کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی عمران گرایش سازه

عنوان پایان نامه

بررسی اثر آرماتور برشی بر شکل پذیری و رفتار لرزه‌ای تیرهای کوپل در دیوارهای برشی

استاد راهنما:
دکتر رضا آقایاری

نگارش:
کیانا زنگنه زاده

مهر ۱۳۹۲

دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی عمران گرایش سازه

دانشجو:کیانا زنگنه زاده

تحت عنوان

بررسی اثر آرماتور برشی بر شکل پذیری و رفتار لرزه‌ای تیرهای کوپل در دیوارهای برشی

در تاریخ **۹۲/۰۷/۲۹** توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه **عالی** به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما : دکتر رضا آقایاری با مرتبه ی علمی استادیار امضاء

۲- استاد داور داخل گروه : دکتر حمیدرضا اشرفی با مرتبه ی علمی استادیار امضاء

۳- استاد داور خارج از گروه : دکتر ابراهیم خلیل زاده واحدی با مرتبه ی علمی استادیار امضاء

چکیده:

استفاده ازسیستم دیوار برشی بتنی با شکل پذیری بالا به عنوان سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی برای سازه‌های خاص و مرتفع‌تر درکشورهای لرزه خیز به علت رفتار لرزه‌ای بسیار مناسبی که در زلزله‌های گذشته نشان داده‌اند، امری معقول و متداول به نظر می‌رسد. اما برخی محدودیت‌های معماری مهندس محاسب را مجبور به تعبیه بازشو در دیوارهای برشی می‌نماید. به همین دلیل دیوار برشی کوپل، نوع خاصی از سیستم سازه‌ی مقاوم در برابر نیروهای جانبی می‌باشد. رفتار این نوع دیوارها به شدت متأثر از سختی، مقاومت و شکل پذیری تیرهای کوپل است که نسبت ابعاد بازشو و همچنین درصد آرماتور بکار رفته در دیوار از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر رفتار غیرخطی دیوار برشی بتنی دارای بازشو، می‌باشند که روشهای نوین طراحی براساس سطح عملکرد، امکان بررسی رفتار غیرخطی و شکل پذیری چنین سازه‌ای را بخوبی فراهم کرده است. برای بررسی رفتار غیرخطی دیوارهای برشی، شناخت نواحی بحرانی شامل نواحی پلاستیک و مفاصل پلاستیک بسیار حائز اهمیت است، چون قدرت جذب انرژی بیشتر و رفتار لرزه‌ای مناسب دیوار، بسیار متأثر از محل تشکیل مفصل پلاستیک خواهد بود لذا در تحقیق حاضر سعی بر این گردیده که با بررسی پنج شکل مختلف آرماتوربندی و همچنین ابعاد مختلف تیر هم‌بند به تأثیر این پارامترها بر رفتار غیرخطی سازه، با استفاده از نرم افزار ABAQUS مورد بررسی قرار گیرد .مدلهای نرم افزاری تحت تحلیل پوش آور، فرکانسی و چرخه ای قرار گرفته اند و نتایج جهت بررسی عملکرد مناسب تیر هم‌بند با یکدیگر مقایسه گردیده‌اند. نتایج بدست آمده حاکی از عملکرد لرزه ای مطلوب دیوار برشی با تیر همبند دارای آرایش آرماتور قطری بود.

کلمات کلیدی: تیر همبند، دیوار برشی بتنی کوپل، اجزاء محدود، آسیب بتن

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول : کلیات

۱-۱- مقدمه..... ۲

۱-۲- سازه های بتن آرمه..... ۲

۱-۲-۱- ساختمان‌های قابی..... ۳

۱-۲-۲- ساختمان‌های قاب ساده با دیوار برشی..... ۳

۱-۲-۳- ساختمان‌های قاب ـ دیوار..... ۳

۱-۲-۴- ساختمان‌های قاب – دیوار با پانل‌های برشی پراکنده..... ۴

۱-۲-۵- ساختمان‌های پیش ساخته..... ۴

۱-۲-۶- ساختمان‌های مرکب..... ۴

۱-۳- دیوار برشی..... ۴

۱-۴- دیوار های برشی هم بسته و تیرهای همبند..... ۵

۱-۵- بررسی لرزه ای و عوامل مؤثر در مقاومت دیوارهای برشی بازشودار(کوپله)..... ۸

فصل دوم : آشنایی با سیستم دیوار برشی

۲-۱- مقدمه..... ۱۰

۲-۲- انواع مقاطع دیوار برشی..... ۱۰

۲-۳- مودهای خرابی دیوارهای برشی..... ۱۰

۲-۳-۱- خرابی برشی در لغزش..... ۱۱

۲-۳-۲- ضعف در شالوده..... ۱۱

۲-۳-۳ خرابی در خمش..... ۱۲

۲-۳-۴- خرابی دربرش..... ۱۳

۲-۳-۵-شکست ناشی از شکست تیرهای کوپل..... ۱۵

۲-۳-۶- مود تسلیم ترکیبی برشی _ خمشی..... ۱۶

۲-۴- انواع دیوارهای برشی..... ۱۸

۲-۴-۱- دیوارهای برشی طره‌ای مستطیلی..... ۱۹

۲-۴-۲- دیوارهای برشی با المان‌های مرزی..... ۲۰

۲-۴-۳- دیوارهای برشی مزدوج..... ۲۰

۲-۴-۴- دیوارهای برشی بالدار..... ۲۲

۲-۴-۵- دیوارهای برشی کوتاه..... ۲۳

۲-۵- مروری بر ادبیات گذشته..... ۲۴

۲-۵-۱- بررسی تأثیر آرماتور قطری بر تیر همبند توسط Paulay..... ۲۴

۲-۵-۲- تحلیل و بررسی تیرهای همبند با معرفی یک مدل خرپایی توسط steven..... ۲۵

۲-۵-۳- بررسی آزمایشگاهی تیرهای همبند کوتاه با نحوه تسلیح و بارگذاری متفاوت توسط GALANOو VIGNOLI..... ۲۶

۲-۵-۴- بررسی آزمایشگاهی تیرهای همبند با نحوه تسلیح و نسبت برشی متفاوت توسط theodosios و moretti ۲۸
۲-۵-۵- تعیین بار بحرانی دیوار برشی کوپل سخت شده توسط خسروی..... ۳۰
۲-۵-۶- بررسی تأثیر استفاده از بتن الیافی توانمند در تیرهای همبند و دیواربرشی کوپل توسط Wight reymond,..... ۳۰
۲-۶- اهداف تحقیق..... ۳۲
فصل سوم : مبانی آنالیز
۳-۱- فرمول‌بندی سختی برای المان‌های سازه‌ای..... ۳۴
۳-۲- مدل فیبری المان‌ها..... ۳۸
۳-۳- محاسبه منحنی ممان – انحنا..... ۳۹
۳-۴- المان ستون..... ۴۳
۳-۵- المان تیر..... ۴۴
۳-۶- المان دیوار برشی..... ۴۶
۳-۷ مدل هیسترسیس..... ۴۶
۳-۸- آنالیز دینامیکی..... ۴۷
۳-۹- مدلسازی و معادلات دیفرانسیل حاکم برتعادل دیوار کوپله..... ۴۹
فصل چهارم: معرفی مدل تحلیلی و اعتبارسنجی
۴-۱- آنالیز المان محدود..... ۵۵
۴-۲- مراحل تحلیل المان محدود..... ۵۶
۴-۳- نحوه تحلیل المان محدود..... ۵۷
۴-۳-۱- روش اجزا محدود صریح..... ۵۷
۴-۳-۲- روش اجزا محدود ضمنی..... ۵۷
۴-۴- چارت المان محدود صریح..... ۵۸
۴-۵- مثال عددی..... ۶۰
۴-۵-۱- بارگذاری مونوتونیک..... ۶۲
۴-۵-۱-۱- صحت سنجی ۶۵
۴-۵-۲- بارگذاری چرخه ای..... ۶۶
۴-۵-۲-۱- صحت سنجی..... ۶۷
فصل پنجم : مدلسازی و بررسی نتایج
۵-۱- مقدمه..... ۶۹
۵-۲- ضوابط عمومی و فولاد حداقل..... ۶۹
۵-۲-۱- اجزای لبه در دیوارهای سازه‌ای..... ۷۰
۵-۲-۲- تیرهای همبند و دیوارهای هم‌بسته..... ۷۱
۵-۳- روابط تنش – کرنش..... ۷۲
۵-۴- مشخصات فولاد و بتن مصرفی..... ۷۲
۵-۵- مدل سازی و بارگذاری نمونه ها..... ۷۵

۵-۶ آنالیز مدل ها..... ۷۸
۵-۶-۱- بررسی اثر نحوه تسلیح تیرهای همبند بر مقاومت و سختی دیوارها..... ۸۲
۵-۷- تحلیل فرکانسی و محاسبه زمان تناوب..... ۸۵
۵-۷-۱- مقایسه زمان تناوب و سختی نمونه ها..... ۸۷
۵-۸- تأثیر المان مرزی بر مقاومت و سختی دیوارها..... ۸۸
۵-۸-۱- مدلسازی دیوارهای برشی با المان مرزی..... ۸۸
۵-۸-۲- مقایسه دیوار برشی با المان مرزی و بدون المان مرزی..... ۸۹
۵-۸-۳- بررسی تأثیر المان مرزی..... ۹۱
۵-۹- تأثیر ارتفاع و طول تیر بر مقاومت و سختی دیوارها..... ۹۱
۵-۹-۱- بررسی تأثیر ارتفاع تیر همبند..... ۹۲
۵-۹-۲- بررسی تأثیر طول تیر همبند..... ۹۳
۵-۱۰- مفهوم ضریب رفتار..... ۹۳
۵-۱۰-۱- معرفی اصطلاحات و پارامترهای لرزه ای..... ۹۴
۵-۱۰-۱-۱- ضریب کاهش در اثر شکل پذیری (R_μ)
..... ۹۵
۵-۱۰-۱-۲- ضریب اضافه مقاومت (Ω)..... ۹۵
۵-۱۰-۱-۳- ضریب تنش مجاز (y) ۹۵
۵-۱۰-۲- تعیین ضریب رفتار..... ۹۶
۵-۱۰-۳- روش تساوی انرژی..... ۹۹
۵-۱۰-۴- مقایسه ضریب شکل پذیری و ضریب رفتار نمونه ها..... ۱۰۰
۵-۱۱- مفاصل پلاستیک..... ۱۰۰
۵-۱۱-۱- بررسی مدل ها و محل آسیب در آنها..... ۱۰۱
۵-۱۱-۲- بررسی و کنترل محل مفصل پلاستیک..... ۱۰۶
۵-۱۲- بارگذاری چرخه ای..... ۱۰۶
۵-۱۲-۱- اعمال بارگذاری چرخه ای بر دیوار برشی دارای بازشو..... ۱۰۶
۵-۱۲-۱-۱- محاسبه ضرایب شکل پذیری..... ۱۰۹
۵-۱۲-۲- اعمال بارگذاری چرخه ای بر دیوار برشی بدون بازشو..... ۱۰۹
۵-۱۲-۲-۱- محاسبه ضرایب شکل پذیری..... ۱۱۱
۵-۱۲-۳- مقایسه ضرایب شکل پذیری در دیوارهای برشی بازشودار و بدون بازشو..... ۱۱۱
فصل ششم : خلاصه و نتیجه گیری
۶-۱- بررسی تأثیر آرایش آرماتور تیر همبند بر مقاومت و سختی دیوارهای برشی کوپله..... ۱۱۳
۶-۱-۱ بررسی نتایج..... ۱۱۳
۶-۲- تحلیل فرکانسی و محاسبه زمان تناوب نمونه ها..... ۱۱۳
۶-۲-۱- بررسی نتایج..... ۱۱۳
۶-۳- تأثیر المانهای مرزی بر مقاومت و سختی دیوارهای برشی کوپله..... ۱۱۳
۶-۳-۱- بررسی نتایج..... ۱۱۴

۶-۴- تأثیر ارتفاع تیر همبند بر مقاومت و سختی دیوارهای برشی کوپله..... ۱۱۴
۶-۴-۱- بررسی نتایج..... ۱۱۴
۶-۵- تأثیر طول تیر همبند بر مقاومت و سختی دیوارهای برشی کوپله..... ۱۱۴
۶-۵-۱- بررسی نتایج..... ۱۱۴
۶-۶- محاسبه ضریب رفتار و ضریب شکل پذیری و مقایسه شکل پذیری نمونه ها..... ۱۱۴
۶-۶-۱- بررسی نتایج..... ۱۱۴
۶-۷- مشخص کردن محل تشکیل مفصل پلاستیک و طول آن..... ۱۱۵
۶-۷-۱- بررسی نتایج..... ۱۱۵
۶-۸- بررسی دیوارهای برشی بازشودار و بدون بازشو تحت بارگذاری چرخه ای..... ۱۱۵
۶-۸-۱- بررسی نتایج..... ۱۱۵
۶-۹- نتیجه گیری کلی..... ۱۱۵
مراجع..... ۱۱۷

فهرست اشکال

عنوان

صفحه

شکل۱-۱- نمایی از دیوار برشی کوپل.....۶

شکل۱-۲- سطوح بحرانی در دیوارهای برشی دارای بازشو.....۷

شکل۲-۱- مقاطع تیپ دیوارهای برشی..... ۱۰

شکل۲-۲ - مودهای خرابی دیوار برشی ۱۱

شکل۲-۳- منحنی هیسترسیس بار تغییر مکان در گسیختگی برشی با مکانیزم لغزشی.....۱۱

شکل۲-۴- منحنی ممان _ دوران در پای دیوار برشی ۱۲

شکل۲-۵- رابطه بار - تغییر مکان هیستر سیس دیوار در مود خمشی ۱۳

شکل ۲-۶- منحنی بار تغییر مکان نمونه‌ها.....۱۴

شکل۲-۷- انرژی مستهلک شده تجمعی بر حسب شکل پذیری تجمعی ۱۵

شکل ۲-۸- انواع ترک در تیر پیوند.....۱۶

شکل ۲-۹- تاثیر مودهای بالاتر بر نسبت ممان به برش در پای دیوار ۱۷

شکل ۲-۱۰- جابجایی حداکثر برحسب $\frac{V_p.h_c}{M_p}$ تحت اثر زلزله ال سنترو.....۱۸

شکل ۲-۱۱- منحنی اندرکنش ممان پیچشی _ ممان خمشی دیوار H شکل.....۲۳

شکل ۲-۱۲- دیاگرام بار- اعوجاج دیوار برشی کوتاه.....۲۴

شکل ۲-۱۳- ارایش ضربدری میلگرد و میلگردهای طولی و عرضی در تیر پیوند.....۲۵

شکل ۲-۱۴- مدل خرپایی تیر پیوند.....۲۵

شکل ۲-۱۵- انواع آرایش میلگردها در تیر پیوند.....۲۶

شکل ۲-۱۶- تجهیزات و نمای بارگذاری.....۲۷

شکل ۲-۱۷- نوع شکست در انواع تیر های پیوند ۲۷

شکل ۲-۱۸- الگوی ترک ایجاد شده در چند نمونه.....۲۹

شکل ۲-۱۹- الیاف پلی اتیلن (چپ) و الیاف فولادی قلابدار (سمت راست).....۳۱

شکل ۲-۲۰- آسیب در تیر آزمایشی.....۳۲

شکل ۳-۱- المان ستون با درجات آزادی مربوطه.....۳۴

شکل ۳-۲- المان تیر با درجات آزادی مربوطه.....۳۵

شکل ۳-۳- المان دیوار برشی با درجات آزادی مربوطه.....۳۵

شکل ۳-۴- المان سازه‌ای با ناحیه صلب ۳۷

شکل ۳-۵- جزییات مقطع برای آنالیز مدل فیبری.....۳۸

شکل ۳-۶- منحنی تنش – کرنش بتن ۳۹

شکل ۳-۷- منحنی تنش – کرنش فولاد ۴۰

شکل ۳-۸- مدل فیبری برای یک دیوار برشی.....۴۰

شکل ۳-۹- پارامترهای تیر بتنی ۴۵

شکل ۳-۱۰- مدل هیستر سیس سه پارامتری پارک..... ۴۷
شکل ۳-۱۱- دیواربرشی کوپل سخت شده ۴۹
شکل ۳-۱۲- سازه جایگزین شده..... ۵۰
شکل ۳-۱۳- مقطع به فاصله xدر بالای تیر سخت کننده ۵۰
شکل ۳-۱۴- مقطع به فاصله x در پایین تیر سخت کننده..... ۵۱
شکل ۳-۱۵- اثر بار گسترده یکنواخت گرانشی در سازه ۵۲
شکل۴-۱- نمودار مقایسه دقت آنالیز المان محدود صریح و ضمنی..... ۵۸
شکل ۴-۲- تیر کوپل مورد آزمایش برای صحت سنجی ۶۰
شکل ۴-۳- اعمال بارگذاری در مدلهای مورد آزمایش ۶۱
شکل ۴-۴- نمونه مدل شده در نرم افزار آباکوس..... ۶۲
شکل ۴-۵- نحوه اعمال جابجایی بر مدل ۶۲
شکل ۴-۶- تنش ایجاد شده در الف)تیر بتنی ب) میلگردها..... ۶۳
شکل ۴-۷- کانتور آسیب و ترک خوردگی بتن..... ۶۴
شکل ۴-۸- نحوه آسیب دیدگی مدل آزمایشگاهی..... ۶۴
شکل ۴-۹- منحنی نیرو-زمان مدل P01..... ۶۴
شکل ۴-۱۰- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی..... ۶۵
شکل ۴-۱۱- کانتور جابجایی مدل P01..... ۶۶
شکل ۴-۱۲- بارگذاری چرخه ای تیپ C1 ..... ۶۶
شکل ۴-۷- کانتور آسیب و ترک خوردگی بتن ۶۷
شکل ۴-۱۴- منحنی نیروی عکس العملی مدل P02..... ۶۷
شکل ۵-۱- منحنی تنش – کرنش فشاری بتن و کرنش های پلاستیک و غیر الاستیک..... ۷۲
شکل ۵-۲- نمودار پارامتر DAMAGET..... ۷۴
شکل ۵-۳- نمودار مقاومت فشاری بتن در محدوده غیر خطی..... ۷۵
شکل ۵-۴- مدلهای کلی مورد مطالعه ۷۷
شکل ۵-۵- محل اعمال بار جانبی بر دیوار ۷۷
شکل ۵-۶- مدل مش بندی نمونه ها..... ۷۸
شکل ۵-۷- نیروی عکس العملی پایه در مدل W1..... ۷۹
شکل ۵-۸- نیروی عکس العملی پایه در مدل W2..... ۷۹
شکل ۵-۹- نیروی عکس العملی پایه در مدل W3..... ۸۰
شکل ۵-۱۰- نیروی عکس العملی پایه در مدل W4..... ۸۰
شکل ۵-۱۱- نیروی عکس العملی پایه در مدل W5 ..... ۸۰
شکل ۵-۱۲- کانتور جابجایی برای مدل ها..... ۸۱
شکل ۵-۱۳- کانتور آسیب کششی مدلها در آغاز خرابی..... ۸۳
شکل ۵-۱۴- کانتور تنش کششی میلگردها و کانتور آسیب کششی بتن..... ۸۵
شکل ۵-۱۵- تحلیل فرکانسی مدل W1..... ۸۶
شکل ۵-۱۶- تحلیل فرکانسی مدل های دیگر ۸۷

شکل ۵-۱۷- مدل W1 با المان مرزی ۸۸
شکل ۵-۱۸- کانتور جابجایی برای مدل W1 با المان مرزی..... ۸۹
شکل ۵-۱۹- نیروی عکس العملی پایه در مدل W1 با المان مرزی..... ۸۹
شکل ۵-۲۰- مقایسه نیروی عکس العملی پایه در مدل W1 با مدل W1 با المان مرزی..... ۹۰
شکل۵-۲۱- مدلهای W1 دارای طول و ارتفاع مختلف..... ۹۱
شکل۵-۲۲- مقایسه منحنی نیرو جابجایی مدل W1 و W1-40 و W1-80..... ۹۲
شکل۵-۲۳- مقایسه منحنی نیرو جابجایی مدل W1 و W1-150و W1-120 ..... ۹۲
شکل ۵-۲۴- رفتار کلی سازه ها ۹۴
شکل ۵-۲۵- رفتار مصالح شکل پذیر و شکننده..... ۹۴
شکل ۵-۲۶- ایده آل سازی منحنی ظرفیت از روش تساوی انرژی..... ۹۸
شکل ۵-۲۷- منحنی پوش مدل W1 ..... ۹۹
شکل ۵-۲۸- نمایش دوران های مفصل پلاستیک و انحناء..... ۱۰۱
شکل ۵-۲۹- نمایش تغییرشکل تیر جهت تعیین میزان دوران مفصل پلاستک تکیه گاه با استفاده از قضیهٔ لنگر سطح..... ۱۰۱
شکل ۵-۳۰- کانتور جابجایی تیر همبند مدل W1..... ۱۰۲
شکل ۵-۳۱- کانتور تنش تیر همبند مدل W1 ..... ۱۰۲
شکل ۵-۳۲- کانتور کرنش پلاستیک تیر همبند مدلW1 ..... ۱۰۳
شکل ۵-۳۳- منحنی تغییرمکان در طول تیر پیوند..... ۱۰۳
شکل ۵-۳۴-کانتور جابجایی در تیر همبند مدلهای مختلف..... ۱۰۵
شکل ۵-۳۵- دامنه بارگذاری چرخه ای ۱۰۶
شکل ۵-۳۶ کانتور جابجایی مدل W1 ..... ۱۰۷
شکل ۵-۳۷- کانتور آسیب مدل W1 ..... ۱۰۷
شکل ۵-۳۸- منحنی نیروی تکیه گاهی مدل W1 ..... ۱۰۸
شکل ۵-۳۹- منحنی هیسترزیس مدل W1 ..... ۱۰۸
شکل ۵-۴۰- نحوه تعیین ضریب شکل پذیری در بارگذاری چرخه ای ۱۰۹
شکل۵-۴۱- مدل دیوار برشی بدون تیر همبند..... ۱۰۹
شکل ۵-۴۲ - کانتور جابجایی مدلها ۱۱۰
شکل ۵-۴۳- کانتور آسیب مدل دیوار برشی..... ۱۱۰
شکل ۵-۴۴- منحنی نیرو جابجایی دیوار برشی..... ۱۱۰
شکل ۵-۴۵- منحنی هیسترزیس مدل دیوار برشی ۱۱۱

فهرست جداول

عنوان

صفحه

جدول۲-۱- ویژگی های نمونه..... ۲۸
جدول ۴-۱- مشخصات مدل مورد مطالعه جهت صحت سنجی..... ۶۱
جدول ۵-۱- مشخصات فولاد مصرفی ۷۴
جدول ۵-۲- پارامترهای به کار رفته در تعریف بتن ۷۵
جدول ۵-۳- نتایج کلی مدل ها..... ۸۲
جدول۵-۴- زمان تناوب نمونه ها..... ۸۷
جدول ۵-۵- مقایسه مدلها در حالت در نظر گرفتن المان مرزی..... ۹۰
جدول ۵-۶- مقایسه کلی مدلها با ابعاد تیر همبند متفاوت..... ۹۳
جدول ۵-۷- مقایسه ضریب رفتار و ضریب شکل مدلها..... ۹۹

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

رشد جمعیت در دو دهه اخیر و نیز مهاجرت به شهرهای بزرگ و نیاز روزافزون به مسکن، نیاز و تمایل به بلندمرتبه‌سازی را سبب شده است. از سوی دیگر، صنعت ساختمان، صنعتی پرهزینه است. این دو مساله باعث شده است که برای کاهش هزینه ها و افزایش ایمنی کاربران، انتخاب گزینه های سازه‌ای مناسب‌تر که این دو امر را به طور بهینه مدنظر قرار دهند، مورد توجه قرار گیرد. در سازه‌های بلند مرتبه انتخاب گزینه مناسب سازه‌ای، در اقتصاد طرح اهمیت زیادی دارد و در صورتی که سیستم مناسبی برای سازه انتخاب نشود، هزینه‌های اضافی زیادی ایجاد می‌شود. از این رو باید در فاز نخست طراحی بررسی دقیقی روی انتخاب سیستم مقاوم سازه‌ای انجام شود.

دو نوع سازه متداول در ساختمان‌های بلندمرتبه، سازه‌های فولادی و بتن‌آرمه هستند. با توجه به مشکلات تولید انبوه پروفیل‌های فولادی و نیز فراوانی نسبی سیمان و در نتیجه کاهش هزینه تمام شده سازه‌های بتن‌آرمه نسبت به سازه های فولادی، توجه به سازه‌های بتن‌آرمه بیشتر شده است. از سوی دیگر همراه با افزایش تمایل به سازه‌های بتن‌آرمه، کیفیت تولید آن نیز بهبود یافته است. اما رفتار سازه‌های بتن‌آرمه در مقایسه با سازه‌های فلزی پیچیده‌تر است و بررسی دقیق‌تر رفتار آنها اهمیت بیشتری دارد.

۱-۲- سازه های بتن‌آرمه

بطور کلی سازه‌های بتنی بر خلاف سازه‌های فلزی در کشش و برش ضعیف هستند و باید این عیب را با فولادگذاری جبران کرد. ضمنا بتن در تحمل فشار که نقش اصلی آن است, نیز مصالحی ترد و شکننده و فاقد قابلیت تغییر شکل‌های بزرگ است . بنابراین اگر میدانهای تنش در سازه به درستی پیش‌بینی و مسلح نشده باشند و یا شکنندگی مصالح با روشهای فولادگذاری مخصوص و دورپیچی ترمیم نشده باشد, سازه بتنی شکل‌پذیر نخواهد بود. تجربیات حاصل از زلزله‌های گذشته باعث شده است که محدودیت‌های مربوط به بتن شکل‌پذیر در تهیه نقشه جزییات، وارد مقررات فنی بتن‌آرمه شود تا بدین ترتیب از خرابی شکننده بتن جلوگیری شود.

به طور کلی بحث روی عامل شکل‌پذیری و تاکید بر آن در مقررات محاسباتی زلزله در کمیتهSEAOC در سال ۱۹۵۷ مطرح شد. در این مقررات برای اولین بار مساله شکل پذیری عنوان گردید و ضریب K در محاسبه برش پایه ساختمان برای چهار نوع دستگاه مقاوم زلزله در سازه مشخص شد که در واقع با این عمل شکل‌پذیری نسبی سازه‌های مختلف در محاسبه برش پایه ساختمان منظور گردید. در اوایل دهه ۱۹۶۰ میلادی بتن مسلح به عنوان مصالح شکل‌پذیر مورد توجه قرار گرفت. در واقع در گزارش‌هایی که توسط افرادمختلف در آن سال‌ها انتشار یافت, نحوه فولاد گذاری و جزییات مربوط به آنها به گونه‌ای ارایه شد که اعضای بتن آرمه قادر باشند, درمقابل نیروهای لرزه‌ای مقاومت خوبی از خود نشان دهند و در حرکت رفت و برگشتی به خوبی جذب انرژی داشته باشند.[۱]

در یک نگاه کلی سازه های بتن‌آرمه را می توان از نظر سیستم سازه ای و روش اجرا، به گروه‌های مختلفی تقسیم کرد.

۱-۲-۱ - ساختمان‌های قابی

در این نوع سازه، سیستم مقاوم در برابر بار جانبی، قاب خمشی (مرکب از تیرها و ستون‌های با اتصالات صلب است). در این نوع سازه تیرها و ستونها هم بارهای ثقلی و هم بارهای جانبی را تحمل می‌کنند. رفتار قاب خمشی، برشی است، اما در صورتی که فاصله ستون‌ها کم و تیرها عمیق باشند، رفتار آن خمشی است. طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ایران، حداکثر ارتفاع مجاز قاب های خمشی با شکل‌پذیری کم ۱۵ متر، با شکل پذیری متوسط ۵۰ متر و با شکل‌پذیری زیاد، ۱۸۰ متر است[۲و۳] .

۱-۲-۲ - ساختمان‌های قاب ساده با دیوار برشی

در این نوع سازه، سیستم مقاوم در برابر بار جانبی دیوار برشی است. معمولا این نوع دیوارها در هسته مرکزی سازه و در دور راه پله قرار دارند. سیستم مقاوم در برابر بار ثقلی، قاب ساده فلزی یا بتنی پیش ساخته یا در جا است. طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ایران حداکثر ارتفاع مجاز این نوع سازه ۵۰ متر است[۲و۳] .

۱-۲-۳ - ساختمان‌های قاب ـ دیوار

در این نوع سازه، که از متداول‌ترین انواع سازه است، برای ساختمان‌های تا ۵۰ طبقه و حتی بلندتر نیز استفاده می‌شود. با توجه به مود خمشی دیوار برشی و مود برشی قاب، اندرکنش این دو نوع سیستم ترکیب مناسبی است. طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ایران، ترکیب قاب خمشی بتن‌آرمه و دیوار برشی با شکل پذیری متوسط تا ۷۰ متر و ترکیب قاب خمشی بتن‌آرمه و دیوار برشی با شکل‌پذیری زیاد تا ۲۰۰ متر مجاز است[۲و۳] .

۱-۲-٤- ساختمان‌های قاب – دیوار با پانل‌های برشی پراکنده

از نظر ظاهری این سیستم مشابه ترکیب قاب خمشی و دیوار برشی است. با این تفاوت که پانل‌های برشی در طبقات مختلف در دهانه‌های مختلف قرار می‌گیرند و از یکدیگر منفصل هستند.

۱-۲-۵- ساختمان‌های پیش ساخته

در این نوع سازه‌ها، تیرها، ستون‌ها و پانل‌های بتن‌آرمه به صورت پیش‌ساخته تهیه می‌شوند و در محل توسط اتصالات پیش ساخته یا درجا نصب می‌شوند.

۱-۲-٦- ساختمان‌های مرکب

در این نوع ساختمانها، سیستم مقاوم ترکیبی از فولاد و بتن‌آرمه است. ساختمان‌های مرکب لوله‌ای که در آن ها سیستم قاب فولادی خارجی در مقابل تغییر شکل جانبی به وسیله دیوار پیرامونی بتن‌آرمه تقویت می‌شود، نوعی از این سازه است. این سیستم شبیه لوله صلبی است که از زمین طره شده باشد. نوع دیگر این ساختمانها، ساختمان‌های با هسته بتنی است که پس از اجرای قاب فلزی ، هسته بتنی در دور راه پله اجرا می شود[۲] .

۱-۳- دیوار برشی

بطور کلی دیوارهای موجود در ساختمانها به دو گروه دیوارهای جداکننده و دیوارهای سازه‌ای تقسیم می‌شوند. دیوارهای سازه‌ای خود به سه گروه اصلی دیوارهای باربر ، دیوارهای حایل و دیوارهای برشی تقسیم می شوند. دیوارهای برشی می توانند آجری مسلح ، فلزی یا بتنی باشند.

دیوارهای برشی علاوه بر تحمل بار افقی ناشی از باد و زلزله، بار قائم کف را نیز تحمل می‌کنند. در واقع دیوارهای برشی بتن‌آرمه ، صفحات قائمی هستند که آرماتورهای آنها از فونداسیون شروع شده و به صورت پیوسته در دو جهت افقی و قائم در داخل دیوار ادامه می‌یابند .دیوار برشی به صورت یک تیر کنسول عمل می‌کند و با ایجاد تغییر شکل‌های خمشی تحمل برش می‌کند .

مشاهدات عملکرد ساختمان‌های بتن‌آرمه در زلزله‌های اخیر نشان داده است که عملکرد دیوارهای برشی از نقطه نظر ایمنی و کنترل خسارت بسیار مناسب بوده است. به خاطر سختی و مقاومت زیادی که توسط دیوارهای برشی تامین می‌شود، این سیستم از سیستم قاب خمشی مفیدتر است. همچنین در صورت رعایت جزئیات خاصی در آرماتورگذاری، شکل‌پذیری آن‌ها نیز بالا است. در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران شکل‌پذیری سازه‌های قاب ـ دیوار از قاب خمشی تنها بیشتر در نظر گرفته شده است. اما از مشکلات این سیستم سازه‌ای تمرکز زیاد نیرو در دیوارها است، که باعث ایجاد

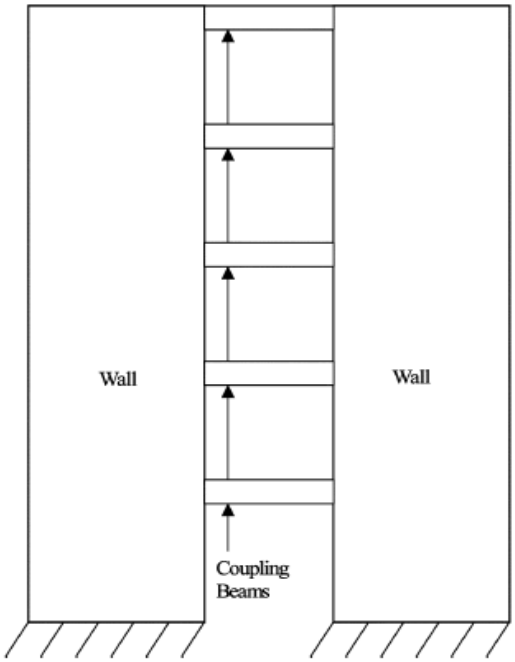
ابعاد بزرگی برای پی آن و احتمالا ایجاد کشش در پی می شود. از دیگر ایرادات این سیستم، محدودیت‌های معماری است که وجود دیوارها ایجاد می‌کند. در سیستم قاب خمشی امکان ایجاد پنجره و باز شو و نیز تنظیم موقعیت پارتیشن‌های داخلی در هر مکانی که ملاحظات معماری ایجاد کند، وجود دارد ولی در سیستم قاب ـ دیوار در محل دیوارها ایجاد پنجره و باز شو ممکن نیست.

۱-٤- دیوار های برشی هم بسته و تیرهای همبند

دو دیوار مجزا و مجاور را که به دلیل وجود بازشوهای بزرگ از یکدیگر جدا شده اند می توان به وسیله اعضای سازه ای مقاوم در برابر بارهای محوری ولنگرهای خمشی، به یکدیگر متصل نمود. در این حالت دیوارهای برشی متصل شده به یکدیگر به نام دیوار های برشی هم بسته یا دیوار های برشی مزدوج و تیر رابط به نام تیر هم بند یا تیر پیوند خوانده می شود. سختی ترکیبی دو دیوار برشی هم بسته از جمع سختی آن دو دیوار به صورت مجزا بیش تر است. دیوارهای برشی هم بسته تغییر شکل جانبی ساختمان، ونیز میزان لنگرهای خمشی طراحی در دیوار را کاهش می دهد.

در اغلب موارد تعبیه بازشوهای منظم برای پنجره یا دربها در دیوارهای برشی اجتناب ناپذیر است . تعیین محل بازشوها باید به نحوی باشد که رفتار کلی و خمشی دیوارها با کاهش قابل توجه در سطح مقطع آن دچار مشکل نشود زیرا در غیر اینصورت رفتار دیوار ترد شده و قبل از اینکه به حداکثر ظرفیت خمشی خود برسد ، تحت اثر شکست برشی فرو می ریزد.

دیوار برشی کوپل، نوع خاصی از سیستم دیوارهای برشی است که سازه ی مقاومی در برابر نیروهای جانبی می باشد. رفتار این نوع دیوارها به شدت متاثر از سختی، مقاومت و شکل پذیری تیرهای کوپل است. برای بررسی رفتار غیرخطی دیوارهای برشی، شناخت نواحی بحرانی شامل نواحی پلاستیک و مفاصل پلاستیک بسیار حائز اهمیت است، چون قدرت جذب انرژی بیشتر و رفتار لرزه ای مناسب دیوار، بسیار متاثر از محل تشکیل مفصل پلاستیک خواهد بود. مفاصل پلاستیک در سازه های دیوار برشی کوپل، در دو انتهای تیرهای کوپل و در پای دیوارها ایجاد می شود.



شکل ۱-۱ نمایی از دیوار برشی کوپل[۲۳]

در اکثر موارد دیوارهای برشی قادرند بیشترین سهم نیروی برشی پایه را تحمل کنند که این پدیده موجب افزایش چشمگیر سختی ساختمان و کاهش خسارت قابل ملاحظه به عناصر غیر سازه ای می شود.

تیرهای کوپل معمولاً تیرهایی با دهانه کوتاه و ارتفاع زیاد هستند و چنانچه به تیرهای عمیق نزدیک شوند، آنگاه عملکرد مطلوبی در سازه نخواهند داشت و با احتمال شکست های زود هنگام برشی، سازه را دچار شکست ترد قبل از رسیدن به ظرفیت نهایی آن می کنند.

- به طور کلی تیرهای کوپل دو مزیت دارند:

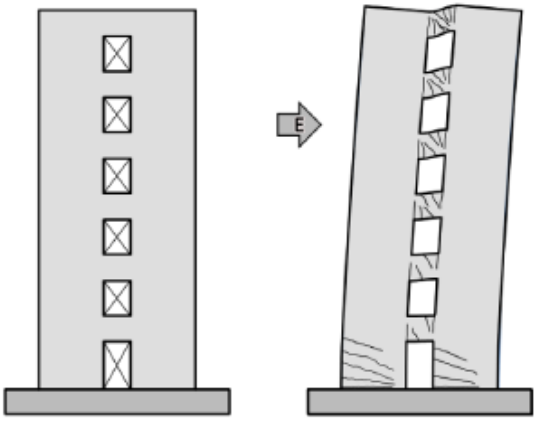
۱: عمل کوپلگی باعث کاهش لنگرهایی می شود که دیوارها به صورت انفرادی باید در مقابل آن مقاومت کنند. بنابراین دیوار برشی کوپل، سیستم مقاوم جانبی مؤثرتری است

۲: تیرهای کوپل به علت وارد شدن به تغییرشکل های غیر ارتجاعی، به دیوارهای کوپل اجازه می دهند انرژی وارده زلزله را بیشتر تلف کنند که باعث محافظت دیوار در برابر آسیب های جدی و بزرگ می گردد.

برای جذب انرژی زلزله توسط دیوارهای برشی دارای بازشو، مسؤلیت بسیار زیادی برعهده ی تیرهای کوپل خواهد بود . نتیجه اینکه در طراحی دیوارهای برشی باید مقاطع خمیری(مفصل پلاستیک) در

رفتار خمشی به نحوی پیش بینی گردد که هیچگونه شکست یا تخریب قطری چه در تیرهای رابط و چه در دیوارها اتفاق نیفتد[۲۳و۴]

- از جمله سطوح بحرانی در دیوارهای کوپله می توان به سطوح جرزهای بین بازشوها اشاره کرد که موجب شکست برشی دیوار می شوند.



شکل ۱-۲ سطوح بحرانی در دیوارهای برشی دارای بازشو[۵]

- دیوارهای کوپله از نظر شکل پذیری محاسنی دارند که عبارت است از :

۱: کنترل تغییرمکان

۲: سیستم کوپله قوی ، امکان استفاده از دیوارهای لاغر بدون به خطر انداختن حدود مجاز تغییرشکل نسبی طبقات را فراهم می کند.

۳: حدود تغییر شکل ها ، در خلال یک پاسخ شکل پذیر ، متأثر از مدهای دینامیکی بالاتر نمی باشد.

۴: با یک آرماتورگذاری مناسب ، میرایی هیسترتیک بزرگتری نسبت به ساختمان های با دیوار برشی معمولی از خود نشان می دهند.

از پارامترهای هندسی مؤثر در رفتار دیوار برشی کوپل می توان به درجه کوپلگی اشاره نمود. درجه ی کوپلگی، پارامتری برای تعیین میزان عملکرد قابی تیرهای کوپل می باشد. درجه کوپلگی به تنهایی معیار مناسبی برای تعیین رفتار دیوار کوپل نمی باشد.

بدین منظور از پارامتری به عنوان $K\alpha H$ استفاده می کنیم که برای در نظر گرفتن رفتار کوپلگی مجموعه است.

پارمترα : معیاری برای تعیین نسبت سختی تیرهای کوپل به دیوارها است.

پارامترK : معیاری برای تعیین نسبت سختی خمشی به محوری پایه های دیوارها می باشد.