کد رهگیری ثبت پروپوزال: ۱۰۸٤۱۳۸

کد رهگیری ثبت پایان نامه:

بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا یا استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.

مقالات خارجی

……..……, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

مقالات داخلی

.....، گروه .....، دانشکده .....، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

دانشکده علوم پایه

گروه زمین‌شناسی

پایان نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته زمین‌شناسی گرایش زمین‌شناسی مهندسی

عنوان:

ارزیابی زوال‌پذیری سنگ‌آهک‌های بیستون با تأکید بر سنگ‌نبشته داریوش

استاد راهنما:

دکتر مجتبی حیدری

استاد مشاور:

دکتر حسن محسنی

پژوهشگر:

بهمن ساعدی

۶ خرداد ۱۳۹۲

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار، به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است، به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

آنان که وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان همه برایم مهر.

آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرمایه های جاودانی زندگی من است.

آنان که راستی قامتم در شکستگی قامتشان تجلی یافت.

سرم را نه ظلم می تواند خم کند، نه مرگ، نه ترس، سرم فقط برای بوسیدن دست های شما خم می شود.

تقدیر و تشکر

اکنون که با استعانت از الطاف بیکران خداوند متعال مرحله دیگری از تحصیل را به پایان رسانده‌ام بر خود لازم می‌دانم از اساتید بزرگوار و دوستان عزیزی که در طول این دوره، افتخار آشنایی و حضور در محضرشان را داشته‌ام، صمیمانه قدردانی و تشکر نمایم.

بدون شک انجام این پژوهش مرهون راهنمایی‌های ارزنده استاد عزیزم، جناب آقای دکتر مجتبی حیدری می‌باشد، که همواره در طی این دوره مشوق من بوده‌اند. لیکن بدینوسیله از زحمات بی‌دریغشان تشکر و سپاسگزاری نموده و موفقیت و سلامتی ایشان را در تمامی مراحل زندگی از خداوند بزرگ خواستارم.

از استاد مشاور جناب آقای دکتر حسن محسنی بخاطر مساعدت‌های فراوانی که در طی مراحل انجام این پژوهش نسبت به من داشته‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی نموده و سرافرازی و موفقیت ایشان را از خداوند منان خواهانم.

از اساتید بزرگوار جناب آقای پروفسور محمد حسین قبادی و جناب آقای دکتر سعید خدابخش که زحمت قرائت و داوری پایان نامه را بر عهده داشتند، تقدیر و تشکر می کنم.

از دوستان بسیار عزیز و گرامی آقایان: علی مؤمنی، احسان بازوند، یاسر دوستی، موسی اسفندیاری، هیرش تابا، بهرام عزیزی، حمید فرهادی، خلیل محرم زاده، بهزاد جگروند، داود حسینی، لقمان کتابی، علی قاسمی، کامران حسنوند، مرتضی سلطانی و خانم ها: تهرانی، بهزاد تبار، ناصری و تمامی کسانی که ذکر نامشان در این مجال نمی گنجد، صمیمانه سپاسگزارم. موفقیت و سلامتی ایشان را در تمامی مراحل زندگی از خداوند بزرگ خواستارم.

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان:

ارزیابی زوال‌پذیری سنگ‌آهک‌های بیستون با تأکید بر سنگ‌نبشته داریوش

نام نویسنده: بهمن ساعدی

نام استاد راهنما: دکتر مجتبی حیدری

نام استاد مشاور: دکتر حسن محسنی

دانشکده : علوم پایه	**گروه آموزشی: زمین‌شناسی**	
رشته تحصیلی: زمین‌شناسی	**گرایش تحصیلی: زمین‌شناسی مهندسی**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۰۳/۲۲	**تاریخ دفاع: ۱۳۹۲/۰۳/۰۶**	**تعداد صفحات: ۱۰۵**

چکیده:

سنگ نبشته داریوش به عنوان یکی از قدیمی‌ترین سندهای تاریخ و تمدن ایران، بر روی سنگ‌آهک‌های بیستون در ۳۰ کیلومتری شرق کرمانشاه نقش بسته است. قرارگیری سنگ‌آهک‌های بیستون در پهنه برخوردی زاگرس موجب گسترش شکستگی در این سنگ‌ها شده است. مطالعات درزه‌برداری نشان داد که شبکه درزه‌ها به‌عنوان مسیرهای هدایت آب باران به سمت کتیبه، نقش اساسی در انحلال و زوال‌پذیری سنگ‌های کتیبه دارند. همچنین تراکم درزه‌ها موجب توسعه کارست به صورت اشکال کارستی مانند کارن، حفرات انحلالی و چشمه‌های کارستی در منطقه شده‌است. جهت برآورد تأثیر عوامل هوازدگی بر سنگ‌های منطقه، آزمایش‌های تر و خشک شدن، سرد و گرم شدن، ذوب و انجماد و انحلال بر روی سنگ‌های مورد مطالعه انجام شد. نتایج آزمایش تر و خشک شدن نشان داد، که با افزایش اسیدیته، دوام‌پذیری و مقاومت کششی نمونه‌ها کاهش پیدا می‌کند. همچنین، نتایج آزمایش ذوب و انجماد و سرد و گرم شدن حاکی از ضعیف شدن خصوصیات نمونه‌ها نسبت به سنگ بکر است. به‌علاوه، نتایج ۲۰ چرخه آزمایش سلامت سنگ نشان داد، که بیشترین افت وزنی برای محلول‌های سولفات سدیم و منیزیم به ترتیب برابر با ۴ و ۱۷ درصد بوده و نشان از اثرتخریبی بیشتر سولفات منیزیم دارد. همچنین، نتایج آزمایش انحلال، پتانسیل انحلال‌پذیری بالای سنگ‌های منطقه را نشان می‌دهد، که می‌تواند بیشترین تأثیر را در تخریب کتیبه داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌نبشته داریوش، سنگ آهک بیستون، انحلال، زوال پذیری، کارست

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول۳-۱ دسته بندی ناپیوستگی ها از نظر تداوم ۳۴
جدول۳-۲ طبقه بندی توصیفی بازشدگی گسستگی های سنگ ۳۶
جدول۳-۳ دسته بندی ناپیوستگی ها از نظر فاصله ۳۷
جدول۳-۴ نتایج آزمون سختی واجهشی ۴۴
جدول۳-۵ نتایج محاسبه مقاومت فشاری سطوح درزه ۴۴
جدول۳-۶ توصیف درجه هوازدگی سطوح درزه براساس ضریب هوازدگی ۴۶
جدول۳-۷ مقادیر مقاومت تراکمی تک محوری بدست آمده از سختی واجهشی سنگهای منطقه (MPa) ۴۶
جدول۴-۱ نتایج آزمایش کربنات‌سنجی ۵۱
جدول۴-۲ چگالی سنگ‌های مورد مطالعه ۵۲
جدول۴-۳ طبقه‌بندی چگالی خشک سنگ‌ها ۵۲
جدول۴-۴ نتایج حاصل از بررسی تخلخل در سنگ‌های مورد مطالعه ۵۳
جدول۴-۵ طبقه‌بندی سنگ‌ها از نظر تخلخل ۵۳
جدول۴-۶ نتایج حاصل از بررسی شاخص پوکی در سنگ‌های مورد مطالعه ۵۴
جدول۴-۷ تغییرات سرعت موج فشاری و برشی در سنگ‌های مورد مطالعه ۵۴
جدول۴-۸ نتایج برآورد ثابتهای الاستیک پویا برای سنگ‌های مورد مطالعه ۵۶
جدول۴-۹ نتایج آزمایش تعیین مقاومت کششی غیر مستقیم با روش برزیلی ۵۷
جدول۴-۱۰ نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوری در حالت خشک ۵۸
جدول۴-۱۱ رده‌بندی سنگ بکر بر اساس مقاومت فشاری تک‌محوری ۵۸
جدول۴-۱۲ رده بندی سنگ بکر بر اساس نسبت مدولی ۵۹
جدول۵-۱ رده‌بندی گمبل ۶۸
جدول۵-۲ رده‌بندی فرانکلین و چاندرا ۶۸
جدول۵-۳ توصیف سنگ آهک‌های مورد مطالعه بر اساس رده‌بندی گمبل و رده‌بندی فرانکلین چاندرا ۶۹
جدول۵-۴ نتایج آنالیز شیمیایی آب مخزن در pH ۵/۹ ..... ۹۵
جدول۵-۵ نتایج آنالیز شیمیایی آب مخزن در pH ۶/۱۵ ..... ۹۵
جدول۵-۶ نتایج آنالیز شیمیایی آب مخزن در pH ۶/۶ ..... ۹۶
جدول۵-۷ میانگین ثابت سرعت انحلال برای چرخه‌های مختلف ۹۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱ تصویر نقاشی شده از سنگ‌نگاره بیستون ۷

شکل۱-۲ نمونه وصله شده دست و کلاه گوی بالدار ۸

شکل۲-۱ موقعیت جغرافیایی بیستون و راه‌های دسترسی به منطقه ۱۱

شکل۲-۲ منحنی میانگین بارندگی بلندمدت و منحنی متحرک ۵ ساله ایستگاه باران‌سنجی بیستون ۱۲

شکل۲-۳ متوسط بارش بلندمدت ماهانه در ایستگاه باران‌سنجی بیستون ۱۲

شکل۲-۴ سری زمانی روزهای بارانی سالانه و منحنی متحرک ۵ ساله ایستگاه هواشناسی سرارود ۱۳

شکل۲-۵ میانگین بلندمدت تعداد روزهای بارانی در ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود ۱۳

شکل۲-۶ سری زمانی درصد رطوبت نسبی سالانه و منحنی متحرک ۵ ساله ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود ۱۴

شکل۲-۷ میانگین حداکثر، میانگین و میانگین حداقل رطوبت نسبی ماه‌های سال در ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود ۱۴

شکل۲-۸ سری زمانی متوسط دمای سالانه و منحنی متحرک ۵ ساله ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود ۱۵

شکل۲-۹ حداکثر مطلق، میانگین حداکثر، متوسط، میانگین حداقل و حداقل مطلق دمای ماه‌های سال در ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود ۱۵

شکل۲-۱۰ سری زمانی روزهای یخبندان سالانه و منحنی میانگین متحرک ۵ ساله ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود ۱۶

شکل۲-۱۱ میانگین بلندمدت تعداد روزهای همراه با یخبندان در ایستگاه هواشناسی سرارود کرمانشاه ۱۶

شکل۲-۱۲ سری زمانی تبخیر سالانه و منحنی میانگین متحرک ۵ ساله ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود ۱۷

شکل۲-۱۳ مقادیر تبخیر متوسط بلندمدت ماهانه در ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود ۱۷

شکل۲-۱۴ سری زمانی میانگین ساعات آفتابی روزانه به همراه منحنی متحرک ۵ ساله هواشناسی کشاورزی سرارود ۱۸

شکل۲-۱۵ میانگین بلندمدت ساعات آفتابی روزانه در ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود ۱۸

شکل۲-۱۶ نمودار هایترگراف ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود ۱۹

شکل۲-۱۷ نقشه پهنه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن و گیگر ۲۰

شکل۲-۱۸ نمودار دمای سالانه در مقابل بارندگی سالانه و نوع هوازدگی منطقه مورد مطالعه ۲۱

شکل۲-۱۹ پهنه‌های تکتونیکی کوهزاد زاگرس و زیرپهنه‌های تکتونیکی پهنه سنندج سیرجان ۲۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل۲-۲۰ نقشه زمین‌شناسی منطقه بیستون ۲۴
شکل۲-۲۱ نقشه هم‌لرزه استان کرمانشاه ۲۶
شکل۳-۱ هدایت و تخلیه آب‌های نفوذی بر روی سنگ‌نبشته ۲۹
شکل۳-۲ کنتوردیاگرام ناپیوستگی‌ها ۳۲
شکل۳-۳ نمودار گل‌سرخی ناپیوستگی‌ها ۳۲
شکل۳-۴ دو دسته درزه کششی J1 و J2 که بر هم عمودند (نگاه به سمت غرب) ۳۳
شکل۳-۵ نیم‌رخهای ناهمواری سطح درزه و دامنه JRC درزه‌ها ۳۵
شکل۳-۶ توزیع آماری بازشدگی ناپیوستگی‌ها ۳۶
شکل۳-۷ توزیع آماری فاصله داری ناپیوستگی‌ها ۳۷
شکل۳-۸ نشت آب از یکی از درزه‌های منطقه در فصل مرطوب ۳۸
شکل۳-۹ توسعه اشکال کارستی کارن در منطقه ۳۹
شکل۳-۱۰ شیار انحلالی که در امتداد سطوح ضعف به وجود آمده است ۴۰
شکل۳-۱۱ نمایی از سراب کارستی بیستون ۴۱
شکل۳-۱۲ نمونه‌ای از آثار حفرات انحلالی ۴۲
شکل۳-۱۳ نمای بیرونی غار مرتاریک از داخل غار (دید به سمت جنوب شرقی)..... ۴۳
شکل۳-۱۴ گسترش کارست در محل تلاقی شکستگی‌ها ۴۴
شکل۴-۱ خصوصیات سنگ‌شناسی سنگ‌های مورد مطالعه ۵۰
شکل۴-۲ نتیجه آنالیز XRD مربوط به سنگ آهک مورد مطالعه ۵۱
شکل۴-۳ منحنی تنش-کرنش به دست آمده برای یکی از نمونه‌های مورد آزمایش ۵۷
شکل۴-۴ ارتباط چگالی خشک با تخلخل و شاخص پوکی نمونه‌ها در سنگ آهک‌های بیستون ۵۹
شکل۴-۵ ارتباط تخلخل و شاخص پوکی در سنگ آهک‌های بیستون ۶۰
شکل۴-۶ ارتباط چگالی و سرعت موج فشاری در سنگ آهک‌های مورد مطالعه ۶۰
شکل۴-۷ ارتباط تخلخل و سرعت موج فشاری در سنگ آهک‌های مورد مطالعه ۶۱
شکل۴-۸ ارتباط شاخص پوکی و سرعت موج فشاری در سنگ آهک‌های مورد مطالعه ۶۱
شکل۵-۱ نمودار مقایسه شاخص دوام وارفتگی سنگ آهک‌های مورد مطالعه در pHهای مختلف ۶۹
شکل۵-۲ نمودار مقایسه شاخص دوام وارفتگی سنگ آهک‌های مورد مطالعه در pHهای مختلف ۷۰
شکل۵-۳ تغییرات مقاومت کششی نمونه‌ها پس از تحمل ۱۵ چرخه دوام تر و خشک در pHهای مختلف ۷۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل۵-۴ نمودار تغییرات درجه حرارت در آزمایش سرد و گرم شدن ۷۳
شکل۵-۵ تغییرات تخلخل در طی چرخه‌های سرد و گرم ۷۴
شکل۵-۶ تغییرات شاخص پوکی در طی چرخه‌های سرد و گرم ۷۴
شکل۵-۷ تغییرات سرعت عبور موج فشاری در حالت خشک در طی چرخه‌های سرد و گرم ۷۵
شکل۵-۸ تغییرات سرعت عبور موج فشاری در حالت اشباع در طی چرخه‌های سرد وگرم ۷۵
شکل۵-۹ تغییرات مقاومت فشاری محصور نشده در طی چرخه‌های سرد و گرم ۷۶
شکل۵-۱۰ نمودار تغییرات درجه حرارت در آزمایش ذوب و انجماد ۷۸
شکل۵-۱۱ تغییرات تخلخل در طی چرخه‌های ذوب و انجماد ۷۹
شکل۵-۱۲ تغییرات شاخص پوکی در طی چرخه‌های ذوب و انجماد ۷۹
شکل۵-۱۳ تغییرات سرعت عبور موج فشاری در حالت خشک در طی چرخه‌های ذوب و انجماد ۸۰
شکل۵-۱۴ تغییرات سرعت عبور موج فشاری در حالت اشباع در طی چرخه‌های ذوب و انجماد ۸۰
شکل۵-۱۵ تغییرات مقاومت فشاری محصور نشده در طی چرخه‌های ذوب و انجماد... ۸۱
شکل۵-۱۶ تغییرات تخلخل در طی چرخه‌های تبلور نمک سولفات سدیم ۸۴
شکل۵-۱۷ تغییرات شاخص پوکی در طی چرخه‌های تبلور نمک سولفات سدیم ۸۴
شکل۵-۱۸ تغییرات سرعت عبور موج فشاری در حالت خشک در طی چرخه‌های تبلور نمک سولفات سدیم ۸۵
شکل۵-۱۹ تغییرات سرعت عبور موج فشاری در حالت اشباع در طی چرخه‌های تبلور نمک سولفات سدیم ۸۵
شکل۵-۲۰ تغییرات مقاومت فشاری محصور نشده در طی چرخه‌های تبلور نمک سولفات سدیم ۸۶
شکل۵-۲۱ تغییرات تخلخل در طی چرخه‌های تبلور نمک سولفات منیزیم ۸۷
شکل۵-۲۲ تغییرات شاخص پوکی در طی چرخه‌های تبلور نمک سولفات منیزیم ۸۷
شکل۵-۲۳ تغییرات سرعت عبور موج فشاری در حالت خشک در طی چرخه‌های تبلور نمک سولفات منیزیم ۸۸
شکل۵-۲۴ تغییرات سرعت عبور موج فشاری در حالت اشباع در طی چرخه‌های تبلور نمک سولفات منیزیم ۸۸
شکل۵-۲۵ تغییرات مقاومت فشاری محصور نشده در طی چرخه‌های تبلور نمک سولفات منیزیم ۸۹
شکل۵-۲۶ درصد باقیمانده آزمون سلامت سنگ سولفات سدیم ۹۰
شکل۵-۲۷ درصد باقیمانده آزمون سلامت سنگ سولفات منیزیم ۹۱
شکل۵-۲۸ تغییرات غلظت یون کلسیم نسبت به زمان در pH ۵/۵-۶ ..... ۹۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل۵-۲۹ تغییرات غلظت یون کلسیم نسبت به زمان در pH ۶-۶/۵ ..... ۹۴
شکل۵-۳۰ تغییرات غلظت یون کلسیم نسبت به زمان در pH ۶/۵-۷ ..... ۹۴

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه ۳
۱-۲ ضرورت انجام تحقیق ۴
۱-۳ اهداف تحقیق ۴
۱-۴ روش انجام تحقیق ۵
۱-۴-۱ مطالعات دفتری ۵
۱-۴-۲ مطالعات صحرایی ۵
۱-۴-۳ مطالعات آزمایشگاهی ۵
۱-۵ درباره بیستون ۶

فصل دوم: آب و هوا و زمین‌شناسی منطقه

۲-۱ موقعیت جغرافیایی ۱۱
۲-۲ آب و هوا ۱۱
۲-۲-۱ بارش ۱۲
۲-۲-۲ روزهای بارانی ۱۳
۲-۲-۳ رطوبت نسبی ۱۴
۲-۲-۴ دما ۱۵
۲-۲-۵ روزهای یخبندان ۱۶
۲-۲-۶ تبخیر ۱۷
۲-۲-۷ ساعات آفتابی ۱۸
۲-۲-۸ اقلیم منطقه ۱۹
۲-۲-۸-۱ نمودار هایترگراف ۱۹
۲-۲-۸-۲ رده‌بندی اقلیمی کوپن ۱۹
۲-۲-۹ آب و هوا و نوع هوازدگی ۲۱
۲-۳ زمین‌شناسی منطقه ۲۲
۲-۳-۱ ژئومورفولوژی ۲۲
۲-۳-۲ موقعیت منطقه در زمین‌شناسی ایران ۲۲
۲-۳-۲-۱ پهنه سنندج سیرجان ۲۲

فهرست

عنوان **صفحه**

۲-۳-۲-۲ زیرپهنه بیستون ۲۳
۲-۳-۳ واحدهای سنگی ۲۳
۲-۳-۳-۱ سنگ‌های آهکی بیستون ۲۴
۲-۳-۳-۲ رسوبات کواترنر ۲۵
۲-۳-۴ زمین‌شناسی ساختمانی ۲۵
۲-۳-۵ وضعیت لرزه‌خیزی استان کرمانشاه ۲۶

فصل سوم: مطالعات صحرایی

۳-۱ مقدمه ۲۹
۳-۲ مطالعه ناپیوستگی‌ها ۳۰
۳-۲-۱ درزه‌برداری ۳۰
۳-۲-۲ جمع‌آوری داده‌ها ۳۰
۳-۲-۳ شیب و امتداد درزه‌ها ۳۱
۳-۲-۴ تداوم درزه‌ها ۳۳
۳-۲-۵ زبری سطح درزه‌ها ۳۴
۳-۲-۶ باز شدگی درزه‌ها ۳۵
۳-۲-۷ فاصله داری درزه‌ها ۳۶
۳-۲-۸ پرشدگی درزه ها ۳۷
۳-۲-۹ حضور آب ۳۸
۳-۳ ارزیابی توسعه کارست ۳۹
۳-۳-۱ ژئومورفولوژی کارست ۳۹
۳-۳-۱-۱ کارن‌ها ۳۹
۳-۳-۱-۲ شیارهای انحلالی ۳۹
۳-۳-۱-۳ چشمه‌های کارستی ۴۰
۳-۳-۱-۴ حفرات ۴۲
۳-۳-۱-۵ غارها ۴۳
۳-۳-۲ نقش تکتونیک منطقه در فرآیند کارستی شدن ۴۳
۳-۴ آزمون چکش اشمیت ۴۴

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل چهارم: سنگ شناسی و خواص فیزیکی و مکانیکی سنگ‌ها

۴-۱ مقدمه ۴۹
۴-۲ مطالعات سنگ شناسی ۴۹
۴-۲-۱ مطالعه برش نازک ۴۹
۴-۲-۲ آزمایش کلسیمتری ۵۱
۴-۲-۳ آزمایش پراش اشعه ایکس (XRD) ۵۱
۴-۳ خواص فیزیکی ۵۲
۴-۳-۱ چگالی ۵۲
۴-۳-۲ تخلخل ۵۳
۴-۳-۳ شاخص پوکی ۵۳
۴-۴ خواص مکانیکی ۵۴
۴-۴-۱ تعیین سرعت صوت و ثابت‌های الاستیک دینامیکی ۵۴
۴-۴-۲ تعیین مقاومت کششی غیر مستقیم به روش برزیلی ۵۶
۴-۴-۳ تعیین مقاومت فشاری تک‌محوری ۵۷
۴-۵ ارتباط بین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ۵۹

فصل پنجم: هوازدگی

۵-۱ مقدمه ۶۵
۵-۲ باران اسیدی ۶۶
۵-۲-۱ آزمایش تعیین شاخص دوام وارفتگی ۶۷
۵-۲-۲ آزمایش دوام استاتیکی ۷۰
۵-۳ شوک حرارتی ۷۱
۵-۳-۱ آزمایش سرد و گرم کردن ۷۳
۵-۴ یخبندان ۷۶
۵-۴-۱ آزمایش ذوب و انجماد ۷۸
۵-۵ هوازدگی نمک ۸۲
۵-۵-۱ آزمایش تبلور نمک ۸۳
۵-۵-۲ آزمایش سلامت سنگ ۸۹

فهرست

عنوان **صفحه**

۵-۶ انحلال ۹۱

۵-۲-۴ محاسبه ثابت سرعت انحلال ۹۲

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱ نتیجه‌گیری ۹۹

۴-۲ پیشنهادات ۱۰۱

منابع **۱۰۵**

فصل اول:

کلیات

۱-۱ مقدمه

در طی سال‌های اخیر در اغلب کشورها متوجه این نکته شده‌اند که میراث معماری جهانی رو به زوال گذارده است. کلماتی نظیر خوره یا بیماری سنگ‌ها اغلب به گوش می‌رسد، علایم این بیماری نابود کننده مرتباً رو به فزونی است و تقریباً غیر قابل علاج به نظر می‌رسد. در گذر زمان، سنگ‌ها تحت تأثیر عوامل هوازدگی قرار می‌گیرند. بنابراین برهم کنش بین سنگ‌ها و هوازدگی طبیعی یا غیر طبیعی، نوع و مقدار زوال سنگ را کنترل می‌کنند.

کربنات کلسیم در آب باران خالص که تنها به طور طبیعی شامل دی اکسیدکربن اتمسفر است، حل می‌شود. کربنات کلسیم به بی‌کربنات کلسیم، که در آب تقریباً صد برابر انحلال‌پذیرتر از کربنات است، تبدیل می‌شود. بی‌کربنات محلول در سطح یا داخل حفرات باقی می‌ماند و بلورهای کربنات کلسیم به دلیل تجزیه بی‌کربنات در حضور آب، دوباره ته‌نشین می‌شوند. بیشتر این چرخه‌های ته-نشینی و تبخیر در حفرات یا حتی در سطوح داخلی اتفاق می‌افتد و یک ساختار سطحی با بلورهای کربنات کلسیم درشت که در مقابل حمله اسیدهایی از منابع دیگر حساس هستند، ایجاد می‌کنند.

یخبندان در نواحی مرطوب و در نقاط سرد و کوهستانی یکی از عوامل مهم خرد شدن سنگ‌ها محسوب می‌شود. اگر آب در یک لیوان شیشه‌ای یخ ببندد باعث ترکیدن آن می‌شود، زیرا در اثر یخ بستن نه درصد به حجم آب افزوده می‌گردد و همین عمل یخ بستن آب موجود در خلل و فرج سنگ-ها است که سبب از هم گسیختگی آنها می‌شود. از این‌رو غالباً عبارت «سرما و یخبندانی که سنگ را می‌ترکاند» را نیز برای تشریح و توصیف یخبندان‌های سخت به کار می‌برند [۱۰].

عواملی نظیر اختلاف درجه حرارت روز و شب یا سطوح در معرض تابش آفتاب و همچنین سطوحی که در اثر تابش خورشید گرم می‌شوند و در نتیجه بارش ناگهانی باران درجه حرارت‌شان کاهش می‌یابد، ممکن است در تخریب سنگ‌ها موثر باشد. زیرا اغلب سنگ‌ها نمی‌توانند حرارت را خوب هدایت نمایند و در نتیجه انبساط و انقباض سطوح قشری و قسمت‌های درونی سنگ پدیدار می‌شود، نیرویی بوجود می‌آید که قادر است سنگ‌ها را از هم بپاشد [۱۰].

نمک‌های هیدراته می‌توانند شامل مقادیر قابل توجهی آب تبلور باشند و وقتی که آنها متبلور می-شوند، دچار افزایش حجم می‌شوند. اغلب می‌توانند تنش‌های بزرگی تولید کنند، که موجب جدا شدن لایه‌های سطحی سنگ می‌شود. این چرخه‌های تبلور به عنوان نتیجه تغییرات روزانه و فصلی درجه حرارت و میزان بارندگی تکرار می‌شوند. همچنین آلودگی نمک دریا در مناطق ساحلی تخریب ناشی

از تبلور را شتاب می‌دهد. حضور نمک‌های محلول در لایه‌های سطحی سنگ به عنوان شوره‌زایی بیان می‌شوند.

بارش‌های اسیدی زمانی تشکیل می‌شوند، که ذرات آلاینده با قطره‌های آب در اتمسفر ترکیب شوند. اسید سولفوریک و اسید نیتریک، ترکیبات به شدت قوی هستند که در رطوبت هوای نسبتاً بالا و درجه حرارات نزدیک به صفر درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شوند. سنگ‌های غنی از کربنات کلسیم و کربنات منیزیم به‌شدت تحت تأثیر محیط اسیدی قرار می‌گیرند.

به طور کلی می‌توان گفت که تخریب سنگ‌ها مربوط به تغییرات عوامل جوی از قبیل آب و هوا و درجه حرارت می‌باشد.

۱-۲ ضرورت انجام تحقیق

سنگ‌نگاره بیستون از جنس سنگ‌آهک ریزدانه میکروکریستالین در ۳۰ کیلومتری شرق کرمانشاه قرار دارد. فرآیندهای هوازدگی می‌توانند تأثیر نامطلوبی بر روی این کتیبه بگذارند، که به مرور زمان سبب تخریب و از بین رفتن این اثر تاریخی می‌شود. قرار گیری سنگ‌های آهکی بیستون در پهنه برخوردی زاگرس موجب گسترش شکستگی‌ها در این سنگ‌ها شده است، که سطح در معرض تماس سنگ را افزایش داده و استعداد انحلال این سنگ‌ها را بالا برده است. قرارگیری منطقه در اقلیم آب و هوایی با زمستان‌های سرد نیز شرایط هوازدگی یخبندان را مساعد کرده است. گسترش سریع شهر کرمانشاه از سمت شمال و شمال شرقی در سال‌های اخیر، تأسیس چند کارخانه‌ی صنعتی و شهرک‌های جدید میان آن شهر و بیستون، سبب افزایش انتشار آلاینده‌های جوی شده است، که خود می‌تواند موجب ایجاد فرآیندهایی مانند تبلور نمک و باران اسیدی شود. سنگ‌نگاره بیستون به عنوان قدیمی‌ترین سند تاریخ و تمدن ایران دارای ضخامت ناچیزی است و احتمالاً طی زمان محدودی در این شرایط از بین خواهد رفت، لذا ضرورت دارد که اثر باران‌های اسیدی و رشد نمک بر روی زوال‌پذیری این سنگ‌ها مطالعه گردد.

۱-۳ اهداف تحقیق

۱. شناخت ویژگی‌های سنگ‌شناسی سنگ‌آهک‌های بیستون،
۲. ارزیابی تغییرات خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ‌آهک‌های بیستون،
۳. ارزیابی دوام سنگ در pH های مختلف و تأثیر آن بر روی زوال پذیری سنگ،