی زلزله راهکارهای مختلفی وجود دارد یکی از آنها استفاده از دیوارهای برشی است. دیوارهای برشی مسلح نقش بسیار اساسی در ایجاد سختی جانبی در سازه‌های بتنی ایفا می‌کنند. این اهمیت تا آنجا است که عملا مقاومت سازه در مقابل بارهای جانبی که مهم‌ترین عامل ایجاد آن در ایران پدیده زلزله است، توسط دیوارهای برشی تأمین می‌گردد. بنابراین مطالعه رفتار این اعضا از دیرباز برای پژوهشگران دارای اهمیت ویژه‌ای بوده است.

۱-۲- دیوارهای برشی بتنی

دیوارهای برشی را از چند جهت می‌توان تقسیم‌بندی کرد. از نظر رفتار، تغییر در شکل مقطع، تغییر در ارتفاع و دیگر اینکه دارای باز شو باشند یا نباشند.

۱-۲-۱- دیوارهای برشی از نظر رفتار

طبق گزارش ATC-40 [۱]، اگر نسبت وضعیت دیوار (ارتفاع به طول) برابر با یا متجاوز از ۴ باشد، دیوار "لاغر" در نظر گرفته می‌شود و اگر این نسبت کوچک تر از ۲ باشد دیوار چاق می باشد. آیین نامه FEMA-356 [۲]، برای

نسبت های فوق به ترتیب اعداد ۳ و ۱/۵ را در نظر می‌گیرد و این در حالی است که دستورالعمل بهسازی ایران پیشنهاد عددی ارائه نمی‌دهد. در ادامه توضیحات بیشتری در رابطه با این دو نوع دیوار برشی ارائه می گردد.

الف- دیوارهای برشی کوتاه

اگر دیوار برشی دارای ارتفاع کم باشد یعنی نسبت ارتفاع به طول آن کمتر از ۲ یا ۳ باشد به آن دیوار برشی کوتاه می‌گویند و برای ساختمان های کوتاه می‌توان از آن استفاده کرد. در برخی موارد برای ساختمان های بلند از دیوار برشی کوتاه استفاده می‌کنند و آن هنگامی است که برای مقاوم ساختن ساختمان در برابر بارهای جانبی در تعدادی از دهانه های طبقه همکف یا بر فراز شالوده از دیوارهای برشی کوتاه به صورت پیوسته بین دهانه ها استفاده می‌کنند. رفتار دیوارهای برشی کوتاه با دیوارهای برشی بلند تفاوت زیادی دارد. بیشترین تحقیقات در خصوص رفتار این نوع دیوارها توسط پارک و پاوولی در نیوزلند انجام شده است. آنها توصیه دارند که فولاد گذاری در این قبیل دیوارها تا حد امکان یکنواخت باشد و به سمت لبه قائم تمرکز بیشتری داشته باشد.

حداقل فولاد گذاری در این دیوارها ۰/۰۰۲۵ است. اگرچه ممکن است شکل‌پذیری کافی را برای دیوار مهیا نسازد ولی از نظر مقاومت و شرایط لازم طراحی، کافی به نظر می‌رسد. برای اینکه شکل‌پذیری نسبتاً قابل قبولی به دست آید لازم است حداقل مقاومت برشی دیوار های چاق برابر $0.5\sqrt{f'_c}\,(Mpa)$ باشد. توصیه شده است که چون شکست خمشی دیوارهای برشی کوتاه همواره به همراه ترک های بزرگ قطری است بنابراین باید از مقاومت برشی بتن صرف نظر شود، [۳]

ب- دیوارهای برشی بلند (طره ای)

این دیوارها دارای نسبت ارتفاع به طول زیاد می‌باشند به نحوی که رفتار غالب آنها بر خلاف نامشان رفتار خمشی است. همان‌طور که بیان شد این قبیل دیوارها در تحمل بارهای ناشی از زلزله و استهلاک انرژی آن نقش بسیار موثری در ساختمان های متوسط و بلند دارند. شکل هندسی مقطع آنها بر رفتار خمشی اثر بسیار زیادی دارد. در عین حال تغییر طول یا ضخامت آنها در ارتفاع نیز برای رعایت مسائل مختلف سازه‌ای و یا معماری بر رفتارشان اثر می‌گذارد [۴].

۱-۲-۲- اثر شکل مقطع بر رفتار دیوار برشی

مشخص شده است که شکل مقطع دیوار بر رفتار آن اثر چشم‌گیری دارد. چنانچه دیوار در دو انتهای خود دارای بال باشد هم از پایداری و هم از شکل‌پذیری بیشتری در مقایسه با دیوار بدون بال برخوردار است. تحقیقات بر روی شکل مقطع با مقایسه بین دیوارهای بال دار و بدون بال نشان داده است که چه با مساوی در نظر گرفتن نیروهای محوری و چه مساوی بودن ظرفیت تحمل لنگر، با افزایش درصد فولاد مؤثر در مقاومت خمشی و شکل مقطع، شکل‌پذیری تا حد قابل توجهی افزایش می‌یابد و اثر شکل مقطع بر این افزایش به مراتب بیشتر است [۴].

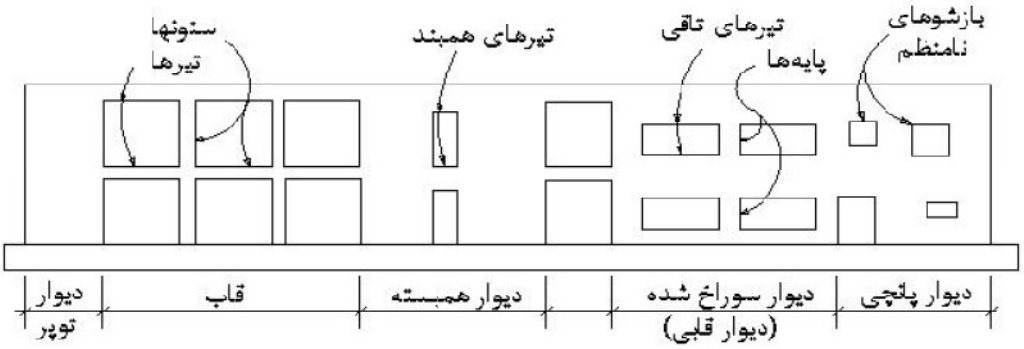
۱-۲-۳- دیوارهای برشی از نظر تغییر در ارتفاع

در ساختمان های با ارتفاع متوسط شکل مقطع دیوارها از شالوده تا بالاترین تراز تقریباً ثابت می‌ماند. این عدم تغییر در مقطع دیوار بیشتر برای دیوار یکنواخت به کار می‌رود. از طرفی نیاز مقاومتی در اثر بارهای جانبی، کاهش فولاد گذاری در مقطع را از پایین به بالا دیکته می‌کند. در مواردی نیز به منظور کاهش مقاومت مورد نیاز تغییر در ضخامت دیوار ایجاد خواهد شد.

۱-۲-۴- دیوارهای برشی از نظر بازشو

معمولاً و نه به طور گسترده دیوارها دارای بازشو هستند. این بازشوها یا در جان و یا در بال دیوارها تعبیه می‌شوند و نیز لازم است با یک قضاوت مهندسی عرض و ارتفاع این بازشوها به نحوی تعیین شوند که نه آن قدر کوچک باشند که در طراحی از وجود آنها صرفنظر شود و نه آن قدر بزرگ باشند که بر روی مقاومت برشی و خمشی اثر نامطلوب بگذارد. واضح است که در حالت اخیر باید محاسبه مقاومت و نیز جزئیات فولادگذاری به طور دقیق مشخص شود. به همین دلیل باید دیوارهای برشی را در دو حالت دارای بازشو و بدون بازشو مورد بررسی قرار داد [۴].

از نظر بازشو دیوارهای برشی به صورت دیوارهای توپر و سوراخ دار (با الگوی منظم و نامنظم) تقسیم بندی می شوند. دیوارهای توپر، یا بدون بازشو هستند و یا دارای بازشوهای کوچک قابل صرف نظر کردن هستند. دیوارهای پانچ شده دارای بازشوهایی هستند که به طور عمودی قرار نگرفته‌اند. دیوارهای سوراخ شده از قطعات دیواری افقی و عمودی در الگوهای منظم تشکیل شده است که این دیوارها را گاهی دیوارهای قابی نیز می‌خوانند. دیوارهای همبسته (مزدوج) نوع خاصی از دیوارهای سوراخ شده‌اند که توسط دو یا چند عضو قابی شکل افقی (تیرهای همبند) به یکدیگر متصل شده اند. دیوارهای ناپیوسته تا شالوده ادامه نمی یابند بلکه متکی به ستون های اجزای دیگری هستند. تأثیر متقابل دیوار با قاب‌ها یا دیوارهای مجاورش به خصوص دیوارهای ناپیوسته و اجزای قرار گرفته در محورهای دیگر ساختمان نیز می‌بایست تعیین شود. در دیوارهای مزدوج و سوارخ شده به اجزای قائم غالباً "پایه‌های دیواری " و به اجزای افقی نیز "تیرهای همبند"، "تیرهای رابط" یا "تیرهای طاقی" می‌گویند. همچنین هر یک از اجزای مذکور را "قطعات دیواری "می‌خوانند (شکل ۱-۱).

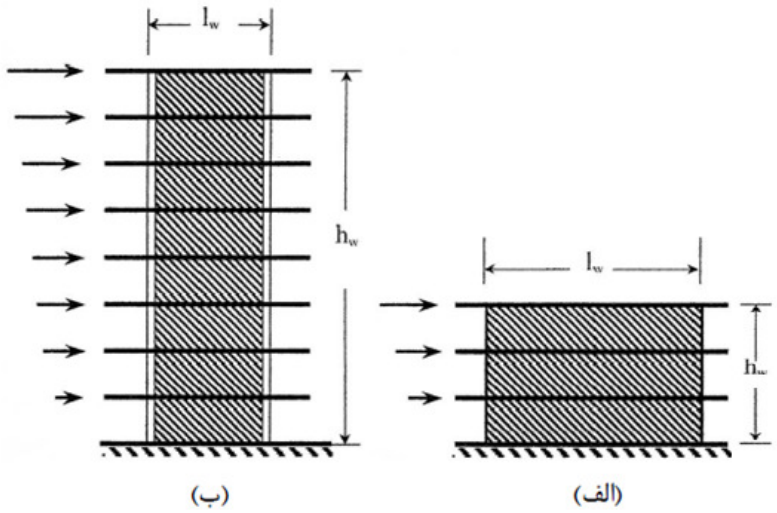


شکل ۱-۱ : *اجزای قابی و دیواری (قائم) دیوارهای برشی دارای بازشو*

تعریف انواع اجزای دیوار برشی به مقاومت های نسبی دیوار وابسته است. اطلاعات کامل در طراحی این اجزا در FEMA-306[۵]، موجود است. منتخب این اطلاعات نیز در تفسیر FEMA-356 [۲]، در قالب جداولی آمده است. دیوار های برشی را از نظر بازشو به انواع زیر تقسیم بندی می کنند:

الف- دیوارهای توپر

مدل تحلیلی برای المان دیواری توپر می‌باید معرف سختی، مقاومت وظرفیت تغییر شکل‌پذیری دیوار درصفحه بارگذاری باشد. رفتار خارج از صفحه دیوار را نیز بجز در مواقعی که دیوار، بال اجزای دیواری متقاطع می‌باشد، می‌باید در نظر گرفت.



شکل ۱-۲: *دیوارهای برشی طره ای بدون بازشو*

بیشتر دیوارهای برشی طره ای بدون بازشو را می‌توان مطابق شکل (۱-۲)- ب، به صورت تیر و ستون مدل کرد. بارهای جانبی را می‌توان به صورت بارهای متمرکز در تراز کف ها به دیوار وارد کرد و در این حالت تراز کف طبقات، دیافراگم صلب در نظر گرفته می شوند. این دیافراگم ها موجب پایداری بیشتر دیوارها شده و در نتیجه ضخامت کمتری برای دیوار در این حالت نیاز است. در این قبیل دیوارها به سهولت می‌توان محل تلاقی دیوار را بهترین محل برای لولای خمیری در نظر گرفت و به قدر کافی ظرفیت دورانی مناسبی برای دیوار ایجاد کرد. در ساختمان های کوتاه از دیوارهای برشی کوتاه، مانند آنچه که در شکل (۱-۲)-الف، آمده است، استفاده می‌شود و از مشخصه‌های این دیوارها نسبت کم $\frac{h}{l}$ (ارتفاع به طول) در آنها است. در این دیوارها مقاومت خمشی زیاد بوده و حتی در حالتی که بر طبق توصیه‌های آیین‌نامه‌ای حداقل فولادهای قائم ضروری است، این مقاومت خمشی زیاد خواهد بود ولی از آنجا که ارتفاع کوتاه است باید تحمل آنها در برابر برش بسیار زیاد باشد تا اینکه لولای خمیری در پای دیوار تشکیل شود. بنابراین در این قبیل دیوارها باید کنترل مقاومت برشی همواره مورد توجه قرار گیرد. در هر صورت رفتار غیر ارتجاعی دیوارهای برشی بدون بازشوی بلند و کوتاه به ترتیب با خمش و برش تبیین می‌شود. لازم است توجه داشته باشیم که دیوارهای کوتاه بر اثر نیروهای برشی دچار شکست نشوند، زیرا مقدار جذب انرژی آنها

بسیار اندک خواهد بود. بنابراین توصیه می‌شود که دیوارهای برشی کوتاه را برای نیروی جانبی بزرگ تری طراحی کرد تا نیاز شکل‌پذیری آن کاهش یابد. آیین‌نامه نیوزلند [۶]، توصیه می کند برای اینکه اثر کوتاهی دیوار خیلی تعیین کننده نباشد مقدار بار جانبی دیوارهای معمولی را باید با ضریب Z_1 افزایش داد که از رابطه (۱-۱) محاسبه می‌شود.

$$1 < z_1 = (2.5 - 0.5\frac{h}{l}) < 2 \qquad (۱-۱)$$

از رابطه (۱-۱) مشخص می‌شود که اگر بنا باشد z_1 در این محدوده باشد، باید نسبت $\frac{h}{l}$ همواره از ۳ کمتر باشد. چنانچه طول دیوار و عرض بال آن در تمام ارتفاع ثابت باشد ضخامت آن چه در جان دیوار و چه در بال آن می‌تواند در ارتفاع متغیر باشد. تعیین این تغییرات بستگی به اندرکنش آنها در طبقات دارد. در هر حال باید دقت کرد که محل تشکیل لولای خمیری در دیوارها کجا باشد، زیرا قدرت جذب انرژی بیشتر و رفتار لرزه‌ای مناسب دیوار بستگی زیادی به محل تشکیل لولای خمیری دارد. دیوارهای برشی که در ارتفاع باریک می‌شوند ممکن است برای معماران بسیار مطلوب باشد ولی باید دانست که شرط تشکیل لولای خمیری در پای دیوار این است که ارتفاع آن محدود باشد. از طرفی برای مقدار معینی از نیاز شکل‌پذیری جابه‌جایی، شکل‌پذیری انحنایی زیادی ایجاد می‌شود که استفاده از این قبیل دیوارها باید به همراه قاب‌های خمشی وشکل پذیر باشد.

دیوارهای لاغر معمولاً با رفتار خمشی کنترل می‌شوند در حالی که دیوارهای چاق با رفتار برشی کنترل می‌شوند. رفتار دیوار با نسبت وضعیت بین دو مقدار فوق از هر دو رفتار خمشی و برشی متأثر است. در نظر گرفتن گسیختگی بالقوه مهارها و اتصالات نیز ممکن است در مدل سازی لازم باشد. بجز در دیوارهای چاق یک یا دو طبقه نیازی به مدل کردن لغزش بین درزهای اجرایی نیست.

بر اساس دستورالعمل بهسازی ایران و FEMA-356[۲]، دیوارهای برشی و یا قطعات دیوار با بارهای محوری بزرگ‌تر از ۰/۳۵ حداکثر نیروی قابل تحمل توسط دیوار، در تحمل نیروهای لرزه‌ای مؤثر نخواهند بود.

مدل تحلیلی می‌تواند با یک المان ستون پهن معادل که در خط وسط دیوار قرار می‌گیرد، معرف دیوار توپر باشد استفاده از مدل های چند فنری، مدل های خرپایی یا المان های محدود صفحه‌ای نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد. در جایی که مقاومت برشی لغزشی در تراز درز اجزایی ظرفیت برشی دیوار را محدود می‌کند، این رفتار می‌تواند با یک فنر جاری شونده در هر حالت متوالی با پانل دیوار مدل گردد [۱].

مدل ستون معادل برای دیوارهای لاغر مناسب‌تر است تا برای دیواری چاق. اگرچه حتی نتایج رضایت بخشی با نسبت‌های وضعیت کوچک به دست آمده است، (Sozen and Moehle 1993).

اگر یک دیوار در خمش جاری شود و یا اگر شالوده جاری شود، تغییر شکل های جانبی ادامه دار شامل چرخش های خمیری متمرکز در نزدیکی پنجه فشاری دیوار، همراه با نیروی برخاست به وجود آمده به سمت قسمت کششی مدل می‌شود. از آنجایی که مدل ستون معادل در خط وسط دیوار قرار می‌گیرد این اثر را در پنجه نمی‌تواند نشان دهد.

وقتی تعادل اجزای مجاور دیوار مهم تشخیص داده شوند راه کارهایی ظریف که معرف پهنای دیوار باشند، ترجیح داده می شوند. مدل های چند فنری از آن جمله اند.

مدل تحلیلی می‌باید قادر به در نظر گرفتن مود های گسیختگی و تغییرات آن باشد. ترک های کششی قطری در سطوح میانی تنش برشی در دیوار قابل توسعه است که در صورت نبود تسلیح افقی کافی می‌تواند ضعف هایی را به وجود آورد. اگر دیوار تسلیح افقی کافی داشته باشد و تنش‌های برشی زیاد باشند، بتن ممکن است به علت فشار قطری خرد شود.

گسیختگی برشی لغزشی در صفحه ضعیفی مثل درز اجرایی اتفاق می‌افتد. اگر لغزش در چرخه های زیاد برای شکست تسلیح دیوار قائم کافی نباشد، اثر خالص لغزش محدود، در استهلاک انرژی (بدون صدمه زیاد و لطمه در ظرفیت) در نظر گرفته می شود. پس معمولاً حذف درزهای اجرایی از مدل محافظه کارانه است. در دیوارهای برشی با حاکم بودن رفتار خمشی در صورتی که اتصالات پوششی فولاد های مرزی ناکافی باشد، مقاومت خمشی دیوار محدود می شود.

گسیختگی بالقوه برشی دیوار می‌تواند با مقاومت برشی پانل دیوار مرتبط باشد، این ممکن است به خاطر تلاش کشش قطری یا فشار قطری یا لغزش برشی در کف ویا سایر محل‌هایی که در آنها درز اجرایی استفاده شده است، باشد. اتصالات میلگردهای طراحی می‌باید از نظر طول و محصور شدگی برای تحمل نیاز های تغییر شکل و نیرو، بررسی شود.

ب- دیوارهای دارای بازشو با تیر همبند [۴]

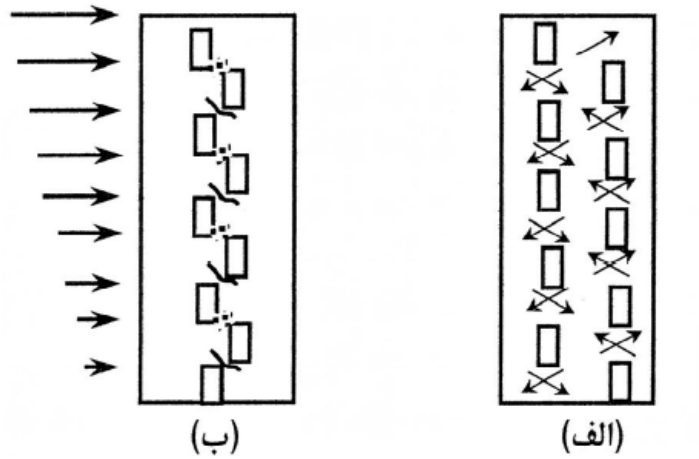
در اغلب موارد تعبیه بازشوی منظم برای پنجره ها و درها در دیوارهای برشی اجتناب ناپذیر است. تعیین محل بازشوها باید به نحوی باشد که رفتار سازه‌ای دیوار برای تحمل بارهای وارده مطلوب باشد. لازم است طراح مطمئن باشدکه رفتار کلی و خمشی دیوار با کاهش قابل توجه در سطح مقطع آن دچار مشکل نمی‌شود. همچنین با تعبیه بازشوها نباید به هیچ وجه ازمقاومت برشی مورد نیاز دیوار کاسته شود زیرا در این صورت رفتار دیوار ترد شده و قبل از اینکه به حد اکثر ظرفیت خمشی خود برسد تحت اثر شکست برشی فرو می‌ریزد.

ملاحظات این نوع از دیوارها نیز عموماً مشابه دیوارهای توپر است. با این توضیح که مدل سازی و روش‌های ارزیابی آنها قضاوت مهندسی قابل توجهی را می‌طلبد. دیوارهای برشی لاغر و قطعات دیوار را می‌توان به صورت المان های تیر- ستون معادل با در نظر گرفتن تغییر شکل های خمشی و برشی مدل نمود. در محاسبه مقاومت خمشی المان های تیر- ستون، باید اندرکنش بین نیروی محوری و خمش در نظر گرفته شود. طول قطعه صلب بین گره تیر- ستون تا المان تیر- ستون معادل، برابر فاصله مرکز سطح دیوار تا لبه دیوار می‌باشد. برای دیوارها با مقاطع نامتقارن، باید تفاوت ظرفیت خمشی در دو جهت بارگذاری مدل شوند. از المان تیری که در آن هم تغییر شکل های خمشی و هم تغییر شکل های برشی لحاظ شده باشدبرای مدل سازی تیرهای همبند باید استفاده نمود. در رفتار غیر ارتجاعی المان باید اثرات کاهش مقاومت و سختی برشی ناشی از بارگذاری چرخه ای با دامنه تغییر شکل های زیاد، لحاظ

شود. طبق دستورالعمل بهسازی برای تیرهای همبندی که دارای آرماتورقطری، مطابق ضوابط آیین‌نامه بتن ایران می‌باشند، می‌توان از المان تیری که تنها اثر خمش را در نظر می‌گیرد استفاده نمود.

رفتار و نیازمندی های تحلیل احتمالاً وابسته به اندازه های نسبی قطعات دیواری است. در برخی از حالات که باید تعبیه بازشوها مطابق شکل (۱-۳)- الف، باشد آرایش آنها مرادف با پله‌ها بوده و در یک ردیف نخواهند بود. در چنین وضعیتی بسیار مشکل است که از رفتار خمشی و ظرفیت کافی شکل‌پذیری دیوار مطمئن بود و بهتر است با آنالیزی دقیق رفتار دیوار مشخص گردد، یا اینکه بازشوها در یک ردیف تعبیه شوند. از آنجا که فاصله یا فضای بین بازشوهای غیر هم راستا بیشتر است، این امر موجب می‌شود که پس از تشکیل ترک های قطری، به ترتیب فشار و کشش قطری موثری مطابق شکل (۱-۳)- ب، ایجاد گردد. چنانچه این‌گونه دیوارها به خوبی فولاد گذاری شوند، یعنی آرایش صحیحی داشته باشد در این صورت مقاومت برشی آنها به خوبی تأمین شده و رفتار خمشی در آنها مطلوب می‌شود. یعنی اینکه لنگر بیشینه در پای دیوار تشکیل می‌شود. البته شاید بهترین آرایش فولاد گذاری برای تأمین مقاومت برشی، به صورت قطری باشد.

در شکل (۱-۴) انواع مختلف دیوار برشی دارای بازشوهای منظم که دارای رفتار شکل‌پذیر خوبی هستند، نشان داده شده است. این قبیل دیوارها خاصیت استهلاک انرژی بالایی دارند و توصیه می‌شود تا حد امکان از این قبیل دیوارها در ساختمان ها استفاده شود. این دیوارها که در واقع مرکب از دو یا چند دیوار هستند، توسط تیرهای رابط به یکدیگر متصل شده‌اند که مهم‌ترین نقطه ضعف در آنها همان تیر رابط است. این تیرهای رابط دارای طولی کوتاه و عمقی زیاد هستند و اگر ضخامت آنها کم باشد تبدیل به تیرعمیق شده که رفتار مناسب و مطلوبی ندارند. تیرهای رابط معمولاً از دیوارها ضعیف‌تر هستند.



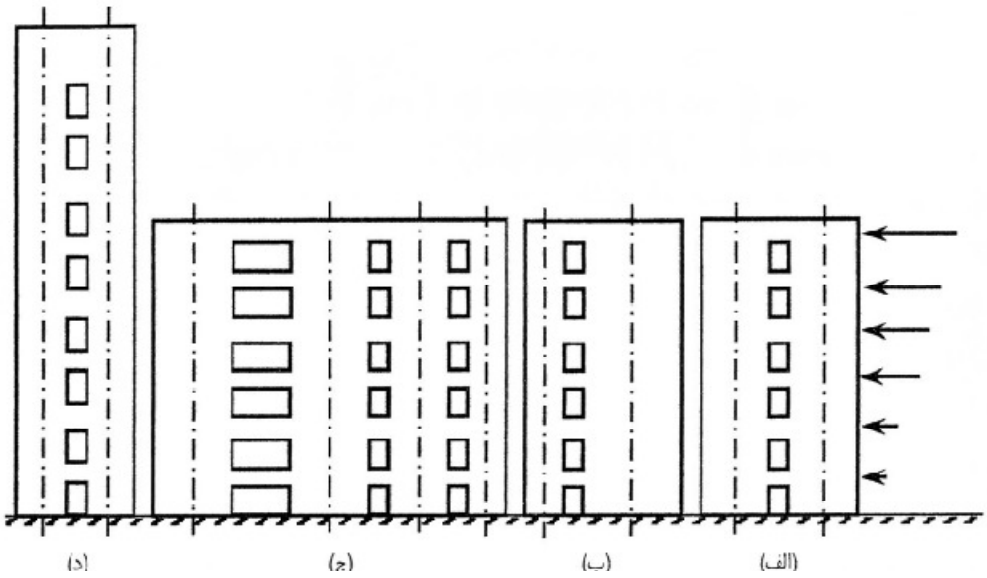
شکل ۱-۳: *اثر بازشوها بر روی مقاومت برشی دیوارها*

بر اثر حرکت جانبی- خمشی دیوارها چرخش قابل ملاحظه‌ای در محل اتصال دیوارها به تیرهای رابط، بر تیرها اعمال می‌شود و همین چرخش در آنها موجب تولید لنگر قابل توجه و نهایتاً جاری شدن مقاطع تیرها می‌شود. بنابراین

برای اینکه این تیرهای رابط بتوانند مقدارقابل توجهی از انرژی زلزله را مستهلک کنند لازم است دارای آرایش مناسبی از فولاد گذاری باشند.

در شکل (۱-۴)- الف، و (۱-۴)- ب، دو دیواربرشی توسط تیرهای رابط منفرد ودر شکل (۱-۴)- ج، چهار دیوار با تیرهای رابط سه گانه به یکدیگر متصل شده‌اند. اما در شکل (۱-۴)- د، تیر رابط فوقانی از عمق بیشتری برخوردار است که در واقع سختی خیلی زیادی دارد. برای جذب انرژی زلزله توسط دیوارهای برشی مزدوج یا دارای بازشو، مسئولیت بسیاری به عهده تیرهای رابط آنها خواهد بود. به همین دلیل تحلیل و طراحی این تیرها از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و لازم است دقت لازم برای دست یابی به جزئیات فولادگذاری مناسب به کار برده شود.

از طرف دیگر ممکن است تیرهای رابط مانند آنچه که در شکل (۱-۵) آمده است، قوی‌تر و سخت‌تر ازدیوارهای مزدوج از یک مجموعه دیوار برشی باشند، در این صورت رفتار هر یک از دیوارها یا قسمت‌هایی از آنها ممکن است وارد محدوده غیر ارتجاعی شده در حالی که تیرهای رابط در محدوده ارتجاعی باقی بمانند. نتیجه چنین وضعیتی تخریب دیوارها است که در این صورت ظرفیت جذب و استهلاک انرژی شدیداً کم خواهد بود.



شکل ۱-۴ : *انواع دیوارهای برشی دارای بازشو*

مشاهدات پس از وقوع زلزله و همچنین تحلیل دیوارهای برشی دارای بازشو رفتار و مشکلات فوق رانشان داده‌اند. باید توجه داشت که در طرح تیرهای رابط نیاز شکل‌پذیری بالای آنها همواره مورد توجه باشد. اگر آنها خیلی سخت و صلب طراحی شوند، شکست قطری در تیررابط یا دیوار رخ خواهد داد.