



پژوهشگاه بین المللی مهندسی زلزله و زلزله شناسی

رساله دکتری

مهندسی عمران - زلزله

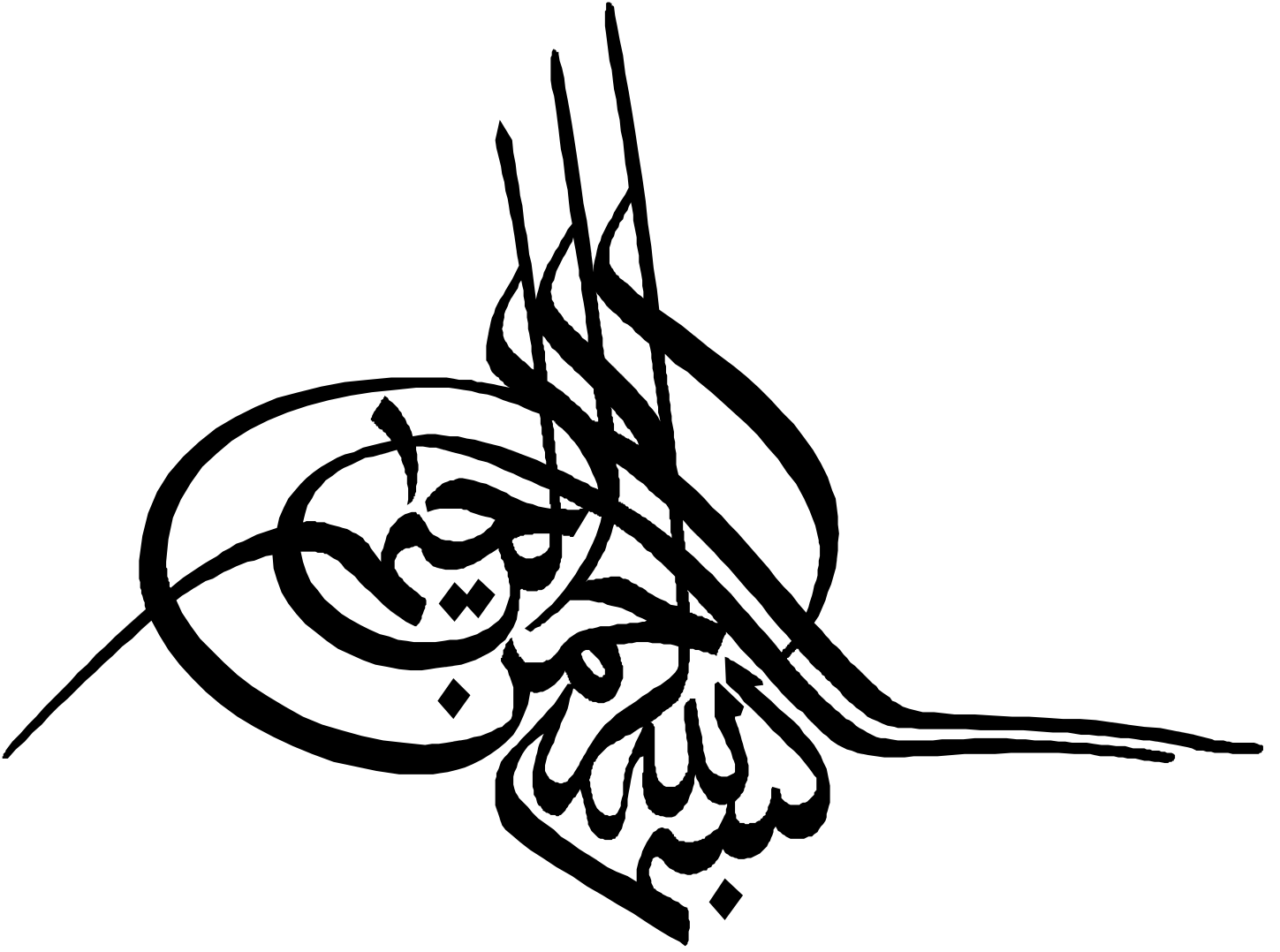
## **دیوارهای برشی بتن مسلح با رفتار دوگانه شکل پذیر**

دانشجو

محمد صالح رحیم لبا ف زاده

استاد راهنما

دکتر منصور ضیایی فر



تقدیم به

امیر سفن و امین ایمان

حضرت علی علیه السلام

و به آرمان آفرینش و پاک بانوی هستی

حضرت زهرا سلام الله علیها

و به چشمه زندگانی و دریای معرفت

حضرت مهدی عجل الله تعالی فرجه الشریف

# شکر و قدردانی

## من لم يشكر المخلوق لم يشكر الخالق

خدای سبحان را سپاس می‌گویم که نعمت خویش را بر من ارزانی داشته و یکبار دیگر توفیق کسب علم و دانش را به بنده عطا فرمود.

از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر ضیایی فر که در همه زمینه‌ها استاد من بوده‌اند، تشکر و سپاس فراوان دارم. از همسر من به خاطر تمام زحمات و سستی‌هایی که در مدت تحصیل متحمل شد، قدردانی ویژه داشته و موفقیت و سربلندی ایشان را آرزومندم. از پدر و مادرم که از ابتدا با عشق و علاقه بستر کسب علم و دانش را برای من فراهم کردند، صمیمانه تشکر کرده و توفیق ایشان را از درگاه الهی مسالت دارم.

همچنین از پرسنل معترم آزمایشگاه سازه پژوهشگاه خصوصاً آقایان مهندس مرتضایی، مهندس جبارزاده و آقای جوالی به خاطر زحمات و راهنمایی‌هایشان در مدت انجام آزمایش ممنون و سپاسگذارم.





## چکیده

دیوارهای برشی بتن مسلح، یکی از متداول‌ترین سیستم‌های باربر جانبی هستند که به دلیل سختی و مقاومت زیادشان، به طور گسترده در ساختمان‌ها به کار می‌روند. این سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی، در زلزله‌های سه دهه اخیر، عملکرد خوبی در کنترل خسارت‌ها و آسیب‌های وارد به اجزای غیرسازه‌ای از خود نشان داده است. با این حال این اعضای سازه‌ای، از نظر شکل‌پذیری مقبولیت چندانی ندارند. در حقیقت، در یک دیوار برشی بلند تحت بار جانبی، تغییرشکل‌های پلاستیک در مفصلی در پای دیوار رخ می‌دهد که بخش کوچکی از دیوار را در بر می‌گیرد و عملاً ظرفیت شکل‌پذیری سایر قسمت‌های دیوار، بلا استفاده باقی خواهد ماند. تجربیات بدست آمده از دیوارهای برشی کوپله و شکاف-دار، دریچه‌ای نو به سوی جامعه مهندسی گشود. فراهم نمودن امکان گسترش مفاصل پلاستیک در دو انتهای تیرهای رابط، سبب شد تا جذب انرژی در ارتفاع میسر شده و در نتیجه رفتار این نوع دیوارها شکل‌پذیرتر گردد. با توجه به این موارد، به نظر می‌رسد که بتوان مفهوم جذب انرژی در ارتفاع را به کلیه دیوارهای بازشودار تعمیم داد. آنچه در پژوهش حاضر بر آن تاکید می‌شود، استفاده از پتانسیل جذب انرژی ناشی از توزیع نیروی برشی در ارتفاع دیوار است، تا بتوان با ترکیب آن با جذب انرژی خمشی در پای دیوار، به شکل‌پذیری دوگانه خمشی-برشی دست یافت. این مفهوم، تنها از طریق دیدگاه دینامیکی قابل بیان بوده و با استفاده از تفکر استاتیکی، کاملاً توجیه‌ناپذیر است. به همین منظور، با استفاده از تحلیل‌های لرزه‌ای بر روی مدل‌های غیرخطی خرپای معادل از دیوارهایی با تعداد زیادی بازشو، امکان تشکیل مفاصل برشی ارتفاعی در اطراف بازشو بررسی و از تشکیل آن اطمینان حاصل شد. در این راستا، برای تعیین نسبت میرایی معادل این دیوارها، الگوریتمی پیشنهاد شد که بر اساس تاریخچه زمانی انرژی در هر سیستم، نسبت میرایی معادل را در هر لحظه از زمان ارائه می‌دهد. در ادامه دیواری با یک بازشو در ارتفاع در نظر گرفته شد که شامل دو مفصل پلاستیک سری، یکی به صورت خمشی در پای دیوار و دیگری به صورت برشی در ارتفاع در اطراف بازشو باشد. با توجه به اینکه بارگذاری واقعی سازه به صورت دینامیکی بوده و مرکز بار در طول زمان بارگذاری متغیر است، این امکان وجود خواهد داشت که در این مفصل ارتفاعی، در برخی از بازه‌های زمانی انرژی زلزله تلف شده و در نتیجه از نیاز شکل‌پذیری در پای دیوار بکاهد. این مفصل ارتفاعی بر اساس برش عمومی وارد بر دیوار می‌تواند به صورت موضعی رفتار خمشی و یا برشی از خود بروز دهد. با توجه به جزییات پیچیده مورد نیاز برای تامین شکل‌پذیری خمشی در اطراف بازشو، مفصل برشی موضعی مد نظر قرار گرفت. به همین منظور، مطالعه‌ای پارامتریک برای تعیین محل بازشو در ارتفاع دیوار برای تشکیل همزمان دو مفصل در حین زلزله انجام شد که به روابط پارامتریک انجامید. به منظور حساسیت سنجی روابط مذکور به محل بازشو و دردیوارهای مختلف، رفتار لرزه‌ای این دیوارها با موقعیت‌های متفاوت بازشو ارزیابی گردید. برای تشکیل دیوار برشی با شکل‌پذیری دوگانه، تعیین دقیق ظرفیت برشی مفصل ارتفاعی و ظرفیت خمشی مفصل پای دیوار از اهمیت بسزایی برخوردار است. از آنجا که اصول حاکم بر روش‌های برآورد ظرفیت برشی بر اساس تئوری کرانه پایین پلاستیسیته بوده و کاملاً متمایز از طراحی خمشی است، این روش‌ها نمی‌تواند نیازهای طراحی دیوارهای برشی با شکل‌پذیری دوگانه را که دقت در تعیین ظرفیت مفاصل از ملزومات آنهاست، جوابگو باشد. بنابراین، سعی بر این شد تا با انجام مطالعات آزمایشگاهی بر روی این مفاصل، علاوه بر ارائه الگوی مناسب فولادگذاری در اطراف بازشو، اضافه ظرفیت مفصل برشی تعیین و راهکارهایی برای کاهش آن پیشنهاد گردد. ویژگی منحصر بفرد این آزمایش، ایجاد شرایطی شبیه برش خالص چیدمان بارگذاری می‌باشد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که با وجود بازشو، علاوه بر کاهش ظرفیت برشی مقطع، شکل‌پذیری افزایش یافته و امکان حصول تغییرشکل‌های نسبی زیاد فراهم می‌گردد. علاوه بر این با گسترده شدن فضای ترک‌خوردگی در اطراف بازشو و تبدیل رفتار از حالت دوخطی به سه خطی، قابلیت استهلاک انرژی در رفتار چرخه‌ای مفصل افزایش یافته است. در پایان، عملکرد یک دیوار برشی با شکل‌پذیری دوگانه از طریق تحلیل اجزای محدود مورد بررسی قرار گرفت.

## واژه‌های کلیدی

دیوار برشی بتن مسلح، شکل‌پذیری دوگانه، بازشو، نسبت میرایی معادل، مطالعه آزمایشگاهی، اضافه ظرفیت برشی

## فهرست مطالب

ج	چکیده
د	فهرست مطالب
ح	فهرست اشکال
ن	فهرست جداول
ع	مقدمه
1	1- دیوارهای برشی و رفتار آنها
2	1-1- سیستم دیوار برشی
4	1-2- رفتار دیوارهای برشی
12	1-3- مودهای گسیختگی در دیوارهای برشی
15	2- راهکارهای عملی برای بهبود عملکرد دیوارهای برشی در جذب انرژی زلزله
16	1-2- عملکرد دیوارهای برشی در جذب انرژی زلزله
17	2-2- راهکارهای افزایش جذب انرژی در زلزله در ارتفاع دیوارهای برشی
18	2-3- دیوارهای برشی کوپله و اتلاف انرژی در ارتفاع
19	2-3-1- رفتار دیوارهای برشی کوپله
21	2-3-2- مودهای گسیختگی در دیوارهای برشی کوپله
24	2-3-3- دیوارهای برشی کوپله با تیرهای همبند فلزی
24	2-4- دیوارهای برشی شکاف دار و اتلاف انرژی در ارتفاع
26	2-5- اتلاف انرژی با استفاده از توزیع نیروی برشی در ارتفاع
29	2-5-1- جذب انرژی در مقاطع بتن مسلح
32	2-6- روش های مدل سازی و تحلیل دیوارهای برشی بازشودار
33	2-6-1- روش محیط پیوسته
34	2-6-2- روش قاب معادل
34	2-6-3- روش خرپای معادل
36	2-6-4- روشهای ساده شبیه سازی دیوارهای برشی
38	2-6-5- روش اجزای محدود
39	3- عملکرد دیوارهای برشی دوگانه شکل پذیر در مطالعات تاریخچه زمانی
40	3-1- بررسی رفتار دینامیکی غیرخطی دیوارهای برشی با بازشوهای بزرگ
40	3-1-1- شیوه مدل سازی دیوارها
43	3-1-2- نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی



- 47-3-1-3- بررسی پتانسیل اتلاف انرژی در دیوارهای برشی بازشودار با استفاده از نسبت میرایی
- 53-4- دیوارهای برشی با قابلیت رفتار دوگانه شکل پذیر
- 54-1-4- فلسفه ایجاد دیوارهای برشی با شکل پذیری دوگانه با استفاده از یک بازشو در ارتفاع
- 56-2-4- تعیین مشخصات بازشو برای ایجاد شکل پذیری دوگانه در دیوارهای برشی
- 62-3-4- بررسی رفتار کلی دیوار برشی با یک بازشو جهت دستیابی به شکل پذیری دوگانه
- 62-1-3-4- ارزیابی رفتار دیوارهای برشی بازشودار با استفاده از مدل خرپای معادل
- 70-2-3-4- ارزیابی رفتار دیوارهای برشی بازشودار با استفاده از مدل اجزای محدود
- 74-4-4- بررسی رفتار لرزه ای دیوارهای برشی بازشودار با رفتار دوگانه شکل پذیر
- 79-5- طراحی دیوارهای برشی با رفتار دوگانه شکل پذیر
- 79-1-5- روش های طراحی سازه های بتن مسلح
- 80-1-1-5- طراحی بر اساس تنش مجاز
- 80-2-1-5- طراحی بر اساس مقاومت
- 80-3-1-5- طراحی پلاستیک
- 82-2-5- روش کلاسیک طراحی
- 84-3-5- مدل اجزای کششی و فشاری
- 88-4-5- مدل خرپای پلاستیسیته
- 92-5-5- تئوری میدان فشار
- 95-6-5- مدل خرپای پلاستیسیته برای طراحی مفصل برشی اطراف بازشو
- 100-6- طراحی فرآیند آزمایش و ساخت نمونه ها
- 101-1-6- محدودیت های موجود
- 101-1-1-6- محدودیت در تجهیزات آزمایشگاهی
- 101-2-1-6- محدودیت در ساخت نمونه های آزمایشگاهی
- 102-2-6- جزییات اجرایی نمونه ها
- 102-1-2-6- جزییات اجرایی دیوار برشی بدون بازشو
- 103-2-2-6- جزییات اجرایی دیوار برشی بازشودار بدون فولادگذاری در اطراف بازشو
- 104-3-2-6- جزییات اجرایی دیوار برشی بازشودار با فولادگذاری مطابق روش خرپای پلاستیسیته پیوسته
- 107-4-2-6- جزییات اجرایی دیوار برشی بازشودار با فولادگذاری اصلاح شده در اطراف بازشو
- 109-6-3- شیوه بارگذاری
- 111-6-4- مراحل ساخت نمونه ها
- 111-6-4-1- تعیین مشخصات مصالح مورد استفاده
- 116-6-4-2- ساخت دیوارها
- 122-5-6- بارگذاری و چیدمان آزمایش
- 124-6-6- مهار جانبی نمونه ها
- 126-7-6- ابزارهای اندازه گیری
- 126-1-7-6- جابجایی سنج

- 126.....2-7-6- کرنش سنج
- 129.....3-7-6- جمع آوری اطلاعات
- 131.....7- مطالعه آزمایشگاهی بر روی رفتار نمونه های مفصل برشی
- 132.....1-7-1- توصیف پارامترهای مورد بررسی
- 132.....1-1-7- رفتار چرخه ای
- 132.....2-1-7- شکل پذیری تغییرمکانی
- 133.....3-1-7- استهلاک انرژی
- 133.....4-1-7- الگوی ترک خوردگی
- 133.....5-1-7- عملکرد جزییات فولادگذاری
- 134.....7-2- دیوار برشی بدون باز شو (SW1)
- 134.....1-2-7- رفتار چرخه ای
- 135.....2-2-7- شکل پذیری تغییرمکانی
- 137.....3-2-7- استهلاک انرژی
- 137.....4-2-7- الگوی ترک خوردگی
- 140.....5-2-7- عملکرد جزییات فولادگذاری
- 141.....7-3- دیوار برشی بازشودار و فاقد جزییات فولادگذاری در اطراف باز شو (SW2)
- 141.....1-3-7- رفتار چرخه ای
- 142.....2-3-7- شکل پذیری تغییرمکانی
- 144.....3-3-7- استهلاک انرژی
- 144.....4-3-7- الگوی ترک خوردگی
- 147.....5-3-7- عملکرد جزییات فولادگذاری
- 148.....4-7- دیوار برشی بازشودار با جزییات فولادگذاری اولیه در اطراف باز شو (SW3)
- 148.....1-4-7- رفتار چرخه ای
- 149.....2-4-7- شکل پذیری تغییرمکانی
- 151.....3-4-7- استهلاک انرژی
- 151.....4-4-7- الگوی ترک خوردگی
- 154.....5-4-7- عملکرد جزییات فولادگذاری
- 154.....7-5- دیوار برشی بازشودار با جزییات فولادگذاری اصلاح شده در اطراف باز شو (SW4)
- 154.....1-5-7- رفتار چرخه ای
- 156.....2-5-7- شکل پذیری تغییرمکانی
- 156.....3-5-7- استهلاک انرژی
- 158.....4-5-7- الگوی ترک خوردگی
- 160.....5-5-7- عملکرد جزییات فولادگذاری
- 161.....7-6- مقایسه رفتار دیوار برشی مورد آزمایش
- 161.....1-6-7- مقایسه منحنی نیرو- تغییرمکان نمونه ها
- 162.....2-6-7- مقایسه نتایج بدست آمده از آزمایش
- 164.....3-6-7- مقایسه نتایج آزمایشگاهی با دستورالعمل FEMA-356

- 167.....4-6-7- الگوی ترک خوردگی و عملکرد جزییات فولادگذاری
- 168.....8- عملکرد دیوارهای برشی با شکل پذیری دوگانه
- 169.....1-8- الگوی پیشنهادی فولادگذاری اطراف بازشو در دیوارهای برشی با شکل پذیری دوگانه
- 171.....2-8- بررسی عملکرد دیوارهای برشی با شکل پذیری دوگانه
- 171.....1-2-8- معرفی دیوارهای برشی مورد بررسی
- 173.....8-2-2- مدلسازی
- 174.....3-2-8- نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی
- 184.....9- جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادات
- 185.....9-1- جمع بندی و نتیجه گیری
- 191.....9-2- پیشنهادات برای تحقیقات آتی
- 191.....مراجع
- 1.....پیوست الف - نتایج بررسی موقعیت بازشو در دیوارهای برشی
- 13.....پیوست ب - نتایج کرنش سنج های نصب شده در نمونه های آزمایشگاهی

## فهرست اشکال

- شکل (1): توزیع خرابی در ساختمان های بتنی با دیوار برشی در زلزله 1985 شیلی [2]..... ف
- شکل (2): جدول ضرایب اصلاح پاسخ در آیین نامه IBC برای سیستم های مختلف سازه ای [3]..... ف
- شکل (3): شکل شماتیک دیوارهای برشی شکاف دار در ساختمان Keio Plaza [19]..... ق
- شکل (1-1): سه تیپ معمول دیوار های برشی [22]..... 4
- شکل (2-1): رفتار برشی و خمشی در دیوارهای برشی [25]..... 5
- شکل (3-1): نسبت  $\frac{V_t^{dyn}}{V_t}$  به عنوان تابعی از  $T_1$  و  $m_f^f$  برای دیوار سازه ای جدا شده 20 طبقه [29]..... 6
- شکل (4-1): نسبت  $Y = \frac{M_y}{V_t^{dyn}}$  به عنوان تابعی از  $T_1$  و  $m_f^f$  برای دیوار سازه ای جدا شده 20 طبقه [29]..... 7
- شکل (5-1): منحنی لنگر - انحنای دیوار برشی مستطیلی تحت بارگذاری استاتیکی به عنوان تابعی از درصد فولاد [6]..... 8
- شکل (6-1): قسمتی از پائین دیوار برشی (ناحیه مفصلی) پس از تعداد محدودی سیکل های بارگذاری جانبی [7]..... 8
- شکل (7-1): الف - نمودار بار - تغییر مکان دیوار برشی تحت بارگذاری یک طرفه [31]..... 10
- شکل (8-1): الف - نمودار بار - تغییر مکان نمونه تحت بار رفت و برگشتی [31]..... 10
- شکل (9-1): تغییرات شکل پذیری دورانی با حداکثر تنش برشی متوسط در دیوار های برشی [4 و 5]..... 11
- شکل (10-1): مودهای شکست در دیوار برشی بلند [23]..... 12
- شکل (11-1): پاسخ هیسترتیک دیوار برشی با رفتار غالب برشی (کنترل شده با مقاومت برشی) [23]..... 13
- شکل (12-1): پاسخ هیسترتیک دیوار برشی شکل پذیر [23]..... 13
- شکل (13-1): مودهای شکست در دیوار برشی کوتاه [23]..... 14
- شکل (1-2): پاسخ استاتیکی دیوار برشی به نیروی جانبی زلزله..... 16
- شکل (2-2): نمودار تغییر مکان های الاستیک خمشی و برشی و تغییر مکان مجاز نهایی طبقه [34]..... 18
- شکل (3-2): شکل های رایج از دیوارهای برشی کوپله؛ الف - دیوار متقارن با یک ردیف بازشو؛ ب - دیوار نامتقارن با یک ردیف بازشو؛ ج - دیوار متقارن با دو ردیف بازشو؛ د - دیوار متقارن با بازشویهای زیگزاگ [24]..... 19
- شکل (4-2): رفتار دیوار برشی کوپله با درجه همبستگی مختلف؛ الف - دیوار برشی کوپله؛ ب - توزیع کرنش [36]..... 20
- شکل (5-2): الف - دیوار برشی با بارگذاری جانبی؛ ب - توزیع برش در تیرهای رابط در ارتفاع دیوار [35]..... 20
- شکل (6-2): رفتار تیرهای رابط؛ الف - شکست خمشی؛ ب - شکست برشی یا شکاف قطری؛ ج - رفتار صلب [28 و 35]..... 22
- شکل (7-2): میلگردگذاری قطری در تیرهای همبند [15]..... 23
- شکل (8-2): دیوار برشی شکاف دار؛ الف - دیوار با یک ردیف شکاف؛ ب - دیوار با دو ردیف شکاف [20]..... 25
- شکل (9-2): پاسخ استاتیکی دیوار برشی به نیروی جانبی زلزله..... 27
- شکل (10-2): نمودار اندرکنش لنگر خمشی و نیروی برشی به همراه توزیع تنش و کرنش در مقطع [67]..... 27
- شکل (11-2): تغییر مکان خمشی و برشی شماتیک و تاثیر خمش موضعی بر تغییر مکان نهایی [34]..... 28
- شکل (12-2): نمونه هایی از دیوارهای برشی با قابلیت جذب انرژی در ارتفاع [69]..... 29
- شکل (13-2): نمونه صفحات برشی مورد آزمایش قرار گرفته در دانشگاه هوستون [74]..... 31
- شکل (14-2): رفتار برشی نمونه های مسطح بتن مسلح با درصد میلگرد متفاوت تحت اثر برش [77]..... 32
- شکل (15-2): نمودار اندرکنش نیروی برشی و نیروی کششی [80]..... 32
- شکل (16-2): الف - دیوار برشی کوپله؛ ب - مدل محیط پیوسته؛ ج - مدل قاب معادل..... 33
- شکل (17-2): مدل خرپای معادل برای دیوار برشی..... 35

- شکل (2-18): مدل المان ماکرو پیشنهاد شده توسط Labeyasawsa [95]..... 36
- شکل (2-19): مدل های چند جزئی برای دیوارهای برشی..... 37
- شکل (2-20): رفتار غیرخطی خمشی مقطع دیوار برشی..... 38
- شکل (1-3): ویژگی های دیوارهای برشی؛ الف- مشخصات هندسی؛ ب- مدل خرپای معادل؛ ج- نمونه سطح مقطع دیوارها و جزییات میلگردگذاری در آنها..... 41
- شکل (2-3): الگوی توزیع میانگین انرژی مستهلک شده هیسترتیک در ارتفاع دیوار OSW و SWLO..... 44
- شکل (3-3): میانگین مقادیر بیشینه تغییرمکان مطلق و نسبی میان طبقه ای در ارتفاع دیوار معمولی و بازشودار..... 46
- شکل (4-3): اعمال روش میانگین متحرک مرکزی بر منحنی انرژی..... 50
- شکل (5-3): فرآیند محاسبه نسبت میرایی معادل بر اساس الگوریتم پیشنهادی؛ الف- نمونه منحنی انرژی هموار شده که توسط پنجره زمانی جاروب می شود؛ ب- انرژی مستهلک شده در پنجره زمانی در نظر گرفته شده؛ ج- انرژی کرنشی در پنجره زمانی در نظر گرفته شده..... 51
- شکل (6-3): تاریخچه زمانی نسبت میرایی معادل در دیوارهای برشی معمولی و بازشودار در زلزله El Centro..... 52
- شکل (1-4): الف- دیوار برشی دوگانه شکل پذیر با دو مفصل مجزای برشی و خمشی؛ ب- مدل تحلیلی..... 54
- شکل (2-4): سه توزیع محتمل از بارهای لرزه ای در ارتفاع دیوار برشی..... 55
- شکل (3-4): استفاده از یک بازشو برای ایجاد مفصل برشی در دیوارهای برشی با شکل پذیری دوگانه..... 56
- شکل (4-4): توزیع نیروی برشی و لنگر خمشی در ارتفاع دیوار در اثر بارگذاری استاتیکی مثلثی..... 57
- شکل (5-4): دیوار با توزیع یکنواخت میلگرد در مقطع تحت اثر بار محوری و لنگر خمشی [6و114]..... 59
- شکل (6-4): تاثیر موقعیت بازشو در ارتفاع دیوارهای DDSW بر اندیس انرژی مستهلک شده نسبت به دیوار OSW..... 64
- شکل (7-4): سهم انرژی مستهلک شده در مفاصل خمشی و برشی از کل انرژی ورودی در دیوارهای برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 3.8$  (7 طبقه)..... 65
- شکل (8-4): سهم انرژی مستهلک شده در مفاصل خمشی و برشی از کل انرژی ورودی در دیوارهای برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 4.9$  (9 طبقه)..... 65
- شکل (9-4): سهم انرژی مستهلک شده در مفاصل خمشی و برشی از کل انرژی ورودی در دیوارهای برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 5.4$  (10 طبقه)..... 66
- شکل (10-4): سهم انرژی مستهلک شده در مفاصل خمشی و برشی از کل انرژی ورودی در دیوارهای برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 10.8$  (20 طبقه)..... 66
- شکل (11-4): تاثیر موقعیت بازشو در دیوارهای DDSW بر تغییرمکان نسبی میان طبقه ای نسبت به دیوار OSW..... 67
- شکل (12-4): تاثیر موقعیت بازشو در ارتفاع دیوارهای DDSW بر تغییرمکان مطلق دیوار نسبت به دیوار OSW..... 68
- شکل (13-4): تاثیر موقعیت بازشو در ارتفاع دیوارهای DDSW بر پاسخ نیرویی آنها نسبت به دیوار OSW..... 69
- شکل (14-4): الگوی ترک خوردگی و کرنش پلاستیک در میلگردهای طولی و عرضی در دیوارهای برشی N-6..... 72
- شکل (15-4): الگوی ترک خوردگی و کرنش پلاستیک در میلگردهای طولی و عرضی در دیوارهای برشی N-21..... 73
- شکل (16-4): مشخصات هندسی و نمونه سطح مقطع دیوارها و جزییات میلگردگذاری در آنها..... 75
- شکل (17-4): نحوه توزیع انرژی هیسترتیک مستهلک شده در ارتفاع دیوارهای برشی معمولی و دوگانه شکل پذیر..... 76
- شکل (18-4): تغییرمکان نسبی میان طبقه ای و تغییرمکان مطلق دیوارهای برشی معمولی و دوگانه شکل پذیر..... 77
- شکل (1-5): مقایسه نتایج مطالعات آزمایشگاهی و روابط آیین نامه ACI در برآورد ظرفیت برشی تیرها [108]..... 84

- شکل (2-5): مدل خرپایی Ritter برای تیر بتن مسلح [67]..... 85
- شکل (3-5): مدل خرپایی Mörch برای تیر بتن مسلح [67]..... 85
- شکل (4-5): توزیع تنش های اصلی در یک تیر عمیق و مدل اجزای فشاری و کششی انتخاب شده بر اساس آن [25].. 87
- شکل (5-5): رسم جریان نیرو برای مدل خرپایی دیوار برشی بازشودار برای حالات مختلف بارگذاری [123]..... 87
- شکل (6-5): عملکرد خرپایی در تیرهای بتن مسلح [124]..... 89
- شکل (7-5): عملکرد قوسی در تیرهای بتن مسلح [124]..... 91
- شکل (8-5): الف- مدل خرپای پلاستیسیته در تیر با بازشوی بزرگ؛ ب- جزییات میلگردگذاری در اطراف بازشو [124]..... 91
- شکل (9-5): تئوری میدان کشش در تیرورق های فولادی با جان نازک [67]..... 92
- شکل (10-5): روش تئوری میدان فشار؛ الف- شرایط تعادل؛ ب- شرایط سازکاری تغییرشکل ها [125]..... 93
- شکل (11-5): شرایط سازکاری تغییرشکل ها در المان صفحه ای بتن مسلح [67]..... 93
- شکل (12-5): آزمایش برش خالص: الف- یک از نمونه ها پس از شکست نهایی؛ ب- پاسخ نمونه در اثر برش [73]..... 94
- شکل (13-5): میدان های تنش در جان تیر بتن مسلح [67]..... 94
- شکل (14-5): مدل خرپای پلاستیسیته ناپیوسته و مکانیزم انتقال برش از اطراف بازشو [128]..... 96
- شکل (15-5): میدان های فشاری مختلف در نظر گرفته شده در اطراف بازشو در مدل خرپای پیوسته [128]..... 97
- شکل (16-5): مدل خرپای پلاستیسیته پیوسته و مکانیزم انتقال برش از اطراف بازشو [128]..... 98
- شکل (17-5): نمونه ای از مدل خرپای پلاستیسیته پیوسته و طرح میلگردگذاری بدست آمده [128]..... 98
- شکل (1-6): نمونه جک های مورد استفاده در آزمایش ..... 101
- شکل (2-6): جزییات اجرایی نمونه شماره یک (SW1)..... 103
- شکل (3-6): جزییات اجرایی نمونه شماره دو (SW2)..... 104
- شکل (4-6): مدل خرپای پلاستیسیته: الف- نمونه آزمایشگاهی امتداد یافته؛ ب- نمونه اصلی..... 105
- شکل (5-6): جزییات اجرایی نمونه شماره سه (SW3)..... 107
- شکل (6-6): جزییات اجرایی نمونه شماره چهار (SW4)..... 108
- شکل (7-6): مطالعه آزمایشگاهی بر روی صفحات بتن مسلح تحت برش خالص [73]..... 109
- شکل (8-6): بررسی نیروهای وارد بر پانل دیوار برشی تحت بارگذاری جانبی در وسط آن ..... 111
- شکل (9-6): نتیجه آزمایش دانه بندی مصالح سنگی ..... 112
- شکل (10-6): نمونه های استوانه ای استاندارد پس از آزمایش مقاومت فشاری بتن ..... 114
- شکل (11-6): انجام آزمایش کششی میلگرد با نصب اکستنسیومتر ..... 114
- شکل (12-6): نتیجه آزمایش کشش یکی از میلگردهای با قطر 12 میلی متر ..... 115
- شکل (13-6): مراحل مختلف آرماتوربندی ..... 116
- شکل (14-6): جزییات صفحات تحتانی و فوقانی دیوارها برای اتصال به قاب عکس العمل و تیر بارگذاری ..... 117
- شکل (15-6): آماده سازی صفحات فولادی تحتانی و فوقانی دیوار ..... 117
- شکل (16-6): مراحل مختلف نصب صفحات تحتانی و فوقانی ..... 118
- شکل (17-6): مراحل مختلف قالب بندی نمونه ها ..... 119
- شکل (18-6): نصب کرنش سنج بر روی میلگردها ..... 119
- شکل (19-6): مراحل ساخت بتن، بتن ریزی، تراکم بتن و پرداخت سطح آن ..... 120
- شکل (20-6): نمونه گیری از بتن برای تعیین مقاومت فشاری آن ..... 120
- شکل (21-6): عمل آوری نمونه های ساخته شده ..... 121

- شکل (6-22): نمونه های ساخته شده نهایی ..... 121
- شکل (6-23): سفید کردن نمونه ها ..... 122
- شکل (6-24): جزییات اجرایی تیر انتقال دهنده بار جانبی به نمونه ها و مراحل ساخت آن ..... 123
- شکل (6-25): نصب جک های هیدرولیکی قائم و افقی به قاب عکس العمل و نمونه ..... 124
- شکل (6-26): سیستم مهار جانبی نمونه ها ..... 125
- شکل (6-27): نصب جابجایی سنج ها بر روی نقاط مختلف نمونه ..... 127
- شکل (6-28): موقعیت کرنش سنج ها و جابجایی سنج ها در نمونه SW1 ..... 127
- شکل (6-29): موقعیت کرنش سنج ها و جابجایی سنج ها در نمونه SW2 ..... 128
- شکل (6-30): موقعیت کرنش سنج ها و جابجایی سنج ها در نمونه SW3 ..... 128
- شکل (6-31): موقعیت کرنش سنج ها و جابجایی سنج ها در نمونه SW4 ..... 129
- شکل (6-32): دستگاه ثبت اطلاعات و نحوه ارتباط تجهیزات اندازه گیری به آن ..... 130
- شکل (6-33): ارتباط سیستم بارگذاری و ابزارهای اندازه گیری ..... 130
- شکل (7-1): منحنی تاریخچه زمانی بارگذاری جانبی به نمونه SW1 ..... 134
- شکل (7-2): منحنی چرخه ای نمونه SW1 ..... 135
- شکل (7-3): شکل پذیری تغییرمکانی نمونه SW1 با استفاده از روش اول ..... 136
- شکل (7-4): شکل پذیری تغییرمکانی نمونه SW1 با استفاده از روش دوم ..... 136
- شکل (7-5): محاسبه میزان استهلاک انرژی در نمونه SW1 ..... 137
- شکل (7-6): نحوه تشکیل ترک در نمونه SW1 ..... 138
- شکل (7-7): خسارت های موضعی وارد شده به نمونه SW1 ..... 139
- شکل (7-8): عرض ترک ها و فاصله بین آنها در نمونه SW1 ..... 139
- شکل (7-9): باز شدن خم های 90 درجه در اثر بارهای رفت و برگشتی در نمونه SW1 ..... 140
- شکل (7-10): کرنش ثبت شده در برخی از کرنش سنج های نمونه SW1 ..... 140
- شکل (7-11): منحنی تاریخچه زمانی بارگذاری جانبی به نمونه SW2 ..... 141
- شکل (7-12): منحنی چرخه ای نمونه SW2 ..... 142
- شکل (7-13): تعیین شکل پذیری تغییرمکانی نمونه SW2 با استفاده از روش اول ..... 143
- شکل (7-14): تعیین شکل پذیری تغییرمکانی نمونه SW2 با استفاده از روش دوم ..... 143
- شکل (7-15): محاسبه میزان استهلاک انرژی در نمونه SW2 ..... 144
- شکل (7-16): نحوه تشکیل ترک در نمونه SW2 ..... 145
- شکل (7-17): خسارت های موضعی وارد شده به نمونه SW2 ..... 146
- شکل (7-18): عرض ترک ها و فاصله بین آنها در نمونه SW2 ..... 147
- شکل (7-19): باز شدن خم های 90 درجه در اثر بارهای رفت و برگشتی در نمونه SW2 ..... 147
- شکل (7-20): کرنش ثبت شده در برخی از کرنش سنج های نمونه SW2 ..... 148
- شکل (7-21): منحنی رفتاری نمونه SW3 ..... 149
- شکل (7-22): تعیین شکل پذیری تغییرمکانی نمونه SW3 با استفاده از روش اول ..... 150
- شکل (7-23): تعیین شکل پذیری تغییرمکانی نمونه SW3 با استفاده از روش دوم ..... 150
- شکل (7-24): محاسبه میزان استهلاک انرژی در نمونه SW3 ..... 151
- شکل (7-25): نحوه تشکیل ترک در نمونه SW3 ..... 152
- شکل (7-26): خسارت های موضعی وارد شده به نمونه SW3 ..... 152

- شکل (7-27): عرض ترک ها راستای آنها در نمونه SW3 ..... 153
- شکل (7-28): مقایسه کرنشهای ثبت شده در نمونه SW3 ..... 154
- شکل (7-29): منحنی تاریخچه زمانی بارگذاری جانبی به نمونه SW4 ..... 155
- شکل (7-30): منحنی چرخه ای نمونه SW4 ..... 155
- شکل (7-31): تعیین شکل پذیری تغییرمکانی نمونه SW4 با استفاده از روش اول ..... 157
- شکل (7-32): تعیین شکل پذیری تغییرمکانی نمونه SW4 با استفاده از روش دوم ..... 157
- شکل (7-33): محاسبه میزان استهلاک انرژی در نمونه SW4 ..... 158
- شکل (7-34): نحوه تشکیل ترک در نمونه SW4 ..... 159
- شکل (7-35): خسارت های موضعی وارد شده به نمونه SW4 ..... 160
- شکل (7-36): کرنش ثبت شده در برخی از کرنش سنج های نمونه SW4 ..... 161
- شکل (7-37): مقایسه منحنی نیرو- تغییرمکان نمونه های مورد آزمایش ..... 161
- شکل (7-38): منحنی پیشنهادی FEMA-356 برای دیوارهای برشی با رفتار برشی [134] ..... 164
- شکل (7-39): مقایسه منحنی رفتاری نمونه SW1 و نمودار ارائه شده توسط FEMA-356 ..... 165
- شکل (7-40): مقایسه منحنی رفتاری نمونه SW2 و نمودار ارائه شده توسط FEMA-356 ..... 165
- شکل (7-41): مقایسه منحنی رفتاری نمونه SW3 و نمودار ارائه شده توسط FEMA-356 ..... 166
- شکل (7-42): مقایسه منحنی رفتاری نمونه SW4 و نمودار ارائه شده توسط FEMA-356 ..... 166
- شکل (7-43): مقایسه نحوه تشکیل ترک در نمونه های مورد آزمایش ..... 167
- شکل (8-1): جزییات فولادگذاری پیشنهادی اضافی برای اطراف بازشو در دیوار برشی با شکل پذیری دوگانه ..... 169
- شکل (8-2): مراحل طراحی دیوارهای برشی با شکل پذیری دوگانه ..... 170
- شکل (8-3): منحنی رفتاری مفصل خمشی پایه و مفصل برشی ارتفاعی در دیوار برشی با شکل پذیری دوگانه ..... 171
- شکل (8-4): مشخصات هندسی و نمونه سطح مقطع دیوارها و جزییات میلگردگذاری در آنها ..... 172
- شکل (8-5): جزییات فولادگذاری اضافی اطراف بازشو در دیوار برشی دوگانه شکل پذیر ..... 172
- شکل (8-6): مقایسه منحنی برش پایه - تغییرمکان دیوارهای برشی مورد مطالعه ..... 174
- شکل (8-7): منحنی ساده شده نیرو- تغییرمکان [134] ..... 175
- شکل (8-8): منحنی ساده شده نیرو- تغییرمکان برای دیوار برشی معمولی ..... 176
- شکل (8-9): منحنی ساده شده نیرو- تغییرمکان برای دیوار برشی بازشودار بدون فولادگذاری در اطراف بازشو ..... 176
- شکل (8-10): منحنی ساده شده نیرو- تغییرمکان برای دیوار برشی با شکل پذیری دوگانه ..... 177
- شکل (8-11): راستا و میزان کرنش در محل ترک ها در دیوار برشی معمولی و دوگانه شکل پذیر ..... 178
- شکل (8-12): توزیع میانگین عرض ترک در ارتفاع دیوار برشی معمولی و دوگانه شکل پذیر ..... 178
- شکل (8-13): توزیع کرنش پلاستیک در میلگردهای عرضی دیوار برشی معمولی و دوگانه شکل پذیر ..... 179
- شکل (8-14): توزیع کرنش پلاستیک در میلگردهای طولی دیوار برشی معمولی و دوگانه شکل پذیر ..... 179
- شکل (8-15): توزیع کرنش پلاستیک متوسط در ارتفاع دیوار برشی معمولی و دوگانه شکل پذیر ..... 180
- شکل (8-16): توزیع تنش در میلگردهای عرضی دیوار برشی معمولی و دوگانه شکل پذیر ..... 180
- شکل (8-17): توزیع تنش در میلگردهای طولی دیوار برشی معمولی و دوگانه شکل پذیر ..... 181
- شکل (8-18): تغییر شکل جانبی دیوار برشی معمولی و دوگانه شکل پذیر ..... 181
- شکل (الف-1): سهم انرژی مستهلک شده در مفاصل خمشی و برشی از کل انرژی ورودی در دیوارهای برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 4.3$  (8 طبقه) ..... 4



شکل (الف-2): سهم انرژی مستهلک شده در مفاصل خمشی و برشی از کل انرژی ورودی در دیوارهای برشی DDSW و

OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 6.5$  (12 طبقه).....5

شکل (الف-3): سهم انرژی مستهلک شده در مفاصل خمشی و برشی از کل انرژی ورودی در دیوارهای برشی DDSW و

OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 7.5$  (14 طبقه).....5

شکل (الف-4): تاثیر موقعیت بازشو در ارتفاع دیوارهای DDSW بر انرژی ورودی با سازه نسبت به دیوار OSW.....6

شکل (ب-5): کرنش ثبت شده در کرنش سنج های نمونه SW1.....14

شکل (ب-6): کرنش ثبت شده در کرنش سنج های نمونه SW2.....15

شکل (ب-7): کرنش ثبت شده در کرنش سنج های نمونه SW4.....16

## فهرست جداول

- جدول (1-3): جزئیات میلگردگذاری دیوارهای برشی ..... 42
- جدول (2-3): مشخصات و موقعیت بازشوها در دیوار برشی با بازشوهای بزرگ ..... 42
- جدول (3-3): مشخصات زلزله های استفاده شده برای تحلیل تاریخچه زمانی دیوارهای برشی ..... 43
- جدول (4-3): مقایسه اندیس های خرابی  $SDF$  و  $I_E$  برای دو دیوار برشی معمولی و بازشودار ..... 45
- جدول (5-3): میانگین و بیشینه تغییرمکان نسبی میان طبقه ای در ارتفاع و تغییرمکان بالای دیوار معمولی و بازشودار ..... 47
- جدول (6-3): بیشینه نیروی برش پایه و لنگر خمشی پایه در دو دیوار برشی معمولی و بازشودار در زلزله های مختلف ..... 47
- جدول (1-4): مقایسه پاسخ انرژی دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 4.9$  (9 طبقه) ..... 63
- جدول (2-4): مقایسه پاسخ تغییرمکان دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 4.9$  (9 طبقه) ..... 67
- جدول (3-4): مقایسه پاسخ نیرویی دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 4.9$  (9 طبقه) ..... 68
- جدول (4-4): مشخصات غیر خطی مصالح بتن و فولاد در مدل اجزای محدود ..... 71
- جدول (5-4): جزئیات میلگردگذاری و مقطع دیوارهای برشی ..... 75
- جدول (6-4): مقایسه پاسخ انرژی دیوار برشی با شکل پذیری دوگانه و دیوار برشی معمولی ..... 76
- جدول (7-4): مقایسه پاسخ تغییرمکان و نیرویی دیوار برشی با شکل پذیری دوگانه و دیوار برشی معمولی ..... 77
- جدول (1-6): مشخصات طرح اختلاط بتن ..... 113
- جدول (2-6): نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه های استوانه ای ..... 113
- جدول (3-6): نتایج آزمایش کشش میلگرد ..... 115
- جدول (1-7): مقایسه نتایج حاصل از آزمایش ..... 162
- جدول (1-8): جزئیات میلگردگذاری و مقطع دیوارهای برشی ..... 173
- جدول (2-8): مشخصات غیر خطی مصالح بتن و فولاد در مدل اجزای محدود ..... 173
- جدول (3-8): توزیع پارامترهای غیرخطی در ارتفاع دیوار برشی معمولی و دوگانه شکل پذیر ..... 182
- جدول (4-8): مقایسه نتایج کلی تحلیل استاتیکی خطی بر روی سه دیوار برشی مورد مطالعه ..... 183
- جدول (الف-1): مقایسه پاسخ انرژی دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 3.8$  (7 طبقه) ..... 2
- جدول (الف-2): مقایسه پاسخ انرژی دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 4.3$  (8 طبقه) ..... 2
- جدول (الف-3): مقایسه پاسخ انرژی دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 5.4$  (10 طبقه) ..... 2
- جدول (الف-4): مقایسه پاسخ انرژی دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 7.5$  (14 طبقه) ..... 3
- جدول (الف-5): مقایسه پاسخ انرژی دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 10.8$  (20 طبقه) ..... 3
- جدول (الف-6): مقایسه پاسخ تغییرمکان دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 3.8$  (7 طبقه) ..... 6
- جدول (الف-7): مقایسه پاسخ تغییرمکان دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 4.3$  (8 طبقه) ..... 7

- جدول (الف-8): مقایسه پاسخ تغییرمکان دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 5.4$  (10 طبقه).....7
- جدول (الف-9): مقایسه پاسخ تغییرمکان دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 7.5$  (14 طبقه).....8
- جدول (الف-10): مقایسه پاسخ تغییرمکان دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 10.8$  (20 طبقه).....8
- جدول (الف-11): مقایسه پاسخ نیرویی دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 3.8$  (7 طبقه).....9
- جدول (الف-12): مقایسه پاسخ نیرویی دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 4.3$  (8 طبقه).....9
- جدول (الف-13): مقایسه پاسخ نیرویی دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 5.3$  (10 طبقه).....10
- جدول (الف-14): مقایسه پاسخ نیرویی دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 7.5$  (14 طبقه).....10
- جدول (الف-15): مقایسه پاسخ نیرویی دیوار برشی DDSW و OSW با نسبت  $\frac{h_w}{l_w} = 10.8$  (20 طبقه).....11
- جدول (الف-16): مشخصات عمومی دیوارهای برشی تیپ 1 با ارتفاع 70 متر.....12
- جدول (الف-17): مشخصات عمومی دیوارهای برشی تیپ 2 با ارتفاع 49 متر.....12
- جدول (الف-18): مشخصات عمومی دیوارهای برشی تیپ 3 با ارتفاع 49 متر با میلگردگذاری قائم در اطراف بازشو.....12
- جدول (الف-19): مشخصات عمومی دیوارهای برشی تیپ 4 با ارتفاع 28 متر.....13

## مقدمه

اولین گام‌ها برای توسعه و استفاده از دانش مهندسی زلزله، در اوایل دهه 1950 که اوج فعالیت‌های ساختمانی پس از جنگ جهانی دوم بود، آغاز گردید، ولی با توجه به اینکه ابزارهای تحلیلی مناسب و داده‌های ثبت شده زلزله در آن زمان در دسترس نبود، فراهم کردن سیستم‌های مقاوم در برابر زلزله در ساختمان‌ها، با فرضیات بسیار ناپخته‌ای در مورد رفتار سازه‌ها همراه بود.

مشاهدات بدست آمده از رفتار واقعی سازه‌ها در زلزله‌های به وقوع پیوسته، مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی وسیع بر روی اجزای سازه‌ای و ایجاد بانک اطلاعاتی وسیع از زلزله‌های مختلف در چهار دهه اخیر، همگی سبب شد تا بستری مناسب و منطقی، برای ایجاد دستورالعمل‌های طراحی فراهم گردد.

از ابتدا، افزودن شکل‌پذیری به قاب‌های خمشی که تا آن زمان تنها سیستم مورد استفاده در ساختمان‌ها بود، راه حلی آسان و مناسب برای مقاومت سازه‌ها در برابر زلزله به نظر می‌رسید. ولی اکثر متخصصین مفهوم شکل‌پذیری (Ductility) را با انعطاف‌پذیری (Flexibility) اشتباه گرفته و الزام آنها از طرف آیین‌نامه‌ها، برای تعبیه جزییات سختگیرانه‌تری نسبت به گذشته، سبب شد تا مفهوم شکل‌پذیری، تا اواخر دهه 1970 مورد غفلت واقع شود. در همین اثناء، دیوارهای برشی برای مقابله ساختمانهای چند طبقه به جامعه مهندسی معرفی گردید [1].

با توجه به سختی قابل توجه دیوارهای برشی و رفتار تردی که از آنها متصور بود، چنین برداشت می‌شد که در حین زلزله، خرابی‌های بسیار شدیدی به ساختمان‌های دارای دیوار برشی وارد شود. بر اساس این تفکر، دیوارهای برشی از ابتدا به عنوان عنصری نامطلوب برای مقابله با زلزله محسوب می‌شدند و در نتیجه سبب شد تا همچون گذشته، قاب‌های خمشی که عمدتاً به جای شکل‌پذیر بودن، انعطاف‌پذیر بودند، در ساختمان‌ها به کار برده شوند. در حالی که در برخی از کشورها، قاب‌های خمشی به صورت شکل‌پذیر طراحی و ساخته می‌شدند، در اغلب کشورها، به خصوص در کشورهای توسعه نیافته، به دلایل اقتصادی و فقدان دانش فنی، این قاب‌ها با رفتاری ترد و شکننده ساخته شده که به هیچ وجه، توان مقابله با بارهای لرزه‌ای را نداشتند. در نتیجه، این امکان وجود داشت که با هر زلزله، جان و مال مردمان بسیاری به طور جدی به خطر بیفتد، که متأسفانه در زلزله‌های این چند دهه، به دلیل نامناسب بودن قاب‌های خمشی غیر شکل‌پذیر، بارها شاهد تلفات و خسارات وسیع و جبران ناپذیری بوده‌ایم [1].

با این وجود، مشاهدات بدست آمده از رفتار ساختمان‌های بتن مسلح در زلزله‌های بسیار شدید، نشان داد که به دلیل تغییر شکل‌های زیاد، قاب‌های خمشی انعطاف‌پذیر، فروریخته و یا دچار آسیب‌های جدی شده‌اند، در حالی که در ساختمان‌هایی که از دیوارهای برشی به عنوان سیستم باربر جانبی استفاده شده بود، خرابی‌ها محدود بود و ساختمان عملکرد خوبی در برابر زلزله از خود بروز داده بود.

در سال 1991، Fintel عملکرد دیوارهای برشی را در سه دهه اخیر بر اساس مشاهدات بدست آمده از خرابی‌های زلزله‌های گوناگون از سال 1960 تا 1988، مورد ارزیابی قرار داد. وی بر رفتار خوب دیوارهای برشی در حین زلزله، صحّه گذاشته و نشان داد که با وجود گستردگی ترک‌ها در دیوارهای برشی، عملکرد کلی ساختمان‌ها متأثر از ترک‌خوردگی نبوده است. همچنین گزارش شده است که زلزله 1985 شیلی، علی‌رغم جزییات نامناسب تعبیه شده برای دیوارهای برشی در مقایسه با آیین‌نامه وقت ACI، خسارت‌های بسیار کمی به این دیوارها وارد شده بود [1].

در پژوهشی دیگر، 117 ساختمان بتنی دارای دیوار برشی در شهر Vina del Mar بعد از زلزله 1985 شیلی،