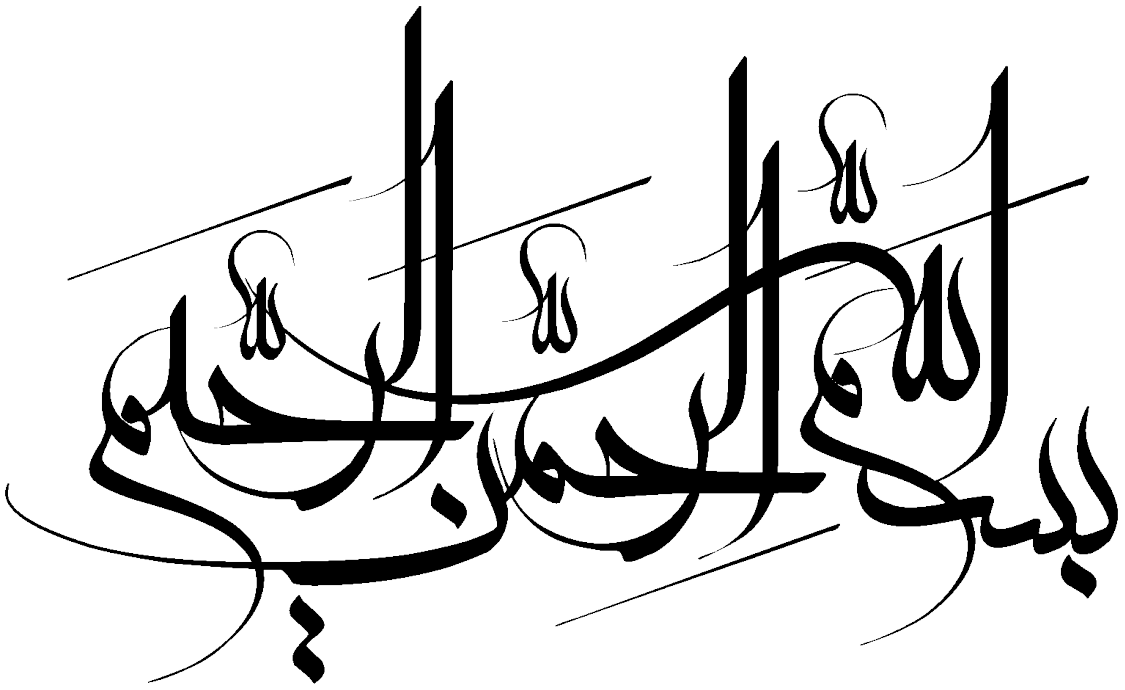
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی عمران

گرایش سازه

عنوان پایان نامه:

مدل سازی رفتار غیرخطی مصالح بنایی غیرمسلح با استفاده از روش چندصفحه ای

استاد راهنما:

دکتر امیرهوشنگ اخویسی

نگارش:

سینا رضوان

بهمن ماه ۱۳۹۲

کلیه حقوق مادی مرتبط با نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

تقدیر و تشکر

تقدیم به

پدر و مادر عزیزتر از جانم

که در تمامی مراحل زندگی با از

خود گذشتگی مسیر زندگیم را هموار نمودند

چکیده

مصالح بنایی در گذشته های دور، با توجه به نقش باربری قابل توجه، مصالح اصلی ساخت و ساز را تشکیل می دادند. این مصالح اولین بار با مشاهده سخت شدن گل در کناره کوره ها و تنورهای پخت و پز، مورد توجه قرار گرفتند و این مسئله اساس ساخت آجرهای امروزی را تشکیل می دهد. در آن زمان تنها به دلیل استحکام و در دسترس بودن مورد استفاده قرار می گرفت اما با گذشت زمان و مشاهده رفتار و عملکرد آن ها در شرایطی مثل زمین لرزه و باد و این که انسان همیشه به دنبال امنیت خاطر و آسایش می باشد، نیاز به شناخت رفتار دقیق تر این مصالح بیش از پیش احساس شد. در گذشته که تکنولوژی از شکل امروزی فاصله داشت، اکثر تحقیقات و بررسی ها حالت آزمایشگاهی داشت. به تدریج با پیشرفت علم و تکنولوژی دانشمندان به تحلیل های دقیق و علمی این مصالح در مقیاس کوچک و در مقیاس سازه های واقعی پرداختند.

مدل سازی عددی دیوارهای آجری به طور کلی به پنج دسته مدل سازی میکرو یا ریزمدل سازی و مدل سازی ماکرو یا درشت مدل سازی و المان های ابداعی و حالت حدی و چند مقیاسی تقسیم می شوند. همان طور از ظاهر مشخص است، دیوار آجری یک ماده مرکب از سه جزء اصلی می باشد؛ آجر، ملات و سطح تماس آجر و ملات. در مدل سازی میکرو هر کدام از اجزاء دیوار آجری به طور جداگانه مدل سازی می شوند. هر چند که مدل سازی در این روش از دقت قابل توجهی برخوردار است، اما از نظر حجم محاسبات و شیوه مدل سازی، بسیار پیچیده است و برای مدل سازی در ابعاد بزرگ کاربردی ندارد. در مدل سازی ماکرو ، دیوار آجری به صورت یک ماده هموژن و یک دست، با خواص مکانیکی معادل فرض می شود. مدل سازی در این روش ساده بوده و حجم محاسبات نیز بسیار کمتر از مدل سازی میکرو می باشد. در روش سوم از یک سری المان های معادل به جای مدل سازی کل دیوار استفاده می شود. روش حدی نیز به مدل سازی المان های لاغر مصالح بنایی و طاق ها و قوس ها و بحث پایداری آن ها می پردازد و روش چند مقیاسی نیز از مزایای هر دو روش ماکرو و میکرو به منظور مدل سازی بنایی، بهره می گیرد. از جمله روش های عددی به کار رفته جهت مدل سازی عددی دیوارهای آجری نیز می توان به روش های اجزاء محدود و اجزاء مجزا اشاره کرد. بسیاری از مدل های عددی ارائه شده در این زمینه نیاز به پارامترهای متعددی دارند که لازمه داشتن آن ها، انجام آزمایش های غیرمتعارف و پرهزینه است و اجرای آن نیز نیاز به مهارت محاسباتی زیادی دارد، در این پایان نامه سعی شده یک مدل ماکرو با استفاده از نتایج تست های ساده و متعارف آزمایشگاهی برای ارزیابی دیوار بنایی غیرمسلح ارائه گردد. در واقع با داشتن نمودار تنش– کرنش یک منشور بنایی و خواص معمولی مانند مدول الاستیسیته و نسبت پواسون بنایی، مدل مذکور قادر خواهد بود تا رفتار غیرخطی یک دیوار بنایی را مدل سازی کند.

رفتار بنایی غیر ایزوتروپیک است و در گذشته مدل هایی ارتوتروپیک برای مدل سازی آن در مقیاس ماکرو ارائه شده، ولی به دلیل نیاز به پارامترهای فراوان و پیچیده بودن آن، این مدل ها زیاد مورد استقبال قرار نگرفتند، برای رفع این نواقص یعنی ساده کردن تحلیل و در عین حال بالا بردن دقت آن در این تحقیق از یک ابتکار جدید جهت تحلیل دیوار بنایی استفاده شده است و آن استفاده از مدل چندصفحه ای است که اولین بار در مطالعه رفتار خاک به کار گرفته شده است، این مدل قادر است رفتار غیرایزوتروپیک تحمیلی ماده را به صورت خود به خود پس از تسلیم در نظر بگیرد، ویژگی عمده مدل چند صفحه ای، ارائه مدل ساختاری در صفحه است و نه در فضا، و از پیچیدگی های بیش از حد مدل های ساختاری در فضا در آن خبری نیست. اساس نظریه چندصفحه ای، تعیین ارتباط عددی بین دو حالت رفتارهای بین ذره ای (رفتارریزمقیاس) و خواص مکانیکی مهندسی (رفتاردرشت مقیاس) درقالب یک معادله ساختاری است. به عبارت دیگر، دراین حالت خواص ماده، ازویژگی هریک از اجزای سازنده آن به دست می

آید و دست یابی به رفتار تنش- کرنش مصالح، با بررسی رفتاربین ذره ای نیزامکان پذیراست. این چهارچوب که دراصل کاربرد انتگرال گیری عددی درجمع آوری آثار مختلف دریک پهنه به حساب می آید، درپیش بینی رفتارمواد مرکب، بتن آرمه، نرم شدن مواد کشسان – خمیری وحتی محاسبه تغییرات ضریب نفوذپذیری خاک به تناسب تغییرشکل های خمیری در پهنه توده خاک، بکارگرفته شده است. دراین الگو چون رابطه ساختاری برای تعدادی صفحه مستقل نوشته می شود و ازطرفی این صفحه ها ازنظر درجه فعالیت، تغییرشکل خمیری، سخت شدگی وحتی گسیختگی متفاوت هستند، شکل ونزدیک ترین امتدادگسیختگی درهرسازه، قابل دست یابی است. در این پایان نامه سعی شده است تا در قالب برنامه نویسی به زبان برنامه نویسی متلب ابتدا رفتار درون صفحه ای مصالح بنایی در آزمایش سه محوره مدل سازی گردد و سپس امکان سنجی ای جهت استفاده از این مدل رفتاری در یک برنامه اجزاء محدود صورت گیرد. پس از اطمینان از صحت جوا ب های ارائه شده در قالب روش اجزاء محدود، دیوار بنایی بدون بازشویی که مورد تحقیق بسیاری از پژوهش ها قرار گرفته، تحت بار های جانبی با استفاده از الگوریتم ارائه شده، مورد تحلیل قرار بگیرد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: بررسی رفتار بنایی و انواع روش های مدل سازی

۱-۱- مقدمه..... ۲
۱-۱-۱- حدود تحقیق:..... ۳
۱-۲-تاریخچه بنایی..... ۴
۱-۳- رفتار سازه های بنایی..... ۶
۱-۳-۱-رفتار ساختمان بنایی مسلح..... ۸
۱-۳-۲-رفتار سازه بنایی غیر مسلح..... ۸
۱-۳-۲-۱- دیوار آجری مجزا..... ۸
۱-۳-۲-۱-۱- دیوارهای دارای بازشو:..... ۸
۱-۳-۲-۱-۲- دیوارهای بدون بازشو:..... ۱۱
۱-۳-۲-۱-۲-۱- رفتار داخل صفحه..... ۱۱
۱-۳-۲-۱-۲-۲- رفتار خارج از صفحه..... ۱۳
۱-۳-۲-۲-دیوار آجری غیرمسلح در ساختمان..... ۱۵
۱-۴- انواع روش های مدل سازی..... ۱۸
۱-۴-۱ ریز مدل سازی..... ۲۰
۱-۴-۱-۱- ریزمدل سازی پرجزئیات..... ۲۱
۱-۴-۱-۲- ریز مدل سازی ساده شده..... ۲۳
۱-۴-۲- همگن ساز ی و درشت مدل سازی..... ۲۷
۱-۴-۲-۱- ملزومات درشت مدل سازی..... ۲۷
۱-۴-۲-۲- اصول اصلی همگن سازی..... ۲۹
۱-۴-۲-۲-۱- روش های همگن سازی در ناحیه الاستیک خطی..... ۳۳
۱-۴-۲-۲-۱-۱- روش های یک و دو مرحله ای..... ۳۴
۱-۴-۲-۲-۱-۲- کاهش درزها به سطوح مشترک..... ۳۶
۱-۴-۲-۲-۱-۳- روش های المان محدود..... ۳۸
۱-۴-۲-۲-۲- همگن سازی در محدوده غیرالاستیک..... ۴۰
۱-۴-۲-۲-۲-۱- روش های تقریبی..... ۴۱
۱-۴-۳- روش های چند مقیاسی..... ۴۲
۱-۴-۳-الف-پیوسته سازی وهمگن سازی تحلیلی..... ۴۴
۱-۴-۳-ب-همگن سازی محاسباتی..... ۴۴

۱-۴-۴- روش حالت حدی..... ۴۷
۱-۴-۵- مدل سازی به روش المان های ابداعی..... ۴۸

فصل دوم: انواع روشهای تحلیلی رفتار بنایی غیرمسلح

۲-۱- انواع روش های تحلیل..... ۵۳
۲-۱-۱- روشهای شبه استاتیک..... ۵۳
۲-۱-۱-۱-روش های تعادل..... ۵۴
۲-۱-۱-۱-۱-روش های تعادل ترسیمی..... ۵۶
۲-۱-۱-۱-۲-روش های تعادل عددی..... ۵۷
۲-۱-۱-۲-روش های مقاومت..... ۵۹
۲-۱-۱-۲-۱-روش های تحلیلی الاستیک..... ۶۰
۲-۱-۱-۲-۱-۱- مدلهای الاستیک خطی..... ۶۰
۲-۱-۱-۲-۱-۲- مدل های الاستیک غیرخطی..... ۶۰
۲-۱-۱-۲-۲- مدل های پلاستیسیته..... ۶۱
۲-۱-۱-۲-۲-۱- ضابطه تسلیم..... ۶۴
۲-۱-۱-۲-۲-۲- عملیات های پرتابی به سمت سطح تسلیم..... ۶۵
۲-۱-۱-۲-۲-۲-۱-پرتاب راست گوشه..... ۶۷
۲-۱-۱-۲-۲-۲-۲-پرتاب مورب..... ۶۸
۲-۱-۱-۲-۲-۳- قانون جریان..... ۷۰
۲-۱-۱-۲-۲-۴- سخت شوندگی..... ۷۱
۲-۱-۱-۲-۳-سایر روش ها..... ۷۵
۲-۱-۱-۲-۳-۱- مدل نرم شوندگی کرنش وپلاستیسیته فضای کرنش:..... ۷۵
۲-۱-۱-۲-۳-۲-تئوری زمان-پایه غیرالاسیتک :..... ۷۶
۲-۱-۱-۲-۳-۳- مدل های شکست و خرابی محیط پیوسته..... ۷۷
۲-۱-۱-۲-۳-۴- مدل های ترک پخشی ارتوتروپیک:..... ۸۳
۲-۱-۲-روش های تحلیل دینامیکی..... ۸۳
۲-۱-۲-۱-روش های تحلیلی..... ۸۴
۲-۱-۲-۱-۱-حرکت گهواره ای بلوک..... ۸۴
۲-۱-۲-۱-۲-قوس..... ۸۵
۲-۱-۲-۲-روشهای محاسباتی..... ۸۶

فصل سوم: معرفی روش چند صفحه ای

۳-۱-اساس نظریه چند صفحه ای..... ۸۹
۳-۲-تاریخچه نظریه چند صفحه ای..... ۹۱
۳-۳- مفهوم عددی نظریه چند صفحه ای..... ۹۲
۳-۴- الگوی کشسان – خمیری چند صفحه ای با قانون سخت شوندگی همسان..... ۹۴
۳-۴- ۱- رابطه ساختاری..... ۹۴
۳-۴-۲- معیار تسلیم..... ۹۴
۳-۴-۳- تابع پتانسیل خمیری..... ۹۵
۳-۴-۴- قانون سخت شوندگی همسان(ایزوتروپیک)..... ۹۷
۳-۴-۵- قانون جریان و شرط سازگاری..... ۹۸
۳-۵- مثالی از کاربرد روش چند صفحه ای..... ۱۰۱
۳-۵-۱- ضابطه تسلیم شامل سخت شدگی انحرافی..... ۱۰۲
۳-۵-۲- ضابطه تابع پتانسیل پلاستیک..... ۱۰۴
۳-۵-۳- مدل سازی عددی..... ۱۰۵

فصل چهارم: تحلیل دیوار بنایی با استفاده از الگوی چند صفحه ای

۴-۱- مدل سازی عددی رفتار منشور بنایی با استفاده از روش چند صفحه ای..... ۱۱۱
۴-۱-۱- ضابطه تسلیم..... ۱۱۱
۴-۱-۲- تابع پتانسیل خمیری..... ۱۱۲
۴-۱-۳- قانون جریان وشرط سازگاری..... ۱۱۲
۴-۱-۴- مدل های تجربی عددی و آزمایشگاهی مصالح بنایی..... ۱۱۳
۴-۱-۵- پارامتر های مدل سازی..... ۱۱۴
۴-۱-۶- مقایسه نتایج تحلیل عددی با نتایج تجربی..... ۱۱۵
۴-۲- به کارگیری مدل رفتاری به دست آمده در تحلیل های اجزاء محدود..... ۱۱۹
۴-۲-۱- دیوار بنایی آجری تحت بار گذاری قائم..... ۱۱۹
۴-۲-۲- بارگذاری افقی دیوارهای بنایی آجری و سنگی..... ۱۲۱
۴-۲-۲-۱- دیوار آجری..... ۱۲۱
۴-۲-۲-۲- دیوار سنگی..... ۱۲۴

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهاد

۵-۱-خلاصه..... ۱۲۷
۵-۲- پیشنهاد..... ۱۲۸

پیوست ۱: ۱۲۹
آزمایشهای بنایی **۱۲۹**
پ-۱-آزمایشات بنایی..... ۱۳۰
پ-۲-اثر ابعاد:..... ۱۳۲
پ-۳-ویژگی های آجر و ملات..... ۱۳۳
پ-۴ - خواص صفحه اتصال واحد-ملات..... ۱۳۵
پ-۵-ویژگی های مصالح مرکب..... ۱۴۱
پ-۵-۱-رفتار فشاری تک محوری بنایی..... ۱۴۱
پ-۵-۲-رفتار کششی تک محوری بنایی..... ۱۴۴
پ-۵-۳-رفتار دو محوری..... ۱۴۵
منابع ۱۵۰

فهرست اشکال

شکل **صفحه**

شکل ۱-۲) دیوارهای بنایی امپراتوری روم : الف- دیوار آجر چسبیده شده، ب- دیوار با نمای آجری به همراه ردیف های آجر کله، پ- دیوار با نمای آجری[۴۸]..... ۶
شکل ۱-۳) انواع مختلف بنایی سنگی: الف-بنایی با قلوه سنگ ، ب-بنایی با سنگ بادبر ، پ-بنایی با سنگ بادبر با ارتفاع مساوی در یک رج [۳۹]..... ۶
شکل ۱-۴) تنظیمات متفاوت بنایی آجری: الف- آجرچینی آمریکایی ، ب-آجرچینی انگلیسی ، پ-آجرچینی فنلاندی ت- آجرچینی کشتی یا راسته چینی ، ث- آجرچینی انباشته [۳۹]..... ۷
شکل ۱-۵) زیر اجزا در ساختمان بنایی، دیوارها در طول زلزله به صورت واحدهای مجزا رفتار می کنند.(به ترتیب نام گذاری دیوارها از بالا عبارتند از دیوار پیشانی، دیوار پایه و دیوار آستانه)[۴۷]..... ۹
شکل ۱-۶) دو نوع مود گسیختگی در دیوار دارای بازشو[۴۷]..... ۹
شکل ۱-۷) لغزش افقی در ساختمان بنایی غیر مسلح [۴۷]..... ۱۰
شکل ۱-۸) مکانیسم های گسیختگی برای دیوار دارای بازشو[۴۷]..... ۱۱
شکل ۱- ۹) مودهای گسیختگی ماکروسکوپیک مربوط به یک پانل بنایی..... ۱۳
شکل ۱-۱۰) انواع متفاوت گسیختگی در دیوارها به دلیل عکس العمل خارج از صفحه [۴۷]..... ۱۴
شکل ۱-۱۱) مودهای شکست برون صفحه ای دیوار آجری الف-شکست خمشی در راستای قائم ب-شکست خمشی در راستای افقی[۴]..... ۱۴
شکل ۱-۱۲) رفتار لرزه ای ساختمان بنایی، اثر کلاف و دیافراگم الف-ساختمان با سقف انعطاف پذیر و بدون کلاف، ب-ساختمان با سقف انعطاف پذیر و کلافدار، ج-ساختمان با سقف صلب و کلافدار[۴]..... ۱۵
شکل ۱-۱۳) حالت های شکست شکست درون صفحه و برون صفحه دیوار آجری غیرمسلح در ساختمان [۲]. ۱۷
شکل ۱-۱۴) مکانیزم شکست بر اثر زلزله a- ترک برشی(قطری)، b- ترک کششی ناشی از خمش خارج از صفحه، c- ترک کششی ناشی از خمش درون صفحه، d- ترک کششی ناشی از تمرکز تنش [۲]..... ۱۸
شکل ۱-۱۵)تقسیم بندی کلی روش های مدل سازی[۶۱]..... ۲۰
شکل ۱-۱۶) مودهای گسیختگی بنایی: (الف) ترک خوردگی اتصال ناشی از کشش مستقیم (ب)لغزش در امتداد درز قائم یا افقی (پ) ترک خوردگی واحدها در جهت کششی (ت)ترک خوردگی کششی قطری واحد (ث) گسیختگی فشاری به علت اتساع ملات.[۳۹]..... ۲۳
شکل۱-۱۷) تقسیم سلول بنایی به ۴ بخش و ۳۶ حوزه برای به دست آوردن سطح تسلیم[۴۶]..... ۲۴
شکل۱-۱۸) ساده سازی به وسیله متمرکز کردن درز ملات و دو سطح مشترک طرفین به یک المان سطح مشترک..... ۲۴
شکل ۱-۱۹) سطح گسیختگی ارائه شده توسط لورنکو و کپ فشاری خطی پیشنهاد شده در [۲۰]..... ۲۶
شکل ۱-۲۰)پوش تسلیم ۲ محوره بر اساس مقاومت تک محوره در ۲ جهت عمود بر هم[۶۱]..... ۲۹
شکل۱-۲۱) گزینه های مختلف برای در نظر گرفتن المان حجم نماینده (RVE)..... ۳۰
شکل۱-۲۲) سلول مقدماتی استفاده شده در مدلسازی المان محدود[۴۲]..... ۳۱
شکل۱-۲۳) a) دیوار بنایی b)روش دو مرحله ای پندی c) روش دو مرحله ای پیتروسچک d) روش استوانه بیضیگون بتی و همکاران e) روش یک مرحله ای گانگ ونگ و همکاران[۳۰]..... ۳۶

شکل ۱-۲۴) سلول اولیه استفاده شده در مدلهای اینترفیس الف-ضخامت صفر درزهای ملات ،ب-ضخامت محدود درزهای ملات[] ۳۸
شکل ۱-۲۵) اعمال شرایط مرزی جابجایی روی سلول اولیه ۳۹
شکل۱-۲۶) روش غیر خطی ساده شده تنها با در نظر گرفتن گسیختگی درزها ،وضعیت خراب شده درزها در نزدیکی گسیختگی ۴۲
شکل ۱-۲۷) همگن سازی محاسباتی [۳۴] ۴۴
شکل ۱-۲۸)مدل سازی مکانیزم های گسیختگی بنایی با استفاده از المان های معادل ابداعی[۱۹] ۵۱
شکل۲-۱) تحلیل ترسیمی قوس بنایی توسط: الف)اسنل در سال ۱۸۴۶ و ب) هرتا در سال ۲۰۰۴[۲۳] ۵۷
شکل۲-۲) مکانیزم تشکیل سه میله در اثر نوسان افقی زمین[۲۳] ۵۸
شکل ۲-۳) نمودار تنش در مقابل کرنش های پلاستیک برای چند مدل سخت شوندگی(رفتار پس از تسلیم)[۳۸] ۶۳
شکل ۲-۴) شکل شماتیک از روش پرتاب راست گوشه در عملیات های پرتابی به سطح تسلیم[۱۶] ۶۸
شکل ۲-۵) شکل شماتیک از روش پرتاب مورب در عملیات های پرتابی به سطح تسلیم[۱۶] ۶۹
شکل۲-۶) سخت شوندگی ایزوتروپیک، که در آن سطح تسلیم با تغییر شکل پلاستیک توسعه می یابد،[۲۴] .. ۷۱
شکل۲-۷) بارگذاری معکوس در سخت شوندگی ایزوتروپیک [۲۴] ۷۲
شکل ۲-۸) نمایش سخت شوندگی سینماتیک:شکل سمت چپ، انتقالی به میزان $\boldsymbol{X}$ از سطح تسلیم با کرنش پلاستیک و شکل سمت راست، منحنی تنش-کرنش منتجه با شیفت تنش تسلیم در فشار (اثر باشینگر) [۲۴] ۷۳
شکل۲-۹) نمایش سخت شوندگی مرکب [۲۴] ۷۳
شکل ۲-۱۰) معیار اصلاح شده هیل[۱] ۷۴
شکل ۲-۱۱) نمودار تنش-کرنش تک محوری الف-مدل مصالح الاستوپلاستیک ب-مدل مصالح الاستوپلاستیک با زوال پلاستیک ج-مدل مصالح با کوپل زوال-پلاستیک[۴۴] ۸۰
شکل۲-۱۲) ناحیه درشت ترک بدون تنش و ناحیه فرآیند شکست[۴۴] ۸۱
شکل۲-۱۳) الف-پاسخ بتن در کشش تک محوری و ب-نرم شوندگی کشش[۴۴] ۸۲
شکل ۲-۱۴) سه تقریب برای پاسخ نرم شوندگی در بتن الف-نمایی ، ب-دوخطی و پ-خطی[۴۴] ۸۲
شکل۲-۱۴) تحلیل نوسان بلوک توسط هوزنر در سال(۱۹۶۳) :الف)تعریف جنبش نوسانی و ب) دوره نوسان طبیعی(T) به صورت تابعی اززاویه نوسان (Θ_0) . (توجه : $\boldsymbol{I}^\circ$ ممان اینرسی بلوک حول نقطه O است.)[۲۲] ... ۸۵
شکل ۳-۱) الف-نمایش تجمع واقعی ذرات خاک ب-نمایش دوبعدی از تجمع قطعات چندوجهی مصنوعی[۶] ۹۱
شکل۳-۲) ۲۶نقطه نمونه جهت انتگرال عددی روی کره باشعاع واحد [۴۸] ۹۳
شکل۳-۳) نمایش ۱۳ صفحه نمونه در یک نقطه تنش [۴۸] ۹۳
شکل ۳-۴) سطح تسلیم ،تابع پتانسیل خمیری،خط حالت بحرانی و دامنه کشسانی درفضای $\boldsymbol{\tau}:\boldsymbol{\sigma n'}$ ۹۷
شکل ۳-۵) بسیج شدن زاویه اصطکاک $\boldsymbol{\phi_m}$ با شروع حرکت از زاویه اولیه ϕ_0 تا زاویه پیک ϕ [۵۸] ۱۰۳
شکل ۳-۶) کشش و تابع پتانسیل انحرافی[۵۸] ۱۰۴
شکل ۳-۷) رابطه بین زاویه اصطکاک بسیج شده ϕ_m و زاویه اتساع بسیج شده ψ_m [۵۸] ۱۰۵
شکل ۳-۸) شبکه بندی اجزاء محدود، هندسه و شرایط مرزی برای تحلیل های اجزاء محدود(شبکه بندی متوسط با ۵۴۶ المان[۵۸] ۱۰۶
شکل ۳-۹) ردیف بالا:گسترش نرخ کرنش های پلاستیک برشی بر روی صفحات بحرانی $\Delta\gamma^{vp}_{max}$ ۱۰۸

ردیف پایین: زاویه اصطکاک بسیج شده ϕ_m بر روی صفحات بحرانی در شبکه بندی تغییر یافته[۵۸].....۱۰۸
شکل ۳-۱۰)ارزیابی وابستگی به شبکه بندی، نرخ کرنش های برشی پلاستیک(۱٪ بارگذاری در هر گام) بر روی صفحات بحرانی در ۳ نوع شبکه بندی ریز، متوسط و درشت[۵۸].....۱۰۹
شکل ۴-۱) رفتار فشاری منشور بنایی.....۱۱۴
شکل ۴-۲) نمودار رفتاری مصالح بنایی آجری در فشار.....۱۱۶
شکل ۴-۳) نمودار رفتاری مصالح بنایی آجری در کشش.....۱۱۶
شکل ۴-۴) نمودار رفتاری مصالح بنایی سنگی در فشار.....۱۱۷
شکل ۴-۵) دیوار بنایی آجری تحت بار قائم فشاری.....۱۲۰
شکل ۴-۶) نمودار تنش-کرنش گره های بالایی دیوار شکل (۴-۵).....۱۲۰
شکل ۴-۷) هندسه دیوار بنایی آجری به عنوان نمونه آزمایشی ورملفورت (ابعاد به سانتیمتر)، [۱۰،۹].....۱۲۱
شکل ۴-۷) دیوار بنایی آجری نمونه تحت بار جانبی.....۱۲۲
شکل ۴-۸) نمودار بار- تغییر مکان جانبی دیواربنایی آجری شکل(۴-۷).....۱۲۳
شکل ۴-۹) دیوار بنایی سنگی نمونه تحت بار جانبی.....۱۲۴
شکل ۴-۱۰) نمودار بار- تغییر مکان جانبی دیواربنایی سنگی شکل(۴-۹).....۱۲۵
شکل پ-۱)اثر شرایط تکیه گاهی روی منحنی نرم شوندگی [۲۰].....۱۳۰
شکل پ-۲) رفتار عمومی مصالح شکننده تحت کشش تک محوری و تعریف انرژی گسیختگی (ft) مقاومت کششی را نشان می دهد) [۲۰].....۱۳۱
شکل پ-۳) رفتار عمومی مصالح شکننده تحت فشار تک محوری و تعریف انرژی گسیختگی (fc) مقاومت فشاری را نشان می دهد)[۲۰].....۱۳۱
شکل پ-۴) رفتار بنایی تحت برش و تعریف انرژی گسیختگی درمود II یعنی $GfII$ (c چسبندگی را نشان می دهد)[۲۰].....۱۳۲
شکل پ-۵)اثر سایز، الف-منحنی های تنش اسمی در مقابل تغییر شکل نسبی، ب- مقاومت در یک نمودار لگاریتمی دومحوره.[۲۰].....۱۳۳
شکل پ-۶) اجراهای متفاوت برای تست مقاومت کششی: الف-خمش سه نقطه ای با تنها یک درز، ب-خمش سه نقطه ای با نمونه ی طویلتر، پ-خمش چهار نقطه ای، ت-تست چرخش پیوند ث-تست شکافت [۴۳]..۱۳۵
شکل پ-۷) رفتار چسب کششی بنایی: الف-نمونه تست(کشش مستقیم)، ب-نمونه ای از نتایج آزمایشگاهی تنش-جابجایی ترک برای بنایی با آجر رسی(سطح تیره شده پوش چهار آزمایش را نشان میدهد)[۴۳].....۱۳۶
شکل پ-۸) صفحه چسب کششی: الف-صفحه چسب خالص نمونه برای نمونه های کششی با واحدهای رسی، ب-برون یابی صفحه چسب خالص از نمونه (۳۵٪) تا دیوار (۵۹٪) [۴۳].....۱۳۷
شکل پ-۹) تنظیمات دستگاه های متفاوت برای تستهای برشی، الف-تست سه گانه مطابق با (EN 1052-3) ، ب- هافمن و استوکل ، پ- ریدینگتون و همکاران ، ت- ون در پلایم ، ث- حمید و همکاران ، ج- ابدو و همکاران، چ- پوپال و لیسل [۶۳].....۱۳۸
شکل پ-۱۰) اجرای آزمایش به منظور به دست آوردن رفتار چسب برشی: الف-نمونه آزمایش، آماده برای انجام آزمایش است، ب-نیروهای اعمال شده برنمونه آزمایش ، در طول انجام آزمایش [۴۳].....۱۳۹

شکل پ- ۱۱) رفتار نمونه ای از چسب برشی مربوط به درزها برای واحدهای بنایی رسی: الف-نمودار تنش-جابجایی برای سطوح تنش عمودی متفاوت (سطح تیره شده پوش سه تست را ارائه میدهد)، ب-مود II انرژی گسیختگی $\boldsymbol{Gfll}$ به صورت یک تابع از سطح تنش عمودی [۴۳]..... ۱۴۰
شکل پ-۱۲) تعریف زاویه اصطکاک و اتساع : الف-ضابطه اصطکاک کلومب، با زاویه اصطکاک اولیه وپس ماند، ب-زاویه اتساع به صورت بالا رفتن واحدهای مجاور تحت اثر برش. [۴۳]..... ۱۴۰
شکل پ-۱۳) نمونه ای از رفتار چسب برشی مربوط به درزها برای واحدهای بنایی رسی: الف-تانژانت زاویه اتساع $\boldsymbol{\Psi}$ به صورت تابعی از سطح تنش عمودی است، ب-رابطه بین جابجایی عمودی و برشی تحت بارگذاری [۴۳]..... ۱۴۱
شکل پ-۱۴) رفتار تک محوری بنایی تحت اثر باگذاری عمود بر درزهای افقی: الف- منشور بنایی به صورت راسته چینی، ب- نمایش شماتیک نمونه آزمایش RILEM ، ج- نمونه ای از نمودار آزمایشگاهی تنش-جابجایی برای منشورهای ۶۰۰×۲۵۰×۵۰۰ mm^3 مربوط به آجر با قالب نرم. در این جا $\boldsymbol{fmo}$ مقاومت فشاری ملات است [۴۳]..... ۱۴۲
شکل پ-۱۵) اجرای تست برای مقاومت کششی بنایی موازی با درزهای افقی: الف-ساختن نمونه تست، ب-نمونه تست قبل از ۹۰ درجه دوران و انجام تست [۴۳]..... ۱۴۴
شکل پ- ۱۶) نمودار معمول تنش- جابجایی برای کشش در جهت موازی با درزهای افقی: الف-گسیختگی با یک ترک مرحله ای در میان درزهای قائم و افقی رخ می دهد، ب-گسیختگی به طور عمود از میان درزهای قائم و واحدها رخ می دهد [۴۳]..... ۱۴۵
شکل پ-۱۷) اجراهای محتمل تست دومحوری برای بنایی: الف-بارگذاری تک محوری، ب-بارگذاری دو محوری [۴۳]..... ۱۴۶
شکل پ- ۱۸) مقاومت دومحوری بنایی با واحدهای رسی [۴۳]..... ۱۴۷
شکل پ-۱۹) مودهای گسیختگی بناییبا واحدهای رسی تحت بارگذاری دو محوره..... ۱۴۹

فهرست جداول

جدول **صفحه**

جدول ۳-۱)کسینوس های هادی ۱۳ صفحه نمونه[۶]..... ۹۴
جدول۴-۱) پارامترهای مصالح بنایی آجری مورد استفاده در الگوی چند صفحه ای در برنامه نوشته شده به زبان MATLAB..... ۱۱۴
جدول ۴-۲) پارامترهای معادله هاگنستاد برای مصالح بنایی آجری..... ۱۱۴

فصل اول:

بررسی رفتار بنایی و انواع روش های مدل سازی

۱-۱-مقدمه

ساختمان سازی با مصالح بنایی نظیر آجر یا خشت تا آغاز قرن بیستم که مصالح جدید مانند بتن مسلح و فولاد جای آنها را گرفت برای ساختمان های با ارتفاع کم تا متوسط رواج بسیار داشت با توجه به این که این ساختمان ها حتی در وقوع زمین لرزه های متوسط خسارت های فراوان می دیدند، لذا نا مناسب بودن مصالح بنایی جهت استفاده در ساخت ساختمان به شیوه های سنتی بر همگان آشکار گردید. امروزه آیین نامه های ساختمانی بسیاری از کشورها، ساخت بنا با مصالح بنایی را محدود کرده اندو یا حداقل تعداد طبقات این چنین ساختمان هایی را، به ۲ طبقه محدود کرده اند که در حالت اخیر نیز مسلح نمودن دیوار های آجری ساختمان با استفاده از تیر یا ستون های بتنی که درون این دیوارها قرار می گیرد، به صورت اکید توصیه شده است. با در نظر داشتن این معایب ، به دلایل اقتصادی ، سهولت تولید و ساخت ، خاصیت عایق بودن قابل قبول و نماسازی همچنان کاربرد این مصالح در ساخت ساختمان رواج دارد. به دلیل وزن بسیار زیاد و همچنین به علت آن که دیوار های آجری این گونه ساختمان ها در صفحه خود بسیار سخت می باشند ، لذا نیرویی که در زمان وقوع زلزله به آن ها انتقال می یابد، بسیار بزرگ می باشد. هنگام اعمال نیروی جانبی به سبب تردی و شکنندگی مصالح ، سریعاً در دیوار های این ساختمان ها ترک های ضربدری قطری ظاهر شده که نتیجه آن کاهش سختی ساختمان و به دنبال آن نابودی کامل بنا نتیجه خواهد شد.

عمده ساختمان های ایران را به ویژه در روستاها و شهرهای کوچک، ساختمان های خشتی .و گلی تشکیل می دهند که به دلیل سقف های سنگین این گونه ساختمان ها و در پی آن افزایش نیروی ناشی ازشتاب زلزله، همچنین عدم مقاومت کافی این گونه ساختمان ها و همچنین کیفیت پایین اجرایی ونقایص آیین نامه ای، این گونه ساختمان ها در کشور در هنگام بروز بلایای طبیعی با خسارت های جدی مواجه می شوند. بر اساس آمار، از ۱۲ میلیون واحد مسکونی موجود در کشور، ۸/۵ میلیون واحد کم دوام و بی دوام هستندکه در هنگام وقوع زلزله حتی مهلت فرار ساکنان به خارج را نمی دهند و می توان برای این ردیف ساختمان ها صد در صد تخریب را در نظر گرفت. به عنوان مثال در زلزله های منجیل(سال ۱۹۹۸ با بزرگای ۷/۳ در مقیاس ریشتر) و بم(سال ۲۰۰۳ با بزرگای ۶/۶ در مقیاس ریشتر) به ترتیب ۵۰۰۰۰و ۲۶۴۰۰ نفر جان خود را از دست دادندو طی زلزله بم، ارگ بم به عنوان بزرگ ترین سازه خشتی-گلی جهان و یک اثر بی نظیر تاریخی، ویران گردید.

پس از تدوین و انتشار آیین نامه ۲۸۰۰ و مبحث هشتم مقررات ملی ساختمان(طرح و اجرای ساختمان های با مصالح بنایی) و طراحی و اجرای ساختمان ها بر اساس آن ها، مشاهدات بعد از وقوع زلزله حاکی از این است که ساختمان هایی که ساخت آن ها منطبق با آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران بوده همچنان پابرجا هستند و برخی هیچ گونه آسیبی ندیده اند. پابرجایی ساختمان ها و عدم ریزش سقف ها یا دیوارها از این جهت قابل بحث می باشند که باعث ایجاد فرصت فرار و عدم خسارت های جانی در زلزله می شود که ایمنی را با خود به همراه می آورد. هر چند که در حال حاضر احداث ساختمان های دارای اسکلت فلزی و بتنی رو به افزایش است، اما هنوز اکثریت ساختمان های موجود در کشور ایران از نوع بنایی می باشند و ساخت آن ها در شهر های کوچک و روستاها ادامه دارد، بنابر این به منظور جلوگیری از خسارت های غیر قابل اجتناب این گونه مصالح، نیاز به تحلیل های دقیق و طراحی های مناسب و مقاوم سازی ساختمان های بنایی به شدت احساس می شود[۱،۵].

۱-۱-۱- حدود تحقیق :

دو نوع گسیختگی کلی برای المان های بنایی دو بعدی وجود دارد:

۱) درون صفحه ای، ۲) برون صفحه ای . در گسیختگی درون صفحه ای بار وارده بر میان تار صفحه وارد می شود و المان ها رفتار غشایی دارند و با المان تنش مسطح یا کرنش مسطح مدل می شود. در گسیختگی برون صفحه ای، بار عمود بر صفحه وارد می شود و المان ها رفتار خمشی دارند و با المان خمش صفحه ای مدل می شوند . مجموع این دو رفتار با المان های پوسته مدل می گردد. کل این پایان نامه بر مدل سازی دو بعدی با رفتار غشایی و المان های تنش مسطح متمرکز می شود مگر اینکه خلاف آن ذکر گردد. از سویی دیگر هدف اصلی این پایان نامه تمرکز بر مدل رفتاری با بارهای یکنوا می باشد با این حال به مدل های رفتاری با بارهای دوره ای نیز اشاره خواهد شد . بنابراین در وهله اول مدل رفتاری مصالح بنایی در یک نقطه تنش (نقطه گاوس) با شبیه سازی یک آزمایش سه محوره در چارچوب روش چند صفحه ای مدل سازی می شود، سپس امکان سنجی جهت استفاده از این مدل رفتاری در برنامه های اجزامحدود صورت می گیرد و در صورت صحت نتایج، از این مدل رفتاری در تحلیل دو نوع دیوار بنایی تحت بارهای جانبی یکنوا استفاده خواهد شد.

رفتار غیرخطی ماده از دو منشأ سرچشمه می گیرد :۱) هندسه، ۲) مصالح.

اگر تغییرشکل ها به قدر کافی کوچک باشد، از رفتار غیر خطی هندسی صرف نظر می شود به عبارت دیگر شکل تغییر شکل یافته سازه آن قدر تغییر نمی کند که اگر معادلات تعادل بر حسب شکل تغییرشکل نیافته نوشته شود، خطایی محسوس داشته باشد. در تمامی مباحث این پایان نامه از رفتار غیرخطی هندسی صرف نظر می شود. بنابراین رفتار غیر خطی تنها از دومین منشاء یعنی غیر خطی مصالح

نشأت می گیرد و تمام غیر خطی بودن معادله حرکت به ماتریس سختی $[K]_{n\times n}$ برمی گردد. تمام غیرخطی بودن ماتریس سختی به غیرخطی بودن ماتریس سختی المان $[k]_{m\times m}$ برمی گردد و تمام غیرخطی بودن ماتریس به غیر خطی بودن ماتریس $[D]_{s\times s}$ برمی گردد.

در بسیاری از مواقع معادلات به طور نموی نوشته می شود بنابراین غیر خطی بودن مسأله به نمو $[D]_{s\times s}$ بر می گردد. ماتریس $[D]_{s\times s}$ که رابطه بین تنش و کرنش را مشخص می کند، به معادلات رفتاری یا قانون رفتاری موسوم است. برای به دست آوردن $[D]_{s\times s}$ یا نمو $[D]_{s\times s}$ یا تعیین معادلات رفتاری، می توان به دو روش اشاره کرد :۱) به طور غیر مستقیم با اتکا به تئوری پلاستیسیته یا خمیری، ۲) به طور مستقیم از طریق روابط آزمایشگاهی تنش-کرنش[۴۷] که در این پایان نامه از روش اول بهره گرفته شده است.

۱-۲-تاریخچه بنایی

بشر همواره در تمامی ادوار تاریخ به دنبال راهی برای ایجاد آسایش و امنیت بوده است. این امنیت و آسایش خاطر تا حد زیادی منوط به فراهم نمودن سرپناه می شد. اما سرپناه های طبیعی و در دسترس و قابل استفاده، گنجایش محدودی داشتند وآسایش و امنیت خاطر مورد نیاز انسان را فراهم نمی کردند. بنابر این انسان به فکر استفاده از مصالح در دسترس به منظور ایجاد سرپناهی ایمن برای محفوظ بودن از شرایط نامساعد جوی و خطرات زندگی در زمان خود بود. در ابتدا با مشاهده و الهام گرفتن از غریزه حیوانات، به ساخت سرپناه های ساخته شده از شاخ و برگ درختان اهتمام ورزید اما به مرور زمان به نقاط ضعف این نوع ساخت و ساز پی برد. ساخت و ساز به وسیله سنگ نیز مشکلاتی از قبیل برش و حمل را به همراه خود داشت. با کشف آتش و مشاهده سخت شدن گل اطراف کوره ، ایده اولیه استفاده از این ماده سخت که بار فشاری خوبی را تحمل می کرد، از ذهن انسان خطور کرد.

فن آجر پزی سابقه دیرینه دارد و اولین بار کلدانی ها پختن آجر را یاد گرفتند و بدین ترتیب خشت رسی را پخته و به ماده سختی تبدیل کردند. در زمان بنوکد، نصر دوم (بخت النصر- ۵۶۲ تا ۶۰۵ پیش از میلاد) بابلی ها و آشوری ها فن آجر سازی و مینا کاری را فرا گرفتند. تمدن های دیگر تکنیک ها و جنبه های مختلفی را برای دیوارهای بنایی گسترش دادند. به ویژه رومی ها بهبودهای مهمی را به تکنیک های ساختمان سازی بنایی اضافه کرده و دریچه جدیدی برای کاربردهای وسیع از این مصالح گشودند.

با وجود قدمت زیاد خشت و آجر، قدیمی ترین واساسی ترین نوع بنایی، مصالح بنایی سنگی می باشد، که شامل بلوک های سنگی شکسته یا قلوه سنگ است. چون این نوع از بنایی را می توان بدون نیاز به کارسنگ تراشی اجرا کرد، این روش برای مدت طولانی در مناطق روستایی یک نوع متداول برای دیوارهای بنایی بوده است. سازه های قبلی همان طور که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است ،بدون هیچ ماده ای به عنوان عامل قفل وبست(ملات) اجرا شده است، درحالی که بعداً ملات رس یا آهک استفاده شده است. آجرهای