





دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده علوم پایه

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد زمین شناسی (مهندسی)

## بررسی اثر جنس سنگدانه‌های مختلف بر خواص مقاومتی بتن

جواد شریفی

استاد راهنما:

دکتر محمد رضا نیکودل

استاد مشاور:

دکتر محمود یزدانی

بهمن ماه ۱۳۸۷

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیئت داوران نسخه نهایی پایان نامه آقای جواد شریفی رشته زمین شناسی (مهندسی) تحت عنوان: «بررسی اثر جنس سنگدانه های مختلف بر خواص مقاومتی بتن» از نظر فرم و محتوا بررسی نموده و آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مورد تایید قرار دادند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیات داوران
	استادیار	دکتر محمد رضا نیکودل	۱- استاد راهنما
	استادیار	دکتر محمود یزدانی	۲- استاد مشاور
	دانشیار	دکتر ماشاء... خامه چیان	۳- استاد ناظر داخلی
	دانشیار	دکتر محمد شکرچی زاده	۴- استاد ناظر خارجی
	دانشیار	دکتر ماشاء... خامه چیان	۵- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی



## بسمه تعالی

### آیین‌نامه چاپ پایان‌نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمی - پژوهشی دانشگاه است، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

**ماده ۱:** در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله) خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

**ماده ۲:** در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته زمین‌شناسی (مهندسی) است که در سال

۱۳۸۷ در دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر محمد رضا نیکودل و مشاوره جناب آقای دکتر محمود یزدانی از آن دفاع شده است.»

**ماده ۳:** به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

**ماده ۴:** در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

**ماده ۵:** دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند، به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

**ماده ۶:** اینجانب جواد شریفی دانشجوی رشته زمین‌شناسی (مهندسی) مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: جواد شریفی

تاریخ و امضا: ۱۳۸۸/۳/۳

## آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی

### دانشگاه تربیت مدرس

#### مقدمه:

با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدیدآورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجوی مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب و یا نرم‌افزار و یا آثار ویژه حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت‌رئیس دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

تقدیم به عزیزترین‌های زندگی‌ام:

**پدر بزرگوارم، مادر فداکارم**

**و**

**برادرم محمد**

## تشکر و قدردانی

در اینجا بر خود لازم می‌دانم از همه اساتید و دوستانی که در پیشبرد این تحقیق، اینجانب را یاری دادند تشکر نمایم. از استاد راهنمای محترم، جناب آقای دکتر محمدرضا نیکودل که با راهنمایی‌های خردمندانه و مستمر خویش مرا در انجام این تحقیق یاری نموده و در این راه از هیچ مساعدتی دریغ نفرمودند، از استاد مشاور محترم، جناب آقای دکتر محمود یزدانی که با مساعدت و همدلی طی طریق را بر من آسان نمودند، از آقای دکتر محمد شکرچی‌زاده که داوری این پایان‌نامه را قبول نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایم. از آقای مهندس انصاری که از تجارب ایشان در کلیه مراحل کار استفاده نمودم، همچنین از پرسنل آزمایشگاه زمین‌شناسی مهندسی، آقایان مهندس مجید ضرابی، مهندس کریم حشمت و آقای طباطبایی که در طول انجام کار اینجانب را کمک نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از دوستان عزیز، محمد جواد احمدی، مهدی برومندی، مهدی کیانپور، محمدحسین کیانزادگان، محمد فتح‌اللهی، مسعود عبدی، هادی ایزدی، حسن شجاعی، سعید اردشیری، حسین ربیعی، علی‌رضا اردکانی و ابراهیم جعفری که همگی در کلیه مراحل پایان‌نامه از زحمات آنها بهره‌مندم، تشکر می‌نمایم.

لازم است در اینجا از زحمات بیدریغ استاد بزرگوار جناب آقای دکتر ماشاله خامه چیان تشکر نمایم، که از ابتدای تحصیل تا مراحل پایانی کار پایان‌نامه از راهنمایی‌های ایشان استفاده نمودم.

جواد شریفی

زمین‌شناسی مهندسی

بهمن ماه ۱۳۸۷

## چکیده

بتن به عنوان یکی از ترکیباتی که برای ساخت سازه‌های بتنی در پروژه‌های عمرانی از آن استفاده می‌شود، از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. مواد و مصالح تشکیل دهنده بتن شامل سیمان، سنگدانه، آب و مواد افزودنی است که کارایی، مقاومت و سایر خصوصیات بتن تابع مواد تشکیل دهنده آن می‌باشد. سنگدانه‌ها سه چهارم حجم بتن را تشکیل می‌دهند. سنگدانه‌ها نه تنها در مقاومت بتن موثرند، بلکه دوام و پایداری بتن تا حد زیادی تحت تاثیر آنها قرار دارد. در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر نوع (جنس) و خواص سنگدانه بر خصوصیات مکانیکی بتن، سنگ‌هایی از معادن مختلف انتخاب و سپس برای ساخت بتن مورد استفاده قرار گرفته است. به طور کلی نمونه‌هایی از گروه سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی انتخاب شده که شامل آندزیت، بازالت، گرانیت، گنایس، آهک، لوماشل، ماسه‌سنگ، دولومیت، توف و دیوریت می‌باشد. در ابتدا خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی سنگ‌های انتخاب شده در آزمایشگاه تعیین شده است. در مرحله بعد، مصالح موجود به سنگدانه‌هایی در اندازه شن و ماسه خرد شده و برخی از خصوصیات سنگدانه‌ها مثل زبری، حجم فضای خالی بین دانه‌ها، شکل دانه‌ها و دانه‌بندی آنها نیز تعیین گردید. سپس با استفاده از طرح اختلاط یکسان از سنگدانه‌های موجود بتن تهیه و خصوصیات مکانیکی بتن بعد از گذشت ۷، ۲۸ و ۹۰ روز اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد، که جنس سنگدانه‌ها تاثیر بسزایی بر خصوصیات مقاومتی بتن دارد. به طور کلی سنگدانه‌هایی که بتوانند پیوستگی فیزیکی و شیمیایی خوبی با خمیر سیمان برقرار کنند، بتن مقاومتری را می‌سازند. بنابراین چسبندگی بین سنگدانه و خمیر سیمان نقش عمده‌ای در خواص مقاومتی بتن دارد. در مرحله بعد برای اندازه‌گیری کمی مقاومت فصل مشترک سنگدانه و خمیر سیمان، آزمایش ساده‌ای پیشنهاد و نمونه‌هایی نیز به همین منظور ساخته شد. سپس با استفاده از ادوات تهیه شده برای این آزمایش، مقاومت پیوندی بین سنگدانه‌ها و خمیر سیمان اندازه‌گیری شده است. در انتها مشخص گردید که از بین سنگدانه‌های به کار رفته برای ساخت بتن در این تحقیق، به ترتیب سنگدانه‌های آهکی، دولومیتی، توفی، گرانیتی، گنایسی، بازالتی، آندزیتی، لوماشلی، ماسه‌سنگی و دیوریتی دارای خواص مطلوبی از نظر مقاومت و چسبندگی با خمیر سیمان برای استفاده در بتن می‌باشند.

**کلید واژه:** سنگدانه، بتن، پیوستگی بین سنگدانه و خمیر سیمان



## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جدول‌ها .....	۵
فهرست شکل‌ها .....	۵
<b>فصل ۱- کلیات</b> .....	<b>۱</b>
۱-۱- مقدمه .....	۲
۲-۱- بیان تحقیق .....	۲
۳-۱- ضرورت انجام تحقیق .....	۳
۴-۱- سوالات اساسی طرح .....	۳
۵-۱- اهداف تحقیق .....	۴
۶-۱- فرضیه‌ها و پیش‌فرض‌ها .....	۴
۷-۱- روش انجام تحقیق .....	۴
۸-۱- تجزیه و تحلیل اطلاعات .....	۴
۹-۱- خلاصه فصل‌های پایان‌نامه .....	۴
<b>فصل ۲- اجزای تشکیل دهنده بتن</b> .....	<b>۶</b>
۱-۲- مقدمه .....	۷
۲-۲- تعریف بتن .....	۷
۳-۲- مصالح مصرفی در بتن .....	۸
۱-۳-۲- سیمان .....	۸
۱-۱-۳-۲- خواص فیزیکی سیمان پرتلند .....	۱۰
۲-۳-۲- سنگدانه‌ها .....	۱۰
۱-۲-۳-۲- منابع سنگدانه‌ها .....	۱۱
۲-۲-۳-۲- منشا پیدایش سنگدانه‌های طبیعی .....	۱۲
۳-۲-۳-۲- خواص سنگ‌شناسی سنگدانه‌های طبیعی .....	۱۲
۴-۲-۳-۲- طبقه‌بندی مهندسی سنگدانه‌های طبیعی .....	۱۲
۵-۲-۳-۲- پی‌جویی و اکتشاف سنگدانه‌های طبیعی .....	۱۳
۶-۲-۳-۲- نمونه‌گیری از منابع سنگدانه اکتشافی .....	۱۳
۷-۲-۳-۲- سنگ‌شکنی .....	۱۳
۸-۲-۳-۲- سرند کردن .....	۱۴
۹-۲-۳-۲- شستشو و تولید ماسه .....	۱۴
۱۰-۲-۳-۲- خصوصیات فیزیکی سنگدانه‌ها .....	۱۴
۱۱-۲-۳-۲- خصوصیات مکانیکی .....	۱۹
۳-۳-۲- آب مناسب برای ساخت بتن .....	۲۱

۲۱	افزودنی‌ها.....	۴-۳-۲
۲۲	انواع افزودنی‌ها.....	۱-۴-۳-۲
۲۲	طرح اختلاط بتن.....	۴-۲
۲۲	بتن تازه.....	۵-۲
۲۲	ساخت بتن.....	۱-۵-۲
۲۳	کارآیی بتن.....	۲-۵-۲
۲۳	آزمایش تعیین روانی بتن.....	۱-۲-۵-۲
۲۳	حمل و نقل بتن.....	۳-۵-۲
۲۳	ریختن و تراکم بتن.....	۴-۵-۲
۲۴	نمونه‌گیری.....	۱-۴-۵-۲
۲۴	تراکم بتن.....	۲-۴-۵-۲
۲۴	عمل‌آوری بتن.....	۵-۵-۲
۲۵	خواص بتن سخت شده.....	۶-۲
۲۶	نکات قابل توجه در آزمایش مقاومت فشاری.....	۱-۶-۲
۲۶	مقاومت کششی به روش برزیلین.....	۲-۶-۲
۲۶	آزمایش چکش اشمیت.....	۳-۶-۲
۲۷	خواص صوتی.....	۴-۶-۲
۲۷	پیوستگی بین سنگدانه و خمیر سیمان.....	۷-۲
۲۹	<b>فصل ۳- بررسی‌های آزمایشگاهی.....</b>	
۳۰	مقدمه.....	۱-۳
۳۰	ساخت بتن.....	۲-۳
۳۱	مصالح مصرفی در بتن ساخته شده.....	۳-۳
۳۱	سیمان.....	۱-۳-۳
۳۱	سنگدانه‌ها.....	۲-۳-۳
۳۲	منشا و منبع سنگدانه‌های استفاده شده.....	۱-۲-۳-۳
۳۲	خواص سنگ‌شناسی.....	۲-۲-۳-۳
۳۳	آماده‌سازی نمونه‌ها.....	۳-۲-۳-۳
۳۴	خصوصیات فیزیکی سنگدانه‌ها.....	۴-۲-۳-۳
۳۸	خصوصیات مکانیکی.....	۵-۲-۳-۳
۴۳	آب مناسب برای ساخت بتن.....	۳-۳-۳
۴۳	طرح اختلاط بتن.....	۴-۳
۴۴	بتن تازه.....	۵-۳
۴۴	ساخت بتن.....	۱-۵-۳
۴۵	آزمایش مکعب.....	۲-۵-۳
۴۶	مقاومت بتن سخت شده.....	۶-۳
۴۶	آزمایش مقاومت فشاری و کششی.....	۱-۶-۳

۵۰	آزمایش چکش اشمیت	۲-۶-۳
۵۱	تعیین سرعت موج	۳-۶-۳
۵۲	چگالی بتن سخت شده	۴-۶-۳
<b>۵۳</b>	<b>فصل ۴ - پیوستگی بین سنگدانه و خمیر سیمان</b>	
۵۴	مقدمه	۱-۴
۵۴	مروری بر مطالعات گذشته	۲-۴
۵۷	بررسی‌های آزمایشگاهی	۳-۴
۶۵	موارد کاربرد مقاومت فصل مشترک	۴-۴
<b>۶۶</b>	<b>فصل ۵ - تجزیه و تحلیل نتایج</b>	
۶۷	مقدمه	۱-۵
۶۷	تاثیر مصالح مصرفی در مقاومت بتن ساخته شده	۲-۵
۶۷	تاثیر سیمان	۱-۲-۵
۶۸	تاثیر خواص سنگدانه‌ها	۲-۲-۵
۶۸	تاثیر منابع سنگدانه‌های استفاده شده بر خواص بتن	۱-۲-۲-۵
۶۸	فرآوری، استخراج و سنگ‌شکنی	۲-۲-۲-۵
۶۸	تاثیر خواص سنگ‌شناسی	۳-۲-۲-۵
۷۰	تاثیر خصوصیات فیزیکی سنگدانه‌ها بر خواص بتن	۴-۲-۲-۵
۷۳	خصوصیات مکانیکی	۵-۲-۲-۵
۷۷	تاثیر آب در خصوصیات مکانیکی بتن ساخته شده	۳-۲-۵
۷۷	طرح اختلاط بتن	۳-۵
۷۷	بتن تازه	۴-۵
۷۷	ساخت بتن	۱-۴-۵
۷۸	ارتباط بین پارامترهای مقاومتی بتن سخت شده	۵-۵
۷۸	ارتباط مقاومت فشاری و کششی بتن سخت شده	۱-۵-۵
۷۹	رابطه بین عدد چکش اشمیت بتن با مقاومت تک محوری آن	۲-۵-۵
۸۰	خواص صوتی	۳-۵-۵
۸۰	ارتباط بین چگالی بتن سخت شده و مقاومت آن	۴-۵-۵
۸۱	تاثیر پیوستگی فصل مشترک بر نتایج مقاومتی بتن	۶-۵
۸۲	جمع بندی	۷-۵
<b>۸۴</b>	<b>فصل ۶ - نتیجه‌گیری و پیشنهاد</b>	
<b>۸۷</b>	<b>فهرست مراجع</b>	
<b>۹۰</b>	<b>ضمیمه أ - خصوصیات شیمیایی و سنگ‌شناسی سنگدانه‌ها</b>	
<b>۹۱</b>	<b>ضمیمه ب - خصوصیات فیزیکی سنگدانه‌ها</b>	

- ۹۲.....ضمیمه ج - خصوصیات مکانیکی سنگدانه‌ها
- ۹۳.....ضمیمه د - خصوصیات فیزیکی بتن
- ۹۴.....ضمیمه ه - خصوصیات مکانیکی بتن
- ۹۵.....واژه نامه انگلیسی به فارسی
- ۹۶.....واژه نامه فارسی به انگلیسی

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۸	جدول ۱-۲: ترکیبات اصلی سیمان پرتلند [۳۲].....
۹	جدول ۲-۲: انواع سیمان پرتلند طبق استاندارد ASTM C150 (نقل از [۱]).....
۱۵	جدول ۳-۲: طبقه‌بندی کلی از نظر گردش‌دهی ذرات بر اساس استاندارد ASTM (نقل از [۸]).....
۳۱	جدول ۱-۳: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سیمان مورد استفاده.....
۴۳	جدول ۲-۳: طرح اختلاط حجمی مورد استفاده.....
۴۳	جدول ۳-۳: طرح اختلاط وزنی برای هر مصالح.....

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۳-۱: محل نمونه‌برداری مصالح استفاده شده در این تحقیق.....	۳۲
شکل ۳-۲: دولومیت (سمت راست) و گرانیت (سمت چپ) با بزرگنمایی ۱۶ برابر.....	۳۳
شکل ۳-۳: لوماشل (سمت راست) و گنایس (سمت چپ) با بزرگنمایی ۱۶ برابر.....	۳۳
شکل ۳-۴: تصویر سنگ‌شکن فکی استفاده شده در این تحقیق به همراه تصویر شماتیک آن.....	۳۴
شکل ۳-۵: بافت سطحی سنگدانه‌ها به همراه میزان هوازدگی.....	۳۵
شکل ۳-۶: تعیین ضریب تورق (سمت چپ) و ضریب تطویل (سمت راست) سنگدانه‌ها.....	۳۵
شکل ۳-۷: وزن مخصوص سنگدانه‌های ریز و درشت در حالت اشباع با سطح خشک.....	۳۶
شکل ۳-۸: جذب آب سنگدانه‌های درشت و ریز.....	۳۶
شکل ۳-۹: منحنی مصالح ریزدانه و محدوده آن طبق ASTM C 33.....	۳۷
شکل ۳-۱۰: منحنی مصالح درشت‌دانه و محدوده آن طبق ASTM C 33.....	۳۷
شکل ۳-۱۱: نمونه‌های خرد شده توسط سنگ‌شکن (ذرات مانده بر روی الک "۳/۸"، #۴ و #۳۰).....	۳۷
شکل ۳-۱۲: تعیین سلامت سنگدانه‌ها.....	۳۸
شکل ۳-۱۳: اندازه‌گیری امواج فشاری در سنگ مادر.....	۳۸
شکل ۳-۱۴: مغزه‌گیری از نمونه‌ها.....	۳۹
شکل ۳-۱۵: نمونه‌های توف و گنایس در زیر جک دستگاه آزمایش تک‌محوری.....	۳۹
شکل ۳-۱۶: منحنی تنش کرنش در نمونه توف (سمت راست) و گنایس (سمت چپ).....	۴۰
شکل ۳-۱۷: مقاومت فشاری سنگ مادر در نمونه مصالح استفاده شده.....	۴۰
شکل ۳-۱۸: نتایج مقاومت کششی بر روی نمونه‌ها.....	۴۱
شکل ۳-۱۹: دستگاه آزمایش ارزش فشاری.....	۴۱
شکل ۳-۲۰: دستگاه آزمایش ارزش ضربه.....	۴۱
شکل ۳-۲۱: نتایج آزمایش ارزش خرد شدن.....	۴۲
شکل ۳-۲۲: نتایج آزمایش ارزش ضربه.....	۴۲
شکل ۳-۲۳: نتایج آزمایش چکش اشمیت بر روی سنگدانه‌ها.....	۴۲
شکل ۳-۲۴: ریختن مصالح در مخلوط‌کن و تخلیه بتن ساخته شده به فرغون.....	۴۴
شکل ۳-۲۵: چگونگی انجام آزمایش اسلامپ.....	۴۴
شکل ۳-۲۶: نمونه‌گیری در قالب‌های مکعبی.....	۴۵
شکل ۳-۲۷: حوضچه بتن.....	۴۶
شکل ۳-۲۸: نمایی از دستگاه آزمایش مقاومت تک محوری بتن به همراه نمونه در زیر آن.....	۴۷
شکل ۳-۲۹: نمودار تنش - کرنش ۹۰ روزه آندزیت (سمت راست) و ۷ روزه ماسه سنگ (سمت چپ).....	۴۷
شکل ۳-۳۰: نتایج آزمایش فشاری تک محوری بر روی نمونه‌های ساخته شده.....	۴۷

- شکل ۳-۳۱: پیشرفت مقاومت نمونه‌ها نسبت به زمان (سنگدانه‌های آذرین)..... ۴۸
- شکل ۳-۳۲: پیشرفت مقاومت نمونه‌ها نسبت به زمان (سنگدانه‌های رسوبی)..... ۴۸
- شکل ۳-۳۳: پیشرفت مقاومت نمونه‌ها نسبت به زمان (سنگدانه‌های دگرگونی)..... ۴۸
- شکل ۳-۳۴: چگونگی شکست نمونه در زیر دستگاه آزمایش برزیلین..... ۴۹
- شکل ۳-۳۵: نتایج آزمایش مقاومت کششی..... ۴۹
- شکل ۳-۳۶: مدول الاستیسیته مماسی..... ۵۰
- شکل ۳-۳۷: آزمایش چکش اشمیت بر روی نمونه‌ها..... ۵۰
- شکل ۳-۳۸: نتایج آزمایش چکش اشمیت..... ۵۱
- شکل ۳-۳۹: تعیین سرعت امواج فشاری در بتن..... ۵۱
- شکل ۳-۴۰: نتایج تعیین سرعت امواج فشاری در بتن..... ۵۲
- شکل ۳-۴۱: چگالی بتن سخت شده..... ۵۲
- شکل ۴-۱: مقطع نگار برای اندازه‌گیری زبری سطح سنگدانه‌ها [۴۱]..... ۵۵
- شکل ۴-۲: تصویر شماتیک از نمونه‌ی ساخته شده در زیر کشش [۴۱]..... ۵۵
- شکل ۴-۳: نمونه‌های ساخته شده برای آزمایش [۴۲]..... ۵۶
- شکل ۴-۴: نمونه آماده شده برای آزمایش کششی..... ۵۷
- شکل ۴-۵: تصویر شماتیک نمونه مورد آزمایش..... ۵۸
- شکل ۴-۶: طرح شماتیک و نمونه ساخته شده برای آزمایش..... ۵۸
- شکل ۴-۷: نمونه ساخته شده با سنگدانه توف (سمت راست) و گنایس (سمت چپ)..... ۵۹
- شکل ۴-۸: دستگاه برش مستقیم کوچک مقیاس و بزرگ مقیاس..... ۶۰
- شکل ۴-۹: طرح شماتیک قالب و محل نمونه..... ۶۰
- شکل ۴-۱۰: تبدیل قالب دستگاه برای نمونه و قرارگیری نمونه در قالب..... ۶۱
- شکل ۴-۱۱: نمونه آماده شده برای آزمایش و قرارگیری نمونه در دستگاه..... ۶۱
- شکل ۴-۱۲: نمونه برش خورده بعد از آزمایش و بعد از خارج کردن از دستگاه..... ۶۲
- شکل ۴-۱۳: سطح قسمت بتنی برش خورده و انتخاب حفره‌ها از این سطح..... ۶۲
- شکل ۴-۱۴: صفحه شطرنجی شفاف و طریقه محاسبه فضاهای خالی..... ۶۳
- شکل ۴-۱۵: منحنی تنش - جابجایی در بازالت (سمت راست) و گرانیس (سمت چپ)..... ۶۳
- شکل ۴-۱۶: مقاومت برشی فصل مشترک بتن و سنگدانه در زمانهای مختلف..... ۶۴
- شکل ۴-۱۷: برش نمونه ساخته شده از مرمر در ناحیه بتن..... ۶۴
- شکل ۴-۱۸: برش لوماشل از ناحیه سنگدانه..... ۶۵
- شکل ۵-۱: تاثیر سیمان پوزولانی بر روند کسب مقاومت در سنین مختلف بتن..... ۶۸
- شکل ۵-۲: برآزش بین درصد اکسید آهن موجود در سنگدانه‌ها با مقاومت فشاری بتن..... ۶۹
- شکل ۵-۳: برآزش بین درصد اکسید سیلیسیم موجود در سنگدانه‌ها و مقاومت نهایی بتن..... ۶۹
- شکل ۵-۴: ارتباط بین درصد هوازدگی در سنگدانه‌ها با مقاومت فشاری بتن..... ۷۰
- شکل ۵-۵: ارتباط بین بافت سطحی سنگدانه‌ها با مقاومت فشاری بتن..... ۷۰

- شکل ۵-۶: ارتباط بین وزن مخصوص سنگ و مقاومت فشاری بتن..... ۷۱
- شکل ۵-۷: ارتباط بین جذب آب سنگدانه‌های ریز با مقاومت تک‌محوری بتن..... ۷۲
- شکل ۵-۸: ارتباط بین جذب آب سنگدانه‌های درشت با مقاومت تک‌محوری بتن..... ۷۲
- شکل ۵-۹: رابطه سرعت موج فشاری سنگدانه‌ها و مقاومت تک‌محوری بتن (اشباع با سطح خشک)..... ۷۳
- شکل ۵-۱۰: ارتباط بین سرعت موج فشاری و مقاومت تک‌محوری بتن (حالت خشک)..... ۷۳
- شکل ۵-۱۱: ارتباط مقاومت تک‌محوری سنگدانه با مقاومت فشاری تک‌محوری بتن..... ۷۴
- شکل ۵-۱۲: رابطه مقاومت کششی سنگدانه با مقاومت فشاری تک‌محوری بتن..... ۷۵
- شکل ۵-۱۳: ارتباط بین مقاومت تک‌محوری فشاری بتن و ارزش خردشدن سنگدانه‌ها..... ۷۵
- شکل ۵-۱۴: ارتباط مقدار ارزش ضربه‌ای سنگدانه با مقاومت فشاری بتن..... ۷۶
- شکل ۵-۱۵: همبستگی بین عدد چکش اشمیت سنگدانه با مقاومت فشاری بتن..... ۷۶
- شکل ۵-۱۶: رابطه عدد چکش اشمیت سنگدانه با عدد اشمیت بتن..... ۷۷
- شکل ۵-۱۷: رابطه بین مقاومت تک‌محوری فشاری و کششی بتن..... ۷۸
- شکل ۵-۱۸: ارتباط بین مقاومت تک‌محوری فشاری بتن در سنین مختلف..... ۷۸
- شکل ۵-۱۹: همبستگی بین مقاومت کششی بتن در سنین مختلف..... ۷۹
- شکل ۵-۲۰: همبستگی‌های بین چکش اشمیت با مقاومت تک‌محوری بتن در سنین مختلف..... ۷۹
- شکل ۵-۲۱: رابطه بین سرعت موج فشاری بتن با مقاومت تک‌محوری آن..... ۸۰
- شکل ۵-۲۲: ارتباط بین چگالی بتن و مقاومت تک‌محوری فشاری آن..... ۸۰
- شکل ۵-۲۳: ارتباط بین مقاومت فشاری تک‌محوری بتن و مقاومت سطح اشتراک..... ۸۱
- شکل ۵-۲۴: ارتباط مقاومت سطح اشتراک با مقاومت کششی بتن..... ۸۱
- شکل ۵-۲۵: ارتباط بین مقاومت فشاری سنگدانه با مقاومت سطح اشتراک..... ۸۲
- شکل ۵-۲۶: ارتباط بین مقاومت کششی سنگدانه با مقاومت سطح اشتراک..... ۸۲
- شکل ۵-۲۷: عوامل موثر بر مقاومت بتن..... ۸۳

صفحه



# فصل اول

کلیات

## ۱-۱- مقدمه

سنگدانه‌ها<sup>۱</sup> سه چهارم حجم بتن<sup>۲</sup> را تشکیل می‌دهند. سنگدانه‌ها نه تنها در مقاومت بتن موثرند، بلکه دوام و پایداری بتن تا حد زیادی تحت تاثیر آن‌ها است. وظیفه مصالح سنگی در بتن، تحمل و انتقال بارهای اعمالی (توسط ذرات درشت) و پر نمودن فضای خالی (توسط ذرات ریزدانه) بین دیگر اجزای تشکیل دهنده آن می‌باشد. همان‌طور که اشاره شد، مصالح سنگی در بتن به دو بخش درشت دانه و ریز دانه تقسیم می‌شوند. بخش اول، مصالح دانه‌ای با قطر متوسط بزرگتر از ۵ میلی‌متر و بخش دوم ریزتر از ۵ میلی‌متر می‌باشد. از نقطه نظر سنگ‌شناسی، سنگدانه‌ها به گروه‌های متعددی که خواص تقریباً مشابهی دارند تقسیم می‌شوند. طبقه‌بندی برخی از سنگدانه‌های طبیعی بر اساس استاندارد بریتانیایی<sup>۳</sup> شامل گروه بازالت، گروه گرانیت، گروه آهک، گروه شیست، گروه ماسه‌سنگ، گروه پورفیری، گروه گابرو و گروه کوارتزیت می‌باشد (نقل از [۲، ۱]). استاندارد آمریکایی<sup>۴</sup> نیز طبقه‌بندی برای کانی‌ها ارائه داده است که این طبقه‌بندی شامل کانی‌های کربناتی، فلدسپات، سولفاتی، فرو منیزیم، میکایی، سولفید آهن، رسی، زئولیت‌ها، اکسیدهای آهن و سیلیسی می‌شود (نقل از [۸]).

## ۱-۲- بیان تحقیق

هدف این تحقیق بررسی تاثیر نوع (جنس) و خواص سنگدانه بر خصوصیات مکانیکی بتن می‌باشد. بدین منظور سنگدانه‌های مختلفی از گروه سنگ‌های موجود بر اساس استاندارد بریتانیایی انتخاب شده و در مراحل بعد (پس از خرد کردن مصالح در اندازه شن و ماسه) برای ساخت بتن مورد استفاده قرار گرفته است. مصالح سنگدانه‌ای استفاده شده برای ساخت بتن در این تحقیق از انواع مختلف سنگ‌ها بر اساس نحوه تشکیل آنها (رسوبی، آذرین و دگرگونی) از مناطق مختلف جغرافیایی ایران گردآوری شده است. برای مثال سنگدانه‌های رسوبی به دلیل فراوانی در منابع شن و ماسه، توجه ویژه‌ای به آنها شده و سهم بیشتری در نمونه‌های مورد آزمایش دارند. به طور کلی سنگدانه‌ها از گروه‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی انتخاب شده است. نمونه‌های انتخاب شده شامل آندزیت، بازالت، گرانیت، گنایس، آهک، لوماشل، ماسه‌سنگ، دولومیت، توف و دیوریت می‌باشد. اگر چه استفاده از بعضی از سنگدانه‌های مذکور برای

<sup>1</sup> Aggregate

<sup>2</sup> Concrete

<sup>3</sup> British Standards (BS)

<sup>4</sup> American Society for Testing and Materials (ASTM)

ساخت بتن رد شده ولی برای مقایسه در ردیف نمونه‌های مورد آزمایش گنجانده شده است. برای مثال دولومیت به دلیل تمایل به کربناته شدن، برای ساخت بتن مناسب نمی‌باشد ولی برای مقایسه با خواص دیگر سنگدانه‌ها، مورد آزمایش قرار می‌گیرد.

در ابتدا خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ‌های انتخاب شده بررسی و تعیین شده است. خواص فیزیکی سنگ‌ها شامل وزن واحد حجم قسمت جامد (وزن مخصوص)، تخلخل و جذب آب بوده و خواص مکانیکی آنها نیز شامل مقاومت، سختی (مقاومت به سایش)، ضریب شکست دانه‌ها<sup>۱</sup> (ارزش فشاری) و ارزش ضربه<sup>۲</sup> می‌باشد. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری این خواص برای توجیه و تفسیر نتایج آزمایش‌ها مورد نیاز است. در مرحله بعد، سنگ‌های موجود به ذراتی در اندازه شن و ماسه خرد شده و برخی از خصوصیات آنها مثل زبری، حجم فضای خالی بین دانه‌ها، سطح مخصوص دانه‌ها و دانه‌بندی آنها نیز تعیین شد. سپس با استفاده از طرح اختلاط ثابتی از نمونه‌های موجود، بتن تهیه و خصوصیات مکانیکی و شیمیایی بتن حاضر از قبیل مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بعد از گذشت ۷، ۲۸ و ۹۰ روز اندازه‌گیری گردید. در پایان به نتیجه‌گیری و ارزیابی راهکارها پرداخته شده و سوالات اساسی طرح پاسخ داده شد.

### ۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

اگر چه محققان مختلفی در اقصا نقاط دنیا در مورد تاثیر خواص سنگدانه‌ها بر بتن مطالعاتی را انجام داده‌اند [۳۰،۴۳،۲۹،۱۶]، ولی در این تحقیق توجه ویژه‌ای به تاثیر جنس سنگدانه‌ها بر خواص بتن شده است. لازم به ذکر است که بررسی خواص زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی<sup>۳</sup> مصالح سنگدانه‌ای بتن از جمله مواردی است که تاثیر عمده‌ای بر مقاومت بتن، بهینه کردن طرح اختلاط و دیگر خصوصیات انواع بتن دارد. عدم وجود مطالعات گسترده و اساسی در این مورد از دید زمین‌شناسی مهندسی و اهمیت بسزای آن در پروژه‌های گوناگون، باعث شده که بررسی در این زمینه حایز اهمیت و ضروری باشد. مطالعات اساسی و کارآمد در این زمینه باعث مطلوب بودن خواص بتن و جلوگیری از عوامل مضر سنگدانه‌ای در آن می‌شود.

### ۱-۴- سوالات اساسی طرح

- الف- تاثیر جنس سنگدانه‌ها بر خواص مکانیکی بتن چگونه است؟
- ب- چه ارتباطی بین خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگدانه‌ها و مقاومت نهایی بتن وجود دارد؟
- ج- فصل مشترک خمیر سیمان با سنگدانه، چه ارتباطی با ویژگی‌های سنگدانه دارد؟

<sup>۱</sup> Aggregate Crushing Value (ACV)

<sup>۲</sup> Aggregate Impact Value (AIV)

<sup>۳</sup> Petrology

## ۱-۵- اهداف تحقیق

- الف- بررسی اثر نوع و ویژگی‌های سنگدانه‌ها بر خواص بتن
- ب- بررسی میزان تاثیر جنس سنگدانه‌های مختلف بر میزان چسبندگی بین خمیر سیمان و سنگدانه در بتن
- ج- بررسی اثر سنگدانه‌ای نامطلوب در زوال بتن ساخته شده

## ۱-۶- فرضیه‌ها و پیش‌فرض‌ها

- الف- انتخاب نوع سنگدانه مناسب باعث افزایش مقاومت بتن خواهد شد.
- ب- کاربرد سنگدانه مناسب در بتن از تخریب شیمیایی آن جلوگیری می‌کند.
- ج- پیچیدگی تاثیر عوامل سنگدانه‌ای در خواص بتن قابل شناسایی است.

## ۱-۷- روش انجام تحقیق

- الف- گردآوری سنگ‌های مختلف انتخابی از معادن و محل‌های مناسب
- ب- بررسی خصوصیات سنگ‌ها
- ج- شکستن سنگ‌ها در اندازه شن و ماسه
- د- بررسی خصوصیات سنگدانه‌ها
- ه- طرح اختلاط مناسب و تهیه بتن از این مصالح
- و- بررسی خصوصیات مکانیکی بتن
- ز- ارایه راهکارهای مناسب و نتیجه‌گیری

## ۱-۸- تجزیه و تحلیل اطلاعات

پس از تعیین خصوصیات مکانیکی بتن ساخته شده و کسب پارامترهای لازم، داده‌های بدست آمده با خصوصیات و ویژگی‌های سنگدانه‌ها (به خصوص جنس سنگدانه‌ها) مقایسه شده و تاثیر جنس سنگدانه‌ها بر خصوصیات مکانیکی بتن تولیدی مورد تفسیر و ارزیابی قرار گرفت. برای این هدف، پارامترهای لازم از آزمون‌های آزمایشگاهی سنگدانه‌ها بدست آمده و با نتایج حاصل از خواص مکانیکی بتن ارتباط داده شد. در ادامه نتایج بدست آمده با استفاده از برنامه‌های آماری تحلیل می‌گردد. به طور کلی در تجزیه و تحلیل اطلاعات، از نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی، برنامه‌های آماری و محاسبات کامپیوتری (برای مقایسه) استفاده شده است.

## ۱-۹- خلاصه فصل‌های پایان‌نامه

تحقیق حاضر در ۶ فصل نگاشته شده است که خلاصه‌ای از این فصل‌های در اینجا ذکر می‌شود. در فصل اول با عنوان مقدمه به بیان زمینه تحقیق، ضرورت تحقیق، سؤالات تحقیق و خلاصه فصل‌های پایان‌نامه پرداخته شده است. در این فصل نقش و اهمیت سنگدانه‌ها در بتن بررسی و آزمایش‌های