دانشگاه ارومیه
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش عمران-سازه

بررسی رفتار غیرخطی دیوارهای باربر و برشی با روش آنالیز دینامیکی افزاینده

مژگان عسگری حاجی‌فیروز

استاد راهنما

دکتر سعید تاوردیلو

بهمن ماه ۱۳۹۲

کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه ارومیه است.

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

فرم شماره ۹

تاریخ:

شماره:

دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی و مهندسی

تعهد نامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایاننامه های تحصیلی دانشجویان دانشگاه ارومیه مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشجو میباشد که با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود، برای آگاهی دانشجو و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان گرامی نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد میشوند:

۱. قبل از چاپ پایان نامه خود، مراتب را بطور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع و کسب اجازه نمایند.

۲. در انتشار نتایج پایان نامه در قالب مقاله، همایش، اختراع، اکتشاف و سایر موارد ذکر نام دانشگاه ارومیه الزامی است.

۳. انتشار نتایج پایان نامه باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **مژگان عسگری حاجی فیروز** دانشجوی گرایش **سازه** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

تاریخ و امضا دانشجو

قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند.

انجام این تحقیق و آماده سازی آن بدون کمک‌های بی شائبه اساتید گرانقدر و دوستان عزیزم امکان پذیر نبود. بر خود می‌دانم تشکر و قدردانی خود را تقدیم این عزیزان بنمایم.

از استاد گرامیم جناب آقای دکتر سعید تاوردیلو بسیار سپاسگزارم که با راهنمایی‌های دلسوزانه زمینه ساز انجام این تحقیق شدند.

از برادرم عزیزم آقای مهندس جلیل عسگری که مرا در انجام این پایان نامه یاری نمودند کمال تشکر را دارم.

از اساتید گرانقدر دانشکده فنی، گروه عمران و تمامی کارکنان دانشکده فنی که در طول تحصیل مرا یاری نمودند سپاسگزارم.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

که با همراهی و همدلی آنها

انجام این پایان نامه ممکن شد.

چکیده

استفاده از دیوارهای باربر و برشی به عنوان سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی، در کشورهای لرزه-خیز به علت رفتار لرزه‌ای مناسبی که در زلزله‌های گذشته نشان داده‌اند امری متداول است. ضوابط طراحی ارائه شده در آیین نامه‌های طراحی بتنی شامل آیین نامه ACI و آبا تنها برای طراحی دیوارهای برشی تدوین شده‌اند. این ضوابط در صورت اعمال روی دیوارهای باربر منجر به طراحی بسیار محافظه-کارانه‌ای می‌گردد که با توجه به عملکرد مناسب سیستم‌های فوق در زلزله‌های قبلی که فاقد این تمهیدات اجباری آیین نامه بوده‌اند به نظر می‌رسد که نیاز به اصلاح اساسی در این ضوابط و تفکیک ضوابط دیوارهای باربر و برشی از هم می‌باشد. در این مطالعه رفتار غیرخطی دیوارهای باربر و برشی با استفاده از آنالیز دینامیکی افزاینده و آنالیز استاتیکی افزاینده مورد بررسی قرار گرفته است تا در نتیجه آن درک بهتری از رفتار غیرخطی دیوارهای باربر و برشی حاصل شود. آنالیز دینامیکی افزاینده بر مبنای آنالیز دینامیکی غیرخطی و شامل اعمال یک یا چند شتاب نگاشت بر سازه است. این روش علاوه‌بر بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌ها، ظرفیت سازه را نیز در اختیار قرار می‌دهد و می‌تواند در تعیین عملکرد لرزه-ای سازه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. پس از انجام این آنالیز، با تعریف حالات حدی روی منحنی‌های بدست آمده و با استفاده از روش‌های آماری، منحنی‌های شکست بدست می‌آید که یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها برای ارزیابی ایمنی لرزه‌ای سازه‌هاست. در آنالیز استاتیکی افزاینده سازه تحت یک الگوی بار جانبی قرار گرفته و این بار جانبی با آهنگ ثابتی افزایش می‌یابد تا زمانی که سازه به یک تغییر مکان هدف از پیش تعیین شده برسد. پس از انجام آنالیز منحنی‌های ظرفیت برای تک تک دیوارها ترسیم شده و در نهایت مقاومت سیستم‌های مذکور مورد بررسی قرار گرفته است. در نتیجه این مطالعه مشاهده می-شود ایمنی لرزه‌ای و مقاومت دیوارهای برشی نسبت به دیوارهای باربر کمتر است. لذا طراحی دیوارهای باربر با استفاده از ضوابط طراحی آیین نامه‌های ACI و آبا که برای طراحی دیوارهای برشی تدوین شده-اند، منجر به طراحی بسیار محافظه کارانه‌ای خواهد شد.

واژگان کلیدی : ایمنی لرزه‌ای، رفتار غیرخطی، منحنی ظرفیت، منحنی شکست، حالات حدی

فهرست مطالب

چکیده I

فهرست مطالب II

فهرست اشکال V

فهرست جداول VII

فهرست علائم VIII

فصل ۱ مقدمه ۱

۱-۱ هدف ۱

۱-۲ ضرورت انجام تحقیق ۲

۱-۳ روش تحقیق ۲

۱-۴ ساختار پایاننامه ۳

فصل ۲ مروری بر ادبیات فنی ۴

۲-۱ سابقه تحقیق ۴

۲-۲ مروری بر برخی از روشهای مختلف مدلسازی ۶

۲-۲-۱ عوامل موثر بر رفتار دیوارهای بتنآرمه ۶

۲-۲-۲ مدلسازی MACRO و مدلسازیMICRO ۷

۲-۲-۲-۱ روش مدلسازی MICRO در دیوارهای بتنآرمه ۷

۲-۲-۲-۱-۱ روش آنالیز اجزاء محدود ۷

۲-۲-۲-۱-۲ مدل Fiber ۸

۲-۲-۲-۲ روش مدلسازی MACRO در دیوارهای بتن آرمه ۱۰

۲-۲-۲-۲-۱ المان تیر-ستون دو جزئی ۱۰

۲-۲-۲-۲-۲ المان تیر- ستون یک جزئی ۱۰

۲-۲-۲-۲-۳ مدل فنر چندگانه ۱۳

۲-۲-۲-۲-۴ مدل فنر چند محوری(MS) ۱۴

۲-۲-۲-۲-۵ مدل خرپایی ۱۴

۲-۲-۲-۲-۶ مدلهای ترکیبی ۱۵

الف) مدل المانهای سه خطی قائم (TVLEM) ۱۵
ب) مدلالمانهای چند خطی قائم (MVLEM) ۱۷
۲-۲-۲-۷ مدل اندرکنش خمش و برش ۱۸
۲-۳ مروری بر آنالیزهای انجام شده ۱۹
۲-۳-۱ تحلیلهای خطی ۲۰
۲-۳-۱-۱ تحلیل استاتیکی خطی ۲۰
۲-۳-۱-۲ تحلیل دینامیکی خطی ۲۱
۲-۳-۲ تحلیل غیرخطی ۲۱
۲-۳-۲-۱ تحلیل استاتیکی غیرخطی ۲۲
۲-۳-۲-۱-۱ تاریخچه ۲۲
۲-۳-۲-۱-۲ تشریح روش تحلیل استاتیکی غیر خطی ۲۲
۲-۳-۲-۱-۳ مزایا و معایب روش تحلیل استاتیکی غیر خطی ۲۳
۲-۳-۲-۲ تحلیل دینامیکی غیر خطی افزاینده(IDA) ۲۴
۲-۳-۲-۲-۱ تاریخچه ۲۴
۲-۳-۲-۲-۲ مفاهیم موجود در یک منحنی IDA ۲۵
۲-۳-۲-۲-۳ منحنی IDA ۲۷
۲-۳-۲-۲-۴ سطوح عملکرد و نقطه ظرفیت سازه ۲۸
۲-۳-۲-۲-۵ خلاصه کردن منحنیهای آنالیز دینامیکی افزاینده ۲۹
۲-۳-۲-۲-۶ بحث بر روی صحت نتایج روش آنالیز دینامیکی افزاینده ۲۹
۲-۳-۲-۳ منحنیهای شکست ۳۱
۲-۴ خلاصه ۳۲
فصل ۳ مدلسازی در نرم افزار ۳۳
۳-۱ مقدمه ۳۳
۳-۲ معرفی Opensees و روند مدلسازی انجام شده در آن ۳۳
۳-۲-۱ مدلسازی ۳۴
۳-۲-۲ مصالح ۳۵
۳-۲-۲-۱ Concrete01 ..... ۳۵

۳-۲-۲-۲ Steel02 ..... ۳۷
۳-۲-۳ المان مورد استفاده ۳۸
۳-۲-۴ آنالیزهای انجام شده در این تحقیق ۳۸
۳-۲-۴-۱ آنالیز استاتیکی غیرخطی و آنالیز دینامیکی افزاینده ۳۸
۳-۲-۴-۲ روش حل عددی مورد استفاده در این مطالعه ۳۹
۳-۲-۴-۳ استهلاک رایلی ۳۹
۳-۳ صحت سنجی ۳۹
۳-۴ خلاصه فصل ۴۱
فصل ۴ بررسی نتایج حاصل از آنالیز ۴۲
۴-۱ مقدمه ۴۲
۴-۲ مدلسازی در ETABS ۴۲
۴-۳ انتخاب شتاب نگاشتها ۴۵
۴-۴ نتایج آنالیز استاتیکی غیرخطی ۴۶
۴-۵ نتایج آنالیز دینامیکی افزاینده ۵۳
۴-۵-۱ منحنیهای شکست ۵۶
۴-۶ خلاصه فصل ۶۰
فصل ۵ نتایج و پیشنهادات ۵۸
۵-۱ مقدمه ۵۸
۵-۲ نتایج ۵۸
۵-۳ پیشنهادات ۶۰
مراجع ۶۱

فهرست اشکال

شکل ۲-۱ مدل MVLE ۵

شکل ۲-۲ (a) المان تیر fiber پیشنهادی Monti و Spacone (2000)، (b) مدل اجزاء محدود چند لایه ای Belmouden و Lestuzzi(2007) ۸

شکل ۲-۳ شکل المان Fiber در دیوار برشی بتنی مسلح ۹

شکل ۲-۴ مدل مقطع Fiber و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی ۹

شکل ۲-۵ مدل المان تیر- ستون دو جزئی ۱۰

شکل ۲-۶ مدل تیر- ستون ساده ۱۱

شکل ۲-۷ مدل تیر- ستون ۱۱

شکل ۲-۸ تاب خوردگی دیوار و اثر جابجایی محور خنثی روی جابجایی قائم ۱۲

شکل ۲-۹ مدل فنرهای چندگانه ۱۳

شکل ۲-۱۰ الف) مدل فنر چندگانه ب) دیاگرام ممان خمشی ج) توزیع سختی مقطع ۱۳

شکل ۲-۱۱ مدل فنر چندگانه موازی Lai و همکاران (۱۹۸۴) (a) مدل اعضا، (b) المان غیرالاستیک، (c) فنرهای فولادی و بتنی موثر ۱۴

شکل ۲-۱۲ مدل خرپایی Oesterle و همکاران (۱۹۸۴) ۱۵

شکل ۲-۱۳ مدل TVLE ۱۶

شکل ۲-۱۴TVLEM اصلاح شده ۱۶

شکل ۲-۱۵ المان MVLEM ۱۷

شکل ۲-۱۶مدلسازی دیوار برشی با مدل MVLEM ۱۸

شکل ۲-۱۷ دوران و جابجایی مدل MVLEM ۱۸

شکل ۲-۱۸ مدل Coupled و نتایج دیوارهای کوتاه.(Masson 2006) ۱۹

شکل ۲-۱۹ منحنی ظرفیت ۲۳

شکل ۲-۲۰ منحنی های IDA بر اساس حداکثر دریفت طبقه برای قاب مهاربندی شده فولادی ۵ طبقه ۲۸

شکل ۲-۲۱ منحنی های IDA بر اساس حداکثر دریفت طبقه برای قاب مهاربندی شده فولادی ۵ طبقه تحت اثر چهار شتاب نگاشت مختلف ۲۸

شکل ۲-۲۲منحنی های IDA بر اساس حداکثر دریفت طبقه برای قاب مهاربندی شده فولادی ۵ طبقه تحت اثر ۳۰ شتاب نگاشت ۳۰

شکل ۲-۲۳ منحنی های چندک..... ۳۰
شکل ۲-۲۴ منحنیهای شکست..... ۳۱
شکل ۳-۱ مدل Kent-Park اصلاح نشده..... ۳۷
شکل ۳-۲ مدل Kent-Park اصلاح شده..... ۳۷
شکل ۳-۳ مدل تنش-کرنش Steel02..... ۳۸
شکل ۳-۴ مقایسه رفتار استاتیکی غیرخطی مدل اندرکنش خمش-برش و مدل مقطع Fiber..... ۳۹
شکل ۳-۵ مشخصات مقطع مدل آزمایشگاهی RW2..... ۴۰
شکل ۳-۶ مقایسه رفتار استاتیکی غیرخطی مدل اندرکنش خمش-برش و مدل مقطع Fiber با نتایج آزمایشگاهی.. ۴۱
شکل ۴-۱ طول منطقه محصور شده در دیوارها بر اساس آیین نامه ACI در طبقه اول..... ۴۶
شکل ۴-۲ مقایسه منحنی ظرفیت دیوارهای باربر و برشی جهت بررسی تاثیر محصورشدگی..... ۴۷
شکل ۴-۳ مقایسه منحنی ظرفیت دیوارهای باربر و برشی جهت بررسی تاثیر چیدمان آرماتورها..... ۴۸
شکل ۴-۴ مقایسه منحنی ظرفیت دیوارهای باربر و برشی ویژه جهت بررسی تاثیر محصورشدگی..... ۴۹
شکل ۴-۵ منحنی ظرفیت حاصل از آنالیز استاتیکی غیرخطی..... ۵۱
شکل ۴-۶مقایسه نسبت مقاومت ماکزیمم کل سیستم در حالت دیوار باربر و برشی..... ۵۲
شکل ۴-۷ منحنی های آنالیز دینامیکی افزاینده تحت شتاب نگاشت های انتخابی..... ۵۳
شکل ۴-۸ منحنیهای چندک ۱۶٪، میانه، ۸۴٪ در دیوارهای برشی الف) UOS ب) LOS ج) USS د) LSS..... ۵۴
شکل ۴-۹ منحنیهای چندک ۱۶٪، میانه، ۸۴٪ در دیوارهای باربر الف) UOB ب) LOB ج) USB د) LSB..... ۵۵
شکل ۴-۱۰ پراکندگی نتایج حاصل از منحنی های چندک ۸۴٪ و ۵۰٪..... ۵۶
شکل ۴-۱۱ منحنی های شکست دیوار برشی الف) UOS ب) LOS ج) USS د) LSS..... ۵۷
شکل ۴-۱۲ منحنی های شکست دیوار باربر الف) UOB ب) LOB ج) USB د) LSB..... ۵۸
شکل ۴-۱۳ مقادیر شتاب طیفی با احتمال گذر ۱۶٪، ۵۰٪ و ۸۴٪ برای بررسی تاثیر محصورشدگی و تمرکز آرماتور در حالت حدی IO..... ۵۹
شکل ۴-۱۴مقادیر شتاب طیفی با احتمال گذر ۱۶٪، ۵۰٪ و ۸۴٪ برای بررسی تاثیر محصورشدگی و تمرکز آرماتور در حالت حدی LS..... ۵۹
شکل ۴-۱۵مقادیر شتاب طیفی با احتمال گذر ۱۶٪، ۵۰٪ و ۸۴٪ برای بررسی تاثیر محصورشدگی و تمرکز آرماتور در حالت حدی CP..... ۵۹

فهرست جداول

جدول ۳-۱: مشخصات مدل Wall01 ..... ۳۹
جدول ۳-۲: پارامترهای کششی بتن و پارامترهای فشاری فولاد مدل آزمایشگاهی ۴۰
جدول ۳-۳: پارامترهای فشاری بتن و پارامترهای کششی فولاد مدل آزمایشگاهی ۴۱
جدول ۴-۱:مشخصات مصالح ۴۳
جدول ۴-۲: بارگذاری (N/m^2) ۴۳
جدول ۴-۳: مشخصات لرزه ای ۴۳
جدول ۴-۴: مشخصات دیوارهای مورد مطالعه ۴۴
جدول ۴-۵: مشخصات شتاب نگاشتهای انتخاب شده ۴۵
جدول ۴-۶: مقادیر Δ_{target} و دریفت های متناظر با آن ۵۰
جدول ۴-۷: نتایج آنالیز استاتیکی غیرخطی ۵۱
جدول ۴-۸: دوران مفصل پلاستیک(Radians) ۵۳

فهرست علائم

ردیف	علامت اختصاری	توضیحات
۱	A_p	مساحت پلان
۲	A_w	مساحت سطح مقطع کل دیوارهای موجود در پلان
۳	DM	شاخص خرابی
	E_0	مدول الاستیسیته آرماتور عرضی
۴	E_c	مدول الاستیسیته بتن
۵	E_s	مدول الاستیسیته فولاد
۶	IM	شاخص شدت زمین لرزه
۷	K_Δ	ضریب جابجایی تسلیم
۸	K_φ	ضریب انحنای تسلیم
۹	M_{max}	لنگر ماکزیمم
۱۰	M_y	لنگر تسلیم
۱۱	R	ضریب رفتار
۱۲	Sa	شتاب طیفی
۱۳	V_d	نیروی برش پایه طراحی
۱۴	V_{max}	نیروی برشی ماکزیمم
۱۵	V_y	نیروی برشی تسلیم
۱۶	Z	شیب بخش خطی نمودار تنش-کرنش بتن محصور نشده
۱۷	Z_m	شیب بخش خطی نمودار تنش-کرنش بتن محصور شده
۱۸	a_1	شتاب نگاشت مقیاس نشده
۱۹	a_λ	شتاب نگاشت مقیاس شده
۲۰	b	نسبت سخت شوندگی فولاد
۲۱	f_c	مقاومت فشاری بتن
۲۲	f'_c	حداکثر تنش فشاری بتن
۲۳	f_s	مقاومت کششی آرماتورهای قائم
۲۴	f_t	حداکثر تنش کششی بتن
۲۵	f_y	تنش تسلیم آرماتورهای قائم
۲۶	f_{ys}	مقاومت تسلیم آرماتورهای عرضی

۲۷	h_w	ارتفاع دیوار
۲۸	h''	طول ناحیه محصور شده
۲۹	l_w	طول دیوار
۳۰	n	تعداد دیوار در پلان سازه
۳۱	s_h	فاصله مرکز به مرکز خاموتها
۳۲	t	ضخامت دیوار
۳۳	Δ_u	حداکثر جابجایی
۳۴	Δ_y	جابجایی در نقطه تسلیم
۳۵	Ω	مقاومت افزون
۳۶	θ	دریفت طبقات
۳۷	θ_{max}	ماکزیمم دریفت طبقات
۳۸	λ	ضریب مقیاس شتاب نگاشت
۳۹	μ	میانگین
۴۰	μ_Δ	نسبت شکل‌پذیری
۴۱	ρ_s	نسبت حجم آرماتورهای عرضی به حجم هسته بتنی
۴۲	φ_y	انحنای تسلیم
۴۳	Φ	تابع توزیع تجمعی
۴۴	σ	انحراف معیار
۴۵	σ_y	تنش تسلیم فولاد
۴۶	ε_c	کرنش فشاری بتن
۴۷	ε'_c	حداکثر کرنش فشاری بتن
۴۸	ε_{co}	حداکثر کرنش فشاری بتن
۴۹	ε_t	کرنش کششی بتن در حداکثر تنش کششی بتن
۵۰	ε_{50u}	کرنش فشاری بتن محصور نشده زمانی که تنش فشاری بتن ۵۰٪ تنش فشاری ماکزیمم است

فصل ۱

مقدمه

۱-۱ هدف

دیوارهای سازه‌ای بتن آرمه یکی از سیستم‌های مناسب برای مقابله با نیروهای جانبی ناشی از باد یا زمین لرزه هستند که مقاومت، سختی و همچنین ظرفیت تغییرشکل مورد نیاز سازه را جهت مواجهه با نیروهای جانبی تامین می‌کنند.

طراحی دیوارهای سازه‌ای به گونه‌ای که در زمان وقوع زلزله در محدوده الاستیک باقی بمانند عموماً اقتصادی نبوده و باید پاسخ غیرخطی دیوارها نیز مد نظر قرار گیرد. پیش‌بینی پاسخ غیرخطی دیوارهای سازه‌ای نیاز به دقت، مدل‌سازی مناسب و ابزارهای قوی نرم‌افزاری دارد، به گونه‌ای که خصوصیات مهم مواد و پاسخ‌های رفتاری مثل سخت شوندگی کششی، رفتار برشی غیرخطی، اثرات نیروی محوری بر مقاومت و سختی و موارد مشابه را نشان دهد.

ضوابط طراحی ارائه شده در آیین نامه‌های طراحی سازه‌های بتنی شامل آیین نامه‌های ACI [1] و آبا تنها برای طراحی دیوارهای برشی تدوین شده‌اند. این ضوابط در صورت اعمال روی دیوارهای باربر منجر به طراحی بسیار محافظه کارانه‌ای می‌گردد که با توجه به عملکرد مناسب سیستم‌های فوق در زلزله‌های قبلی که فاقد این تمهیدات اجباری آیین نامه بوده‌اند به نظر می‌رسد که نیاز به اصلاح اساسی در این ضوابط و تفکیک ضوابط دیوارهای باربر و برشی از هم می‌باشد.

با توجه به ماهیت دینامیکی نیروهای ناشی از زمین‌لرزه و با در نظر گرفتن اینکه سازه‌ها حتی در زلزله‌های با شدت متوسط وارد مرحله غیرخطی رفتاری می‌شوند، باید در تحلیل آنها رفتار غیرخطی مصالح در نظر گرفته شود. در تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه‌ها تغییرشکل‌ها، نیروهای داخلی و بطور کلی پاسخ سازه تحت اثر یک یا چند شتاب نگاشت مشخص محاسبه می‌شود. یکی از جدیدترین روشهای تحلیل سازه‌ها، روش تحلیل دینامیکی غیرخطی افزاینده[۱] می‌باشد. این آنالیز بر مبنای آنالیز دینامیکی غیرخطی و شامل اعمال یک یا چند شتاب نگاشت بر سازه است. این روش علاوه‌بر بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌ها، ظرفیت سازه را نیز در اختیار قرار می‌دهد و می‌تواند در تعیین عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

در این تحقیق رفتار دینامیکی دیوارهای بتن‌آرمه باربر و برشی با استفاده از آنالیز دینامیکی افزاینده مورد بررسی قرار گرفته شده است. با انجام آنالیزها و بررسی منحنی‌های شکست بدست آمده برای تک تک دیوارهای مدل‌سازی شده بررسی ایمنی لرزه‌ای سازه‌ها به عنوان هدف اصلی در این تحقیق دنبال می‌شود.

۱-۲ ضرورت انجام تحقیق

همانطور که قبلاً بیان گردید ضوابط طراحی ارائه شده در آیین نامه‌های طراحی بتنی شامل آیین نامه ACI و آبا تنها برای طراحی دیوارهای برشی تدوین شده‌اند. این ضوابط در صورت اعمال روی دیوارهای باربر منجر به طراحی بسیار محافظه‌کارانه‌ای می‌گردد که با توجه به عملکرد مناسب سیستم های فوق در زلزله‌های قبلی که فاقد این تمهیدات اجباری آیین نامه بوده‌اند به نظر می‌رسد که نیاز به اصلاح اساسی در این ضوابط و تفکیک ضوابط دیوارهای باربر و برشی از هم می‌باشد. در این مطالعه رفتار غیرخطی دیوارهای باربر و برشی با روش آنالیز دینامیکی افزاینده، با رسم منحنی‌های شکست برای تک تک دیوارهای سازه‌ای مدل‌سازی شده بررسی شده است و ایمنی لرزه‌ای آنها مورد بررسی قرار گرفته است تا درک بهتری از رفتار غیر خطی آنها حاصل شود.

۱-۳ روش تحقیق

مراحل انجام این تحقیق شامل موارد زیر است:

۱- جمع آوری اطلاعات از کتب مربوطه و مقالات چاپ شده

[۱] Incremental Dynamic Analysis (IDA)

۲- استخراج معادلات و اطلاعات مورد نیاز در پروژه

۳- تهیه مدل‌های تحلیلی با استفاده از نرم‌افزار ETABS

۴- مدل‌سازی سازه در نرم‌افزار Opensees و تحلیل آن

۵- بررسی نتایج بدست آمده

۶- جمع بندی مطالب و تدوین پایان‌نامه

۱-۴ ساختار پایان‌نامه

در ادامه در فصل دوم پس از ارائه پیشینه تحقیق و روش‌های مختلف مدل‌سازی دیوار برشی، مروری بر انواع آنالیزهای مورد استفاده در این پایان نامه و نیز منحنی‌های شکست انجام شده است. در قسمت مروری بر آنالیزهای انجام شده در ابتدا به بحث آنالیز استاتیکی افزاینده پرداخته و توضیحاتی پیرامون این مطلب ارائه می‌گردد و در نهایت مفاهیم پایه آنالیز دینامیکی افزاینده و نیز نحوه انجام این آنالیز بیان می‌شود. نحوه ترسیم منحنی‌های شکست و استخراج نتایج از آنها نیز در آخر این فصل ارائه شده است.

در فصل سوم نحوه ساخت مدل‌های مورد مطالعه و روش انجام این تحقیق در نرم‌افزار Opensees تشریح شده است.

در فصل چهارم به بررسی نتایج حاصل آنالیزهای انجام شده و منحنی‌های بدست آمده پرداخته شده و در مورد هر یک بحث شده است.

در فصل پنجم نتایج حاصل از این تحقیق جمع بندی شده و در ادامه این فصل پیشنهادات در راستای این تحقیق ارائه شده است.

فصل ۲

مروری بر ادبیات فنی

۲-۱ سابقه تحقیق

مشاهدات حاصل از زمین لرزه‌ها نشان داده است دیوارهای بتنی که به خوبی طراحی شده‌اند، می-توانند به عنوان سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی مورد استفاده قرار گیرند. طراحی دیوار بتنی به گونه‌ای که در زمان وقوع زلزله در محدوده الاستیک باقی بمانند عموماً اقتصادی نبوده و باید پاسخ غیرخطی دیوارها نیز مد نظر قرار گیرد.

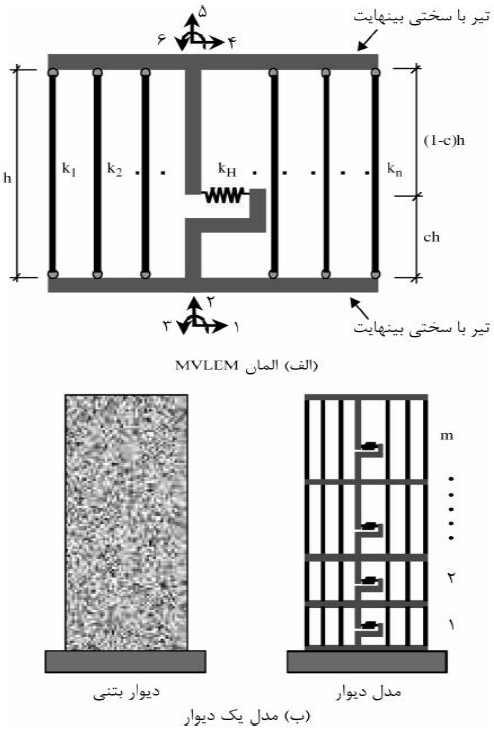
پیش‌بینی پاسخ غیرخطی دیوارهای بتنی نیاز به دقت، مدل‌سازی مناسب و ابزارهای قوی نرم‌افزاری دارد، به گونه‌ای که خصوصیات مهم مواد و پاسخ‌هایی مثل سخت شوندگی کششی، رفتار برشی غیرخطی، اثرات نیروی محوری بر مقاومت و سختی و موارد مشابه را نشان دهد.

با توجه به اینکه، استفاده از دیوارهای بتنی برای مقابله با نیروهای زلزله رایج است، مدلسازی دیوارهای بتنی باید طوری باشد که به اندازه کافی دقیق و ساده بوده و رفتار چرخه‌ای دیوار را به خوبی ارائه دهد و از طرفی در مقاصد طراحی تجاری به راحتی مورد استفاده قرار گیرد.

Cardenas در سال ۱۹۷۵، آزمایش‌هایی بر روی دیوارهای سازه‌ای لاغر که بصورت استاتیکی در یک جهت بارگذاری شده بودند، انجام داد و ثابت کرد که تمرکز میلگردهای طولی و بصورت مناسب محصور شده در دو انتهای دیوار، ظرفیت دیوار را بسیار افزایش می‌دهد، این بهبود رفتار که از تمرکز میلگرهای

طولی با محصورشدگی مناسب در دو انتهای دیوار نتیجه می‌شود، در آزمایش‌های دیوارهای سازه‌ای تحت بارگذاری رفت و برگشتی نیز مشاهده شد[3].

Orakcal و Wallace اطلاعاتی را در مورد کالیبراسیون مدل MVLE ارائه نموده و مقایسه‌هایی میان مدل تحلیلی و مدل آزمایشگاهی دیوار با مقطع T شکل و دیوار با مقطع مستطیلی انجام داده‌اند. همانطور که در شکل۲-۱ مشاهده می‌شود یک دیوار سازه‌ای با m المان که روی هم قرار گرفته‌اند، مدل-سازی می‌شود [12].



شکل ۲-۱ مدل **MVLE**

Rahul و همکاران در سال ۲۰۰۴، با انجام آنالیز استاتیکی غیرخطی در نرم‌افزار SAP2000 روی دیوارهای برشی ۱۹ طبقه‌ای با مقاطع مختلف، نشان دادند که سطوح عملکرد تعریف شده در FEMA برای دیوارهای برشی مقادیری بسیار محافظه کارانه ارائه می‌دهند[17].

در سال ۲۰۰۹، LOO و همکاران با انجام آزمایشاتی تاثیر وجود یا عدم وجود بازشو همچنین اثر ابعاد و محل قرارگیری بازشو را در دیوارهای برشی مورد بررسی قرار دادند. این آزمایشات نشان دادند که رفتار دیوار برشی به محل قرار گیری و ابعاد بازشو وابسته است و همچنین وجود تکیه‌گاهها در رفتار ترک خوردگی و مقاومت نهایی دیوارها تاثیر بسیاری دارد[15].

Sasani و همکاران در سال ۲۰۰۲ شکست لرزه‌ای دیوارهای بتنی با پریود کوتاه را تحت زمین لرزه-های حوزه نزدیک مورد مطالعه قرار دادند[16].

مدلهای مختلفی برای پیش‌بینی پاسخ رفتار غیرخطی دیوارهای برشی پیشنهاد شده که در ادامه پس از بیان عوامل موثر بر رفتار دیوارهای بتن‌آرمه تعدادی از این مدل‌ها تشریح شده است.

۲-۲ مروری بر برخی از روش‌های مختلف مدل‌سازی

۲-۲-۱ عوامل موثر بر رفتار دیوارهای بتن‌آرمه

رفتار دیوارهای برشی در ابتدا تحت تاثیر ترکیب تغییرشکل‌های خمشی، برشی و محوری است. دیوارهای با ارتفاع متوسط تا بلند بیشتر دارای رفتار خمشی هستند در حالیکه دیوارهای کوتاه اساساً تحت کنترل تغییرشکل‌های برشی می‌باشند. آزمایشاتی که جدیداً روی دیوارهای برشی بتن‌آرمه انجام گرفته، نشان می‌دهد که پاسخ غیرخطی آنها براساس چند عامل، متفاوت می‌باشند. برخی از این عوامل شامل:

۱. ابعاد دیوار و نسبت‌های آن
۲. تراز بار محوری اعمال شده به دیوار
۳. مقدار آرماتور و پیوستگی بین بتن و آرماتور
۴. نسبت ظرفیت خمشی به ظرفیت برشی دیوار
۵. صلبیت پایه دیوار و رابط بین دیوار و پایه آن
۶. تاب‌خوردگی دیوار روی پایه آن به دلیل لغزش آرماتور قائم از روی پایه
۷. ابعاد و آرماتورهای ستون‌های کناری اگر اجرا شده باشد
۸. اثر اجزاء سازه‌ای متصل به دیوار مثل تیرهای همبند، قاب خمشی و ...

بنابراین به منظور شبیه‌سازی دقیق، مدل‌سازی دیوار بتن‌آرمه باید با در نظر گرفتن عوامل فوق و با در نظر گرفتن شرایط مرزی دیوار باشد. مدل تحلیلی باید قادر به تخمین ظرفیت دیوار تحت بارگذاری یکنواخت و همچنین بارگذاری رفت و برگشتی باشد. مدل ایده‌آل تحلیلی تحت شرایط بارگذاری بازگشتی باید قادر به نشان دادن پدیده‌های دیگر مانند ترک خوردگی بتن، سخت‌شوندگی در کشش، باز و بسته شدن ترکها، کاهش مقاومت با بارگذاری چرخه‌ای، اثرات محبوس شدگی در فشار و... باشد. در بسیاری از موارد یک یا چند مورد از عوامل فوق به منظور ساده‌سازی در مدل تحلیلی نادیده گرفته می-