

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بسمه تعالی



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

اعضای هیات داوران نسخه نهایی پایان نامه آقای حبیب ... بهرامخانی رشته زمین شناسی مهندسی تحت عنوان: «ارزیابی دوام سنگ های ساختمانی با استفاده از دستگاه دوام بزرگ مقیاس» از نظر فرم و محتوا بررسی نموده و آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مورد تأیید قرار دادند.

| امضاء   | رتبه علمی | نام و نام خانوادگی      | اعضای هیات داوران         |
|---|-----------|-------------------------|---------------------------|
|   | استادیار  | دکتر محمدرضا نیکودل     | ۱- استاد راهنما           |
|  | دانشیار   | دکتر ماشاء... خامه چیان | ۲- استاد مشاور            |
|  | دانشیار   | دکتر علی ارومیه ای      | ۳- استاد ناظر داخلی       |
|  | دانشیار   | دکتر مرتضی احمدی        | ۴- استاد ناظر خارجی       |
|  | دانشیار   | دکتر علی ارومیه ای      | ۵- نماینده تحصیلات تکمیلی |



بسمه تعالی

### آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت های علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی 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:  
و کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته زمین شناسی معدنی است که در سال ۱۳۸۹ در دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر نیلورد ، مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر خامرچیان و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر \_\_\_\_\_ از آن دفاع شده است.

ماده ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به دفتر نشر آثار علمی دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند 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 را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

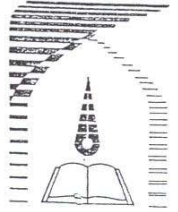
ماده ۵ دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب حبیب الله پورافغان دانشجوی رشته زمین شناسی معدنی مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: حبیب الله پورافغان

تاریخ و امضا:

۸۹/۱۰/۱۸



دانشگاه تربیت مدرس  
معاونت پژوهشی

بسمتعالی  
جمهوری اسلامی ایران

شماره .....  
تاریخ .....  
پوست .....

### 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 می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان 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 دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

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، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه های مصوب انجام شود.

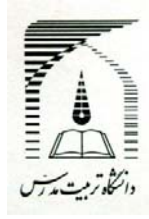
ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱۸ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه 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.

«اینجانب ..... دانشجوی رشته ..... و ورودی سال تحصیلی ..... مقطع .....  
دانشکده ..... متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان‌نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین‌نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضاء: .....  
تاریخ: ۸۷/۷/۱۸

تهران، بلال‌آل محمدپل  
شماره پستی: ۱۳۱۵-۲۱۸  
تلفن: ۸۸۰۱۱۰۰۱  
دورنگار: ۸۸۰۰۵۰۳۵  
res@modares.ac.ir  
www.modares.ac.ir



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده علوم پایه

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته زمین‌شناسی

گرایش مهندسی

ارزیابی دوام سنگ‌های ساختمانی با استفاده از دستگاه دوام بزرگ مقیاس

نگارنده:

حبیب‌الله بهرامخانی

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا نیکودل

استاد مشاور:

دکتر ماشاالله خامه‌چیان

شهریور ۱۳۸۹

منم که بی تو نفس می کشم زهی خجالت ...



تقدیم به:

روح پدرم، کسی که گذر سال و ماه ذره ای از یادش در دلم نکاسته و همواره یاد او

مونس تنهایی های من است.

و تقدیم:

به پر مهرترین مادری که می شناسم، مادر عزیزم

## تشکر و قدردانی

در اینجا بر خود لازم می‌دانم تا از تمامی عزیزان و بزرگواری که به هر نحوی در این تحقیق مرا یاری نموده و در به ثمر نشستن این تحقیق تلاش نموده‌اند، تقدیر و تشکر به عمل آورم:

- ✓ از اعضای خانواده که بیشترین زحمت را در در راه تحصیل من متحمل گردیده و در تمامی دوران تحصیل حمایت‌های بی‌دریغی از من به عمل آورده‌اند تقدیر و تشکر می‌کنم.
- ✓ از تمامی معلمان، دبیران و اساتیدی که در دوره‌های مختلف تحصیل افتخار کسب دانش در خدمت‌شان را داشته‌ام و در جهت پیشرفت علمی من تلاش نموده‌اند تقدیر و تشکر می‌نمایم.
- ✓ از دکتر نیکودل و دکتر خامه‌چیان که به ترتیب زحمت راهنمایی و مشاوره را در این تحقیق بر عهده داشتند تشکر می‌نمایم. همچنین از دکتر ارومیه‌ای که ایشان نیز زحمات فراوانی در راه آموزش من کشیده‌اند تشکر می‌کنم.
- ✓ از دکتر رنجبران که از اساتید دوره‌ی کارشناسی من بوده و در این تحقیق زحمت مطالعات پتروگرافی سنگ‌های مورد آزمایش را بر عهده داشتند تشکر می‌کنم.
- ✓ از زحمات دکتر الیاسی که در بین اساتید دوره‌ی کارشناسی ایشان نقش ویژه‌ای در پیشرفت‌های تحصیلی من داشته و همواره مشوق من بوده‌اند تشکر و قدردانی می‌کنم.
- ✓ از آقای طاهرآبادی، مسئول محترم آزمایشگاه زمین‌شناسی مهندسی که در آزمایشگاه همواره به من کمک کرده و همکاری لازم را به عمل آورده‌اند سپاسگزاری می‌نمایم.
- ✓ از هم‌اتاقی‌هایم در خوابگاه (آقای جعفر دلایی میلان و آقای منوچهر علیزاده) که هنگام نگارش این تحقیق متحمل زحماتی گردیده‌اند تشکر می‌کنم. همچنین از همه‌ی همکلاسی‌هایم که در دوره‌های مختلف تحصیل از کمک‌های درسی آن‌ها بهره‌مند گردیده‌ام تشکر می‌نمایم.
- ✓ از شرکت رشد علوم زمین مدرس به خاطر ساخت دستگاه دوام بزرگ‌مقیاس سپاسگزاری می‌کنم.

## چکیده

میزان مقاومت یک سنگ در برابر تخریب و متلاشی شدن در اثر عوامل هوازدگی دوام آن سنگ نامیده می‌شود. آزمایشات متنوعی جهت ارزیابی دوام سنگ‌ها وجود دارد که آزمایش دوام وارفنگی یکی از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد. این آزمایش عمدتاً تحت عنوان آزمایشی جهت ارزیابی مقاومت سنگ‌ها در برابر چرخه‌های مختلف تر و خشک شدن شناخته شده و در بسیاری از پروژه‌های مهندسی ارزیابی آن اهمیت می‌یابد. دستگاهی که برای ارزیابی دوام وارفنگی سنگ‌ها به کار می‌رود، جهت ارزیابی دوام سنگ‌های نرم و آرژیلیتی طراحی شده و برای سنگ‌های سخت جواب مناسبی به دست نمی‌دهد. همچنین قطر روزنه‌های توری آن ۲mm بوده و حداکثر قطر دانه‌های مورد آزمایش نباید بیش از ۳mm باشد. در این تحقیق با توجه به محدودیت‌های مذکور دستگاه دوام بزرگ مقیاس جهت ارزیابی دوام سنگ‌های سخت طراحی گردید که علاوه بر ارزیابی مقاومت سنگ‌های سخت در برابر چرخه‌های تر و خشک شدن، قادر است مقاومت آن‌ها در برابر ضربه و سایش را نیز ارزیابی نماید. توری استوانه‌ای این دستگاه دارای طول و قطر هر کدام ۶۰cm بوده و قطر روزنه‌های توری آن ۵mm است. موتور این دستگاه قادر است آن را با سرعت‌های مختلف بین ۴۰-۴ rpm به چرخش در آورد. پس از ساخت دستگاه ۱۷ نمونه از سنگ‌های ساختمانی انتخاب گردیده و دوام آن‌ها با هر دو دستگاه استاندارد و بزرگ مقیاس مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌های انتخاب شده اکثراً از بین سنگ‌های سخت می‌باشند که چند مورد سنگ نرم نیز در بین آن‌ها وجود دارد. علاوه بر آزمایش دوام، آزمایشات دیگری نیز نظیر آزمایش خواص فیزیکی، خصوصیات مکانیکی و مطالعات پتروگرافی بر روی این سنگ‌ها صورت پذیرفت و نتایج حاصله مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق مقاومت سایشی سنگ‌ها و حساسیت آن‌ها به حضور آب به عنوان دو مورد از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر نتایج آزمایش دوام وارفنگی معرفی گردیده‌اند و روشی جهت ارزیابی نقش هر یک از این دو عامل در نتایج آزمایش پیشنهاد شده است. نتایج حاصله وابستگی بیشتر نتایج دستگاه بزرگ مقیاس به مقاومت سایشی سنگ‌ها و تأثیرپذیری کم آن از حضور آب، در مقایسه با دستگاه استاندارد را نشان می‌دهد. همچنین به نظر می‌رسد برای سنگ‌های سخت، نتایج دستگاه دوام بزرگ مقیاس دارای دقت بیشتری نسبت به دستگاه استاندارد بوده و ارزیابی بهتری از دوام این سنگ‌ها به عمل می‌آورد.

**واژگان کلیدی:** سنگ ساختمانی، دوام، وارفنگی، دستگاه دوام استاندارد، دستگاه دوام بزرگ مقیاس



## فصل اول: کلیات

|                         |   |
|-------------------------|---|
| ۱-۱- مقدمه .....        | ۲ |
| ۲-۱- اهداف تحقیق .....  | ۳ |
| ۳-۱- اهمیت تحقیق .....  | ۴ |
| ۴-۱- ساختار تحقیق ..... | ۴ |

## فصل دوم: دوام و سنگ‌های ساختمانی

|   |    |
|---|----|
| ۱-۲- مقدمه .....                                    | ۷  |
| ۲-۲- سنگ‌های ساختمانی .....                         | ۷  |
| ۳-۲- تاریخچه‌ی سنگ ساختمانی .....                   | ۸  |
| ۴-۲- انواع سنگ ساختمانی .....                       | ۹  |
| ۵-۲- عوامل مؤثر در انتخاب سنگ ساختمانی .....        | ۱۱ |
| ۶-۲- چشم انداز آینده‌ی سنگ ساختمانی .....           | ۱۳ |
| ۷-۲- دوام .....                                     | ۱۵ |
| ۸-۲- آزمایش دوام در برابر انجماد و ذوب .....        | ۱۶ |
| ۱-۸-۲- تبلور نمک .....                              | ۱۸ |
| ۲-۸-۲- آزمایش ضریب اشباع .....                      | ۱۹ |
| ۹-۲- آزمایش دوام وارفنگی .....                      | ۱۹ |
| ۱-۹-۲- آزمایش دوام دینامیک .....                    | ۲۰ |
| ۲-۹-۲- آزمایش دوام استاتیک .....                    | ۲۲ |
| ۱۰-۲- موارد اهمیت دوام .....                        | ۲۵ |
| ۱۱-۲- عوامل مؤثر در نتایج آزمایش دوام وارفنگی ..... | ۲۷ |

|    |   |
|----|---|
| ۲۷ | ..... ۱-۱۱-۲ عوامل ذاتی و درونی                 |
| ۲۷ | ..... ترکیب کانی‌شناسی                          |
| ۲۸ | ..... بافت سنگ                                  |
| ۳۳ | ..... خصوصیات فیزیکی                            |
| ۳۶ | ..... خواص مقاومتی سنگ                          |
| ۳۶ | ..... هوازدگی                                   |
| ۳۷ | ..... ۲-۱۱-۲ عوامل مرتبط با نحوه و شرایط آزمایش |
| ۳۷ | ..... شکل نمونه های مورد آزمایش                 |
| ۴۰ | ..... مایع عامل وارفنگی                         |
| ۴۱ | ..... تعداد چرخه های آزمایش                     |
| ۴۱ | ..... ویژگی های دستگاه آزمایش                   |

### فصل سوم: معرفی دستگاه دوام بزرگ‌مقیاس

|    |  |
|----|--|
| ۴۳ | ..... ۱-۳-۱- ضرورت طراحی دستگاه  |
| ۴۴ | ..... ۲-۳-۲- مشخصات دستگاه   |
| ۴۷ | ..... ۳-۳-۳- قابلیت‌های دستگاه و نحوه‌ی استفاده                                  |
| ۴۷ | ..... ۱-۳-۳- ارزیابی دوام وارفنگی سنگ‌ها خصوصاً سنگ‌های سخت                      |
| ۴۸ | ..... ۲-۳-۳- قابلیت چرخش با سرعت‌های متفاوت                                      |
| ۵۰ | ..... ۳-۳-۳- امکان بررسی تأثیر ضربه و سایش بر سنگ‌ها                             |
| ۵۰ | ..... ۴-۳-۴- فرضیات لحاظ شده در طراحی دستگاه                                     |
| ۵۱ | ..... ۱-۴-۳- افزایش دقت و کاهش خطا در ارزیابی دوام سنگ‌های سخت                   |
| ۵۲ | ..... ۲-۴-۳- امکان بررسی دوام وارفنگی و مقاومت در برابر ضربه و سایش با یک دستگاه |
| ۵۳ | ..... ۳-۴-۳- صرفه‌جویی در زمان   |
| ۵۳ | ..... ۴-۴-۳- فراهم شدن زمینه‌های تحقیقاتی جدید                                   |

## فصل چهارم: تشریح کارهای انجام شده

|    |  |
|----|--|
| ۵۵ | ۱-۴- مقدمه .....                       |
| ۵۵ | ۲-۴- انتخاب نمونه‌ها .....             |
| ۵۶ | ۳-۴- معرفی نمونه‌های مورد آزمایش ..... |
| ۵۶ | ۱-۳-۴- سنگ‌های آذرین .....             |
| ۵۷ | گرانیت .....                           |
| ۵۸ | کوارتز مونزونیت .....                  |
| ۵۹ | تراکی‌اندزیت .....                     |
| ۵۹ | ۲-۳-۴- سنگهای آذرآواری .....           |
| ۵۹ | توف شماره‌ی ۱ .....                    |
| ۵۹ | توف شماره‌ی ۲ .....                    |
| ۶۰ | ۳-۳-۴- سنگ‌های رسوبی .....             |
| ۶۰ | سنگ‌آهک شماره‌ی ۱ .....                |
| ۶۰ | سنگ‌آهک شماره‌ی ۲ .....                |
| ۶۱ | تراورتن شماره‌ی ۱ .....                |
| ۶۱ | تراورتن شماره‌ی ۲ .....                |
| ۶۱ | تراورتن شماره‌ی ۳ .....                |
| ۶۱ | تراورتن شماره‌ی ۴ .....                |
| ۶۲ | تراورتن شماره‌ی ۵ (مرمر اُنیکس) .....  |
| ۶۲ | لوماشل شماره‌ی ۱ .....                 |
| ۶۲ | لوماشل شماره‌ی ۲ .....                 |
| ۶۲ | ماسه‌سنگ .....                         |
| ۶۲ | ژئپس .....                             |
| ۶۳ | ۴-۳-۴- سنگ‌های دگرگونی .....           |
| ۶۳ | ۴-۴- آزمایشات انجام گرفته .....        |

|    |                                    |
|----|------------------------------------|
| ۶۳ | ..... ۱-۴-۴ آزمایش دوام استاندارد  |
| ۶۵ | ..... ۲-۴-۴ آزمایش دوام بزرگ مقیاس |
| ۶۶ | ..... ۳-۴-۴ آزمایش مقاومت تک محوری |
| ۶۸ | ..... ۴-۴-۴ آزمایش سرعت صوت        |
| ۷۰ | ..... ۵-۴-۴ خصوصیات فیزیکی         |
| ۷۰ | ..... چگالی                        |
| ۷۰ | ..... وزن مخصوص ( $G_s$ )          |
| ۷۱ | ..... تخلخل                        |
| ۷۳ | ..... ۶-۴-۴ مطالعات پتروگرافی      |

#### فصل پنجم: تجزیه و تحلیل نتایج حاصله

|     |   |
|-----|---|
| ۷۵  | ..... ۱-۵ نتایج حاصل از خصوصیات فیزیکی                                |
| ۸۰  | ..... ۲-۵ خواص مکانیکی  |
| ۸۵  | ..... ۳-۵ آزمایش دوام وارفتگی   |
| ۸۵  | ..... ۱-۳-۵ آزمایش دوام استاندارد                                     |
| ۹۳  | ..... ۲-۳-۵ آزمایش دوام بزرگ مقیاس                                    |
| ۱۰۰ | ..... ۳-۳-۵ مقایسه‌ی نتایج حاصل از دستگاه دوام استاندارد و بزرگ مقیاس |
| ۱۰۴ | ..... ۴-۵ بررسی نقش آب در دوام وارفتگی سنگ‌ها                         |

#### فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

|     |                      |
|-----|----------------------|
| ۱۰۹ | ..... ۱-۶ نتیجه‌گیری |
| ۱۱۲ | ..... ۲-۶ پیشنهادات  |
| ۱۱۳ | ..... منابع          |

## عنوان و شماره جدول

صفحه

### جداول فصل دوم

|  |    |
|--|----|
| جدول ۱-۲ انواع مختلف سنگ‌های ساختمانی                          | ۱۰ |
| جدول ۲-۲ طبقه‌بندی آزمایشات دوام سنگ‌ها                        | ۱۶ |
| جدول ۳-۲ تقسیم بندی سنگ‌ها بر اساس شاخص دوام                   | ۲۱ |
| جدول ۴-۲ تقسیم بندی سنگ‌ها بر اساس مشاهدات توصیفی دوام استاتیک | ۲۳ |
| جدول ۵-۲ طبقه‌بندی ارائه شده بر اساس شاخص دوام وارفتگی         | ۲۴ |

### جداول فصل چهارم

|   |    |
|---|----|
| جدول ۱-۴ طبقه‌بندی سنگ‌های دارای فلدسپار با ضریب اشباع صفر تا ۱۰ درصد | ۵۸ |
| جدول ۲-۴ محدوده‌ی مقاومت تک‌محوری برای برخی انواع متداول سنگ ساختمانی | ۶۷ |
| جدول ۳-۴ سرعت امواج صوتی و درجه‌ی هوازدگی در گرانیت‌ها                | ۶۹ |

### جداول فصل پنجم

|   |     |
|---|-----|
| جدول ۱-۵ خصوصیات فیزیکی و ضریب اشباع سنگ‌های مورد آزمایش                      | ۷۶  |
| جدول ۲-۵ مقاومت تک‌محوری و سرعت صوت برای سنگ‌های مورد آزمایش                  | ۸۱  |
| جدول ۳-۵ نتایج حاصل از آزمایش دوام وارفتگی استاندارد برای مراحل ۲، ۵ و ۱۵     | ۸۶  |
| جدول ۴-۵ نتایج آزمایش دوام بزرگ‌مقیاس برای مراحل ۲، ۵ و ۱۵                    | ۹۴  |
| جدول ۵-۵ ترتیب سنگ‌ها بر اساس نتایج حاصله برای شاخص دوام از بیشترین به کمترین | ۱۰۱ |
| جدول ۶-۵ نسبت شیب خط مماس بر منحنی خشک به منحنی مرطوب در نقطه‌ی محل تلاقی     | ۱۰۶ |

## شماره و عنوان شکل

صفحه

### شکل های فصل دوم

- شکل ۱-۲ اهرام گیزه‌ی مصر با قدمت ۵۰۰۰ ساله به عنوان نمونه‌ای از استفاده از سنگ در دوران باستان ..... ۹
- شکل ۲-۲ تغییرات چگالی آب با تغییر دما. .... ۱۷
- شکل ۳-۲ تغییرات دمای آب و یخ در یک چرخه‌ی انجماد و ذوب ..... ۱۸
- شکل ۴-۲ ارتباط مقاومت انواع گرانیب با نسبت کوارتز به فلدسپات ..... ۲۸
- شکل ۵-۲ ارتباط مقاومت سنگ‌های تخریبی با درصد کوارتز و دانه‌های تخریبی ..... ۲۸
- شکل ۶-۲ تأثیر اندازه‌ی کانی‌های مختلف گرانیب بر مقاومت آن ..... ۲۹
- شکل ۷-۲ رابطه‌ی میانگین اندازه‌ی ذرات با مقاومت در سنگ‌های تخریبی ..... ۳۰
- شکل ۸-۲ انواع مختلف نحوه‌ی تماس دانه‌ها با یکدیگر در سنگ‌های رسوبی ..... ۳۱
- شکل ۹-۲ رابطه‌ی چگالی سنگ با تخلخل کل ..... ۳۴
- شکل ۱۰-۲ تأثیر تخلخل سنگ بر سرعت انتشار امواج طولی ..... ۳۴
- شکل ۱۱-۲ اختلاف در جذب آب آهک آلیتی متخلخل سالم و قشر هوازده‌ی آن با زمان ..... ۳۶
- شکل ۱۲-۲ اشکال مختلف سنگ‌ها از لحاظ کرویت ..... ۳۷
- شکل ۱۳-۲ درجات مختلف گردشگری و کرویت در سنگ‌ها ..... ۳۸
- شکل ۱۴-۲ نحوه‌ی محاسبه‌ی بعد فرکتال ..... ۳۹

### شکل های فصل سوم

- شکل ۱-۳ شکل شماتیک دستگاه دوام بزرگ‌مقیاس ..... ۴۵
- شکل ۲-۳ دستگاه دوام بزرگ‌مقیاس ..... ۴۶
- شکل ۳-۳ محدوده‌ی اختصاص یافته به هر گروه از سنگ‌ها در طبقه‌بندی دوام سنگ‌ها ..... ۵۱

## شکل‌های فصل چهارم

- شکل ۴-۱ طبقه‌بندی Streckeisen برای سنگ‌های آذرین بیرونی کوارتزدار ..... ۵۷
- شکل ۴-۲ طبقه‌بندی اصلاح شده Dunham برای سنگ‌های آهکی ..... ۶۱
- شکل ۴-۳ دستگاه دوام استاندارد ..... ۶۴
- شکل ۴-۴ یکی از نمونه‌های تهیه شده برای آزمایش دوام بزرگ‌مقیاس (آهک شماره ۱) ..... ۶۶
- شکل ۴-۵ تصویر دستگاه اندازه‌گیری سرعت صوت در کنار شکل شماتیک آن ..... ۶۸
- شکل ۴-۶ ارتباط سرعت صوت با شاخص سختی شور ..... ۶۹
- شکل ۴-۷ تغییرات حجم برخی کانیه‌های عمده‌ی تشکیل دهنده‌ی سنگ‌ها ..... ۷۲

## شکل‌های فصل پنجم

- شکل ۵-۱ نمودار میله‌ای چگالی خشک، اشباع ( $\text{gr/cm}^3$ ) و وزن مخصوص ..... ۷۷
- شکل ۵-۲ نمودار میله‌ای تخلخل مؤثر و کل (%) ..... ۷۷
- شکل ۵-۳ نمودار میله‌ای جذب آب (%) ..... ۷۷
- شکل ۵-۴ نمودار میله‌ای ضریب اشباع (%) ..... ۷۸
- شکل ۵-۵ رابطه تخلخل کل (%) با چگالی خشک ( $\text{gr/cm}^3$ ) ..... ۷۸
- شکل ۵-۶ رابطه تخلخل مؤثر (%) با جذب آب (%) ..... ۷۸
- شکل ۵-۷ رابطه تخلخل کل (%) با تخلخل مؤثر (%) ..... ۷۹
- شکل ۵-۸ رابطه ضریب اشباع (%) با تخلخل مؤثر (%) ..... ۷۹
- شکل ۵-۹ رابطه ضریب اشباع (%) با چگالی خشک ( $\text{gr/cm}^3$ ) ..... ۷۹
- شکل ۵-۱۰ نمونه‌ای از مغزه‌های تهیه شده جهت آزمایش تک‌محوری و سرعت صوت (کوارتزمونزونیت) ..... ۸۰
- شکل ۵-۱۱ رابطه سرعت صوت (m/s) با مقاومت تک‌محوری (MPa) ..... ۸۱
- شکل ۵-۱۲ نمودار میله‌ای مقاومت تک‌محوری (MPa) و سرعت صوت ( $100\text{m/s}^*$ ) ..... ۸۲
- شکل ۵-۱۳ رابطه مقاومت تک‌محوری (MPa) با چگالی خشک ( $\text{gr/cm}^3$ ) ..... ۸۲
- شکل ۵-۱۴ رابطه سرعت صوت (m/s) با چگالی خشک ( $\text{gr/cm}^3$ ) ..... ۸۳
- شکل ۵-۱۵ رابطه مقاومت تک‌محوری (MPa) با تخلخل کل (%) ..... ۸۳

- شکل ۵-۱۶ رابطه مقاومت تک محوری (MPa) با تخلخل مؤثر (%). ..... ۸۳
- شکل ۵-۱۷ رابطه سرعت صوت (m/s) با تخلخل کل (%). ..... ۸۴
- شکل ۵-۱۸ رابطه سرعت صوت (m/s) با تخلخل مؤثر (%). ..... ۸۴
- شکل ۵-۱۹ رابطه شاخص دوام مراحل ۲ و ۱۵ ..... ۸۷
- شکل ۵-۲۰ رابطه شاخص دوام مراحل ۲ و ۱۵ بدون لحاظ کردن ماسه سنگ ..... ۸۸
- شکل ۵-۲۱ روند تغییرات وارفتگی چهار نمونه از سنگهای مورد آزمایش ..... ۸۹
- شکل ۵-۲۲ رابطه شاخص دوام مرحله‌ی دوم با تخلخل کل ..... ۹۰
- شکل ۵-۲۳ رابطه شاخص دوام مرحله‌ی دوم با تخلخل مؤثر ..... ۹۰
- شکل ۵-۲۴ رابطه شاخص دوام مرحله‌ی دوم با جذب آب ..... ۹۰
- شکل ۵-۲۵ رابطه شاخص دوام مرحله‌ی دوم با چگالی خشک ..... ۹۱
- شکل ۵-۲۶ رابطه شاخص دوام مرحله‌ی دوم با سرعت صوت ..... ۹۱
- شکل ۵-۲۷ رابطه شاخص دوام مرحله‌ی دوم با مقاومت تک محوری ..... ۹۱
- شکل ۵-۲۸ نمودار میله‌ای شاخص دوام سنگ‌هایی که به طور استاندارد مورد آزمایش قرار گرفته‌اند ..... ۹۲
- شکل ۵-۲۹ نمودار میله‌ای شاخص دوام سنگ‌هایی که قبل از آزمایش متحمل چرخه‌ی خشک گردیده‌اند ..... ۹۲
- شکل ۵-۳۰ ارتباط بین شاخص دوام مراحل ۲ و ۱۵ آزمایش بزرگ مقیاس ..... ۹۴
- شکل ۵-۳۱ روند تغییرات وارفتگی چهار نمونه از سنگ‌های مورد آزمایش در آزمایش بزرگ مقیاس ..... ۹۵
- شکل ۵-۳۲ رابطه شاخص دوام مرحله‌ی دوم بزرگ مقیاس با تخلخل کل ..... ۹۷
- شکل ۵-۳۳ رابطه شاخص دوام مرحله‌ی دوم بزرگ مقیاس با تخلخل مؤثر ..... ۹۷
- شکل ۵-۳۴ رابطه شاخص دوام مرحله‌ی دوم بزرگ مقیاس با جذب آب ..... ۹۸
- شکل ۵-۳۵ رابطه شاخص دوام مرحله‌ی دوم بزرگ مقیاس با چگالی خشک ..... ۹۸
- شکل ۵-۳۶ رابطه شاخص دوام مرحله‌ی دوم بزرگ مقیاس با سرعت صوت ..... ۹۸
- شکل ۵-۳۷ رابطه شاخص دوام مرحله‌ی دوم بزرگ مقیاس با مقاومت تک محوری ..... ۹۹
- شکل ۵-۳۸ شاخص دوام بزرگ مقیاس سنگ‌هایی که از اول با حضور آب مورد آزمایش قرار گرفتند ..... ۹۹
- شکل ۵-۳۹ شاخص دوام بزرگ مقیاس سنگ‌هایی که قبل از آزمایش متحمل چرخه‌های خشک گردیده‌اند .. ۹۹
- شکل ۵-۴۰ درصد کاهش وزن نمونه‌ها پس از دو چرخه آزمایش در دو روش استاندارد و بزرگ مقیاس ..... ۱۰۲



- شکل ۴۱-۵ ارتباط بین میزان کاهش وزن نمونه‌ها در چرخه‌ی دوم بدون در نظر گرفتن چهار سنگ نرم ... ۱۰۳
- شکل ۴۲-۵ روند تغییرات وزن نمونه‌ها در دو چرخه‌ی خشک و مرطوب ..... ۱۰۴
- شکل ۴۳-۵ تصویر توف شماره‌ی ۲ در ابعاد تهیه شده برای آزمایش دوام استاندارد ..... ۱۰۶
- شکل ۴۴-۵ نمودار میله‌ای نسبت شیب خطوط مماس ..... ۱۰۷

فصل اول

کلیات

## ۱-۱- مقدمه

میزان پایداری یک سنگ در مقابل عوامل هوازدگی تحت عنوان دوام<sup>۱</sup> آن سنگ شناخته می‌شود. به بیانی دیگر دوام عبارت است از توانایی یک سنگ جهت مقاومت در رخنمون‌های سطحی (Prentice, 1990). از آنجایی که راه‌های تخریب سنگ‌ها در طبیعت بسیار متعدد و گوناگون می‌باشند، هیچ آزمایشی نمی‌تواند این عوامل را، به جز در حالت‌های محدودی بازسازی کند (Goodman, 1989). با این حال اهمیت دوام در سنگ‌های مختلف باعث گردیده تا تلاش‌هایی جهت مدل کردن عوامل هوازدگی و میزان پایداری هر سنگ در مقابل این عوامل صورت گرفته و آزمایشاتی بدین منظور ابداع گردند. آزمایش دوام وارفنگی<sup>۲</sup> یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین این آزمایشات می‌باشد. این روش که توسط Franklin and Chandra (1972) پیشنهاد گردیده است، شامل اعمال چرخه‌های تر و خشک شدن با شرایط خاص و محاسبه‌ی شاخص دوام<sup>۳</sup> به صورت درصد وزن خشک باقی‌مانده‌ی سنگ به وزن خشک اولیه‌ی آن می‌باشد.

دوام یکی از ویژگی‌های مهندسی مهم سنگ‌ها می‌باشد که در موارد متعددی نظیر کنترل پایداری حفاری‌های سطحی و زیرزمینی، همچنین تغییرات و پایداری شیب‌های طبیعی و مصنوعی مؤثر است (Crosta, 1998). سنگ‌های ساختمانی یکی دیگر از مواردی هستند که دوام آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. به دلیل قرار گرفتن این سنگ‌ها در معرض هوای آزاد بیرون و تر و خشک شدن‌های متعدد ناشی از بارندگی، دوام در آن‌ها دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. در این سنگ‌ها حتی مقادیر کم وارفنگی نیز می‌تواند میزان قابل توجهی از جلا و زیبایی آن بکاهد و مقادیر بالای وارفنگی، پایداری این سنگ‌ها در سازه را به مخاطره می‌اندازد. همچنین نسبت سطح در معرض عوامل هوازدگی به حجم کل در این سنگ‌ها بالاست که این امر موجب افزایش سرعت زوال این سنگ‌ها گردیده و باعث افزایش هرچه بیشتر اهمیت دوام در این سنگ‌ها می‌گردد (نیکودل و

---

<sup>1</sup> -Durability

<sup>2</sup> -Slake Durability Test

<sup>3</sup> - Index of Durability

همکاران، ۱۳۸۸). از طرفی اکثر سنگ‌های ساختمانی جزء سنگ‌های سخت بوده و چنانچه در فصل‌های بعدی اشاره می‌گردد، دستگاهی که جهت ارزیابی دوام وارفتگی سنگ‌ها به صورت استاندارد در آمده و مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای سنگ‌های سخت دستگاه مناسبی به نظر نمی‌رسد. از این رو، برای اینکه بتوان دوام سنگ‌های سخت و از آن جمله سنگ‌های ساختمانی را مورد ارزیابی قرار داد، دستگاهی جدید با مشخصاتی متفاوت از دستگاه دوام استاندارد و در ابعادی بزرگتر از آن طراحی گردیده و در این تحقیق جهت ارزیابی سنگ‌های ساختمانی مورد استفاده قرار گرفت.

## ۱-۲- اهداف تحقیق

این تحقیق با توجه به محدودیت‌های دستگاه دوام استاندارد در ارزیابی دوام سنگ‌های سخت و با توجه به اهمیت دوام در تمامی سنگ‌ها شکل گرفت. هدف عمده از آن فراهم کردن روشی جهت ارزیابی دوام سنگ‌های سخت می‌باشد. جهت تبیین جزئی‌تر اهداف این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. ایجاد امکان سنجش دوام سنگ‌های سخت و از آن جمله سنگ‌های ساختمانی با دقت بیشتر و خطای

کمتر نسبت به دستگاه دوام استاندارد

۲. سنجش میزان کارایی دستگاه دوام بزرگ‌مقیاس و مشخص نمودن دامنه‌ی کاربرد آن برای ارزیابی دوام

سنگ‌ها

۳. مدل کردن چرخه‌های بالاتر دستگاه دوام استاندارد با تعداد چرخه‌های کمتر و به این ترتیب کاهش

مدت زمان لازم برای سنجش دقیق دوام سنگ‌ها

۴. انجام آزمایش دوام با هر دو دستگاه دوام استاندارد و بزرگ‌مقیاس و مقایسه‌ی نتایج حاصله جهت پی

بردن به مزایا و معایب احتمالی دستگاه دوام بزرگ‌مقیاس نسبت به نوع استاندارد

۵. بررسی نقش دستگاه اندازه‌گیری در نتایج حاصل از آزمایش دوام