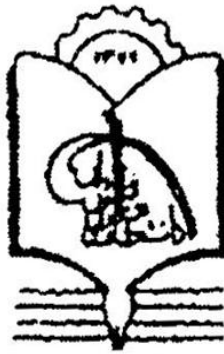


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه علوم و فنون مازندران

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران

(گرایش سازه)

بررسی رفتار دیوار برشی از پیش آسیب دیده در برابر زلزله به

روش المان مجزا

استاد راهنما:

دکتر حسن قاسم زاده

استاد مشاور:

دکتر مرتضی اسکندری قادی

نگارش : محمد امیری

پائیز ۱۳۸۹

تقديم به

همسر عزیزم

تأییدیه هیات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای:

را با عنوان:

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی تأیید می کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنما			
استاد مشاور			
استاد مشاور			
استاد ممتحن			
استاد ممتحن			
نماینده گروه			

سپاس و قدردانی

خداوند را شاکرم که به من فرصتی داد تا بخشی از زندگی‌ام را با انسان‌های فرهیخته سپری
نمایم و از رهگذر این مصاحبت به بسط بینش مبتنی بر یادگیری‌ام یاری رسانم.

سپاس و ستایش خدای را سزااست که کسوت هستی را بر اندام آفرینش پوشانید، او که تمامی
ستایشگران از ستایش او عاجزند و تمامی حسابگران از شکر نعمت‌های او ناتوان .

پس از حمد و ستایش خداوند متعال، بر خود می‌دانم که از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر
قاسم‌زاده که مسئولیت راهنمایی این پایان‌نامه را برعهده گرفته‌اند و در تمامی مراحل تحقیق، نگارنده
را مرهون راهنمایی‌های عالمانه و لطف صبورانه خود قرار داده‌اند، و همچنین از استاد عالیقدر جناب
آقای دکتر اسکندری قادی که همواره ما دانشجویان از دانش سرشار ایشان بهره جسته‌ایم صمیمانه
تشکر و قدردانی نمایم.

چکیده

آسیب سبب تغییر در رفتار دیوارهای برشی می‌شود، بطوریکه مقاومت، سختی و شکل‌پذیری دیوارهای برشی آسیب‌دیده نسبت به دیوارهای آسیب‌ندیده از مقادیر کمتری برخوردار است. در دستور العمل FEMA 306 روشی آزمایشگاهی جهت برآورد سختی و مقاومت اجزای آسیب دیده شرح داده شده است. از جمله روش معمول برای ارزیابی تعیین ضرایب کاهش سختی می‌باشد. طبق این آیین‌نامه تعیین سختی دیوارها و دیگر المان‌ها بصورت مستقیم محاسبه نمی‌شوند.

به منظور بررسی دقیق‌تر تاثیر پیش‌آسیب‌دیدگی بر رفتار لرزه‌ای سازه‌های آسیب‌دیده و کمی نمودن این آسیب‌ها در این تحقیق از روش المان مجزا به عنوان روشی کارا که قابلیت مدل‌سازی آسیب‌ها و ترک‌های از پیش ایجاد شده و اندرکنش ترک‌های اولیه و ثانویه را دارا می‌باشد استفاده و نمونه‌هایی از دیوارهای برشی با مدهای خرابی متفاوت مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. بدین منظور از نرم‌افزار UDEC استفاده شده است. در این نرم افزار تحلیل غیرخطی با استفاده از روش المان مجزا بر مبنای مدل‌های رفتاری پیوسته فولاد و بتن، انجام می‌شود. جهت بررسی عملکرد لرزه-ای دیوارهای برشی آسیب‌دیده با مدهای رفتاری متفاوت نمونه‌هایی با نسبت ابعادی مختلف که دارای مدهای رفتاری متفاوتی بودند توسط نرم‌افزار به روش استاتیکی غیرخطی مورد تحلیل قرار گرفتند. پس از اعتبارسنجی، نمونه‌ها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته‌اند. در ادامه اثر پارامترهای مختلف همچون بار محوری، ترک‌های افقی و تغییر درصد آرماتور در راستاهای مختلف و همچنین سختی برشی و نرمال بتن بر روی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و نیز همچنین تا زمانی که تغییر مکان هدف سازه آسیب‌ندیده از مقدار ماکزیمم تغییر مکان زلزله آسیب‌آور بیشتر باشد آسیب اثر قابل توجهی بر روی سختی و مقاومت نمی‌گذارد در نتیجه میزان تغییر مکان هدف سازه آسیب‌دیده تغییر نمی‌کند و برابر تغییر مکان هدف سازه آسیب‌ندیده می‌باشد.

کلید واژه: دیوار برشی، ترک، موهر کلمب، مد خرابی، دیوار بتنی آسیب‌دیده، روش اجزای

مجزا، سختی برشی و نرمال.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱- بررسی رفتار دیوار برشی ساختمان‌های بتنی در اثر زمین‌لرزه.....	۱
۱-۱- کلیات:	۱
۱-۲- رفتار غیرخطی مصالح ساختمانی تحت بارهای نوسانی	۳
۱-۲-۱- رفتار بتن	۳
۱-۲-۲- رفتار آرماتور	۴
۱-۲-۳- رفتار متقابل بتن و فولاد.....	۶
۱-۳-۲-۱- چسبندگی آرماتور و بتن:	۶
۱-۳-۲-۲-۱- کمانش آرماتورهای طولی.....	۷
۱-۳-۲-۳-۱- شکل رفتار هیستریزیک دیوارهای برشی بتنی مسلح.....	۸
1-3- بررسی آسیب‌های ناشی از زمین‌لرزه.....	۱۱
۱-۳-۱- کلیات.....	۱۱
۱-۳-۲- مشخصات زمین‌لرزه آسیب‌رسان.....	۱۲
۱-۳-۳- جمع‌آوری اطلاعات موجود در مورد مشخصات سازه.....	۱۳
۱-۳-۴- رده‌بندی آسیب اجزاء.....	۱۴
ناچیز <i>insignificant</i>	۱۵

اندک *slight* ۱۵

متوسط *moderate* ۱۵

سنگین *Heavy* ۱۵

حداکثر *Extreme* ۱۵

۱-۳-۵ - گزارش بررسی خسارات وارده بر سازه بر اثر زمین لرزه آسیب رسان ۱۶

۱-۳-۶ - راهنمای بازرسی و آزمایش ۱۷

۱-۴-۴ - ارزیابی آسیب های وارده به سازه در اثر زمین لرزه ۱۷

۱-۴-۱ - کلیات ۱۷

۱-۴-۲ - پارامترهای عملکرد لرزه ای ۱۸

۱-۴-۳ - معیارهای پذیرش و مدل سازی اجزاء ۲۲

۱-۴-۳-۱ - ساختمان آسیب دیده ۲۲

۱-۴-۴ - نحوه برآورد فاکتور λ با استفاده از آزمایش های آزمایشگاهی ۲۴

۱-۴-۴-۱ - روش آزمایشگاهی ۲۵

۱-۴-۴-۲ - نمونه های آزمایش ۲۵

۱-۴-۴-۳ - بارگذاری ۲۶

۱-۴-۵ - جابجایی مورد نیاز ۲۶

۱-۴-۵-۱ - روش ضریب جابجایی ۲۸

فصل ۲ - تاریخچه و مروری بر روش المان مجزا ۳۲

۳۲	۲-۱- مقدمه
۳۲	۲-۱-۱- فرضیات مسئله
۳۴	۲-۲- تاریخچه
۳۴	۲-۳- بررسی کار انجام شده
۳۷	۲-۴- روش المان مجزا
۳۷	۲-۴-۱- کلیات
۳۸	۲-۴-۲- توصیف تغییر شکل بلوک‌ها
۳۹	۳-۴-۲- توصیف برخورد و اندرکنش بین بلوک‌ها (تئوری نرم افزار)
۴۲	۴-۴-۲- شناسایی نقاط تماس و به روز نمودن آنها
۴۲	۵-۴-۲- روش تحلیل سازه
۴۲	۵-۴-۲-۱- الگوریتم حل
۴۴	۵-۴-۲-۲- رفتار مکانیکی نقاط برخورد
۴۵	۵-۴-۲-۳- چرخه محاسبات
۴۸	۵-۴-۲-۴- میرایی
۴۸	۵-۴-۲-۵- محاسبه گام زمانی
۴۹	۵-۲- مقایسه آنالیزهای برنامه UDEC با نتایج آزمایشگاهی
۴۹	۵-۱-۲- در سطح المان بتن مسلح
۵۸	۳- بررسی رفتار دیوار آسیب دیده به روش المان‌های مجزا

- ۱-۳- کلیات ۵۸
- ۱-۱-۳- شکل پذیری ۶۰
- ۲-۱-۳- مدهای رفتاری حاکم بر دیوارهای برشی ۶۰
- ۱-۲-۱-۳- مد رفتاری با شکل پذیری بالا (پاسخ خمشی) ۶۰
- ۲-۲-۱-۳- مد رفتاری با شکل پذیری متوسط ۶۱
- ۳-۲-۱-۳- مد رفتاری با شکل پذیری ناچیز ۶۳
- ۴-۲-۱-۳- مد رفتاری ناشی از چرخش شالوده ۶۴
- ۳-۱-۳- روش های بررسی آسیب های وارده بر دیوار برشی ۶۴
- ۱-۳-۱-۳- ترک خوردگی (ترک های برشی و خمشی) ۶۵
- ۴-۱-۳- برآورد مقاومت برشی و ظرفیت خمشی دیوار برای مدهای رفتاری متفاوت ۶۶
- ۵-۱-۳- روش برآورد پارامترهای کیفی و نسبت سختی دیوار برشی آسیب دیده ۶۹
- ۱-۵-۱-۳- روش برآورد نسبت سختی: ۶۹
- ۲-۵-۱-۳- روش برآورد عرض ترک های برشی و خمشی (*crack widths*): ۷۲
- ۲-۳- اعتبارسنجی و مطالعه عددی ۷۴
- ۳-۳- مسئله تیر طره ۷۵
- ۱-۳-۳- بیان مسئله ۷۵
- 3-4- حل به روش DEM ۷۷
- ۱-۴-۳- دیوارهای برشی با مد رفتاری خمشی (پاسخ با ظرفیت شکل پذیری بالا) ۸۱

- ۳-۴-۱-۱ - دیوار برشی نمونه راکتر و مانگ ۸۱
- ۳-۴-۱-۲ - دیوار برشی نمونه ۲ و ۳ ۸۴
- ۳-۴-۲ - مد رفتاری برشی بعد از جاری شدن آرماتورهای خمشی (کشش قطری) ۹۰
- ۳-۴-۲-۱ - دیوار برشی نمونه ۴ و ۵ ۹۰
- ۳-۴-۳ - مد رفتاری *Web crushing* (پاسخ ظرفیت با شکل پذیری متوسط) ۹۶
- ۳-۴-۴ - مد رفتاری با شکل پذیری پایین ۹۸
- ۳-۵ - مقایسه جداول عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی از پیش آسیب دیده در دستورالعمل *FEMA 306* [۱] با نتایج حاصل از نرم افزار و حساسیت سنجی ۱۰۰
- ۳-۵-۱ - پارامترهای دیداری (کیفی) جهت بررسی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی از پیش آسیب دیده ۱۰۱
- ۳-۵-۱-۱ - مد رفتاری خمشی با شکل پذیری بالا ۱۰۱
- ۳-۵-۱-۲ - مد رفتاری کشش قطری (*Diagonal Tension*) با شکل پذیری متوسط ۱۰۵
- ۳-۵-۱-۳ - مد رفتاری خرد شدگی جان (*Web Crushing*) با شکل پذیری متوسط ۱۱۰
- ۳-۵-۱-۴ - مد رفتاری برش قبل از جاری شدن آرماتورهای خمشی ۱۱۳
- ۳-۶ - بررسی تاثیر بار محوری بر روی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی آسیب دیده با مد رفتاری خمشی ۱۱۵
- ۳-۷ - بررسی تاثیر آسیب بر روی ظرفیت دیوار برشی ۱۱۶
- ۳-۷-۱ - بررسی تاثیر آسیب بر روی ظرفیت خمشی دیوارهای برشی با شکل پذیری زیاد ۱۱۷
- ۳-۸ - بررسی تاثیر سختی نرمال و برشی بر روی دیوار برشی ۱۱۸

فصل ۴- نتیجه گیری و پیشنهاد..... ۱۲۰

۴-۱- نتیجه گیری..... ۱۲۰

۴-۲- پیشنهادات..... ۱۲۲

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱ آزمایشهای موجود جهت بررسی خسارات ناشی از زمین‌لرزه بر دیوارها.....	۱۷
جدول ۲-۱ مشخصات آرماتور مصرفی در دیوار برشی	۳۷
جدول ۲-۲ مشخصات مصالح به کار رفته در نمونه ۱	۵۰
جدول ۲-۳ مشخصات مصالح به کار رفته در نمونه ۲	۵۴
جدول ۲-۴ مشخصات مصالح به کار رفته در نمونه ۳	۵۷
جدول ۳-۱ مشخصات مصالح بکار رفته در دیوار برشی نمونه ۱	۸۲
جدول ۳-۲ مشخصات مصالح بکار رفته در دیوار برشی نمونه ۲	۸۴
جدول ۳-۳ مشخصات مصالح بکار رفته در دیوار برشی نمونه ۳	۸۴
جدول ۳-۴ مشخصات مصالح بکار رفته در دیوار برشی نمونه ۴ و ۵	۹۱
جدول ۳-۵ راهنمای مربوط به عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی آسیب دیده با مد رفتاری خمشی	۱۰۳
جدول ۳-۶ راهنمای مربوط به عملکرد لرزه‌ای دیوار برشی آسیب‌دیده با مد رفتاری برشی (کشش قطری)	۱۰۷
جدول ۳-۷ راهنمای مربوط به عملکرد لرزه‌ای دیوار برشی آسیب‌دیده با مد رفتاری برشی (خردشدگی جان)	۱۱۱
جدول ۳-۸ نمونه ۲	۱۱۵
جدول ۳-۹ نمونه ۳	۱۱۵

فهرست شکل‌ها

عنوان

صفحه

شکل ۱-۱ رابطه شماتیک تنش - کرنش بتن تحت بار یکنواخت [۲۸]. <i>Error! Bookmark not defined.</i>	۲۸
شکل ۱-۲ تاثیر درصد آرماتور عرضی و محبوس کننده‌ها در شکل و کیفیت منحنی تنش - کرنش (۲).....	۴
۱-۳ روابط تنش - کرنش تحت بار فشاری - رابطه ایده‌آل.....	۵
شکل ۱-۴ رابطه تنش - کرنش فولاد (الف) رابطه حقیقی (ب) رابطه ایده‌آل (۲).....	۵
شکل ۱-۵ منحنی هیستریزیس کامل آرماتور فولادی.....	۶
شکل ۱-۶ رابطه چسبندگی و لغزش در یک آرماتور آجدار مدفون در بتن تحت بار (۲).....	۷
شکل ۱-۷ اثر آرماتورهای عرضی در جلوگیری از کمانش آرماتورهای طولی.....	۸
شکل ۱-۸ روابط بار - تغییر مکان و ترک‌های قطری برای یک دیوار برشی کوتاه:.....	۸
شکل ۱-۹ صورت‌های متحمل شکست در دیوارهای برشی طره‌ای.....	۱۰
شکل ۱-۱۰ شکل تقریبی طیف پاسخ سایت [۱].....	۱۳
شکل ۱-۱۱ پارامترهای جابجایی برای ارزیابی آسیب [۱].....	۲۰
شکل ۱-۱۲ معیارهای پذیرش تغییر مکان - ظرفیت بر اساس دستورالعمل [۳] FEMA 273.....	۲۲
شکل ۱-۱۳ مدل‌سازی اثرات آسیب روی عملکرد اجزا (I).....	۲۳
۱-۱۴ رابطه بین شدت و فاکتورهای کاهش (I).....	۲۴
شکل ۱-۱۵ معیارهای پذیرش اجزاء (I).....	۲۴
شکل ۱-۱۶ تعیین مقدار λ از طریق آزمایش‌های سازه‌ای (I).....	۲۷
شکل ۱-۱۷ سختی اولیه و سختی موثر سازه (I).....	۲۹

- شکل ۱-۱۸ منحنی‌های ظرفیت پیش از آسیب و پس از آسیب به همراه سختی‌های وابسته به آنها (۱) ۳۰
- شکل ۲-۱ المانهای مجزا و محل فصل مشترک آنها ۳۲
- شکل ۲-۲ نمایش فنرهای ارتجاعی در نقاط تماسی ۳۳
- شکل ۲-۳ ابعاد و مقطع دیوار آزمایش شده توسط فنگ و لی ۳۵
- شکل ۲-۴ مش بندی دیوار ۳۵
- شکل ۲-۵ منحنی بارگذاری _ تغییر مکان ۳۶
- شکل ۲-۶ منحنی هیستریزیس ۳۶
- شکل ۲-۷ نحوه تماس بین دو بلوک صلب (۷) ۴۰
- شکل ۲-۸ نحوه تماس بین دو بلوک تغییر شکل پذیر (۷) ۴۰
- شکل ۲-۹ نحوه تعریف گوشه‌های گرد در برنامه UDEC (۷) ۴۱
- شکل ۲-۱۰ قوانین ساختاری رفتار نرمال و برشی درزه‌ها (۷) ۴۴
- شکل ۲-۱۱ چرخه محاسبات در روش المان مجزا (۷) ۴۷
- شکل ۲-۱۲ مشخصات و نحوه بارگذاری نمونه (۵) ۵۰
- شکل ۲-۱۳ مقایسه منحنی تنش برشی در مقابل کرنش برشی حاصل از آزمایش و تحلیل نمونه ۵۱
- شکل ۲-۱۴ زون بندی و نحوه اعمال تنش برشی خالص در المان مرزی در نرم افزار ۵۱
- شکل ۲-۱۵ تغییر شکل بلوک نمونه ۱ در نرم افزار (با مقیاس بزرگ برای دید بهتر) ۵۲
- شکل ۲-۱۶ کانتور نمایش تنش نرمال در جهت محور x ۵۲
- شکل ۲-۱۷ کانتور نمایش تنش برشی در بلوک ۱ تحت برش خالص ۵۳
- شکل ۲-۱۸ تغییر شکل ماندگار و نحوه خرابی و محل ترک نرم افزار ۵۳
- شکل ۲-۱۹ مدل نمونه ۲ به همراه نمایش آرماتورهای آن در نرم افزار ۵۵
- شکل ۲-۲۰ کانتور نمایش تنش نرمال در راستای محور x ۵۵

- شکل ۲-۲۱ کانتور نمایش تنش نرمال در راستای محور y ۵۶
- شکل ۲-۲۲ کانتور نمایش تنش برشی در بلوک ۱ تحت برش خالص ۵۶
- شکل ۲-۲۳ مقایسه منحنی تنش برشی در مقابل کرنش برشی حاصل از آزمایش و تحلیل نمونه ۲ ۵۶
- شکل ۲-۲۴ مقایسه منحنی تنش برشی در مقابل کرنش برشی حاصل از آزمایش و تحلیل نمونه ۳ ۵۷
- شکل ۳-۱ پارامترهای لرزه‌ای دیوار آسیب‌دیده و دیوار آسیب‌نندیده [۱] ۵۹
- شکل ۳-۲ پارامترهای مورد نیاز جهت برآورد λk ۷۰
- شکل ۳-۳ الف: منحنی دو خطی ساده شده جهت برآورد سختی اولیه سازه، ب: ایده‌آسازی منحنی پوش مطابق دستورالعمل *FEMA 306* ۷۲
- شکل ۳-۴ الف: فاصله ترک در راستای افقی، ب: فاصله ترک در راستای قائم، ج: فاصله ترک در راستای ترک ۷۴
- شکل ۳-۵ تیر طره در معرض یک بار سهمی شکل در انتهای آزاد آن ۷۵
- شکل ۳-۶ مدل ساخته شده تیر طره در نرم افزار *UDEC* ۷۷
- شکل ۳-۷ تغییر شکل تیر طره در نرم افزار *UDEC* ۷۷
- شکل ۳-۸ کانتورهای جابجایی در راستای x تیر طره در نرم افزار *UDEC* ۷۸
- شکل ۳-۹ کانتورهای جابجایی در راستای y تیر طره در نرم افزار *UDEC* ۷۸
- شکل ۳-۱۰ کانتورهای تنش S_{xx} تیر طره در نرم افزار *UDEC* ۷۹
- شکل ۳-۱۱ کانتورهای تنش S_{yy} تیر طره در نرم افزار *UDEC* ۷۹
- شکل ۳-۱۲ کانتورهای تنش S_{xy} تیر طره در نرم افزار *UDEC* ۸۰
- ۳-۱۳ نمودار مقایسه حل تحلیلی با حل *DEM* برای تیر طره ۸۰
- شکل ۳-۱۴ دیوار برشی نمونه ۲ (۱۴) ۸۱
- دیوار برشی نمونه ۱ به‌مراه آرماتور گذاری ۳ *I5*-شکل ۸۲

- شکل ۱۶-۳ الگوی ترک خوردگی و گسترش خرابی در اثر بارگذاری جانبی نمونه ۱ ۸۳
- شکل ۱۷-۳ مقایسه منحنی ظرفیت - تغییر مکان حاصل از تحلیل و آزمایش نمونه ۱ ۸۳
- شکل ۱۸-۳ دیوار برشی نمونه ۲ به همراه آرماتور گذاری ۸۵
- ۱۹-۳ مقایسه آزمایش و آنالیز منحنی ظرفیت برشی - تغییر مکان نمونه ۲ ۸۵
- شکل ۲۰-۳ الگوی ترک خوردگی و گسترش خرابی در اثر بار گذاری جانبی دیوار برشی نمونه ۲ ۸۶
- شکل ۲۱-۳ کانتور جابجائی نمونه ۲ در جهت x ۸۶
- شکل ۲۲-۳ کانتور جابجائی نمونه ۲ در جهت y ۸۷
- شکل ۲۳-۳ کانتور تنش برشی در دیوار نمونه ۲ ۸۷
- شکل ۲۴-۳ الگوی ترک خوردگی و گسترش خرابی در اثر بار گذاری جانبی دیوار برشی نمونه ۳ ۸۸
- شکل ۲۵-۳ کانتور جابجائی نمونه ۳ در جهت x ۸۸
- شکل ۲۶-۳ کانتور جابجائی نمونه ۳ در جهت y ۸۹
- ۲۷-۳ مقایسه آزمایش و آنالیز منحنی ظرفیت برشی - تغییر مکان نمونه ۳ ۸۹
- شکل ۲۸-۳ نمودار گام زمانی - تغییر مکان نمونه ۳ در اثر بار گذاری جانبی ۹۰
- شکل ۲۹-۳ بلوک نمونه ۴ به همراه شرایط مرزی و زون بندی ۹۱
- شکل ۳۰-۳ دیوار برشی نمونه ۴ به همراه آرماتور گذاری ۹۲
- شکل ۳۱-۳ الگوی ترک خوردگی و گسترش خرابی در اثر بارگذاری جانبی دیوار برشی نمونه ۴ ۹۲
- شکل ۳۳-۳ کانتور تنش برشی نمونه ۴ ۹۳
- ۳۲-۳ مقایسه آزمایش و آنالیز منحنی ظرفیت برشی - تغییر مکان نمونه ۴ ۹۳
- شکل ۳۴-۳ دیوار برشی نمونه ۵ به همراه آرماتور گذاری ۹۴

- شکل ۳-۳۵ الگوی ترک خوردگی و گسترش خرابی در اثر بارگذاری جانبی دیوار برشی نمونه ۵ ۹۴
- شکل ۳-۳۶ نمودار گام زمانی - تغییر مکان نمونه ۵ در اثر بارگذاری جانبی ۹۵
- شکل ۳-۳۷ الگوی ترک خوردگی و گسترش خرابی در اثر بارگذاری جانبی دیوار برشی نمونه ۶ ۹۶
- شکل ۳-۳۸ الگوی ترک خوردگی و گسترش خرابی نمونه ۶ در آزمایشگاه ۹۷
- ۳-۳۹ مقایسه منحنی ظرفیت برشی - تغییر مکان حاصل از تحلیل و آزمایش نمونه ۵ و ۶ ۹۷
- شکل ۳-۴۰ مقایسه دیوار مایر (۱۸) با نمونه ۶ و شباهت آن در نوع خرابی (درصد آرماتورهای دیوارها مشابه‌اند) ۹۷
- شکل ۳-۴۲ الگوی ترک خوردگی نمونه ۵ (الف) *Diagonal Tension* (ب) *Preemptive Diagonal Tension* ۹۹
- شکل ۳-۴۱ الگوی ترک خوردگی نمونه ۳ (الف) مد *Preemptive Diagonal Tension* (ب) *Flexural Response* ۹۹
- شکل ۳-۴۳ الگوی ترک خوردگی نمونه ۶ (الف) *Web crushing* (ب) *Preemptive Diagonal Tension* ۱۰۰
- شکل ۳-۴۴ الگوی ترک خوردگی و گسترش خرابی در شدت آسیب ناچیز [۱] ۱۰۲
- شکل ۳-۴۵ نسبت سختی دیوار برشی آسیب‌دیده به دیوار اولیه بر اساس الف: ترک‌های برشی، ب: ترک‌های خمشی ایجاد شده در نرم افزار (مد رفتاری خمشی) ۱۰۳
- شکل ۳-۴۶ نسبت سختی دیوار برشی آسیب‌دیده به دیوار اولیه با قطر آرماتورهای مختلف بر اساس الف: ترک‌های برشی، ب: ترک‌های خمشی (مد رفتاری خمشی) ۱۰۵
- شکل ۳-۴۷ الگوی ترک خوردگی و گسترش خرابی در شدت آسیب شدید [۱] ۱۰۷
- ۳-۴۸ نسبت سختی سازه آسیب‌دیده به سازه اولیه بر اساس الف تغییر مکان ماندگار نسبی ب: تغییر مکان ماکزیمم نسبی حاصل از نتایج نرم‌افزار (مد رفتار کشش قطری) ۱۰۸
- ۳-۴۹ نسبت سختی سازه آسیب‌دیده به سازه اولیه بر اساس الف: عرض ترک‌های برشی ب: عرض ترک‌های خمشی حاصل از نتایج نرم‌افزار (مد رفتاری برشی) ۱۰۸

شکل ۳-۵۰ نسبت سختی دیوار برشی آسیب‌دیده به دیوار اولیه با قطر آرماتورهای مختلف بر اساس الف: عرض ترک‌های خمشی ب: عرض ترک‌های برشی از حاصل از نتایج نرم‌افزار (مد رفتاری کشش قطری) ۱۰۹

شکل ۳-۵۱ الگوی ترک خورگی و گسترش ترک در شدت آسیب شدید (۱) ۱۱۱

شکل ۳-۵۲ نسبت سختی دیوار برشی آسیب‌دیده به دیوار اولیه بر اساس عرض ترک‌های برشی و خمشی و تغییر مکان ماندگار نسبی و ماکزیمم نسبی (مد رفتاری خردشدگی جان) ۱۱۲

شکل ۳-۵۳ نسبت مقاومت دیوار برشی آسیب‌دیده به دیوار اولیه بر اساس عرض ترک‌های برشی (خردشدگی جان) ۱۱۳

شکل ۳-۵۴ نسبت سختی دیوار برشی آسیب‌دیده به دیوار اولیه بر اساس الف: عرض ترک‌های برشی ب: عرض ترک‌های خمشی (مد رفتاری برش قبل از جاری شدن آرماتورهای خمشی) ۱۱۳

شکل ۳-۵۵ نسبت سختی دیوار برشی آسیب‌دیده به دیوار اولیه با قطر آرماتورهای مختلف (مد رفتاری برش قبل از جاری شدن آرماتورهای خمشی) ۱۱۴

شکل ۳-۵۶ منحنی ظرفیت برشی بر اساس تغییر مکان در ۴ حالت مختلف بارگذاری محوری (الف) نمونه ۳ (ب) نمونه ۴ ۱۱۶

شکل ۳-۵۷ منحنی هیستریزیس دیوار برشی با شکل‌پذیری بالا (۱۹) ۱۱۷

شکل ۳-۵۸ K_n و K_s واقعی نمونه ۱ ۱۱۸

شکل ۳-۵۹ نمودار تنش کرنش مدل تغییر نیافته نمونه ۱ اما با مقدار K_n و K_s کمتر است ۱۱۹

شکل ۳-۶۰ نمودار تنش کرنش مدل تغییر نیافته نمونه ۱ اما با مقدار K_n و K_s بیشتر است ۱۱۹

فصل ۱- بررسی رفتار دیوار برشی ساختمان‌های بتنی در اثر

زمین‌لرزه

۱-۱- مقدمه

مروری بر تاریخچه صد سال گذشته زلزله‌های ایران نشان می‌دهد که هر ده سال یکبار زلزله-ای با بزرگی بین ۶/۵ تا ۸ درجه ریشتر به وقوع پیوسته است. در زلزله‌های شدید اخیر مشاهده شده که ساختمان‌های موجود دارای آسیب‌پذیری بالایی هستند. نکته قابل توجه این است که حتی در ساختمان‌های مدرن، خسارات جدی به بار آمده که به صورت شکست سنگین سازه‌ای و در مواردی هم انهدام کلی مشهود هستند. بنابراین به منظور دستیابی به یک دستورالعمل مناسب برای کاهش ریسک زلزله در مناطق به خصوص شهری، پیش‌بینی آسیب‌پذیری ساختمان موجود بر اثر زلزله‌های احتمالی آینده یکی از الزامی‌ترین کارها، در مهندسی سازه است.

تجربه حاصل از وقوع زلزله‌ها در حدود ۳۰ تا ۳۵ سال اخیر، نشان داده است که ساختمان‌های بتن‌آرمه، هر چند بر اساس آیین‌نامه‌های طراحی و ساخت کشور مربوطه بنا شده‌اند باز هم شکست و حتی تخریب در آنها اتفاق افتاده است. برای ساختمان‌های معمولی، در نظر گرفتن یک طرح مقاوم در برابر زلزله‌های نادر غیر اقتصادی می‌باشد. در چنین زلزله‌های استثنایی بایستی انتظار خرابی‌های قابل توجهی داشت ولی طراحی و ساخت باید به گونه‌ای باشد که تلفات جانی به حداقل مقدار ممکن برسد. یک طراح باید مشخصات سازه‌ای را به گونه‌ای مورد توجه قرار دهد که در زلزله‌های احتمالی وقوع تغییر مکان‌های نسبتاً بزرگ بدون این که مقاومت سازه در برابر نیروهای جانبی کاهش چشم-گیری داشته باشد امکان‌پذیر بوده و همچنین برای تحمل بارهای ثقلی سالم باقی بماند.

خرابی‌های سنگینی که در ساختمان تحت اثر زلزله مشاهده شده عموماً ناشی از ارتعاش سازه‌ای شدید در محدوده غیرخطی می‌باشد. این در حالی است که آیین‌نامه‌های زلزله و از جمله آیین‌نامه

۲۸۰۰ ایران، روابط ساده شده‌ای جهت تحلیل استاتیکی معادل سازه‌ها ارائه می‌دهند که جوابگوی رفتار واقعی سازه نمی‌باشد.

چون آسیب در منطقه پلاستیک شکل می‌یابد لذا تحلیل آسیب‌پذیری باید در این محدوده انجام گردد. مدل سازه‌ای باید قادر بر مدل کردن انواع المان‌های بتن‌آرمه بوده و تحلیل صحیحی از عملکرد غیرخطی آنها ارائه دهد. تعریف صحیح رفتار هیستریزیک بتن بر اثر نیروهای رفت و برگشتی نیز لازمه یک مدل سازه‌ای مناسب می‌باشد.

بقای سازه‌های بتن آرمه که تحت اثر زلزله‌های بزرگ قرار می‌گیرند بسته به ظرفیت شکل آنها در ناحیه پلاستیک است. بنابراین مهم‌ترین نکته در تعیین آسیب‌پذیری یک ساختمان شناسایی نقاط ضعف آن می‌باشد. این پایان‌نامه به بررسی رفتار دیوارهای برشی ساختمان‌های بتنی از پیش آسیب دیده پرداخته می‌شود.

۲-۱- کلیات:

مطالعه خسارات وارد بر ساختمان‌ها منجر به شناخت رفتار آنها در برابر زمین‌لرزه می‌گردد. ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌ای که در زمین‌لرزه رفتار ناشناخته‌ای از خود نشان می‌دهد کار ساده‌ای نیست. در واقع پیش‌بینی رفتار سازه است که ارزیابی آسیب‌پذیری را ممکن می‌سازد. از آن گذشته یک طراحی خوب مقاوم در برابر لرزه، نیاز به دانش چگونگی رفتار سازه تحت بار زمین‌لرزه دارد.

نکته دیگری که باید در اینجا متذکر شد این است که اعضای سازه‌ای تحت تاثیر زمین‌لرزه‌های متوسط و شدید، از محدوده خطی مصالح خارج شده و از خود رفتار غیرخطی نشان می‌دهند و از آنجایی که نیروهای ناشی از زمین‌لرزه، نیروهای دوره‌ای و دینامیک هستند، به منظور نزدیک شدن به این امر می‌توان به رفتار غیرخطی ساختمان‌ها تحت بارهای دینامیکی پرداخت در این قسمت قبل از بررسی و ارزیابی آسیب‌ها به رفتار غیرخطی مصالح و دیوار برشی در ساختمان‌های بتنی پرداخته می‌شود.

۳-۱- رفتار غیر خطی مصالح ساختمانی تحت بارهای نوسانی

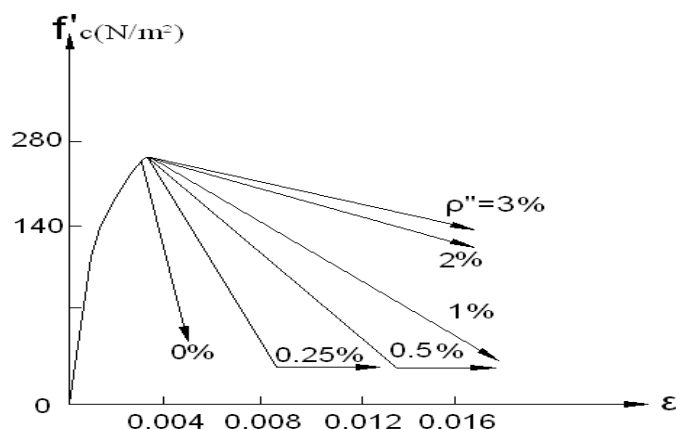
قبل از وارد شدن به بحث رفتاری در اعضای ساختمان‌های بتنی مسلح باید از رفتار مصالح ساختمانی آنها شناخت حاصل گردد. مصالح ساختمانی بتن مسلح متشکل از بتن و فولاد تسلیح است که به دو صورت آرماتورهای طولی و عرضی در مقاطع ساختمانی شبکه‌ای از آرماتور در بتن به کار می‌رود.

۱-۳-۱- رفتار بتن

مقاومت فشاری بتن با آزمایش بر روی نمونه‌های استوانه‌ای یا مکعبی با ابعاد استاندارد به دست می‌آید. *Error! Reference source not found.* رابطه تنش - کرنش بتن را تحت فشار محوری در نمونه‌های استوانه‌ای نشان می‌دهد و بیانگر رابطه شماتیک تنش - کرنش بتن است. در این رابطه ۳ قسمت متمایز قابل تشخیص می‌باشد. قسمت اول که خطی و ارتجاعی است، قسمت دوم و قسمت سوم غیر خطی و با کاهش ظرفیت باربری تا تنش نهایی f_{cu} و کرنش مربوطه ϵ_{cu} پیش می‌رود. شکل شاخه نزولی منحنی تنش - کرنش با مقدار میلگرد عرضی که باعث خاصیت محصور شدگی در هسته بتنی می‌گردد تغییر می‌کند. این قسمت از منحنی در تئوری خمش تیرها و کاربرد تئوری حد نهایی نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند. شکل ۱-۱ نقش خاموت محبوس کننده و افزایش درصد آن را در اصلاح این منحنی نشان می‌دهد. در این منحنی افزایش کرنش نهایی نیز به چشم می‌خورد. البته کرنش نهایی پیشنهاد شده برای بتن محافظه کارانه است و بتن در حالت حد نهایی ظرفیت باربری زیاد دارد که به میزان محصور شدگی آن بستگی دارد. (۲، ۱۳۷۷).

کرنش بتن افزایش پیدا می‌کند. ضمن این که در مقدار تنش افزایش قابل توجهی را موجب نمی‌شود. مسئله دیگر این که مقاومت حد تسلیم خاموت‌ها نیز در رفتار بتن تاثیر دارد که باید به آن توجه نمود.

بر اساس آنچه بیان شد، چنین نتیجه می‌شود که با محبوس نمودن بتن با خاموت، ظرفیت برای سهولت محاسبات مقاومت خمشی و تغییر شکل اعضا و همچنین مدل سازی رفتار بتن، لازم است یک مدل ایده‌آل برای رابطه تنش - کرنش در اختیار باشد. شکل ۱-۲ یک مدل ساده برای رابطه تنش - کرنش را نشان می‌دهد که شامل یک قسمت سهمی و یک قسمت خطی است. (۲)

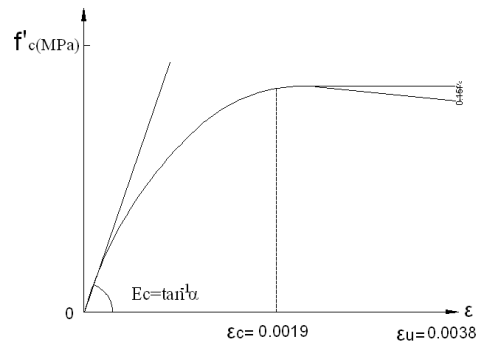


شکل ۱-۲ تاثیر درصد آرماتور عرضی و محبوس کننده‌ها در شکل و کیفیت منحنی تنش - کرنش (۲)

۲-۳-۱ رفتار آرماتور

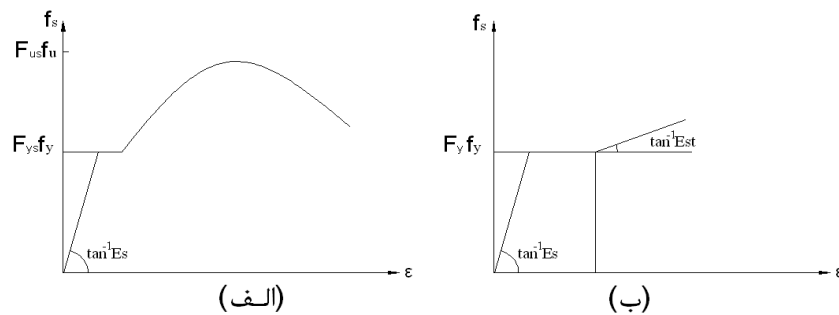
روابط تنش - کرنش برای آرماتور در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. آرماتورها بر اساس مقاومت انواع مختلفی دارند که در سازه‌های بتنی مسلح به کار می‌روند. همچنین شکل ظاهری نیز آنان را به آرماتورهای ساده و آجدار تقسیم می‌نمایند. منحنی نشان داده شده در شکل ۱-۳ رفتار غیرخطی فولاد تحت بار یکنواخت بیان می‌دارد که در آن نقاط مجزای برای تعیین منحنی تنش - کرنش مدل تحلیلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل ایده‌آل این منحنی معمولاً به صورت دو خطی بوده و در بعضی حالات، سخت شدگی کرنش نیز برای آن منظور است. مقدار مدول یانگ E_s تقریباً

$$2 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2} \text{ می‌باشد. [۲]}$$



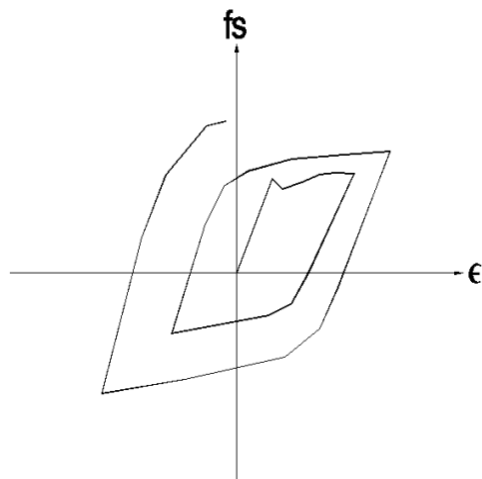
۱-۲ روابط تنش - کرنش تحت بار فشاری - رابطه ایده‌ال

رابطه تنش - کرنش آرماتور تابعی از مشخصات اولیه فولاد، وضعیت تنش در آرماتور، سرعت بارگذاری و نوسان می‌باشد. از این رو رفتار آن در بارگذاری نوسانی متفاوت از حالت بارگذاری یکنواخت می‌باشد. در شکل ۱-۴ تعاریف پارامترهای اصلی و مشخصات منحنی تنش - کرنش تحت



شکل ۱-۳ رابطه تنش - کرنش فولاد (الف) رابطه حقیقی (ب) رابطه ایده‌ال (۲)

نوسان بیان شده است که در آن رفتار واقعی، رفتار ایده‌ال. اثر بوشینگ، تنزل سختی، و تجاوز از نقطه تسلیم (f_y) در اثر سخت شدگی مجدد، سخت شدگی نوسانی (*cyclic strengthening*)، نرم شدگی نوسانی (*cyclic softening*) و لختی نوسانی (*cyclic relaxation*) به چشم می‌خورد. (۲)



شکل ۴-۱ منحنی هیستریزیس کامل آرماتور فولادی

همچنین شکل ۴-۱ منحنی هیستریزیس کامل آرماتور فولادی می‌باشد. که در آن سه بخش متمایز وجود دارد. الف) قسمت بارگذاری، ب) قسمت بار برداری، که می‌تواند به صورت یک خط مستقیم و موازی با منحنی بارگذاری اولیه تعریف شود ج) قسمت نرم شونده، که دارای بیشترین اثر پوشینگر می‌باشد. در ضمن شکل منحنی تابعی از تاریخچه تنش‌های قبلی و میزان تغییر شکل‌های غیرارتجاعی در تناوب‌های اولیه می‌باشد.

۳-۳-۱- رفتار متقابل بتن و فولاد

از آنجایی که در سازه‌های بتنی مسلح، بتن و فولاد با یکدیگر کار می‌کنند، در اینجا تاثیر متقابل آنها با یکدیگر بررسی می‌گردد.

۱-۳-۳-۱- چسبندگی آرماتور و بتن:

مقاومت چسبندگی بین آرماتور و بتن از طریق چسبندگی شیمیایی و اصطکاک بین آن دو به وجود می‌آید.