



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد
گرایش پترولوژی

عنوان:

**تأثیر ویژگیهای پترولوژیکی بر دوام داری و مقاومت سنگهای آذرین
(مطالعه موردی سواحل جنوب ایران)**

نگارش:

مهدی امانیان

اساتید راهنما:

دکتر حسین مهدیزاده شهری دکتر ناصر حافظی مقدس

استاد مشاور:

دکتر محمدرضا نیکودل

تیرماه ۱۳۸۴

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیرت گم پیار

بہ پاس زحماتشان

تقدیم بہ :

پرو بزرگوار

مادر مشربان

و

خواهران عزیزم

تقدیر و تشکر:

حمد و سپاس پروردگار یکتا را که لطف و کرم بی کرانش اینجانب را نیز در بر گرفت تا به وسع توان و اندیشه خود گامی کوچک در گستره پهناور علم و معرفت بردارم و میسر گشت تا از خرمن دانش و تجربه بزرگان و نیک اندیشان خوشه چینی کرده و میوه ای از باغ علم در دامن پرورش دهم.

اکنون که با یاری خدامند متعال، دوران پرخطر این مقطع از تحصیل را به پایان رسانده ام، هرچند واژه ها را یاری آن نیست که لطف، محبت و بزرگواری کسانی را که در تمام دوران زندگیم جرعه نوش دریای بیکران مهر و محبتشان بوده ام را به تصویر بکشند، اما به رسم ادب و احترام بوسه بر دستانشان زده و بر خود واجب می دانم زحمات و راهنمایی های کلیه معلمان و اساتید و دوستان دوران تحصیل را ارج نهاده و مراتب تشکر قلبی و باطنی خویش را از الطاف و مهربانیهای آنها ابراز دارم. ابتدا بر خود لازم می دانم که از زحمات استادان فرزانه و بزرگوaram آقایان دکتر ناصر حافظی مقدس و دکتر حسین مهدیزاده شهری که با راهنمایی ها و نظرات ارزنده و گهربارشان نقش مهمی در به ثمر رسیدن این تحقیق داشته اند صمیمانه تقدیر و تشکر نمایم. همچنین از استاد بزرگوaram آقای دکتر محمدرضا نیکودل بخاطر نظرات و راهنمایی های ارزشمندشان و مساعدتهای زیادی که در انجام آزمایشات داشته اند بسیار سپاسگزاری می نمایم، بی تردید انجام بسیاری از مراحل این پایان نامه بدون همکاری ایشان ممکن نبود. همچنین از اساتید گرامی و خوبم آقایان دکتر حبیب الله قاسمی، دکتر محمود صادقیان، دکتر پرویز امیدی که همواره همکاری و همدلی و نظرات شیوای آنها در طول دوران تحصیل راهگشای من بوده است، تقدیر و تشکر می نمایم.

از مدیریت محترم شرکت مهندسین مشاور سازه پردازی ایران، بخصوص جناب آقای مهندس حسینیان که در بازدید های صحرایی از حمایت های مادی و معنویشان برخوردار بوده ام کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از مدیریت محترم اداره شیلات بخصوص مساعدتهای آقایان مهندس نیلی و مهندس جلیلود و مدیریت اداره بنادر و کشتیرانی نیز کمال تشکر را دارم.

برخود لازم می دانم که از زحمات پرسنل آزمایشگاه زمین شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس تهران و دوستان بسیار عزیزم آقایان مهندس سید رضا میر باقری کارشناس آزمایشگاه اپتیک، دکتر مهدی تلخابلو، مهندس حمید رضا حسینی، مهندس میثم حداد فر و علیرضا خانعلی زاده که هر کدام به نوعی در پیشرفت کارم نقش داشته اند، تقدیر و تشکر نمایم.

این پایان نامه با همکاری و مساعدت مرکز سنجش از دور ایران انجام شده است.

چکیده :

از جمله پارامترهای مهم در انتخاب نوع سنگ جهت احداث موج شکن و سازه های حفاظتی، مقاومت و دوام داری سنگ می باشد. در سنگهای آذرین دوام داری تابعی از محتوی کانی شناسی، بافت، نوع و شدت هوازدگی آن می باشد. اقتصادی ترین روش جهت ساخت سازه های مزبور، استفاده از سنگهایی با کیفیت مناسب می باشد که نسبت به فرآیندهای مخرب فیزیکی و شیمیایی در سواحل مقاومت کافی داشته باشند. در این مطالعه تاثیر ترکیب کانی شناسی و شیمیایی، بافت سنگهای آذرین، نقش شکستگی ها و درز شکاف ها، فرآیندهای بعد از تشکیل از جمله هوازدگی و دگر شکلی در مقاومت و دوام داری سنگهای آذرین مورد بررسی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در طول سواحل جنوبی کشور و استان هرمزگان و در حدفاصل بندر عباس تا بندر عسلویه قرار دارد. این مطالعه بر روی سنگهای آذرین موج شکن های بندر شهید رجائی و بندر شهید باهنر در بندرعباس، موج شکن بندر کنگ، موج شکن بندر لنگه، موج شکن بندر شناس، موج شکن بندر بستانه و موج شکن بندر حسینییه انجام شد. طیف ترکیبی سنگ های آذرین بکار رفته در این موج شکنها شامل ریولیت، توف ریولیتی، بازالت، گرانیت، گابرو، داسیت و سینیت می باشد که از گنبد های نمکی استخراج شده اند. تعداد ۶۰ نمونه از موج شکنها و معادن سنگ برداشت شد و جهت انجام آزمایشات مقاومت و دوام داری به آزمایشگاه منتقل گردید و مجموعاً ۳۱۷ آزمایش شامل آزمایشات سلامت سنگ، تعیین خصوصیات فیزیکی، تعیین ارزش ضربه ای، مقاومت تک محوری، تعیین سرعت صوت، مطالعات پتروگرافیک و آنالیز XRF و XRD جهت بررسی و تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بر روی نمونه ها انجام شد.

مطالعات انجام شده نشان می دهند که از لحاظ ویژگیهای مقاومتی و دوام داری، گابروها به دلیل بافت گرانولار و ریزدانه تر بودن و درهم فرو رفتگی و پیوند خوب بین دانه هایشان بهترین سنگها بوده و بهترین شاخصهای مقاومتی و دوام را دارند و بعد از آن به ترتیب داسیت، ریولیت، گرانودیوریت، سینیت، توف و بازالت قرار دارند. از نظر ویژگیهای بافتی، سنگهای میکرو گرانولار بهترین مقاومت و دوام را داشته و بعد از آن به ترتیب بافتهای گرانولار، پورفیری و میکروکریستالین قرار دارند.

اندازه دانه تاثیر زیادی بر روی ویژگیهای مقاومتی و دوام سنگها داشته و یکی از مهمترین شاخص ها جهت ارزیابی مقاومت و دوام سنگ می باشد. بطوریکه با کاهش اندازه دانه، مقاومت و دوام سنگ افزایش می یابد. ترکیب کانی شناسی یکی دیگر از خواص اصلی کنترل کننده مقاومت سنگ می باشد و کانی های مختلف تاثیرات مختلفی را بر روی مقاومت سنگها دارند. بر اساس ویژگیهای کانی شناسی، کوارتز و کانی های فرومنیزین تاثیر زیادی بر روی مقاومت و دوام سنگ دارند و با افزایش این کانی ها میزان مقاومت و دوام سنگها افزایش می یابد و افزایش کانی های رسی و ثانویه نیز باعث کاهش مقاومت و دوام سنگها می شود.

از بین شاخص های هوازدگی و سنگ شناسی مختلف، شاخص MI میورا و شاخص WPI، PI و IP و ایرفان و Wp پارکر رابطه بهتری را با ویژگیهای مقاومتی نشان می دهند و با توجه به شاخص های هوازدگی، سنگهای ریز دانه نسبت به سنگهای درشت دانه کمتر هوازده شده اند و با افزایش اندازه دانه، استعداد سنگ برای هوازدگی بیشتر می باشد. بطور کلی در بین پارامترهای بررسی شده سرعت موج، تخلخل، وزن مخصوص و میانگین اندازه دانه بهترین روابط را با پارامترهای مقاومتی و دوام دارند و با اندازه گیری و تعیین آنها می توان تا حدود زیادی به میزان مقاومت و دوام سنگ پی برد.

کلمات کلیدی: دوام، مقاومت، سنگ آذرین، موج شکن، بافت، میانگین اندازه دانه

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
تشکر و قدردانی.....	یک
چکیده.....	دو
فهرست مطالب.....	سه
فهرست جداول.....	
فهرست اشکال و تابلوها.....	

فصل اول - کلیات

۱-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....	۲
۲-۱ ژئومورفو لوژی و ریخت شناسی منطقه.....	۲
۳-۱ مطالعات قبلی.....	۶
۴-۱ هدف انجام مطالعه.....	۷
۵-۱ روش انجام تحقیق.....	۷
۱-۵-۱ فعالیتهای صحرایی و منطقه ای.....	۷

فصل دوم - زمین شناسی عمومی منطقه

۱-۲ مقدمه.....	۱۶
۲-۲ پیکره های سنگی منطقه.....	۱۶
۱-۲-۲ پیکره های رسوبی منطقه.....	۱۶
۱-۲-۲-۱ سازند هرمز.....	۱۶
۲-۲-۲ پیکره های آذرین.....	۲۰
۱-۲-۲-۲ توفهای ریولیتی.....	۲۱
۲-۲-۲-۲ گنبد های ریولیتی.....	۲۱
۳-۲-۲-۲ توده های نفوذی گرانیتوئیدی.....	۲۱
۴-۲-۲-۲ گدازه های بازالتی.....	۲۳
۵-۲-۲-۲ گدازه های تراکیتی.....	۲۳
۶-۲-۲-۲ گابروها.....	۲۳
۳-۲-۲ گنبد های نمکی منطقه.....	۲۳
۱-۳-۲-۲ گنبد نمکی گچین.....	۲۶
۲-۳-۲-۲ گنبد نمکی بندر معلم (کنگ).....	۲۶

- ۲۷..... ۳-۳-۲-۲ گنبد نمکی بستانه
- ۲۷..... ۳-۲ ته نشست سازند هرمز و تشکیل گنبدها و سنگهای آذرین منطقه

فصل سوم- پارامترهای موثر بر مقاومت ودوام داری سنگها

- ۳۲..... ۱-۳ مقدمه
- ۳۲..... ۲-۳ مقاومت ودوام داری سنگها در موج شکن
- ۳۲..... ۱-۲-۳ موج شکن و خصوصیات سازه ای آن
- ۳۳..... ۲-۲-۲ ساختمان موج شکن
- ۳۵..... ۳-۲-۳ مکانیسم های تخریب در سازه های دریایی و اثرات آنها بر پایداری سازه
- ۳۹..... ۴-۲-۳ عوامل موثر در کنترل فرسایش و دوام سنگها در موج شکن ها
- ۴۲..... ۵-۲-۳ جریانهای دریایی و جذر ومدی خلیج فارس و تاثیرات آنها بر سازه های دریایی
- ۴۳..... ۳-۳ فاکتورهای زمین شناسی کنترل کننده رفتار مکانیکی سنگها
- ۴۴..... ۱-۳-۳ ترکیب وبافت وساخت
- ۴۶..... ۲-۳-۳ ترکیب کانی شناسی
- ۴۷..... ۳-۳-۳ شکل بلوری
- ۴۷..... ۴-۳-۳ اندازه کانی ها و میانگین دانه های سازنده سنگ
- ۴۹..... ۵-۳-۳ شکل دانه ها
- ۴۹..... ۶-۳-۳ درهم شدگی ونوع مرز
- ۵۰..... ۷-۳-۳ جهت یابی دانه
- ۵۰..... ۸-۳-۳ شرایط حرارت و فشار
- ۵۱..... ۹-۳-۳ ناپیوستگی های سنگ
- ۵۳..... ۴-۳ هوازدگی سنگها وتوده های سنگی
- ۵۴..... ۱-۴-۳ هوازدگی مکانیکی
- ۵۶..... ۲-۴-۳ هوازدگی شیمیایی وبیولوژیکی
- ۶۱..... ۵-۳ طبقه بندی سنگهای هوازده
- ۶۲..... ۱-۵-۳ طبقه بندی هوازدگی بر اساس شاخص های شیمیایی و پتروگرافی
- ۶۶..... ۲-۵-۳ طبقه بندی هوازدگی بر اساس شاخص های مهندسی وخصوصیات سنگها
- ۶۷..... ۶-۳ طبقه بندی مهندسی سنگها
- ۶۷..... ۱-۶-۳ طبقه بندی از نظر دوام
- ۶۹..... ۲-۶-۳ طبقه بندی از نظر مقاومت
- ۷۰..... ۷-۳ خواص مهندسی سنگهای آذرین
- ۷۰..... ۱-۷-۳ گرانیت ها و سنگهای پلوتونیک
- ۷۱..... ۲-۷-۳ سنگهای ولکانیک
- ۷۲..... ۴-۸-۳ نهشته های پیروکلاستیک

۹-۳	معیارها و آزمایشات اندازه گیری دوام سنگها	۷۳
۹-۳-۱	آزمایشهای پیشنهادی جهت سنجش زوال پذیری و دوام سنگها	۷۳
-	آزمایشات فیزیکی	۷۴
-	آزمایشات مکانیکی	۷۵
-	آزمونهای مشابه سازی	۷۷
-	بررسی های سنگ شناسی	۷۸

فصل چهارم - پتروگرافی

۱-۴	مقدمه	۸۳
۲-۴	طبقه بندی مودال سنگهای آذرین	۸۳
۱-۲-۴	طبقه بندی مودال اشتریکایزن	۸۳
۳-۴	ریولیت ها	۹۰
۴-۴	ایگنیمبریت ها	۹۵
۵-۴	گنبد های ریولیتی	۹۶
۶-۴	توف های ریولیتی	۱۰۱
۷-۴	بازالت ها	۱۰۵
۸-۴	سنگ های گابرویی و دیابازی	۱۰۷
۹-۴	گرانیت ها و گرانودیوریت ها	۱۱۱
۱۰-۴	داسیت ها	۱۱۴
۱۱-۴	سینیت ها	۱۱۵
۱۲-۴	نتایج حاصل از مطالعه پتروگرافی	۱۱۹

فصل پنجم - آزمایشات مقاومتی و دوام داری بر روی نمونه ها

۱-۵	مقدمه	۱۲۱
۳-۵	بررسی آزمایشات انجام شده و نتایج آنها	۱۲۴
۱-۳-۵	آزمایشهای تعیین خصوصیات فیزیکی	۱۲۴
۲-۳-۵	تعیین سرعت صوت	۱۲۸
۳-۳-۵	آزمایش سلامت سنگ	۱۲۹
۴-۳-۵	شاخص دوام وارفنگی	۱۳۰
۵-۳-۵	مقاومت فشاری تک محوری	۱۳۲
۶-۳-۵	تعیین ارزش ضربه ای سنگها	۱۳۳

۷-۳-۵ تعیین میانگین اندازه دانه.....	۱۳۴
۸-۳-۵ آنالیز شیمیایی نمونه ها.....	۱۳۵

فصل ششم- بررسی روابط بین ویژگیهای سنگ شناسی و خصوصیات مهندسی

۱-۶ مقدمه.....	۱۳۹
۲-۶ بررسی خصوصیات مقاومتی و دوام داری بر اساس نام سنگ.....	۱۳۹
۳-۶ ارزیابی خصوصیات مقاومتی و دوام داری بر اساس بافت سنگ.....	۱۴۲
۴-۶ ارزیابی خصوصیات مقاومتی و دوام داری بر اساس اندازه دانه.....	۱۴۶
۵-۶ ارزیابی خصوصیات مقاومتی و دوام داری بر اساس شاخصهای هوازدگی.....	۱۵۰
۶-۶ ارزیابی خصوصیات مقاومتی و دوام داری بر اساس درصد کانیهای ناپایدار.....	۱۶۱
۷-۶ ارزیابی خصوصیات مقاومتی و دوام داری بر اساس ترکیب کانی شناسی.....	۱۶۳
۸-۶ ارزیابی ارتباط خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و دوام داری.....	۱۶۷
۹-۶ ژئوشیمی سنگها.....	۱۷۲
۱-۹-۶ نمودارهای عنکبوتی.....	۱۷۷

فصل هفتم- نتیجه گیری

۱-۷ نتیجه گیری.....	۱۸۰
---------------------	-----

فهرست منابع

الف- منابع فارسی.....	۱۸۳
ب- منابع انگلیسی.....	۱۸۵

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- مشخصات بنادر و موج شکنهای مطالعه شده	۴
جدول ۱-۲- خلاصه واحدها و سنگهای سازند هرمز	۲۰
جدول ۱-۳- انواع فرایندهای موثر در تخریب سنگهای موج شکن ها(CIRIA/CUR(1990	۳۸
جدول ۲-۳- ترکیب آب خلیج فارس (بونلی و همکاران ۲۰۰۴)	۴۳
جدول ۳-۳- طبقه بندی خصوصیات سنگها (اروسی و والر، ۱۹۹۵)	۴۴
جدول ۴-۳- عوامل موثر در رفتار سنگها، (بینیوااسکی، ۱۹۸۴)	۴۴
جدول ۵-۳- تقسیم بندی سنگها بر اساس رنگ و بافت (هوگ، ۱۹۹۴)	۴۵
جدول ۶-۳- توصیف اندازه دانه (آنون، ۱۹۷۹)	۴۸
جدول ۷-۳- درجه هوازگی بر اساس سرعت امواج صوتی (ایلیو، ۱۹۶۶)	۶۶
جدول ۸-۳- طبقه بندی سنگها بر اساس افت وزنی در برابر نمک (بناونته و همکاران، ۲۰۰۱)	۶۸
جدول ۹-۳- رده بندی سنگها بر اساس شاخص دوام دومین مرحله (گمیل، ۱۹۷۱)	۶۸
جدول ۱۰-۳- رده بندی سنگها بر اساس شاخص دوام اولین مرحله (فرانکلین و چاندررا، ۱۹۷۲)	۶۸
جدول ۱۱-۳- طبقه بندی های مقاومتی مختلف ارائه شده برای سنگها (بل، ۲۰۰۰)	۶۹
جدول ۱۲-۳- ویژگیهای عمومی سنگهای آذرین (هانت، ۱۹۸۴)	۷۰
جدول ۱۳-۳- محدوده برخی از ویژگیهای مهندسی سنگهای آذرین (هانت، ۱۹۸۴).	۷۱
جدول ۱۴-۳- پارامتر های مهم مورد استفاده در ارزیابی خصوصیات سنگها (نیکودل، ۱۳۶۹)	۷۳
جدول ۱۵-۳- طبقه بندی آزمایشهای مهندسی دوام (فوکس و همکاران، ۱۹۸۸).	۷۴
جدول ۱۶-۳- چگالی نسبی برخی از کانی ها	۷۵
جدول ۱۷-۳- چگالی برخی از سنگهای متداول (gr/cm^3)	۷۵
جدول ۱۸-۳- سرعت امواج طولی در برخی کانی ها	۸۰
جدول ۱۹-۳- سرعت امواج طولی در برخی سنگها	۸۰
جدول ۱-۴- نتایج آنالیز مودال سنگهای منطقه	۸۴
جدول ۲-۴- اسامی نمونه های برداشت شده و محل برداشت آنها	۸۵
جدول ۱-۵- فعالیتهای آزمایشگاهی انجام شده	۱۲۱
جدول ۲-۵- شرح مختصری از آزمایشات انجام شده (ASTM, ISRM)	۱۲۲
جدول ۳-۵- نتایج حاصل از انجام آزمایش تعیین خصوصیات فیزیکی سنگ ها	۱۲۴
جدول ۴-۵- نتایج آزمایشات سرعت صوت	۱۲۸
جدول ۵-۵- نتایج آزمایشات سلامت سنگ	۱۲۹
جدول ۶-۵- نتایج حاصل از انجام آزمایش دوام سنگ ها	۱۳۱
جدول ۷-۵- نتایج آزمایشات مقاومت تک محوری سنگها	۱۳۲
جدول ۸-۵- نتایج آزمایشات ارزش ضربه ای نمونه ها	۱۳۳
جدول ۹-۵- میانگین اندازه دانه های نمونه ها	۱۳۴
جدول ۱۰-۵- نتایج آنالیز XRF نمونه ها	۱۳۵
جدول ۱۱-۵- انواع ضرایب هوازگی محاسبه شده برای نمونه ها	۱۳۶
جدول ۱۲-۵- محاسبه نورم نمونه ها	۱۳۷

فهرست اشکال و تابلوها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- موقعیت و راههای ارتباطی منطقه مورد مطالعه	۳
شکل ۱-۲- بازوی شرقی موج شکن شهید رجایی	۹
شکل ۱-۳- موج شکن بخش ترافیک ساحلی بندر شهید رجایی	۹
تابلو ۱-۱- شکل الف : موج شکن بندر شهید باهنر	۱۰
تابلو ۱-۱- شکل ب : موج شکن بندر گنگ	۱۰
تابلو ۱-۱- شکل ج : موج شکن بندر بستانه	۱۰
تابلو ۱-۱- شکل د : موج شکن بندر لنگه	۱۰
تابلو ۱-۱- شکل ه : موج شکن بندر لنگه	۱۰
تابلو ۱-۱- شکل و : موج شکن بندر حسینه	۱۰
تابلو ۱-۲- شکل الف : حفرات انحلالی نمک (گنبد گچین)	۱۱
تابلو ۱-۲- شکل ب : نمک متبلور شده در بستر رودخانه های جاری در گنبد نمکی گچین	۱۱
تابلو ۱-۲- شکل ج : یکی از معادن تهیه سنگ (توده ریولیتی، گنبد گچین)	۱۱
تابلو ۱-۲- شکل د: روش نمونه برداری از موج شکن ها	۱۱
شکل ۱-۴- تصویر ماهواره ای جنوب ایران (مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰۰)	۱۲
شکل ۱-۵- تصویر ماهواره ای گنبد نمکی گچین (مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰)	۱۳
شکل ۱-۶- تصویر ماهواره ای گنبد نمکی بندر معلم (گنگ)، (مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰)	۱۳
شکل ۱-۷- تصویر ماهواره ای گنبد نمکی بستانه (مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰)	۱۴
شکل ۱-۸- تصویر ماهواره ای گنبد نمکی حسینه (مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰)	۱۴
شکل ۱-۲- نقشه واحدهای ساختاری - رسوبی ایران و موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی آن	۱۷
شکل ۲-۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰۰)	۱۸
تابلو ۱-۲- شکل الف : لایه های لیمونیت و شیل و ماسه سنگ در واحد H1 سازند هرمز (گچین)	۲۲
تابلو ۱-۲- شکل ب : طبقات گچ که حاوی قطعات دیابازی می باشند (گچین)	۲۲
تابلو ۱-۲- شکل ج : حاشیه برشی شده گنبد ریولیتی	۲۲
تابلو ۱-۲- شکل د : رگه های الیزیت در گنبد ریولیتی (گچین)	۲۲
تابلو ۱-۲- شکل ه : رگه های الیزیت در بین لایه های ماسه سنگی (گچین)	۲۲
تابلو ۱-۲- شکل و : سطح گنبدهای ریولیتی که شدیداً دچار شکستگی شده است (گچین)	۲۲
تا بلو ۲-۲- شکل الف : گدازه های بازالتی که بیشتر در ارتفاعات قرار دارند	۲۴
تا بلو ۲-۲- شکل ب : واحد گابرویی در گچین که در قله کوه قرار دارد (گچین)	۲۴
تا بلو ۲-۲- شکل ج : گنبد نمکی بستانه شکل الف،	۲۴
شکل ۲-۴- پراکندگی جغرافیایی گنبدهای نمکی در جنوب شرق زاگرس (مرادی، ۱۳۸۲)	۲۵
شکل ۲-۶- بخش میانی گنبد نمکی گچین، بیشتر ارتفاعات از دولومیت می باشند.	۲۹
شکل ۲-۷- نوار شرقی گنبد نمکی گچین.	۲۹
شکل ۲-۸- گنبد نمکی بندر معلم (گنگ)	۳۰
شکل ۱-۳- الف : انواع مختلف موج شکنها، ب: مقطع عرضی موج شکن توده سنگی	۳۳

- شکل ۳-۲- رابطه بین ارتفاع موج و درصد خطر تخریب موج شکن با افزایش تخلخل ۳۴
- تابلو ۳-۱- شکل الف : مراحل ساخت موج شکن در بندر عسلویه ۳۷
- تابلو ۳-۱- شکل ب : نیروی حاصل از برخورد امواج با سطوح موج شکن که سبب تخریب آن می شود ۳۷
- تابلو ۳-۱- شکل ج: قرار گیری صیح سنگهای لایه آرمور (موج شکن بندر صیادی بستانه) ۳۷
- تابلو ۳-۱- شکل د: عدم قرار گیری صحیح سنگهای لایه آرمور (موج شکن بندر شهید باهنر) ۳۷
- تابلو ۳-۱- شکل ه: رشد گیاهان و صدفها بر روی سنگهای لایه آرمور که سبب افزایش پایداری و عملکرد بهتر سنگها شده اند. ۳۷
- تابلو ۳-۱- شکل و : درهم رفتگی سنگهای لایه آرمور در اثر انحلال که باعث قفل شدن سنگهای این لایه شده است. ۳۷
- تابلو ۳-۲- شکل الف : انحلال سنگهای لایه آرمور در اثر برخورد امواج و اثر انحلالی آب دریا ۴۱
- تابلو ۳-۲- شکل ب : شکستگی های ناشی از انحلال مواد داخل درزه ها که در نتیجه آن سنگ لایه حفاظ به قطعات کوچکتر تقسیم می شود ۴۱
- تابلو ۳-۲- شکل ج : یک رگه آمفیبول در داخل ریولیت های برشی شده این رگه ها در اثر تاثیر آب دریا سریعتر از سایر بخشهای سنگ حل شده و باعث شکسته شدن سنگها به قطعات کوچکتر می شوند. ۴۱
- تابلو ۳-۲- شکل د : فرایند پوسته پوسته شدن در سنگهای لایه حفاظ (توف). ۴۱
- تابلو ۳-۲- شکل ه: انحلال رگه های آمفیبولی در سنگ که باعث خرد شدن و قلوه قلوه شدن سنگ خواهد شد. ۴۱
- تابلو ۳-۲- شکل و: رگه الیژیستی در داخل یک بلوک سنگی که باعث شکسته شده سنگ در امتداد آن شده است. ۴۱
- شکل ۳-۲- خصوصیات کنترل کننده رفتار سنگ (کوهنل، ۱۹۹۰) ۴۴
- شکل ۳-۳- رابطه بین مقاومت تک محوری و زاویه β در ریولیت، (ماتسوکورا و همکاران، ۲۰۰۲) ۴۵
- شکل ۳-۴- رابطه بین درصد کانی های رسی و شاخص دوام (گوکسه اقلو و همکاران، ۲۰۰۰) ۴۶
- شکل ۳-۵- رابطه بین نسبت کوارتز به فلدسپات و مقاومت تک محوری (توگرول و ظریف، ۱۹۹۹) ۴۶
- شکل ۳-۶- رابطه بین سازنده های ثانویه سنگ و پارامترهای مقاومتی (سوسا و همکاران، ۲۰۰۴) ۴۷
- شکل ۳-۷- الف- رابطه بین اندازه دانه و مقاومت فشاری تک محوری ۴۷
- شکل ۳-۷- ب- رابطه بین درصد کانی و مقاومت تک محوری، (توگرول و ظریف، ۱۹۹۹) ۴۷
- شکل ۳-۸- رابطه بین نوع و اندازه کانی های مختلف و مقاومت فشاری تک محوری ۴۸
- شکل ۳-۹- انواع مرزهای بین دانه ها (اولوسای و همکاران، ۱۹۹۴) ۴۹
- شکل ۳-۱۰- الف - رابطه بین نوع مرزهای دانه ها و مقاومت فشاری تک محوری. ۵۰
- شکل ۳-۱۰- ب- رابطه بین نوع مرزهای دانه ها و مدول ینگ (اولوسای و همکاران، ۱۹۹۴). ۵۰
- شکل ۳-۱۱- رابطه بین مقاومت و دوام و نوع فابریک سنگ (هپرت، ۱۹۸۸) ۵۰
- شکل ۳-۱۲- مدل های تشکیل و گسترش شکستگی ها در سنگها (یوشیدا و همکاران، ۲۰۰۵) ۵۲
- شکل ۳-۱۳- رابطه بین تخلخل، مقاومت تک محوری، سرعت موج با دانسیته ترکها ۵۳
- شکل ۳-۱۴- تغییرات حجم بعضی از کانی ها در واکنش با آب (کوهنل و همکاران، ۲۰۰۴) ۵۸
- شکل ۳-۱۵- تغییر MIS عناصر اصلی سنگهای گرانیتی با افزایش عمق (گوان و همکاران، ۲۰۰۱) ۵۹

۶۰	شکل ۳-۱۶- تغییرات در تمرکز عناصر کمیاب بازالیت با افزایش عمق (مون و همکاران، ۲۰۰۴)
۶۴	شکل ۳-۱۷- رابطه شاخص میورا و مقاومت تک محوری (هودر، ۱۹۸۴)
۶۷	شکل ۳-۱۸- تغییرات K و σ_c در سنگهای مختلف (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۱)
۶۷	شکل ۳-۱۹- تغییرات K و R_s در سنگهای مختلف (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۱)
۶۹	شکل ۳-۲۰- تقسیم بندی مقاومتی سنگها بر اساس درصد هریک از اجزاء سازنده سنگ
۷۰	شکل ۳-۲۱- مقایسه انواع تقسیم بندی ها مختلف بر اساس مقاومت تک محوری
۷۸	شکل ۳-۲۲- روش اندازه گیری دانسیته فشرده
۷۹	شکل ۳-۲۳- روش اندازه گیری پارامتر مرزدانه
۸۴	شکل ۴-۱- دیاگرام QAP مودال اشتريکایزن (۱۹۷۶) و موقعیت نمونه های مورد مطالعه بر روی آن
۹۲	شکل ۳-۲- خلاصه بافتهای ایجاد شده بوسیله واکنش بین پلاژیوکلاز So و مذاب Lo.
۹۸	تابلو ۴-۱- شکل الف : ناپایداری بلورهای کوارتز در ریولیت
۹۸	تابلو ۴-۱- شکل ب : پرشدگی حفره بوسیله کوارتزهای کوچک ثانویه در ریولیت
۹۸	تابلو ۴-۱- شکل ج : بلور درشت پلاژیوکلاز در ریولیت های پورفیری که دارای بافت غربالی می باشند
۹۸	تابلو ۴-۱- شکل د : سریسیتیزاسیون پلاژیوکلازها در ریولیت
۹۸	تابلو ۴-۱- شکل ه : جانشینی کامل پلاژیوکلاز توسط اپیدوت، کلریت و کلسیت در ریولیت ها
۹۸	تابلو ۴-۱- شکل و : قطعات بلور و شیشه در ایگنیمبریتها. حالت جریانیه نیز کمی مشخص می باشد
۹۸	تابلو ۴-۱- شکل ز : حفرات پر شده بوسیله کوارتز ثانویه در ایگنیمبریتها. شیشه در حاشیه حفرات در حال کلریتی شدن می باشد
۹۸	تابلو ۴-۱- شکل ح : بافت غربالی در بلورهای پلاژیوکلاز ایگنیمبریت ها (و شیشه)
۱۰۴	تابلو ۴-۲- شکل الف : بافت گلوپورفیری و تجمعات بلورهای کوارتز و پلاژیوکلاز در ریولیت
۱۰۴	تابلو ۴-۲- شکل ب : بافت پورفیری و بلورهای درشت پلاژیوکلاز در ریولیت ها
۱۰۴	تابلو ۴-۲- شکل ج : اپیدوتی شدن پلاژیوکلاز ها در ریولیت ها
۱۰۴	تابلو ۴-۲- شکل د : بلورهای روتیل در داخل بیوتیت ها در ریولیت
۱۰۴	تابلو ۴-۲- شکل ه : حالت shard در توفهای ریولیتی
۱۰۴	تابلو ۴-۲- شکل و : بلور کلسیت در مرکز و بلورهای ژئپس در حاشیه حفرات در توفهای ریولیتی
۱۱۰	تابلو ۴-۳- شکل الف : اپیدوتی شدن شدید بازالتها
۱۱۰	تابلو ۴-۳- شکل ب : بلور پرهنیت در بازالتها
۱۱۰	تابلو ۴-۳- شکل ج : نمایی از دیاباز و بلورهای کانی های اپک (الیزیت)
۱۱۰	تابلو ۴-۳- شکل د : بافت افیتیک و تجزیه شدید در دیابازها
۱۱۰	تابلو ۴-۳- شکل ه : تیغه های پلاژیوکلاز در دیاباز که در حال تجزیه به کلریت و اپیدوت می باشند و بلورهای مگنتیت در بین آنها
۱۱۰	تابلو ۴-۳- شکل و : بلورهای پیرکسن در دیاباز که در حال بیوتیتی شدن می باشند
۱۱۳	تابلو ۴-۴- شکل الف : بافت افیتیک در گرانودیوریت
۱۱۳	تابلو ۴-۴- شکل ب : تجزیه فلدسپات آلكالن و پلاژیوکلاز به کلریت و کلسیت

۱۱۳	تابلو ۴-۴- شکل ج : بلورهای تیتانومگنتیت در گرانودیوریت ها
۱۱۳	تابلو ۴-۴- شکل د : بلور طولیل آپاتیت در کوارتز مونزونیت
۱۱۳	تابلو ۴-۴- شکل ه : زوناسیون پیریت در گرانودیوریت
۱۱۸	تابلو ۴-۵- شکل الف : تجزیه پلاژیوکلاز به کلریت، اپیدوت و کلسیت در داسیت ها
۱۱۸	تابلو ۴-۵- شکل ب: جانشینی کلریت و کلسیت بجای بیوتیت
۱۱۸	تابلو ۴-۵- شکل ج : بافت غربالی در پلاژیوکلاز و تجزیه این بلورها به کلسیت
۱۱۸	تابلو ۴-۵- شکل د : پلاژیوکلاز در حال تجزیه به سریسیت در داسیت
۱۱۸	تابلو ۴-۵- شکل ه : بافت افیتیک ناشی از درهم رشدی بلورهای ارتوز در سینیت ها
۱۱۸	تابلو ۴-۵- شکل و : تجزیه کلی سینیت ها و رشد کانی های اپک در بین بلورهای ارتوز
۱۲۶	شکل ۵-۱- هیستوگرام مربوط به مقادیر درصد جذب آب نمونه ها
۱۲۶	شکل ۵-۲- هیستوگرام مربوط به مقادیر تخلخل نمونه ها
۱۲۷	شکل ۵-۳- هیستوگرام مربوط به مقادیر وزن مخصوص نمونه ها
۱۲۷	شکل ۵-۴- هیستوگرام مربوط به مقادیر چگالی خشک نمونه ها
۱۲۹	شکل ۵-۵- هیستوگرام مربوط به مقادیر سرعت موج در نمونه ها
۱۳۰	شکل ۵-۶- هیستوگرام مربوط به مقادیر افت وزنی نمونه ها در آزمایش سلامت سنگ
۱۳۰	شکل ۵-۷- هیستوگرام مربوط به مقادیر افت وزنی نمونه ها در آزمایش دوام
۱۳۳	شکل ۵-۸- هیستوگرام مربوط به مقادیر مقاومت تک محوری نمونه ها
۱۳۴	شکل ۵-۹- هیستوگرام مربوط به مقادیر ارزش ضربه ای نمونه ها
۱۴۰	شکل ۶-۱- محدوده ارزش ضربه سنگهای مختلف
۱۴۰	شکل ۶-۲- محدوده درصد افت وزنی سنگهای مختلف در آزمایش سلامت سنگ
۱۴۱	شکل ۶-۳- محدوده سرعت صوت در سنگهای مختلف و در حالت خشک و اشباع
۱۴۱	شکل ۶-۴- محدوده شاخص دوام در سنگهای مختلف
۱۴۱	شکل ۶-۵- محدوده مقاومت تک محوری در سنگهای مختلف و در حالت خشک و اشباع
۱۴۱	شکل ۶-۶- محدوده تخلخل در سنگهای مختلف
۱۴۲	شکل ۶-۷- میزان جذب آب در سنگهای مختلف
۱۴۳	شکل ۶-۸- محدوده شاخص دوام بر اساس بافتهای مختلف
۱۴۴	شکل ۶-۹- محدوده جذب آب برای بافتهای مختلف
۱۴۴	شکل ۶-۱۰- محدوده تغییرات تخلخل برای بافتهای مختلف
۱۴۴	شکل ۶-۱۱- محدوده تغییرات مقاومت تک محوری برای سنگهای مختلف در حالت اشباع
۱۴۵	شکل ۶-۱۲- محدوده تغییرات مقاومت تک محوری در حالت خشک برای بافتهای مختلف
۱۴۵	شکل ۶-۱۳- محدوده تغییرات سرعت صوت در حالت اشباع برای بافتهای مختلف
۱۴۵	شکل ۶-۱۴- محدوده تغییرات سرعت صوت در حالت خشک برای بافتهای مختلف
۱۴۶	شکل ۶-۱۵- محدوده تغییرات شاخص سلامت بر اساس بافتهای مختلف
۱۴۶	شکل ۶-۱۶- محدوده تغییرات ارزش ضربه برای بافتهای مختلف
۱۴۸	شکل ۶-۱۷- رابطه بین مدول الاستیسیته و میانگین اندازه دانه

- شکل ۶-۱۸- رابطه بین مقاومت تک محوری در حالت خشک و اشباع و میانگین اندازه دانه ها ۱۴۸
- شکل ۶-۱۹- رابطه بین سرعت موج در حالت خشک و اشباع و میانگین اندازه دانه ها ۱۴۸
- شکل ۶-۲۰- رابطه بین شاخص دوام و میانگین اندازه دانه ها ۱۴۸
- شکل ۶-۲۱- رابطه بین تخلخل و میانگین اندازه دانه ۱۴۹
- شکل ۶-۲۲- رابطه بین میزان جذب آب و میانگین اندازه دانه ها ۱۴۹
- شکل ۶-۲۳- رابطه بین درصد افت وزنی در آزمایش سلامت سنگ و میانگین اندازه دانه ها ۱۴۹
- شکل ۶-۲۴- رابطه ارزش ضربه ای سنگها و میانگین اندازه دانه ها ۱۴۹
- شکل ۶-۲۵- رابطه بین شاخص MI و میانگین اندازه دانه ۱۵۲
- شکل ۶-۲۶- رابطه بین شاخص MI و شاخص دوام ۱۵۳
- شکل ۶-۲۷- رابطه بین شاخص MI و مقاومت تک محوری در حالت خشک و اشباع ۱۵۳
- شکل ۶-۲۸- رابطه بین شاخص MI و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع ۱۵۳
- شکل ۶-۲۹- رابطه بین شاخص MI و درصد افت وزنی در آزمایش سلامت سنگ ۱۵۳
- شکل ۶-۳۰- رابطه بین شاخص MI و میزان جذب آب ۱۵۴
- شکل ۶-۳۱- رابطه بین شاخص MI و تخلخل ۱۵۴
- شکل ۶-۳۲- رابطه بین شاخص MI و ارزش ضربه ۱۵۴
- شکل ۶-۳۳- رابطه بین شاخص پارکر و میانگین اندازه دانه ها ۱۵۴
- شکل ۶-۳۴- رابطه بین شاخص پارکر و شاخص دوام ۱۵۵
- شکل ۶-۳۵- رابطه بین شاخص پارکر و مقاومت فشاری تک محوری در حالت خشک و اشباع ۱۵۵
- شکل ۶-۳۶- رابطه بین شاخص پارکر و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع ۱۵۵
- شکل ۶-۳۷- رابطه بین شاخص PI و میانگین اندازه دانه ۱۵۵
- شکل ۶-۳۸- رابطه بین شاخص PI و میزان جذب آب ۱۵۶
- شکل ۶-۳۹- رابطه بین شاخص PI و تخلخل ۱۵۶
- شکل ۶-۴۰- رابطه بین شاخص PI و ارزش ضربه ۱۵۶
- شکل ۶-۴۱- رابطه بین شاخص PI و مقاومت فشاری تک محوری در حالت خشک و اشباع ۱۵۷
- شکل ۶-۴۲- رابطه بین شاخص PI و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع ۱۵۷
- شکل ۶-۴۳- رابطه بین شاخص WPI و میانگین اندازه دانه ها ۱۵۷
- شکل ۶-۴۴- رابطه بین شاخص WPI و مقاومت تک محوری در حالت خشک و اشباع ۱۵۷
- شکل ۶-۴۵- رابطه بین شاخص WPI و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع ۱۵۸
- شکل ۶-۴۶- رابطه بین شاخص WPI و میزان جذب آب ۱۵۸
- شکل ۶-۴۷- رابطه بین شاخص WPI و ارزش ضربه ۱۵۸
- شکل ۶-۴۸- رابطه بین شاخص WPI و تخلخل ۱۵۹
- شکل ۶-۴۹- رابطه بین شاخص WPI و افت وزنی در آزمایش سلامت سنگ ۱۵۹
- شکل ۶-۵۰- رابطه بین میانگین اندازه دانه ها و شاخص IP ۱۵۹
- شکل ۶-۵۱- رابطه بین شاخص IP و شاخص دوام ۱۵۹

۱۶۰	شکل ۶-۵۲- رابطه بین شاخص IP و مقاومت تک محوری در حالت خشک و اشباع
۱۶۰	شکل ۶-۵۳- رابطه بین شاخص IP و میزان جذب آب
۱۶۰	شکل ۶-۵۴- رابطه بین شاخص IP و تخلخل
۱۶۰	شکل ۶-۵۵- رابطه بین شاخص IP و افت وزنی در آزمایش سلامت سنگ
۱۶۲	شکل ۶-۵۶- رابطه بین سازنده های ناپایدار و شاخص دوام
۱۶۲	شکل ۶-۵۷- رابطه بین سازنده های ناپایدار و مقاومت تک محوری در حالت خشک و اشباع
۱۶۲	شکل ۶-۵۸- رابطه بین سازنده های ناپایدار و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع
۱۶۳	شکل ۶-۵۹- رابطه بین سازنده های ناپایدار و میزان جذب آب
۱۶۳	شکل ۶-۶۰- رابطه بین سازنده های ناپایدار و میزان تخلخل
۱۶۳	شکل ۶-۶۱- رابطه بین سازنده های ناپایدار و سلامت سنگ
۱۶۵	شکل ۶-۶۲- رابطه بین درصد کانی های فرومنیزین و تخلخل
۱۶۵	شکل ۶-۶۳- رابطه بین درصد کانی های فرومنیزین و میزان جذب آب
۱۶۵	شکل ۶-۶۴- رابطه بین درصد کانی های فرومنیزین و وزن مخصوص
۱۶۶	شکل ۶-۶۵- رابطه بین درصد کانی های فرومنیزین و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع
۱۶۶	شکل ۶-۶۶- رابطه بین نسبت Q/F و شاخص دوام
۱۶۶	شکل ۶-۶۷- رابطه بین نسبت Q/F و ارزش ضربه
۱۶۶	شکل ۶-۶۸- رابطه بین درصد کوارتز و شاخص دوام
۱۶۷	شکل ۶-۶۹- رابطه بین درصد کوارتز و ارزش ضربه
۱۶۷	شکل ۶-۷۰- رابطه بین درصد کوارتز و درصد سلامت سنگ
۱۷۰	شکل ۶-۷۱- رابطه بین مقاومت تک محوری در حالت خشک و اشباع و وزن مخصوص
۱۷۰	شکل ۶-۷۲- رابطه بین وزن مخصوص و سرعت موج در حالت های خشک و اشباع
۱۷۰	شکل ۶-۷۳- رابطه بین و تخلخل و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع
۱۷۱	شکل ۶-۷۴- رابطه بین تخلخل و مقاومت تک محوری در حالت خشک و اشباع
۱۷۱	شکل ۶-۷۵- رابطه بین چگالی و تخلخل
۱۷۱	شکل ۶-۷۶- رابطه بین درصد جذب آب و مقاومت فشاری تک محوری و در حالت های خشک و اشباع
۱۷۱	شکل ۶-۷۷- رابطه بین سرعت موج و مقاومت تک محوری در حالت های خشک و اشباع
۱۷۲	شکل ۶-۷۸- رابطه بین ارزش ضربه و شاخص دوام
۱۷۲	شکل ۶-۷۹- رابطه بین شاخص دوام و مقاومت فشاری تک محوری در حالت خشک و اشباع
۱۷۳	شکل ۶-۸۰- تغییرات عناصر اصلی بین نمونه های داسیتی
۱۷۳	شکل ۶-۸۱- تغییرات عناصر اصلی بین نمونه های توف ریولیتی
۱۷۴	شکل ۶-۸۲- تغییرات عناصر اصلی بین نمونه های گرانیتی
۱۷۴	شکل ۶-۸۳- تغییرات عناصر اصلی بین نمونه های ریولیتی
۱۷۵	شکل ۶-۸۴- تغییرات عناصر اصلی بین نمونه های سینیتی
۱۷۵	شکل ۶-۸۵- تغییرات عناصر اصلی بین نمونه های گابرویی
۱۷۶	شکل ۶-۸۶- تغییرات عناصر اصلی بین نمونه های بازالتی

فصل اول

کلیات

۱-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه :

منطقه مورد مطالعه در طول سواحل جنوبی کشور در حد فاصل بندر عباس تا بندر عسلویه و در بین مختصات جغرافیایی $25^{\circ}23'$ تا $28^{\circ}57'$ عرض شمالی و $52^{\circ}41'$ تا $59^{\circ}15'$ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱-۱).

بخش عمده ای از منطقه مطالعاتی در استان هرمزگان قرار دارد. استان هرمزگان از مناطق گرم و خشک ایران است و اقلیم آن تحت تأثیر آب و هوای نیمه بیابانی و بیابانی قرار دارد و دمای متوسط سالانه این منطقه حدود 27°C می باشد. بارش های جوی در این استان بسیار کم بوده و معمولاً به صورت باران های بهاری سیل آسا می باشد و باعث خساراتی می شود. میزان رطوبت نسبی در سواحل خلیج فارس بین ۲۰ تا ۱۰۰ درصد نوسان دارد. بنادر و موج شکنهای مطالعه شده به طور خلاصه در شکل (۱-۱) و جدول (۱-۱) و نشان داده شده اند.

۲-۱ زمین ریخت شناسی منطقه :

کوههای این منطقه ادامه رشته کوههای زاگرس است و بتدریج از شمال غرب به سمت جنوب شرق کشیده شده اند. براساس سنگ شناسی و ساختار ناحیه، چند واحد زمین ریخت شناسی شناسایی شده اند، که عبارتند از کوههای طاقدیسی، ناهمواری های پست ناودیدی، گنبدهای نمکی، دشتهای آبرفتی و ناحیه پست ساحلی وجلگه ای (جعفری صدر، ۱۳۷۰).

جدول ۱-۱- مشخصات بنادر و موج شکنهای مطالعه شده

سال ساخت	نوع سنگها	مشخصات موج شکن	متوسط بارندگی (mm)	دمای متوسط (°C)	موقعیت جغرافیایی	نام بندر
۱۳۵۲	ریولیت، سنگ آهک	شاخه شرقی: ۹۰۰ متر شاخه غربی: ۷۶۵ متر	۱۳۳	۲۵	۱۰ کیلومتری غرب بندر عباس و ۲۷°۸' عرض شمالی و ۵۶°۱۲' طول شرقی	بندر شهید باهمن
۱۳۶۰	ریولیت، داسیت توف، گرانیت	شاخه غربی: ۲۵۱۵ متر و ارتفاع ۵ متر شاخه شرقی: ۲۵۷۰ متر و ارتفاع ۵ متر	۲۱۶	۲۸	۲۰ کیلومتری غرب بندر عباس ۵۶°۴' طول شرقی و ۲۷°۷' عرض شمالی	بندر شهید رجایی
۱۳۷۶	ریولیت، داسیت توف، گرانیت	یک شاخه اصلی به طول ۱۲۵۰ متر دو شاخه فرعی به طول ۲۰۰ متر یک شاخه رسوبگیر به طول ۱۸۰ متر	۲۱۶	۲۸	کیلومتری غرب بندر عباس ۵۶°۴' طول شرقی و ۲۷°۷' عرض شمالی	موج شکن ترانک ساحلی
۱۳۶۰	گرانودیوریت و لوماسل	شاخه غربی: ۱۴۰۰ متر و ارتفاع ۷ متر شاخه شرقی: ۹۰۰ متر و ارتفاع ۷ متر	۲۱۰	۲۶	۲۴۰ کیلومتری جنوب غربی بندر عباس ۵۴°۵۷' طول شرقی و ۲۶°۳۵' عرض شمالی	بندر صیادی کک
۱۳۶۰	گابرو، آهک لوماسل	شاخه غربی (بازوی اصلی): ۶۳۰ متر و ارتفاع ۷/۵ متر - شاخه شرقی (بازوی فرعی): ۱۹۰ متر و ارتفاع ۷/۲ متر	۱۳۳	۲۵	۲۵۷ کیلومتری جنوب غربی بندر عباس ۲۶°۳۱' عرض شمالی و ۵۴°۵۳' طول شرقی	بندر لنگه
۱۳۷۵	سینیت، آهک	شاخه غربی (بازوی اصلی): ۶۳۰ متر و ارتفاع ۷/۵ متر - شاخه شرقی (بازوی فرعی): ۱۹۰ متر و ارتفاع ۷ متر	۱۶۳	۲۶	۸ کیلومتری غرب بندر لنگه	بندر شلمس
۱۳۷۵	گابرو، داسیت	شاخه غربی (بازوی اصلی): ۵۳۰/۵ متر و ارتفاع ۷ متر - شاخه شرقی (بازوی فرعی): ۳۲۵ متر و ارتفاع ۶/۹ متر	۲۲	۲۸	۲۴ کیلومتری جنوب غربی بندر لنگه ۵۴°۴۰' طول شرقی و ۲۶°۳۱' عرض شمالی	بندر صیادی پستله
۱۳۶۸	توف، بازالت	شاخه غربی (بازوی اصلی): ۵۰۰ متر و ارتفاع ۶ متر و دارای یک شاخه فرعی به طول ۱۰۰ متر - شاخه شرقی (بازوی فرعی): ۲۰۰ متر و ارتفاع ۶ متر	۳۰	۲۷	۷۰ کیلومتری جنوب غربی بندر لنگه	بندر حسینیه

الف: کوههای طاق‌دیسی

این کوهها از طاق‌دیس های کوه گیشو، خانه سرخ، خمیر، معلم و بستانه با روندهای مختلف تشکیل شده است.

ب: ناهمواری های پست ناودیسی :

این ناهمواری ها در بین طاق‌دیس ها شکل گرفته اند و کلوتهایی ایجاد کرده اند که نشانه اثر نیروی آب درزمینهای رسی ومارنی در مناطق بدون پوشش گیاهی است.

ج: گنبدهای نمکی :

ویژگی های مورفولوژیکی گنبدهای نمکی از جمله خصوصیات بارز آنهاست که می تواند اثرات حرکات آنها را نشان دهد. اشکال مورفولوژیکی گنبدهای نمکی وقایع تکتونیکی و دوره تکاملی آنها را ثبت کرده است. در گنبدهای نمکی بررسی شده اشکال فرسایشی متفاوتی دیده شده است. این اشکال فرسایشی از انواع پیشرفته تا انواع اشکال انحلالی اولیه در تغییر می باشند. اشکال انحلالی موجود در نمکها و دیگر خصوصیات مورفولوژیکی گنبدها نظیر سیستم درزه ها، حضور رخنمون های سنگهای غیر تبخیری، ساختارهای ریزشی، اشکال آبراهه ها و حضور قله گنبدی در گنبدها در نتیجه تحولات تکتونیکی منطقه حاصل شده اند. و بدین لحاظ می توانند الگویی از خصوصیات دینامیکی آنها باشند. اختلاف زیاد در جنس رسوبات درون گنبد ها، همبری واضح با محیط اطراف، ناهمگونی بسیار مشخص خطوط تراز، رنگ آمیزی متنوع در گنبدها و حفرات انحلالی از خصوصیات ویژه گنبد های نمکی جنوب ایران است (تابلو ۱-۲، شکل الف وب). در ادامه به طور تفصیلی به بررسی گنبدهای نمکی خواهیم پرداخت.

د: دشتهای آبرفتی :

در میان کوه های تاق‌دیسی دشتهایی به وجود آمده که آبرفتهای کنونی ناحیه در آنها گسترده شده اند.

و: ناحیه پست ساحلی و جلگه ای :

در کرانه ساحلی خلیج فارس بعلت موازی بودن محورچین خوردگی ها با خطوط ساحلی، سواحلی با شیب ملایم دیده می شوند وبه همین دلیل در این جلگه ها گاه جزر و مد آب کیلومترها

پیشروی و پسروی دارد که این فاصله از رسوبات بسیار نرم ماسه ریز دانه پوشیده شده است . در این قسمت ریپل مارک های ساحلی و جنگل حرا و نیزارهای آب شور نیز مشاهده می شود .

۳-۱ مطالعات قبلی

تاکنون مطالعات متعددی در قالب پایان نامه های کارشناسی ارشد و دکتری و طرحهای پژوهشی بر روی تاثیر ویژگی های سنگ شناسی بر روی مقاومت و دوام داری سنگهای رسوبی و معیارهای شناخت زوال پذیری سنگها و معیارهای انتخاب سنگ مناسب برای احداث موج شکن ها صورت پذیرفته است . که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- محمد رضا نیکودل (۱۳۶۹)، تعیین معیارهای زوال پذیری و دوام سنگ (پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشکده علوم دانشگاه تربیت مدرس).

۲- محسن توکلی (۱۳۶۶)، انتخاب و استخراج سنگ مناسب برای احداث موج شکن بندر جاسک (پایان نامه کارشناسی ارشد معدن دانشکده فنی دانشگاه تهران).

۳- سید علیرضا ناصحی (۱۳۷۶)، تعیین معیارهای مناسب برای کار سنگ در احداث سازه های دریایی جنوب شرق ایران (چاپهار)، (پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشکده علوم دانشگاه تربیت مدرس).

۴- مهدی تلخابلو (۱۳۷۶)، بررسی شاخص های مهندسی سنگهای کربناته منطقه سد لار (پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشکده علوم دانشگاه تربیت مدرس).

۵- دکتر جلالی و همکاران (۱۳۶۷)، بررسی پایایی و پایداری موج شکن ها و شیب های حفاظتی بندر کشتی سازی بندر عباس.

مطالعات زیادی نیز در مورد پترولوژی و ژئوشیمی سنگها و همچنین گنبد های نمکی جنوب ایران انجام پذیرفته است که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد :

۱- سید عبدالرضا جعفری صدر (۱۳۷۰)، زمین شناسی و پترولوژی مجموعه سنگهای آذرین و دگرگونی گنبد نمکی گچین (پایان نامه کارشناسی ارشد پترولوژی دانشکده علوم دانشگاه تهران).

۲- مسعود مرادی (۱۳۸۲)، تحولات پترولوژیکی واحدهای آذرین گنبد های نمکی سواحل و جزایر خلیج فارس (پایان نامه دکتری پترولوژی دانشکده علوم دانشگاه تهران).

ولی در زمینه پیشنهادی این پایان نامه، هنوز کار منسجمی صورت نگرفته است. لذا در قالب یک کار پایان نامه ای با اهداف ذیل ارائه شده است.

۴-۱ هدف انجام این مطالعه

هدف کلی این مطالعه ارزیابی تاثیر ترکیب کانی شناسی و شیمیایی و بافت سنگهای آذرین، نوع و شدت هوازدگی، نقش شکستگی ها و درز شکاف ها در مقاومت و دوام داری سنگهای آذرین منطقه مورد مطالعه می باشد. همچنین بررسی تاثیر محیط تشکیل سنگ و فرآیندهای بعد از تشکیل از جمله هوازدگی و دگر شکلی بر رفتار سنگ در لایه حفاظ موج شکن ها از دیگر اهداف این مطالعه می باشد.

۵-۱ روش انجام تحقیق

مطالعات و بررسی های انجام شده به دوبرخ قابل است. یک بخش شامل فعالیتهای صحرایی و منطقه ای و شامل بررسی های صحرایی، نمونه برداری از موج شکنها و معادن سنگ استفاده شده در ساخت آنها و بخش دوم با عنوان فعالیتهای آزمایشگاهی شامل مغزه گیری از بلوکهای سنگی و آماده سازی نمونه ها و انجام آزمایشهای مختلف فیزیکی و مکانیکی بر روی آنها، تهیه مقطع نازک از تمام نمونه های برداشت شده و مطالعات پتروگرافی بر روی آنها و انجام آزمایشات تجزیه شیمیایی XRF و XRD بر روی نمونه های منتخب می باشد. در انتها بر اساس مشاهدات صحرایی و نتایج آزمایشگاهی و مطالعات گسترده ای که صورت گرفته است، جمعبندی و نتیجه گیری صورت گرفته است.

۱-۵-۱ فعالیتهای صحرایی و منطقه ای:

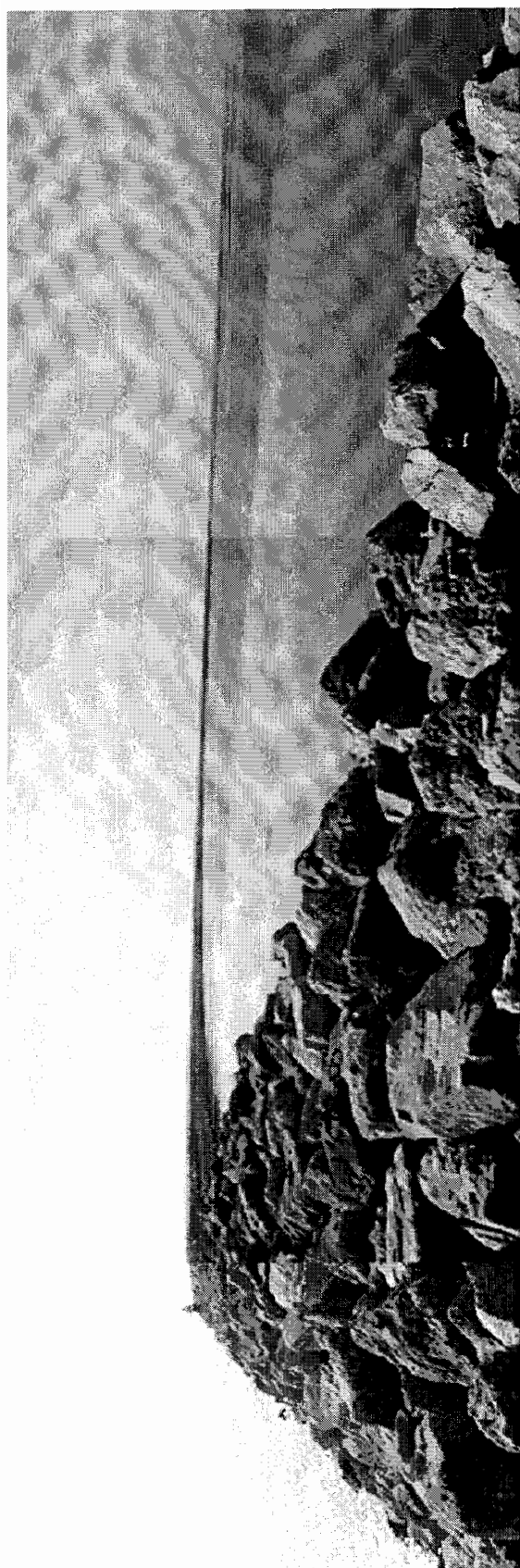
به منظور انجام این مطالعه موج شکن های بندر شهید رجائی (شکل ۱-۲ و ۱-۳) و بندر شهید باهنر در بندر عباس، موج شکن بندر کنگ، موج شکن بندر لنگه، موج شکن بندر شناس، موج شکن بندر بستانه و موج شکن بندر حسینیه در جنوب کشور انتخاب گردیدند (تابلو ۱-۱). بعد از انتخاب موج شکن ها، نمونه گیری از سنگهای استفاده شده در موج شکن ها و همچنین از معادن تامین کننده این سنگها بعمل آمد و در نمونه برداری از موج شکنها سعی شد تنوع سنگهای استفاده شده در موج شکن در نظر گرفته شود و از هر موج شکن به طور متوسط ۱۲ نمونه به ابعاد حداقل (۲۰ cm × ۴۰ cm × ۴۰ cm) در چهار منطقه سازه ای از موج شکن شامل منطقه زیر آب، منطقه جزر و مدی،

منطقه بالای جزر و مدی و منطقه تاج و همچنین از مقاطع طولی مختلف موج شکن نظیر : ابتدای موج شکن ، منطقه قوسی و هد موج شکن برداشت گردد تا عملکرد واقعی و طبیعی هر یک از این نمونه ها در شرایط محیطی از جنبه های مختلف مورد بررسی قرارگیرند و بطور کلی حدود ۵۰ نمونه از موج شکنها برداشت گردید. همچنین در معادن سنگ سعی شده است که از بخشهای مختلف معدن نمونه برداری شود (تابلو ۱-۲، شکل ج و د). برای همه نمونه های برداشت شده فرم و شناسنامه فنی تهیه گردید.

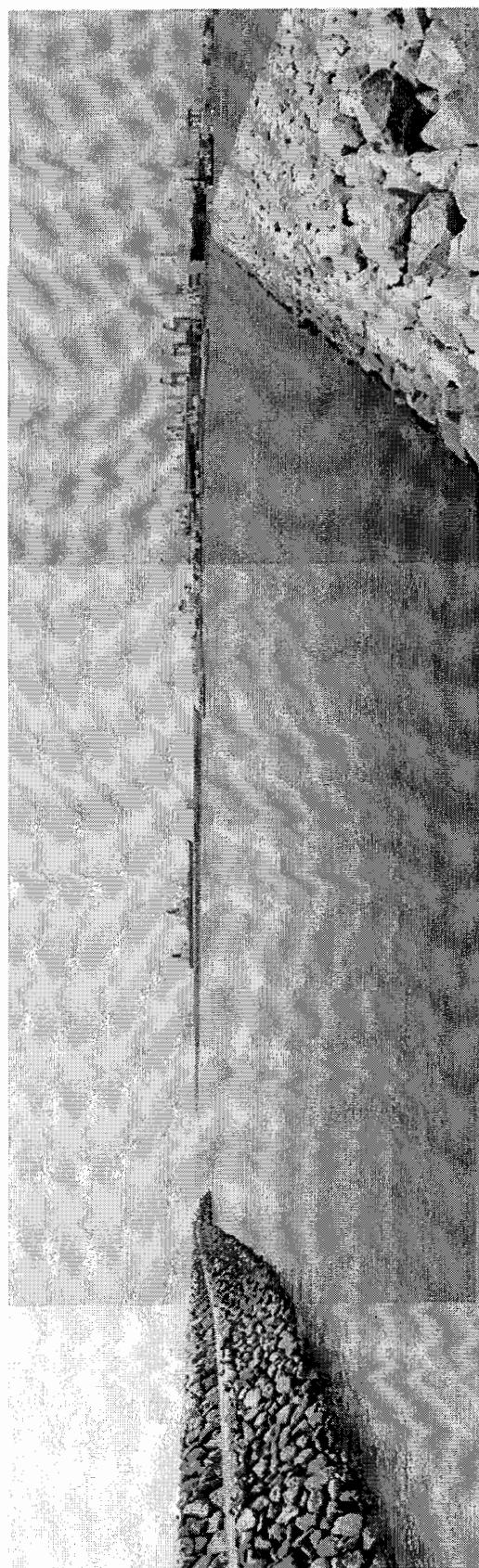
بعد از انتقال نمونه ها به آزمایشگاه ، بر روی نمونه های برداشت شده از موج شکنها و معادن اقدامات زیر انجام شده است:

- ۱- تهیه مقطع نازک جهت مطالعات پتروگرافی (۶۰ عدد)
 - ۲- آزمایشات مکانیکی و دوام داری و تعیین خصوصیات فیزیکی (۲۰۰ عدد)
 - ۳- آزمایشات تجزیه شیمیایی XRF و XRD بر روی نمونه های منتخب (۲۶ عدد)
 - ۴- آزمایش تعیین سرعت موج بر روی نمونه های منتخب (۲۶ عدد)
- همچنین داده های دورسنجی منطقه هم توسط نرم افزارهای Geomatica 8.2 و ErMapper 6.2، مورد بررسی و پردازش قرار گرفت و تصویری با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰۰ از جنوب ایران (شکل ۱-۴) تهیه شد که روند عمومی چین ها و گنبد های نمکی و موقعیت بعضی جزایر و بریدگیهای ساحلی در آن کاملاً مشخص می باشد و همچنین تصویری از گنبد های نمکی گچین ، بندر معلم، بستانه و حسینه در مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ تهیه گردید که شکل و تنوع سنگها در گنبدها کاملاً مشخص می باشد (شکل ۱-۵، ۱-۶، ۱-۷، ۱-۸).

سپس با ارزیابی و جمع بندی نتایج آزمایشات مهندسی و مطالعات پتروگرافی و پترولوژی نقش و تأثیر ویژگی های پترولوژی بر دوام داری سنگهای آذرین بررسی گردید .



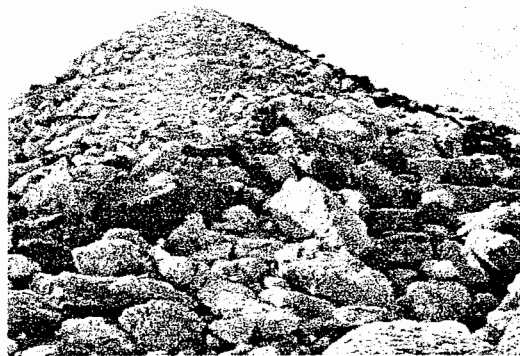
شکل (۳-۱) بازوی شرقی موج شکن شهید رجایی



شکل (۳-۱) موج شکن بخش ترافیک ساحلی بندر شهید رجایی



شکل ب : موج شکن بندر گنگ



شکل الف : موج شکن بندر شهید باهنر



شکل د : موج شکن بندر لنگه



شکل ج : موج شکن بندر بستانه

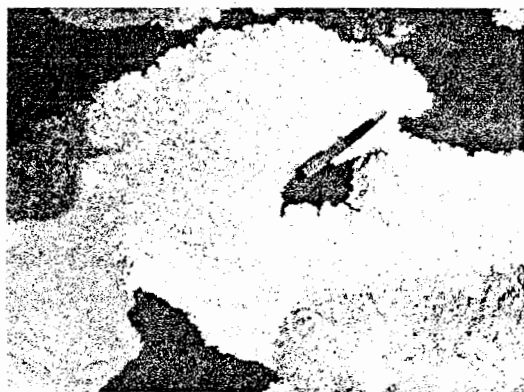


شکل و : موج شکن بندر حسینه



شکل ه : موج شکن بندر لنگه

تابلو (۱-۱)



شکل ب



شکل الف



شکل د



شکل ج

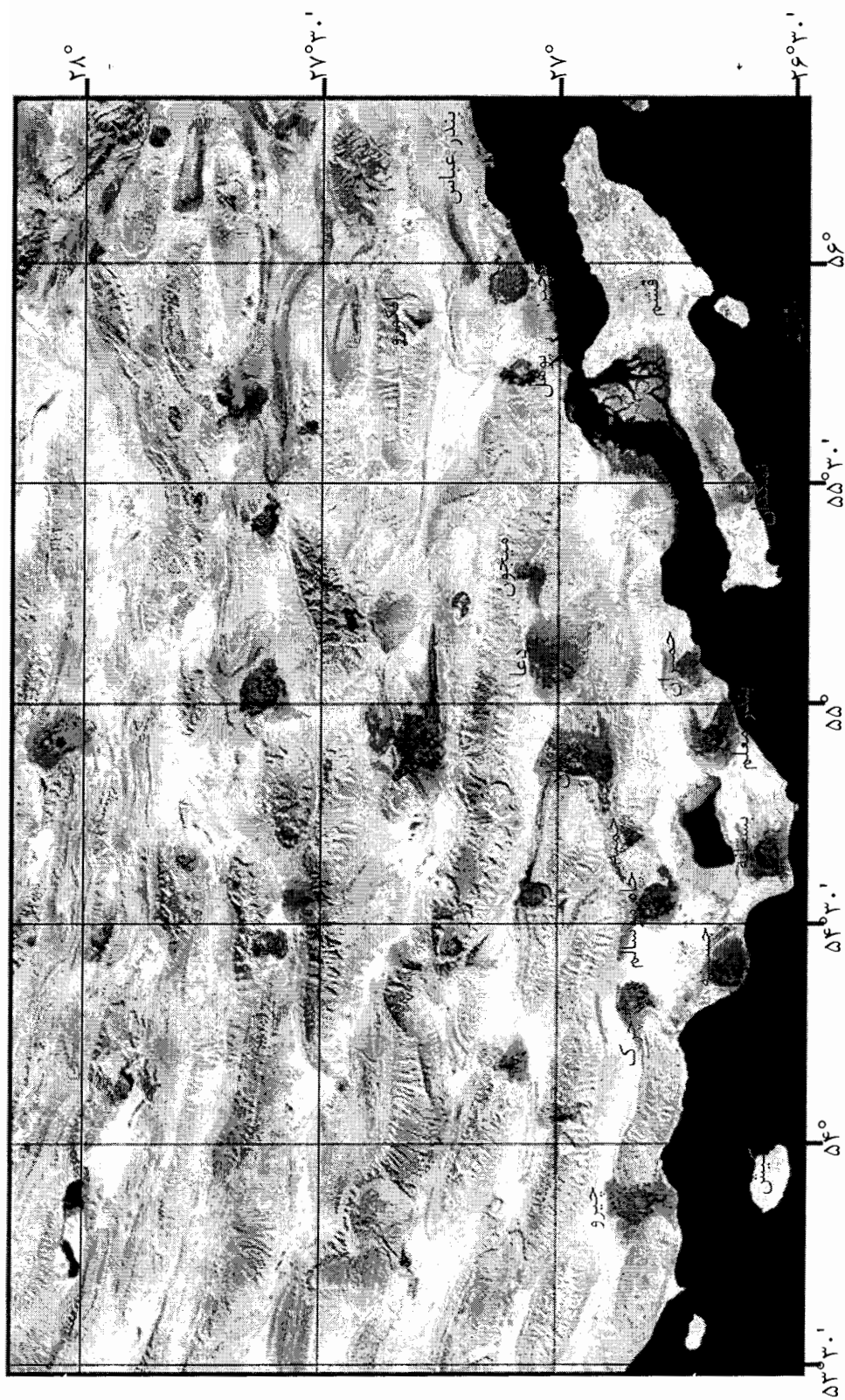
تابلو (۱-۲)

شکل الف : حفرات انحلالی نمک (گنبد گچین)

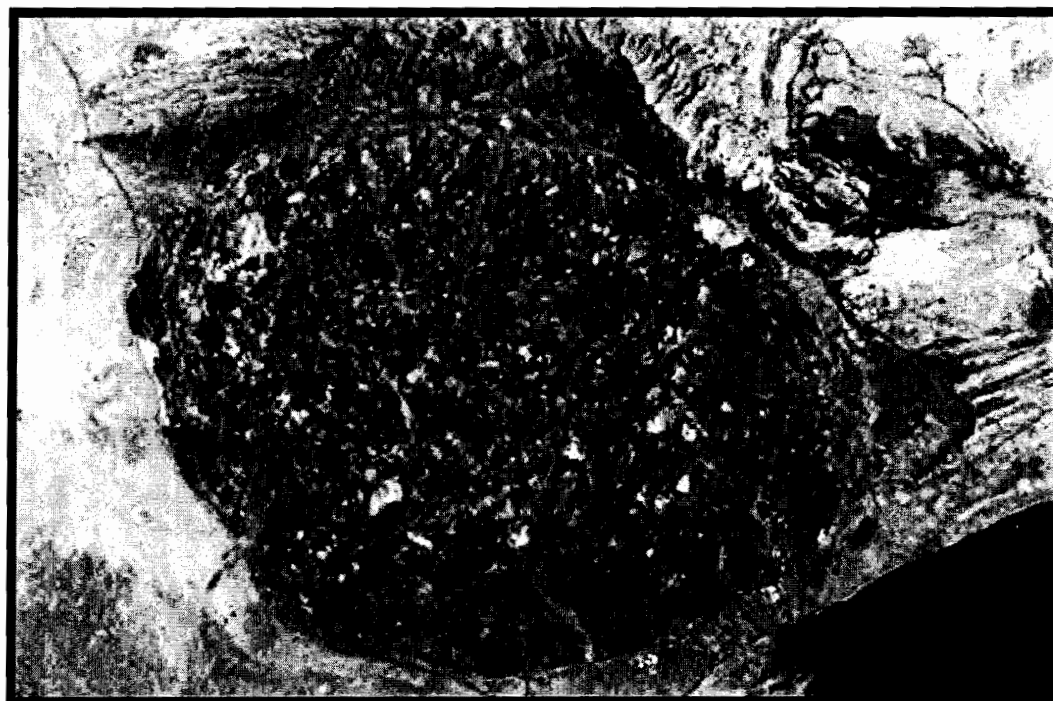
شکل ب : نمک متبلور شده در بستر رودخانه های جاری در گنبد نمکی گچین

شکل ج : یکی از معادن تهیه سنگ (توده ریولیتی، گنبد گچین)

شکل د: روش نمونه برداری از موج شکن ها



شکل ۴-۱- تصویر ماهواره ای جنوب ایران (مقیاس: ۱/۱۰۰۰۰۰)



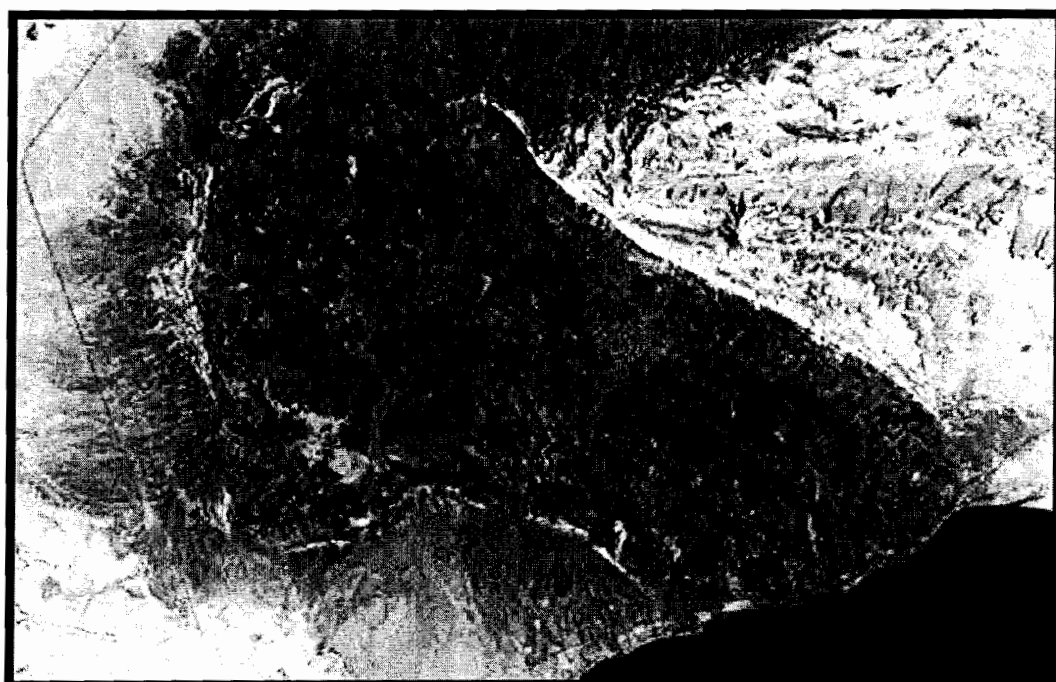
۲۷°۷'

۲۷°۳'

۵۵°۵۳'

۵۵°۵۹'

شکل ۱-۵- تصویر ماهواره ای گنبد نمکی گچین (مقیاس: ۱/۱۰۰۰۰۰)



۲۶°۴۱'

۲۶°۳۷'

۵۵°۵۳'

۵۵°۱'

شکل ۱-۶- تصویر ماهواره ای گنبد نمکی بندر معلم (کنگ)، (مقیاس: ۱/۱۰۰۰۰۰)



شکل ۱-۷- تصویر ماهواره ای گنبد نمکی بستانه (مقیاس: ۱/۱۰۰۰۰۰)



شکل ۱-۸- تصویر ماهواره ای گنبد نمکی حسینیه (مقیاس: ۱/۱۰۰۰۰۰)

۱-۲ مقدمه

منطقه مورد مطالعه در سواحل جنوبی ایران و متعلق به استان هرمزگان می باشد در تقسیم بندی واحدهای ساختاری ایران زمین (آقاباتی، ۱۳۸۳)، این ناحیه متعلق به زون چین خورده زاگرس می باشد (شکل ۱-۲). کمربند چین خورده زاگرس مجموعه ای از یک رشته تاقدیس های نزدیک به هم و فشرده با سطح محور معمولاً قائم و روند شمال غربی- جنوب شرقی تا شرقی غربی می باشد. رسوبات چین خورده این منطقه به طور متناوب از آهک یا دولومیت همراه با مارن و مارنهای آهکی تشکیل شده اند و با چینه بندی کم و بیش ظریفی مشخص می شوند (شکل ۲-۲). فعالیت های آتشفشانی در منطقه چین خورده زاگرس مشاهده نمی شود و تنها در گنبدهای نمکی آثاری از سنگهای نفوذی دیده می شود که سن آنها به اواخر پرکامبرین نسبت داده می شود. فعالیت دگرگونی هم فقط در گنبدهای نمکی مشاهده می شود (خسرو تهرانی، ۱۳۷۶).

۲-۲ پیکره های سنگی منطقه :

در منطقه پیکره های متنوعی از سنگهای آذرین و رسوبی به سن پرکامبرین تا میوسن رخنمون دارند (شکل ۲-۲).

۱-۲-۲ پیکره های رسوبی منطقه :

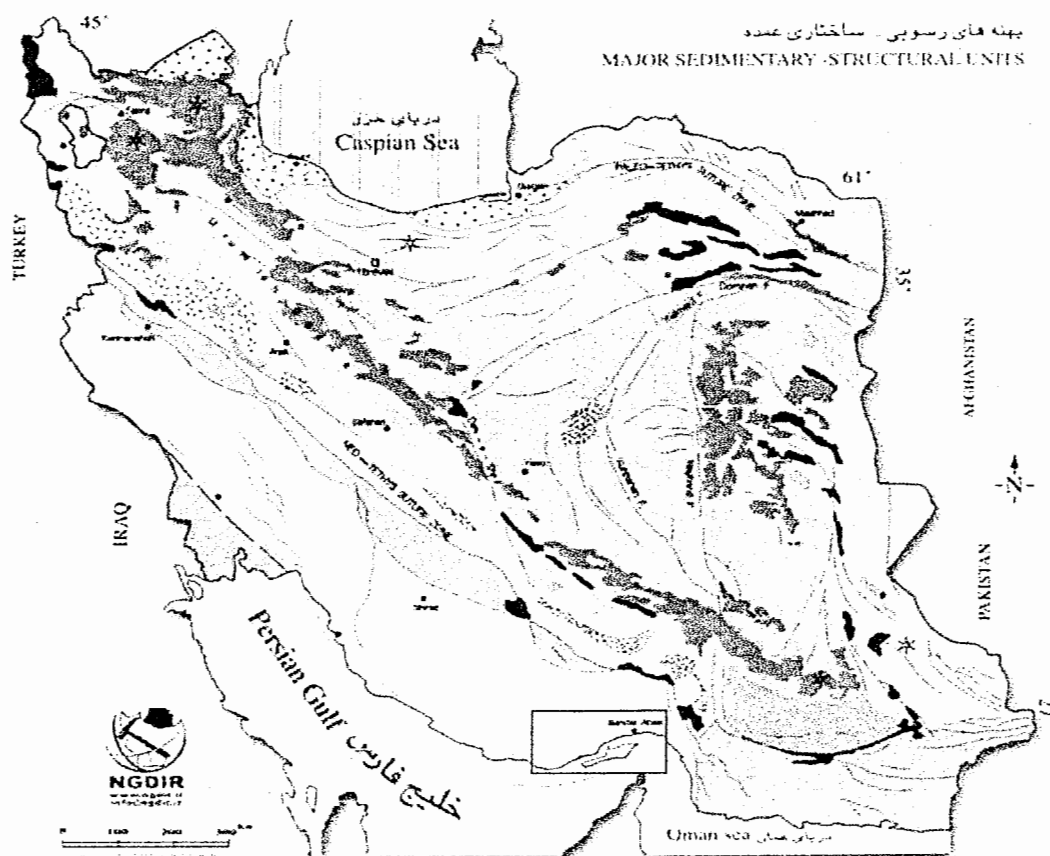
در منطقه سازند های هرمز، میشان، آغا جاری و بختیاری رخنمون دارند که در اینجا بدلیل اهمیت و نقش سازند هرمز در تشکیل گنبدهای نمکی، فقط به بررسی این سازند می پردازیم.

۲-۲-۱-۱ سازند هرمز:

اولین ردیف رسوبی شناخته شده در زاگرس مربوط به نهشته های سازند هرمز می باشد. سازند هرمز در جنوب و جنوب غرب ایران صرفاً در گنبدهای نمکی رخنمون دارند و ضخامت اولیه آن حدود ۱۰۰۰ متر تخمین زده می شود (کنت، ۱۹۷۹). تا سال ۱۹۹۰ اکثراً تصور بر این بود که ردیف

سنگهای هرمز در گنبد‌های نمکی جنوب ایران در هم ریخته بوده و هیچ نظامی در آنها نمی توان پیدا کرد. احمد زاده و همکاران (۱۹۹۰) سن نمکهای سری هرمز را کامبرین زیرین - میانی ذکر میکند و علی رغم درهم ریختگی شدید نام سازند را به آن اطلاق کرده و آن را به چهار واحد H_2, H_1 و H_4, H_3 تقسیم بندی کرده اند. (جدول ۱-۲)، خصوصیات این چهار واحد عبارتند از:

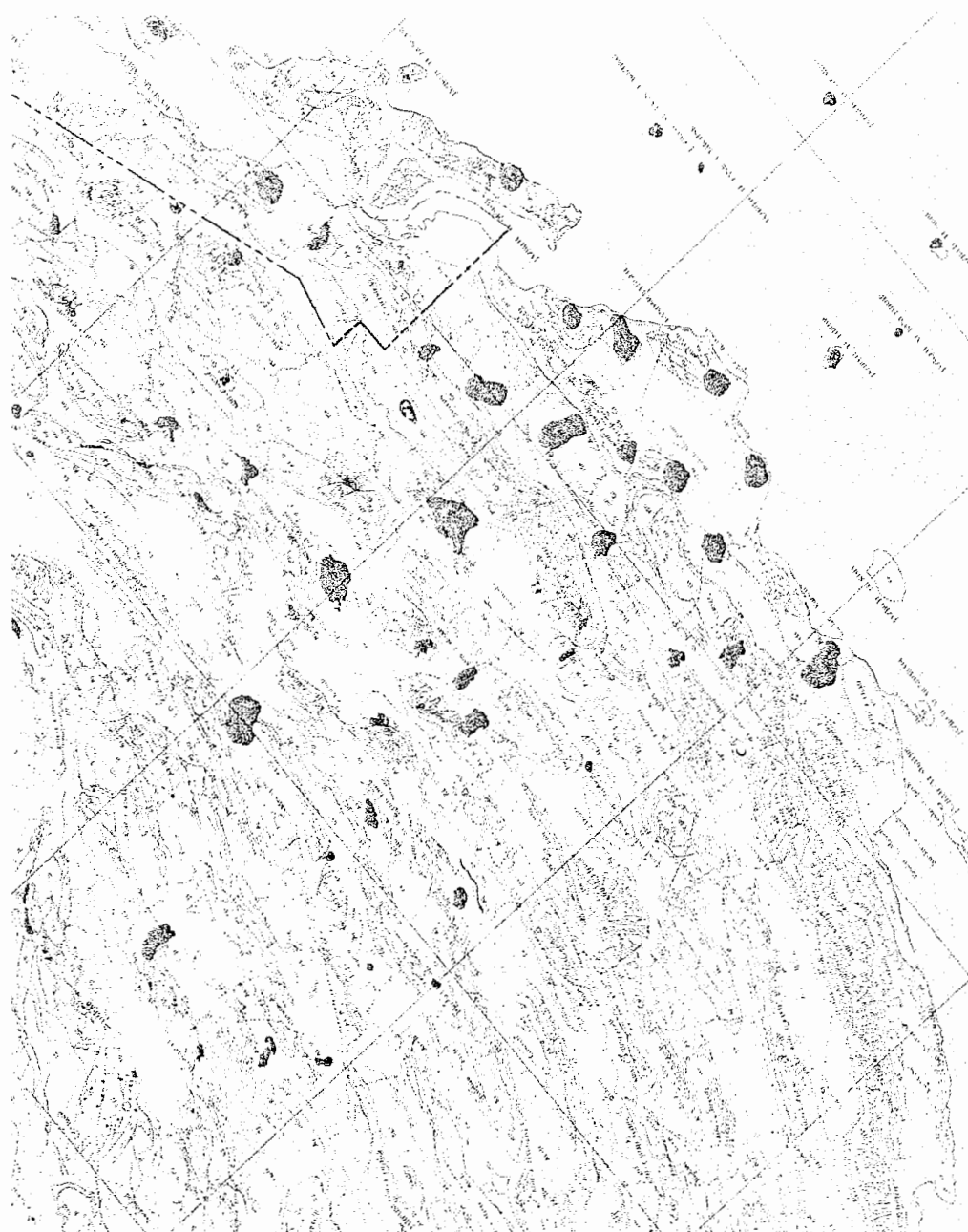
واحد H_1 : متشکل از طبقات و لایه های نمک با ضخامت متفاوت است. قاعده آن نامعلوم بوده و دارای میان لایه هایی از توف، مارن و آهک تیغه ای است. دارای ادخالهایی از اکسیدها بویژه اکسید آهن، سولفورها و ندرتاً ترکیبات مس می باشد و بدین لحاظ رنگارنگ بنظر می رسد. معمولترین سولفیدهای موجود در لایه های نمکی پیریت و کالکوپیریت است. هماتیت فراوانترین اکسید موجود در لایه های نمکی است و معمولاً لیمونیت و گوتیت نیز دیده می شود. در بعضی لایه ها مگنیت نیز به مقدار کم دیده شده است (تابلو ۱-۲، شکل الف و ب).



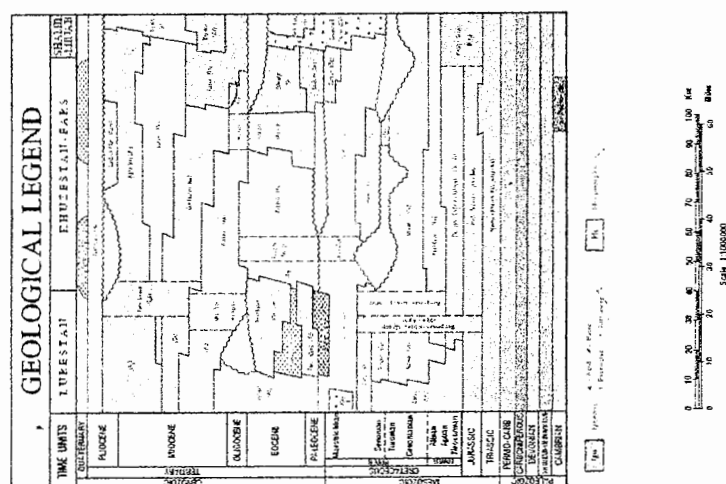
منطقه مورد مطالعه

شکل ۱-۲، نقشه واحدهای ساختاری - رسوبی ایران و موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی آن (آقا نباتی، ۱۳۸۳)

GEOLOGICAL MAP OF SOUTH IRAN



شکل (۲-۲)، نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰)، (شرکت ملی نفت ایران، ۱۹۶۹)



در بین لایه های نمک ادخالهایی از کربناتها و سولفاتها نیز دیده می شوند. ادخالهای کربناتی عمدتاً کلسیت و دولومیت می باشند. سولفاتها بیشتر از دیگر ادخالها دیده می شوند و عمدتاً انیدریت و ژپس هستند. انیدریت و ژپس معمولاً شکل دار و اندهدرال تا ساب هدرال هستند. سیلیکاتها نیز در بین لایه های نمک یافت شده اند که عمدتاً کوارتز و فلدسپات می باشند. در بین لایه های نمک قطعاتی از سنگهای ماگمایی و توف وجود دارد.

واحد H_2 : این واحد عمدتاً از مجموعه های قرمز رنگ اخرا تشکیل شده است و مستیماً روی واحد H_1 قرار دارد. دیگر متشکلین آن عبارتند از مارنهای سفید تا زرد کم رنگ، انیدریت، ایگنیمبریت، توف، آهک نازک لایه سیاه رنگ و اکسیدهای بی آب و آبدار آهن. ایگنیمبریت های یافت شده معمولاً از نوع ریولیتی و داسیتی هستند و گرایش قلیایی دارند. توفها و ایگنیمبریت های موجود در این واحد معمولاً شورمرزه و دارای حفرات پر از نمک هستند که در حفرات بزرگ آنها بلورهای گچ و نمک یافت می شود. توفها بسیار ریز دانه و سفید رنگ هستند و بشدت به نمک و گچ آغشته اند.

واحد H_3 : این واحد یک آهک سیاه رنگ جلبکی است. این آهک بدبو و نازک لایه است و در آنها فسیل جلبکهای به شکل دمبلی، استوانه ای، کروی و حلقوی یافت می شوند. در بعضی مناطق با ژپس همراه هستند. دارای مقادیری گوگرد و دی اکسید های آهن نیز هستند. در مجموع سن این واحد کامبرین زیرین تا میانی در نظر گرفته شده است. بررسی محیط رسوبی این کربناتها نشان داده است که در محیط دریایی کم عمق نزدیک به ساحل درناحیه جزر و مد تشکیل شده اند (احمدزاده و همکاران، ۱۳۶۹).

واحد H_4 : این واحد تناوبی از توف ریولیتی خاکستری رنگ و مواد آذر آواری است که گاهی همراه با ماسه سنگ، شیل، مارن و آهکهای صورتی رنگ می باشد. در این واحد گنبد های ریولیتی، توده های نفوذی گرانیتی و مواد آذر آواری نیز دیده می شوند.

این سازند تشکیل دهنده اصلی حجم گنبد های نمکی منطقه است و نمک این سازند عامل اصلی رسیدن گنبد ها و مواد غیر تبخیری به سطح زمین بوده است. مواد غیر تبخیری موجود در سازند هرمز از گروه وسیعی از سنگهای آذرین و رسوبی تشکیل می شوند و ابعاد آنها از قطعات کوچک تا بسیار بزرگ (با قطر بیش ۳ کیلومتر) متغیر می باشند که در زمینه ای از تبخیرهای سازند

هرمز قرار دارند. بلوکهای آذرین عمدتاً گرانیت، ریولیت، ایگنیمبریت، توف، گابرو، دلریت و تراکیت می باشند. سنگهای غیر تبخیری بصورت همزمان با رسوبگذاری و متناوب با لایه های تبخیری در یک حوضه رسوبی کم عمق تشکیل شده اند. با حرکت رو به بالای سکانس چند طبقه نمک که بصورت متناوب با غیر تبخیری ها وجود داشته اند، لایه ها و توده های سنگهای غیر تبخیری در نمک متحرک پلاستیک محصور شده اند. با افزایش مواد غیر تبخیری بر روی نمکها، فشار ناشی از وزن آنها بر روی لایه های نمک تدریجاً افزایش یافته و سرانجام ضخامت لایه های فوقانی نمک به حدی می رسد که نیروی محرکه ای را بوجود می آورد که در نتیجه آن جریان افقی حاصل می شود و به طرف مناطق کم فشار متمایل می شود و بلوکها از موقعیت اصلی خود کنده شده و همراه با نمک به سمت سطح حرکت کرده اند. (داودزاده، ۱۹۹۰).

جدول (۱-۲)، خلاصه واحدها و سنگهای سازند هرمز

شماره واحد	نوع سنگها و رسوبات	سنگهای قابل استفاده در موج شکن
H_1	لایه های نمک و میان لایه های توف، مارن و آهک تیغه ای به همراه اکسید آهن و هماتیت، پیریت، کالکوپیریت، لیمونیت، گوتیت و مگنتیت	توف
H_2	اخرا به همراه مارن، انیدریت، توف، ایگنیمبریت، آهک، اکسید آهن	ایگنیمبریت، توف
H_3	آهک، ژپس	
H_4	توف ریولیتی، مواد آذر آواری، ماسه سنگ، شیل، مارن، آهک، ریولیت، گرانیت	گنبد های ریولیتی، توده های گرانیتی

۲-۲-۲ پیکره های آذرین :

در گنبد های نمکی، بخشهای مختلف سازند هرمز همراه با توده های آذرین مختلف رخنمون دارند. پراکندگی توده های آذرین در گنبد های نمکی از هیچ نظم خاصی تبعیت نمی کند. واحدهای آذرین موجود در گنبد های نمکی شامل انواع سنگهای آتشفشانی و توفهای ریولیتی، ریوداسیتی، و بازالتی و گابرو، دلریت، گرانیت، گرانودیوریت و... می باشند. اکثر سنگهای آذرین اثرات آلتراسیون و تشکیل کانی های ثانویه ای مثل کلریت، اپیدوت و کلسیت را نشان می دهند.

به طور کلی سنگهای آذرین موجود در گنبد های نمکی را می توان به دو گروه کلی تقسیم کرد. گروه اول سنگهایی هستند که در واحدهای ۲ و ۴ سازند هرمز در تناوب با دیگر متشکلین آن قرار دارند و بیشتر اسیدی تا حد واسط و از نوع ریولیت، داسیت و تراکیت است. گروه دوم سنگهای آذرین

و متاسوماً تیک هستند که در واحدهای مختلف سازند هرمز نفوذ کرده اند و تنوع سنگ شناسی زیادی دارند و بیشتر شامل گابرو، دیاباز، گرانیت می باشند.

۲-۲-۲-۱ توفهای ریولیتی

توفهای ریولیتی معمولاً به صورت بین لایه ای و موازی با بخشهای مختلف سازند هرمز دیده می شوند. این توف ها عموماً به صورت طبقات سفید رنگ می باشند. این طبقات توفی در گچین در بین شیلها و ماسه سنگهای واحد ۲ و ۳ سازند هرمز و در بندر معلم در بین بخشهای ۲ و ۴ سازند هرمز قرار دارند. این توفیت ها کاملاً خرد شده و همراه با درزه ها و شکستگی های فراوان می باشد.

۲-۲-۲-۲ گنبدهای ریولیتی

توده های ریولیتی معمولاً به شکل تپه های پست و کم ارتفاع از میان رسوبات ماسه سنگی، شیلی و نمکی واحد ۴ سازند هرمز سر بیرون آورده اند. ترکیب آنها ریولیت تا ریوداسیت بوده و ارتفاع متوسط آنها حدود ۱۴۰ متر از سطح دریا می باشد. همبری آنها با لایه های مجاور شدیداً برهم خورده و برشی است (تابلو ۱-۲، اشکال ج و و). این گنبدها دارای درزه ها و شکستگی های فراوان می باشند که این شکستگی ها بوسیله کانی های ثانویه مثل کلریت، اپیدوت، الیزبیت پر شده اند. از مشخصات بارز گنبدهای ریولیتی اثرات جریان یافتگی در آنهاست (تابلو ۱-۲، شکل د). این سنگها می توانند با توجه به وسعت و پراکندگی زیاد آنها در گنبد ها و بلوک دهی خوب، منابع قرضه مناسبی جهت تامین مصالح سنگی باشند.

۲-۲-۲-۳ توده های نفوذی گرانیتوئیدی

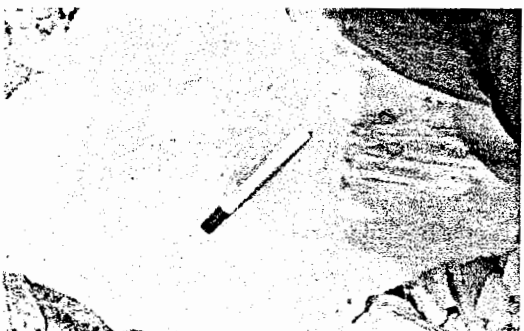
توده های گرانیتوئیدی در بخشهای مختلف این گنبد ها پراکنده هستند و الگوی خاصی در پراکندگی آنها دیده نمی شود و در بخش ۴ سازند هرمز رخنمون دارند. ترکیب آنها از گرانیت تا گرانودیوریت و کوآرتز مونزونیت متغیر است. ابعاد توده های گرانیتی بسیار متغیر و از چند متر تا چند صد متر متفاوت می باشند. سنگهای حاشیه این توده های گرانیتی عمدتاً ماسه سنگ و شیل هستند و دگرگونی ضعیفی را نشان می دهند که در نقاط مجاور توده حداکثر به رخساره شیبست سبز می رسد. تقریباً در تمامی حواشی توده ها، شیب لایه های مجاور به سمت بیرون می باشد و حلقه ای را در اطراف این توده ها تشکیل می دهند.



شکل ب



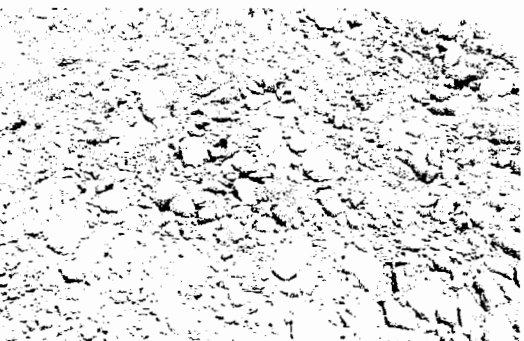
شکل الف



شکل د



شکل ج



شکل و



شکل ه

تابلو (۱-۲)

شکل الف : لایه های لیمونیت و شیل و ماسه سنگ در واحد H1 سازند هرمز (گچین)

شکل ب : طبقات گچ که حاوی قطعات دیابازی می باشند (گچین)

شکل ج : حاشیه برشی شده گنبد ریولیتی

شکل د : رگه های البژیت در گنبد ریولیتی (گچین)

شکل ه : رگه های البژیت در بین لایه های ماسه سنگی (گچین)

شکل و : سطح گنبدهای ریولیتی که شدیداً دچار شکستگی شده است (گچین)

۲-۲-۴ گدازه های بازالتی

بازالت‌های موجود در این گنبدها عمدتاً در واحد ۴ سازند هرمز رخنمون دارند و در دیگر واحدهای آن دیده نشده اند. پراکندگی بازالتها بسیار محدود بوده و معمولاً بصورت توده های کوچک و در قله ارتفاعات دیده می شوند. این بازالتها شدیداً آلتزه هستند و کانی شناسی آنها شدیداً تغییر کرده است (تابلو ۲-۲، شکل الف).

۲-۲-۵ گدازه های تراکیتی

تراکیت های موجود در این گنبدها حجم کمی داشته و در اکثر موارد در مجاورت دیگر توده های آذرین و یا به صورت بلوک های کوچک در درون توده های نمکی یافت می شوند. پراکندگی تراکیتها در بخش ۲ و ۴ سازند هرمز می باشد. این تراکیتها ظاهری سبز رنگ دارند و دارای درزه و شکستگی فراوان می باشند.

۲-۲-۶ گابروها :

گابرو گروه دیگری از سنگ های بازیک هستند که درون واحدهای مختلف سازند هرمز نفوذ کرده اند. توده های گابرویی حجم کوچکی داشته و به شکل بلوک های با اندازه های کوچک دیده می شوند. این توده ها در لایه های شیلی - ماسه سنگی نفوذ کرده اند و همبری آنها با سنگهای اطراف بسیار به هم ریخته می باشند و عمدتاً باعث جابه جایی و خردشدگی واحدهای رسوبی اطراف خود شده اند. سنگهای گابرویی شدیداً آلتزه بود و رنگ سبز آنها ناشی از حضور کانی های ثانویه ای نظیر اپیدوت، کلریت و آمفیبول می باشد. این گروه از سنگ ها دارای درزه ها و شکستگی های فراوانی هستند و مملو از کانی های ثانویه به ویژه اپیدوت می باشند (تابلو ۲-۲، شکل الف)

۲-۲-۳ گنبدهای نمکی منطقه :

از جمله پدیده های مهم در زاگرس، وجود گنبدهای نمکی می باشد که نقش مهمی در تأمین منابع قرضه مناسب در سواحل و جزایر جنوبی ایران دارند واز این رو در اینجا به طور خلاصه مورد بررسی قرار می گیرند. بیشترین تجمع گنبدهای نمکی در بخش های جنوب شرقی و میانی زاگرس است و بیشتر جزایر خلیج فارس هم در واقع گنبدهای نمکی هستند که بالاتر از سطح آب قرار گرفته اند. بیش از ۱۸۰ گنبد نمکی در زون چین خورده زاگرس رخنمون دارند (شکل ۲-۴).



شکل ب



شکل الف



شکل ج

تابلو (۲-۲)

شکل الف : گدازه های بازالتی که بیشتر در ارتفاعات قرار دارند
 شکل ب : واحد گابرویی در گچین که در قله کوه قرار دارد (گچین)
 شکل ج : گنبد نمکی بستانه

هرمز در آن کمتر رخنمون دارد. سازندهای میشان ، آغاچاری ، بختیاری و رسوبات آبرفتی کواترنر سازندهای جوان اطراف این گنبد نمکی را تشکیل می دهند. واحد H_1 سازند هرمز در چند مقطع کوچک و واحد H_2 نیز به صورت لکه های پراکنده در نقاط مختلف گنبد نمکی به ویژه در مرکز آن رخنمون دارد . بخش عمده گنبد نمکی را واحد H_4 سازند هرمز تشکیل می دهد ، ماسه سنگهای خاکستری و قهوه ای رنگ و لایه های ژئوسی متعلق به واحد H_4 در راس اکثر ارتفاعات گنبد نمکی بندر معلم دیده می شوند (مرادی، ۱۳۸۲). لایه های توفی همراه با میان لایه های رسوبات شیل و ماسه سنگ نیز متشکلین واحد H_4 سازند هرمز می باشند که تقریباً به فراوانی در اکثر نقاط این گنبد نمکی رخنمون دارند..

سنگهای آذرین موجود در این گنبد نمکی شامل ، ریولیت ، تراکیت ، گرانودیوریت ، گرانیت ، کوارتز مونزونیت، بازالت، دولریت و گابرو می باشند . بیشترین رخنمونهای بلوکهای آذرین مربوط به بخشهای جنوبی و جنوب غربی گنبد می باشند (شکل ۲-۸).

۲-۳-۳ گنبد نمکی بستانه :

این گنبد در شمال بندر بستانه قرار داشته و مساحت آن در حدود ۳۲ کیلومتر مربع می باشد. این گنبد در انتهای غربی طاق‌دیس بستانه رخنمون دارد . این گنبد کاملاً شبیه گنبد بندر معلم می باشد و متشکل از گچ و نمک ، قطعات آهک دولومیتی سیاه‌رنگ، ماسه سنگ ، شیل‌های آهکی ، گدازه های آتشفشانی (بازالت و ریولیت) و نفوذی ها می باشد (تابلو ۲-۲، شکل ج) .

۲-۳-۴ ته نشست سازند هرمز و تشکیل گنبدها و سنگهای آذرین منطقه

محیط تشکیل رسوبات تبخیری هرمز در درون فرورفتگیهای گرابنی حاصل از ریف‌تینگ بوده است. در این حوضه رسوبی فورانهای آتشفشانی اسیدی و بازیک در بین رسوبات تبخیری وجود داشته است که خود از نشانه های گسترش ریف‌ت در این مناطق است. سازند هرمز بعنوان رسوبات همزمان با ریف‌ت در نظر گرفته می شود (حسینی، ۱۹۹۸). حوضه تبخیریهای هرمز بعنوان یک حوضه درون قاره ای در نظر گرفته شده است. نمک سازند هرمز سپس با رسوبات پالئوزوئیک و کربناته‌های تریاس تا میوسن پوشیده شده است. نمکهای هرمز از اواخر ژوراسیک تا اوایل کرتاسه به آهستگی شروع به حرکت کرده و بالشتکهای کوچکی را در امتداد شمال- شمال شرقی تشکیل داده اند (ادگل، ۱۹۹۶). بالشتک های

بالشتک های نمک در نتیجه موج ناپایداری یک رژیم فشاری که از شرق در طول حاشیه شمالی گندوانا در حرکت بوده و باعث گسلش پی سنگ شده است، گسترش یافته اند (تالبوت و علوی، ۱۹۹۶). گسلهای متعددی در پی سنگ مجدداً فعال شده اند که دو تا از آنها، در غرب (گسل کازرون) و در شرق (خط وارده عمان) حوضه ته نشست نمکهای هرمز را بوجود آوردند. در این محدوده، رسوبات بعدی با ضخامت زیاد ته نشین شده و بالشتکهای نمک گسترش بیشتر یافته اند.

برخورد پلیت عربی با پلیت ایران در کرتاسه پایانی باعث چین خوردگی رسوبات پوشش پلیت عربی شده است. در این زمان نمک نقش ویژه ای در فرایند چین خوردگی بازی می کند. نمک به عنوان یک ماده غیر قابل تراکم لغزنده بین سنگ کریستالین پی سنگ و رسوبات فوقانی حرکت می کند (داودزاده، ۱۹۹۰). در مناطق تاقدیسی و ناودیسی که فشار لیتواستاتیک متفاوت می باشد و نمک به سمت مرکز تاقدیسها حرکت کرده و در زیر راس چین خوردگی ها تجمع پیدا می کند (تالبوت، ۱۹۹۸). بدین ترتیب نتیجه گرفته می شود که ژنز دیاپیرهای نمک در ارتباط با حرکت نمک در طی فرایند چین خوردگی نیست بلکه بواسطه فشردن شدن نمک توسط رسوبات ناودیسی فوقانی است که باعث افزایش فشار و تشکیل بالشتکهای نمک می شود (تالبوت، ۱۹۹۸). دیاپیرهای نمک هرمز از بالشتکهای نمک در سه فاز اصلی حاصل شده اند که عبارتند از: کرتاسه زیرین، ائوسن تا میوسن و عهد حاضر (ادگل، ۱۹۹۶).

بطور کلی گفته می شود که در بخشهای مختلف سیستم ریفتی نجد، ماگماتیسم اسیدی و بازیک وجود داشته است که از نظر ترکیبی کالکوالکالن تا انتقالی همراه با بازالتهای تولوئیتی می باشند و در بخشهایی نیز ماگماتیسم آلکالن وجود داشته است. بدین ترتیب می توان گفت که شرایط ماگماتیسم در این سیستم ریفتی در زمانها و بخشهای مختلف، متفاوت بوده است و مانند آنچه در مورد تمامی ریفتهای قاره ای که تا مراحل اولیه اقیانوس زایی پیشرفت کرده اند، ماگماتیسم آلکالن در مجاورت انواع تولوئیتی و کالکوالکالن وجود داشته است (مرادی، ۱۳۸۲).

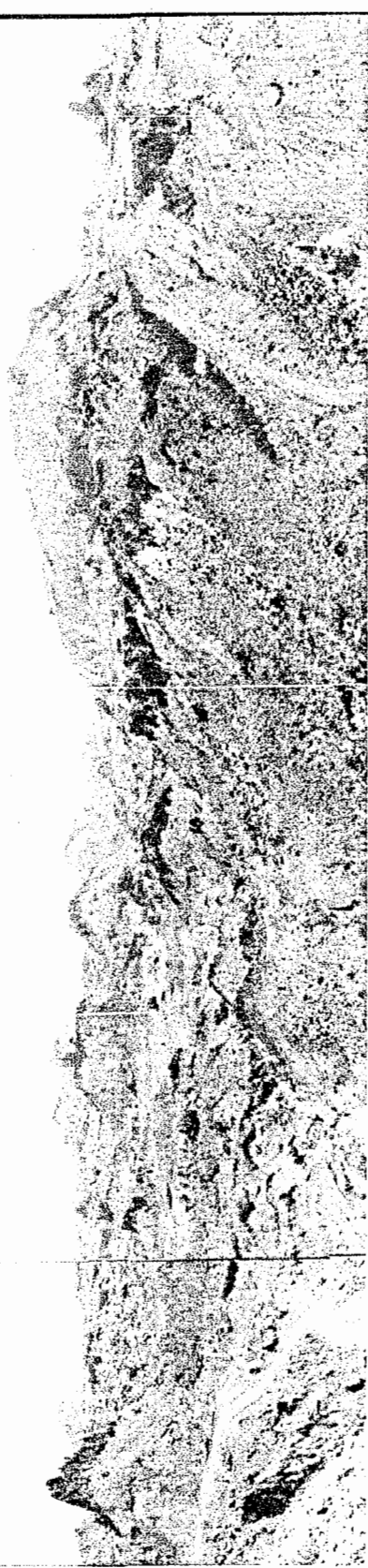
از این رو تشکیل سنگهای آذرین درونی و بیرونی کالکوالکالن، انتقالی و تولوئیتی که در گنبد های نمکی حضور دارند، از خصوصیات بارز سیستم ریفتی نجد بوده و تقریباً در تمامی نواحی مطالعه شده این سیستم وجود دارند و تشکیل آنها عملاً در ارتباط با سیستم کششی پوسته در این منطقه در طی اینفراکامبرین - کامبرین بوده است.



شکل (۷-۲)، نوار شرقی گنبد نمکی گچین.



شکل (۶-۲)، بخش میانی گنبد نمکی گچین، بیشتر ارتفاعات از دولومیت می باشند.





شکل (۸-۲)، گنبد نمکی بندر معلم (کنگ)

فصل سوم

پارامترهای موثر بر مقاومت و دوام داری سنگها

۳-۱ مقدمه:

مصالح سنگی از جمله مصالح مطلوب طبیعی محسوب می شوند که در ساختمان بدنه راه ها، موج شکن هاوسدهای سنگریزه ای و سایر مقاصد مهندسی بکار برده می شوند. یکی از مهمترین ساختمانهای مهندسی که با این مصالح ساخته می شوند، موج شکن هامی باشند. شناخت رفتار مصالح سنگی در رابطه با جریان آب و اثرات تخریبی محیط مورد استفاده بر روی آنها همواره مورد توجه مهندسان طراح بوده است. دوام سنگ و مقاومت آن در برابر عوامل مخرب و مهاجم حاکم بر محیطهای دریایی از مهمترین خصوصیات است که مصالح مورد استفاده در ساخت سازه های دریایی خصوصاً موج شکنها باید از آن بر خوردار باشند. دوام سنگ عبارتست از توانایی سنگ در حفظ ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی و سنگ شناسی خود در مدتی که در یک سازه مهندسی از آن استفاده می شود. دوام سنگ تابع عوامل مختلفی از جمله کانی های سازنده، بافت و ساخت، نوع و شدت هوازدگی سنگ، میزان کانی های رسی و شکستگیهای موجود در توده سنگ می باشد.

۳-۲ مقاومت و دوام داری سنگها در موج شکن

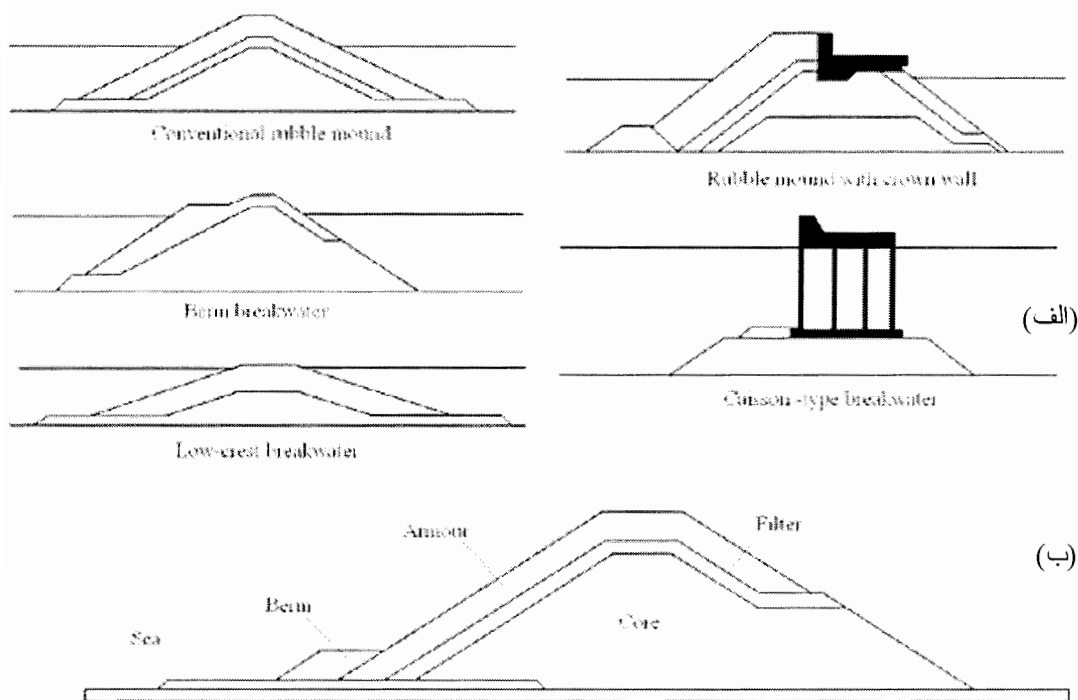
۳-۲-۱ موج شکن و خصوصیات سازه ای آن : موج شکن سازه ای است که جهت حفاظت حوضچه و تاسیسات بندری در برابر نیروی امواج، برای تامین ورود مطمئن کشتی ها، تامین فعالیت بندری در تمام طول سال، ایجاد حوضچه های اختصاصی و جلوگیری از ته نشست گل و لای در محدوده بندرگاه ساخته می شود.

موج شکن ها یکی از پیچیده ترین ساختار های دریایی می باشند و باید در طراحی و ساخت آنها دقت زیادی بکار رود تا در طول مدت بهره برداری در اثر عوامل هیدرولیکی و شیمیایی تخریب نشده و باز دهی فنی و اقتصادی خود را عرضه نماید (تابلو ۳-۱، شکل الف). انواع مختلف موج شکنها شامل ۱- موج شکنهای توده سنگی معمولی ۲- موج شکنهای توده سنگی با دیواره تاج (crown-wall) ۳-

موج شکن با شیب S یا برمی ۴- موج شکن نوع ریفی ۵- موج شکن نوع پایه زیر آبی (caisson) می باشد (شکل ۱-۳- الف).

ایستایی یک موج شکن به عوامل متعددی از جمله شکل ظاهری سنگهای لایه محافظ و وزن مخصوص آنها، نحوه اجرای لایه های بستر و لایه های خود موج شکن، وضعیت هندسی سازه، زاویه شیب، ارتفاع تاج و غیره بستگی دارد.

۲-۲-۲ ساختمان موج شکن: عموماً موج شکنهای توده سنگی شامل سه لایه مشخص هستند که به ترتیب بر روی پی قرار می گیرند و مقطع شماتیک آن در شکل (۱-۳- ب) نشان داده شده است:

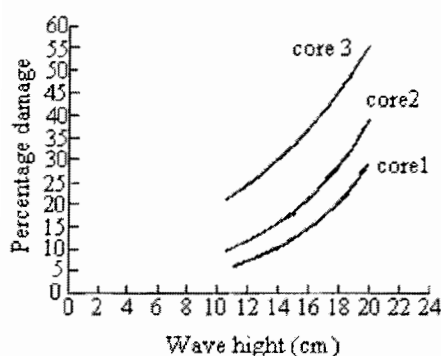


شکل (۱-۳)، الف: انواع مختلف موج شکنها، ب: مقطع عرضی موج شکن توده سنگی

پی یا مترس: این لایه از مصالح ریز دانه تشکیل شده است و چنانچه خاک بستر دریا در محل اجرای موج شکن از جنس خاک ضعیفی مانند لای یا رس باشد برای جلوگیری از نشستهای غیر متجانس، در زیر سازه موج شکن و روی بستر ریخته می شوند و حکم یک بالشتک توزیع بار را بر روی بستر دارد. این لایه در ساختمان موج شکن از اهمیت ویژه ای برخوردار است و محدوده وزنی قطعات آن ۱ تا ۱۰۰ کیلو می باشد.

لایه مغزه: این لایه نقش بدنه اصلی موج شکن را دارد و معمولاً مصالح ریز دانه و خرده سنگ در ساخت این لایه بکار می روند. این مصالح در تماس مستقیم با آب دریا نیستند ولی این مصالح نباید در آب دریا محلول باشند و یا تحت فشار لایه های رویی له شده و یا بصورت پودر در آیند. مغزه باید ضمن دارا بودن فشردگی لازم تا حدودی قابلیت عبور آب را از خود نشان دهد. بنابراین برای دانه های آن باید حد و مرزی قائل شد و بزرگترین بعد سنگهای آن نباید از ۲/۵ برابر کوچکترین بعد بیشتر باشد، چرا که افزایش آن ممکن است عامل ایجاد حفره های بزرگ و تخریب بعدی گردد. سنگهای لایه مغزه در محدوده وزنی ۰/۵ تا ۲ تن می باشند.

تخلخل در هسته اهمیت زیادی دارد زیرا با افزایش تخلخل هسته، پایداری سازه به طور قابل توجهی افزایش خواهد یافت و این امر بواسطه افزایش جریان در داخل هسته و پراکنده سازی بیشتر انرژی در داخل هسته موج شکن می باشد. در صورت تخلخل پایین هسته، انرژی وارد شده به ساختار، در سراسر آن پخش نشده و باعث تخریب سریع لایه آرمور می شود. همچنین میزان run-up موج شکن با افزایش تخلخل، کاهش خواهد یافت (هگده^۱ و همکاران، ۱۹۹۵).



شکل (۲-۳) رابطه بین ارتفاع موج و درصد خطر تخریب موج شکن با افزایش تخلخل.
ترتیب افزایش تخلخل
Core1 > core2 > core3
(هگده و همکاران، ۱۹۹۵)

دوره موج و ارتفاع موج نیز تاثیر زیادی بر پایداری موج شکن دارد (شکل ۲-۳). موج شکنهای پایدار از نظر استاتیکی بوسیله پارامتر ارتفاع موج ($H/\Delta D \leq 3$) و موج شکنهای پایدار از نظر دینامیکی بوسیله پارامتر ارتفاع موج ($H/\Delta D \geq 6$) مشخص می شوند (رائو^۲ و همکاران، ۲۰۰۴).

لایه فیلتر یا لایه میانی: این لایه میان مغزه و آرمور قرار گرفته و دانه بندی آن بگونه ای است که از شستگی لایه مغزه جلوگیری نموده و خود نیز از لایه لای سنگهای لایه آرمور شسته نمی شود. این لایه

^۱ - Hegde

^۲ - Rao

معمولاً در سمت حوضچه بدلیل کاهش انرژی امواج آخرین لایه می باشد. سنگهای آن معمولاً باید در محدوده وزنی ۱/۵ تا ۳/۵ تن باشند.

لایه حفاظ یا آرمور: این لایه نمای بیرونی موج شکن را تشکیل می دهد و نقش آن در سازه بعنوان مستهلک کننده امواج است. سنگهای این لایه بسیار درشت و ابعاد آنها گاهی به چند متر و وزن آنها تا ۲۰ تن هم می رسد ($> 5/5$ تن). در انتخاب سنگهای این لایه باید دقت زیادی بکار برد و سنگهای این لایه باید سخت و دارای بهترین کیفیت و دوام باشند. این سنگها باید فاقد تورق و صفحات ضعیف بوده و در مقابل عواملی نظیر آب و هوا، تر و خشک شدن مداوم، یخ بستن ذوب شدن و ضربه امواج مقاوم باشند و توسط این عوامل تجزیه و متلاشی نشوند. بعلاوه این سنگها باید قابل حمل و نقل بوده و در اثر برداشتن و قرار دادن مجدد آن در روی زمین دچار ترک و شکستگی نشوند.

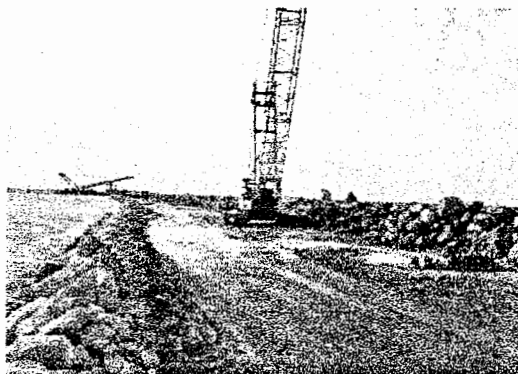
در استقرار یک لایه باید سنگها بصورت کاملاً منظم و به هم چسبیده مستقر گردند تا به کمک اصطکاک بین قطعات اثرات ضربه ای امواج را خنثی کنند. هیچ یک از سنگهای بکاررفته در لایه ها نباید گرد شده باشند، بلکه باید زاویه دار باشند تا کاملاً در هم قفل شوند (تابلو ۳-۱، شکل ج-د). فرایند ها مختلف موثر بر روی دوام سنگها و مصالح سنگی در مراحل مختلف ساخت و بهره برداری در موج شکن ها در جدول (۳-۱) خلاصه شده است.

۳-۲-۳ مکانیسم های تخریب در سازه های دریایی و اثرات آنها بر پایداری سازه :

مکانیسم فرسایش تدریجی سنگهای لایه آرمور در موج شکنها اساساً یک پدیده فیزیکی میباشد. تجزیه شیمیایی شامل حل شدن سنگهای کربناتی، انحلال نمکها، اکسیداسیون و هیدراسیون ترکیبات آهن دار مانند اکسیدها، سولفیدها نیز می تواند به وقوع بپیوندد ولی از اهمیت کمتری برخوردار است. زوال مصالح سنگی در لایه حفاظ سازه های دریایی و در اثر عوامل فیزیکی عموماً در چهار شکل گرد شدگی، سایش، پوسته پوسته شدن، ایجاد شکستگی های بزرگ، فروپاشی و دگرسانی و یا ترکیبی از آنها ظاهر می شود (نیکودل، ۱۳۶۹). به طور کلی این مکانیسم ها به عواملی نظیر محل قرار گرفتن سنگ لایه آرمور در موج شکن، شرایط آب و هوایی محلی، شرایط فیزیکی محل موج شکن و نوع سنگ و درجه زوال پذیری و دگرسانی آن بستگی دارند.



شکل ب



شکل الف



شکل د



شکل ج



شکل و



شکل هـ

تابلو (۱-۳)

جدول (۳-۱)، انواع فرایندهای موثر در تخریب سنگهای موج شکن ها (CIRIA/CUR(1990).

(مغزه = C، لایه فیلتر = U، لایه حفاظ = A)

فرایند	مکان	فرایند زوال	نوع تاثیر بر مصالح	زمان
زمین شناسی	رخنمون طبیعی	۱- هواز دگی شیمیایی و فیزیکی ۲- دگرسانی هیدروترمال	۱- کانی های دگرسان شده ۲- کاهش چسبندگی در بافت ۳- کاهش مقاومت در راستای ناپیوستگی ها	ده ها هزار سال یا میلیون ها سال
فرآوری و حمل و نقل	در معدن	۱- ایجاد ترک و شکاف در نتیجه انفجار (A) ۲- انفجار ثانویه و خرد شدگی (A) ۳- حمل و نقل (A) ۴- بارگذاری (A,U,C) ۵- خرد شدن (A,U,C)	۱- کاهش سلامت و یکپارچگی در نتیجه گسترش ترکها ۲- شکست نوع I ۳- شکست نوع II ۴- سایش ۵- تغییر شکل	روز
	در محل دپو	۱- ترک خوردگی ناشی از آزاد شدن تنش (A) ۲- هواز دگی فیزیکی جزئی (C) ۳- بارگذاری (C)	۱- شکست نوع I ۲- تشکیل ذرات ریز دانه ۳- تغییر در ویژگیهای مکانیکی	زمان مهندسی
	در محل احداث سازه	۱- بارگذاری (A,U,C) ۲- دپوی مصالح (A,U,C) ۳- جاگذاری قطعات (A) ۴- ضربه (A,U,C)	۱- شکست نوع I و II ۲- سایش	
بهره برداری	ناحیه ساختاری	۱- هواز دگی فیزیکی: تنشهای تناوبی ناشی از انجماد و ذوب آب، تر و خشک شدن، تورم و انقباض	۱- لایه لایه شدن و قطعه قطعه شدن سنگهای متورق، پوسته پوسته شدن و ایجاد ترکهای ریز، گرد شدگی، افت تدریجی وزن	سال
	فوق جذر و مدی	۲- سایش: سایش ناشی از برخورد ذرات لای و ماسه و شن معلق در آب، سایش ناشی از فشار آب و حرکت قطعات روی یکدیگر	۲- گرد گوشه شدن لبه های نوک تیز، ایجاد ترکهای ریز، افت تدریجی وزن	
	ناحیه میانی	۳- ضربه: بارهای دینامیکی ناشی از برخورد امواج	۳- شکستگی بزرگ، شکست نوع I و II، توسعه بحرانی ترکها، کاهش سریع اندازه	
	ناحیه غوطه وری			
	اقلیمی و آب و هوایی			
	یخبندان			
	دما			
گرم و خشک				

۱- سایش: به عنوان هر پدیده ای که سبب جدا شدن ذرات ریز سنگ از سطح آن توسط عمل خارجی میگردد، تعریف می شود. این عمل شامل سائیدگی در اثر برخورد ذرات معلق ماسه به سطح سنگ، حرکت سنگهای لایه آرمور بر روی هم و اثرآب دریا بر روی مصالح نرم یا ضعیف که میتواند از سوراخها یا ترکهای سنگ در اثر فشار هیدرولیکی وارد گردند.

پدیده های فرسایش که موجب گرد شدگی و کاهش تدریجی حجم و وزن سنگهای آرمور میگرددند، از یک طرف اصطکاک و اتصال بین این سنگها را کاهش داده و از طرف دیگر رابطه وزنی سنگهای موج

شکن را برهم می زنند و نتیجه این دو عامل، از بین رفتن اساسی رابطه ایستایی و کوتاه شدن دوام و عمر موج شکن میباشد (تابلو ۳-۲، شکل ۵).

۲- پوسته پوسته شدن: این فرایند در سطح لایه های سنگ در اثر عواملی مانند حملات نمکها و تبلور نمکهای آب دریا در منفذهای بزرگ ایجاد می گردد و شاید متداولترین مکانیزم تخریب باشد. همچنین یخ زدن و آب شدن متناوب، متغیر بودن بافت مصالح و یا انبساط مصالح رسی نیز می توانند باعث پوسته پوسته شدن سطحی سنگ می شود (تابلو ۳-۲، شکل د).

۳- شکستگی های بزرگ: به معنی دو یا چند تکه شدن بلوکهای سنگ می باشد. این شکستگی ها در صفحات ضعیف اولیه ایجاد می شوند و این صفحات ممکن است در هنگام استخراج سنگها در معدن یا نحوه حمل و نقل و یا نصب قطعات در سنگ پیدا شوند. همچنین این ترکها ممکن است در اثر حرکت سنگهای قشر آرمور در موقع طوفانهای دریایی ایجاد شوند.

البته مشخص است که این پدیده ها می توانند به تنهایی و یا توأم با یکدیگر عمل نمایند. همچنین آنها می توانند بصورت ادامه اثر یکی بر دیگری عمل کنند و یک پدیده با پدیده دیگر همکاری کند و یا اثرات آنها تشدید کند و در نتیجه تخریب سازه سریعتر انجام می شود (تابلو ۳-۲، شکل ب).

۳-۲-۴ عوامل موثر در کنترل فرسایش و دوام سنگها در موج شکن ها:

مکانیزمهای مختلف فرسایش توسط عوامل زیر کنترل می شوند:

۱- محل قرار گرفتن سنگ در موج شکن: محل قرار گیری سنگ در لایه آرمور از این جهت اهمیت دارد که در سطوح مختلف موج شکن میزان انرژی وارده به موج شکن و نوع فرایندهای مخرب عمل کننده متفاوت می باشد.

۲- شرایط آب و هوایی محلی: شرایط آب و هوایی از این جهت اهمیت دارند که تاثیر عوامل تخریبی را تغییر می دهند. تخریب در اثر عامل فیزیکی نمک و در شرایط آب و هوایی گرم بسیار قوی میباشد زیرا تبخیر منجر به تبلور نمک در حداکثر اندازه خود شده و این نمکها در سطح سنگ جمع شده و امکان شسته شدن و برگشت آنها به دریا بوسیله باران مقدور نمی باشد. نمک احتمالاً موثرترین عامل فساد می باشد زیرا در ذرات گرد و غبار بین سنگهای لایه آرمور در منطقه فوق جذر و مدی جمع شده



شکل ب



شکل الف



شکل د



شکل ج



شکل و



شکل هـ

تابلو (۲-۳)

و به طور متناوب بوسیله آب دریا مرطوب و تبخیر می شوند و باعث پوسته پوسته شدن و انبساط حجمی قشر سطحی سنگ و تخریب سنگ می شوند.

۳- محیط فیزیکی محلی : محیط فیزیکی محلی شامل عمق آب، وضع موج، فرکانس طوفانها می باشند و به دقت در هنگام ساخت یک موج شکن مورد بررسی قرار می گیرند. اطلاعات مربوط به امواج اهمیت زیادی دارند زیرا در ارزیابی شدت نسبی مکانیزمهای تخریب موثر می باشند.

۴- نوع سنگ و درجه فرسایش پذیری : مهمترین عامل دوام لایه آرمور، جنس خود سنگ و درجه هوازدگی سنگ میباشد. درجه هوازدگی را میتوان در معادن وبا استفاده از مشاهدات کلی تخمین زد. استحکام سنگ تابعی از جنس و بافت و ترکهای موجود در سنگ می باشد و از این رو سنگهای هوازده و دارای شکستگی های میکروسکوپی و چسبندگی ضعیف بین کانی ها از دوام کمتری نسبت به سنگهای فاقد این موارد برخوردارند. ترکهای مویین وعدم پیوستگی در بافت سنگها در طی مدت استفاده از موج شکن به پدیده سایش و خرد شدن کمک می کنند. این ترکها از سطح به عمق نفوذ می نمایند و در محیطهایی مانند خلیج فارس، آبهای حاوی سولفاتها و نمکها به داخل آنها نفوذ میکنند و تجمع بلورها و رشد آنها در اثر تکرار تر و خشک شدن بر اثر جذر و مد باعث افزایش حجم و فشار درونی شده و صفحات شکست را گسترش می دهند و ترکهای مویین به ترکهای باز تبدیل شده و باعث تخریب بیشتر سنگ می شوند.

۳-۲-۵ جریانات دریایی و جذر و مدی خلیج فارس و تاثیرات آنها بر سازه های دریایی:

به طور کلی در خلیج فارس آب در امتداد سواحل شمالی وارد شده و در امتداد سواحل جنوبی خارج میگردد. پهنای این جریانات در فصول مختلف، متغیر بوده و در تابستان جریان ورودی آب از فصلهای دیگر پهن تر می باشد و این امر به این دلیل است که مقادیر زیادی آب کم نمک وارد خلیج فارس میشود تا جانشین آبی که در اثر گرما در خلیج فارس تبخیر شده گردد و از طرف دیگر می تواند به این دلیل باشد که در این فصل، بادهای موسمی جنوب غربی، آب را بسوی دریای عمان میراند. در زمستان پهنای جریان ورودی آب بطور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. ترکیب آب خلیج فارس نیز یکی از عوامل تخریب کننده سازه های دریایی بوده و باعث خوردگی سنگها و سازه ها می شود. غلظت

آب خلیج فارس بدلیل تبخیر زیاد آب و حجم کم آب ورودی از ترکیب آبهای آزاد بیشتر می باشد (جدول ۳-۲).

جدول (۳-۲)، ترکیب آب خلیج فارس (بونلی^۱ و همکاران ۲۰۰۴)

نام عناصر	مقدار (mg/lit)	خصوصیات	average	min	max
Na	477.7	temperature(°c)	32	32	35
K		PH	8.18	8.08	8.26
Mg	115.26	conductivity(ms/cm)	62.7	62.2	63.4
Ca	23.95	turbidity(N.T.U)	0.71	0.48	1.13
SO4	0.1	S.D.I(%/min)	21.7	10	45
Cl	615	total alkalinity(mg/l (mg/l CaCo3)	123	122	125
HCO3	0.9				
CO3	1	total hardness (mg/l CaCo3)	8027	8010	8040
PH	8.56				
S.A.R	57.25	TDS(g/l)	44.3	43	45.5
EC	50863	UV	1.3	0.9	2.2
T.D.S	35710	Algae	50	38	76
salinity(p.s.u)	36.8				

۳-۳ فاکتورهای زمین شناسی کنترل کننده رفتار مکانیکی سنگها :

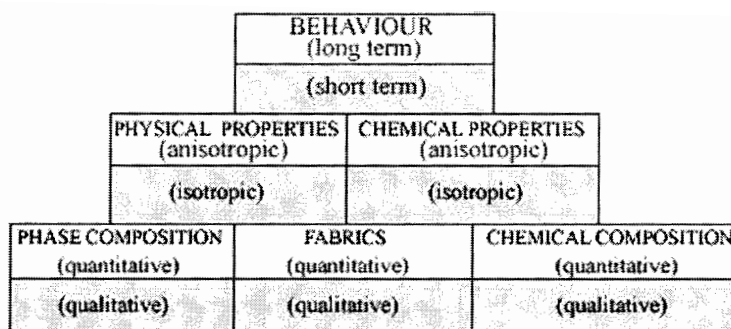
این فاکتورها که خصوصیات دگرشکلی و شکست و رفتار سنگها را تحت تاثیر قرار می دهند به دو گروه داخلی و خارجی تقسیم می شوند (شکل ۳-۲). فاکتورهای داخلی شامل خواص و ویژگیهای خود سنگ و فاکتورهای خارجی آنهایی هستند که از محیط اطراف سنگ و در یک محدوده از زمان بر روی سنگ تاثیر می گذارند. فاکتورهای داخلی شامل ترکیب کانی شناسی، بافت، صفحات ضعف، شکستگی های داخل سنگ و درجه آلتراسیون کانی ها، اندازه دانه، شکل دانه، درجه فشردگی سنگ، اندازه و میزان جهت یابی حفرات، درجه درهم شدگی، نوع کنتاکت ها و میزان و نوع سیمان یا ماتریس (در صورت موجود بودن) می باشد (اولوسای^۲، ۱۹۹۴). شرایط فشار و میزان رطوبت و حرارت محیط اطراف سنگ هم به عنوان فاکتورهای خارجی رفتار مکانیکی سنگ را تحت تاثیر قرار می دهند. خصوصیات بافتی بیشتر از خصوصیات دیگر در رفتار مکانیکی سنگ تاثیر دارند (اروسی^۳ و والر^۴، ۱۹۹۵)، (جدول ۳-۳ و ۴-۳).

^۱ - Bonnelye

^۲ - Ulusay

^۳ - Erosay

^۴ - Waller



شکل (۳-۲)، خصوصیات کنترل کننده رفتار سنگ (کوئینل، ۱۹۹۰)

جدول (۳-۳)، طبقه بندی خصوصیات سنگها، (اروسی و والر، ۱۹۹۵)

خصوصیات بافتی	اندازه دانه، شکل دانه، درجه جهت یابی دانه، دانسیته دانه ها، خواص نسبی دانه ها، ضریب بافتی، میزان و نوع کانی ها، نوع و مواد ماتریکس، نوع سیمان و درجه سیمانی شدن، تخلخل، مرزهای دانه ای یا روابط بین دانه ها، ساختار پیوندها
خصوصیات مکانیکی	مقاومت، سختی، سایش، دانسیته،
خصوصیات ساختاری	درزه ها، شکستگی ها، کلیواژ، فولیاسیون، گسلها، لایه بندی چین خورده، باند شدگی، شیب و امتداد
خصوصیات هوازدگی	آلتراسیون و میزان آب

جدول (۴-۳) عوامل موثر در رفتار سنگها، (بینیواوسکی^۱، ۱۹۸۴)

سنگ بکر	سنگ شناسی و چینه شناسی (نوع سنگ، نحوه تشکیل، دانه بندی، رنگ، کانیها) ناهمگنی، تخلخل، ترکها و شکستگی ها، مشخصات شیمیایی، مشخصات فیزیکی و مکانیکی (چگالی، مقاومت، مدولها و نحوه شکست)
توده سنگ	ساخت (چینه بندی، لامیناسیون، شیب و امتداد)، تخلخل، نفوذپذیری، خزش، گسستگیها (نوع، جهت یابی)، مشخصات فیزیکی و مکانیکی (چگالی، مقاومت، مدولها و زاویه اصطکاک)
عوامل خارجی	محیط: فشار، دما، آب (مقدار رطوبت، جریان آب زیرزمینی، فشار آب منفذی) وضعیت تنش-کرنش: تنشهای برجا (بزرگی، جهت و توزیع) بارهای خارجی (نوع، بزرگی، جهت، توزیع و موقعیت، طبیعت و شدت)، تنشهای غیر مکانیکی (حرارتی، الکتریکی و مغناطیسی)

۳-۳-۱ ترکیب و بافت و ساخت :

در سنگهای آذرین، ساخت بیانگر خصوصیات و ویژگیهای ماکروسکوپی سنگها مانند اختلاف اندازه بلورها، آرایش کانیهای تیره و روشن، تراکم، تخلخل، استحکام، رنگ و غیره میباشد. منظور از بافت بیان ویژگیهای میکروسکوپی سنگها مانند شکل و اندازه بلورها و رابطه فیزیکی آنها با یکدیگر (فابریک سنگ) و درجه تبلور سنگ می باشد و می توانند مراحل مختلف انجماد و نحوه تبلور سنگهای آذرین را برای ما مشخص کنند. ترکیب و بافت یک سنگ بوسیله منشا آن کنترل می شوند. برای مثال اولیوین، پیروکسن، آمفیبول، میکا، فلدسپار و کانی های سیلیسی که به عنوان اجزاء اصلی در سنگهای آذرین

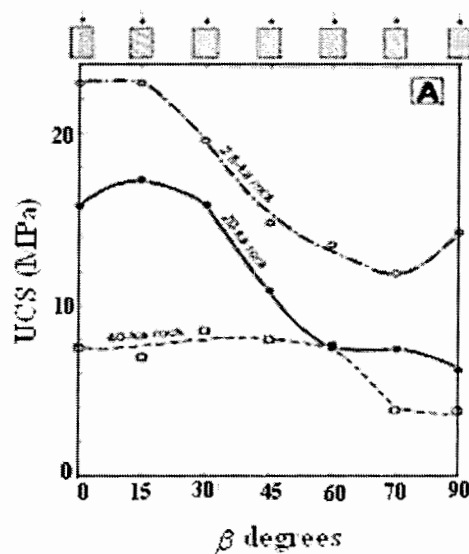
^۱ - Bieniawski

هستند، از انجماد ماگما بوجود آمده اند. انجماد ممکن است که با یک درجه تبلور متغیر انجام شود و هر چه زمان تبلور زیادتر باشد درجه تبلور بیشتر می شود. از این رو این سنگها به انواع درشت دانه، متوسط دانه، ریزدانه، میکرو کریستالین و شیشه ای قابل تقسیم هستند (جدول ۳-۵).

جدول (۳-۵)، تقسیم بندی سنگها بر اساس رنگ و بافت، (هوک، ۱۹۹۴)

نوع سنگ	گروه	بافت		
		درشت	متوسط	ریز
آذرین	روشن	گرانودیوریت دیوریت		ریولیت داسیت آندزیت
	تیره	گابرو نوریت	دیاباز	بازالت
	پیروکلاستیک	آگلومرا	برش	توف

در سنگهایی که ساخت جریانی داشته و انیزوتروپی مقاومتی دارند (ریولیت، آندزیت و.....)، مقادیر مقاومت فشاری تک محوری در $\beta = 0$ ، ماکزیمم بوده و هنگامی که β بین ۶۰ تا ۹۰ باشد، مقدار مقاومت مینیمم خواهد بود (شکل ۳-۳).



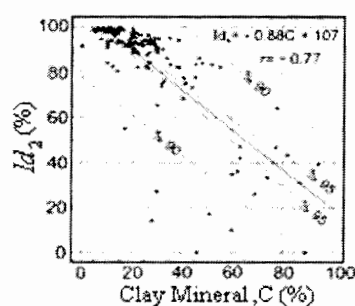
شکل (۳-۳)، رابطه بین مقاومت تک محوری و زاویه β در ریولیت (ماتسوکورا^۱ و همکاران، ۲۰۰۲)

تخلخل نیز بر روی خواص مقاومتی سنگ تاثیر می گذارد و با افزایش تخلخل، این خواص کاهش خواهند یافت، زیرا تخلخل در سنگ بصورت شبکه ای از میکروشکستگی های کاهش دهنده استرس عمل می کند (پرایس، ۱۹۶۰).

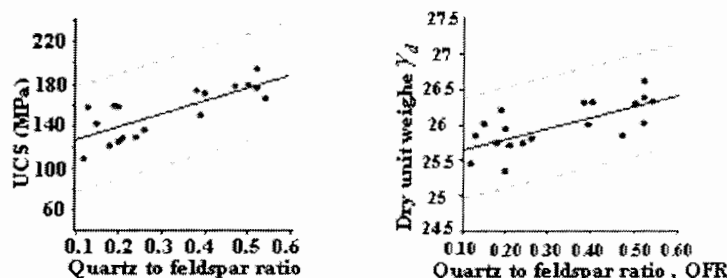
^۱ - Matsukura

۳-۳-۲ ترکیب کانی شناسی: نوع کانی ها و نسبت آنها تاثیر زیادی بر دوام و مقاومت سنگ خواهد داشت (شکل ۳-۷-الف). سنگهای حاوی کوارتز (به عنوان کانی پیوند دهنده) دارای بیشترین مقاومت می باشند و بعد از آن کلسیت و کانی های آهن و منیزیم دار قرار دارند، سنگهایی با مواد پیوند دهنده رسی ضعیف ترین سنگها می باشند (شکل ۳-۴ و ۳-۵) (واتوکوری^۱ و همکاران، ۱۹۷۴). کانی های آهن و منیزیم دار نقش عمده ای در مقاومت سنگها دارند. این کانی ها مرزهای دانه ای پیچیده یا بافتهای درهم رشدی خوبی در سنگها ایجاد می کنند، ولی این کانی ها سریع تر نیز اکسیده می شوند و باعث افت مقاومت می شوند (براتلی^۲، ۱۹۹۲).

سنگهای محدودی فقط از یک کانی خاص تشکیل شده اند و حتی در این سنگها هم ممکن است ترکیب و خواص از یک کانی به کانی دیگر کمی تفاوت داشته باشد. بعضی تغییرات در داخل کانی ها ممکن است به خاطر کلیواژ، ماکل، انکلوزیون ها، شکستگی ها، آلتراسیون و همچنین تغییرات جزئی در ترکیب کانی ها باشد که دوام و مقاومت سنگ با افزایش آلتراسیون و افزایش کانی های ثانویه، بشدت کاهش می یابد (شکل ۳-۶).



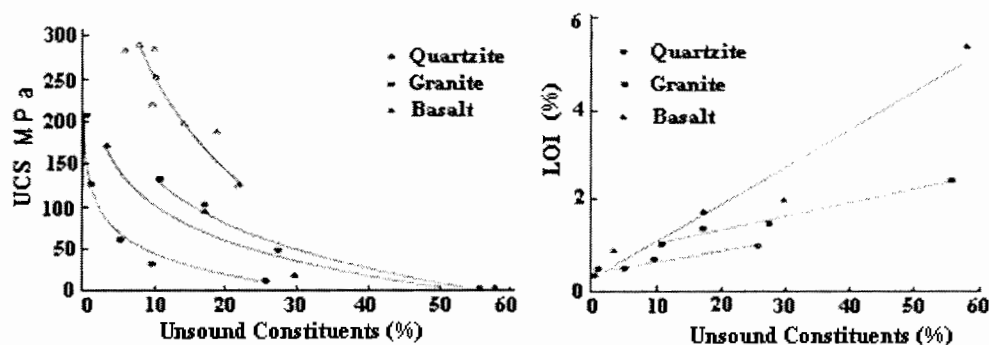
شکل (۳-۴)، رابطه بین درصد کانی های رسی و شاخص دوام (گوسه اقلو و همکاران، ۲۰۰۰)



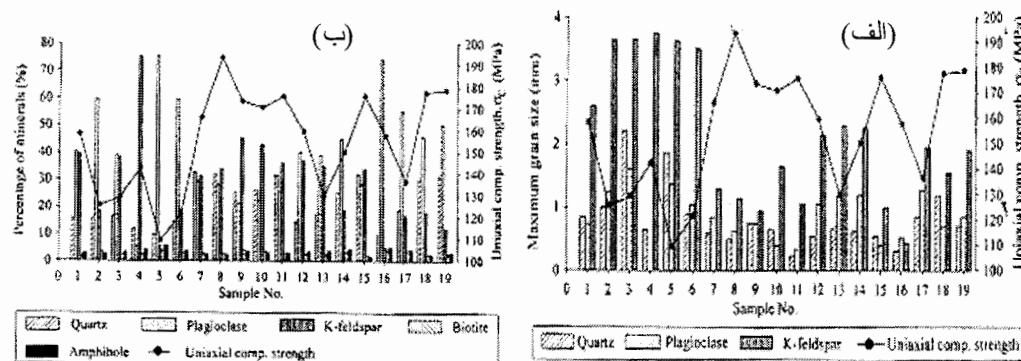
شکل (۳-۵)، رابطه بین نسبت کوارتز به فلدسپات و مقاومت تک محوری در گرانیت (توگرو و ظریف، ۱۹۹۹)

^۱ - Vatukuri

^۲ - Brattli



شکل (۳-۶)، رابطه بین سازنده های ثانویه سنگ و پارامترهای مقاومتی (سوسا^۱ و همکاران، ۲۰۰۴)



شکل (۳-۷)، الف- رابطه بین اندازه دانه و مقاومت فشاری تک محوری، ب- رابطه بین درصد کانی و مقاومت تک محوری، (توگول و ظریف، ۱۹۹۹)

۳-۳-۳ شکل بلوری: شکل کانی های سازنده سنگ نیز می تواند تاثیر زیادی بر پارامترهای مقاومتی سنگ داشته باشد، مقادیر بالای کانی های فیبری یا پولکی باعث پوسته پوسته شدن سنگها خواهند شد (نالسوند، ۱۹۸۸).

۳-۳-۴ اندازه کانی ها و میانگین دانه های سازنده سنگ :

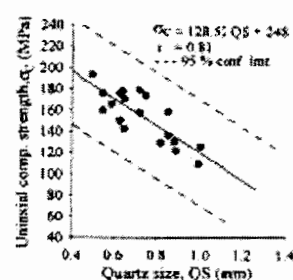
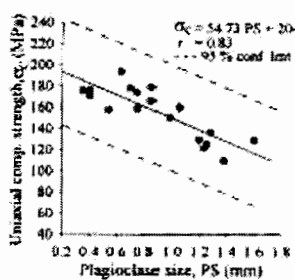
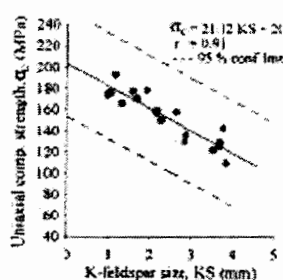
اندازه کانی ها و میانگین دانه های سازنده سنگ نیز به عنوان یک فاکتور زمین شناسی مهم تاثیر زیادی بر روی مقاومت مکانیکی سنگ دارند (جدول ۳-۶). مقاومت تسلیم سنگها با کاهش اندازه دانه ها افزایش می یابد (شکل ۳-۷ ب و ۳-۸). بطور کلی کوچک بودن اندازه دانه باعث زیاد شدن مقاومت سنگ می شود و وقتی میانگین اندازه دانه ها کمتر از ۱ میلی متر باشد، این تاثیر بیشتر خواهد بود (برائلی، ۱۹۹۲)، اگر اندازه دانه کمتر از ۰/۰۲۵ میلیمتر باشد، دانه ها تاثیر کمی در سایش و دوام دارند

^۱ - Sousa

(اروسی و والر، ۱۹۹۵). انودرا و کومارا (۱۹۸۰) نشان دادند که بین اندازه دانه و مقاومت سنگهای گرانیتی رابطه خطی وجود دارد که با کاهش اندازه دانه های سنگ، مقاومت سنگ افزایش می یابد.

جدول (۳-۶)، توصیف اندازه دانه (آنون ۱۹۷۹)

اندازه	توصیف
$60 \text{ mm} <$	خیلی دانه درشت
$2-60 \text{ mm}$	دانه درشت
$0.06-2 \text{ mm}$	دانه متوسط
$0.02-0.06 \text{ mm}$	دانه ریز
$<0.02 \text{ mm}$	خیلی دانه ریز



شکل (۳-۸)، رابطه بین نوع و اندازه کانی های مختلف و مقاومت فشاری تک محوری (برای گرانیت هایی در ترکیه، توگول و ظریف، ۱۹۹۹)

تاثیر اندازه کانی ها بر مقاومت سنگ بیشتر به این دلیل است که با کاهش اندازه کانی ها، تعداد مرزهای دانه ها افزایش یافته و نیروهای خارجی بر روی سطوح بیشتری توزیع می شوند و در نتیجه نیروی بیشتری برای شکستن پیوند بین دانه ها لازم می باشد. دلیل دیگر آن می تواند تاثیر درزه ها و شکستگی های داخل سنگ و کانی ها بر مقاومت سنگ باشد، چون در اکثر سنگها درزه ها و میکرو شکستگی هایی در داخل سنگ و در بین دانه ها و همچنین در داخل دانه ها دیده می شوند، نقش این ترکها و شکستگی ها را می توان با استفاده از تئوری گریفیس^۱ (۱۹۹۳) توضیح داد. ترکهای داخل کانی ها معمولاً در جهت صفحات کلیواژ و رخ کانی ها و در طول مرزهای دانه ها ایجاد می شوند میزان گسترش این ترکها به نوع کانی هم بستگی داشته و در پلاژیوکلاز زیاد بوده و در کوارتز و فلدسپات کمتر می باشند. نسبت طول به عرض ترکها در مقاومت سنگ موثر است و با بزرگ شدن اندازه دانه، نسبت طول به عرض ترک زیاد شده و باعث کاهش مقاومت سنگ می شود، ولی با

^۱ - Griffith

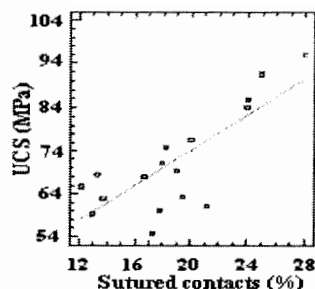
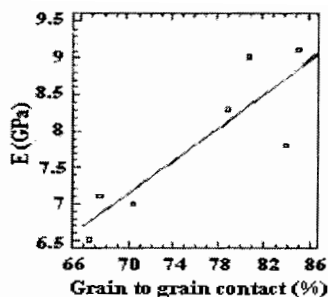
کاهش میانگین اندازه دانه ها، نسبت طول به عرض شکستگی ها کاهش یافته و منجر به افزایش مقاومت خواهد شد (براتلی، ۱۹۹۲).

۳-۳-۵ شکل دانه ها: شکل دانه ها نیز بر روی مقاومت سنگ تاثیر زیادی دارد و مقاومت و خواص الاستیک سنگ رابطه مستقیمی با درصد دانه های زاویه دار سنگ دارد (هورات و همکاران، ۱۹۸۶). دانه های زاویه دار باعث ایجاد درهم شدگی بیشتر و افزایش مقاومت خواهند شد ولی سنگهای تشکیل شده از دانه های گرد شده بسیار بی دوام می باشند زیرا بلورها یا دانه ها لبه مشخصی داشته و نیروها نیز در طول آزمایشات دوام و مقاومت معمولاً در طول لبه های دانه ها متمرکز می شوند و چون سطح تماس و پیوند بین دانه ها صاف می باشد، نیروی کمتری برای شکستن سنگ لازم می باشد و در نتیجه این سنگها شاخص های دوام و مقاومتی کمتری را نشان می دهند.

۳-۳-۶ درهم شدگی و نوع مرز : یکی از ویژگیهای مهم بافتی که در رفتار فیزیکی و بویژه مقاومت سنگ نقش دارد، درجه درهم شدگی دانه ها و نوع مرزهای دانه ها و آرایش هندسی (میکرو فابریک) اجزاء سنگ است (شکل ۳-۱۱). چون شکستگی ها بیشتر در طول مرزهای دانه ها رخ می دهند (شکستگی های بین دانه ای) و کمتر در میان دانه ها ایجاد می شوند (شکستگی های درون دانه ای). از این رو مرزهای نامنظم و درهم ایجاد شکستگی را بسیار مشکل می سازند و افزایش تعداد مرز ها باعث افزایش مقاومت سنگ می شود. مرزهای مضرس (sutured) باعث در هم شدگی بهتر و در نتیجه افزایش مقاومت و دوام سنگ خواهند شد (شکل ۳-۹). ویلارد و مک ویلیامز (۱۹۶۹) اظهار کردند که هنگامی که طول نسبی شکستگی های درون دانه ای (T) و شکستگی های بین دانه ای (I) را در طول شکستگی های مرمرهای Tennessee اندازه گیری کردند، نسبت T:I به طور معکوسی با مقاومت شکست تغییر می کند. همچنین اونودرا و کومارا (۱۹۸۰) نشان دادند که در گرانیات یک رابطه خطی بین مدول یانگ و مناطق سطح (طول) مرز دانه ها در هر واحد حجم وجود دارد (شکل ۳-۱۰).

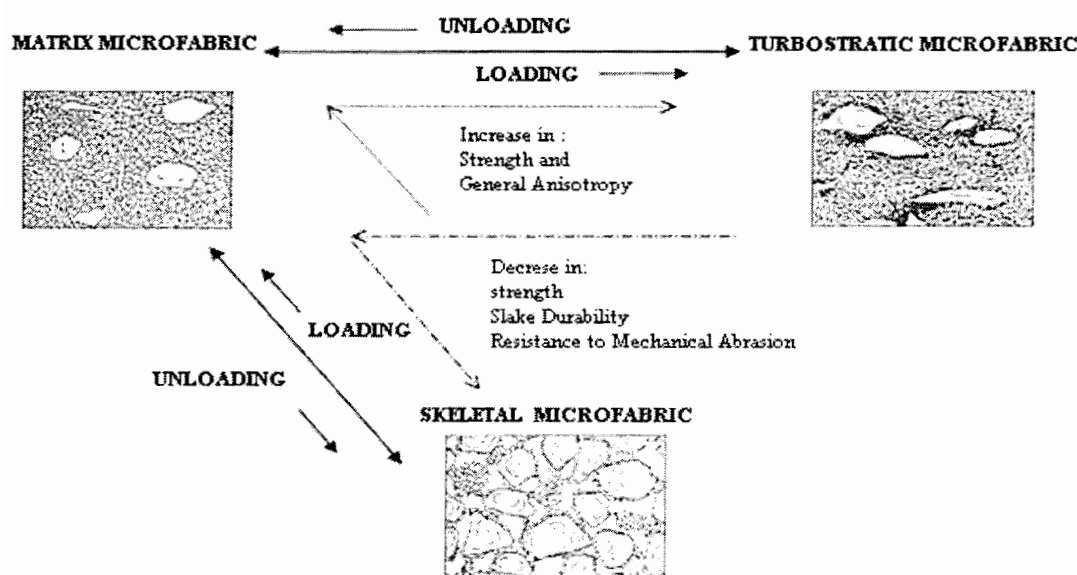


شکل (۳-۹)، انواع مرزهای بین دانه ها (اولوسای و همکاران، ۱۹۹۴)



شکل (۳-۱۰) الف - رابطه بین نوع مرزهای دانه ها و مقاومت فشاری تک محوری، ب- رابطه بین نوع مرزهای دانه ها و مدول یانگ (اولوسای وهمکاران، ۱۹۹۴).

۳-۳-۷ جهت یابی دانه: جهت یابی دانه در یک جهت خاص باعث می شود که شکستگی در طول آن جهت ایجاد شود و این نکته برای بیشتر سنگهایی که در آنها کلیواژ، شیسستوزیته، فولیاسیون، لامیناسیون و یا لایه بندی نازک مشاهده می شود، به کار برده می شود.



شکل (۳-۱۱)، رابطه بین مقاومت و دوام و نوع فابریک سنگ (هاپرت^۱، ۱۹۸۸)

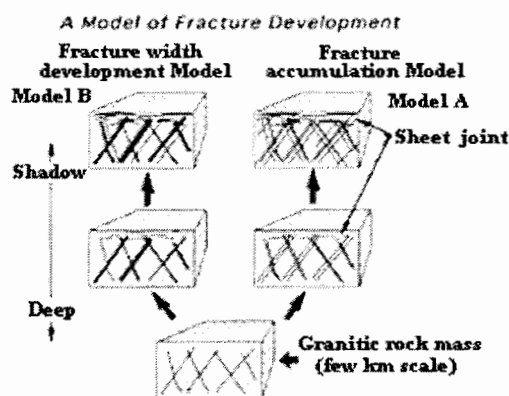
۳-۳-۸ شرایط حرارت و فشار: شرایط حرارت و فشار تشکیل سنگها متفاوت است و هر چه این شرایط با شرایط سطح زمین تفاوت بیشتری داشته باشد، سنگ سریعتر هوازده می شود و این شرایط را می توان از روی سری باون توضیح داد. بطوریکه کانی هایی که شرایط تشکیلشان با شرایط سطحی تفاوت بیشتری دارند و در بالای سری باون قرار می گیرند، زودتر با محیط جدید واکنش انجام داده و

^۱ - Huppert

سریع تر هوازده می شوند . مقاومت نسبی این کانی ها در برابر تخریب شیمیایی ممکن است بازتاب شرایط سطحی و یا شرایط تشکیل این کانی ها باشد .

۳-۳-۹ ناپیوستگی های سنگ : توده های سنگی بصورت پیوسته نیستند و دارای ناپیوستگی هایی می باشند که بعنوان صفحات ضعف از آنها یاد می شود. ناپیوستگی ها بصورت خطی یا صفحه ای میکروسکوپی و یا ماکروسکوپی می باشند و شامل میکروشکستگی ها ،مرزهای دانه ها ،کلیواژ کانی ها ،صفحات ماکل ، انکلوزیون ها و.... می باشند .همچنان که ذکر شد این سطوح ضعف مقاومت نهایی سنگها را تحت تاثیر قرار می دهند و ممکن است که به عنوان سطوح ضعیفی عمل کنند و جهتی را که در طول آن شکستگی اتفاق می افتد را کنترل می کنند . تناوب و تکرار ناپیوستگی ها با مقاومت شکست رابطه معکوس دارد(ویلارد و مک ویلیامز،۱۹۶۹).

ناپیوستگی نشان دهنده یک صفحه ضعیف در داخل سنگ است که سنگ در طول آن از نظر ساختمانی می شکند .اندازه ناپیوستگی ها از شکستگی های کوچک در نمونه دستی تا گسلهای بزرگ تغییر می کند .یکی از معمولی ترین ناپیوستگی های سنگها میکروشکستگی ها می باشند .میکرو شکستگی ها در داخل بیشتر سنگها وجود دارند و ممکن است در اثر وارد شدن نیروهای تکتونیکی یا هوازدگی گسترش بیشتری یابند(فرایندهای هوازدگی کانی ها مانند سربسیستیزایسیون که باعث تشکیل میکروشکستگی در داخل کانی هایی مانند فلدسپات می شوند). درزه ها در داخل سنگ معمولاً بواسطه گسیختگی در هنگام کشش ،برش و یا ترکیبی از اینها ایجاد می شوند .همچنین درزه ها در داخل سنگهای آذرین هنگامی که به سرعت سرد می شوند ایجاد می شوند . بالک(۱۹۸۸) اظهار کرد که بیشتر درزه ها در باتولیت ها در نتیجه فعالیت پیوسته نیروهای مسئول جایگزینی توده و در طول بالا آمدگی ایجاد شده اند .مدلهای تشکیل و گسترش شکستگیها در سنگها در شکل(۳-۱۲) نشان داده شده است.



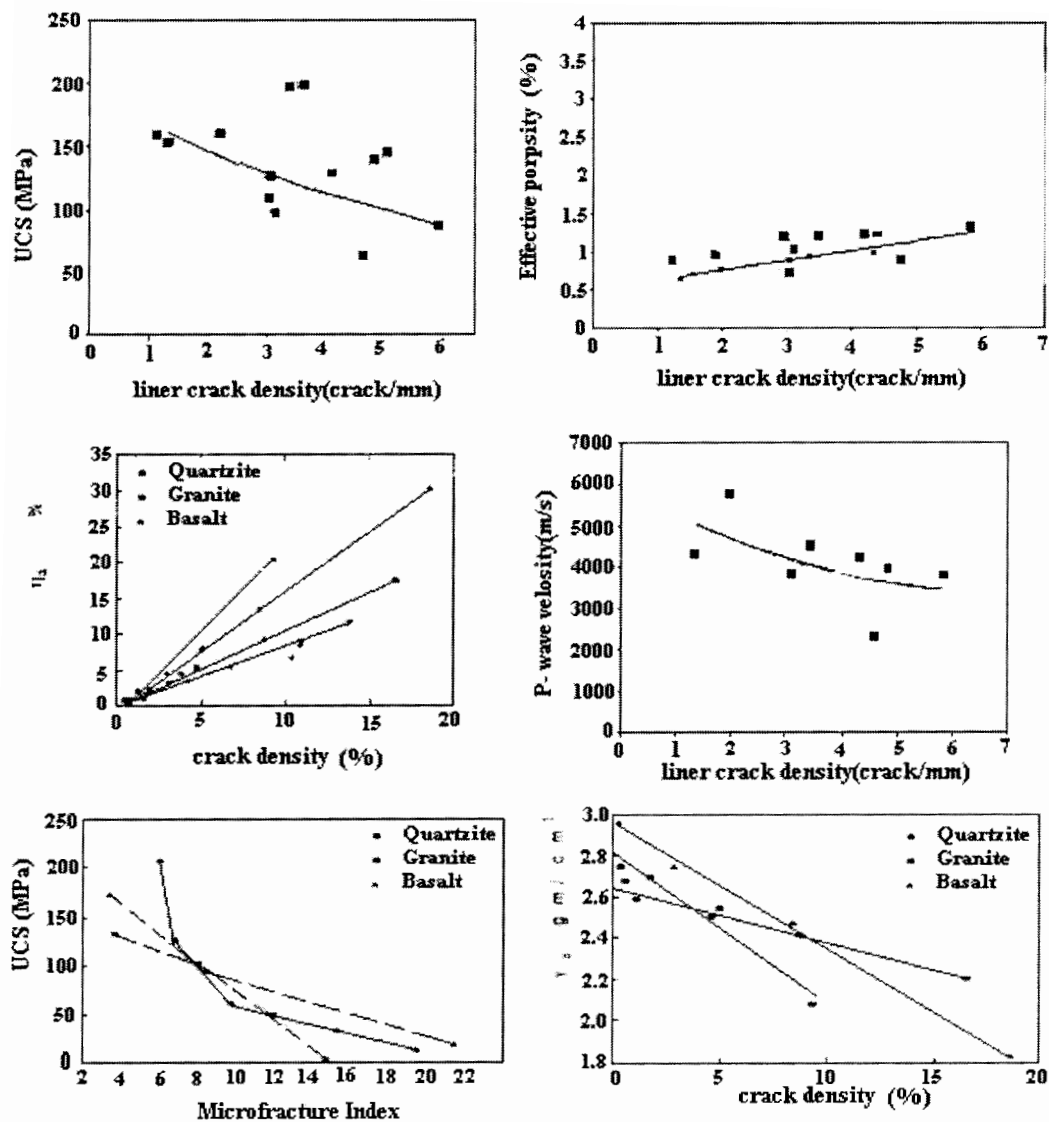
شکل (۳-۱۲)، مدل‌های تشکیل و گسترش شکستگی ها در سنگها (یوشیدا و همکاران، ۲۰۰۵)

در مدل A دانسیته شکستگیها بدلیل تشکیل شکستگی های جدید در اثر فعالیتهای تکتونیکی بعد از نفوذ توده ها، افزایش می یابد. در این مدل، میزان افزایش تعداد شکستگی ها از میزان افزایش در عرض شکستگیهای قبلی و افزایش مواد پر کننده درزه ها، بیشتر می باشد. در مدل B، شکستگی های جدید تقریباً تشکیل نمی شوند (حتی تحت تاثیر نیروهای تکتونیکی) و عرض شکستگی های ساده بواسطه جابجایی و عریض شدگی شکستگی های قبلی و افزایش مواد پر کننده این شکستگیها، افزایش می یابد (یوشیدا^۱ و همکاران، ۲۰۰۵).

درزه ها ممکن است تحت تاثیر کشش، شسته شدن و حل شدن در آبهای زیرزمینی و یا هوازدگی باز شوند. اگر هوازدگی به طور عمقی سنگ را تحت تاثیر قرار داده باشد، یک بخش ضعیف وسیع در سنگ ایجاد می شود. شکستگی ها و درزه ها رفتار مواد سنگی را کنترل می کنند و قابلیت شکستگی و دگرشکلی، میزان پایداری سنگ و جریان سیال در میان سنگ به درجه پیوستگی ترکها و خصوصیات شبکه شکستگی های سنگ بستگی دارد (قوش^۲ و همکاران، ۱۹۹۳). شبکه شکستگی، دانسیته شکستگی و دانسیته بلوک از پارامترهای مهم نشان دهنده الگوی شکستگی های سنگ می باشند و روابط زیادی بین این سه پارامتر وجود دارد. با افزایش دانسیته ترک (تعداد ترکها در واحد سطح)، تعداد بلوکهای سنگ در همان واحد سطح (دانسیته بلوک) افزایش می یابد و این خود به درجه پیوستگی بین شکستگی ها بستگی دارد (شکل ۳-۱۳). این شکستگی ها باعث تسهیل ورود آب و سیالات به درون سنگ و توسعه هوازدگی می شوند.

^۱ -Yoshida

^۲ -Ghosh



شکل (۳-۱۳)، رابطه بین تخلخل، مقاومت تک محوری، سرعت موج با دانسیته ترکها (سوسا وهمکاران، ۲۰۰۴)

۳-۴ هواز دگی سنگها و توده های سنگی :

فرایند هواز دگی سازگاری کانی های تشکیل دهنده سنگ را با شرایط موجود در سطح زمین نشان می دهد. هواز دگی سنگها در اثر فرایندهای فیزیکی، تجزیه شیمیایی و فعالیت بیولوژیکی انجام می شود. هواز دگی باعث ضعیف شدن فابریک سنگ و افزایش ضعفهای ساختمانی سنگها می شود. یک سنگ ممکن است در نتیجه توسعه شکستگی ها در بین و یا داخل کانیها، بسیار شکننده شود (بل^۱ و

1- Bell

لی روکس^۱، ۱۹۹۸). مواد هوازده ممکن است ازخلل وفرج و یا بعضی کانی ها خارج شوند و ممکن است که مواد جدید در روزنه ها،مرزهای دانه ها ویا درطول شکستگی ها رسوب کنند .هوازدگی بیشتر بوسیله حضور ناپیوستگی ها کنترل می شود. نوع ودرجه هوازدگی از یک رژیم آب وهوایی به رژیم دیگر تغییر می کند .در رژیم مرطوب فرایندهای شیمیایی وبیولوژیکی بیشتر از فرایندهای مکانیکی نقش دارند .درجه ومیزان هوازدگی در رژیم مرطوب تابع حرارت و میزان رطوبت موجود است .افزایش حرارت باعث افزایش هوازدگی می شود و افزایش حدود 10°C در دما باعث می شود که مقدار واکنشهای شیمیایی دو برابر شود (گلدریچ^۲، ۱۹۸۸)،افزایش رطوبت نیز باعث افزایش هوازدگی می شود ودر هوای خشک سنگها خیلی آرام تخریب می شوند

هوازدگی باعث کاهش دانسیته و مقاومت وافزایش خاصیت دگرشکل پذیری سنگ می شود. نفوذپذیری سنگ اغلب در طول مراحل اولیه هوازدگی بواسطه توسعه شکستگی ها افزایش می یابد اما اگر کانی های رسی در نتیجه تجزیه کانی ها تشکیل شوند،باعث کاهش نفوذ پذیری می شوند .میزان هوازدگی به انرژی عامل هوازدگی ودوام سنگ بستگی دارد .دوام سنگ خود به ترکیب کانی شناسی، تخلخل ومقاومت سنگ وتلاقی ناپیوستگی ها در داخل توده سنگ بستگی دارد.

سنگهای دانه درشت عموماً سریعتر ازسنگهای دانه ریز هوازده می شوند .درجه درهم شدگی بین دانه ها نیز یک فاکتور بافتی مهم است وسنگی که دانه های آن شدیداً با هم پیوند داشته باشند در مقابل هوازدگی مقاومت بیشتری خواهد داشت .به نظر فوکس^۳ و همکاران (۱۹۸۸)درجه هوازدگی با زمان در جایی که یک لایه خاک در روی سنگ ایجاد شده،کاهش می یابد .

۳-۴-۱ هوازدگی مکانیکی :

سرد و گرم شدن : این فرایند در مناطقی که تغییرات درجه حرارت روز و شب زیاد است از اهمیت زیادی برخوردار است. تغییرات وسیع در حرارت باعث انبساط و انقباض سنگ می شود .چون سنگها رسانای ضعیفی برای گرما هستند ،این اثرات اکثراً درلایه های خارجی آنها ایجاد می شود و انبساط وانقباض پیوسته استرس هایی را ایجاد می کند که در نهایت باعث تخریب سنگ می شوند. در اثر این عمل صفحاتی از سنگ مادر جدا می شوند که این فرایند اصطلاحاً exfoliation نامیده می شود.

^۱ - Le Roux

^۲ - Goldrich

^۳ - Fookes

اثرات این فرایند بیشتر در لبه ها و گوشه های سنگ دیده می شود. در نواحی گرم و خشک این فرایند می تواند در مقیاس وسیعی انجام شود و باعث جدایش صفحات بزرگ از توده سنگ شود. کانی ها انیزوتروپ بوده و ضرایب انبساط مختلفی دارند و انبساط های متفاوت و در جهات مختلف در داخل یک سنگ پلی کریستالین باعث ایجاد تنشهایی در مرزهای دانه ها می شود و این امر می تواند منجر به جدایش دانه ای شود.

تر و خشک شدن: خشک و تر شدگی متناوب سنگ همراه با نیروی انبساط آب می تواند یک عامل مخرب، بویژه در حفرات سنگی با مقاومت کششی پایین باشد. برای مثال هنگامی که آب از 0°C به 60°C می رسد. حدود $1/5$ درصد منبسط می شود و فشاری حدود 52 Mpa را در داخل حفره ها ایجاد می کند و اختلاف حرارت روزانه حدود 40°C می تواند فشاری حدود 26 Mpa را ایجاد کند.

تبلور و هوازدگی نمکها: هوازدگی نمک یکی از مکانیسمهای بسیار مهم است که مهمترین عامل تخریب سنگها در محیطهای ساحلی می باشد. این نوع هوازدگی مشخصه محیطهای ساحلی و شرایط آب وهوایی گرم و معتدل می باشد و خواص مقاومتی سنگها را حدود $57-70$ درصد کاهش می دهد (دوپرت^۱ و همکاران، ۲۰۰۵). هوازدگی نمک در نتیجه ایجاد تنش در حفرات و شکستگی ها و درزه های توده سنگ انجام می شود و باعث افت درجه پیوستگی بین دانه ها و زمینه سنگ، تشکیل میکرو شکستگی ها (تشکیل و توسعه ترکهای جدید یا کشش و عریض شدگی میکرو شکستگی ها و حفرات قبلی) می شود (شرر^۲ و همکاران، ۲۰۰۱). سولفاتهای کلسیم و منیزیم معمولی ترین نمکهای موجود در سنگها می باشند. بیشتر نمکهای محلول موجود در سنگ از قبیل کلریت ها و سولفات ها با تغییراتی در آب و هوا و گرا دیان رطوبت و به واسطه خاصیت موئینگی به طرف سطح سنگ حرکت می کنند ولی نمکهای محلول کمی در سطح و یا نزدیک سطح سنگ متبلور می شوند. نمکها به سه طریق فشار تبلور، فشار هیدرولیک و انبساط حرارتی متغیر سبب از هم پاشیدن سنگ می گردد. در شرایط خاصی بعضی نمکها ممکن است متبلور شوند و یا دچار تبلور مجدد شده و تبدیل به هیدراتهای مختلف با حجم بیشتر، می شوند و باعث ایجاد یک فشار اضافی بنام فشار تورم می شوند. فشار تبلور مکانیسم بسیار مهمی است که در طول هوازدگی نمک باعث تخریب سنگ می شود و به

^۱ - Duperret

^۲ - Sherer

درجه اشباع سنگ از نمک، نوع نمک، اندازه حفرات و شکافهای سنگ و اختلاف انرژی بین بلور و دیواره حفرات بستگی دارد. میزان فشار تبلور در حفرات بزرگتر، کمتر خواهد بود و دوام سنگهایی با حفرات بزرگ بیشتر از سنگهایی با حفرات کوچکتر خواهد بود، همچنین درجه اشباع از نمک بالا باعث ایجاد فشار تبلور بیشتری خواهد شد (بناونته^۱ و همکاران، ۲۰۰۴). در صورتی که فشار هیدرولیکی بستگی به حرارت محیط و درجه رطوبت نسبی دارد. فشار تبلور محاسبه شده برای هر سنگ، شاخصی از فشارهای بالقوه ای است که ممکن است در طول تبلور در کانالهای باریک سنگ ایجاد شوند. فشار ناشی از تبلور نمکها در حفرات کوچک متغیر است. برای مثال ژپس ($\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) فشاری حدود 100 Mpa ، انیدریت (CaSO_4) فشار 120 Mpa ، کسیریت ($\text{MgSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) فشار 100 Mpa و هالیت (NaCl) حدود 200 Mpa فشار وارد می کنند. بعضی نمکها در فرایند شکستن بسیار فعال تر از بقیه هستند. گویودی^۲ (۱۹۷۰) بر اساس تجربیاتش نشان داد که Na_2SO_4 و MgSO_4 فعالتر از بقیه نمکها هستند و NaCl فقط باعث تغییرات کمی می شود و نشاد داد که زمانی که تعدادی از نمکها در محلول با هم باشند، مانند ترکیب $\text{CaSO}_4 \cdot \text{NaCl}$ ، اثر موثر آنها در شکستن و تخریب افزایش می یابد. هواز دگی نمک منجر به حفره حفره شدن سنگ میشود.

همچنین تخریب در سنگ ممکن است بواسطه تفاوت قابل ملاحظه در میزان انبساط حرارتی نمکها در حفرات باشد. تخریب زمانی انجام می شود که انبساط حرارتی نمکها از کانی های تشکیل دهنده سنگ بیشتر باشد. برای مثال هالیت وقتی از دمای 0°C به 60°C می رسد، حدود ۵ درصد منبسط می شود، که این امر می تواند باعث تخریب سنگ شود.

سیکلهای تبلور و انحلال و آبیگری و آبدایی نمک ممکن است که چندین مرتبه در طول سال انجام شود، که این امر بستگی به شرایط حرارت و رطوبت نسبی و میزان تبخیر نمکها دارد. رطوبت هوا یک عامل اساسی در تبلور نمک است و نمک هنگامی متبلور می شود که رطوبت نسبی محیط کمتر از رطوبت نسبی محلول اشباع از نمک باشد.

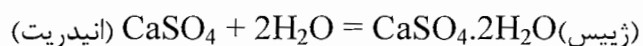
۳-۴-۲ هواز دگی شیمیایی و بیولوژیکی: هواز دگی شیمیایی منجر به آلتراسیون کانی ها و انحلال سنگها می شود. آلتراسیون اغلب تحت تاثیر اکسیداسیون، آبیگری و هیدرولیز می باشد. در صورتی که

^۱ - Benavente

^۲ - Goudie

انحلال غالباً تحت تاثیر آبهای اسیدی یا آلكالی انجام می شود. هوازدگی شیمیایی به آرامی با ضعیف کردن فابریک سنگ وضعفهای ساختمانی به متلاشی شدن سنگ کمک می کند .

در هوای خشک سنگها خیلی آرام تجزیه می شوند، اما حضور رطوبت سرعت هوازدگی را زیاد می کند. این امر به خاطر حضور آب بعنوان یک عامل موثر در هوازدگی است زیرا آب حاوی مواد محلولی است که با کانی های سنگ واکنش می دهند .مهمترین این مواد محلول شامل اکسیژن آزاد،دی اکسید کربن،اسیدهای آلی واسیدهای نیتروژن می باشد.اکسیژن آزاد یک عامل موثر در تخریب همه سنگهایی است که حاوی مواد قابل اکسید شدن می باشند و آهن وسولفور از مهمترین این مواد هستند.اکسیداسیون در حضور آب سریعتر انجام می شود و البته ممکن است که خود آب هم وارد واکنشها شود ،مانند تشکیل هیدراتها ،ولی آب بیشتر به عنوان کاتالیزور عمل می کند. میزان انحلال کانی های سنگ به قابلیت انحلال ،ثابت نسبی انحلال کانی های سنگ،درجه اشباع بودن حلال،میزان مناطق تحت تاثیر حلال و سرعت وجگونگی حرکت حلال بستگی دارد و شکل یک کانی تاثیر زیادی در میزان انحلال آن ندارد . هوازدگی شیمیایی به این طریق می تواند باعث بزرگ شدن حفرات شود. اسید کربنیک زمانی بوجود می آید که دی اکسید کربن در آب حل شود وPH آن حدود ۵/۷ می باشد .منبع اصلی دی اکسید کربن اتمسفر نیست ودرصد آن در هوای موجود در حفرات خاک وسنگ بیشتر از اتمسفر می باشد، زیرا در هنگام تخریب مواد آلی یک تمرکز غیر طبیعی از دی اکسید کربن بوجود می آید. اسید های نیتروژن ($\text{HNO}_2\text{-HNO}_3$) نیز بوسیله تجزیه مواد آلی یا عمل باکتری ها ایجاد می شوند و نقش کوچکی را در هوازدگی دارند .واکنش های دیگر که در هوازدگی اتفاق می افتند شامل انحلال کانی های قابل حل وتشکیل هیدراتها است . آبدگیری وآبزدایی فقط در میان بعضی مواد انجام می شود ویک مثال معمولی از آن تبدیل ژپس وانیدریت به همدیگر است :



چون کانی های ثانویه معمولاً حجیم تر از کانی های اولیه میباشند ، این واکنش ها باعث افزایش حجم می شوند و این افزایش حجم منجر به ضعیف شدن پیوندهای بین دانه ای و ایجاد ناپیوستگی های ساختاری میکروسکوپی در داخل سنگها یا کانی ها می شوند.به طور کلی اگر مجموع حجمهای مولکولی کانی های تشکیل دهنده سنگ تغییر کند،تجزیه آغاز می شود(جدول ۳-۱۴).

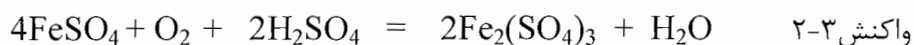
Mineral phase Chemical formula	MV(cm ³)	Reaction	Mineral phase Chemical formula	MV(cm ³)	+ΔMV(%)
Anhydrite CaSO ₄	45.94	Hydration	Bassanite 2CaSO ₄ .H ₂ O	61.47	12.0
Anhydrite CaSO ₄	45.94	Hydration	Gypsum CaSO ₄ .2H ₂ O	74.31	61.8
Aragonite CaCO ₃	34.14	Phase transformation	Calcite CaCO ₃	36.93	8.2
Bassanite 2CaSO ₄ .H ₂ O	61.47	Hydration	Gypsum CaSO ₄ .2H ₂ O	74.31	43.7
Calcite CaCO ₃	36.93	Phase transformation	Vaterite CaCO ₃	39.41	6.7
Hannebachite 2CaSO ₃ .H ₂ O	51.27	Oxidation	Bassanite 2CaSO ₄ .H ₂ O	61.47	0.4
Hannebachite 2CaSO ₃ .H ₂ O	51.27	Oxidation+ Hydration	Gypsum CaSO ₄ .2H ₂ O	74.41	44.9
Iron Fe(2Fe)	7.09	Oxidation	Hematite Fe ₂ O ₃	30.28	213.5
Lime CaO	16.76	Hydration (slaking)	Portlandite Ca(OH) ₂	33.06	97.3
Montmorillonite (2 H ₂ O)	162.8	Hydration	Montmorillonite (3 H ₂ O)	170.0	<5
Periclase MgO	11.25	Hydration	Brucite Mg(OH) ₂	40.90	263.6
Portlandite Ca(OH) ₂	33.06	Carbonation	Calcite CaCO ₃	36.93	11.7
α- Quartz SiO ₂	22.93	Phase transformation	α- Quartz SiO ₂	23.75	3.56
Thenardite Na ₂ SO ₄	53.33	Hydration	Mirabilite Na ₂ SO ₄ . 10H ₂ O	290.8	312.2
Water H ₂ O	19.7	Freezing	Ice H ₂ O	18.0	9.44

جدول (۳-۱۴)، تغییرات حجم بعضی از کانی ها در واکنش با آب (کوهنل^۱ و همکاران، ۲۰۰۴)

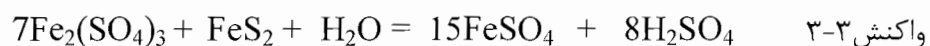
اکسیدهای آهن و هیدراتها محصولات اصلی هوازدگی هستند، اکسیدها معمولاً قرمزند و هیدراتها زرد تا قهوه ای تیره می باشند. سولفور ها نیز بوسیله هوازدگی اکسیده می شوند، برای مثال پیریت به صورت زیر می شکند:



اسید سولفوریک سولفات فروس (ferrous sulphate) پیریت



سولفات فریک (ferric sulphate)



^۱ - Kuhnel

واکنش ۱-۳ آغاز اکسیداسیون پیریت است و باعث تشکیل اسید سولفوریک می شود. زمانی که PH به زیر ۴ برسد شرایط برای اکسیداسیون بیوتیکی پیریت بوسیله Thiobacillus ferrooxidans بسیار مناسب می شود. واکنش ۲-۳ باعث تبدیل سولفات فروس به سولفات فریک می شود و واکنش ۳-۳ اغلب باعث تولید اسید می شود و می تواند با هوا انجام شود.

اسید سولفوریک ممکن است که برای تشکیل ژپس با کلسیت واکنش دهد و باعث انبساط حجمی شود:

$$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

جاروسیت^۱ نیز ممکن است بوسیله واکنش سولفات فروس با ایلیت تشکیل شود که می تواند باعث انبساط در حجم شود.

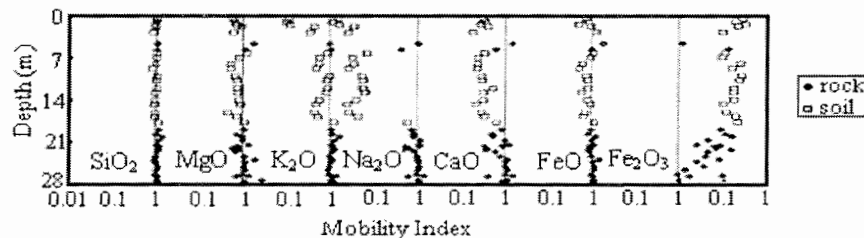
$$4\text{KAl}_2\text{Si}_3(\text{OH})_2 + 12\text{FeSO}_4 + 48\text{H}_2\text{O} + 4\text{O}_2 = 4(\text{KFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2) + 8\text{Al}(\text{OH})_3 + 12\text{Si}(\text{OH})_4 + 4\text{H}_2\text{SO}_4$$

هوازگی کانی های سیلیکاته یک فرایند هیدرولیز است. بسیاری از سیلیکاتها که تحت تاثیر هوازگی می باشند، مقداری اسید سیلیسیک آزاد می کنند که مقداری از آن ممکن است سیلیس آمورف یا کلئیدی را تشکیل دهد.

برای فهمیدن میزان کاهش یا افزایش عناصر در طول هوازگی، همه عناصر سنگ هوازده نسبت به سنگ اولیه نرمالایز می شوند ($X_{\text{sample}} / X_{\text{parent}}$) که این نسبت به صورت رابطه زیر تعریف می

$$\text{Mobile..Index}(I_{\text{Mob}}) = (Mob_{\text{Fresh}} - Mob_{\text{Weathered}}) \quad \text{شود:}$$

اگر این نسبت کمتر از یک باشد، نشان دهنده تهی شدگی عنصر (متحرک بودن در طول هوازگی) در نمونه های هوازده نسبت به سنگ اصلی می باشد و اگر این نسبت بیشتر از ۱ باشد، نشان دهنده غنی شدگی آن عنصر می باشد (شکل ۳-۱۵).

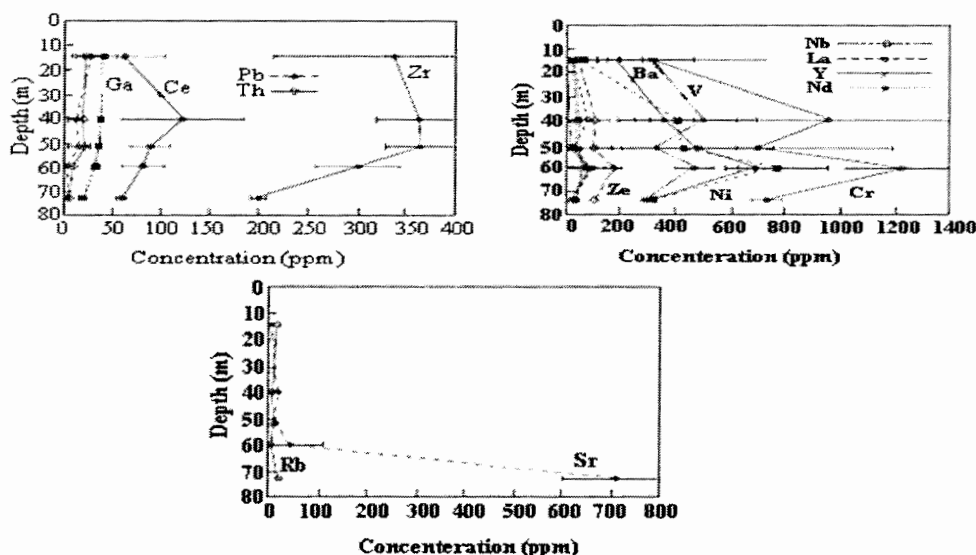


شکل (۳-۱۵)، تغییر MIs عناصر اصلی سنگهای گرانیتی با افزایش عمق (گوان^۲ و همکاران، ۲۰۰۱)

^۱ - Jarosite

^۲ - Guan

به طور کلی ، هوازدگی باعث کاهش Na, K, Mg, Ca, Fe^{+2} و یا Si و افزایش آب و $Al, Ti, Mn, ^{+3}$ ،
 Fe و LOI در داخل ساختار کانی ها و سنگ میشود (شکل ۳-۱۶). این تهی شدگی ها مرتبط با تجزیه
 کانی های سنگ، نوع و فراوانی کانی های رسی می باشد.



شکل (۳-۱۶)، تغییرات در تمرکز عناصر کمیاب بازالیت با افزایش عمق (مون^۱ و همکاران، ۲۰۰۴)

جانشینی Mg, Ca, Fe^{+2} با H^+ یا Al به دو دلیل باعث ایجاد ضعف در ساختار کانی ها شده و از این
 رو باعث افت مقاومت خواهند شد: ۱- کاتیونهای جانشین شده بار یونی متفاوتی نسبت به کاتیونهای
 اولیه داشته و این امر باعث ایجاد ناپایداری یونی خواهد شد. ۲- شعاع یونی کاتیونهای جانشین شده
 کوچکتر از کاتیونهای اولیه می باشد و کاهش شعاع یونی باعث درهم گسیختگی زاویه های بین یونی
 در داخل ساختار بلور شده و این امر منجر به کاهش مقاومت پیوند ها و در نهایت ضعف در ساختار
 بلوری خواهد شد، هر چند ممکن است که کانی شناسی کلی سنگ تغییر نکرده باشد (مون
 و همکاران، ۲۰۰۴). سیلیکاتهای مافیک معمولاً بسیار سریعتر از سیلیکاتهای فلسیک تخریب می شوند
 و در این فرایند، آنها منیزیم و آهن و مقادیر کمتری از کلسیم و آلکالی ها را از دست می دهند. اولیوین
 ناپایدار ترین کانی است و معمولاً به شکل سرپانتین تجزیه می شود و با هوازدگی بعدی تبدیل به
 تالک و کربنات می شود. کلریت معمولی ترین محصول آلتراسیون پیروکسن ها و آمفیبول ها است.
 فلدسپاتها در هنگام هوازدگی شیمیایی به کانی های رسی تجزیه می شوند و در نتیجه کانی های

^۱ - Moon

رسی فراوانترین محصول هوازدگی است که بر جا می ماند. این فرایند در نتیجه هیدرولیز فلدسپارها بوسیله آبهای کمی کربناتی انجام می شود و باعث تجزیه فلدسپارها و تولید رس ها به شکل کلوئیدی می شود. توالی هوازدگی بعضی کانی ها به کانی های رسی بصورت زیر می باشد:

۱- کائولینیت → هیدرومیکا → سریسیت → فلدسپار

۲- کائولینیت → هالوسیت → مونتموریلونیت → کلریت → پیروکسن و هورنبلند

۳- کائولینیت → مونتموریلونیت → ورمیکولیت → بیوتیت

۴- کوارتز ثانویه → کالسدونی → سیلیس → کوارتز

عناصر آلکالن معمولاً در حالت محلول جابجا می شوند، مانند کربناتها از ارتوکلاز (K_2CO_3) و آلبیت (Na_2CO_3) و بی کربناتها از آنورتیت ($Ca(HCO_3)_2$). بعضی سیلیکاتها نیز به صورت اسیدسیلیسیک هیدرولیز می شوند. واکنش زیر به طور تقریبی آن را بیان می کند:



رسهای کلوئیدی در نهایت به صورت تجمعاتی از کانی های رسی متبلور می شوند. رسها سیلیکاتهای آلومینیوم هیدراته می باشند و هنگامی که در معرض هوازدگی شیمیایی در آب و هوای مرطوب قرار گیرند، به صورت لاتریت و بوکسیت در می آیند. این کانی ها در اثر آگیری متورم شده و باعث انبساط حجمی و تخریب سنگها می شوند. میزان تورم کانی های رسی متفاوت می باشد:

کائولینیت > هالوسیت > ایلیت > مونتموریلونیت

نوع یونهای موجود (به عنوان اجزاء نامحلول) در سیالات ترکنده نیز بر میزان تورم کانی های رسی تاثیر دارد، برای مثال میزان تورم مونتموریلونیت هنگامی که یونهای دوظرفیتی و یک ظرفیتی به ترتیب $H > Mg > Ca > K > Li$ ، جانشین Na شوند، کاهش می یابد (میتچل^۱، ۱۹۹۳).

۳- ۵ طبقه بندی سنگهای هوازده :

موی^۲ (۱۹۵۵) یکی از اولین افرادی بود که یک سیستم طبقه بندی برای درجه هوازدگی در گرانیته ها ارائه کرد. طبقه بندی های دیگر بوسیله افرادی مانند کریچ^۳ و تریچر^۴ (۱۹۵۵)، روکستون^۵ و بری

^۱ - Mitchell

^۲ - Moye

^۳ - Kiersch

^۴ - Treacher

^۵ - Ruxton

(۱۹۵۷)، فوکس و همکاران (۱۹۷۲)، کنیل و جونز^۱ (۱۹۶۵)، لیتل (۱۹۶۹)، فوکس و هورویل^۲ (۱۹۷۰) ارائه شد. این طبقه بندی ها بیشتر براساس درجه تجزیه سنگ و برای سنگهای گرانیتی بکار رفته اند. دیرمن^۳ (۱۹۷۴) توصیفاتی را برای شناسایی درجه هوازدگی مکانیکی سنگهای کربناته استفاده کرد. افراد دیگری روی سنگهای مختلف کار کرده اند و طبقه بندی هایی را برای درجه هوازدگی ارائه کرده اند. برای مثال فوکس و لاوگرو (۱۹۷۲) تغییرات جزئی رادر طبقه بندی های فوق دادند واز آنها برای شناسایی درجه هوازدگی در توفهای ولکانیکی و رسوبات مرتبط با آن در فیجی استفاده کردند. طبقه بندی های دیگری بوسیله انجمن زمین شناسی (آنون، ۱۹۷۷) و انجمن بین المللی زمین شناسی مهندسی و مکانیک سنگ (آنون، ۱۹۸۱) طبقه بندی هنچر و مارتین (۱۹۸۶) ارائه شدند.

۳-۵-۱ طبقه بندی هوازدگی بر اساس شاخص های شیمیایی و پتروگرافی :

شاخص های شیمیایی و پترولوژیکی یک ابزار نسبتاً دقیق برای تعیین درجه آلتراسیون شیمیایی سنگ می باشد. این شاخص ها معمولاً بر اساس درصد وزنی اکسیدهای سنگ ارائه شده اند.

ریچ (۱۹۴۳) شاید اولین کسی بود که یک شاخص هوازدگی شیمیایی را تعریف کرد، این شاخص ها بنام شاخص پتانسیل هوازدگی (WPI) و شاخص تولید (PI) می باشند و بصورت زیر می باشند:

$$WPI = \frac{[K_2O + Na_2O + CaO + MgO - H_2O] * 100}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO + TiO_2 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O} \quad \text{رابطه (۱-۳)}$$

$$PI = \frac{SiO_2 * 100}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO + TiO_2} \quad \text{رابطه (۲-۳)}$$

کاهش WPI به نظر می آید که بعلت کاهش کاتیونهای متحرک و افزایش آب هیدروکسیل باشد و کاهش PI بعلت کاهش میزان سیلیس با آغاز هوازدگی می باشد. این شاخص به محتوای عناصر آلكالی در سنگ مادر بسیار حساس است (آناند و همکاران، ۲۰۰۱).

لومب (۱۹۶۲) یک شاخص کانی شناسی را بر اساس درجه تجزیه (X_d) تعریف کرد :

$$X_d = (N_q - N_{q0}) / (1 - N_{q0}) \quad \text{رابطه (۳-۳)}$$

که در آن N_{q0} و N_q بترتیب نسبت وزنی کوارتز و فلدسپات در سنگ هوازده و تازه می باشد.

^۱ - Jones

^۲ - Horwill

^۳ - Dearman

مندز^۱ و همکاران (۱۹۶۶)، شاخص کیفی میکروپتروگرافیک (ki) را ابداع کردند که کانی های سالم را از کانی های هوازده در سنگ جدا می کند.

$$ki = \frac{\sum_{i=1}^n P_i X_i}{\sum_{j=1}^m P_j X_j} = \frac{Sound..Minerals\%}{(Unsound..Minerals + Voids + Fissures)\%} \quad \text{رابطه (۳-۴)}$$

که در اینجا n و X_i درصدهای کانی های سالم یا کانی هایی هستند که تاثیر مناسبی در رفتار مکانیکی سنگها دارند و Y_j درصد کانی های آتره شده و ضرایب P_j و P_i میزان تاثیر کانی ها را در خصوصیات مکانیکی سنگها نشان می دهند..

روکستون (۱۹۶۸)، بر فرض اینکه یون آلومینیوم در طول هوازدگی ثابت می ماند، شاخص دیگری را

$$Silica - Alu min a..Ratio = \frac{SiO_2}{Al_2O_3} \quad \text{رابطه (۳-۵)} \quad \text{بصورت زیر تعریف کرد:}$$

او اظهار کرد که این یک شاخص مناسب برای هوازدگی شیمیایی در محیط های زهکشی نشده و محیط های اسیدی آب و هوای مرطوب می باشد و فقط در مورد سنگهای اسیدی بکار می رود. برای سنگهای بازیک و اولترابازیک که در آنها اسمکتیت و ورمیکولیت بعنوان محصولات هوازدگی تولید می شوند، این شاخص مناسب نمی باشد (ایرفان، ۱۹۹۶).

پارکر (۱۹۷۰)، شاخصی بنام شاخص پارکر (W_p) ارائه نمود. در شاخص او نسبتهای فلزات آلكالن اصلی و مقاومت پیوندی آنها با اکسیژن به عنوان یک فاکتور مهم می باشد. این شاخص برای انواع سنگ اسیدی، حد واسط و بازیک و همچنین در مواردی که هیدرولیز عامل اصلی هوازدگی سیلیکاتها می باشد و نیز برای نشان دادن توانایی هوازدگی بیشتر قابل کاربرد می باشد.

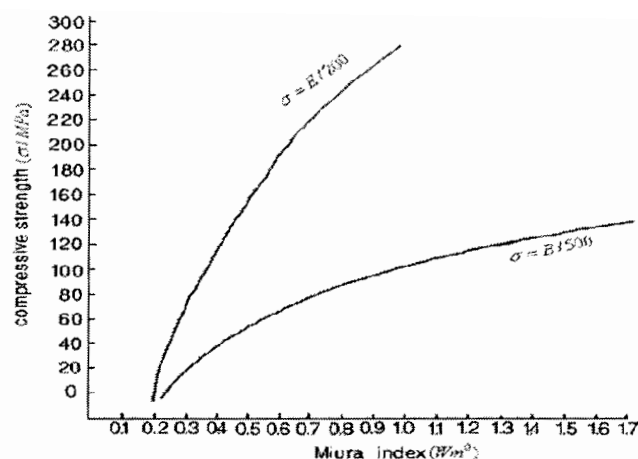
$$W_p = \left[\frac{2Na_2O}{0.35} + \frac{MgO}{0.9} + \frac{2K_2O}{0.25} + \frac{CaO}{0.7} \right] \quad \text{رابطه (۳-۶)}$$

میورا^۲ (۱۹۷۳)، اختلاف بین تحرک آهن را در حالت فریک و فروس در نظر گرفت و شاخص میورا (MI) را تعریف کرد (شکل ۳-۱۷):

$$MI = \frac{MnO + FeO + CaO + MgO + Na_2O + K_2O}{Fe_2O_3 + Al_2O_3 + 3H_2O} \quad \text{رابطه (۳-۷)}$$

^۱ - Mendes

^۲ -Miura



شکل (۳-۱۷)، رابطه شاخص میورا و مقاومت تک محوری (هودر، ۱۹۸۴)

اونودرا^۱ و همکاران (۱۹۷۴) تعداد و عرض میکرو شکافها (شکافهایی با عرض کوچکتر از ۱mm) را به عنوان یک شاخص هوازدگی فیزیکی در گرانیب استفاده کردند. آنها رابطه ای خطی بین تخلخل موثر (n_e) و دانسیته میکرودرزه ها بصورت زیر ارائه نمودند:

$$n_e = 100 \times (\text{طول خط اندازه گیری شده} / \text{عرض کل شکافها})$$

آنها همچنین نشان دادند که وقتی دانسیته میکرودرزه ها از ۱/۵ درصد به ۶ درصد برسد، مقاومت مکانیکی گرانیب به طور سریعی افزایش می یابد.

ایرفان و دیرمن^۲ (۱۹۷۸) یک روش کمی را بر حسب مطالعات پتروگرافی و میکروسکوپی و ماکروسکوپی، برای ارزیابی درجه هوازدگی گرانیب ها را ارائه کردند. مطالعات ماکروسکوپی شامل بررسی میزان تغییر رنگ، تغییر ترکیب و میزان تخریب است که بوسیله خود سنگ نشان داده می شود و مطالعات میکروسکوپی شامل ارزیابی ترکیب کانی ها و درجه آلتراسیون کانی ها است که بوسیله آنالیز مودال و آنالیز میکرو شکستگی ها نشان داده می شود. آنالیز میکرو شکستگی ها شامل شمارش میکروشکافها و حفرات در یک فاصله ۱۰mm در طول یک مقطع نازک و در زیر میکروسکوپ است. انواع میکروشکافهای شناسایی شده شامل مرزهای دانه ای لکه لکه شده، مرزهای دانه ای باز، میکرو شکاف های لکه لکه شده در کوارتز و فلدسپات، میکروشکافهای خالی شده در کوارتز و فلدسپات، میکروشکاف های درون دانه ای، میکروشکافهای پر شده و یا به طور بخشی پر شده و حفرات موجود در پلاژیوکلاز می باشد. این شاخص به صورت زیر است:

^۱ - Onodera

^۲ - Dearman

$$I_P = \frac{\text{sound or primary minerals}\%}{\text{unsound constituent}} \quad \text{رابطه (۸-۳)}$$

تشکیل دهنده های unsound شامل کانی های ثانویه و حفرات و میکروشکافها می باشد. بر این اساس ایرفان و دیرمن توانستند ۵ رده و ۳ زیر رده از هوازدگی را در گرانیتهای شناسایی کنند. روچا فیلهو^۱ و همکاران (۱۹۸۵) شاخصی بنام شاخص Lixiviation (β') را تعریف کردند.

$$\beta' = \frac{A_{Weathered}}{(A_{Fresh} + CaO / MgO)} \quad A = (K_2O + Na_2O) / Al_2O_3 \quad \text{رابطه (۶-۳)}$$

جایاوردنا^۲ و ایزاوا^۳ (۱۹۹۴)، فرض کردند که رابطه ای بین TiO_2 و SiO_2 و Al_2O_3 وجود دارد شاخص زیر را تعریف کردند:

$$Si - Ti...index = \frac{SiO_2 / TiO_2}{(SiO_2 / TiO_2) + (SiO_2 / Al_2O_3) + (Al_2O_3 / TiO_2)} \quad \text{رابطه (۵-۳)}$$

این افراد یک رابطه نسبتاً خوب را بین نسبت روکستون، WPI، و $H_2O(+)$ مشاهده کردند. ایرفان (۱۹۹۶) رفتار متفاوت عناصر متحرک و غیر متحرک را در طول هوازدگی شناسایی کرد و شاخص تحرک را تعریف کرد:

$$Mobile..Index(I_{Mob}) = (Mob_{Fresh} - Mob_{Weathered}) \quad \text{رابطه (۶-۳)}$$

که در اینجا Mob_{Fresh} و $Mob_{Weathered}$ بترتیب مقدار $(K_2O + Na_2O + CaO)$ در سنگ تازه و هوازده می باشند و میزان تحرک عناصر را در سنگهای مختلف نشان داد:

گرانیت: $Na > Ca > K > Mn > Mg > Si > Fe > Al > Ti$

بازالت: $Na > Ca > Mg > K > Si > Al > Fe > Mn > Ti$

ایرفان (۱۹۹۶) از تعدادی از این شاخص ها در ارزیابی بعضی از گرانیتهای هوازده هنک کنگ استفاده کرد و به خوبی به تغییرات ایجاد شده در ترکیب کانی شناسی و فابریک سنگها توجه کرد و این موارد را با خواص شاخص ساده مهندسی ترکیب کرد. او پیشنهاد کرد که نسبت $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ یک شاخص خوب از هوازدگی شیمیایی در محیط های هوازدگی با زهکشی آزاد و عموماً اسیدی آب و هوای مرطوب است، بویژه برای سنگهای اسیدی و حد واسط که هوازدگی در آنها منجر به تشکیل کائولینیت یا ایلیت

^۱ - Rocha Filho

^۲ - Jayaverdena

^۳ - Izawa

شده است . در مقابل این شاخص برای شرایط هواز دگی که در آنها کانی اسمکتیت از سنگهای آذرین بازیگ بوجود می آیند ،مناسب نیست .

بل و لیروکس^۱ (۱۹۹۸) نشان دادند که شاخص هایی از قبیل شاخص های پارکر (۱۹۷۰) و ایرفان (۱۹۹۶) که در آنها اکثر اکسیدهای قابل حل از قبیل (CaO,MgO,K₂O,Na₂O) بکار می روند، نشان دهنده های خوبی از درجه هواز دگی در منطقه دوربان آفریقای جنوبی می باشند زیرا در این منطقه تبخیر بیشتر از بارندگی است.

۳-۵-۲ طبقه بندی هواز دگی بر اساس شاخص های مهندسی و خصوصیات سنگها:

ایرفان و دیرمن (۱۹۷۸) پیشنهاد کردند که آزمایشات شاخص استفاده شده برای طبقه بندی درجه هواز دگی باید ساده و سریع و با قابلیت تکرار پذیری باشند و آماده سازی نمونه در آنها سریع و آسان باشد .همچنین این آزمایشات باید وابسته به خواص و رفتار مهندسی سنگ بوده وقادربه تمایز درجه های مختلف هواز دگی و ویژگیهای مهندسی باشند .بعد از یک بررسی وسیع،آنها اظهار کردند که آزمایش جذب سریع^۲،چکش اشमित،آزمایش مقاومت بار نقطه ای ،آزمایشات مناسبی برای تعیین شاخص هواز دگی در گرانیت ها می باشند .به طور مشابه،بل و لیروکس (۱۹۹۸) از میزان رطوبت، درجه آبگیری،جذب سریع،دانسیته کلی ومقاومت بارنقطه ای برای تعیین درجه هواز دگی در گرانیتهای آفریقای جنوبی استفاده کردند .

شاخص هواز دگی دیگری (K) برای سنگهای گرانیتی بوسیله ایلیو^۳ (۱۹۶۶) ارائه شد.این ضریب بر پایه

$$K = (V_F - V_W) / V_F \quad \text{سرعت امواج مافوق صوت در سنگ می باشد:}$$

که در اینجا V_F و V_W سرعت امواج در سنگهای تازه و هوازده می باشد (جدول ۳-۷)

جدول (۳-۷) درجه هواز دگی بر اساس سرعت امواج صوتی (ایلیو، ۱۹۶۶)

درجه هواز دگی	سرعت امواج صوتی (ms^{-1})	ضریب هواز دگی
تازه	$5000 <$	۰
کمی هوازده	$5000-4000$	۰/۲-۰
نسبتاً هوازده	$4000-3000$	۰/۴-۰/۲
خیلی هوازده	$3000-2000$	۰/۶-۰/۴
شدیداً هوازده	<2000	۱ - ۰/۶

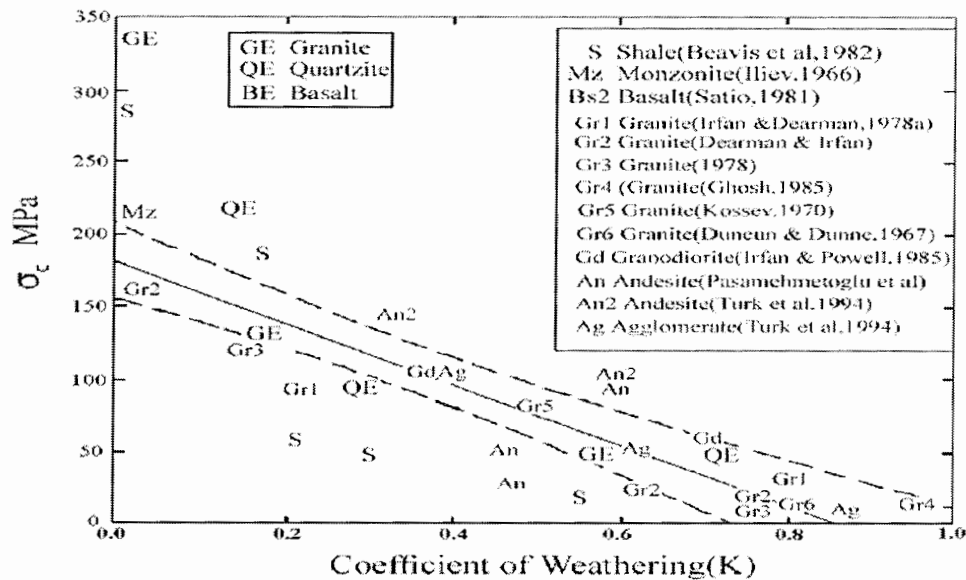
^۱ - Le roux

^۲ - quick absorbtion

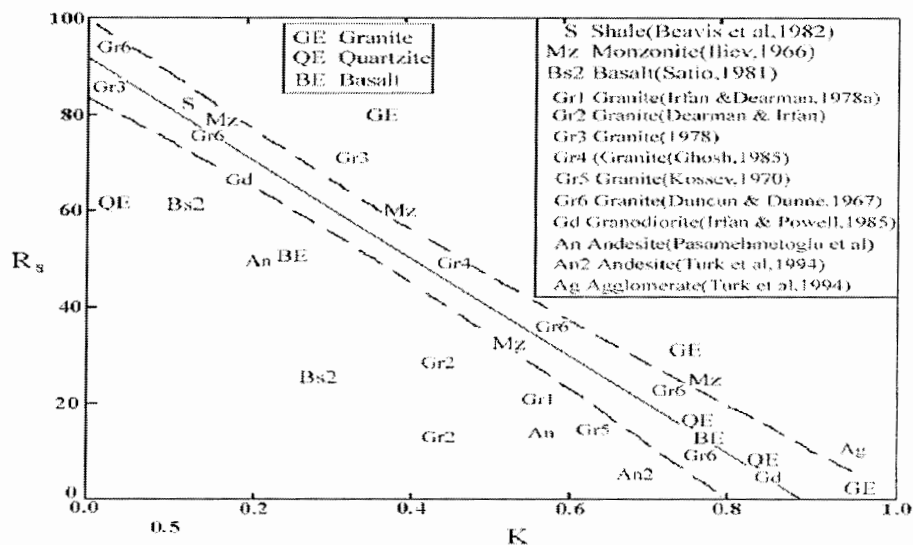
^۳ - Ilive

گوپتا^۱ و همکاران (۲۰۰۱) نیز شاخصی را بصورت زیر تعریف کردند (شکل ۳-۱۸ و ۳-۱۹):

$$K = (V_0 - V_W) / V_0 \quad R_s = \frac{\sigma_{CW}}{\sigma_{CF}} \quad \text{شاخص کاهش مقاومت در طول هوازدگی:}$$



شکل (۳-۱۸)، تغییرات K و σ_c در سنگهای مختلف (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۱)



شکل (۳-۱۹)، تغییرات R_s و K در سنگهای مختلف (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۱)

۳-۶ طبقه بندی مهندسی سنگها

^۱ -Gupta

۳-۶-۱ طبقه بندی از نظر دوام :

دوام سنگ در برابر هوازدگی می تواند به عنوان معیاری برای تعیین مقاومت سنگ در برابر هوازدگی باشد. بناونته وهمکاران (۲۰۰۱)، یک مطالعه تجربی را برای هوازدگی نمک انجام داده وبر اساس آن یک طبقه بندی را برای دوام سنگها ارائه کردند (جدول ۳-۸). سنگهای گروه ۱ در برابر هوازدگی نمک بسیار مقاوم بوده و سنگهای گروه ۴ بسیار ضعیفند.

جدول (۳-۸)، طبقه بندی سنگها بر اساس افت وزنی در برابر نمک (بناونته وهمکاران، ۲۰۰۱)

درجه بندی	درجه ۱	درجه ۲	درجه ۳	درجه ۴
	$DWL < 1$	$1 < DWL < 5$	$5 < DWL < 10$	$10 < DWL$

DWL: Dry weight loss (%)

گمبل (۱۹۷۱) سنگها را بر اساس شاخص دوام وارفنگی دومین مرحله طبقه بندی نمود. این طبقه بندی در صورتی که آزمایش دوام با استفاده از آب معمولی 20°C انجام شود، به عنوان شاخصی برای رده بندی سنگها مورد استفاده قرار می گیرد (جدول ۳-۹).

جدول (۳-۹) رده بندی سنگها بر اساس شاخص دوام دومین مرحله (گمبل^۱، ۱۹۷۱)

شاخص دوام دومین مرحله (%)	رده بندی
۰ - ۳۰	خیلی ضعیف
۳۰ - ۶۰	ضعیف
۶۰ - ۸۵	متوسط
۸۵ - ۹۵	کمی مقاوم
۹۵ - ۹۸	مقاوم
۹۸ - ۱۰۰	خیلی مقاوم

یک شاخص بسیار مناسب برای نشان دادن دوام و حساسیت سنگ در برابر تر و خشک شدن متوالی و تاثیرات شیمیایی آب، شاخص دوام وارفنگی است که روش تعیین آن توسط فرانکلین وچاندرا (۱۹۷۲) ارائه شدو در سال ۱۹۷۹ توسط انجمن بین المللی مکانیک سنگ به صورت استاندارد در آمد. این افراد سنگها را بر اساس شاخص دوام اولین مرحله طبقه بندی نمودند (جدول ۳-۱۰).

جدول (۳-۱۰)، رده بندی سنگها بر اساس شاخص دوام اولین مرحله (فرانکلین وچاندرا، ۱۹۷۲)

شاخص دوام اولین مرحله (%)	رده بندی
۰ - ۲۵	خیلی ضعیف
۲۵ - ۵۰	ضعیف
۵۰ - ۷۵	متوسط
۷۵ - ۹۰	کمی مقاوم
۹۰ - ۹۵	خیلی مقاوم
۹۵ - ۱۰۰	شدیداً مقاوم

^۱ - Gamble

۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰	۱	۰/۱
کداس (۱۹۶۴)	مقاومت	مقاومت	مقاومت	مقاومت	مقاومت
میلر و دیر (۱۹۶۶)	مقاومت خیلی بالا	مقاومت متوسط	مقاومت پایین	مقاومت خیلی پایین	مقاومت خیلی خیلی پایین
انجمن زمین شناسی (۱۹۷۰)	مقاومت عالی	مقاومت متوسط	مقاومت متوسط	مقاومت متوسط	مقاومت متوسط
ترنکلین و بروج (۱۹۷۲)	مقاومت بسیار عالی	مقاومت خیلی بالا	مقاومت متوسط	مقاومت پایین	مقاومت خیلی پایین
زیتگر (۱۹۷۳)	سنگهای پستی عالی	سنگهای خیلی سخت	سنگهای سخت	سنگهای نرم	سنگهای خیلی نرم
پنارسکی (۱۹۷۴)	مقاومت خیلی بالا	مقاومت متوسط	مقاومت پایین	مقاومت متوسط	مقاومت خیلی پایین
ISRM (۱۹۷۹)	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	مقاومت پایین	خیلی پایین
۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰	۱	۰/۱

شکل (۳-۲۱)، مقایسه انواع تقسیم بندی ها مختلف بر اساس مقاومت تک محوری

۳-۷ خواص مهندسی سنگهای آذرین :

۳-۷-۱ گرانیت ها و سنگهای پلوتونیک :

سنگهای درونی بوسیله بافت دانه ای، ساخت توده ای و ترکیب نسبتاً همگن مشخص می شوند. ویژگیهای عمومی این سنگها در جدول (۳-۱۲) آمده است. در حالت غیرهوازده آنها سالم بوده واز دوام و مقاومت کافی برای کاربرد در هر سازه مهندسی برخوردارند. محدوده برخی ویژگیهای مهندسی سنگهای آذرین در جدول (۳-۱۳) آمده است. در بعضی مواقع نیز این سنگها ممکن است شدیداً هوازده بوده ویا تحت تاثیر فرایند هیدروترمال قرار گیرند. کانی های رسی معمولاً محصول هوازدهی آنها می باشند .

جدول (۳-۱۲)، ویژگیهای عمومی سنگهای آذرین (هانت، ۱۹۸۴)

نوع سنگ	مشخصات	نفوذ پذیری	تغییر شکل پذیری	مقاومت
سنگهای آشکار بلور	دانه ها بهم متصل شده و فضای خالی بسیا کم است	اساساً نفوذ ناپذیرند	بسیار کم	بسیار زیاد
سنگهای نهان بلور	دانه ها بهم متصل شده و فضای خالی بسیا کم است ویا اینکه می توانند حفره دار باشند	در صورت حفره دار بودن می توانند بسار نفوذ پذیر باشند	بسیار کم تا کم	بسیار زیاد تا زیاد
سنگهای متخلخل	پوکی زیادی دارند	بسیار زیاد	نسبتاً کم	نسبتاً کم

مراحل اولیه هوازدهی در گرانیتها معمولاً بوسیله تغییر رنگ مواد مشخص می شود و هر چه درجه هوازدهی افزایش یابد، تغییر رنگ بیشتر می باشد. تغییرات در بافت وکانی شناسی گرانیتها در هنگام هوازدهی می توانند به کمک روشهای پترولوژیکی و شیمیایی و آزمایشات شاخص آزمایشگاهی بررسی

شوند. هوازدگی همچنین باعث تغییر در خواص مکانیکی سنگها شده و منجر به افزایش دانسیته کلی، تغییر نفوذ پذیری، کاهش مقاومت و افزایش قابلیت دگرشکلی سنگ می شود.

جدول (۳-۱۳)، محدوده برخی از ویژگیهای مهندسی سنگهای آذرین (هانت، ۱۹۸۴).

نوع سنگ	بافت	ساخت	$\gamma_d (g/cm^3)$	$U_c (kg/cm^2)$	$E_r \cdot 10^4 (kg/cm^2)$
گرانیت	درشت تا متوسط	توده ای، دارای	۲/۶۹	۱۷۵۰	۴۹
دیوریت	درشت تا متوسط	درزه های نسبتاً	۲/۸۲	۱۷۵۰	۵۶
گابرو	درشت تا متوسط	بسته با فاصله زیاد	۲/۸۸	۲۱۰۰	۸۴
ریولیت	ریز	توده ای، با درز	۲/۵۹	۱۷۵۰	۵۶
آندزیت	ریز	زیاد و اغلب	۲/۶۶	۱۷۵۰	۶۳
بازالت	ریز	حفره دار	۲/۸۵	۲۸۰۰	۹۰
توف	ریز	توده ای، متخلخل	۱/۶۰	۷۰	۷

۳-۷-۲ سنگهای ولکانیک :

به طور معمول خواص ژئو مکانیکی بازالت ها و دلریت های تازه برای اهداف مهندسی رضایت بخش می باشند، ولی با این وجود بازالتها و دلریتها بیشتر از کانی های بالای سری باون تشکیل شده اند و برای هوازدگی بسیار مستعد هستند. بعضی عوامل مسئول ایجاد یا افزایش هوازدگی در این سنگها شامل سوسوریتی شدن و سریسیتی شدن پلاژیوکلازها، تورم و انقباض رسها در اثر آبگیری و آبدایی و تورم و انقباض بعضی ژئولیتها می باشند .

آلتراسیون دویتریک کانی های اولیه تحت تاثیر گازهای داغ و سیالات ناشی از یک منبع ماگمایی، مسئول تشکیل کانی های رسی ثانویه مانند ناترولیت، بدلیت، مونتموریلونیت و کلریت در بازالت ها و دلریت ها می باشند. کانی هایی که بیشتر تمایل به تجزیه دارند شامل الیون، پلاژیوکلاز، پیروکسن، بیوتیت و شیشه آتشفشانی (اگر موجود باشد) می باشند .

بازالت های حاوی ۱۰ تا ۲۰ درصد مونتموریلونیت پتانسیل تخریب بالایی دارند. هنگامی که بازالت یا دلریت در معرض اتمسفر قرار می گیرند، کانی های رسی آنها که در سطح و یا نزدیک سطح قرار دارند اغلب یا دچار افت رطوبت می شوند و یا رطوبت می گیرند، که این امر بستگی به شرایط اتمسفری دارد آبگیری و آبدایی مکرر باعث تجزیه مکانیکی سنگ شده و منجر به پوسته پوسته شدن و شکستگی های سطحی در سنگ می شود. بعد از تشکیل این شکستگی ها آب از داخل این شکستگی ها عبور می کند و باعث افزایش درجه و میزان هوازدگی می شود . تجزیه بعضی بازالت ها در اثر پدیده

crazing می باشد. crazing شامل تشکیل میکروشکستگی های وسیع در داخل بازالت هایی است که در معرض اتمسفر یا رطوبت قرار دارند. میکروشکستگی ها جهت یابی اتفاقی دارند و مایلند که به هم متصل شوند. عرض آنها از ۱ میلی متر تا ۱۰۰ نانومتر متغیر می باشد. این میکروشکستگی ها با گذشت زمان در مناطق حاوی ژئولیت ها و کانی های رسی منبسط می شوند و باعث شکسته شدن بازالت به قطعاتی در اندازه گراول می شوند. میکروشکستگی ها ممکن است الگوی شعاعی را در اطراف بعضی آمیگدالها تشکیل دهند و این آمیگدالها نقش مهمی را در توسعه این فرایند ها بازی می کنند. میکروشکستگی ها بیشتر در مناطق ضعیف سنگ از قبیل مرزهای دانه ای و کانی های آلتره شده و.... گسترش می یابند. باوجود اینها درجه تخریب بازالتها و دولریتها بیشتر بوسیله بافت آنها کنترل می شوند (هاسکینز و بل، ۱۹۹۵).

کول و سندی (۱۹۸۰) کانی شناسی و بافت را در ارتباط با دوام داری بررسی کردند. نسبت کانی ثانویه

$$(R_{sm}) = l \quad (PM) | T \quad : \text{ آنها به صورت زیر است}$$

که در اینجا P درصد کل کانی های ثانویه موجود در سنگ، M نسبت یک کانی ثانویه خاص و T نسبت بافتی برای سنگ است. آنها یک مقدار بحرانی را برای (R_{sm}) پیشنهاد کردند که برابر با ۱۴۰ است و در بالای آن سنگ غیر قابل استفاده است.

آزمایشات متعددی برای ارزیابی دوام داری و مقاومت بازالت ها و دولریت ها استفاده شده اند و شامل آزمایش تعیین شاخص دوام و آزمایشات مختلف دیگر می باشد.

۳-۸-۴ نهشته های پیروکلاستیک :

نتایج آزمایشات سه محوری در این سنگها نشان می دهد که زاویه اصطکاک با افزایش اندازه دانه و فشردگی سنگ افزایش می یابد. در صورتی که چسبندگی با افزایش اندازه دانه کاهش و با افزایش فشردگی زیاد می شود (بل، ۲۰۰۰). شولتز و لی (۱۹۹۵) اظهار کردند که یک فرق محسوس در خواص ژئومکانیکی توفهای توده ای و برجای منطقه نوادا وجود دارد و توفهای برجای دانسیته کلی بالاتر، تخلخل کمتر، مقاومت فشاری و مدول یانگ بیشتری نسبت به توفهای توده ای دارند و علت مقاومت بیشتر توف برجای را تخلخل کمتر و دانسیته بیشتر آن می دانند.

۳-۹ معیارها و آزمایشات اندازه گیری دوام سنگها :

تنوع عواملی که دوام یک ماده مهندسی را کنترل می کنند، پیش بینی زوال پذیری آنها را مشکل می سازد. دانستن ویژگیهایی از مواد که روی آزمایشات مهندسی تاثیر دارند، بسیار مهم است. بنابراین بعلاوه پوشش در ویژگیهای اندازه گیری شده با طرح یکسری از آزمایشات که همه محدوده ویژگیهای سنگ و یافت آنها شامل شود، تعداد آزمایشات را به حداقل رساند. در جدول (۳-۱۴) تعدادی از ویژگیهای سنگ که روی نتایج آزمایشات مهندسی تاثیر دارند، آمده است. این جدول دسترسی سریع به توانایی آزمایشات در بیان کمی ویژگیهای سنگ را میسر می سازد.

جدول (۳-۱۴)، پارامترهای مهم مورد استفاده در ارزیابی خصوصیات سنگها (نیکودل، ۱۳۶۹)

اندازه دانه	کلوز و رخ	میکرو ترک	درصد هوازدگی	ناهمگونی	درصد رطوبت	شکل	یافت	سختی	تخلخل	کانی شناسی	وزن مخصوص	پارامترهای موثر آزمایشات دوام
		x	x						x			جذب آب
		x	x						x	x	x	وزن مخصوص
	x	x	x	x	x		x	x				مقاومت فشاری
	x	x	x	x	x		x					مقاومت کششی
					x			x	x	x		سختی اشیمیت
			x	x		x		x	x		x	آزمایش دوام
				x		x			x	x	x	آزمایش تخریب و اشنگتن
		x	x				x		x			آزمایش تر و خشک
		x	x	x		x			x			سلامت سنگ
x		x			x	x	x	x			x	آزمایش سایش سریع
x		x	x		x		x	x	x		x	سایش لوس آنجلس
x		x	x			x	x	x				آزمایش ارزش سایش
	x	x				x	x	x				آزمایش ارزش خرد کردن
x	x	x				x	x	x				آزمایش ۱۰٪ ریزی
			x		x				x			سرعت امواج لرزه ای
		x	x		x	x	x	x	x		x	آزمایش ارزش ضربه ای

۳-۹-۱ آزمایشهای پیشنهادی جهت سنجش زوال پذیری و دوام سنگها :

فوکس و همکاران (۱۹۸۸) برای اولین بار یک سری آزمایشات فیزیکی، مکانیکی، مشابه سازی و بررسی های سنگ شناسی را برای ارزیابی اولیه دوام مواد را پیشنهاد کرده است (جدول ۳-۱۵).

جدول (۳-۱۵)، طبقه بندی آزمایشهای مهندسی دوام (فوکس وهمکاران، ۱۹۸۸).

ازمایشهای فیزیکی	ازمایشهای مکانیکی	ازمایشهای شبیه سازی	بررسی های سنگ شناسی
وزن مخصوص (ظاهری، خشک و اشباع) (BS 812)	مقاومت بار نقطه ای (ISRM)	ارزش ضربه ای اصلاح شده (هاسکینگ و تویی، ۱۹۶۹)	بررسی سنگ شناسی (ASTM C295)
جذب آب (BS 812)	سختی چکش اشمیت دانکن (۱۹۶۹)	سایش لس انجلس (ASTM C535)	تعیین کانی های رسی (جذب متیلن بلو، اتیلن گلیکول). پراش اشعه ایکس (XRD)
	مقاومت فشاری تک محوری (ISRM)		
تعیین تخلخل	ارزش ضربه ای مصالح (BS 812)	زوال و اشینگتن	
	ارزش سایش مصالح (BS 812)	تر و خشک کردن	
	ارزش خرد کردن مصالح (BS 812)	سلامت سولفات (ASTM C88)	
	۱۰ درصد ریزی (BS 812)	دوام در برابر انجماد و ذوب شدن (AASHTO-T103-78)	
		دوام ابدیگی	

۱- آزمایشات فیزیکی :

آزمایشات جذب آب و وزن مخصوص مهمترین نشانگر کیفیت ماده می باشند. بویژه آزمایش جذب می تواند به علت وجود کانیهای ثانویه و ترکهای ریز در سنگ در ارزیابی درجه هدایت هیدرولیکی سنگ مفید باشد. این عوارض در مواد سنگی هوازده معمول می باشند.

چگالی سنگ تابع منافذ، درزه ها، شکاف ها و سایر فضاهای باز موجود در سنگ می باشد (جدول ۳-۱۶ و ۳-۱۷). چگالی یک سنگ با افزایش عمق افزایش می یابد، چون با افزایش عمق و در نتیجه افزایش فشار سنگهای فوقانی، درزه ها و ترکهای موجود در سنگ بتدریج بسته می شوند. بنابراین سن سنگ رابطه مستقیمی با چگالی آن دارد. از طرف دیگر هوازدهی سنگها باعث کاهش چگالی آنها می شود، این موضوع به خاطر افزایش درز و ترک در سنگ، تجزیه شیمیایی و تورم بعضی از کانی ها در اثر هوازدهی می باشد. اختلاف در چگالی سنگها بیشتر مربوط به تخلخل آنهاست زیرا چگالی دانه ای اکثر کانی ها به هم نزدیک بوده و بدین ترتیب همبستگی زیادی بین چگالی و تخلخل وجود دارد. تخلخل در سنگها به دلایل مختلفی از جمله شرایط تشکیل (تخلخل اولیه) و فرایندهای ثانویه ای مثل هوازدهی، دگرسانی، انحلال کانی ها، تبلور مجدد و غیره (تخلخل ثانویه) به وجود می آید. تخلخل سنگ بستگی به شکل و توزیع ابعاد دانه ها، استحکام دانه ها، جهت یابی دانه ها، درجه تراکم و سیمانی شدگی دانه ها دارد. چگالی و تخلخل رابطه خوبی با سرعت موج در سنگ دارند.

جدول (۳-۱۶): چگالی نسبی برخی از کانی های متداول (فهیمی فر و سروش، ۱۳۸۰)

کانی	دانسیته خشک	کانی	دانسیته خشک	کانی	دانسیته خشک
ژیپس	۲/۳-۲/۴	کلسیت	۲/۷	پیریت	۴/۹-۵/۲
اورتوکلاز	۲/۵-۲/۶	موسکویت	۲/۷-۳	اولیوین	۳/۲-۳/۶
کوارتز	۲/۶۵	بیوتیت	۲/۸-۳/۱	کلریت	۲/۶-۳
پلاژیوکلاز	۲/۶-۲/۸	پیروکسن	۳/۲-۳/۶	مگنتیت	۴/۴-۵/۲

جدول (۳-۱۷): چگالی برخی از سنگهای متداول (gr/cm^3)، (فهیمی فر و سروش، ۱۳۸۰)

سنگ	دامنه چگالی	چگالی متوسط	سنگ	دامنه چگالی	چگالی متوسط
گرانیت	۲/۵۱۶-۲/۸۰۹	۲/۶۶۷	گابرو	۲/۸۵۰-۳/۱۲۰	۲/۹۷۶
گرانودیوریت	۲/۶۶۸-۲/۷۸۵	۲/۷۱۶	دیاباز	۲/۸۰۴-۳/۱۱۰	۲/۹۶۵
سینیت	۲/۶۳۰-۲/۸۹۹	۲/۷۵۷	ریولیت	۲/۳۳۰-۲/۴۱۳	۲/۳۷۰
کوارتز دیوریت	۲/۶۸۰-۲/۹۶۰	۲/۸۰۶	دیوریت	۲/۷۲۱-۲/۹۶۰	۲/۸۳۹

۲- آزمایشات مکانیکی :

هرچند آزمایشهای مقاومت بار نقطه ای و سختی اشmit جزء آزمایشهای دوام نیستند، ولی در رابطه با مشخص کردن وضعیت هوازدگی و دگرسانی سنگها قابل استفاده می باشند. کاهش مقاومت بخاطر حضور کانی های ثانویه نرم یا ضعیف، شکافها و درزه های ریز و افزایش جذب آب می باشد. مقاومت کششی شاخص مناسبی برای تعیین حساسیت سنگ در برابر تخریب بوسیله فرایند تبلور میباشد. آزمایشات تعیین ارزش ضربه ای و خرد شدگی هم میتوانند در ارزیابی زوال پذیری موادی مورد استفاده قرار گیرند که در معرض فرایندهای تخریب در ضمن ساخت و فرایندهای دینامیکی در طول سرویس دهی قرار دارند و هدف آن اندازه گیری مقاومت مصالح سنگی در مقابل شوک ناگهانی یا ضربه میباشد.

آزمایش مقاومت تک محوری مرسوم ترین آزمون آزمایشگاهی برای مطالعات سنگها می باشد که با وجود ظاهری ساده، انجام دقیق آن بسیار مشکل است. این آزمایش به عنوان آزمایش پایه در اکثر پروژه های مهندسی انجام می شود.

به طور کلی عوامل موثر بر مقاومت فشاری تک محوری سنگها را می توان به دو گروه عمده عوامل داخلی و خارجی تقسیم کرد. عوامل داخلی عواملی هستند که بستگی به خصوصیات ذاتی سنگ دارند مانند ترکیب کانی شناسی، چگالی، تخلخل، ابعاد و شکل دانه ها، شاخص پوکی و ناهمسانگردی سنگ. عوامل خارجی بستگی به روش آزمایش، شرایط محیطی و شخص آزمایش کننده دارد. عواملی چون

ابعاد نمونه، شکل هندسی نمونه، نسبت ارتفاع به قطر، اصطکاک بین صفحات باگذاری دستگاه و نمونه، سرعت بارگذاری، نحوه اتصال نمونه به دستگاه آزمایش، رطوبت نمونه، ترکیب مایعات موجود در نمونه و درجه حرارت از جمله این عوامل هستند. ما از میان این عوامل فقط به بررسی عوامل داخلی (ترکیب کانی شناسی، چگالی و تخلخل، ابعاد و شکل دانه ها) می پردازیم.

۱- ترکیب کانی شناسی: به طور کلی تنش فشاری وارد به یک نمونه سنگ توسط دو بخش تحمل می گردد، یکی کانی های سنگ و دیگری پیوند بین آنها. طبیعی است که هرچه مقاومت کانی های متشکله سنگ بیشتر باشد، مقاومت کلی آن نیز بیشتر خواهد بود. با افزایش درصد کانی کوارتز در سنگها معمولاً مقاومت آنها زیاد می شود. در سنگهای گرانولار و دانه ای نحوه اتصال کانی ها تاثیر بسیار زیادی روی مقاومت سنگ دارد. وجود مقدار کمی هوازدگی در سنگ باعث کاهش مقاومت مرزی دانه ها شده و بنابراین تاثیر نوع کانی ها بر مقاومت را کاهش داده و خود عامل تعیین کننده می گردد.

۲- چگالی و تخلخل: تعیین ارتباط دقیق بین تخلخل، چگالی و مقاومت سنگ مشکل است. به نظر می رسد که علت اصلی تاثیر تخلخل بر مقاومت سنگ این است که در مجموعه ای از ذرات که به صورت مکانیکی و مولکولی با یکدیگر پیوند یافته اند، اندازه نیروهای پیوند دهنده با کل سطح تماس بین ذرات متناسب است. به طور کلی مقاومت تک محوری با افزایش چگالی افزایش می یابد. از طرف دیگر با افزایش تخلخل، مقاومت فشاری تک محوری کاهش می یابد.

۳- ابعاد و شکل دانه ها: سطح تماس بین دانه ها با کاهش اندازه متوسط دانه ها و افزایش گرد شدگی افزایش می یابد. از این رو نیروهای متصل کننده ذرات که عامل مقاومت در برابر گسیختگی هستند. در سنگهای ریز دانه بیشتر از سنگهای درشت دانه بوده و در نتیجه استحکام و مقاومت آنها بیشتر می باشد. بررسی ها نشان می دهند که در محیط مرطوب نیز سنگهای درشت دانه نسبت به سنگهای ریز دانه دارای مقاومت کمتری هستند و اختلاف بین مقاومت خشک و اشباع با افزایش ابعاد دانه ها افزایش می یابد.

در اغلب آزمایشات مکانیکی، ماده در حالت خشک آزمایش می شود و ممکن است که شرایط محیط کاربرد سنگ را منعکس نکند. بنابراین ممکن است که ارزیابی غلطی از مقاومت مواد و زوال پذیری سنگها بدست آید.

۳- آزمونهای مشابه سازی :

آزمون های مشابه سازی تا آنجا که ممکن باشد، باید به نحوی باشند که در آنها فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی تخریب و تجزیه مواد، مشابه با آنچه که مواد در طول مدت استفاده در سازه مهندسی متحمل می شوند، باشند .

آزمایشهای سایش و دوام، مقاومت مصالح را در مقابل سایش اندازه گرفته و میتوانند ملاک مناسبی جهت کاهش وزن در اثر سایش در مدت زمان کاربرد در سازه ها باشند. نتایج یک آزمایش وقتی در بیش بینی زوال پذیری سنگ مفید خواهند بود که نتایج حاصل از آن با سایر نتایج آزمایشات انجام شده، مورد بررسی قرار گیرند.

دوام به قدرت مقاومت مواد در برابر عوامل مخرب فیزیکی و شیمیایی اطلاق می شود. دوام از ویژگیهای اساسی سنگهای ضعیف و به خصوص سنگهای حاوی کانی های رسی می باشد و شاخص بسیار مناسبی برای نشان دادن حساسیت سنگ در برابر تر و خشک شدن متوالی و تاثیرات شیمیایی آب می باشد. این روش ابتدا توسط فرانکلین و چاندر در سال ۱۹۷۲ ارائه گردید و سپس در سال ۱۹۷۹ توسط انجمن بین المللی مکانیک سنگ (ISRM) به عنوان استاندارد ارائه شد. دوام داری سنگها بوسیله عوامل متعددی مانند کانی غالب، شکستگیهای ریز، میزان تجزیه و هوازدگی سنگ کنترل می شود. دیک و همکاران (۱۹۹۴) اظهار کردند که اگر چه خصوصیات لیتولوژیکی مختلف بر دوام داری تاثیر دارند ولی انبساط کانی های رسی بیشترین نقش را در آن دارند.

آزمایش مشابه فرایندهایی نظیر یخ زدن و ذوب شدن برای تعیین زوال پذیری، آزمایشهای سلامت سنگ میباشد. نمکی که معمولاً در آزمایشات استفاده می شود، سولفات سدیم می باشد. تحت شرایط حرارت و فشار اتاق سیستم آب- سولفات سدیم دو فاز پایدار میرابیلیت ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) و تناردیت (Na_2SO_4) و یک فاز نیمه پایدار ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) دارد که این فاز در محیطهای طبیعی شناسایی نشده است (گروسی و همکاران، ۱۹۹۷). در سیستم آب سولفات سدیم، دو مکانیسم اصلی انتقال فاز عبارتند از انحلال- تبلور و آب گیری- آبدایی. واکنشهای انحلال- تبلور به درجه فوق اشباعی (تمرکز نمک و حرارت) و واکنشهای آبدایی- آبدایی به رطوبت نسبی و حرارت بستگی دارند. سیستم (Na_2SO_4 , H_2O) سه ویژگی مهم دارد که آنرا برای انجام این آزمایشات مناسب می سازد: ۱- فازهای کانی تشکیل شده حجم مولار بالایی دارند و باعث ایجاد زوال و تخریب در سنگها می

شوند. ۲- درجه فوق اشباعی به تغییرات کوچک در حرارت حساس می باشد. ۳- سرعت تشکیل فازهای کانی جامد از آب نمک سریع می باشد (بناونته و همکاران، ۲۰۰۱).

این آزمایش علاوه بر جدایش سنگ سالم از سنگ ناسالم، میتواند نشانگر خوبی برای جذب آب، مقاومت کششی و مقاومت در برابر یخ زدگی باشد. لازم بذکر است که نتایج بدست آمده بستگی به شکل و اندازه مصالح و نمونه های سنگی نیز دارد و کاهش وزن در آزمایش سلامت سنگ با افزایش گوشه داری قطعات و اندازه آنها افزایش می یابد.

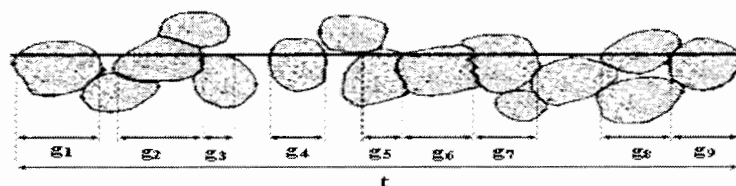
۴- بررسی های سنگ شناسی:

این بخش شامل مطالعات پتروگرافی و میکروسکوپی و بررسی نتایج آزمایشات تجزیه شیمیایی XRF و XRD می باشد. مقادیر LOI و WPI در آنالیزهای شیمیایی نیز می توانند شاخص خوبی برای نشان دادن میزان هوازدگی سنگها بکار روند و با کاهش میزان هوازدگی کاهش می یابند (توپال و همکاران، ۲۰۰۳). بر اساس مشاهدات پتروگرافیک می توان تعدادی از شاخص های هوازدگی و پارامترهای پتروگرافیک را بدست آورده و تاثیرات آنها را در پارامترهای مقاومتی مورد ارزیابی قرار داد (جنگ و همکاران، ۲۰۰۴).

۱ - دانسیته فشردگی (Packing density):

این شاخص برای اولین بار بوسیله کان (۱۹۵۶) بکار رفت و در این شاخص، تعداد مرزها در یک مسافت مشخص شمرده شده و سپس تعداد مرزها در فاصله طی شده بر مقدار این مسافت تقسیم می شود. این شاخص بصورت زیر می باشد (شکل ۳-۲۲):

$$PD = \frac{\sum g_i}{t} \cdot 100\%$$



شکل (۳-۲۲)، روش اندازه گیری دانسیته فشردگی

۲- نسبت سطح دانه (Grain area ratio) :

$$GAR = \frac{A_g}{A_t}$$

A_g : مساحت کلی همه دانه های داخل یک ناحیه مرجع

A_t : سطح کلی در برگرفته شده بوسیله مرزهای ناحیه مرجع

۳- مرز دانه (Grain contact) :

این پارامتر بوسیله دوبرینر و فریتاس (۱۹۸۶) ابداع شد و در آن طول مرزهای یک دانه با هریک از دانه های مجاورش اندازه گیری شده و بر طول کل مرز های آن دانه تقسیم می شود. این شاخص بصورت زیر می باشد (شکل ۳-۲۳):

$$GC = \frac{\sum L_n}{L}$$

L : طول کلی همه مرزهای دانه



شکل (۳-۲۳)، روش اندازه گیری پارامتر مرزدانه

۴- فاکتور شکل (Form factor) :

$$FF = \frac{4\pi A}{L^2}$$

L : طول مرزهای دانه

A : مساحت دانه

۵- میانگین اندازه دانه (d_{mean}) :

به میانگین قطر همه دانه های داخل یک ناحیه مرجع اطلاق می شود.

تعیین سرعت صوت در داخل سنگ نیز شاخص مناسبی برای تعیین خصوصیات مکانیکی سنگها می باشد. سرعت صوت در سنگها بستگی به مقاومت فشاری و کششی سنگ و به طور کلی کیفیت سنگ دارد. از عوامل موثر بر سرعت امواج صوتی در سنگ می توان به نوع سنگ، بافت، چگالی، تخلخل، سطح تنش، ناهمسانگردی، درصد رطوبت و درجه حرارت اشاره نمود. سرعت امواج صوتی در سنگ متناسب با سرعت صوت در کانی های تشکیل دهنده آن می باشد (جدول ۳-۱۸ و ۳-۱۹). سرعت امواج در سنگ

به اندازه دانه ها نیز بستگی دارد و باریزدانه شدن بافت سنگ افزایش می یابد. افزایش چگالی باعث افزایش سرعت شده و رابطه این دو ممکن است خطی یا غیر خطی باشد.

جدول (۳-۱۸): سرعت امواج طولی در برخی کانی های متداول (فهیمی فر و سروش، ۱۳۸۰)

کانی	$V_p(m/s)$	کانی	$V_p(m/s)$	کانی	$V_p(m/s)$	کانی	$V_p(m/s)$
کوارتز	۶۰۵۰	اوژیت	۷۲۰۰	اورتوکلاز	۵۸۰۰	کلسیت	۶۶۰۰
اولیوین	۸۴۰۰	مسکویت	۵۸۰۰	پلاژیوکلاز	۶۲۵۰	مگنتیت	۷۴۰۰
گچ	۵۲۰۰	اپیدوت	۷۴۵۰	پیریت	۸۰۰۰	آمفیبول	۷۲۰۰

جدول (۳-۱۹): سرعت امواج طولی در برخی سنگهای متداول (فهیمی فر و سروش، ۱۳۸۰)

سنگ	گابرو	بازالت	کوارتزیت	گرانیت
$V_p^*(m/s)$	۷۰۰۰	۶۵۰۰ - ۷۰۰۰	۶۰۰۰	۵۵۰۰ - ۶۰۰۰

سرعت امواج با افزایش تخلخل کاهش می یابد. مرطوب بودن سنگ نیز معمولاً باعث بالا رفتن سرعت امواج طولی می شود ولی از آنجا که امواج عرضی از بخش جامد سنگ عبور می کند، میزان رطوبت تاثیر چندانی روی سرعت آنها ندارد. در صورتی که سنگ کاملاً اشباع باشد، سرعت امواج در سنگهایی که تخلخل زیاد دارند کمتر از سنگهایی است که تخلخل کمی دارند، چون سرعت امواج طولی در آب کمتر از متن سنگ است.

فصل چہارم

پتروگرافی

۴-۱ مقدمه

در این فصل به توصیف ویژگی های میکروسکوپی ۶۰ نمونه برداشت شده از موج شکنها و معادن سنگ آنها می پردازیم . در بحث پتروگرافی مسائلی از قبیل بافت ، ترکیب کانی شناسی ، ترتیب تبلور کانی ها و شواهد میکروسکوپی تحولات ماگمایی نظیر تبلور تفریقی ، هضم ، آرایش و ... مورد نظر می باشد . با توجه به اهمیت مطالعات پتروگرافی در تعیین خصوصیات فیزیکی ، دوام سنگ ها و بررسی فرایندهای هوازدگی موجود در سنگ ها ، از نمونه ها برداشت شده از موج شکن ها و معادن سنگ آنها، مقطع نازک تهیه شد . طیف ترکیبی سنگ های آذرین شامل ریولیت، توف ریولیتی، بازالت، گرانیتوئیدها، گابرو، داسیت، سینیت و.... می باشد. با توجه به ماهیت درونی و طبیعت اسیدی این سنگها در این فصل ابتدا به طبقه بندی مودال آنها می پردازیم و سپس هر یک از گروههای اصلی آنها را به تفصیل مورد بررسی قرار می دهیم.

۴-۲ طبقه بندی مودال سنگهای آذرین:

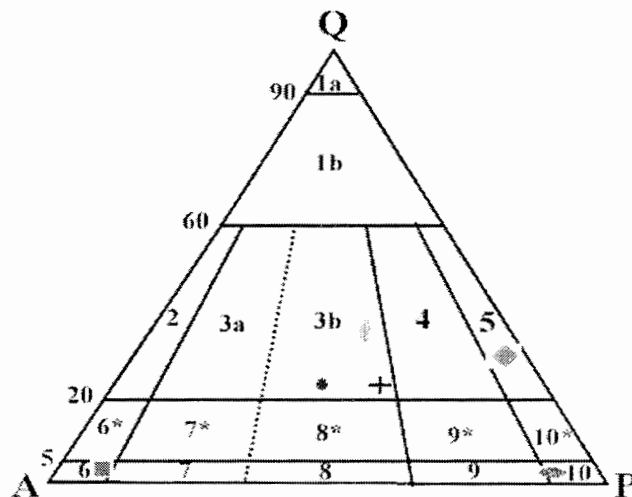
در این فصل با استفاده از روشهای طبقه بندی مودال اشتريکایزن (۱۹۷۴) سنگهای منطقه مورد مطالعه طبقه بندی شده اند. در این طبقه بندی به کمک دستگاه شمارنده نقاط، کانیهای موجود در سنگ شمارش می شوند. سپس عدد شمارش شده برای هر کانی در عدد ۱۰۰ ضرب و بر مجموع کل نقاط شمارش شده تقسیم می شود تا درصد فراوانی هرکانی مشخص گردد. آنگاه با استفاده از دیاگرام اشتريکایزن نام سنگ تعیین می گردد. به منظور نامگذاری سنگهای منطقه مورد مطالعه به روش مودال، تعداد ۶ نمونه مقطع نازک از گروههای سنگی مذکور انتخاب و آنالیز مودال شده و با روش اشتريکایزن (۱۹۷۴ و ۱۹۷۶) طبقه بندی و نامگذاری گردیده اند.

۴-۲-۱ طبقه بندی مودال اشتريکايين

این طبقه بندی که روش پیشنهادی کمیته سنگ شناسی اتحادیه بین المللی علوم زمین (I.U.G.S) می باشد با استفاده از نسبت های مودال کوارتز Q، فلدسپات آلکالن A، پلاژیوکلاز P و فلدسپاتوئید F صورت می گیرد. برای تعیین محل هر نمونه در دیاگرام مثلثی اشتريکايين، ابتدا مقدار کانیهای شمارش شده را درصدگیری کرده و سپس متشکله های سه رأس مثلث را مجدداً به ۱۰۰ رسانده و سپس نقاط معرف هر نمونه را به دیاگرام منتقل می نمایند (شکل ۴-۱). نتایج آنالیز ۶ نمونه در جدول (۴-۱) آمده است.

جدول (۴-۱)، نتایج آنالیز مودال سنگهای منطقه

ردیف	شماره نمونه	نام سنگ	Q	Plg	Alk-Fel	Amph	Es	Bio	Ol	Px	G&Opaq
۱	BD12	ریولیت	۲۷	۲۷	۳۱			۲			۶
۲	G1	بازالت		۷۶		۸			۴	۸	۴
۳	LD10	گابرو		۷۴		۶			۳	۹	۸
۴	KS9	گرانودیوریت	۲۲	۶۵	۱۵		۲	۳			۴
۵	RD8	داسیت	۲۲	۵۶	۱۱	۴	۱				
۶	SHT2	سینیت	۴	۱۲	۷۴						۶



شکل ۴-۱: دیاگرام QAP مودال اشتريکايين (۱۹۷۶) وموقعیت نمونه های مورد مطالعه بر روی آن

- علائم:
 ▲ گابرو:
 ◆ داسیت:
 ■ سینیت:
 + گرانیت:
 ⊙ ریولیت:
 ■ سینیت:
 ⊙ بازالت:

جدول (۴-۳)، اسامی نمونه های برداشت شده و محل برداشت آنها

مشخصات سنگها									
هوازگی	وضعیت	کانی های ثانویه	کانی های اصلی	رنگ		ساخت	باقث	نام سنگ	شماره نمونه
				هوازده	سالم				
تشکیل کانی رسی وایجاد حفره و تغییر رنگ و سایش	حفره دار و فاقد درز وشکاف	ایپدوت کلسیت سرسیت	کوارتز پلاژیو کلاز سانیدین بیوتیت اپک	قهوه ای	سفید	توده ای	پورفیری گلومر و پورفیری	رپولیت	BS1
تشکیل کانی رسی وایجاد حفره و تغییر رنگ و سایش	حفره دار و فاقد درز وشکاف	ایپدوت کلسیت سرسیت	کوارتز پلاژیو کلاز سانیدین بیوتیت اپک	قهوه ای	سفید	توده ای	پورفیری گلومر و پورفیری	رپولیت	BT2
تشکیل کانی رسی وایجاد حفره و تغییر رنگ و سایش	حفره دار و فاقد درز وشکاف	ایپدوت کلسیت سرسیت	کوارتز پلاژیو کلاز سانیدین	قهوه ای	سفید	توده ای	پورفیری گلومر و پورفیری	رپولیت	BS10
تشکیل کانی رسی وایجاد حفره و تغییر رنگ و سایش	حفره دار و فاقد درز وشکاف	ایپدوت کلسیت سرسیت	کوارتز پلاژیو کلاز سانیدین	قهوه ای	سفید	توده ای	پورفیری گلومر و پورفیری	رپولیت	BT11
تشکیل کانی رسی وایجاد حفره و تغییر رنگ و سایش	حفره دار و فاقد درز وشکاف	ایپدوت کلسیت سرسیت	کوارتز پلاژیو کلاز سانیدین	قهوه ای	سفید	توده ای	پورفیری گلومر و پورفیری	رپولیت	BD12
تشکیل کانی رسی وایجاد حفره و تغییر رنگ و سایش	حفره دار و فاقد درز وشکاف	ایپدوت کلسیت سرسیت	کوارتز پلاژیو کلاز سانیدین	قهوه ای	سفید	توده ای	پورفیری گلومر و پورفیری	رپولیت	BBE1
تشکیل کانی رسی و تغییر رنگ	فاقد درز وشکاف	ایپدوت	کوارتز و پلاژیو کلاز ششپینه	سفید تا خاکستری	سفید	توده ای	پورفیری	توف رپولیتی	RT1

موج شکن بندر
شهید باهنر

گنبد نمکی
مچچین

موج شکن بندر
شهید رجایی

گنبد نمکی
مچچین

ادامه جدول (۲-۴)

مشخصات سنگها										معادن مورد استفاده	نام موج شکن
هوازگی	وضعیت	کانی های ثانویه	کانی های اصلی	رنگ		ساخت	بافت	نام سنگ	شماره نمونه		
				هوازده	سالم						
تشکیل کانی رسی و تغییر رنگ	فاقد درز و شکاف	کلسیت و سربسیت و کائولینیت	کوارتز و پلازئو کلاز	سفید	سفید	توده ای	کاناکلاستیک	رپولیت	RT2	گنبد نمکی گچین	موج شکن بندر شهید رجایی
تشکیل کانی رسی و تغییر رنگ	فاقد درز و شکاف	اپیدوت، سربسیت، کلسیت	کوارتز و پلازئو کلاز سائیدین	سفید	سفید مایل به سبز	توده ای	پورفیری	رپولیت	RT3		
تشکیل کانی رسی و تغییر رنگ	فاقد درز و شکاف	اپیدوت کلسیت زئولیت	کوارتز و پلازئو کلاز سائیدین	سفید	سفید	توده ای	میکروپورفیری	رپولیت	RS4		
تشکیل کانی رسی و تغییر رنگ	فاقد درز و شکاف	کلسیت سربسیت	کوارتز پلازئو کلاز	سفید	سفید	توده ای	پورفیری	رپولیت	RT5		
تشکیل کانی رسی و تغییر رنگ	فاقد درز و شکاف و حفره	کلریت سربسیت	کوارتز پلازئو کلاز سائیدین بیوتیت	صورتی	سفید	توده ای	پورفیری	داسیت	RS6		
تشکیل کانی رسی و تغییر رنگ	فاقد درز و شکاف و حفره	کلریت کلسیت سربسیت روتیل	کوارتز پلازئو کلاز سائیدین بیوتیت	صورتی	سفید	توده ای	پورفیری	داسیت	RS7		
تشکیل کانی رسی و تغییر رنگ	فاقد درز و شکاف و حفره	سربسیت کلریت اسفن	کوارتز پلازئو کلاز آمفیبول بیوتیت	صورتی	سفید تا صورتی	توده ای	پورفیری	داسیت	RD8		
تشکیل کانی رسی و تغییر رنگ	فاقد درز و شکاف و حفره	سربسیت کلریت اسفن	کوارتز پلازئو کلاز آمفیبول	صورتی	سفید تا صورتی	توده ای	پورفیری	داسیت	RD10		
تشکیل کانی رسی و تغییر رنگ	فاقد درز و شکاف و حفره	سربسیت کلریت اسف	کوارتز پلازئو کلاز آمفیبول بیوتیت	صورتی	سفید تا صورتی	توده ای	پورفیری	داسیت	RD11		

ادامه جدول (۴-۲)

مشخصات سنگها										نام موج شکن	مکان مورد استفاده
هوازدگی	وضعیت	کانی های ثانویه	کانی های اصلی	رنگ		ساخت	بافت	نام سنگ	شماره نمونه		
				هوازده	سالم						
تشکیل کانی رسی و تغییر رنگ و سایش	درز و ترک فاقد درز و شکاف و حفره	کلسیت ژئین سریسیت	کوارتز پلازیو کلاز	خاکستری	سفید	توده ای		توف	RT12		
تشکیل کانی رسی و ایجاد حفره و تغییر رنگ	فاقد درز و شکاف و حفره	اپیدوت کلریت	کوارتز پلازیو کلاز بیوتیت	سفید	سفید	توده ای	پورفیری	ریولیت	RT14		
تشکیل کانی رسی و ایجاد حفره و تغییر رنگ	فاقد درز و شکاف و حفره	سریسیت کلسیت	کوارتز پلازیو کلاز	سفید	سفید	توده ای	پورفیری	ریولیت	RT15		
تشکیل کانی رسی و ایجاد حفره و تغییر رنگ	حاوی درزه و شکاف	کلسیت اپیدوت	کوارتز پلازیو کلاز آمفیبول	سفید تا سبز	سفید تا سبز	توده ای	پورفیری کانا کلاستیک	ریولیت برشی	RT16		موج شکن بندر شهید رجایی
تشکیل کانی رسی و ایجاد حفره و تغییر رنگ	حاوی درزه و شکاف	سریسیت کلسیت اپیدوت	کوارتز پلازیو کلاز بیوتیت	سفید مایل به خاکستری	سفید	توده ای	پورفیری	ریولیت	RT17		
تشکیل کانی رسی و ایجاد حفره و تغییر رنگ	حاوی درزه و شکاف	سریسیت اپیدوت	کوارتز پلازیو کلاز آلکالی فلدسپات شیشه	سفید	سفید	توده ای	پورفیری	کریستال توف	RT18		
تشکیل کانی رسی و ایجاد حفره و تغییر رنگ	حفره دار و فاقد درز و شکاف	سریسیت اپیدوت کلسیت کلریت	کوارتز پلازیو کلاز بیوتیت آمفیبول	خاکستری تیره	خاکستری	توده ای	گرانولار با زمینه افیتیک	گرانودیوریت	KS9		موج شکن بندر کنگ
تشکیل کانی رسی و ایجاد حفره و تغییر رنگ	حفره دار و فاقد درز و شکاف	سریسیت اپیدوت کلسیت	کوارتز پلازیو کلاز بیوتیت آمفیبول	خاکستری تیره	خاکستری	توده ای	گرانولار با زمینه افیتیک	گرانودیوریت	KT10		

ادامه جدول (۲-۴)

مشخصات سنگها										
هوازگی	وضعیت	کانی های ثانویه	کانی های اصلی	رنگ		ساخت	بافت	نام سنگ	شماره نمونه	نام معادن مورد استفاده
				هوازده	سالم					
تشکیل کانی رسی وایجاد حفره و تغییر رنگ واورالیتی شدن	فاقد درز و شکاف و حفره	کلریت اپیدوت کلسیت	پلاژیوکلاز پیروکسن آمفیبول	سبز تیره	سبز تیره	توده ای گرانولار	گرانولار افیتیک	دیباز	LS8	گنبد نمکی بندر لنگه
تشکیل کانی رسی وایجاد حفره و تغییر رنگ واورالیتی شدن	فاقد درز و شکاف و حفره	اپیدوت کلسیت کلریت اورالیت	پلاژیوکلاز پیروکسن کانی ایک	سبز تیره	سبز تیره	توده ای گرانولار	گرانولار	دیباز	LD10	گنبد نمکی بندر شناس
تشکیل کانی رسی وایجاد حفره و تغییر رنگ	دارای درز و شکاف و حفره	کلریت کلسیت سریسیت	ارنوز پلاژیوکلاز آمفیبول، ایک	قهوه ای	صورتی	توده ای گرانولار	افیتیک	سینیت	ShT1	
تشکیل کانی رسی وایجاد حفره و تغییر رنگ	دارای درز و شکاف و حفره	کلریت کلسیت سریسیت	ارنوز پلاژیوکلاز آمفیبول، ایک	قهوه ای	صورتی	توده ای گرانولار	افیتیک	سینیت	ShS2	
تشکیل کانی رسی وایجاد حفره و تغییر رنگ	دارای درز و شکاف و حفره	کلریت کلسیت سریسیت	ارنوز پلاژیوکلاز آمفیبول، ایک	قهوه ای	صورتی	توده ای گرانولار	افیتیک	سینیت	ShT3	گنبد نمکی بستانه وحسینه
تشکیل کانی رسی وایجاد حفره و تغییر رنگ	فاقد درز و شکاف و حفره	سریسیت کلسیت کلریت	کوارتز و پلاژیوکلاز ارنوز بیوتیت	صورتی	سفید	توده ای	پورفیری	داسیت	BoS3	
تشکیل کانی رسی وایجاد حفره و تغییر رنگ	فاقد درز و شکاف و حفره	سریسیت کلسیت کلریت	کوارتز و پلاژیوکلاز فلدسپات الکانل بیوتیت	صورتی	سفید	توده ای	پورفیری	داسیت	BoS4	
تشکیل کانی رسی وایجاد حفره و تغییر رنگ واورالیتی شدن	فاقد درز و شکاف و حفره	سریسیت کلریت	پلاژیوکلاز پیروکسن بیوتیت	سبز تیره	سبز تیره	توده ای گرانولار	گرانولار	گابرو گروسان شده	BoT5	گنبد نمکی بندر

ادامه جدول (۳-۴)

مشخصات سنگها									
هوازنگی	وضعیت	کانی های ثانویه	کانی های اصلی	رنگ		ساخت	بافت	نام سنگ	شماره نمونه
				هوازده	سالم				
تشکیل کانی رسی و ایجاد حفره و تغییر رنگ	دارای درز فاقد درز و شکاف و حفره	سرسیت کلریت کاتولینیت	پلاژیو کلاز سازنده سنگ بیوتیت پیروکسن سانیدین		خاکستری	توده ای	گرانولار	مونزونیت	BoT6
تشکیل کانی رسی و ایجاد حفره و تغییر رنگ	دارای درز و شکاف و حفره و لايه بندي	سرسیت اکسید آهن کلسیت	پلاژیو کلاز کوارتز سانیدین، شیشه	قهوه ای	قهوه ای		پورفیری	توف لایه ای	HaT1
تشکیل کانی رسی و ایجاد حفره و تغییر رنگ	دارای درز و شکاف و حفره و لايه بندي	کلسیت سرسیت	پلاژیو کلاز اکسید آهن	قهوه ای	قهوه ای		پورفیری	توف با لایه بندي	HaD2
تشکیل کانی رسی و ایجاد حفره و تغییر رنگ	دارای درز و شکاف و حفره و لايه بندي	کلریت	کوارتز پلاژیو کلاز شیشه	قهوه ای	قهوه ای		پورفیری	توف	HaT2
تشکیل کانی رسی و ایجاد حفره و تغییر رنگ	دارای درز و شکاف و حفره و لايه بندي	سرسیت اکسید آهن اپیدوت	پلاژیو کلاز پیروکسن آمفیبول	سبز	سبز	توده ای	پورفیری	بازالت	HaS4
تشکیل کانی رسی و ایجاد حفره و تغییر رنگ	دارای درز و شکاف و حفره و لايه بندي	سرسیت اپیدوت کلسیت	پلاژیو کلاز سانیدین کوارتز، شیشه	قهوه ای	قهوه ای		پورفیری	توف	HaT6
تشکیل کانی رسی و ایجاد حفره و تغییر رنگ	فاقد درز و شکاف و حفره	کلسیت اپیدوت اورالیت	کوارتز پلاژیو کلاز آباتیت اسفن، بیوتیت	سبز تیره	سبز تیره	توده ای	گرانولار	میکروکریست	HaT7

نام موج شکن

معادن مورد استفاده

موج شکن
بندر بستانه

گنبد نمکی
بستانه
وحسینه

گنبد نمکی
بستانه
وحسینه

گنبد نمکی
بستانه
وحسینه

۳-۴ ریولیت ها :

این سنگ ها در موج شکن بندر شهید رجائی به کار رفته اند . رنگ آنها در نمونه تازه عمدتاً خاکستری و یا سفید می باشد و گاهی نوارهای سبز رنگ اپیدوت در آنها دیده می شود . در نمونه دستی غالباً بافت پورفیری نشان می دهند و فاقد حفره می باشند و بلورهای پلاژیوکلاز و کوارتز و سانیدین در بعضی از نمونه ها قابل شناسایی می باشند . ریولیت ها در مقطع میکروسکوپی دارای زمینه بسیار ریز و شامل مخلوطی از فنوکریستها می باشد. بافت آنها عمدتاً پورفیری و گلوپورپورفیری است . فنوکریستها عمدتاً شامل کوارتز و پلاژیوکلاز و سانیدین می باشد . کانی های تشکیل دهنده این سنگها عبارتند از :

الف - کانی های اصلی :

کوارتز : این کانی به صورت بلورهای نیمه شکل دار تا شکل دار بوده و از لحاظ اندازه تقریباً غیر هم بعد هستند . در بعضی مقاطع کوارتزها دچار ناپایداری شده اند. بعضی کوارتزها دچار شکستگی شده اند که می تواند ناشی از فشار هنگام صعود باشد (تابلو شماره ۱، شکل ۱). به نظر می رسد که بعضی کوارتزها که ریز بوده و حالت تجمعی دارند به صورت ثانویه در داخل حفرات تشکیل شده اند که حاصل دوتریفیکاسیون زمینه شیشه ای سنگ و یا در نتیجه تراوش سیالات غنی از SiO_2 به درون ریولیت ها باشد . این کوارتزها معمولاً دارای یک حاشیه از شیشه کلریتی شده می باشند (تابلو شماره ۱، شکل شماره ۲) .

پلاژیوکلاز : این کانی ها بصورت نیمه شکل دار تا شکل دار بوده و دارای ماکل پلی سنتتیک و از نوع آلبیت - الیگو کلاز می باشند. پلاژیوکلازها اغلب در اثر ورود آبهای دریایی فوقانی از راه درزه ها و شکافها به سنگهای اسیدی تشکیل شده در سیستمهای ریفتی دچار آلتراسیون هیدروترمال شده و به سریسیت ، کلسیت و اپیدوت و کلریت تجزیه شده اند . وجود سریسیت فراوان در مرکز بلورهای پلاژیوکلاز دلیل بر این است که ترکیب پلاژیوکلاز از سمت حاشیه به طرف مرکز آن کلسیک تر می شود زیرا پتاسیم موجود با سازنده آنورتیتی پلاژیوکلاز وارد واکنش می شود و یون کلسیم آزاد می کند . واز این رو قسمتهای غنی از آنورتیت در یک پلاژیوکلاز منطقه ای به راحتی سریسیتی می شوند (شلی، ۱۹۹۳).

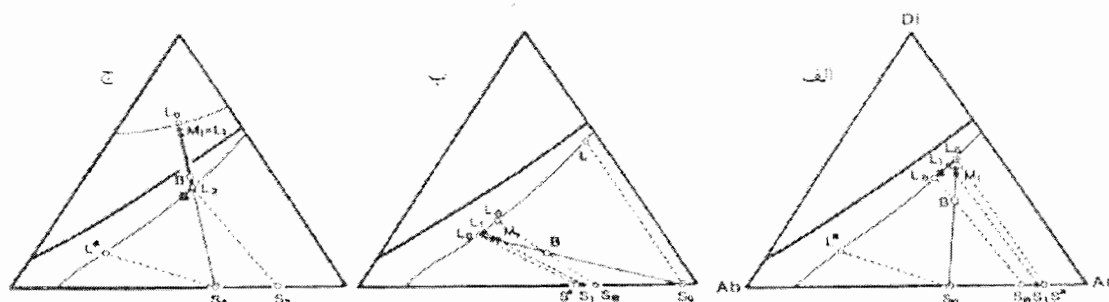
وجود هسته‌های کلسیک در پلاژیوکلازها نشانه تبلور زود هنگام این کانیها از مذاب اولیه می‌باشد (هیبارد، ۱۹۹۵). در بعضی از بلورهای پلاژیوکلاز بافت غربالی قابل مشاهده می‌باشد و سطح این بلورها دچار خوردگی شده است (تابلو شماره ۱، شکل شماره ۳).

بافت غربالی حاصل به دام افتادن اذخالهای مذاب در بلورها است که این امر در پلاژیوکلازها شایع‌تر است. قسمت‌هایی از بلورهای پلاژیوکلاز که حاوی این اذخالهاست با اسامی مختلفی از جمله مناطق غربال مانند (Sive Like Zones)، مناطق سلولی (Cellular Zones)، مناطق غبار آلود (Dusty Zones) و یا مناطق اثرانگشتی (Finger Print Like Zones) معرفی شده‌اند. تشکیل چنین بافتی دارای تفسیرهای پتروژنتیکی متفاوتی است ولی محققین مختلف (تسوچی یاما، ۱۹۸۵؛ نلسون و مونتانا، ۱۹۹۲؛ هال سور، ۱۹۸۹؛ دوگان و رودز، ۱۹۷۸؛ به نقل از آسیابنها، ۱۳۸۰) دو عامل مهمتر اختلاط و آلایش ماگمایی و افت فشار در مخزن ماگمایی را مسئول تشکیل چنین بافتی دانسته‌اند. در ادامه این بحث به نحوه عملکرد هر یک از این دو عامل در تشکیل بافت غربالی نگاهی اجمالی داریم.

الف - اختلاط و آلایش ماگمایی: از آنجا که اغلب پلاژیوکلازهایی که چنین بافتی را نشان می‌دهد دارای حواشی گرد و خورده شده هستند. این تفکر شکل می‌گیرد که این پدیده باید توسط مذابی با ترکیب متفاوت و دمای بالاتر صورت گرفته باشد. ورود ماگمای تازه به مخزن ماگمایی در حال تبلور موجبات این اختلاط را پدید می‌آورد. به نظر هیبارد (دیدیه و باربارن، ۱۹۹۹) پلاژیوکلازهای غربالی بطور بسیار معمول توسط انحلال مجدد یا ذوب مستقیم پلاژیوکلاز بوجود می‌آید. در طی فرآیند اختلاط ماگمایی، هنگامی که سیستم مافیک‌تر، گرما از دست می‌دهد، پلاژیوکلاز سیستم فلیسک‌تر به جذب بخشی (در اثر انحلال یا ذوب) حساس خواهد شد. سلولهای شیشه ای گرد شده موجود در پلاژیوکلاز می‌توانند ناشی از واکنش با مذاب موجود در فصل مشترک پلاژیوکلاز باشند. آلایش ماگما توسط مواد خارجی نیز می‌تواند باعث تغییر ترکیب ماگمای در حال تبلور شود و بافت غربالی را در پلاژیوکلازها بوجود بیاورد. عکس العمل پلاژیوکلازهای موجود نسبت به تغییر شرایط به طور تجربی

توسط تسوچی یاما (۱۹۸۵) مطالعه شده است. تسوچی یاما با استفاده از فاز دیاگرام Di-Ab-An

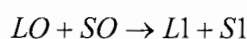
(شکل ۲-۳)، حالت‌های مختلف زیر را توضیح داده است:



شکل ۳-۲، خلاصه بافتهای ایجاد شده بوسیله واکنش بین پلاژیوکلاز So و مذاب Lo.

در این شکل، So بلور پلاژیوکلاز ماگمای تازه وارد، Lo مذاب اولیه، S^* پلاژیوکلاز متعادل با مذاب اولیه Lo است که پس از واکنش اختلاط بلور S1 و مذاب L1 را تولید می‌کند. M1 نیز سیستمی بسته با ترکیب مشخص است.

(I) So سدیک تر از S^* است (شکل ۳-۱ الف): در این حالت واکنش زیر بوقوع می‌پیوندد.



طی این واکنش مذابی سدیک‌تر (یعنی L1) و پلاژیوکلازی کلسیک‌تر (یعنی S1) تولید می‌شود. چون بلورهای پلاژیوکلاز ماگمای تازه سدیک‌تر از بلورهای پلاژیوکلاز متعادل با مذاب Lo هستند، لذا این بلورهای تازه وارد ابتدا در ماگما تحلیل رفته و سپس بعد از تعادل در محیط جدید شروع به رشد می‌نماید. در این شرایط انحلال ناقص (Partial – Dissolution) انجام می‌گیرد که عمدتاً در امتداد نقایص بلور مثل شکافهای کلیواژی یا سطوح ماکل می‌باشد و همین امر باعث ناهموار شدن سطح بلا فصل شده و پوششی از مخلوط ریزدانه پلاژیوکلاز- مذاب بر روی بلور اولیه تشکیل می‌شود. در طی این واکنش به علت وقوع انتشار در بلور، ترکیبات بلور کلسیک‌تر می‌شوند.

(II) So کلسیک‌تر از S است (شکل ۳-۱ ب): واکنش در این حالت منجر به تولید مذابی کلسیک‌تر (یعنی L1) و پلاژیوکلازی سدیک‌تر (یعنی S1) می‌شود. در نتیجه بر روی بلور اولیه، لایه بسیار نازکی از پلاژیوکلاز سدیک رشد می‌کند که به این حالت برهم‌رشدی (OverGrowth) گفته می‌شود.

(III) مذاب اولیه (Lo) در محدوده Di قرار دارد (شکل ۳-۱ ج): واکنش موضعی بین Lo و So، مذاب



به علت فراتافتگی (OverHeating) مذاب L1، بلورهای So حل می‌شوند. سپس مذاب تغییر ترکیب داده و به ایزوترم پلاژیوکلاز می‌رسد و مذاب L2 تشکیل می‌شود. در این حالت چون بلور So سدیک‌تر از پلاژیوکلاز S2 (متعادل با مذاب L2) است، انحلال ناقصی شبیه حالت (I) صورت می‌گیرد. هیبارد (دیدید و باربارن ۱۹۹۹) فرایندهای سازنده پلاژیوکلازهای غربالی در محیط اختلاط ماگمایی تحت فشار ثابت را مطابق زیر دانسته است:

۱- جذب بخشی یک پلاژیوکلاز کمتر کلسیک، مشتق شده از یک سیستم فلیسیک‌تر، در اثر گرم شدن فوق‌العاده زیاد.

۲- تعادل بخشی یک پلاژیوکلاز کلسیک‌تر، مشتق شده از یک سیستم مافیک توسط انجام واکنش انحلالی با یک مذاب فلیسیک‌تر.

در فرایند اول جذب بخشی یک پلاژیوکلاز فاقد منطقه‌بندی، ماده مذابی را تولید می‌کند یا ترکیب مذاب موجود را طوری تغییر می‌دهد که مذاب حاصل با بلورهای برج‌مانده در حال تعادل نیست. در نتیجه باید پلاژیوکلاز کلسیک‌تری بطور همزمان تولید گردد این امر به طرق زیر انجام می‌شود.

الف) توسط تعدیل انتشاری تشکیل ساختمان غربالی پیشرفته بلور یا ب) توسط رشد پلاژیوکلاز کلسیک متناسب با محل جذب. اگر بلوری در مرحله شروع تشکیل خود دارای منطقه‌بندی باشد، تعدیل انتشاری کمتری در مورد آن صورت خواهد گرفت.

در فرایند دوم، واکنش انحلالی پلاژیوکلاز کلسیک‌تر با یک مذاب سدیک‌تر، باید پلاژیوکلازی را تولید کند که نسبت به پلاژیوکلاز اصلی از آنورتیت کمتری برخوردار باشد اما نسبت به ماده مذاب هم‌زیست خود کلسیک‌تر باشد. این فرایند نیز به طرق زیر صورت می‌گیرد.

الف) تعدیل انتشاری در درون بلور اصلی، یا ب) تخریب بلور اصلی و رشد یک بلور پلاژیوکلاز جدید کمتر کلسیک.

در هر دو فرایند (۱) و (۲)، مکانیسم تعدیل انتشاری، یک بلور پلاژیوکلاز غربالی کلسیک‌تر واجد قطرک‌های شیشه‌ای اسفنج‌مانند را تشکیل می‌دهد و مکانیسم دوم بلورهای خودشکل پلاژیوکلاز غربالی را بوجود می‌آورد.

ب - افت سریع فشار: فرایند تشکیل بافتهای غربالی در پلاژیوکلازها توسط اختلاط و آرایش ماگمایی اجتناب‌ناپذیر است ولی نمی‌توان مشاهده آنها را دلیل قطعی اختلاط ماگمایی قلمداد کرد. به نظر

نلسون و مونتانا (۱۹۹۲) این بافت‌ها ممکن است بر اثر افت سریع فشار خشک (همراه یا بدون کاهش دما) بوجود آمده باشند و یا اینکه هر دو فرایند اختلاط ماگمایی و افت سریع فشار مسئول شکل‌گیری این بافت‌ها باشند. نامبردگان در توضیح این فرایند ابراز می‌دارند که افت سریع فشار خشک موجب انحلال بلور می‌شود که طی آن کانال‌ها یا مجراهایی در بلور و بویژه در حاشیه‌ها یا امتداد رخ‌ها و ماکل‌ها ایجاد می‌شود. در ابتدای فرایند انحلال، بین مواد مذاب موجود در کانال‌ها و مذاب احاطه‌کننده بلور ارتباط برقرار بوده، انتشار و کنوکسیون صورت می‌گیرد. با رشد بعدی بلور که ممکن است مثلاً بر اثر خروج مواد فرار صورت گیرد، تکه مذاب‌های مذکور و کانال‌های ذوب شده در بلور به دام می‌افتند. بدین ترتیب پلاژیوکلازهایی شکل‌دار حاوی ادخال‌های مذاب تشکیل می‌شوند.

سانیدین : این کانی بیشتر به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار دیده می‌شود. سانیدین‌ها تحت تاثیر آلتراسیون هیدروترمال قرار گرفته‌اند و به کائولینیت و کانی‌های رسی و سربستیت تجزیه شده است. **بیوتیت** : این کانی حدود ۵ درصد سنگ را تشکیل می‌دهد و به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار مشاهده می‌شوند و دارای پلی کروئیسیم قهوه‌ای تا زرد می‌باشند. این کانی در اثر آلتراسیون هیدروترمال اکثراً به کلریت تجزیه شده است و به سه صورت کاملاً سالم، در حال تجزیه و کاملاً تجزیه شده در مقاطع مشاهده می‌شوند.

ب - کانی‌های ثانویه :

کلریت : این کانی بیشتر در نتیجه دگرسانی بیوتیت تشکیل شده است. کلریت بیشتر به رنگ آبی و سبز و حالت شعاعی دیده می‌شود (شلی، ۱۹۹۳).

سربستیت : سربستیت در نتیجه تجزیه پلاژیوکلازها در سطح آنها تشکیل شده است (تابلو شماره ۱، شکل شماره ۴). عمل تجزیه در مراکز پلاژیوکلازها شدت بیشتری داشته و تجمع سربستیت در آنجا بیشتر است. پتاسیم لازم برای تشکیل سربستیت در نتیجه کلریتیزاسیون بیوتیت و همچنین از محلول‌های گرمایی و سیالات تامین شده است.

اپیدوت : این کانی در نتیجه دگرسانی پلاژیوکلاز و در طی پدیده سوسوریتیزاسیون تشکیل شده است (تابلو شماره ۱، شکل شماره ۵).

کلسیت : این کانی نیز در اثر سوسوریتیزاسیون پلاژیوکلازها همراه با اپیدوت بوجود آمده است.

کانی های رسی: این کانی ها اکثراً از نوع کائولن بوده و معمولاً بصورت مات و کدر شده می باشند و منظره ابر ماندی به فلدسپات آلکالن داده اند. این کانی ها در اثر کائولینیتیزاسیون و تجزیه فلدسپاتها حاصل شده اند.

کانی های اپک: این کانی ها به صورت پراکنده در سنگ دیده می شوند و بیشتر شامل اکسیدهای آهن (هماتیت، منیتیت و پیریت) می باشند. در محلهایی که بیوتیت ها کلریتی شده اند نیز مقداری اکسید آهن آزاد شده است.

۴-۴ ایگنیمبریت ها :

این سنگ ها فقط در موج شکن حسینه بکار رفته اند و در نمونه دستی به دلیل داشتن شیشه، رنگی قهوه ای داشته و نسبتاً نامقاوم بوده و دارای رگه های کلسیت فراوان می باشند. در این سنگها ساخت جریانی به خوبی مشاهده می شود. کانی خاصی در روی نمونه دستی آنها قابل شناسایی نیست. بافت آنها اغلب متراکم بوده و حفرات کمی در آنها مشاهده می شود. ایگنیمبریت ها در مقاطع میکروسکوپی دارای زمینه ای نسبتاً شیشه ای بوده که پدیده تبدیل شیشه به بلور (devitrification) در آن قابل مشاهده می باشد. بافت آنها بیشتر پورفیری و میکروپورفیری و گلومروپورفیری می باشد (تابلو شماره ۱، شکل شماره ۶). فنوکریستها بیشتر شامل کوارتز، پلاژیوکلاز و سانیدین می باشد. حالت جریانی هم در بعضی مقاطع مشاهده می شود. کانی های تشکیل دهنده این سنگها عبارتند از :

الف - کانی های اصلی

کوارتز: این کانی به صورت بلورهای کوچک نیمه شکل دار تا بی شکل مشاهده می شود. بعضی از آنها با ماگما واکنش داده و دچار خوردگی شده اند. در بعضی مقاطع کوارتزها به صورت تجمعات ریزی دیده می شوند که احتمالاً ثانویه بوده و بعداً در داخل حفرات سنگ متبلور شده اند و دارای حاشیه ای از شیشه کلریتی می باشند (تابلو شماره ۱، شکل شماره ۷).

پلاژیوکلاز: این کانی به صورت بلورهای شکل دار تا نیمه شکل دار بوده و ماکل پلی سنتتیک در اکثر آنها مشاهده می شود. پلاژیوکلازها ترکیبی در حد آلبیت تا الیگوکلاز داشته و در اثر دگرسانی به اپیدوت، کلسیت و سربیسیت تجزیه شده اند. مرکز آنها به علت کلسیک تر بودن دچار تجزیه

بیشتری شده است. در بعضی مقاطع پلاژیوکلازها به صورت تجمعاتی دیده می شوند که میزان این تجمعات زیاد نیست. بنا بر نظر هلز (۱۹۸۱)، در شلی (۱۹۹۳) بلورها ضمن صعود با یکدیگر برخورد می کنند و چنانچه شبکه بلوری آنها با یکدیگر موازی باشد و یا در جهت روابط ماکلی و یا بعضی روابط اپی تاکسیالی مناسب قرار گیرند به همدیگر چسبیده و گلومرول ها را ایجاد می کنند. بعضی بلورهای پلاژیوکلازها دارای بافت غربالی می باشند. که گاهی این بافت را در منطقه مرکزی و گاهی در حاشیه بلورها نشان می دهند (تابلو شماره ۱، شکل شماره ۸).

سانیدین: این کانی بیشتر به صورت بلورهای نیمه شکل دار تا شکل دار می باشند. در بعضی موارد سانیدین در اثر دگرسانی هیدروترمال به کائولینیت، کانی های رسی و سیریسیت (کائولینیتیزاسیون و سیریسیتیزاسیون) تجزیه شده اند و بعضی از آنها به طور کامل تجزیه و منظره ابرمانندی دارند.

کانی/پک: این کانی ها شامل اکسیدهای آهن و پیریت می باشند که در داخل زمینه پراکنده اند.

ب - کانی های ثانویه

سیریسیت: در اثر تجزیه پلاژیوکلازها، دانه های ریزی از موسکوویت که به سیریسیت معروفند و در سطح آنها تشکیل شده اند. سیریسیتیزاسیون پلاژیوکلازها در اینجا کم می باشد.

کانی های رسی: در سطح بعضی از فلدسپاتهای آلکان تشکیل شده و حاصل تجزیه آنها می باشند و منظره ابرمانندی به آنها داده اند و بیشتر از نوع کائولن می باشند.

اپیدوت: این کانی در بعضی نمونه ها مشاهده شده و ناشی از تجزیه پلاژیوکلازها می باشند.

کلسیت: این کانی به مقدار کم در بعضی نمونه ها در نتیجه عمل دگرسانی پلاژیوکلازها همراه با اپیدوت مشاهده می شود.

۴-۵ گنبد های ریولیتی

این سنگ ها در موج شکن های بندر شهید رجائی و باهنر به کار رفته اند. ریولیت های بندر شهید باهنر تقریباً قهوه ای رنگ بوده که در اثر هوازدگی به این رنگ در آمده اند و رنگ آنها در نمونه های تازه تقریباً سفید رنگ بوده و در بعضی از آنها اثرات جریان یافتگی به خوبی قابل مشاهده می باشد. در نمونه های معادن، این سنگ فاقد حفره می باشد ولی در نمونه هایی که از موج شکن ها برداشت شده است حفراتی کشیده در سنگ دیده می شود که احتمالاً در اثر انحلال کانی ها تشکیل شده اند.



شکل ب



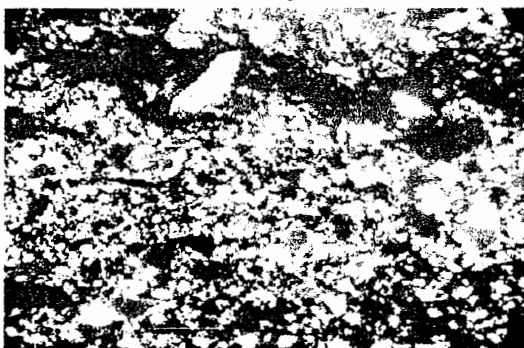
شکل الف



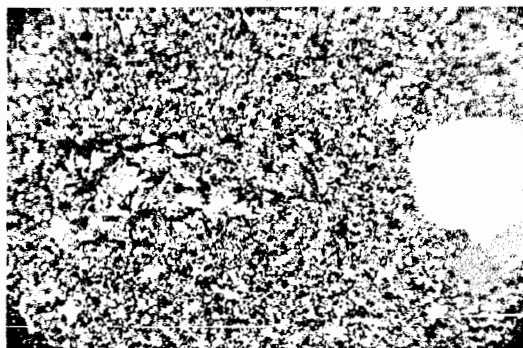
شکل د



شکل ج



شکل و



شکل هـ



شکل ح



شکل ز

تابلو (۱-۴)

کانی های داخل این حفرات آلبیت و کلسیت می باشد . همچنین در نمونه دستی رگه هایی از اکسید آهن (الیژیست) نیز به خوبی مشاهده می شود .

مکانیسم تشکیل الیژیست در این سنگها بدین صورت است که اگر در یک ماگما مجموع اکسیدهای سدیم و پتاسیم مساوی یا بیشتر از درصد اکسید آلومینیوم باشد ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \geq \text{Al}_2\text{O}_3$)، سری باون معکوس می گردد و در این صورت ترتیب تبلور دیگری بنام توالی آگپائیتیک جای توالی باون را می گیرد. در این توالی تبلور فلدسپاتهای آلكالن مقدم بر تبلور آمفیبول و پیروکسن می باشد و اگر SiO_2 زیاد باشد ارتوز تشکیل خواهد شد. در نتیجه FeO و MgO در داخل ماگما باقی می ماند و در پایان انجماد توده ریولیتی، ماگمای باقیمانده بصورت فاز گازی در شکافها و شکستگی های ریولیت، این رگه ها را بوجود آورده است (معین وزیری ۱۳۸۲).

در مقاطع میکروسکوپی فنوکریستها ۲۵ تا ۳۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می دهند و بافت آنها عمدتاً "پورفیری و گلومروپورفیری می باشد که فنوکریستها در یک زمینه ای شامل کوارتز و پلاژیوکلاز و سانیدین قرار دارند (تابلو شماره ۲، عکس شماره ۱). فنوکریستهای سنگ عمدتاً "کوارتز ، سانیدین و پلاژیوکلاز می باشند . فنوکریستهای دیگری نیز در متن سنگ دیده می شوند که نشان دهنده پرشدگی رگچه ها و یا مسیر عبور سیالات می باشند . اثرات وجود کانی های ثانویه مانند کلسیت در نتیجه تراوش سیالات به درون ریولیتها در مقاطع مشاهده می شود. کانی های تشکیل دهنده این سنگ ها عبارتند از :

الف - کانی های اصلی

کوارتز: این کانی به صورت بلور های بی شکل تا نیمه شکل دار دیده می شود . بعضی از آنها با خمیره ماگمایی که بعداً موجب تشکیل زمینه گشته است واکنش داده و دچار خوردگی شده اند و حاشیه نامنظم دارند . بعضی کوارتز ها به صورت کوچک و تجمعات چندتایی و درهم مشاهده می شوند که احتمالاً ثانویه بوده و یا در نتیجه تراوش سیالات غنی از SiO_2 به درون ریولیتها و یا در اثر آلتراسیون پلاژیوکلازها به وجود آمده اند.

پلاژیوکلاز: این کانی به صورت بلورهای نیمه شکل دار تا شکل دار بوده و دارای ماکل پلی سنتیک می باشند . ترکیب آنها بیشتر الیگوکلاز تا آندزین می باشد و اکثراً دچار دگرسانی هیدروترمال شده و

سریسیتی شده اند و نواحی مرکزی آنها به علت کلسیک تر بودن بیشتر سریسیتی شده است .
پلاژیوکلازها همچنین دچار سوسوریتیزاسیون نیز شده اند و به مجموعه ای از کانی های کلسیت ،
کوارتز و اپیدوت تجزیه شده اند (تابلو شماره ۲، عکس شماره ۳).

سوسوریت محصول دگرسانی پلاژیوکلاز است که طی آن با افزایش آب ، سازنده آنورتیتی آنها به
اپیدوت (کلینوزویت یا زوئیزیت) تغییر می یابد و پلاژیوکلاز باقیمانده نیز به صورت آل بیت در می
آید . سوسوریت در شرایط رخساره شیست سبز (و معادل فشار پایین آن) تشکیل می شود. غالباً به
همراه اپیدوت و آل بیت ، کلسیت و سریسیت نیز به وجود می آید (شلی، ۱۹۹۳). از طرف دیگر وجود
سوسوریت نشان دهنده تمرکز محصولات واکنشی هیدروترمال در محلهای بخصوص است . به طوری
که در مناطق غنی از آنورتیت در پلاژیوکلاز ، به طور انتخابی اپیدوت ظاهر می شود. این امر رفتار
دوگانه پلاژیوکلازها را نشان می دهد . یعنی درعین حالی که پلاژیو کلاز بدون تشکیل هسته جدید به
صورت کاملاً یکنواخت به آل بیت تبدیل می شود، نطفه های جدید اپیدوت در داخل فلدسپات دگرسان
شده به راحتی تشکیل می شوند و در جهات مختلف رشد می کنند. در مراحل اولیه سوسوریتیزاسیون
آل بیت تولید می شود که بعداً با افزایش کلسیم و آب، اپیدوت پدید می آید (شلی، ۱۹۹۳).

سانیدین : این کانی هم حدود ۱۰ درصد سنگ را تشکیل می دهد و به صورت بلورهای تقریباً شکل
دار بوده و ترکیب آنها احتمالاً سانیدین می باشد . این کانی هم دچار آلتراسیون هیدروترمال شده و
بیشتر به سریسیت و کانی های رسی به خصوص کائولن تجزیه شده است .

فلدسپاتها معمولاً توسط میکای سفید ریز دانه به نام سریسیت پوشیده می شوند. این نوع پوشش یا به
صورت لکه لکه و یا بصورت کامل انجام می شود . رشد سریسیت نیازمند افزایش آب و یون K است و
سریسیتیزاسیون فقط در صورتی پیشرفت می کند که محلولهای سرشار از آب وجود داشته باشند.
یک منبع مهم K همان فرایند کلریتیزاسیون بیوتیت است . در نتیجه این عمل ، یون K با سازنده
آنورتیتی پلاژیو کلاز وارد واکنش می شود و Ca آزاد می کند . از این رو قسمتهای غنی از An در یک
پلاژیو کلاز منطقه ای به راحتی سریسیتی می شوند.

سریسیت ها غالباً به طور غیر یکنواخت رشد می کنند. با وجود این ، در بعضی از فلدسپاتها صفحات
بزرگ موسکویت با کلیواژهای فلدسپات تقریباً موازی اند که این خود ناشی از ورود آسان محلولها در
امتداد جهات فوق الذکر است. عمل انتشار ، سرعت فرایند سریسیتیزاسیون را کنترل می کند. به

طوری که انجام واکنش بستگی به محلولهای موجود ویون K دارد. ولی محصولات واکنشی فقط در محلهای انجام واکنش رشد می کنند زیرا تحرک آلومینیوم و سیلیسیم نسبتاً پایین است.

بیوتیت : این کانی به صورت بلورهای کوچک نیمه شکل دار در داخل زمینه وجود دارد و در نور طبیعی به رنگ قهوه ای می باشد . این کانی اکثراً دگرسان شده در حال کلریتی شدن می باشد. گاهی سوزن های روتیل هم در داخل آنها مشاهده می شود (تابلو شماره ۲، عکس شماره ۴) .

ب- کانی های فرعی

کانی / پک : این کانی احتمالاً "منیتیت بوده و بیشتر در مناطقی که بیوتیت ها کلریتی شده اند، دیده می شوند .

ج - کانی های ثانویه

کلریت : این کانی در نتیجه دگرسانی بیوتیت به وجود آمده و در نور پلاریزه بیشتر به رنگ آبی دیده می شود . این کانی از تجزیه و دگرسانی پلاژیوکلازها هم به وجود می آید .

اپیدوت : این کانی در نتیجه دگرسانی پلاژیوکلازها (سوسوریتی شدن) ایجاد شده اند و به صورت شعاعی می باشند . در نتیجه این دگرسانی کلسیت نیز تشکیل شده است .

کلسیت : این کانی در نتیجه سوسوریتزاسیون پلاژیوکلازها به همراه اپیدوت مشاهده می شود .

سریسیت و موسکویت : در اثر دگرسانی پلاژیوکلازها به وجود آمده اند و معمولاً در سطح آنها دیده می شوند . عمل تجزیه در مراکز پلاژیوکلازها شدت بیشتری داشته و تجمع سریسیت در آنجا بیشتر است.

کانی های رسی : معمولاً در سطح فلدسپاتهای آلکالن دیده می شوند و منظره ابرمانندی به آنها داده اند . این کانی ها بیشتر کائولن می باشند .

۴-۶ توف های ریولیتی

این سنگ ها در موج شکن شهید رجایی بکار رفته اند و رنگ آنها در نمونه های موج شکن کمی تیره شده است ولی در نمونه معادن تقریباً سفید رنگ می باشند. از خصوصیات بارز این توفها مزه شور آنها در نمونه دستی است که نشان دهنده وجود نمک در بافت این سنگ هاست . کانی مشخصی در نمونه دستی این سنگ ها شناخته نمی شود . بافت آن هم در نمونه دستی متراکم و بدون حفره می باشد .

این سنگ ها در زیر میکروسکوپ کاملاً ریز دانه بوده و شدیداً سربستی و کائولینیتی شده است. بررسی مقاطع میکروسکوپی این سنگ نشان می دهد که این سنگ از قطعات هلالی شکل شیشه های اسیدی (Shard) تشکیل شده است که در نور طبیعی به خوبی مشاهده می شود (تابلو شماره ۲، عکس شماره ۵). این سنگ ها بعداً در اثر حرارت ، تبلور مجدد یافته و به کانی هایی نظیر کوارتز و سانیدین تبدیل شده اند . پدیده شیشه زدایی در داخل زمینه سنگ به خوبی مشاهده می شود . فنوکریست عمده آنها کوارتز می باشد و کانی های کوچک سانیدین نیز در متن سنگ در زیر میکروسکوپ قابل تشخیص است . کانی های تشکیل دهنده این سنگها عبارتند از :

الف - کانی های اصلی

کوارتز: این کانی حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد کانی های سنگ را تشکیل می دهد . به صورت بلورهای نیمه شکل دار می باشند و بعضی از آنها دچار خوردگی شده اند . بلورهای کوارتز از لحاظ اندازه تقریباً هم بعد بوده و بسیار کوچکند .

پلاژیوکلاز: این کانی حدود ۱۵ درصد کانی های سنگ را تشکیل می دهند . به صورت بلورهای شکل دار تا بی شکل بوده و دارای ماکل پلی سنتتیک هستند . ترکیب آنها در حد آلبیت تا الیگوکلاز می باشد و در اثر تجزیه هیدروترمال به سربست ، کلسیت و اپیدوت تجزیه شده اند . عمل تجزیه به خصوص در مرکز پلاژیوکلازها که کلسیک تر هستند شدت بیشتری دارد .

سانیدین: این کانی ها بخش عمده کانی های سنگ را تشکیل می دهد. اندازه آنها بسیار کوچک بوده و به صورت بلورهای بی شکل تا کمی شکل دار دیده می شوند . دگرسانی در این کانی ها شدید بوده به طوری که منظره ابرمانندی در زمینه سنگ مشاهده می شود .

ب - کانی های فرعی

کانی های اپک: این کانی ها به مقدار کم و در داخل زمینه مشاهده می شوند . این کانی ها به صورت بلورهای بزرگ اولیه که احتمالاً پیریت بوده اند و دگرسان شده اند مشاهده می شوند .

ج - کانی های ثانویه

سربست: این کانی در اثر تجزیه پلاژیوکلازها تشکیل شده است و مقدار آنها بسیار کم می باشد.

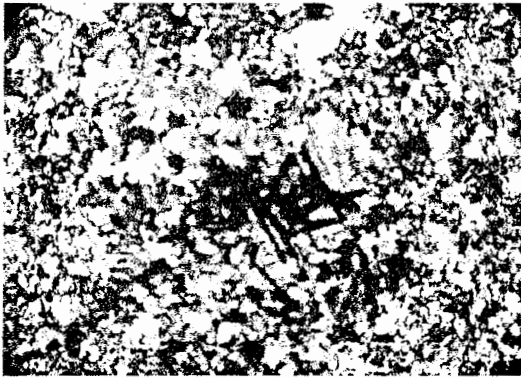
کلسیت: این کانی به مقدار کم در پلاژیوکلازهای دگرسان شده دیده می شود .



شکل ب



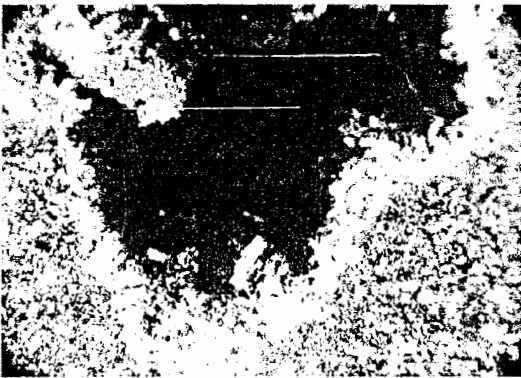
شکل الف



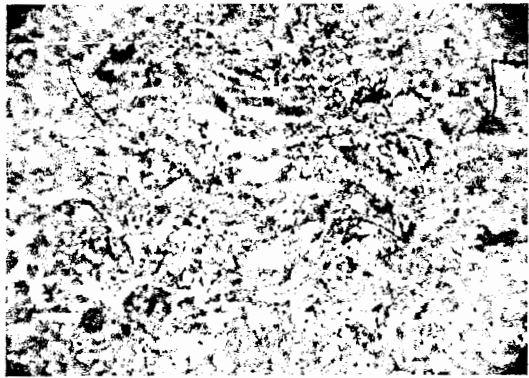
شکل د



شکل ج



شکل و



شکل هـ

تابلو (۲-۴)

اپیدوت : این کانی در اثر دگرسانی پلاژیوکلازها تشکیل شده است. در نتیجه این عمل کلسیت نیز تشکیل می شود .

کانی های رسی : در سطح اکثر سانیدین ها دیده می شوند و اکثراً از نوع کائولن می باشند. این کانی ها از تجزیه سانیدین حاصل شده اند و در اثر تشکیل آنها، فلدسپاتها مات و کدر شده و منظره ابر ماندی به خود گرفته اند.

ژیپس : به صورت بلورهای شکل دار و مستطیلی مشاهده می شوند. وجود ژیپس در ترکیب زمینه توف ها نشان دهنده هم زمانی تشکیل آنها، یعنی ورود یک ماگمای اسیدی و ته نشست هم زمان رسوبات تبخیری در حوضه رسوبی می باشد (تابلو شماره ۲، عکس شماره ۶).

در حقیقت وجود قطعات هلالی شکل شیشه در اثر سرد شدن سریع و قطعه قطعه شدن ماگما به علت تماس با آب موجود در رسوبات می باشد . کلیه بلورهای اولیه به جز کوارتز در این فعل و انفعالات دگرسان شده اند و خمیره ماگما در اثر تماس با آب و رسوبات سخت نشده به صورت شیشه در آمده است . اجزا شیشه ای همراه سایر کانی ها بعدها در اثر دفن شدن و حرکات تکتونیکی تبلور مجدد یافته اند .

۴-۷ بازالت ها

این سنگها در موج شکنهای شهید رجایی و بستانه و حسینه بکار رفته اند و در نمونه های دستی این سنگ ها تقریباً سبز رنگ و ریز بلور و متراکم اند و اکثراً حفره دار می باشند . حفرات موجود در این بازالتها در اثر متاسوماتیسم توسط کانی های ثانویه اپیدوت ، کلریت و کلسیت پر شده اند و در حفرات سنگ معمولاً اپیدوت در مرکز و کلریت در حواشی تشکیل شده است . در نتیجه دگرگونی متاسوماتیکی در این سنگ پاراژنز اپیدوت + کلریت + هورنبلند (در حد رخساره شیست سبز) دیده می شود که رنگ سبز نمونه دستی آن به علت حضور همین کانی هاست . حفره ها احتمالاً در قسمت های سطحی به هنگام سرد شدن در محیط رسوبی به وجود آمده اند و سنگ اولیه یک بازالت متخلخل بوده است . در مقطع میکروسکوپی بافت پورفیری با زمینه افیتیک دارند ، که بافت افیتیک در اینجا ناشی از رشد پلاژیوکلاز و پیروکسن است که پیروکسن ها اکثراً در اثر دگرسانی از بین رفته اند (تابلو شماره ۳، عکس شماره ۱) . کانی های اصلی سنگها عبارتند از :

الف - کانی های اصلی

پلاژیوکلاز : به صورت بلورهای نیمه شکل دار بوده و دچار آلتراسیون زیادی شده اند و بیشتر به اپیدوت ، کلریت ، کلسیت و سریسیت تجزیه شده اند و معمولاً به صورت ریز بلور دیده می شوند . ترکیب آنها بیشتر لابرادوریت و بنتونیت می باشد .

پیروکسن : این کانی بیشتر به صورت بلورهای کوچک نیمه شکل داردیده می شود و در این سنگ ها معمولاً به طور کامل تجزیه و به مجموعه کلریت ، اپیدوت و کلسیت تبدیل شده اند .

الیون : این کانی در اکثر سنگ های بازالتی مشاهده می شود ولی در این سنگ ها کانی الیون سالم مشاهده نمی شود چون کاملاً آلتزه شده است و تبدیل به کلریت شده است (بولنژیتی شدن).

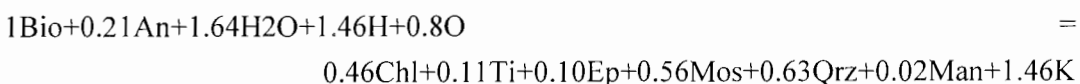
هورنبلند قهوه ای : به صورت بلورهای نیمه شکل دار و قهوه ای دیده می شود که کمی دچار دگرسانی شده و تبدیل به کلریت شده اند .

ب- کانی های ثانویه :

کوارتز : این کانی به صورت بلورهای کوچک بی شکل به صورت ثانویه در داخل حفرات تشکیل شده است و دارای خاموشی موجی بوده و بافت بادامکی دارند . این کوارتزها دارای یک حاشیه واکنشی از شیشه کلریتی شده می باشند .

کلریت : به عنوان یک محصول آلتراسیون در اینجا وجود دارد و بیشتر به رنگ آبی مشاهده می شود که علاوه بر الیون از دیگر کانی های فرومنیزین هم بوجود می آید و به صورت فراوان در متن سنگ دیده می شود و عمدتاً از نوع کلینوکلر می باشد (تابلو شماره ۳، عکس شماره ۲) .

دردهماهای پایین تا متوسط ، بیوتیت به راحتی به کلریت تبدیل می شود. فراورده حاصل مجموعه ای از لایه های کلریت است که در بین لایه های بیوتیت قبلی قرار گرفته اند. اگلتون و بنفیلد (۱۹۸۵) برای کلریتیزاسیون در گرانیات (در دمای ۳۴۰ درجه سانتیگراد) واکنش زیر را پیشنهاد می کنند:



یون K آزاد شده از بیوتیت باعث سریسیتی شدن پلاژیوکلاز می شود و کلسیم خارج شده از پلاژیوکلاز نیز در تولید اپیدوت و تبتانیت مصرف می شود که تمام اینها به صورت مخلوط با هم . در سیلیکاتهای صفحه ای قرار گرفته اند. در طی واکنش مزبور. منیزیم حفظ می شود و دو لایه بیوتیت تبدیل به یک

لایه کلریت می شود. بنابر این نیمی از صفحات تتراهدراال حفظ می شوند و نیم دیگر از بین می روند. کلریت در دماهای پایین تا متوسط به صورت یک محصول دگرسانی نه فقط از بیوتیت، بلکه از پیروکسن، آمفیبول و گارنت نیز تشکیل می شود.

اپیدوت: این کانی هم به فراوانی در متن سنگ مشاهده می شود و اکثراً در اثر دگرسانی پلاژیوکلازها و پیروکسن ها به وجود آمده اند و بیشتر رنگ سبز دارند.

کانی های رسی: عمدتاً از نوع کائولینیت بوده و تقریباً در تمامی زمینه سنگ دیده می شوند. به طور کلی آلتراسیون و کانی های محصول آن، چهره کانی شناسی و ظاهری سنگ های بازالتی گنبدیهای نمکی را تغییر داده است و با توجه به کانی شناسی بازالتها و محصولات آلتراسیون می توان گفت که بازالتهای موجود در گنبدیهای نمکی یک آلتراسیون هیدرونرمال با دمای بیش از ۷۰ درجه و در حد رخساره دگرگونی پرهنیت- پامپلی ئیت و حد اکثر تا حد زیرین شپست سبز (در نمونه های واجد اکتینولیت) در دمای حد اکثر تا ۳۲۰°C را متحمل شده اند (مرادی ۱۳۸۲).

۴-۸ سنگ های گابرویی و دیابازی

این گروه سنگ ها از گابروی گرانولار دانه درشت تا میکروگابرو (دیاباز) متغیر می باشند. این سنگها بعلت عدم بلوک دهی بیشتر در لایه مغزه موج شکنها بکار رفته اند و در موج شکنهای کنگ و لنگه و بستانه دیده می شوند. این سنگ ها در نمونه دستی به رنگ سبز تیره و روشن و ماسیو می باشند و کانی های سبز رنگ ثانویه مثل کلریت و اپیدوت در آنها مشخص می باشند. در مقطع نازک این سنگ ها معمولاً بافت گرانولار و افتیک دارند و شدیداً تجزیه شده اند (تابلو شماره ۳، عکس شماره ۳ و ۴). کانی های تشکیل دهنده این سنگ ها عبارتند از:

الف- کانی های اصلی

پلاژیوکلاز: به صورت بلورهای دراز نیمه شکل دار تا شکل دار با ماکل پلی سنتیک دیده می شوند که دچار دگرسانی شده اند. این دگرسانی معمولاً از نوع سوسوریت بوده و پلاژیوکلاز به اپیدوت، کلسیت و سیریسیت تجزیه شده اند (تابلو شماره ۳، عکس شماره ۵).

پیروکسن: این کانی به صورت بلورهای نیمه شکل دار بوده که دچار دگرسانی دویتریک شده و بیشتر به اورالیت (ترمولیت، اکتینولیت) و کلریت و اپیدوت تجزیه شده اند (تابلو شماره ۳، عکس

شماره ۶). اورالیتی شدن نوعی از آلتراسیون هیدروترمال می باشد که محصول آن اورالیت است. که عبارت از جایگزینی تقریباً یکنواخت پیروکسن با آمفیبول می باشد. اگر چه بین آمفیبول و پیروکسن که دارای طول زنجیره مساوی و محورهای C موازی هستند، روابط کم و بیش یکنواختی حکمفرماست ولی گاهی اوقات نواحی غیریکنواختی نیز پدید می آید که در آنجا مواد ترمولیتی در جهات مختلف رشد می کنند و به صورت توده نسبتاً درهمی از ذرات سوزنی رشد می کنند که این خود حاکی از ماهیت ثانویه فرایند مزبور است.

اولیوین : این کانی به سختی به صورت سالم مشاهده می شود و بیشتر به صورت بلورهای منفرد و شدیداً تجزیه شده دیده می شوند که در حال تبدیل به کلریت ، اپیدوت و سرپانتین می باشند .
آمفیبول : این کانی عمدتاً به صورت بلورهای سوزنی و کشیده (اکتینولیت) قابل مشاهده بوده که در نور طبیعی رنگ سبز دارند . این بلورها در بعضی نقاط کاملاً سالم بوده و مقداری به کلریت تجزیه شده اند .

ب- کانی های فرعی

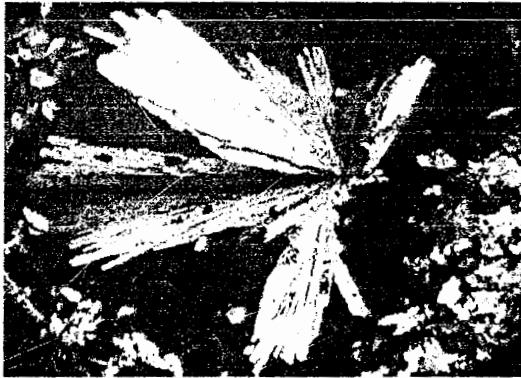
کانی / پک : این کانی ها به صورت تیغه ای در سنگ پراکنده اند و اکثراً شامل اکسید آهن و از نوع منیتیت می باشند و به صورت موازی با هم دیده می شوند .

ج- کانی های ثانویه

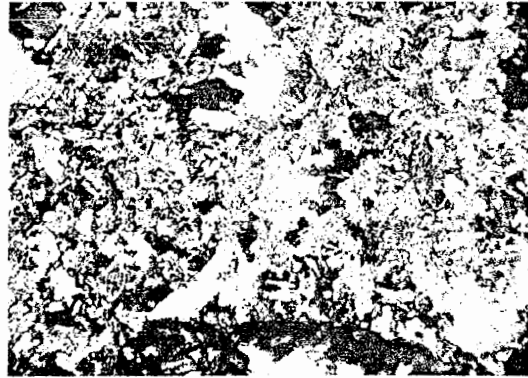
کلریت : این کانی در نتیجه دگرسانی آمفیبول و پیروکسن و اولیوین تشکیل شده است و این کانی همچنین می تواند از تجزیه و دگرسانی پلاژیوکلازها نیز حاصل شود .

اپیدوت : این کانی در نتیجه دگرسانی پلاژیوکلاز تشکیل شده است و در نتیجه این عمل کلسیت نیز تشکیل شده است .

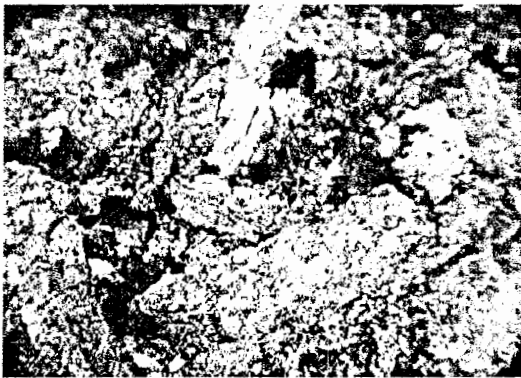
کلسیت : این کانی در نتیجه دگرسانی سوسوریتی پلاژیوکلازها به همراه اپیدوت مشاهده می شوند و در اینجا به صورت بلورهای نسبتاً کوچک می باشند .



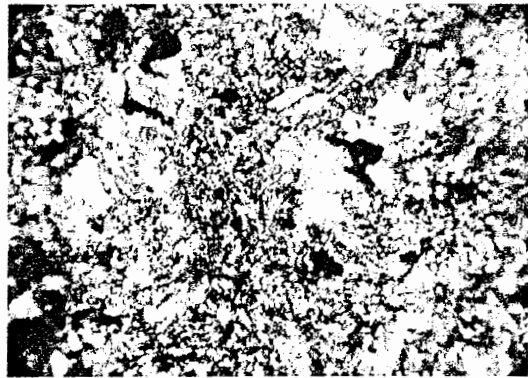
شکل ب



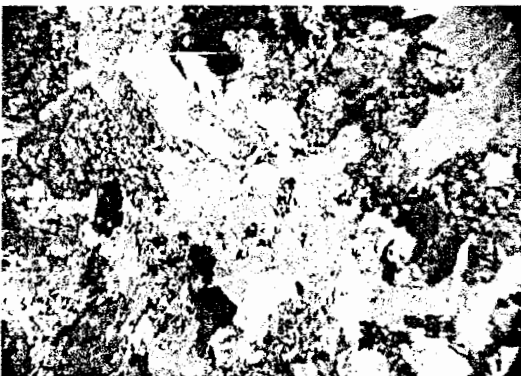
شکل الف



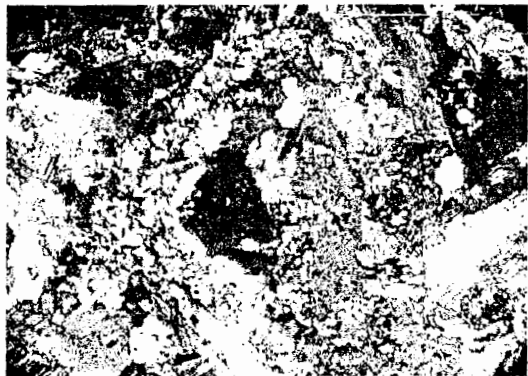
شکل د



شکل ج



شکل و



شکل هـ

تابلو (۳-۴)

۴-۹ گرانیت ها و گرانودیوریت ها

این سنگها در موج شکنهای بندر لنگه و کنگ بکار رفته اند و در نمونه دستی بیشتر سفید و خاکستری رنگ بوده و بافت گرانولار و افیتیک نشان می دهند و فنوکرستهای کوارتز و پلاژیوکلاز در آنها قابل مشاهده است . در مقاطع میکروسکوپی بافت آنها گرانولار و میکروگرانولار و پورفیروئیدی می باشد (تابلو شماره ۴، عکس شماره ۱). فنوکرستهای اصلی آن کوارتز ، پلاژیوکلاز و فلدسپات آلکالن می باشند. کانی های تشکیل دهنده این سنگها عبارتند از :

الف - کانی های اصلی :

کوارتز: این کانی به صورت بلورهای نیمه شکل دار تا بی شکل می باشند . بیشتر به صورت فنوکرست دیده می شوند و در بعضی از آنها شکستگی دیده می شود.

پلاژیوکلاز: این کانی نیمه شکل دار و طویل بوده و دارای ماکل پلی سنتتیک می باشند . ترکیب آنها در حد آلبيت تا الیگوکلاز می باشد و عمدتاً "سوسوریتی" شده اند و به اپیدوت ، کلسیت و سرپسیت تجزیه شده اند و معمولاً همراه با همین کانی ها مشاهده می شوند (تابلو شماره ۴، عکس شماره ۲). این کانی ها در بعضی مقاطع یک رشد دو مرحله ای را نشان می دهند که پلاژیوکلاز در مرکز و ارتوز در حاشیه می باشد.

فلدسپات آلکالن: این کانی به صورت بلورهای شکل دار و بین دانه ای بوده و ترکیب آنها بیشتر ارتوز می باشد که ماکل کارلسباد را نشان می دهند . فلدسپاتها هم تجزیه شده اند و بیشتر به سرپسیت و کانی های رسی تبدیل شده اند و به طور کلی دگرسانی فلدسپاتها کم است .

اسفن: این کانی بصورت بلورهای شکل دار و لوزی شکل و بزرگ و قهوه ای رنگ دیده می شود. این کانی جزء کانی های اصلی سنگ بوده و در وسط آن تیغه هایی از مگنتیت تیتانیوم دار دیده می شود (تابلو شماره ۴، عکس شماره ۳).

ب - کانی های فرعی

بیوتیت: به صورت بلورهای نیمه شکل دار و قهوه ای دیده می شود که کمی هم تجزیه شده و تبدیل به کلریت شده اند .



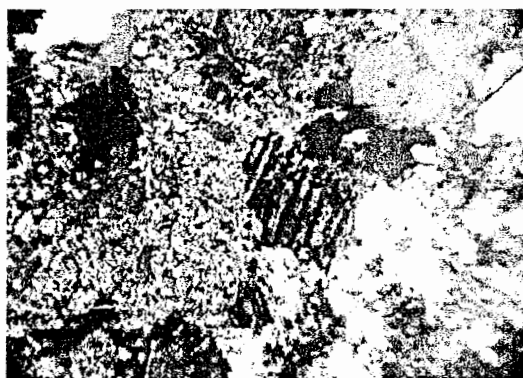
شکل ب



شکل الف



شکل د



شکل ج



شکل هـ

تابلو (۴-۴)

ج - کانی های ثانویه

کلریت : این کانی اکثراً در نتیجه دگرسانی کانی های فرومنیزین و سوسوریتی شدن پلاژیوکلازها به وجود آمده است.

اپیدوت : این کانی به صورت بی شکل و سبز رنگ بوده و معمولاً همراه با کلریت و پلاژیوکلاز می باشند.

کلسیت : این کانی در نتیجه دگرسانی پلاژیوکلازها به همراه اپیدوت مشاهده می شود.

کانی های رسی : سطح اکثر فلدسپاتهای آلکالن را پوشانده اند و اکثراً از نوع کائولن می باشند . مات و کدر شده می باشند و منظره ابر ماندی به فلدسپات داده اند . این کانی ها در اثر تجزیه فلدسپاتها حاصل شده اند .

آپاتیت : به صورت بلورهای کشیده و سوزنی در متن سنگ مشاهده می شوند (تابلو شماره ۴، عکس شماره ۴). بلورهای آپاتیت در محیط متعادل و در مجاور یک فاز مایع معمولاً کوتاه بوده واز انتها به هرمهایی ختم می شود که یالهای گرد شده وسطوح شکسته دارد. بلورهای آپاتیت در محیطی که به سرعت سرد شوند ، بسیار طویل بوده و حالت سوزنی و کشیده دارد (براون، ۲۰۰۱).

کانی / پیک : این کانی ها بیشتر از نوع پیریت بوده و به رنگ قرمز دیده می شود و در حال هماتیستی شدن می باشند. (تابلو شماره ۴، عکس شماره ۵).

۴-۱۰ داسیت ها

این سنگها در موج شکنهای بندر شهید رجایی و بستانه بکار رفته اند و در نمونه دستی به رنگ سفید تا صورتی بوده و بلورهای درشت پلاژیوکلاز و کوارتز به خوبی در آنها قابل تشخیصند. این سنگها در زیر میکروسکوپ اغلب بافت پورفیری ، گلوپورفیری دارند و فنوکریستها در یک زمینه متشکل از بلورها و اکسید آهن قرار دارند. کانی های تشکیل دهنده سنگها عبارتند از:

الف - کانی های اصلی

کوارتز: این کانی بصورت بلورهای بزرگ نیمه شکل دار تا شکل دار دیده می شوند و گاهی اندازه آنها به ۲ تا ۳ میلیمتر می رسد. کوارتز ها معمولاً دارای شکستگی بوده و بعضی از آنها با ماگما واکنش داده و دارای حاشیه خلیجی می باشند.

پلاژیوکلاز: این کانی به صورت بلورهای بزرگ نیمه شکل دار تا شکل دار دیده می شود. ترکیب آنها در حد آلبیت تا الیگوکلاز می باشد و به سه صورت کاملاً سالم، سریسیتی شده، اپیدوتی شده، در مقاطع دیده می شوند. پلاژیوکلازهای سریسیتی شده معمولاً همراه با کلسیت می باشند (تابلو شماره ۵، عکس شماره ۱). حالت رشد دو مرحله ای و بافت غربالی نیز در بعضی از پلاژیوکلازها دیده می شود (تابلو شماره ۵، عکس شماره ۳).

سانیدین: مقدار این کانی بسیار کم بوده و معمولاً به صورت بلورهای نیمه شکل دار می باشند. این کانی ها کمی به سریسیت تجزیه شده اند.

بیوتیت: این کانی به صورت بلورهای نیمه شکل دار و قهوه ای دیده می شود که تجزیه شده و تبدیل به کلریت شده اند (تابلو شماره ۵، عکس شماره ۲).

ب- کانی های ثانویه:

کلریت: این کانی معمولاً حاصل تجزیه کانیهای فرومنیزین بوده و به رنگ سبز تا آبی دیده می شوند. در بعضی مقاطع کلریت همراه با اسفن می باشد که احتمالاً ناشی از تجزیه هورنبلند تیتانیوم دار می باشد (تابلو شماره ۵، عکس شماره ۳).

اسفن: این کانی بصورت بلورهای لوزی شکل و قهوه ای رنگ و با برجستگی زیاد دیده می شوند. این کانی معمولاً با کلسیت همراه می باشد. اسفن ناشی از تخریب کانیهای تیتانیوم دار ایجاد شده است.

سریسیت: این کانی ناشی از تجزیه پلاژیوکلازها بوده و بیشتر در داخل آنها دیده می شود (تابلو شماره ۵، عکس شماره ۴).

اپیدوت: این کانی ناشی از تجزیه پلاژیوکلازها بوده و در کنار آنها مشاهده می شود.

کلسیت: این کانی بصورت بلورهای نیمه شکل دار و پراکنده در سنگ دیده می شوند و ناشی از تجزیه پلاژیوکلازها می باشند.

۴-۱۱ سینیت ها

این سنگها در موج شکن بندر شناس و کنگ بکار رفته اند. در نمونه دستی معمولاً صورتی رنگ بوده و بلورهای درشت ارتوز و اکسید آهن (الیژیست) در آنها قابل مشاهده می باشند و معمولاً دارای بافت

گرانولار و اینترگرانولار بوده و دارای خلل و فرج فراوان می باشند (تابلو شماره ۵، عکس شماره ۶). کانی های تشکیل دهنده سنگ عبارتند از:

الف - کانی های اصلی:

فلدسپات آلکالن: این کانی به صورت بلورهای نیمه شکل دار تا شکل دار و طویل بوده که بصورت درهم رشد کرده اند و اینترگرانولار را ایجاد کرده اند و بین آنها را کانی های ثانویه مثل کلریت و اپیدوت پر کرده اند. ترکیب آنها از نوع ارتوز بوده و در حال تجزیه به سریسیت می باشند. این تجزیه نشاندهنده آلتراسیون هیدروترمال بوسیله محلولهای قلیایی می باشد (تابلو شماره ۵، عکس شماره ۷).

پلاژیوکلاز: این کانی بصورت بلورهای شکل دار تا نیمه شکل دار می باشد. درصد این کانی در سنگ خیلی کم می باشد. پلاژیوکلازها دارای ترکیب آندزین بوده و اکثراً به اپیدوت و کلسیت تبدیل شده اند.

ب - کانی های ثانویه

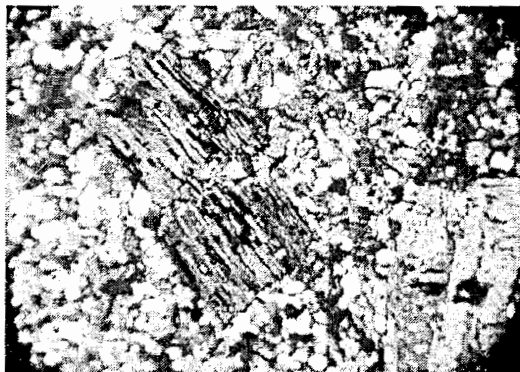
کلسیت: این کانی ناشی از تجزیه پلاژیوکلاز می باشد. (تابلو شماره ۵، عکس شماره ۸).

کلریت: این کانی در اثر تجزیه پلاژیوکلازها ایجاد شده است.

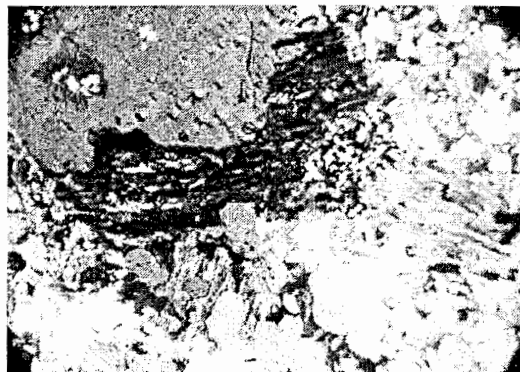
سریسیت: این کانی ناشی از تجزیه فلدسپاتهای آلکالن بوده و بیشتر در داخل آنها دیده می شود.

اپیدوت: این کانی بصورت بی شکل و سبز رنگ بوده و حاصل دگرسانی پلاژیوکلازها می باشند.

کانی / پک: این کانی ها بیشتر اکسیدهای آهن (هماتیت و الیژست) می باشند که در داخل سنگ به صورت پراکنده دیده می شوند.



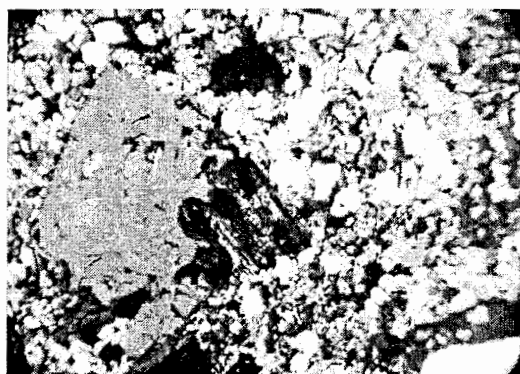
شکل ب



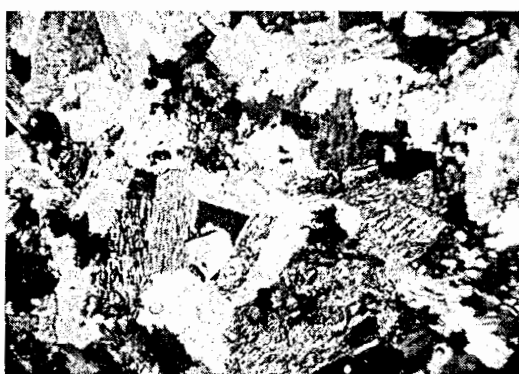
شکل الف



شکل د



شکل ج



شکل و



شکل هـ

تابلو (۴-۵)

۴-۱۲ نتایج حاصل از مطالعه پتروگرافی:

نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی نشان می دهد که:

- ۱- سنگهای منطقه مزبور از نظر سنگ شناسی متنوع بوده، وشامل ریولیت،توف ریولیتی،بازالت،گابرو و دیاباز،داسیت،سینیت،ایگنیمبریت وگرانودیوریت میباشد.
- ۲- وجود کانیهای ثانوی فراوان نظیر کانیهای رسی، سربیسیت، اپیدت، کلسیت و در اکثر نمونه ها بیانگر عملکرد آلتراسیون هیدروترمال دمای پایین است. فعالیت گسلها و همچنین شکستگیهای ناشی از آنها به دلیل فراهم آوردن فرصت لازم جهت چرخش محلولها بر شدت آلتراسیون هیدروترمال افزوده است.همچنین در محیط موج شکن نیز به دلیل هوازدگی نمک سنگها کمی دچار هوازدگی شده اند،ولی بدلیل هوازدگی زیاد سنگهای برداشت شده از گنبدهای نمکی،این هوازدگی به طور روشنی مشاهده نمی شود.
- ۳- با توجه به مقایسه میزان کانی های ثانویه در نمونه های سنگی معادن ونمونه های بکار رفته در محیط موج شکن ها، گابروها ، سینیت ها و گرانودیوریت ها کمتر دچار هوازدگی شده اند ولی توفهای ریولیتی و ریولیتها کمی بیشتر هوازده شده اند، داسیتها وبازالتها بسیار هوازده شده اند.
- ۴- کانه زایی وابسته به این توده ها از گسترش و اهمیت کمی برخوردار بوده و منحصر به معدود رگه های الیزیت، مگنتیت و پیریت در سنگهای مذکور میباشد.

فصل پنجم

آزمایشات مقاومتی و دوام داری بر روی نمونه ها

۱-۵ مقدمه:

در مطالعه حاضر از تعداد ۴۸ نمونه برداشت شده از موج شکنها و معادن سنگ، تعداد ۴۴ نمونه سنگی جهت انجام آزمایشات مقاومت و دوام داری انتخاب شدند

در جدول (۱-۵) لیست آزمایشات انجام شده بر روی نمونه ها ارائه شده است. روش انجام آزمایشات و نحوه انجام محاسبات آنها بطور خلاصه در جدول (۲-۵) آمده است.

جدول (۱-۵)، فعالیتهای آزمایشگاهی انجام شده

نوع آزمایش	تعداد انجام آزمایش	استاندارد آزمایش
تعیین خواص فیزیکی نمونه ها	۴۴	ISRM
مقاومت فشاری تک محوری	۳۴	ASTM.D 2938
تعیین سرعت صوت	۲۶	ASTM.D 2845
تعیین شاخص دوام	۱۹	ASTM.D 4644
تعیین مدول یانگ	۳۴	ASTM.D 3148
تعیین ارزش ضربه ای	۱۸	B.S-812
سلامت سنگ	۲۸	B.S-812
تهیه مقطع نازک	۶۰	×
تعیین میانگین اندازه دانه	۲۴	×
آنالیز مودال	۶	×
آنالیز XRF و XRD	۲۴	×
مجموع	۳۱۷	

جدول (۵-۲)، شرح مختصری از آزمایشات انجام شده (ASTM, ISRM)				
محاسبات	مراحل	نمونه	استاندارد	آزمایش
$\rho_d = \frac{M_s}{V}, V_r = \frac{M_{sat} - M_s}{\rho_w}, V = \frac{M_{sat} - M_{sub}}{\rho_w}$ $W_w = M_{sat} - M_s, \rho_{sat} = \frac{M_s + V_v \rho_w}{V}, \rho_d = \frac{M_s}{V}$ $W_a = \frac{W_w}{M_s} * 100, n = \frac{100V_v}{V}, W_w = M_{sat} - M_s$	۱- توزین نمونه در حالت خشک (Ms) ۲- اشباع نمونه ۳- توزین نمونه در حالت اشباع (Msat) ۴- توزین نمونه در حالت غوطه وری (Msub)	قطعات کوچک با ابعاد ۱۰ برابر بزرگترین دانه	ISRM	تعیین خصوصیات فیزیکی
$Id_2 = \frac{C-D}{A-D} * 100$ شاخص دوام و ارتنگی بعد از دو سیکل (/) A: جرم خشک اولیه استوانه و نمونه (gr) D: جرم استوانه مشبک (gr) C: جرم خشک نهایی نمونه و استوانه (gr)	۱- خشک کردن نمونه و نمونه در گرمخانه با دمای ۱۰۵ درجه و توزین آنها (A) ۲- قرار دادن استوانه مشبک و نمونه در تشت ۳ دوران استوانه به تعداد ۲۰۰ دور در ۱۰ دقیقه ۴- خشک کردن نمونه و توزین آن (C) ۵- تکرار مراحل فوق در ۱۵ سیکل	۱۰ قطعه سنگ ۶۰ تا ۴۰ گرمی و ۴۵۰ کلی تا ۵۵۰ گرم	ISRM, ASTM D4644	شاخص دوام و ارتنگی
$V_s = \frac{d}{t_s}, V_p = \frac{d}{t_p}$ سرعت موج (m/s): V زمان گذر موج: t فاصله بین فرستنده و گیرنده (طول نمونه) (m): d	۱- اندازه گیری طول نمونه ۲- کالیبره نمودن دستگاه ۳- قرار دادن ترانس دیوسرها روی نمونه ۴- ارسال موج و اندازه گیری زمان گذر موج از نمونه	مغزه های استوانه ای با نسبت طول به قطر ۲،۵ تا ۳ و قطر حداقل ۵۴ میلیمتر	ISRM, ASTM D2845	سرعت موج صوتی
$E = \frac{\sigma}{\epsilon}, \sigma = \frac{F * 1000}{A}, \epsilon = \frac{\Delta L * 0.01}{H}, \sigma_c = \frac{F}{A}$ مقاومت فشاری تک محوری (Pa یا kPa یا Mpa): σ_c حداکثر بار وارده (MN یا kN یا N): F سطح مقطع اولیه نمونه (m ²): A	۱- استقرار نمونه و صفحات بارگذاری در دستگاه ۲- افزایش پیوسته بار و ثبت مقادیر بار وارده و میزان ΔL از روی گیجهای مربوطه ۳- ثبت حداکثر نیروی اعمالی	مغزه های استوانه ای با نسبت طول به قطر ۲،۵ تا ۳ و قطر حداقل ۵۴ میلیمتر	ISRM, ASTM D2938	مقاومت فشاری تک محوری

محاسبات	مراحل	نمونه	استاندارد	آزمایش
$I_s = \frac{P}{D^2}$ $I_s = \text{اندیس بار نقطه ای}$ $P = \text{بار ماکزیمم ثبت شده}$ $D = \text{قطر نمونه یا فاصله نقاط بارگذاری}$	۱- اندازه گیری طول و قطر نمونه ۲- قرار دادن نمونه بین فکهای دستگاه ۳- اعمال پیوسته بار تا زمان شکست نمونه ۴- ثبت بار حداکثر	آزمایش قطری: استوانه ای با نسبت $L/D > 1$ آزمایش محوری: استوانه ای با نسبت $L/D < 1$	ISRM ASTM D5731	مقاومت بار نقطه ای
$(A.I.V) = \frac{A}{B} \cdot 100$	۱- خشک کردن نمونه ها در گرمخانه بمدت ۶ ساعت ۲- توزین نمونه ها (A) و جام دستگاه ۳- ریختن نمونه ها در جام و متراکم کردن آنها ۴- قرار دادن جام در جای خود و توسط چکش دستگاه واز ارتفاع معین ۱۵ ضربه وارد می کنیم. ۵- نمونه را روی الک ۸ ریخته و مقدار رد شده از الک را وزن می کنیم (B).	قطعات سنگی که از الک $\frac{1}{2}$ - اینچ رد شده و روی الک $\frac{3}{8}$ - اینچ باقی می ماند	B. S-812	ارزش ضربه ای
$R = \frac{C-B}{A} \cdot 100$ $R = \text{درصد کاهش وزن}$ $A = \text{وزن نمونه اولیه قبل از آزمایش}$ $B = \text{وزن نمونه بعد از هر آزمایش}$ $C = \text{وزن نمونه قبل از هر آزمایش}$	۱- انحلال سولفات سدیم در آب و انتخاب نمونه هایی با ابعاد کوچکتر از ۶۳ میلیمتر و بزرگتر از ۳۷.۵ میلیمتر ۲- شستن نمونه و خشک کردن در گرمخانه بمدت ۴ ساعت و سپس توزین نمونه اولیه (A). ۳- قرار دادن نمونه در داخل سبد و سپس سبد را در داخل محلول به مدت ۱۹ ساعت قرار داده و سپس نمونه را در گرمخانه بمدت ۴ ساعت خشک می شود. ۴- توزین نمونه (B). ۵- تکرار مراحل فوق در ۱۵ سیکل	قطعات کوچک با ابعاد ۱۰ برابر بزرگترین دانه	B. S-812	سلامت سنگ

ادامه جدول (۳-۵)

۳-۵ بررسی آزمایشات انجام شده و نتایج آنها :

۳-۵-۱ آزمایشهای تعیین خصوصیات فیزیکی: آزمایشات فیزیکی شامل تعیین درصد جذب آب،

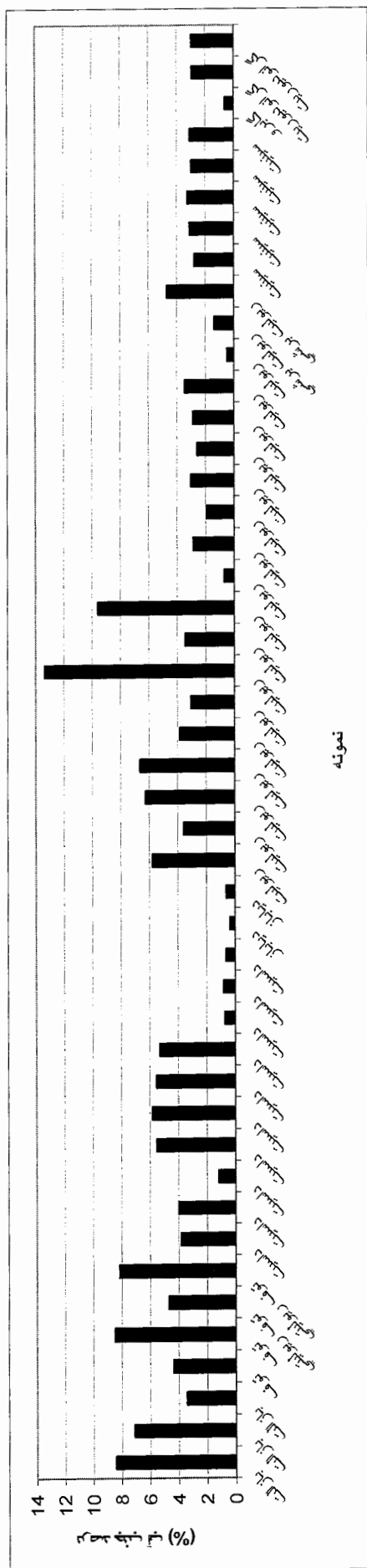
درصد تخلخل، چگالی خشک و اشباع و وزن مخصوص نمونه های برداشت شده می باشد (جدول ۳-۵).

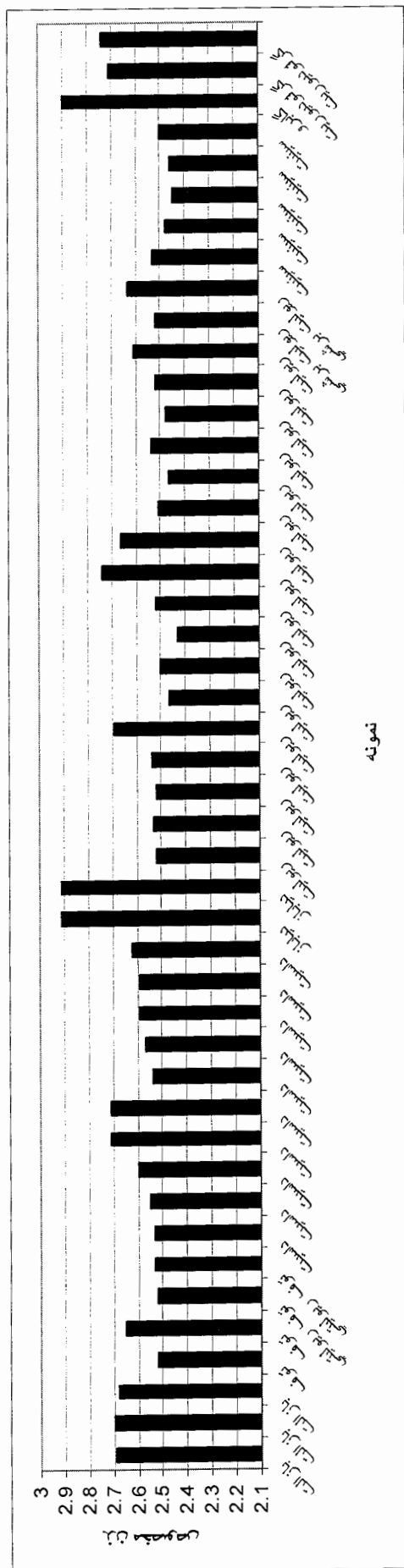
جدول (۳-۵)، نتایج حاصل از انجام آزمایش تعیین خصوصیات فیزیکی سنگ ها

ردیف	نام سنگ	محل نمونه برداری	جذب آب (%)	تخلخل (%)	چگالی اشباع (gr/cm^3)	چگالی خشک (gr/cm^3)	وزن مخصوص
1	توف ریولیتی	رجایی	4.71	10.64	2.318	2.213	2.52
2	توف ریولیتی	رجایی	8.16	17.09	2.323	2.256	2.53
3	توف	رجایی	4.37	9.92	2.322	2.225	2.52
4	ریولیت	رجایی	5.79	12.74	2.284	2.259	2.52
5	ریولیت	رجایی	3.6	8.33	2.354	2.272	2.53
6	داسیت	رجایی	3.83	8.83	2.349	2.263	2.53
7	داسیت	رجایی	3.99	9.23	2.359	2.269	2.55
8	سینیت	شناس	2.78	20.85	2.418	2.258	2.53
9	سینیت	شناس	3.11	24.08	2.385	2.238	2.48
10	سینیت	شناس	3.25	22.18	2.284	2.241	2.45
11	ریولیت	رجایی	6.27	22.71	2.366	2.237	2.52
12	ریولیت	رجایی	6.64	22.72	2.443	2.231	2.54
13	ریولیت	رجایی	3.86	24.81	2.49	2.389	2.69
14	ریولیت برشی	رجایی	1.38	24.19	2.461	2.386	2.52
15	ریولیت برشی	رجایی	4.69	24.03	2.398	2.296	2.63
16	ریولیت	رجایی	3.06	23.24	2.303	2.255	2.47
17	ریولیت	رجایی	13.38	20.85	2.407	2.339	2.5
18	ریولیت	رجایی	3.47	22.75	2.277	2.198	2.43
19	سینیت	شناس	2.99	23.16	2.385	2.229	2.46
20	سینیت	شناس	3.07	23.47	2.321	2.277	2.5
21	ریولیت	رجایی	9.59	21.81	2.346	2.29	2.52
22	گرانودیوریت	کنگ	2.94	5.71	2.542	2.478	2.71
23	ریولیت	باهنر	0.71	1.9	2.654	2.636	2.74
24	ریولیت	باهنر	2.89	7.13	2.489	2.419	2.66
25	داسیت	بستانه	1.19	3	2.506	2.476	2.6
26	داسیت	بستانه	5.53	24.4	2.363	2.312	2.71
27	داسیت	بستانه	5.83	24.3	2.304	2.296	2.71
28	ریولیت	باهنر	1.95	4.67	2.395	2.349	2.51

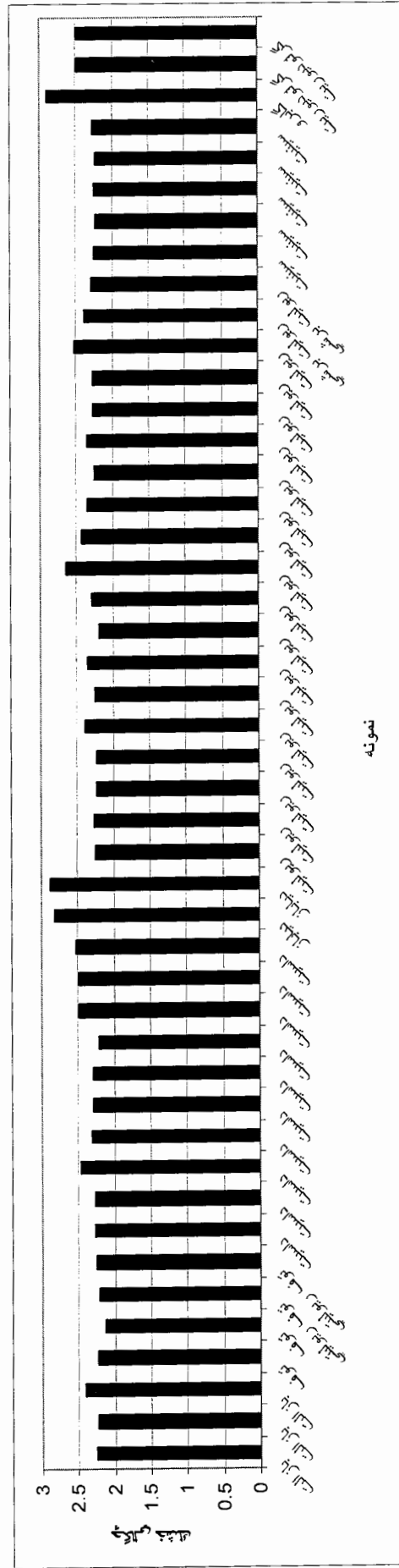
ردیف	نام سنگ	محل نمونه برداری	جذب آب (%)	تخلخل (%)	چگالی اشباع (gr/cm ³)	چگالی خشک (gr/cm ³)	وزن مخصوص
29	ریولیت	باهنر	3.05	7.02	2.326	2.257	2.47
30	ریولیت	باهنر	2.59	6.18	2.399	2.339	2.54
31	ریولیت	باهنر	2.9	6.7	2.332	2.267	2.48
32	داسیت	بستانه	5.53	12.33	2.308	2.287	2.54
33	داسیت	بستانه	5.31	12	2.333	2.215	2.57
34	دیاباز	لنگه	0.37	1.05	2.834	2.824	2.91
35	ریولیت	رجایی	3.46	8.04	2.356	2.277	2.52
36	دیاباز	کنگ	0.62	1.81	2.904	2.886	2.91
37	بازالت	حسینه	8.41	18.44	2.331	2.251	2.69
38	بازالت	حسینه	7.12	16.11	2.379	2.221	2.7
39	بازالت	حسینه	3.44	8.45	2.491	2.408	2.68
40	گرانودیوریت	کنگ	2.97	7.51	2.556	2.482	2.74
41	ریولیت	رجایی	0.5	1.29	2.539	2.526	2.61
42	داسیت	رجایی	0.75	1.91	2.511	2.492	2.59
43	گابرو	لنگه	0.64	1.9	2.917	2.898	2.9
44	توف	حسینه	8.48	18.38	2.305	2.125	2.65
45	داسیت	رجایی	0.83	2.11	2.508	2.488	2.59
46	داسیت	رجایی	0.65	1.67	2.547	2.531	2.62
47	کوارتز مونزونیت	حسینه	2.80	6.92	2.491	2.424	2.651
48	کوارتز مونزونیت	حسینه	2.63	6.58	2.515	2.450	2.67
49	گابرو	بستانه	0.98	1.71	2.863	2.832	2.89
50	گابرو	لنگه	0.55	1.53	2.708	2.693	2.79

با توجه به به جدول (۳-۵)، میانگین جذب آب نمونه ها برابر ۴/۰۴٪ بوده و بیشترین مقدار جذب آب (۱۳/۳۸) متعلق به یک نمونه ریولیت از بندر شهید رجایی و کمترین میزان جذب آب (۰/۳۷) متعلق نمونه دیابازی از بندر لنگه می باشد. میانگین تخلخل نمونه ها ۱۳/۷۵٪ بوده و بیشترین تخلخل (۲۴/۸۱) متعلق به یک نمونه ریولیت از بندر شهید رجایی و کمترین تخلخل (۱/۰۵) متعلق به نمونه دیابازی از بندر لنگه می باشد. میانگین وزن مخصوص نمونه ها ۲/۵۸ بوده و بیشترین وزن مخصوص (۲/۹۱) متعلق به یک نمونه دیابازی از بندر لنگه و کمترین وزن مخصوص (۲/۴۳) متعلق به یک نمونه ریولیت از بندر شهید رجایی می باشد.





شکل (۳-۵)، هیستوگرام مربوط به مقادیر وزن مخصوص نمونه ها



شکل (۴-۵)، هیستوگرام مربوط به مقادیر چگالی خشک نمونه ها

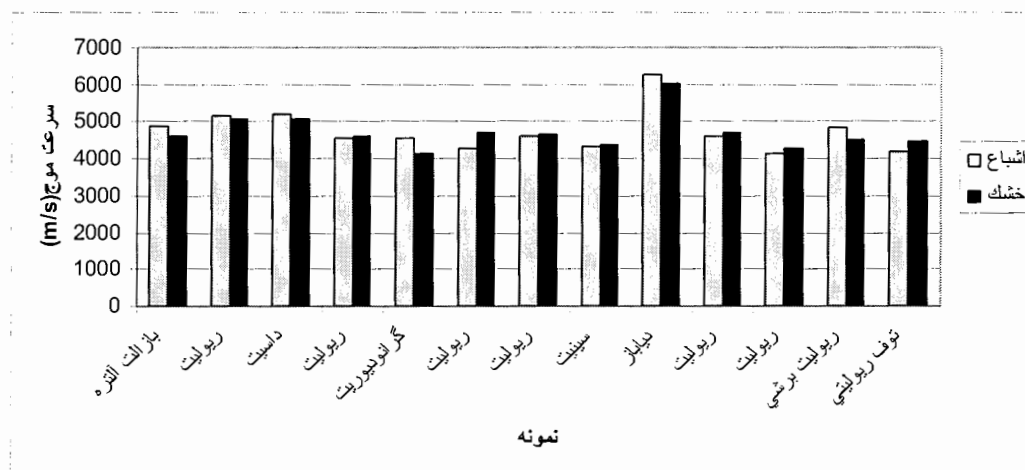
۵-۳-۲ تعیین سرعت صوت، (ISRM, ASTM D2845):

سرعت امواج صوتی با توجه به زمان گذر موج صوتی از فرستنده به گیرنده ای که در دوطرف نمونه نصب میگردد و در طول نمونه محاسبه می گردد. از عوامل موثر بر سرعت امواج صوتی در سنگ می توان به نوع سنگ، ترکیب کانی شناسی، درجه درهم شدگی کانی ها، بافت، چگالی، تخلخل، سطح تنش، ناهمسانگردی، درصد رطوبت و درجه حرارت اشاره نمود. در جدول (۴-۵) نتایج نشان داده شده

است. جدول (۴-۵)، نتایج آزمایشات سرعت صوت

ردیف	نام سنگ	شماره نمونه	محل نمونه برداری	وضعیت خشک			وضعیت اشباع		
				طول نمونه (cm)	زمان عبور موج (s)	سرعت موج (m/s)	طول نمونه (cm)	زمان عبور موج (s)	سرعت موج (m/s)
1	توف ریولیتی	1	رجایی	126	28.1	4483.99	119.5	28.6	4178.32
2	ریولیت	4	رجایی	126.4	27.2	4647.06	127.7	27.6	4626.81
3	ریولیت	11	رجایی	125.2	34.7	4608.07	123.6	34.6	4572.25
4	ریولیت برشی	14	رجایی	113	25.1	4501.99	113	23.3	4852.52
5	ریولیت	16	رجایی	112.9	24.1	4684.65	113.2	24.7	4583
6	سینیت	19	شناس	115	26.2	4389.31	114.8	26.5	4332.08
7	ریولیت	21	رجایی	125.7	29.3	4290.1	124	29.8	4161.07
8	گرانودیوریت	22	کنگ	112	26.9	4163.57	114.8	25.1	4573.71
9	ریولیت	31	باهنر	114.1	22.5	5071.11	114.4	22.1	5176.47
10	ریولیت	35	رجایی	114.2	24.4	4680.33	115.3	26.8	4302.24
11	دیاباز	36	لنگه	125	20.7	6038.65	130	20.8	6250
12	بازالت آتیره	37	حسینه	114.4	24.8	4612.9	114.6	23.5	4876.6
13	داسیت	42	رجایی	112.7	22.2	5076.58	112.7	21.7	5193.55

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش تعیین سرعت صوت، میانگین سرعت صوت در حالت اشباع ۴۷۱۱ و در حالت خشک ۴۷۴۴ میباشد. کمترین مقدار سرعت صوت در حالت خشک (۴۱۶۳/۵۷) متعلق به نمونه گرانودیوریتی از بندر کنگ و بیشترین سرعت در حالت خشک (۶۰۳۸/۶۵) متعلق به نمونه دیاباز از بندر لنگه میباشد. کمترین مقدار سرعت صوت در حالت اشباع (۴۱۶۱/۰۷) متعلق به نمونه ریولیتی از بندر شهید رجایی و بیشترین سرعت در حالت اشباع (۶۲۵۰) متعلق به نمونه دیاباز از بندر لنگه میباشد.



شکل (۵-۵)، هیستوگرام مربوط به مقادیر سرعت موج در نمونه ها

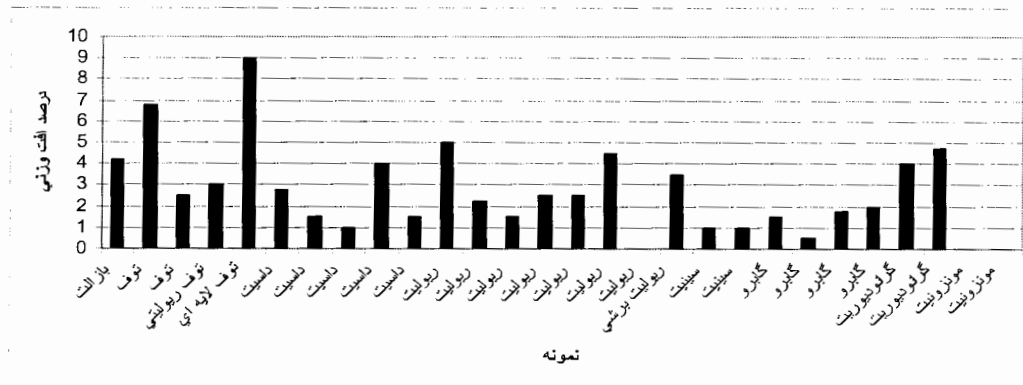
۳-۳-۵ آزمایش سلامت سنگ: (B.S-812,143 2,1971)

هدف این آزمایش تعیین میزان درصد افت وزنی سنگها تحت تاثیر نمک می باشد.

جدول (۵-۵)، نتایج آزمایشات سلامت سنگ

ردیف	نام سنگ	شماره نمونه	محل نمونه برداری	درصد افت وزنی	تعداد سیکل	ردیف	نام سنگ	شماره نمونه	محل نمونه برداری	درصد افت وزنی	تعداد سیکل
1	توف ریولیتی	1	رجایی	3	14	15	ریولیت	31	باهنر	0	14
2	توف	3	رجایی	2.5	11	16	گابرو	34	بستانه	1.5	14
3	سینیت	8	شناس	1	14	17	بازالت	37	حسینه	4.2	14
4	ریولیت برشی	14	رجایی	3.5	14	18	گرانودیوریت	40	کنگ	4	7
5	ریولیت	16	رجایی	2.5	10	19	داسیت	42	رجایی	1	14
6	سینیت	19	شناس	1	14	20	گابرو	43	لنگه	1.75	14
7	گرانودیوریت	22	کنگ	4.75	7	21	توف	44	حسینه	6.8	12
8	ریولیت	23	باهنر	5	12	22	توف لایه ای	44	حسینه	9	12
9	ریولیت	24	باهنر	2.25	12	23	داسیت	45	رجایی	2.75	14
10	داسیت	25	بستانه	1.5	10	24	داسیت	46	رجایی	1.5	10
11	داسیت	26	بستانه	4	15	25	مونزونیت	47	حسینه	0	14
12	ریولیت	28	باهنر	1.5	14	26	مونزونیت	48	حسینه	0	7
13	ریولیت	29	باهنر	2.5	12	27	گابرو	49	بستانه	0.5	13
14	ریولیت	30	باهنر	4.5	14	28	گابرو		بستانه	2	14

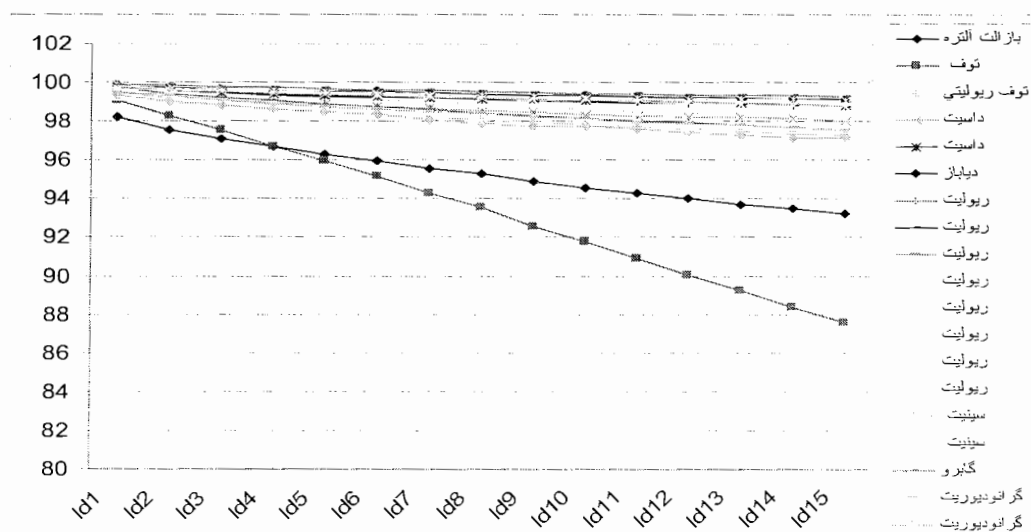
با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش سلامت سنگ، میانگین درصد افت وزنی نمونه ها ۲/۶۶٪ میباشد و کمترین مقدار افت وزنی (۰) متعلق به نمونه ریولیتی از بندر شهید باهنر و نمونه مونزونیتی بندر حسینه بوده و بیشترین مقدار افت وزنی (۹) متعلق به نمونه توفی از بندر حسینه میباشد.



۵-۳-۴ شاخص دوام و ارتعاشی، (ISRM- ASTM D4644):

وارفتگی از ویژگیهای اساسی سنگهای ضعیف و به خصوص سنگهای حاوی کانی های رسی می باشد. شاخص دوام یک شاخص بسیار مناسب برای نشان دادن حساسیت سنگ در برابر تر و خشک شدن متوالی و تاثیرات شیمیایی آب میباشد. این آزمایش برای تعیین میزان مقاومت یک نمونه سنگی تحت تاثیر دو مرحله تر و خشک شدن متوالی به کار می رود (جدول ۵-۶).

با توجه به نتایج آزمایشات دوام نمونه ها، میانگین Id4 برابر با ۹۸/۷۹ بوده و بیشترین مقدار افت وزنی در طول ۱۵ سیکل متعلق به نمونه توف بندر حسینه و کمترین میزان افت وزنی در طول ۱۵ سیکل متعلق نمونه گابرو از بندر بستانه می باشد.



جدول (۶-۵): نتایج حاصل از انجام آزمایش دوام سنگ ها

Id15	Id14	Id13	Id12	Id11	Id10	Id9	Id8	Id7	Id6	Id5	Id4	Id3	Id2	Id1	محل نمونه برداری	شماره نمونه	نام سنگ	رده
98.01	98.15	98.28	98.4	98.5	98.62	98.76	98.86	99	99.1	99.19	99.32	99.44	99.59	99.75	رجایی	1	توف ریولیتی	5
97.56	97.69	97.82	97.93	97.99	98.12	98.31	98.42	98.58	98.71	98.88	99.05	99.22	99.43	99.73	رجایی	4	ریولیت	2
96.84	96.97	97.09	97.24	97.39	97.5	97.67	97.8	97.97	98.17	98.34	98.51	98.72	99	99.31	شناس	8	سینیت	16
94.61	94.92	95.19	95.46	95.99	96.07	96.43	96.65	96.95	97.43	97.78	98.14	98.4	99.04	99.38	رجایی	11	ریولیت	14
99.1	99.12	99.15	99.17	99.2	99.23	99.27	99.31	99.37	99.43	99.51	99.6	99.68	99.78	99.87	رجایی	14	ریولیت	17
97.55	97.65	97.74	97.8	97.9	98	98.14	98.24	98.34	98.47	98.63	98.81	98.95	99.29	99.57	رجایی	16	ریولیت	11
97.26	97.38	97.47	97.59	97.68	97.82	97.93	98.06	98.19	98.35	98.5	98.61	98.86	99.04	99.35	شناس	19	سینیت	1
95.68	95.82	95.98	96.16	96.3	96.56	96.86	97.1	97.35	97.62	97.9	98.18	98.49	98.85	99.2	رجایی	21	ریولیت	12
97.57	97.7	97.79	97.87	97.95	98.12	98.22	98.4	98.51	98.64	98.77	98.89	99.08	99.32	99.47	کنگ	22	گرانودیوریت	3
98.73	98.79	98.85	98.92	99	99.12	99.1	99.18	99.27	99.37	99.42	99.45	99.52	99.6	99.69	باهنر	23	ریولیت	15
98	98.13	98.18	98.2	98.28	98.37	98.46	98.53	98.66	98.74	98.85	98.97	99.13	99.24	99.46	بستانه	26	داسیت	6
98.76	98.83	98.88	98.93	98.97	99.01	99.09	99.13	99.19	99.23	99.29	99.36	99.49	99.64	99.74	باهنر	31	ریولیت	4
99.28	99.31	99.34	99.36	99.39	99.43	99.48	99.54	99.58	99.63	99.68	99.73	99.77	99.84	99.89	بستانه	34	گابرو	19
98.78	98.86	98.91	99.04	99.05	99.1	99.12	99.18	99.22	99.32	99.38	99.45	99.52	99.61	99.75	رجایی	35	ریولیت	7
99.11	99.15	99.2	99.24	99.29	99.33	99.35	99.41	99.46	99.51	99.56	99.62	99.68	99.75	99.84	لنگه	36	دیپار	10
93.24	93.52	93.72	94.01	94.3	94.56	94.9	95.26	95.55	95.93	96.27	96.68	97.05	97.55	98.18	حسینه	37	بازالت آتیه	8
97.12	97.18	97.31	97.43	97.6	97.74	97.76	97.89	98.06	98.34	98.5	98.63	98.81	99.04	99.31	کنگ	40	گرانودیوریت	13
98.79	98.8	98.92	98.93	99	99.05	99.13	99.16	99.19	99.25	99.31	99.4	99.5	99.61	99.69	رجایی	42	داسیت	9
87.58	88.37	89.27	90.04	90.9	91.75	92.59	93.54	94.32	95.17	95.93	96.7	97.53	98.3	99.07	حسینه	44	توف	18

۵-۳-۵ مقاومت فشاری تک محوری (ISRM, ASTM D3148, ASTM D2938):

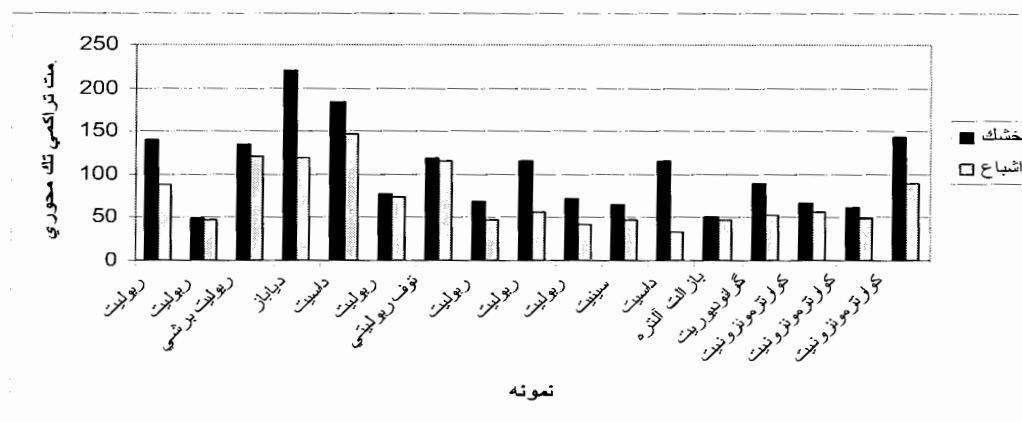
آزمایش مقاومت تک محوری مرسوم ترین آزمون آزمایشگاهی برای مطالعات سنگها می باشد که با وجود ظاهری ساده، انجام دقیق آن بسیار مشکل است. این آزمایش به عنوان آزمایش پایه در اکثر پروژه های مهندسی انجام می شود. مقاومت فشاری تک محوری سنگها بر اساس حداکثر بار قائم که بصورت محوری روی یک نمونه استوانه ای اعمال می شود، تعیین می گردد. عواملی که در مقادیر بدست آمده تاثیر دارند عبارتند از: مشخصات نمونه (نسبت طول به قطر نمونه، سطح نمونه)، سرعت بارگذاری، ترکیب کانی شناسی، چگالی، تخلخل، اندازه دانه ها، ناهمسانگردی، اصطکاک بین صفحات ماشین، درجه حرارت، رطوبت نمونه (جدول ۵-۷).

جدول (۵-۷)، نتایج آزمایشات مقاومت تک محوری سنگها

ردیف	نام سنگ	شماره نمونه	محل نمونه برداری	وضعیت خشک				وضعیت اشباع	
				مقاومت فشاری اوج (Mpa)	مدول الاستیسیته (Gpa)	مقاومت فشاری اوج (Mpa)	مدول الاستیسیته (Gpa)	نسبت مقاومت خشک به اشباع	نسبت مدول خشک به اشباع
7	توف ریولیتی	1	رجایی	118.6	10.881	114.8	12.08	1.03	0.90
9	ریولیت	4	رجایی	116	11.045	55.28	7.895	2.10	1.40
8	ریولیت	11	رجایی	68.87	9.565	47.82	4.331	1.44	2.21
3	ریولیت برشی	14	رجایی	135.3	11.74	120.2	11.74	1.13	1.00
10	ریولیت	16	رجایی	72.37	7.356	42.57	6.081	1.70	1.21
11	سینیت	19	شناس	63.86	6.128	46.83	3.142	1.36	1.95
6	ریولیت	21	رجایی	76.53	8.695	73.21	7.469	1.05	1.16
14	گرانودیوریت	22	کنگ	89.4	10.955	53.21	6.569	1.68	1.67
12	داسیت	26	بستانه	114.9	16.41	34.04	13.62	3.38	1.20
1	ریولیت	31	باهنر	140.5	10.724	87.27	8.422	1.61	1.27
2	ریولیت	35	رجایی	48.96	6.528	46.83	6.504	1.05	1.00
4	دیاباز	36	لنگه	220.5	4.867	118.6	9.643	1.86	0.50
13	بازالت آلتیره	37	حسینه	50.26	9.307	46.73	5.915	1.08	1.57
5	داسیت	42	رجایی	184.4	10.534	146.9	10.72	1.26	0.98
15	کوارتز مونزونیت	47	حسینه	66.8	7.42	56.59	8.08	1.18	0.92
16	کوارتز مونزونیت	48	حسینه	61.7	8.12	48.93	10.19	1.26	0.80

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش مقاومت تک محوری، میانگین مقاومت و مدول الاستیسیته در حالت اشباع به ترتیب ۷۲/۲۵ و ۸/۴۸ بوده و میانگین مقاومت و مدول الاستیسیته در حالت خشک به

ترتیب ۹/۶۳ و ۱۰۴/۱۹ میباشد. کمترین مقدار مقاومت در حالت خشک (۴۸/۹۶) متعلق به نمونه ریولیتی از بندر شهید رجایی و بیشترین مقاومت در حالت خشک (۲۲۰/۴۷) متعلق به نمونه دیاباز از بندر لنگه میباشد. کمترین مقدار مقاومت در حالت اشباع (۳۴/۰۴) متعلق به نمونه داسیتی از بندر بستانه و بیشترین مقاومت در حالت اشباع (۱۴۶/۸۸) متعلق به نمونه داسیتی از بندر شهید رجایی میباشد.



شکل (۵-۸)، هیستوگرام مربوط به مقادیر مقاومت تک محوری نمونه ها

۵-۳-۶ تعیین ارزش ضربه ای سنگها :

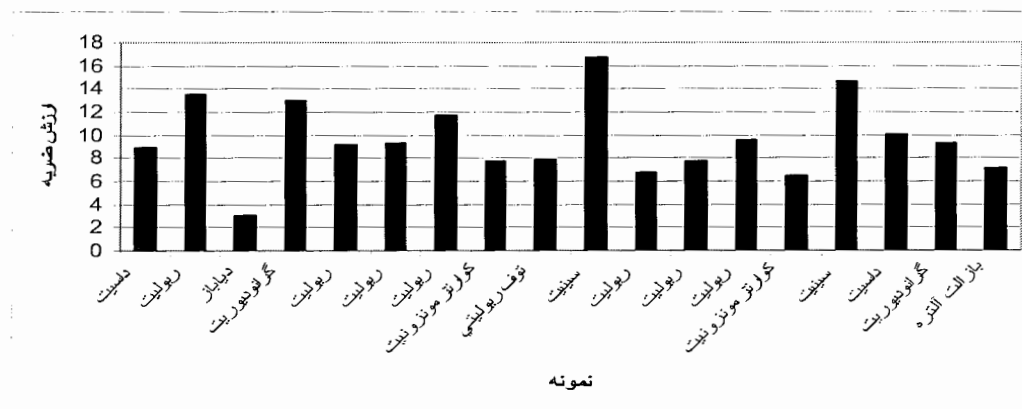
نتایج این آزمایش بطور نسبی نشان دهنده مقاومت مصالح سنگی در مقابل شوک ناگهانی یا ضربه میباشد. این آزمایش بر اساس استاندارد B. S-812 انجام شده است (جدول ۵-۸).

$$\text{ارزش ضربه ای (A.I.V)} = \frac{\text{وزن ذرات ریز رد شده از الک شماره ۸ بر حسب گرم}}{\text{وزن نمونه با سطح خشک قبل از آزمایش}} \times 100$$

جدول (۵-۸)، نتایج آزمایشات ارزش ضربه ای نمونه ها

ردیف	نام سنگ	شماره نمونه	محل نمونه برداری	ارزش ضربه (%)	ردیف	نام سنگ	شماره نمونه	محل نمونه برداری	ارزش ضربه (%)
1	توف ریولیتی	1	رجایی	7.86	10	داسیت	26	بستانه	10.04
2	ریولیت	4	رجایی	7.82	11	ریولیت	31	باهتر	6.74
3	سینیت	8	شناس	16.67	12	ریولیت	35	رجایی	11.71
4	ریولیت	11	رجایی	13.53	13	دیاباز	36	لنگه	3.09
5	ریولیت	16	رجایی	9.18	14	بازالت آتیره	37	حسینه	7.11
6	سینیت	19	شناس	14.69	15	گرانودیوریت	40	کنگ	13.02
7	ریولیت	21	رجایی	9.54	16	داسیت	42	رجایی	8.92
8	گرانودیوریت	22	کنگ	9.31	17	کوارتز مونزونیت	47	حسینه	6.48
9	ریولیت	23	باهتر	9.29	18	کوارتز مونزونیت	48	حسینه	7.84

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش ارزش ضربه ای، میانگین ارزش ضربه ای نمونه ها برابر با ۹/۶۰ می باشد. کمترین مقدار ارزش ضربه (۳/۰۹) متعلق به نمونه دیاباز از بندر لنگه بوده و بیشترین ارزش ضربه (۱۶/۶۷) متعلق به نمونه سینیتی از بندر شناس می باشد



شکل (۵-۹)، هیستوگرام مربوط به مقادیر ارزش ضربه ای نمونه ها

۵-۳-۷ تعیین میانگین اندازه دانه:

برای این کار از روش کان (۱۹۵۶) استفاده شد، که در آن در یک فاصله حدود ۲۰ mm در روی مقطع نازک سنگ، تعداد مرزها شمرده شده و سپس این فاصله (۲۰ mm) بر تعداد مرزها تقسیم می شود. عدد بدست آمده به عنوان میانگین اندازه دانه های سنگ در نظر گرفته می شود (جدول ۵-۹).

جدول (۵-۹)، میانگین اندازه دانه های نمونه ها

ردیف	نام سنگ	شماره نمونه	محل نمونه برداری	میانگین	ردیف	نام سنگ	شماره نمونه	محل نمونه برداری	میانگین
1	RT1	1	رجایی	0.0157	15	BBE1	30	باهر	0.0538
2	RT12	3	رجایی	0.0625	16	BOT5	34	بستانه	0.1852
3	RT13	4	رجایی	0.1042	17	GO.S1	36	کنگ	0.0659
4	GACH3	5	رجایی	0.0352	18	HAS4	37	حسینه	0.0795
5	SHT1	8	شناس	0.4577	19	KT10	40	کنگ	0.4857
6	RT3	11	رجایی	0.0521	20	RD8	42	رجایی	0.1308
7	RT16	14	رجایی	0.0976	21	LD10	43	لنگه	0.1042
8	GACH4	16	رجایی	0.0862	22	LS8	43	لنگه	0.2941
9	SHS2	19	شناس	0.4606	23	HaT2	44	حسینه	0.021
10	RS4	21	رجایی	0.0388	24	RS6	45	رجایی	0.098
11	KS9	22	کنگ	0.5064	25	RS7	46	رجایی	0.1566
12	BOS4	26	بستانه	0.0617	26	BOT6	49	بستانه	0.1739
13	BS1	28	باهر	0.0674	27	SHT1	88	شناس	0.3778
14	BS10	29	باهر	0.0581	28	RT2		رجایی	0.0941

۵-۳-۸ آنالیز شیمیایی نمونه ها

۱۴ نمونه سنگی بوسیله آنالیز XRF تجزیه شده که نتایج آن در جدول (۵-۱۰) آمده است و ۱۲ نمونه هم بوسیله آنالیز XRD تجزیه شد، که گرافهای آن در ادامه آمده است. سپس انواع ضرایب هوازدهی و مقادیر نرماتیو کانی ها برای آنها محاسبه گردید که نتایج آنها به ترتیب در جدول (۵-۱۱) و (۵-۱۲) آمده است.

جدول (۵-۱۰)، نتایج آنالیز XRF نمونه ها

sample	RT1	RD8	KS9	BD12	GAS1	SHT2	GAS2	RT12	COS1	BOS4	LD10	RT16	HAS4	G1
SiO ₂	76.25	71.28	52.43	72.19	72.18	58.08	70.21	75.57	44.57	74.64	46.72	73.38	51.48	52.26
TiO ₂	0.131	0.193	0.938	0.218	0.052	0.496	0.316	0.13	0.96	0.248	2.132	0.297	1.17	1.14
Al ₂ O ₃	11.5	12.12	15.53	12.1	12.33	15.58	13.6	11.32	11.84	12.37	13.52	12.94	15.49	14.85
Fe ₂ O ₃	1.499	1.31	8.195	2.663	0.942	5.175	0.79	1.629	11.475	0.928	14.339	0.576	8.87	9.77
MnO	0.017	0.019	0.224	0.016	0.026	0.166	0.018	0.018	0.125	0.005	0.236	0.014	0.23	0.24
MgO	0.41	0.32	3.18	0.25	0.08	0.23	1.13	0.45	16.36	0.11	6.62	0.62	7.48	7.7
CaO	0.19	0.54	2.86	0.39	0.69	2.93	0.99	0.23	8.05	0.56	8.12	0.93	10.02	8.81
Na ₂ O	0.08	3.94	3.6	4.45	3.53	5.26	6.81	0.25	1.12	8.44	2.86	8.29	4.41	4.38
K ₂ O	7.67	5.21	5.61	4.43	5.13	6.53	3.37	7.39	2.69	0.3	1.15	1.25	0.68	0.68
As	7	4	1	8	11	10	9	7	3	10	7	10	27.71	26.43
Ba	1707	698	1034	725	638	252	458	1633	353	48	434	673	127.26	164.67
Bi	111	122	25	33	112	42	123	118	26	143	24	132	2.5	3.22
Ce	64	64	125	79	40	98	82	84	37	121	46	102	60.24	42.79
Co	1	1	8	1	2	5	1		57	2	44	2	43.1	62
Cr	84	189	43	165	137	61	109	106	989	173	196	135	212.44	201.26
Cs	18	4	16	1	13	2	3	6	4	3	13	5	0.24	0.14
Cu	54	1	4	1	6	2	8	134	5		109	10	65.68	32.53
F	172	548	105	338	67	275	767	269	393	111	15	90	4.12	3.84
Ga	12	17	27	14	18	26	18	12	13	22	19	17	27.71	26.43
Hf	4	4	11	6	3	11	5	4	2	7	3	4	2.5	3.22
La	40	43	79	50	32	57	41	44	38	93	30	55	31.92	27.44
Mo	8	6	23	7	5	33	10	10	23	12	11	1	0.47	0.4
Nb	16	12	46	14	10	66	20	20	46	24	22	2	4.72	4.57
Nd	24	25	53	26	12	47	39	39	15	91	13	48	17.34	18.5
Ni	48	50	106	52	24	94	78	78	30	182	26	96	138.55	122.99
Pb	96	100	212	104	48	188	156	156	60	364	52	192	9.24	11.18
Pr	3	9	22	7	7	17	3	8	1	27	0	7	65.68	32.53
Rb	139	160	149	166	193	169	148	130	97	49	54	90	6.16	4.07
Sb	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	53.37	36.59
Sm	2	0	11	2	5	7	3	6	4	10	2	2	4.12	3.84
Sn	38	7	15	22	38	36	18	27	39	17	8	20	6.16	4.07
Sr	86	255	156	201	94	216	105	86	354	99	343	284	166.26	136.21
Ta	6	6	5	6	8	8	12	4	2	12	2	9		
Th	18	18	15	18	24	24	36	12	6	36	6	27		
V	63	66	126	68	54	86	78	62	129	69	235	78	110.84	118.93
Y	27	72	18	60	63	30	57	15	3	90	15	72	36.95	29.48
Zn	54	144	36	120	126	60	114	30	6	180	30	144	53.37	36.59
Zr	108	288	72	240	252	120	228	60	12	360	60	288	99.55	101.65

جدول (۵-۱۱)، انواع ضرایب هوازدگی محاسبه شده برای نمونه ها

SAMPLE	RT1	RD8	KS9	BD12	GAS1	SHT2	GAS2	RT12	COS1	BOS4	LD10	RT16	HAS4	GI
SA(KI)	6.63	5.88	3.38	5.97	5.85	3.73	5.16	6.68	3.76	6.03	3.46	5.67	3.32	3.52
Kr	8.13	7.19	11.57	8.63	6.80	8.90	5.95	8.30	15.24	6.96	17.79	6.25	12.19	13.29
Ba	7.77	9.19	9.39	8.91	8.72	11.98	10.25	7.66	4.49	8.79	4.61	9.61	5.74	5.65
ba1	7.68	5.54	5.84	4.80	5.42	6.87	3.87	7.41	2.78	0.98	1.36	1.89	0.96	0.97
ba2	0.23	0.57	3.06	0.41	0.70	2.94	1.07	0.27	9.43	0.57	8.61	0.98	10.50	9.33
ba3	7.79	9.18	9.41	8.90	8.67	11.80	10.26	7.68	5.19	8.75	4.50	9.59	5.57	5.58
a	95.88	1.32	1.56	1.00	1.45	1.24	0.49	29.56	2.40	0.04	0.40	0.15	0.15	0.16
b	7.67	9.25	1.90	4.54	13.09	3.01	17.22	6.95	1.03	13.33	0.94	22.47	1.75	1.52
SF	50.87	54.41	6.40	27.11	76.62	11.22	88.87	46.39	3.88	80.43	3.26	127.40	5.80	5.35
Silica(R2O3)	8.26	7.38	12.51	8.85	6.85	9.40	6.27	8.43	16.20	7.21	19.93	6.54	13.36	14.43
WPI	8.12	10.21	13.07	9.59	9.85	15.61	11.49	8.12	12.22	9.53	12.71	10.65	15.17	13.93
PI	79.42	83.95	68.01	82.81	84.42	73.21	82.68	85.25	64.74	84.64	60.90	84.16	66.85	66.98
PARKER	67489.98	82829.22	96886.83	80331.89	78090.20	112049.34	97042.62	66891.57	98783.49	82090.70	75071.14	91124.36	92581.09	89828.73
CIA	107.94	109.69	112.07	109.27	109.35	114.72	111.17	107.87	111.86	109.30	112.13	110.47	115.11	113.87
Alumina	0.73	0.83	0.98	0.79	0.76	0.96	0.90	0.73	2.38	0.76	1.39	0.86	1.46	1.45
colman	0.64	0.73	0.62	0.64	0.71	0.70	0.84	0.64	1.16	0.69	0.63	0.80	0.88	0.84
bl	87.79	62.80	16.56	55.50	237.12	31.41	43.04	87.08	12.33	49.88	6.34	43.57	13.24	13.03
LOI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CIW-CAN	97.71	73.01	70.62	71.43	74.50	65.54	63.55	95.93	56.35	57.88	55.18	58.39	51.77	52.96
ALK	98.97	56.94	60.91	49.89	59.24	55.39	33.10	96.73	70.60	3.43	28.68	13.10	13.36	13.44
CWI	33.59	32.07	59.19	35.07	30.97	51.09	38.36	27.11	74.21	36.21	77.82	37.48	73.20	72.65
R	6.63	5.88	3.38	5.97	5.85	3.73	5.16	6.68	3.76	6.03	3.46	5.67	3.32	3.52
V	30.48	32.88	23.75	34.66	80.68	52.16	24.38	28.22	21.17	24.10	24.67	24.18	30.01	28.13
MWPI	8.56	10.57	16.68	9.87	9.94	15.94	12.69	8.59	29.36	9.67	20.09	11.32	22.95	21.91
CAN	127.00	548.00	746.00	584.00	522.00	919.00	880.00	148.00	1017.00	1000.00	1198.00	1022.00	1543.00	1419.00
I	7.94	9.69	12.07	9.27	9.35	14.72	11.17	7.87	11.86	9.30	12.13	10.47	15.11	13.87

جدول (۵-۱۲)، محاسبه نورم نمونه ها

	RT1	RD8	KS9	BD12	GAS1	SHT2	GAS2	RT12	COS1	BOS4	LD10	RT16	HAS4	G1
Q	46.46	28.83	2.01	29.58	32.20		18.25	46.06		28.69		24.26		
or	46.37	32.43	36.04	27.10	31.93	41.00	20.48	45.03	16.51	1.82	7.18	7.52	4.05	4.05
ab	0.69	35.12	33.11	38.89	31.46	41.14	52.65	2.18	5.13	63.48	25.58	60.64	32.88	37.39
an	0.96		10.49		2.79			1.18	20.08		21.83		20.63	19.02
ne						2.91			2.55				2.56	
C	2.78							2.57						
di		1.71	4.05	1.39	0.45	7.86	3.11		17.08	0.61	16.97	2.88	23.65	20.22
hy	1.04	0.05	2.28				1.45	1.16			11.07	0.24		1.40
wo				0.09	0.06	2.68				0.50				
ol			8.25						33.04		7.54		10.08	11.87
ac				0.07		0.68	2.35			2.75		1.70		
mt			3.84	2.24		2.74			3.70		5.57		3.90	3.86
il	0.04	0.04	1.94	0.43	0.06	1.00	0.04	0.04	1.89	0.01	4.28	0.03	2.24	2.18
hem	1.53	1.38		0.21	0.99			1.68						
ti		0.44			0.06		0.75			0.61		0.70		
ru	0.11							0.11						

فصل ششم

بررسی روابط بین
ویژگیهای سنگ شناسی
و خصوصیات مهندسی

۶-۱ مقدمه:

در این فصل به بررسی ارتباط بین خصوصیات پترولوژیکی مانند کانی شناسی، بافت، نام سنگ، اندازه دانه ها، میزان هوازدگی و درصد کانی های ناپایدار با خصوصیات فیزیکی، مقاومتی و دوام داری نمونه ها و همچنین ارتباط بین خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و دوام داری و مقاومتی نمونه ها مانند وزن مخصوص، چگالی، تخلخل، میزان جذب آب، شاخص دوام، مقاومت تک محوری، سرعت موج و آزمایش سلامت سنگ و ارزش ضربه ای پرداخته شده است.

۶-۲ بررسی خصوصیات مقاومتی و دوام داری بر اساس نام سنگ

نام زمین شناسی سنگ تا حد زیادی بیان کننده خصوصیات مقاومتی و دوام داری آن می باشد. بعنوان مثال سنگهایی آذرین درونی معمولاً مقاومت بالاتری نسبت به سنگهای آذرین بیرونی دارند و سنگهای اسیدی در شرایط سنی برابر معمولاً هوازدگی کمتری نسبت به سنگهای بازیک دارند. لذا مقاومت بیشتری نشان میدهند. در بین سنگهای مورد مطالعه گابرو دارای بالاترین خصوصیات مقاومتی و دوام داری می باشد. در حالی که توف دارای مقاومت و دوام داری پایین تر و همچنین تغییرات شدیدتر مقاومت می باشد.

در اشکال (۶-۱) تا (۶-۷) به ترتیب تغییرات خصوصیات ارزش ضربه ای، سلامت، سرعت موج، مقاومت تک محوری، تخلخل، جذب آب و دوام برای سنگهای مختلف مورد بررسی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده میگردد تغییرات خصوصیات فیزیکی، مقاومتی و دوام داری سنگهای توف، ریولیت و داسیت بیشتر از دیگر نمونه ها می باشد که دلیل عمده آن استعداد بیشتر این سنگها برای هوازدگی می باشد. وجود میکروشکستگی های ناشی از سردشدگی نیز می تواند دلیل گسترش بیشتر هوازدگی در این سنگها باشد.

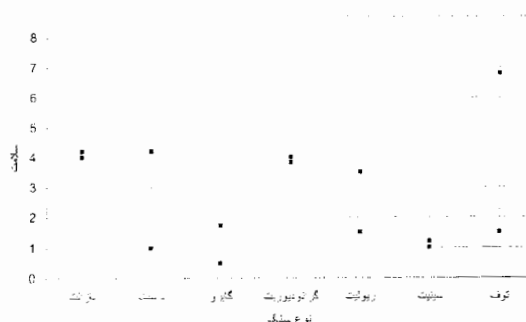
در شکل (۱-۶) محدوده ارزش ضربه سنگهای مختلف نشان داده شده است. در این شکل سینیّت، ریولیت و گرانودیوریت دارای بیشترین ارزش ضربه و گابرو دارای کمترین مقادیر ارزش ضربه می باشند. همچنین ریولیت و توف به دلیل هوازگی بیشتر دارای محدوده وسیع تری از تغییرات می باشند.

مطابق شکل (۳-۶) و (۴-۶) و (۵-۶) داسیت و ریولیت به دلیل داشتن میکروشکستگی های بیشتر دارای بیشترین تغییرات سرعت صوت، دوام و مقاومت می باشند و گابرو، گرانودیوریت و بازالت دارای کمترین تغییرات خصوصیات فوق می باشند. حداقل سرعت موج در سنگ های مورد مطالعه حدود 4160 m/s می باشد و مربوط به ریولیت و گرانودیوریت می باشد.

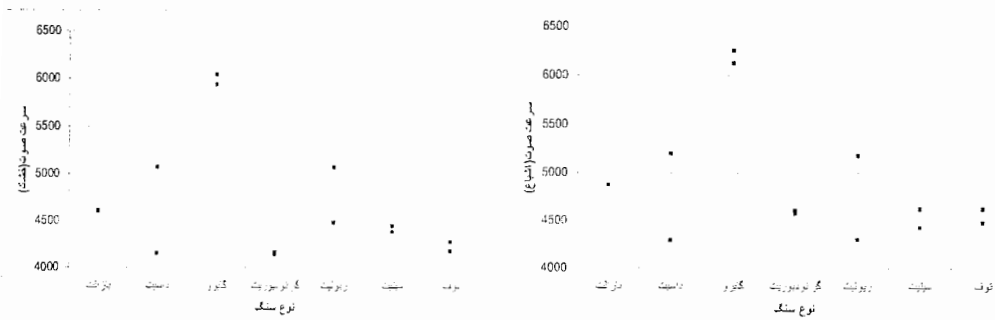
همچنین مطابق اشکال (۲-۶) و (۶-۶) و (۷-۶) ریولیت، داسیت و توف به دلیل هوازگی و داشتن کانی های رسی بیشتر دارای بیشترین تغییرات تخلخل و جذب آب و شاخص سلامت بوده و گابرو و گرانودیوریت دارای کمترین تغییرات تخلخل، جذب آب و شاخص سلامت می باشند. گابرو دارای کمترین تخلخل و ریولیت دارای بیشترین تخلخل میباشد.



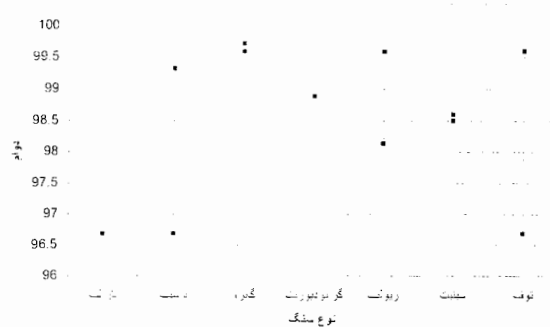
شکل (۱-۶) محدوده ارزش ضربه سنگهای مختلف



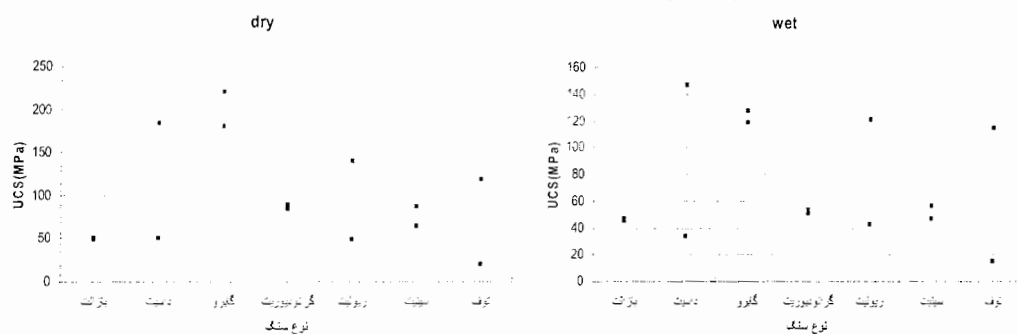
شکل (۲-۶) محدوده درصد افت وزنی سنگهای مختلف در آزمایش سلامت سنگ



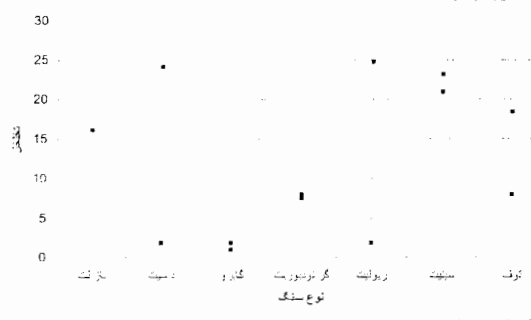
شکل (۳-۶) محدوده سرعت صوت در سنگهای مختلف و در حالت خشک و اشباع



شکل (۴-۶) محدوده شاخص دوام در سنگهای مختلف



شکل (۵-۶) محدوده مقاومت تک محوری در سنگهای مختلف و در حالت خشک و اشباع



شکل (۶-۶) محدوده تخلخل در سنگهای مختلف



شکل (۶-۷) میزان جذب آب در سنگهای مختلف

۳-۶ ارزیابی خصوصیات مقاومتی و دوام داری بر اساس بافت سنگ

بافت سنگها یکی دیگر از پارامترهای موثر بر خواص مقاومتی و دوام داری سنگها می باشند. اگر چه بافت سنگ نیز به تنهایی نمی تواند معیاری برای تعیین میزان مقاومت سنگ باشد و خود تحت تاثیر عواملی مانند هوازدگی، ترکیب کانی شناسی و میکروشکستگی ها می باشد.

در اشکال (۶-۸) تا (۶-۱۶) رابطه بین خصوصیات مهندسی و بافت سنگها نشان داده شده است. مشاهده میگردد که سنگهایی با بافت میکروگرانولار از تغییرات مقاومتی و دوام داری کمتری نسبت به سنگهایی با بافت گرانولار و پورفیری برخوردارند و علت آن بیشتر بدلیل هوازدگی کمتر و کوچک بودن اندازه دانه در آنها می باشد.

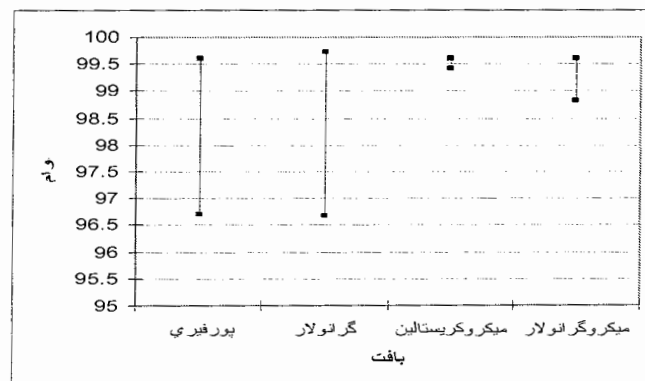
در شکل (۶-۸) محدوده شاخص دوام برای بافتهای مختلف نشان داده شده است. سنگهای با بافت میکروگرانولار و میکروکریستالین به دلیل ریزدانه تر بودن دارای کمترین تغییرات دوام و بیشترین میزان دوام می باشند در حالی که سنگهای پورفیری و گرانولار دارای بیشترین محدوده تغییرات دوام بوده و کمترین مقدار دوام را دارند.

مطابق شکل (۶-۹) و (۶-۱۰) سنگهایی با بافت پورفیری دارای میزان جذب آب و تخلخل بیشتری بوده و دارای محدوده تغییرات جذب آب بیشتری نیز می باشند ولی سنگهای گرانولار و میکروگرانولار میزان جذب آب و تخلخل کمتری داشته و دارای محدوده تغییرات جذب آب کمتری نیز می باشند. علت این امر هوازدگی بیشتر و وجود مقدار بیشتری کانی رسی در سنگهای پورفیری می باشد زیرا این کانی ها آب زیادی جذب می کنند.

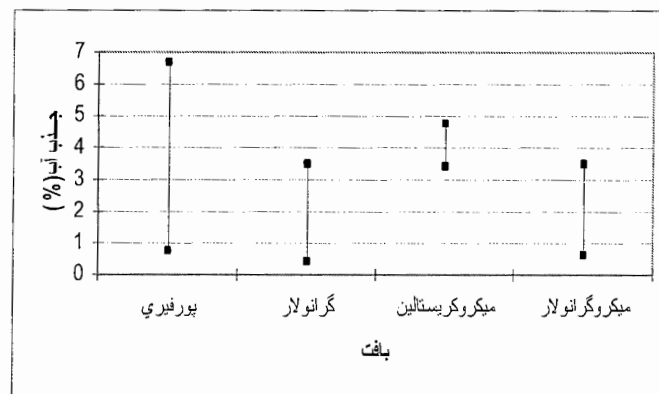
در اشکال (۱۱-۶) و (۱۲-۶) و (۱۳-۶) و (۱۴-۶) به ترتیب محدوده تغییرات مقاومت و سرعت صوت برای سنگهای مختلف در حالت اشباع و خشک نشان داده شده است. سنگهای با بافت گرانولار و میکروگرانولار به دلیل ریزدانه تر بودن دارای مقاومت و سرعت صوت بیشتری بوده و سنگهای پورفیری که درشت دانه ترند دارای مقاومت و سرعت صوت کمتری می باشند. تغییرات مقاومت تک محوری و سرعت صوت در سنگهای میکروگرانولار و میکروکریستالین نیز نسبتاً زیاد است که دلیل آن وجود شکستگی های ریز در سنگ می باشد که سبب هوازدهی و کاهش مقاومت و سرعت صوت در این سنگها میگردد.

در شکل (۱۵-۶) محدوده تغییرات شاخص سلامت سنگ برای بافتهای مختلف نشان داده شده است. سنگهای با بافت گرانولار و میکروگرانولار دارای درصد افت وزنی کمتری بوده و سنگهای پورفیری دارای افت وزنی بیشتری می باشند. همچنین سنگهای با بافت گرانولار و پورفیری به دلیل درشت دانه تر بودن، هوازدهی بیشتر و داشتن کانیهای رسی بیشتر دارای تغییرات افت وزنی بیشتری بوده و سنگهای میکروگرانولار و میکروکریستالین دارای محدوده تغییرات افت کمتری می باشند.

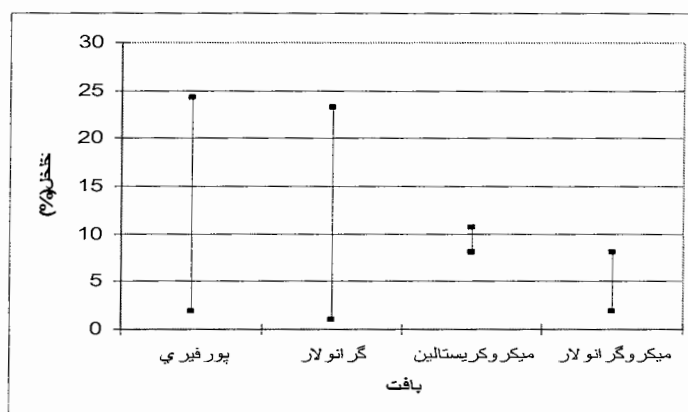
در شکل (۱۶-۶) محدوده تغییرات ارزش ضربه برای بافتهای مختلف نشان داده شده است. سنگهای با بافت گرانولار و میکروگرانولار دارای ارزش ضربه کمتری بوده و سنگهای پورفیری دارای بیشترین ارزش ضربه می باشند. سنگهای با بافت گرانولار و پورفیری به علت دانه درشت بودن دارای تغییرات ارزش ضربه بیشتری بوده و سنگهای میکروگرانولار و میکروکریستالین به دلیل ریزدانه تر بودن و هوازدهی کمتر دارای تغییرات ارزش ضربه کمتری می باشند.



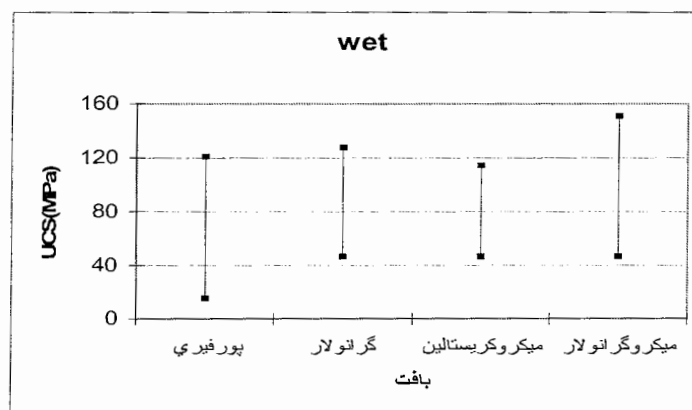
شکل (۸-۶) محدوده شاخص دوام برای بافتهای مختلف.



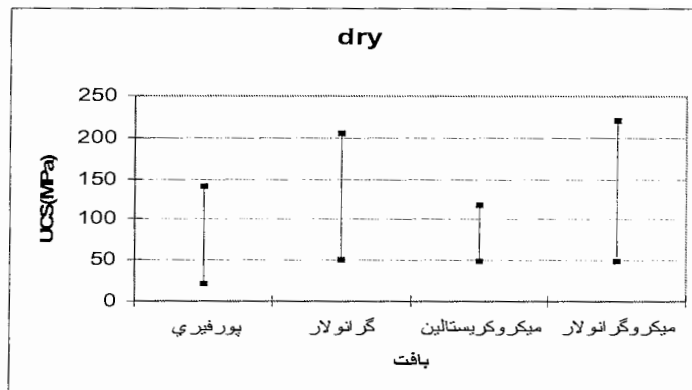
شکل (۶-۹) محدوده جذب آب برای بافتهای مختلف



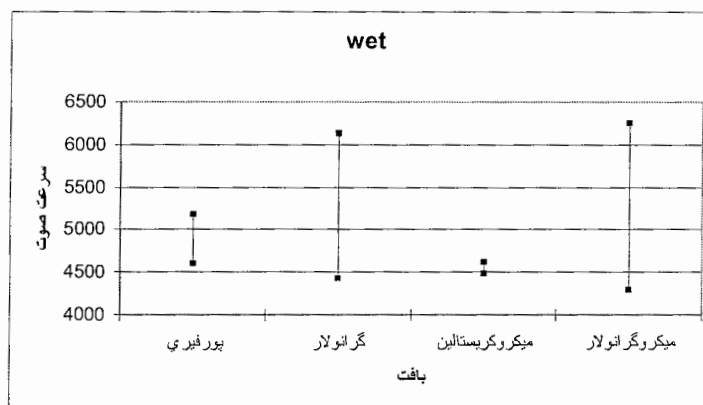
شکل (۶-۱۰) محدوده تغییرات تخلخل برای بافتهای مختلف



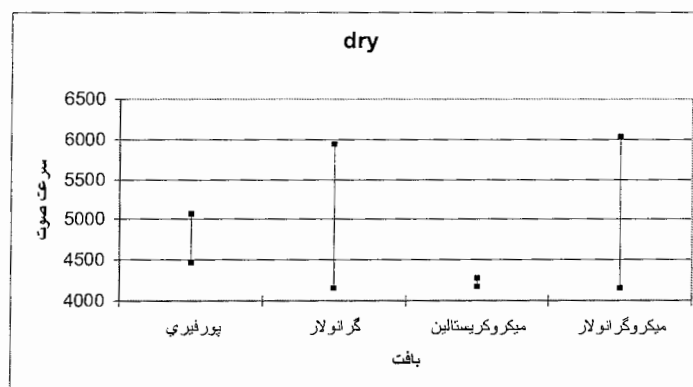
شکل (۶-۱۱) محدوده تغییرات مقاومت تک محوری برای سنگهای مختلف در حالت اشباع



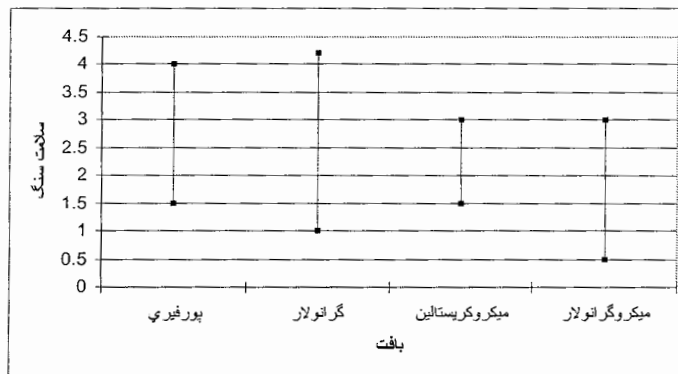
شکل (۶-۱۲) محدوده تغییرات مقاومت تک محوری در حالت خشک برای بافتهای مختلف



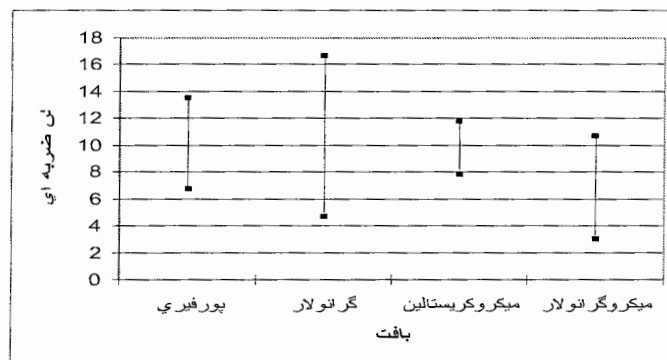
شکل (۶-۱۳) محدوده تغییرات سرعت صوت در حالت اشباع برای بافتهای مختلف



شکل (۶-۱۴) محدوده تغییرات سرعت صوت در حالت خشک برای بافتهای مختلف



شکل (۶-۱۵) محدوده تغییرات شاخص سلامت بر اساس بافتهای مختلف



شکل (۶-۱۶) محدوده تغییرات ارزش ضربه برای بافتهای مختلف

۶-۴ ارزیابی خصوصیات مقاومتی و دوام داری بر اساس اندازه دانه

اندازه کانی ها و میانگین دانه های سازنده سنگ نیز به عنوان یک فاکتور زمین شناسی مهم تاثیر زیادی بر روی مقاومت مکانیکی سنگ داشته و مقاومت تسلیم سنگها با کاهش اندازه دانه ها افزایش می یابد و بطور کلی کوچک بودن اندازه دانه باعث زیاد شدن مقاومت سنگ می شود. ولی این پارامتر نیز به تنهایی نمی تواند مشخص کننده خواص مقاومتی و دوام داری سنگ باشد و عواملی مانند هوازدگی و وجود میکروشکستگی ها و ترکیب کانی شناسی باعث تغییر خواص مقاومتی سنگهایی با اندازه دانه یکسان خواهند شد.

در اشکال (۶-۱۷) تا (۶-۲۴) رابطه بین خصوصیات مهندسی سنگها و میانگین اندازه دانه های سنگها نشان داده شده است. سنگهای ریزدانه مقاومت بیشتری داشته و از تغییرات مقاومتی و دوام داری کمتری نسبت به سنگهای درشت دانه تر برخوردارند و علت آن بیشتر بدلیل هوازدگی کمتر و افزایش

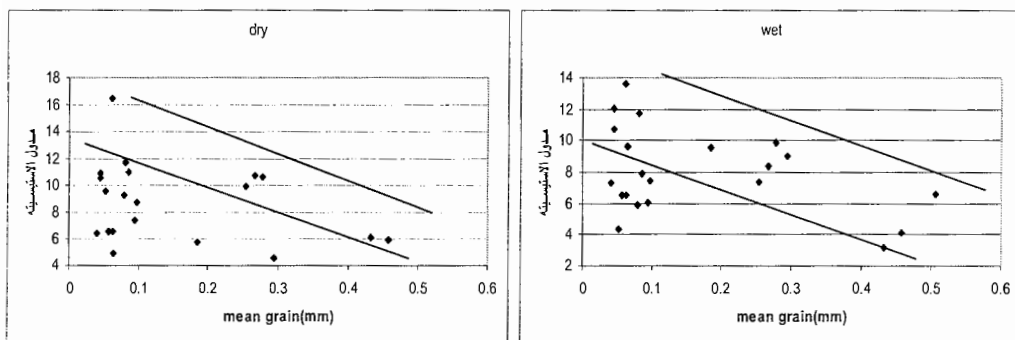
تعداد پیوند های بین دانه ای در سنگهای دانه ریز می باشد و افزایش تعداد مرزها باعث مقاومت بیشتر سنگها می شود.

در اشکال (۶-۱۷) و (۶-۱۸) و (۶-۱۹) و (۶-۲۰) به ترتیب رابطه بین مدول الاستیسیته، مقاومت تک محوری، سرعت صوت و شاخص دوام با میانگین اندازه دانه ها نشان داده شده است. با افزایش میانگین اندازه دانه ها، مقدار مدول الاستیسیته، مقاومت و سرعت صوت کاهش می یابد. در سنگهای دانه ریز به دلیل افزایش تعداد مرزها و قدرت پیوند بین دانه ها سرعت صوت، مقاومت و دوام افزایش می یابد. پراکندگی داده ها در میانگین کمتر از ۰/۱ میلیمتر کمتر می باشد و نشان دهنده این نکته است که وقتی میانگین اندازه دانه ها از ۰/۱ میلیمتر بیشتر باشد، تاثیر اندازه دانه بیشتر می باشد.

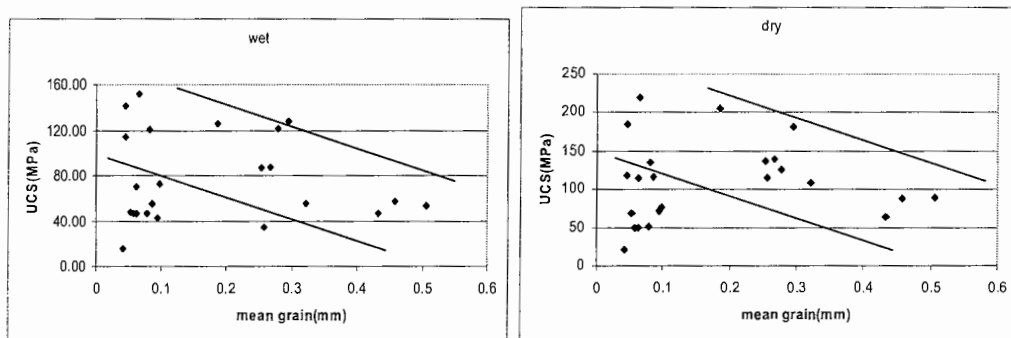
در شکل (۶-۲۱) و (۶-۲۲) به ترتیب رابطه بین تخلخل و میزان جذب آب با میانگین اندازه دانه ها نشان داده شده است. با افزایش اندازه دانه ها، تخلخل و جذب آب کاهش می یابد. بطور کلی در سنگهای ریز دانه به دلیل افزایش تعداد دانه ها مقدار تخلخل کل زیاد است. همچنین در این سنگها چون درصد کانی های رسی یا کانی هایی که به رس تبدیل می شوند بیشتر می باشد و این کانی ها جذب آب بالایی دارند. مقدار جذب آب افزایش می یابد. در اینجا نیز پراکندگی دانه ها در میانگین کمتر از ۰/۱ میلیمتر کمتر است.

در شکل (۶-۲۳) رابطه بین درصد افت وزنی در آزمایش سلامت سنگ و میانگین اندازه دانه ها نشان داده شده است. درصد افت وزنی با افزایش میانگین اندازه دانه کاهش می یابد ولی در سنگهای ریز دانه چون درصد کانی های رسی یا کانی هایی که به رس تبدیل می شوند بیشتر می باشد. مقدار افت وزنی افزایش می یابد

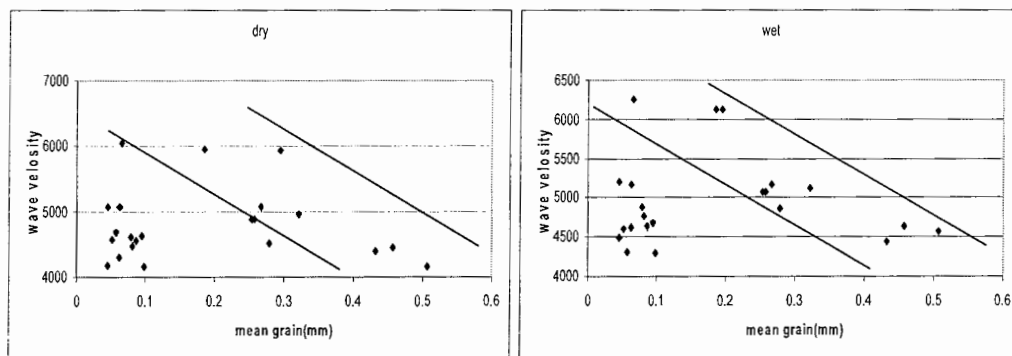
در شکل (۶-۲۴) رابطه ارزش ضربه ای سنگها و میانگین اندازه دانه ها نشان داده شده است. ارزش ضربه با افزایش میانگین اندازه دانه افزایش می یابد ولی در سنگهای دانه ریزتر به دلیل افزایش تعداد مرزهای بین دانه ها و افزایش قدرت پیوند بین دانه ها مقاومت بالا بوده و ارزش ضربه ای کم می باشد. پراکندگی داده ها در میانگین کمتر از ۰/۱ میلیمتر کم می باشد و نشان دهنده این نکته است که وقتی میانگین اندازه دانه از ۰/۱ میلیمتر بیشتر باشد، تاثیر اندازه دانه بیشتر می باشد.



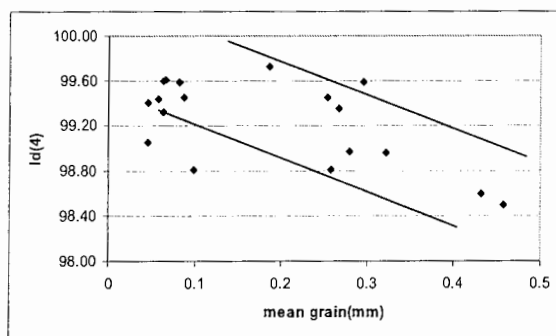
شکل (۶-۱۷) رابطه بین مدول الاستیسیته و میانگین اندازه دانه



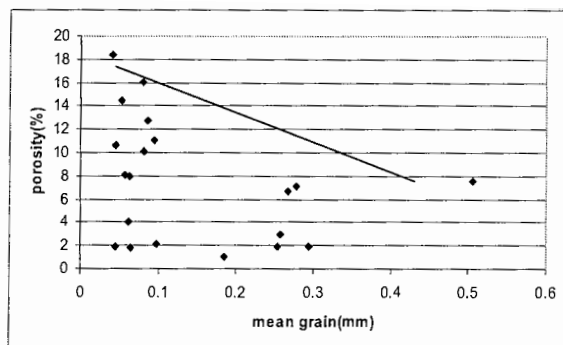
شکل (۶-۱۸) رابطه بین مقاومت تک محوری در حالت خشک و اشباع و میانگین اندازه دانه ها



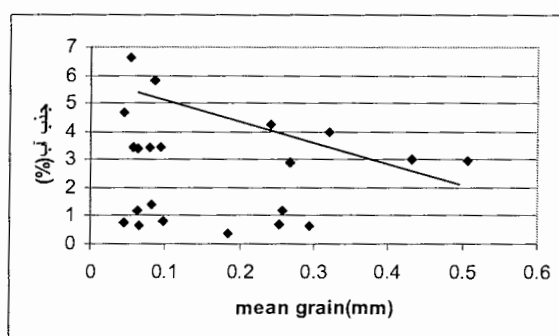
شکل (۶-۱۹) رابطه بین سرعت موج در حالت خشک و اشباع و میانگین اندازه دانه ها



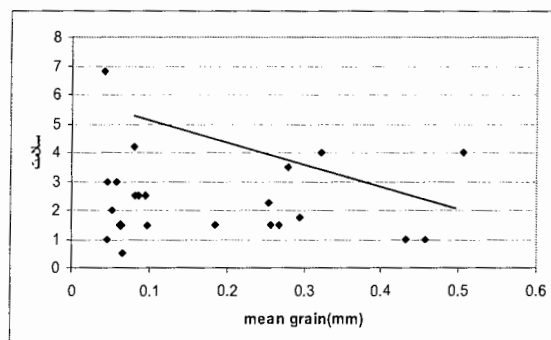
شکل (۶-۲۰) رابطه بین شاخص دوام و میانگین اندازه دانه ها



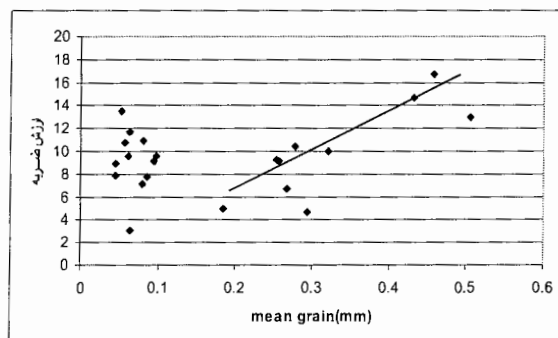
شکل (۶-۲۱) رابطه بین تخلخل و میانگین اندازه دانه



شکل (۶-۲۲) رابطه بین میزان جذب آب و میانگین اندازه دانه ها



شکل (۶-۲۳) رابطه بین درصد افت وزنی در آزمایش سلامت سنگ و میانگین اندازه دانه ها



شکل (۶-۲۴) رابطه ارزش ضربه ای سنگها و میانگین اندازه دانه ها

۵-۶ ارزیابی خصوصیات مقاومتی و دوام داری بر اساس شاخصهای هوازدهی

شاخص های شیمیایی و پترولوژیکی ابزار نسبتاً دقیقی برای تعیین درجه هوازدهی سنگها می باشند. هوازدهی با ضعیف کردن فابریک سنگ و ایجاد ضعفهای ساختمانی باعث متلاشی شدن سنگ میگردد. از این رو افزایش هوازدهی باعث کاهش خواص مقاومتی و دوام داری سنگها می شود. البته هوازدهی و شاخصهای آن نیز به تنهایی نمی توانند مشخص کننده خواص مقاومتی سنگ باشند و خود به عواملی نظیر ترکیب کانی شناسی، درصد کانی های رسی، میانگین اندازه دانه ها و غیره بستگی دارد و این عوامل باعث تغییر در میزان هوازدهی سنگهای مشابه می شوند به عنوان مثال سنگهای درشت دانه سریعتر از سنگهای ریز دانه هوازده می شوند.

جدول (۶-۱)، محدوده ضرایب هوازدهی مختلف

شدت هوازدهی	تازه		کمی هوازده		متوسط هوازده		زیاد هوازده	
	اسیدی	بازیک	اسیدی	بازیک	اسیدی	بازیک	اسیدی	بازیک
MI	0.8	0.65	0.7	0.6	0.6	0.55	0.5	0.5
WPI	0.5	1	0.4	0.9	0.3	0.8	0.2	0.7
PI	90	100	85	95	80	90	75	85
IP								
W _p	75	60	68	58	60	54	55	50

شدت هوازدهی	تازه		کمی هوازده		متوسط هوازده		زیاد هوازده	
	نام شاخص							
MI	GAS1. GAS2		SHT2. RD8. RT16		RT1W, BD12, RT1F KS9. BOS4 G1, HAS4		COS1, LD10,	
WPI	KS9. SHT2 COS1		GAS2. RT16 HAS4		BD12, RT1, RD8, GAS1 BOS4. LD10. G1			
PI	KS9. SHT2		LD10, G1, HAS4		BD12, RT1, RD8, GAS1 BOS4-GAS2-RT16 COS1			
IP								
W _p	KS9. SHT2		GAS2. KS0		GAS1. RD8 RT1. BD12 COS1.		LD10. G1. HAS4 RT16 BOS4	

پس از بررسی شاخصهای هوازدهی در سنگهای منطقه و مقایسه آنها با مقادیر بدست آمده از مناطق دیگر. بیشتر سنگها در محدوده های کمی هوازده و متوسط هوازده قرار می گیرند. البته بعضی نمونه های گابرویی به دلیل هوازدهی زیاد در محدوده زیاد هوازده شده قرار می گیرند و بعضی نمونه های برداشت شده از معادن یا بخش بالای جذر و مدی در محدوده سنگهای تازه قرار می گیرند.

در اشکال (۶-۲۵) تا (۶-۵۸) رابطه بین خصوصیات مهندسی سنگها و شاخصهای هوازگی MI و WPI و IP و W_P در سنگها نشان داده شده است. اگرچه پراکندگی داده ها نسبتاً زیاد می باشد ولی بطور کلی با افزایش شدت هوازگی خصوصیات مقاومتی و دوام داری کاهش نشان می دهند. در شکل (۶-۲۵) رابطه بین شاخص MI و میانگین اندازه دانه در سنگهای مختلف نشان داده شده است و با افزایش اندازه دانه، شاخص MI افزایش می یابد. این امر نشان دهنده این نکته است که سنگهای درشت دانه سریعتر هوازده می شوند.

در اشکال (۶-۲۶) و (۶-۲۷) و (۶-۲۸) به ترتیب رابطه بین شاخص MI و شاخص دوام و مقاومت تک محوری و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع در سنگهای مختلف نشان داده شده است. با افزایش MI، شاخص دوام، مقاومت و سرعت صوت کاهش یافته است.

در شکل (۶-۲۹) و (۶-۳۰) و (۶-۳۱) و (۶-۳۲) به ترتیب رابطه بین شاخص MI و درصد افت وزنی در آزمایش سلامت سنگ، میزان جذب آب، تخلخل و ارزش ضربه نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش MI، افت وزنی، میزان جذب آب، تخلخل و ارزش ضربه افزایش می یابد.

در شکل (۶-۳۳) رابطه بین شاخص پارکر و میانگین اندازه دانه نشان داده شده است. با افزایش شاخص پارکر، شاخص دوام نیز کاهش می یابد.

در اشکال (۶-۳۴) و (۶-۳۵) و (۶-۳۶) به ترتیب رابطه بین شاخص پارکر با شاخص دوام، مقاومت تک محوری و سرعت صوت نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش شاخص پارکر، شاخص دوام، مقاومت و سرعت صوت نیز کاهش می یابد.

در شکل (۶-۳۷) رابطه بین شاخص PI میانگین اندازه دانه در سنگهای مختلف نشان داده شده است و با افزایش اندازه دانه، شاخص PI افزایش می یابد. این امر نشان دهنده این نکته است که سنگهای درشت دانه سریعتر هوازده می شوند

در اشکال (۶-۳۸) و (۶-۳۹) و (۶-۴۰) به ترتیب رابطه بین شاخص PI با میزان جذب آب، تخلخل و ارزش ضربه نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود با افزایش این شاخص، جذب آب، تخلخل و ارزش ضربه افزایش می یابد.

در شکل (۴۱-۶) و (۴۲-۶) به ترتیب رابطه بین شاخص PI و مقاومت فشاری تک محوری و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع نشان داده شده است که با افزایش شاخص PI، میزان مقاومت و سرعت صوت افزایش می یابد.

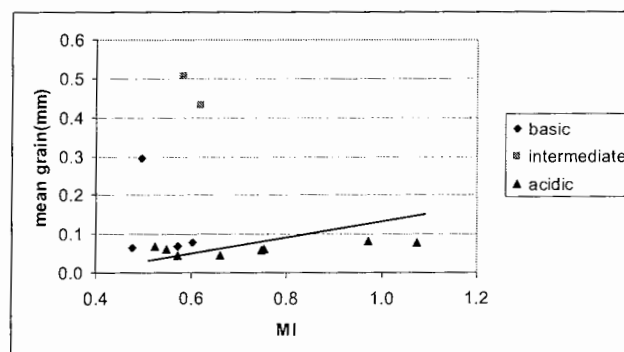
در شکل (۴۳-۶) رابطه بین شاخص WPI میانگین اندازه دانه در سنگهای مختلف نشان داده شده است و با افزایش اندازه دانه، این شاخص افزایش می یابد. این امر نشان دهنده این نکته است که سنگهای درشت دانه سریعتر هوازده می شوند

در شکل (۴۴-۶) و (۴۵-۶) به ترتیب رابطه بین شاخص WPI با مقاومت تک محوری و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش شاخص WPI، مقدار مقاومت و سرعت صوت افزایش می یابد.

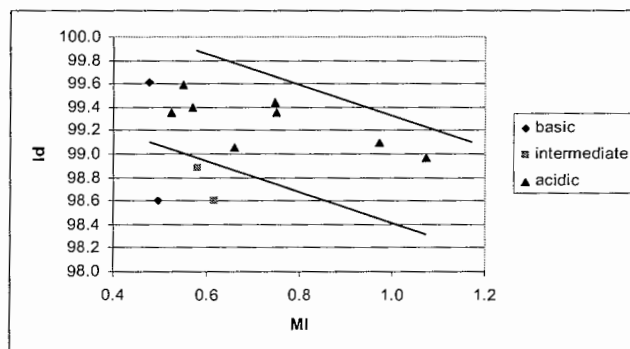
مطابق اشکال (۴۶-۶) و (۴۷-۶) و (۴۸-۶) و (۴۹-۶) با افزایش شاخص WPI، مقدار جذب آب، تخلخل، سلامت و ارزش ضربه کاهش می یابند.

در اشکال (۵۰-۶) و (۵۱-۶) و (۵۲-۶) به ترتیب رابطه بین شاخص IP با شاخص دوام و مقاومت در حالت خشک و اشباع نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش شاخص IP، مقدار دوام و مقاومت در سنگها افزایش می یابد.

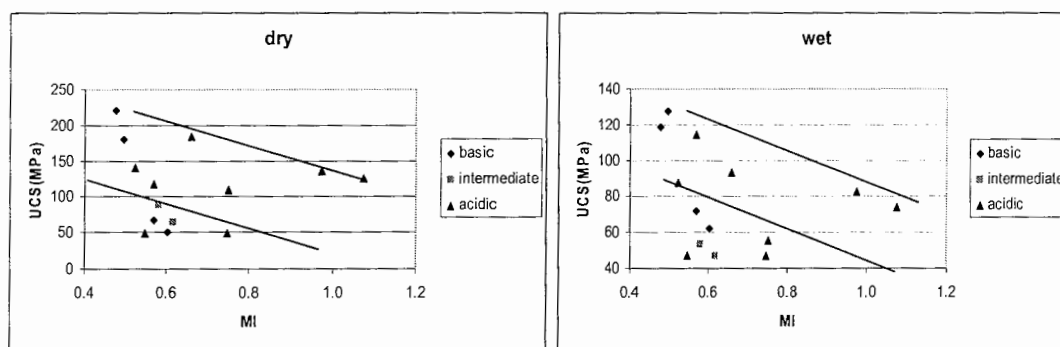
در اشکال (۵۳-۶) و (۵۴-۶) و (۵۵-۶) به ترتیب رابطه بین شاخص IP و میزان جذب آب، تخلخل و شاخص سلامت سنگ نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش شاخص IP، مقدار جذب آب، تخلخل و سلامت سنگ کاهش می یابد.



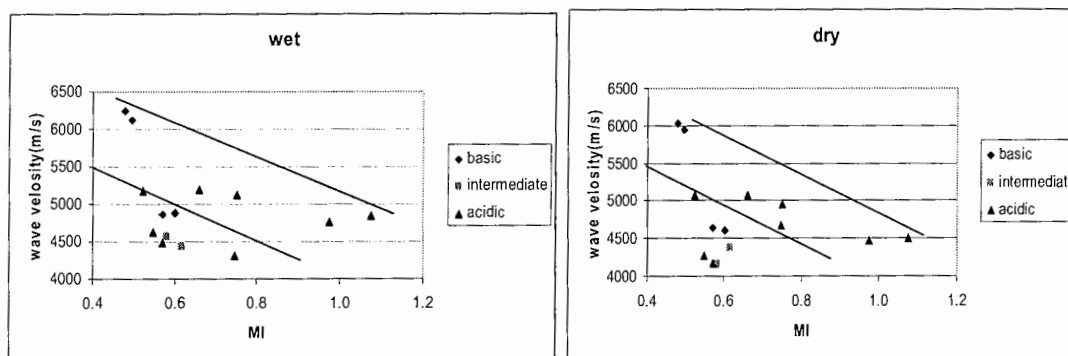
شکل (۲۵-۶) رابطه بین شاخص MI و میانگین اندازه دانه



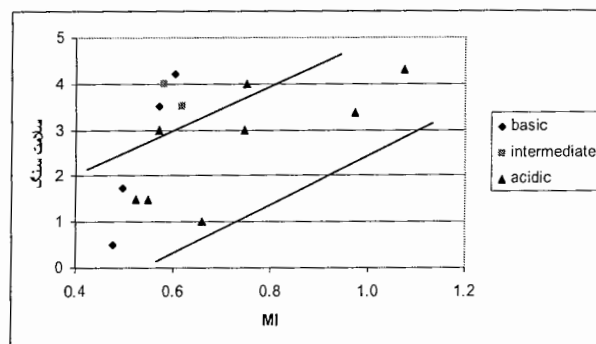
شکل (۲۶-۶) رابطه بین شاخص MI و شاخص دوام



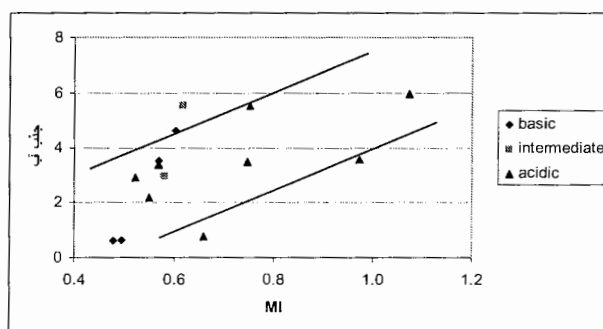
شکل (۲۷-۶) رابطه بین شاخص MI و مقاومت تک محوری در حالت خشک و اشباع



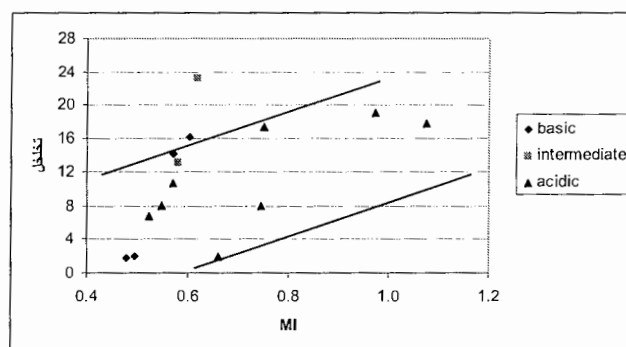
شکل (۲۸-۶) رابطه بین شاخص MI و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع



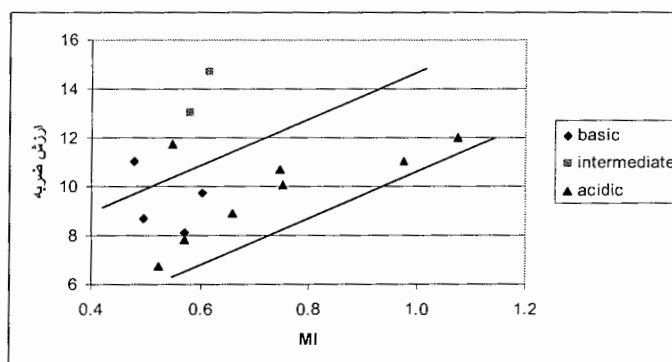
شکل (۲۹-۶) رابطه بین شاخص MI و درصد افت وزنی در آزمایش سلامت سنگ



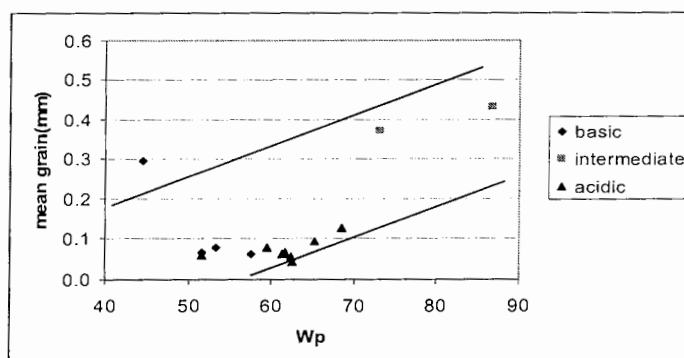
شکل (۳۰-۶) رابطه بین شاخص MI و میزان جذب آب



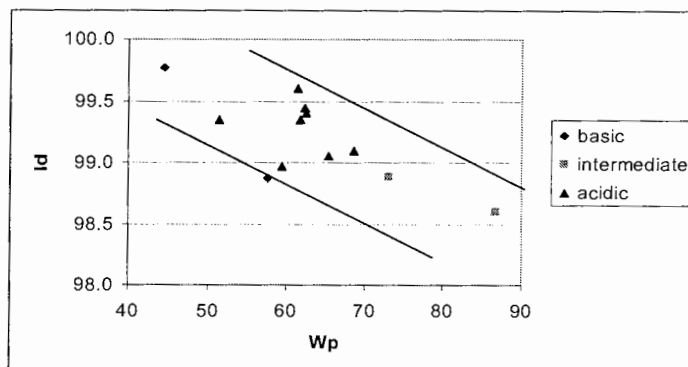
شکل (۳۱-۶) رابطه بین شاخص MI و تخلخل



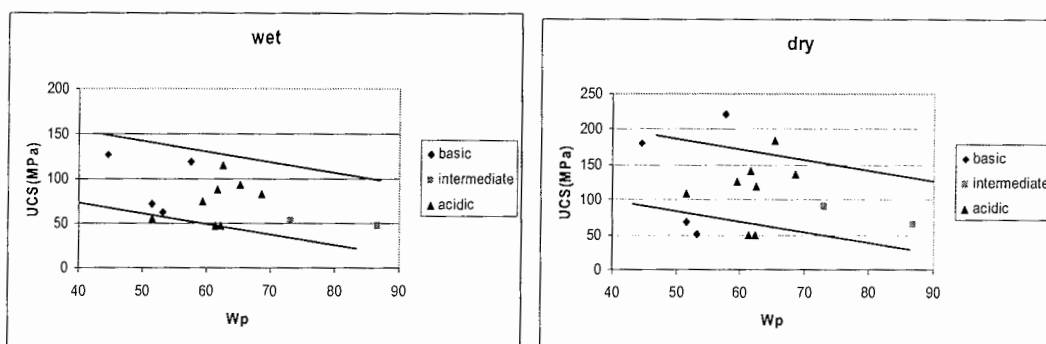
شکل (۳۲-۶) رابطه بین شاخص MI و ارزش ضربه



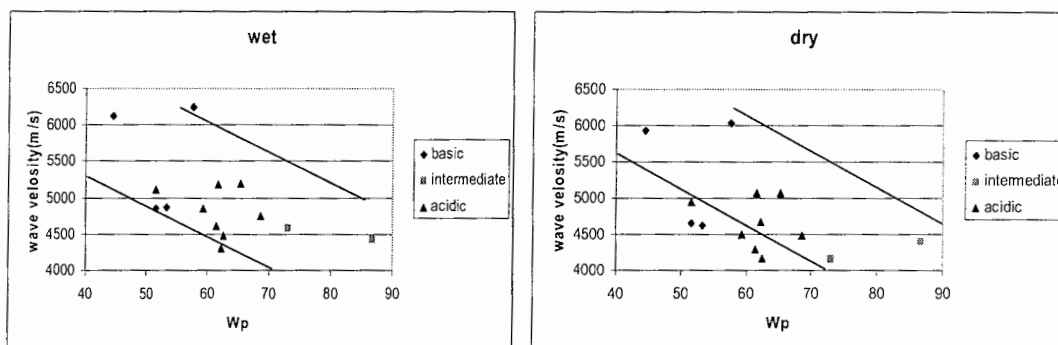
شکل (۳۳-۶) رابطه بین شاخص پارکر و میانگین اندازه دانه ها



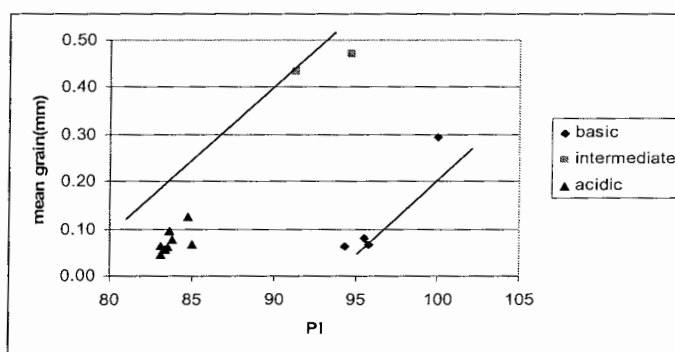
شکل (۳۴-۶) رابطه بین شاخص پارکر و شاخص دوام



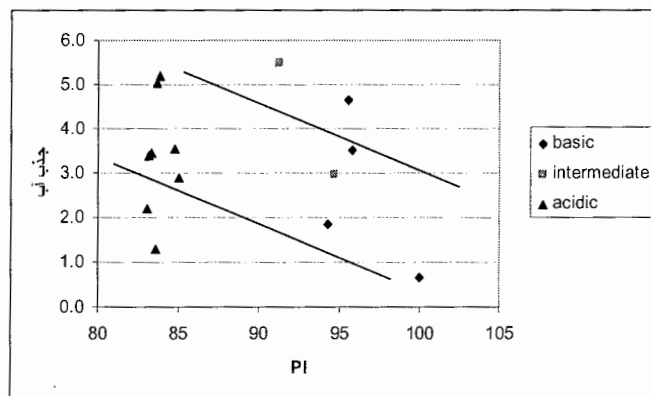
شکل (۳۵-۶) رابطه بین شاخص پارکر و مقاومت فشاری تک محوری در حالت خشک و اشباع



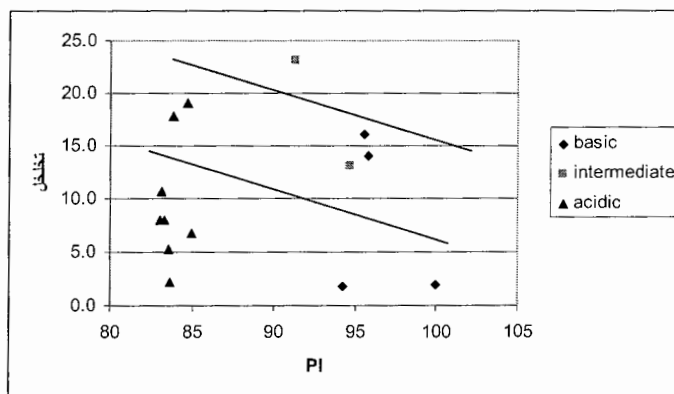
شکل (۳۶-۶) رابطه بین شاخص پارکر و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع



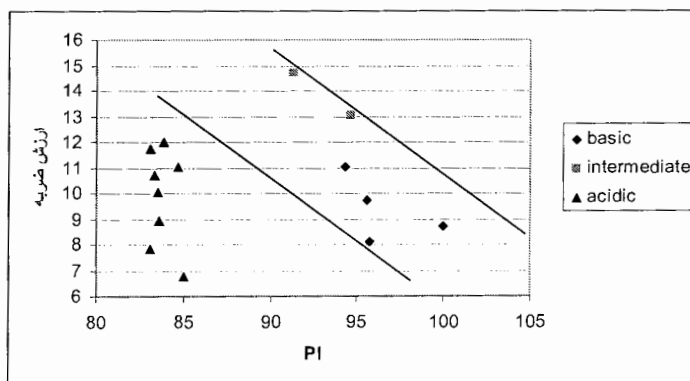
شکل (۳۷-۶) رابطه بین شاخص PI و میانگین اندازه دانه



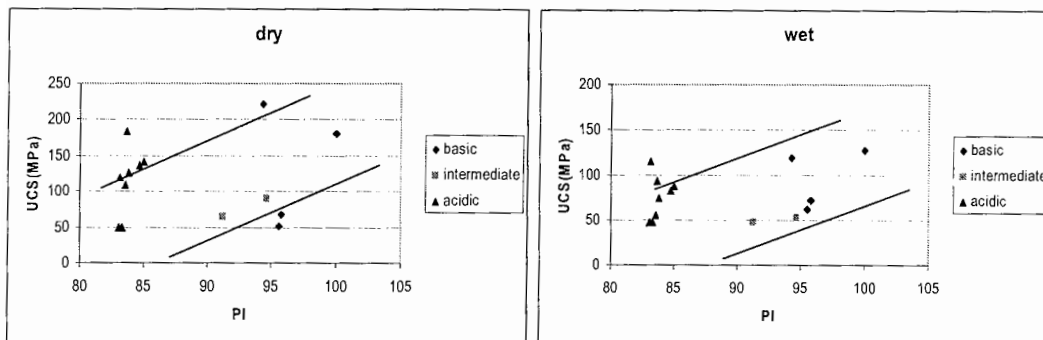
شکل (۳۸-۶) رابطه بین شاخص PI و میزان جذب آب



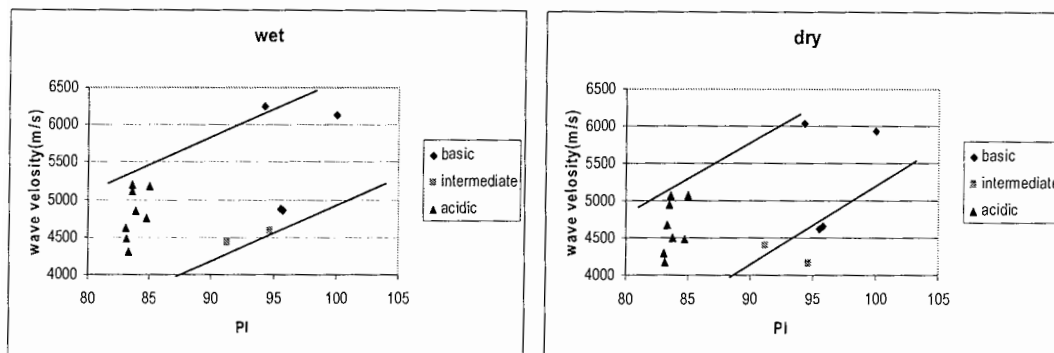
شکل (۳۹-۶) رابطه بین شاخص PI و تخلخل



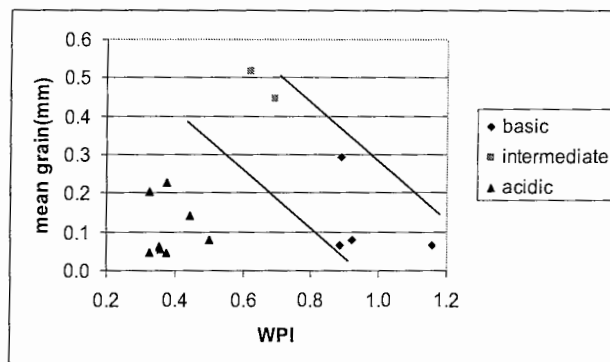
شکل (۴۰-۶) رابطه بین شاخص PI و ارزش ضربه



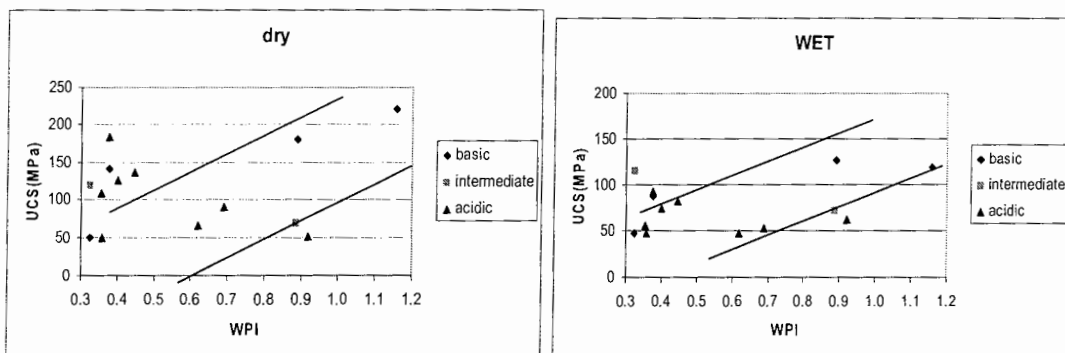
شکل (۴۱-۶) رابطه بین شاخص PI و مقاومت فشاری تک محوری در حالت خشک و اشباع



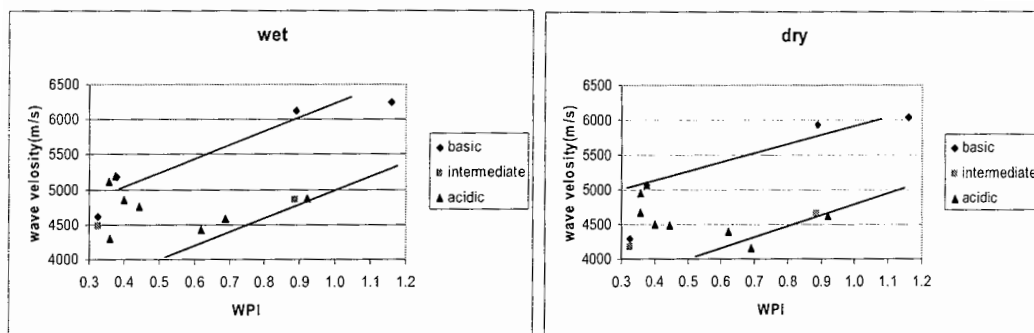
شکل (۴۲-۶) رابطه بین شاخص PI و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع



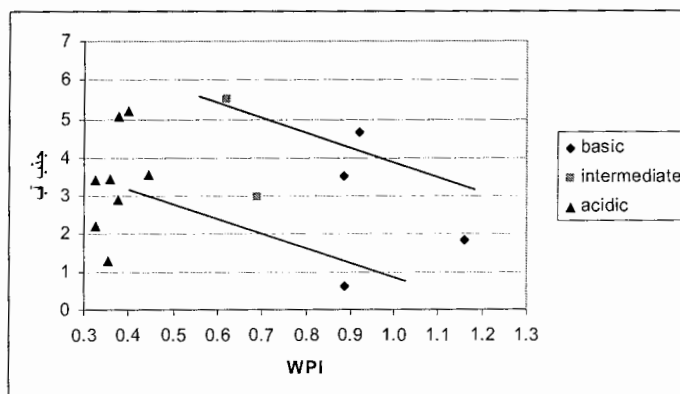
شکل (۴۳-۶) رابطه بین شاخص WPI و میانگین اندازه دانه ها



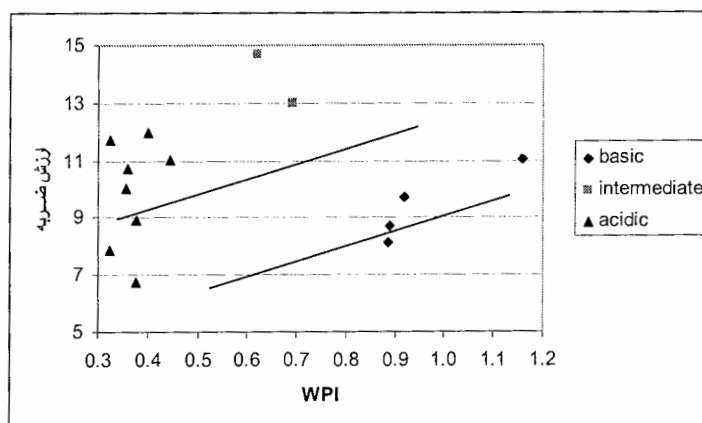
شکل (۴۴-۶) رابطه بین شاخص WPI و مقاومت تک محوری در حالت خشک و اشباع



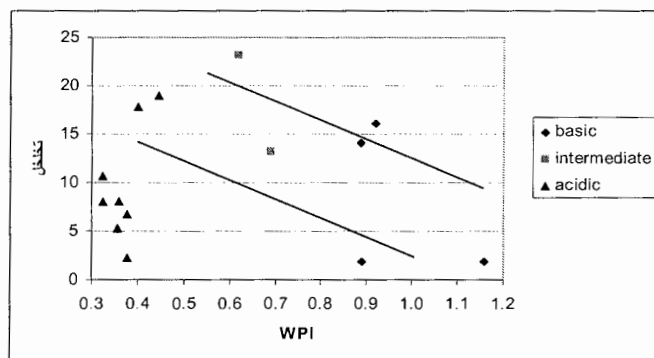
شکل (۴۵-۶) رابطه بین شاخص WPI و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع



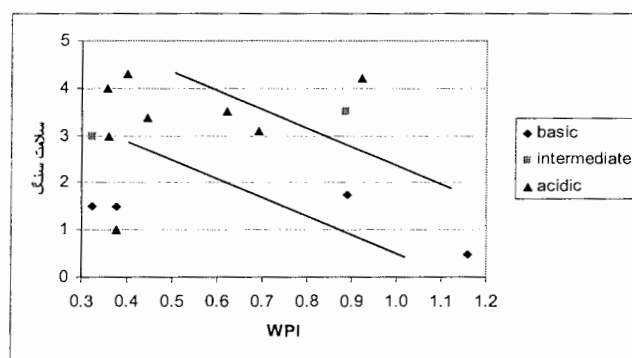
شکل (۴۶-۶) رابطه بین شاخص WPI و میزان جذب آب



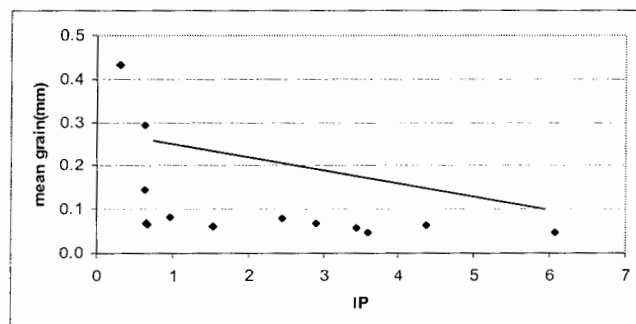
شکل (۴۷-۶) رابطه بین شاخص WPI و ارزش ضربه



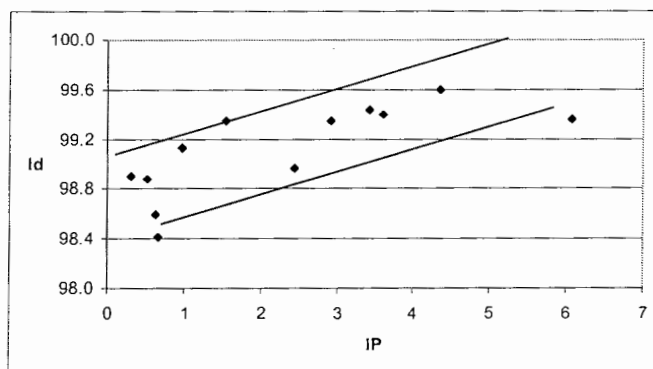
شکل (۴۸-۶) رابطه بین شاخص WPI و تخلخل



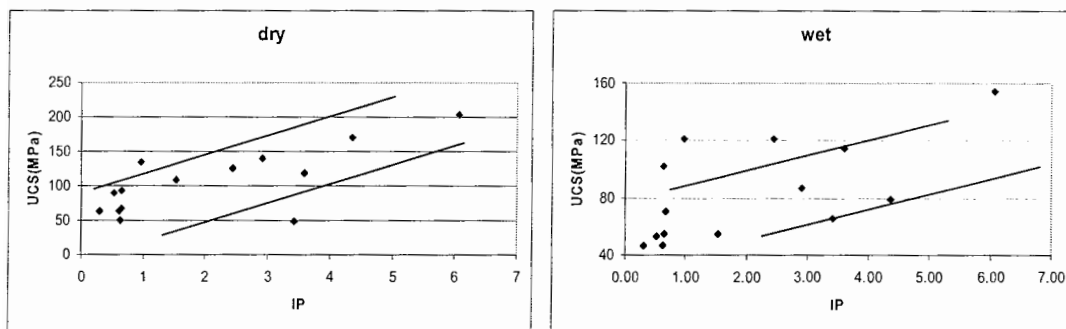
شکل (۴۹-۶) رابطه بین شاخص WPI و افت وزنی در آزمایش سلامت سنگ



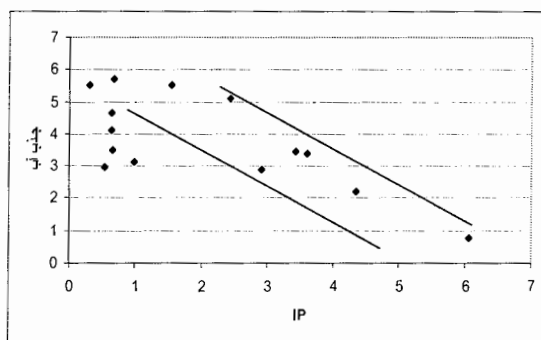
شکل (۵۰-۶) رابطه بین میانگین اندازه دانه ها و شاخص IP



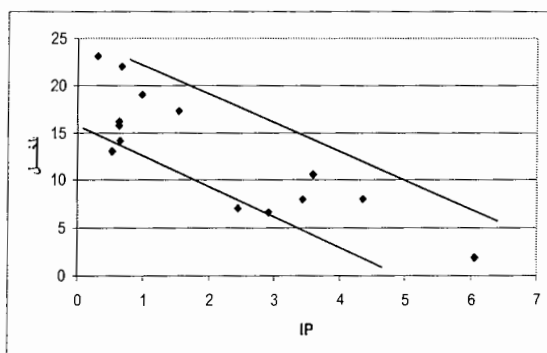
شکل (۵۱-۶) رابطه بین شاخص IP و شاخص دوام



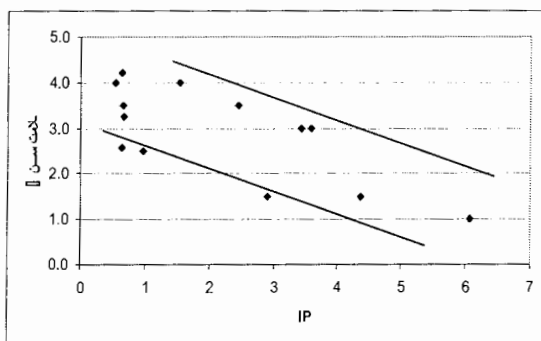
شکل (۵۲-۶) رابطه بین شاخص IP و مقاومت تک محوری در حالت خشک و اشباع



شکل (۵۳-۶) رابطه بین شاخص IP و میزان جذب آب



شکل (۵۴-۶) رابطه بین شاخص IP و تخلخل



شکل (۵۵-۶) رابطه بین شاخص IP و افت وزنی در آزمایش سلامت سنگ

۶-۶ ارزیابی خصوصیات مقاومتی و دوام داری بر اساس درصد کانیهای ناپایدار

درصد کانی های ناپایدار (unsound) در سنگها شاخص خوبی برای تعیین میزان مقاومت سنگها می باشد و تاثیر زیادی بر روی خصوصیات مقاومتی و دوام داری سنگها دارند. تشکیل دهنده های unsound شامل کانی های ناپایدار در برابر هوازدگی مانند کانی های فرومنیزین، کانی های ثانویه مانند کانی های رسی و اکسیدهای آهن و حفرات و میکروشکافهای سنگ می باشند. دوام و مقاومت سنگ با افزایش کانی های ثانویه و ناپایدار بشدت کاهش می یابد. درصد کانی های ناپایدار به عواملی مانند میزان هوازدگی و ترکیب کانی شناسی سنگ بستگی دارند.

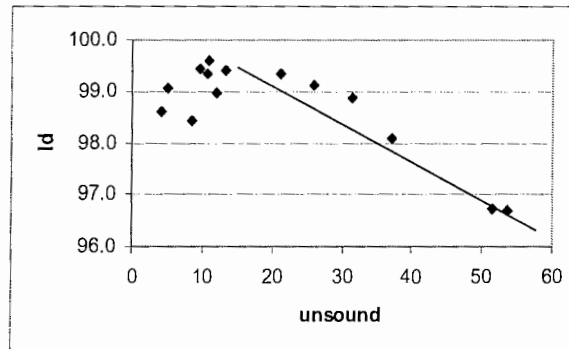
unsound	نمونه	unsound	نمونه
75.83	COS1	5.05	RD8
53.75	HAS4	11.92	RT16
31.52	KS9	13.22	RT1F
25.91	GAS2	10.85	RT1W
37.11	SHT2	21.16	BOS4
56.83	LD10	10.70	BD12
51.47	G1	9.55	GAS1

پس از بررسی های میکروسکوپی و مطالعات شیمیایی سنگهای منطقه. مشاهده گردید که بطور کلی میزان تشکیل دهنده های ناپایدار در سنگهای بازیک از سنگهای اسیدی بیشتر می باشد و دلیل آن استعداد بیشتر این سنگها برای هوازدگی می باشد. چون شرایط تشکیل این سنگها با سطح زمین تفاوت بیشتری دارد. در بین سنگهای مورد بررسی داسیت ها و ریولیت ها کمترین تشکیل دهنده ناپایدار را دارند و بعد از آنها به ترتیب گرانودیوریت، سینیت، توف، بازالت و گابرو قرار دارند.

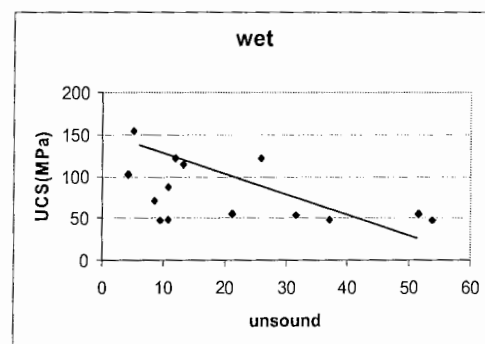
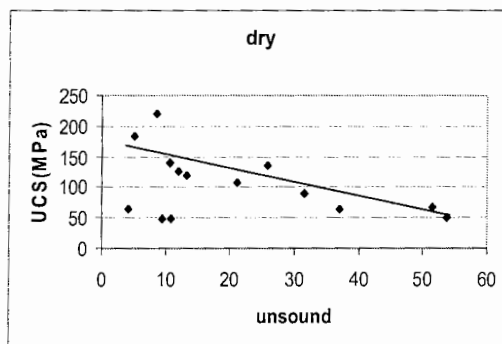
در اشکال (۶-۵۶) تا (۶-۶۱) رابطه بین خصوصیات مهندسی سنگها و درصد کانی های ناپایدار سنگها نشان داده شده است. مشاهده میگردد خواص مقاومتی و دوام داری با افزایش درصد کانیهای ناپایدار و ثانویه کاهش می یابند.

در اشکال (۶-۵۶) و (۶-۵۷) و (۶-۵۸) به ترتیب رابطه بین سازنده های ناپایدار با شاخص دوام، مقاومت تک محوری و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش اجزاء ناپایدار، مقدار شاخص دوام، مقاومت و سرعت صوت در سنگها کاهش می یابد.

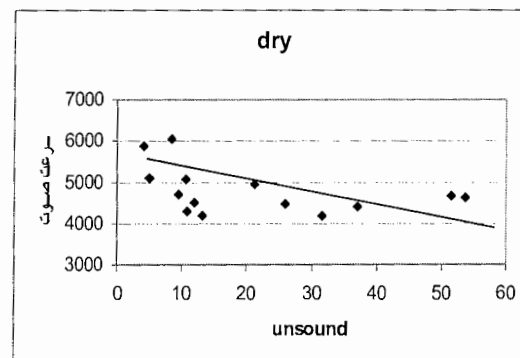
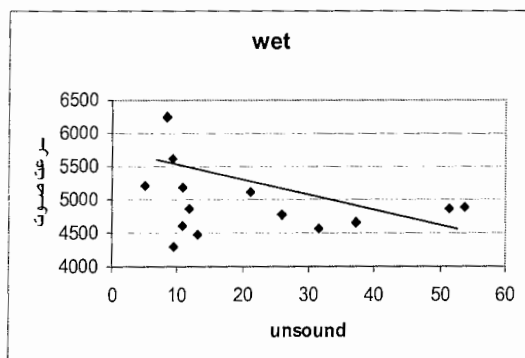
در شکل (۵۹-۶) و (۶۰-۶) و (۶۱-۶) به ترتیب رابطه بین سازنده های ناپایدار را با میزان جذب آب، تخلخل و سلامت سنگها نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش اجزاء ناپایدار، میزان جذب آب، تخلخل و شاخص سلامت افزایش می یابند.



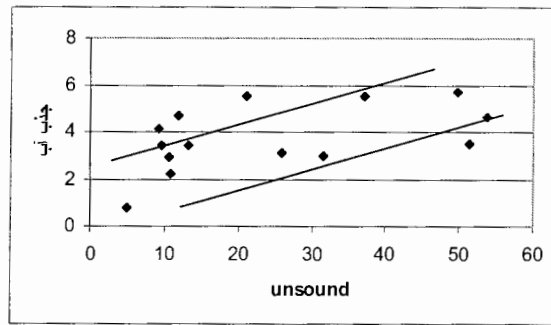
شکل (۵۶-۶) رابطه بین سازنده های ناپایدار و شاخص دوام



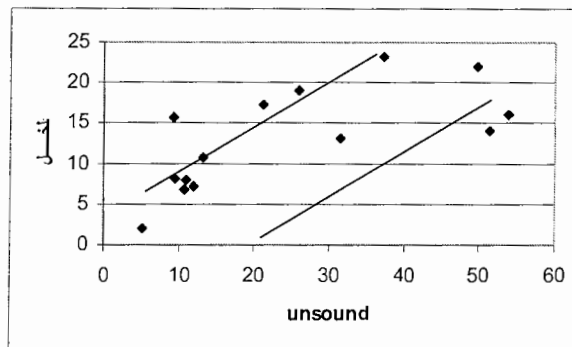
شکل (۵۷-۶) رابطه بین سازنده های ناپایدار و مقاومت تک محوری در حالت خشک و اشباع



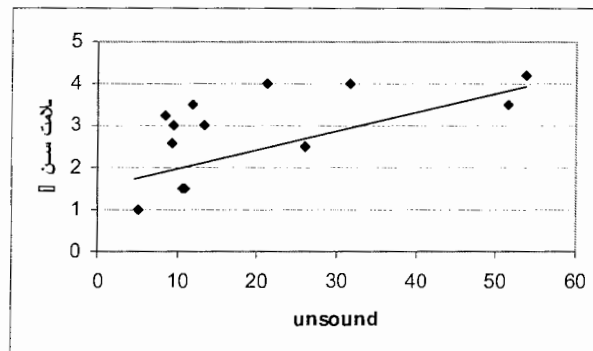
شکل (۵۸-۶) رابطه بین سازنده های ناپایدار و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع



شکل (۵۹-۶) رابطه بین سازنده های ناپایدار و میزان جذب آب



شکل (۶۰-۶) رابطه بین سازنده های ناپایدار و میزان تخلخل



شکل (۶۱-۶) رابطه بین سازنده های ناپایدار و سلامت سنگ

۶-۷ ارزیابی خصوصیات مقاومتی و دوام داری بر اساس ترکیب کانی شناسی

نوع کانی ها و نسبت آنها تاثیر زیادی بر دوام و مقاومت سنگ خواهد. سنگهای حاوی کوارتز (به عنوان کانی پیوند دهنده) دارای بیشترین مقاومت می باشند و بعد از آن کلسیت و کانی های آهن و منیزیم دار قرار دارند و سنگهایی با مواد پیوند دهنده رسی ضعیف ترین سنگها می باشند. کانی های آهن و

منیزیم دار و کوارتز نقش عمده ای در مقاومت سنگها دارند. این کانی ها مرزهای دانه ای پیچیده یا بافتهای درهم رشدی خوبی در سنگها ایجاد می کنند و باعث افزایش مقاومت و دوام سنگها می شوند. ولی ترکیب کانی شناسی نیز تحت تاثیر عوامل زیادی مانند میکروشکستگی ها، هوازدگی و ... بوده و این عوامل می توانند سبب تغییر خواص مقاومتی سنگهایی با ترکیب یکسان شوند. پس ترکیب کانی شناسی نیز به تنهایی نمی تواند شاخصی برای تعیین مقاومت و دوام سنگها باشد.

در اشکال (۶-۶۲) تا (۶-۷۰) ارتباط بین ترکیب کانی شناسی (درصد کوارتز و کانی های فرومنیزین) نشان داده شده است. مشاهده می شود که افزایش کوارتز و کانی های فرومنیزین باعث افزایش پایداری و مقاومت سنگ خواهند شد.

در شکل (۶-۶۲) و (۶-۶۳) به ترتیب رابطه بین درصد کانی های فرومنیزین با تخلخل و میزان جذب آب نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود تخلخل و میزان جذب آب با افزایش این کانی ها کاهش می یابند زیرا کانی های فرومنیزین پیوندهای بین دانه ای محکمی تشکیل می دهند و مانع نفوذ آب می شوند.

در شکل (۶-۶۴) رابطه بین درصد کانی های فرومنیزین و وزن مخصوص نشان داده شده است. مشاهده می شود که وزن مخصوص با افزایش این کانی ها، افزایش می یابد زیرا کانی های فرومنیزین دارای وزن مخصوص بالاتری می باشند.

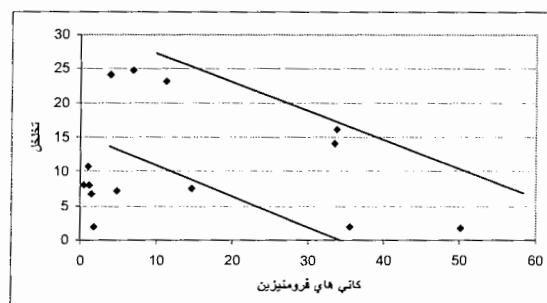
در شکل (۶-۶۵) رابطه بین درصد کانی های فرومنیزین و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع نشان داده شده است. مشاهده می شود سرعت صوت با افزایش این کانی ها، افزایش می یابد زیرا این کانی ها چگال تر بوده و سرعت صوت در آنها بیشتر می باشد.

در شکل (۶-۶۶) رابطه بین نسبت Q/F (کوارتز به فلدسپات) و شاخص دوام فقط برای سنگهایی که کوارتز داشته اند، نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش این نسبت، شاخص دوام هم زیاد می شود. کانی کوارتز پیوندهای بین دانه ای و مرزهای درهم تشکیل می دهد و باعث افزایش دوام و مقاومت سنگ میگردد.

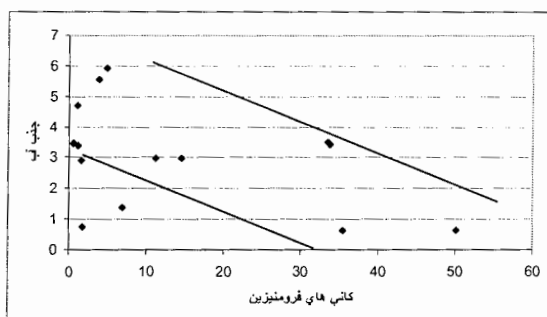
در شکل (۶-۶۷) رابطه بین نسبت Q/F و ارزش ضربه فقط برای سنگهایی که کوارتز داشته اند نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش این نسبت، ارزش ضربه ای کاهش می یابد زیرا کوارتز پیوندها و مرزهای بین دانه ای محکمی ایجاد می کند.

در شکل (۶-۶۸) رابطه بین درصد کوارتز و شاخص دوام فقط برای سنگهایی که کوارتز داشته اند نشان داده شده است.

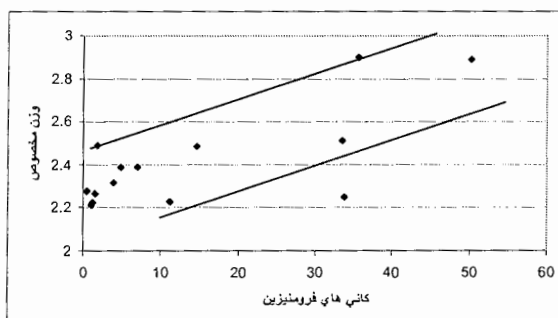
در اشکال (۶-۶۹) و (۶-۷۰) به ترتیب رابطه بین درصد کوارتز با ارزش ضربه و شاخص سلامت و فقط برای سنگهایی که کوارتز داشته اند نشان داده شده است.



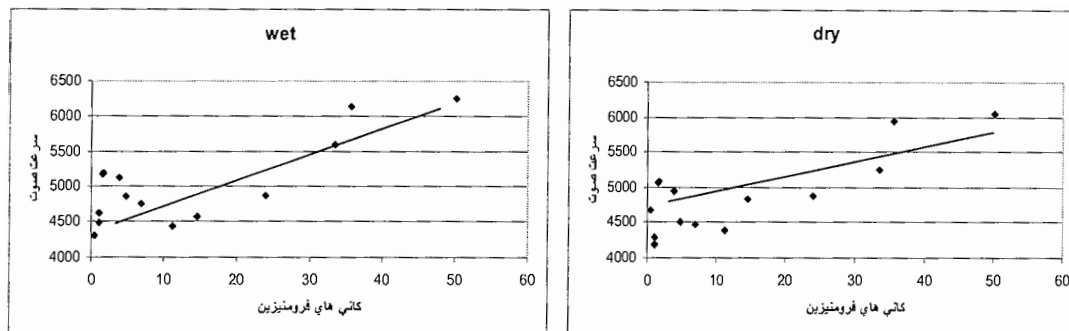
شکل (۶-۶۲) رابطه بین درصد کانی های فرومنیزین و تخلخل



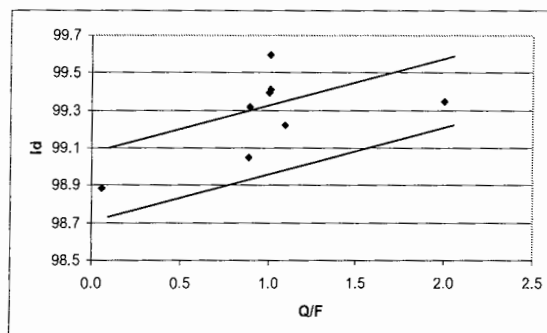
شکل (۶-۶۳) رابطه بین درصد کانی های فرومنیزین و میزان جذب آب



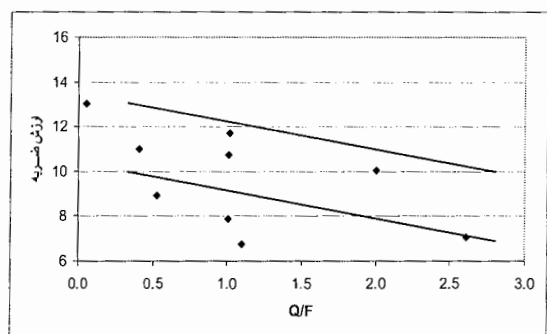
شکل (۶-۶۴) رابطه بین درصد کانی های فرومنیزین و وزن مخصوص



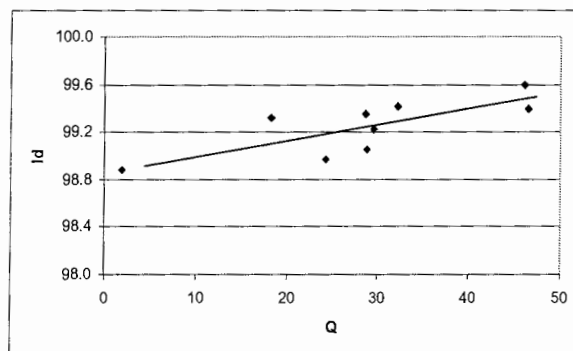
شکل (۶۵-۶) رابطه بین درصد کانی های فرومینیون و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع



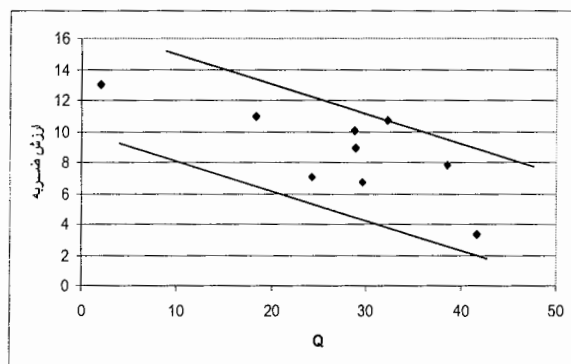
شکل (۶۶-۶) رابطه بین نسبت Q/F و شاخص دوام



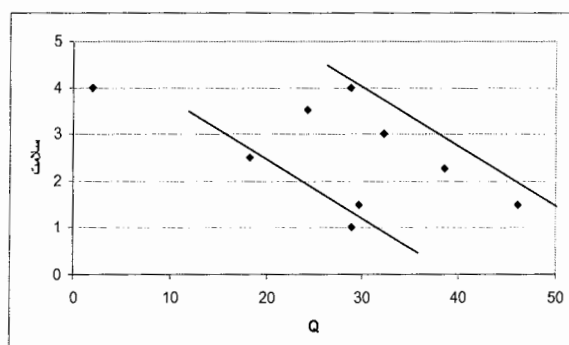
شکل (۶۷-۶) رابطه بین نسبت Q/F و ارزش ضربه



شکل (۶۸-۶) رابطه بین درصد کوارتز و شاخص دوام



شکل (۶-۶۹) رابطه بین درصد کوارتز و ارزش ضربه



شکل (۶-۷۰) رابطه بین درصد کوارتز و درصد سلامت سنگ

۸-۶ ارزیابی ارتباط خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و دوام داری

خصوصیات فیزیکی، مقاومتی و دوام داری سنگها با هم مرتبط هستند. تمام این خصوصیات تحت تاثیر عواملی مانند هوازدگی، ترکیب کانی شناسی و درصد کانی های رسی، فراوانی میکروشکستگی ها، بافت، اندازه دانه ها و شرایط خارجی مانند حرارت، فشار و رطوبت می باشند.

رابطه وزن مخصوص و دیگر خصوصیات سنگ: وزن مخصوص سنگها متاثر از کانی شناسی و بافت سنگ می باشد. سنگهای با وزن مخصوص بالاتر، متراکم تر بوده و از مشخصه های مقاومتی بهتری برخوردارند. در اشکال (۶-۷۱) و (۶-۷۲) به ترتیب رابطه بین وزن مخصوص با مقاومت، سرعت صوت در سنگهای مورد مطالعه نشان داده شده است. مشاهده می شود که رابطه وزن مخصوص با دیگر خصوصیات سنگ بصورت خطی می باشد. رابطه این دو پارامتر بصورت زیر می باشد:

رابطه بین وزن مخصوص و مقاومت تک محوری در حالت خشک :

$$Y = 247.52X - 531.08, R^2 = 0.5301$$

رابطه بین وزن مخصوص و مقاومت تک محوری در حالت اشباع:

$$Y = 397.88 \ln(X) - 301.12, R^2 = 0.43$$

رابطه وزن مخصوص و سرعت موج در حالت خشک:

$$Y = 11002 \ln(X) - 5773.2, R^2 = 0.68$$

رابطه وزن مخصوص و سرعت موج در حالت اشباع:

$$Y = 10789 \ln(X) - 5358.2, R^2 = 0.6862$$

رابطه تخلخل و دیگر خصوصیات سنگ: در اشکال (۶-۷۳) و (۶-۷۴) و (۶-۷۵) به ترتیب رابطه بین تخلخل با مقاومت تک محوری، سرعت صوت و چگالی در حالت خشک و اشباع نشان داده می شود. مقاومت سنگ با افزایش تخلخل کاهش می یابد زیرا تخلخل زیاد باعث سست شدن فابریک سنگ می شود. رابطه تخلخل با دیگر خصوصیات سنگها بصورت تابع لگاریتمی می باشد. همانطور که در اشکال مشاهده می گردد در تخلخل کمتر از ۱۰ درصد، افزایش تخلخل تاثیر چندانی بر بقیه خصوصیات سنگ ندارد. رابطه این دو پارامتر بصورت زیر می باشد:

رابطه تخلخل و سرعت موج در حالت خشک:

$$Y = -634.33 \ln(X) - 5773.9, R^2 = 0.4495$$

رابطه تخلخل و سرعت موج در حالت اشباع:

$$Y = -599.26 \ln(X) - 5925.6, R^2 = 0.421$$

رابطه تخلخل و مقاومت در حالت خشک:

$$Y = -47.16 \ln(X) - 191.4, R^2 = 0.5469$$

رابطه تخلخل و مقاومت در حالت اشباع:

$$Y = 122.16 e^{-0.0776X}, R^2 = 0.5626$$

رابطه تخلخل و چگالی خشک :

$$Y = 2.809 X^{-0.0909}, R^2 = 0.7273$$

رابطه تخلخل و چگالی اشباع :

$$Y = 2.8006 X^{-0.0723}, R^2 = 0.6634$$

رابطه جذب آب و دیگر خصوصیات سنگ: در شکل (۶-۷۶) رابطه بین درصد جذب آب و مقاومت فشاری تک محوری و در حالت های خشک و اشباع نشان داده شده است. پراکندگی داده ها در شکل

نستاً زیاد است اما بطور کلی با افزایش جذب آب. مقاومت خشک و اشباع کاهش نشان می دهند. رابطه جذب آب با دیگر پارامترها بصورت لگاریتمی می باشد. رابطه این دو پارامتر بصورت زیر می باشد:

رابطه جذب آب و مقاومت در حالت خشک:

$$Y = -38.926 \ln(X) - 142.39, R^2 = 0.4625$$

رابطه جذب آب و مقاومت در حالت اشباع :

$$Y = -28.692 \ln(X) - 100.72, R^2 = 0.5717$$

رابطه بین سرعت موج و مقاومت تک محوری : در شکل (۶-۷۶) ارتباط بین این دو پارامتر برای ۲۲ نمونه که هر دوی این خصوصیات در آنها اندازه گیری شده است. نشان داده شده است. همانطور که انتظار می رود این دو پارامتر رابطه مستقیمی با هم دارند و همبستگی نمایی نشان می دهند. در حالت خشک مقاومت فشاری بالاتر است ولی سرعت صوت در حالت مرطوب بیشتر می باشد. پر شدن فضاهای خالی سنگ باعث افزایش سرعت موج در سنگ میگردد. رابطه این دو پارامتر بصورت زیر می باشد:

رابطه بین سرعت موج و مقاومت تک محوری در حالت خشک:

$$Y = 6.0871e^{-0.0006X}, R^2 = 0.6778$$

رابطه بین سرعت موج و مقاومت تک محوری در حالت اشباع:

$$Y = 9E - 0.08X^{2.4126}, R^2 = 0.7132$$

رابطه دوام داری با دیگر خصوصیات سنگ: در اشکال (۶-۷۹) و (۶-۷۸) رابطه بین شاخص دوام با خصوصیات مکانیکی از قبیل مقاومت فشاری تک محوری در حالت خشک و اشباع و ارزش ضربه ای نشان داده شده است. همانطور که در اشکال مشاهده میگردد رابطه مستقیمی بین این دو وجود داشته و شاخص دوام با افزایش مقاومت سنگ افزایش می یابد، زیرا سنگهایی که شاخص دوام پایینی دارند، پیوندهای بین دانه های آنها ضعیف تر بوده و درصد کانی های رسی و میزان هوازدگی در آنها بیشتر می باشد و به همین دلیل مقاومت کمتری نیز دارند و بطور کلی با کاهش دوام، مقاومت سنگ کاهش و ارزش ضربه ای افزایش می یابد. رابطه این دو پارامتر بصورت زیر می باشد:

رابطه بین دوام و مقاومت تک محوری در حالت خشک:

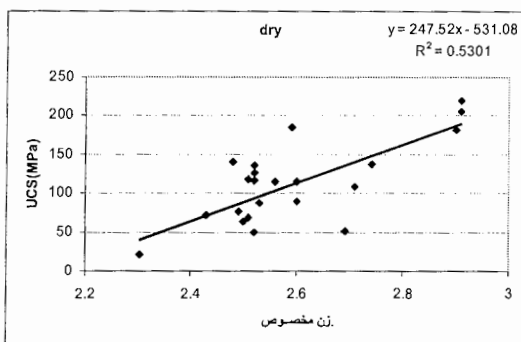
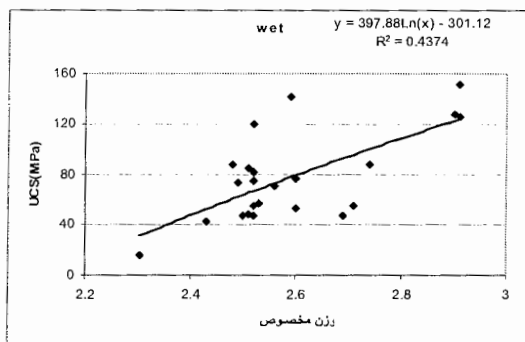
$$Y = 3E - 91X^{46.363}, R^2 = 0.4519$$

رابطه بین دوام و مقاومت تک محوری در حالت اشباع :

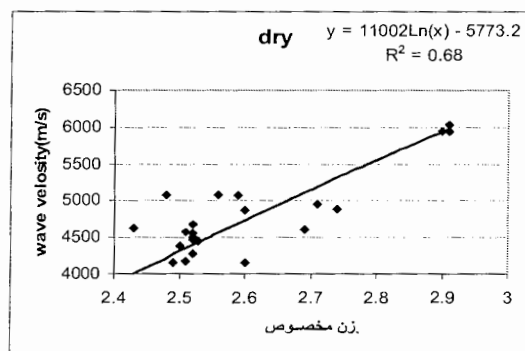
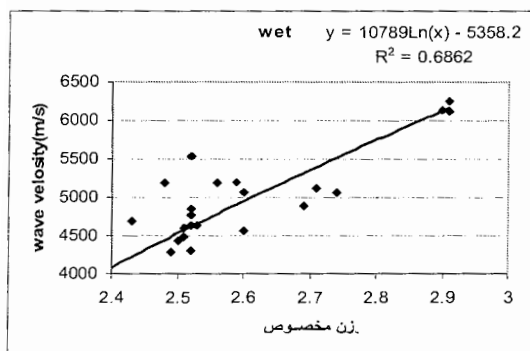
$$Y = 7E - 18e^{0.441X}, R^2 = 0.4959$$

رابطه بین دوام و ارزش ضربه :

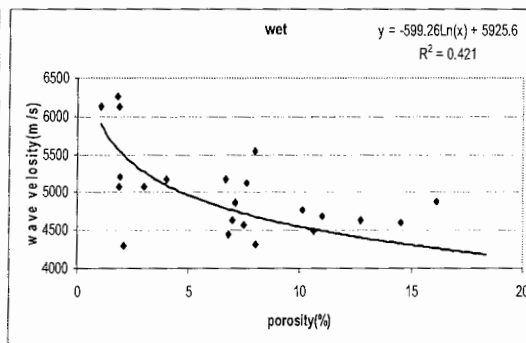
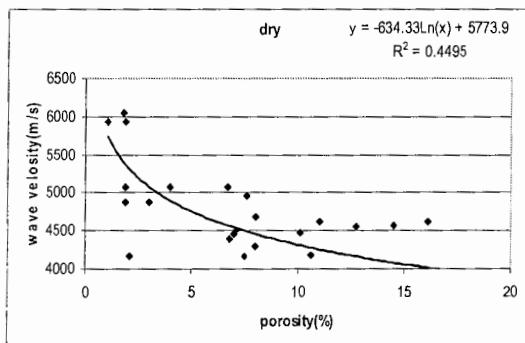
$$Y = -0.0715X + 99.739, R^2 = 0.3854$$



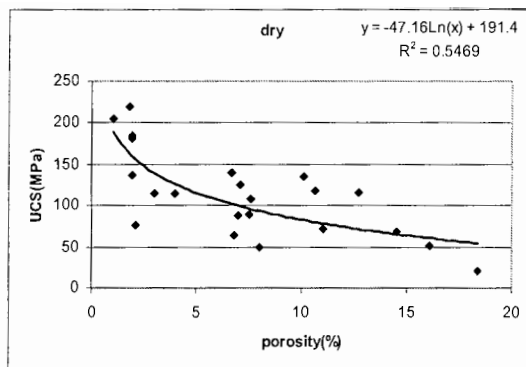
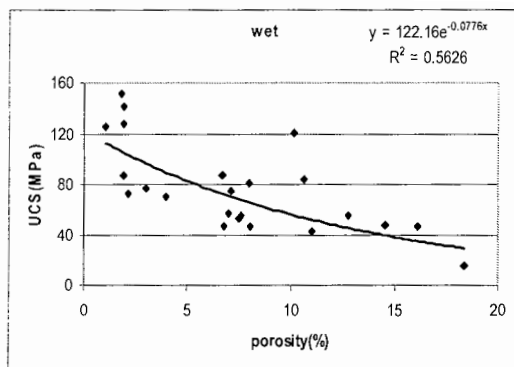
شکل (۶-۷۱) رابطه بین مقاومت تک محوری در حالت خشک و اشباع و وزن مخصوص



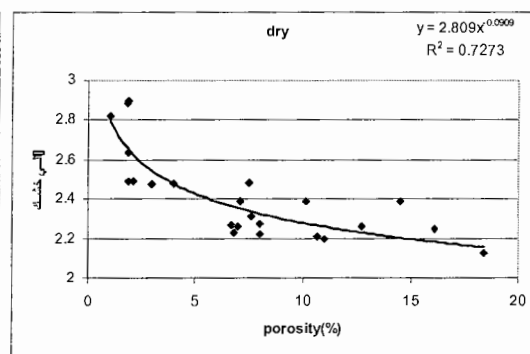
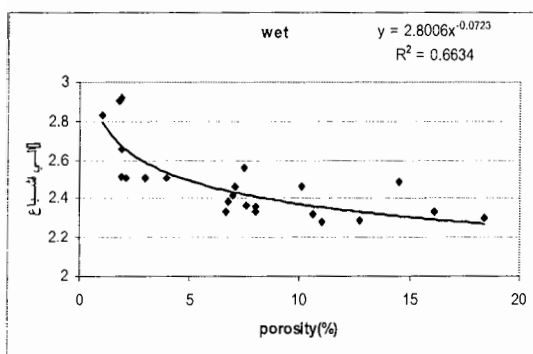
شکل (۶-۷۲) رابطه وزن مخصوص و سرعت موج در حالت‌های خشک و اشباع



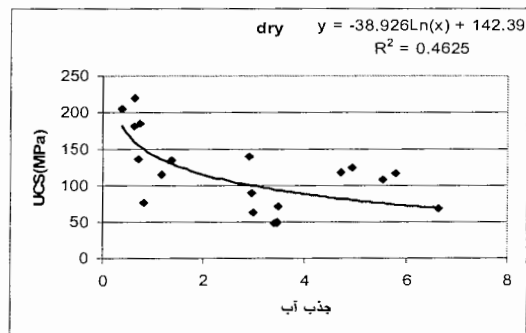
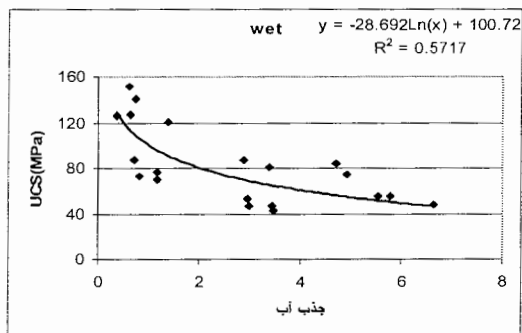
شکل (۶-۷۳) رابطه بین و تخلخل و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع



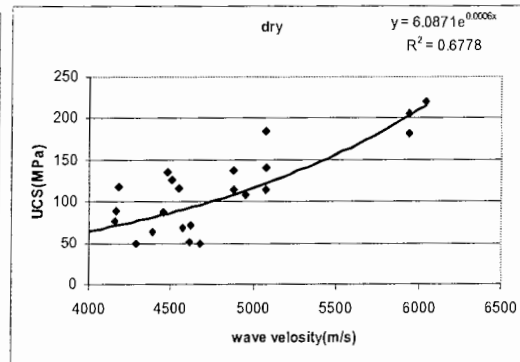
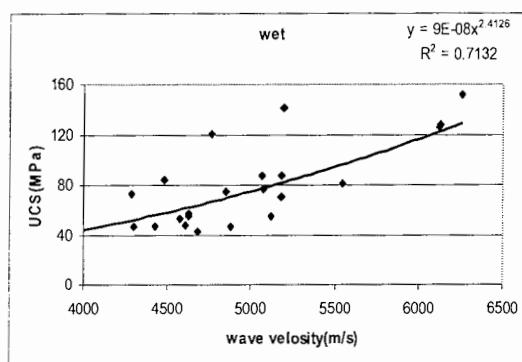
شکل (۶-۷۴) رابطه بین تخلخل و مقاومت تک محوری در حالت خشک و اشباع



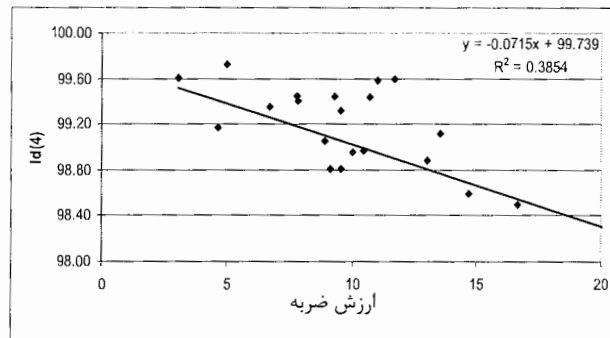
شکل (۶-۷۵) رابطه بین چگالی و تخلخل



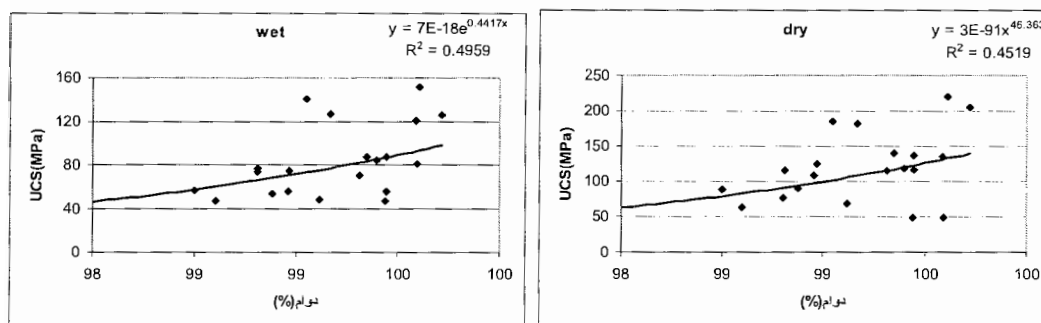
شکل (۶-۷۶) رابطه بین درصد جذب آب و مقاومت فشاری تک محوری و در حالت‌های خشک و اشباع



شکل (۶-۷۷) رابطه بین سرعت موج و مقاومت تک محوری در حالت‌های خشک و اشباع



شکل ۶-۷۸- رابطه بین ارزش ضربه و شاخص دوام



شکل ۶-۷۹- رابطه بین شاخص دوام و مقاومت فشاری تک محوری در حالت خشک و اشباع

فصل هفتم

نتیجه گیری

و

پیشنهادات

نتیجه گیری :

- سنگهای منطقه مزبور از نظر سنگ شناسی متنوع بوده و شامل ریولیت، توف ریولیتی، بازالت، گابرو و دیاباز، داسیت، سینیت، ایگنیمبریت و گرانودیوریت میباشند.

- کلیه سنگهای آذرین بکار رفته در موج شکنها از گنبد های نمکی استخراج شده اند و با توجه به شواهد کانی شناسی، سنگهای گنبد های نمکی یک آلتراسیون هیدروترمال را تحمل کرده اند.

- کانیهای ثانویه حاصل از هواز دگی در سنگهای مورد مطالعه عمدتاً کلسیت، سربیسیت، اپیدوت، کانی های رسی و کلریت می باشند.

- با توجه به مقایسه میزان کانی های ثانویه در نمونه های سنگی معادن و نمونه های بکار رفته در محیط موج شکن ها، گابروها، سینیت ها و گرانودیوریت ها کمتر دچار هواز دگی شده اند ولی توفهای ریولیتی و ریولیتها کمی بیشتر هوازده شده اند، داسیتها و بازالتها بسیار هوازده شده اند.

- از لحاظ ویژگیهای مهندسی، گابروها بهترین سنگها بوده و بهترین شاخصهای مقاومتی و دوام را دارد و بعد از آن به ترتیب داسیت، ریولیت، گرانودیوریت، سینیت، توف و بازالت قرار دارند.

- از نظر ویژگیهای بافتی، سنگهای میکروگرانولار بهترین مقادیر مقاومت و دوام را داشته و بعد از آن به ترتیب بافتهای گرانولار، پورفیری و میکرو کریستالین قرار دارند.

- اندازه دانه تاثیر زیادی بر روی ویژگیهای مقاومتی و دوام سنگها داشته و یکی از مهمترین پارامترهای تعیین میزان مقاومت و دوام سنگ می باشد و با کاهش اندازه دانه، مقاومت و دوام سنگ افزایش می یابد. اگر میانگین اندازه دانه ها بیشتر از ۰/۱ میلیمتر باشد، تاثیر اندازه دانه بیشتر خواهد بود.

- ترکیب کانی شناسی یکی از خواص اصلی کنترل کننده مقاومت سنگ می باشد و کانی های مختلف تاثیرات مختلفی را بر روی مقاومت سنگها دارند. بر اساس ویژگیهای کانی شناسی، کوارتز و کانی های فرومنیزین تاثیر زیادی بر روی مقاومت و دوام سنگ دارند، بطوریکه با افزایش این کانی ها میزان مقاومت و دوام سنگها افزایش می یابد و تخلخل و جذب آب سنگها کمتر می شود. زیرا کوارتز و کانی های آهن و منیزیم دار مرزهای دانه ای پیچیده یا بافتهای درهم رشدی خوبی در سنگها ایجاد می کنند. همچنین افزایش کانی های رسی و ثانویه نیز باعث کاهش مقاومت و دوام سنگها می شوند.

- نسبت Q/F نیز رابطه خوبی با ویژگیهای مقاومتی سنگ دارد و با افزایش این نسبت، مقاومت و دوام سنگ افزایش می یابد.

- از بین شاخص های هوازدگی و سنگ شناسی مختلف، شاخص MI میورا و شاخص PI، WPI و IP ایرفان و Wp پارکر رابطه بهتری را با ویژگیهای مقاومتی نشان می دهند.

- با توجه به شاخص های هوازدگی، سنگهای ریز دانه نسبت به سنگهای درشت دانه کمتر هوازده شده اند و با افزایش اندازه دانه، استعداد سنگ برای هوازدگی بیشتر می باشد.

- با توجه به آزمایشات سرعت صوت، سنگهای گابرویی دارای کمترین میزان درز و شکاف و ریولیت و توف و داسیت بیشترین درز و شکاف را دارند.

- با بررسی نتایج بدست آمده از آزمایشات مقاومتی و دوام داری، روابط تجربی زیر برای این خواص بدست آمد :

رابطه بین مقاومت تک محوری در حالت خشک و اشباع و وزن مخصوص

$$Y = 397.88Lm(X) - 301.12, R^2 = 0.43 \text{ (اشباع)}, Y = 247.52X - 531.08, R^2 = 0.5301 \text{ (خشک)}$$

رابطه وزن مخصوص و سرعت موج در حالت های خشک و اشباع

$$Y = 10789Lm(X) - 5358.2, R^2 = 0.686 \text{ (اشباع)}, Y = 11002Lm(X) - 5773.2, R^2 = 0.68 \text{ (خشک)}$$

رابطه بین و تخلخل و سرعت صوت در حالت خشک و اشباع

$$Y = -599.2Lm(X) - 5925.6, R^2 = 0.42 \text{ (اشباع)}, Y = -634.3Lm(X) - 5773.9, R^2 = 0.44 \text{ (خشک)}$$

رابطه بین تخلخل و مقاومت تک محوری در حالت خشک و اشباع

$$Y = 122.16e^{-0.0776X}, R^2 = 0.5626 \text{ (اشباع)}, Y = -47.16Lm(X) - 191.4, R^2 = 0.5469 \text{ (خشک)}$$

رابطه بین چگالی و تخلخل

$$Y = 2.8006X^{-0.0723}, R^2 = 0.6634 \text{ (اشباع)}, Y = 2.809X^{-0.0909}, R^2 = 0.7273 \text{ (خشک)}$$

رابطه بین درصد جذب آب و مقاومت فشاری تک محوری و در حالت های خشک و اشباع

$$Y = -28.69Lm(X) - 100.72, R^2 = 0.57 \text{ (اشباع)}, Y = -38.92Lm(X) - 142.39, R^2 = 0.46 \text{ (خشک)}$$

رابطه بین سرعت موج و مقاومت تک محوری در حالت های خشک و اشباع

$$Y = 9E - 0.08X^{2.4126}, R^2 = 0.7132 \text{ (اشباع)}, Y = 6.0871e^{-0.0006X}, R^2 = 0.6778 \text{ (خشک)}$$

رابطه بین ارزش ضربه و شاخص دوام

$$Y = -0.0715X + 99.739, R^2 = 0.3854$$

رابطه بین شاخص دوام و مقاومت فشاری تک محوری در حالت خشک و اشباع

$$Y = 7E - 18e^{0.441X}, R^2 = 0.4959 \text{ (اشباع)}, Y = 3E - 91X^{46.363}, R^2 = 0.4519 \text{ (خشک)}$$

در بین روابط بدست آمده، سرعت موج، تخلخل، وزن مخصوص و میانگین اندازه دانه بهترین روابط را با پارامترهای مقاومتی و دوام دارند و با اندازه گیری و تعیین آنها می توان تا حدود زیادی به میزان مقاومت و دوام سنگ پی برد.

پیشنهادهات :

۱- در صورتی که تعداد نمونه های بیشتری برداشت گردد و آزمایشات دیگری نیز مانند سایش لس آنجلس، بار نقطه ای، برزیلین و سه محوری بر روی نمونه ها انجام شوند و همچنین یک آزمایش چندین بار بر روی یک نمونه انجام شود، نتایج دقیق تری حاصل خواهد شد.

۲- نمونه هایی از سنگهای مورد بررسی برای مطالعه عملکرد سنگها در محیط طبیعی و مقایسه نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی، برای مدت بخصوص و در سطوح خاصی از موج شکن قرار گیرند و در زمانهای مشخصی بازدید و بررسی شوند.

۳- با توجه به نقش ترکها و میکروشکستگی ها در دوام و مقاومت سنگها، تکنیکهای مختلف مطالعات ترکها و میکرو شکستگی ها مانند فلورسانس، میکروپروپ لیزری و جاروکننده (SEM)، جهت بررسی و مطالعه بیشتر نقش میکروشکستگی ها بکار روند.

فہرست منابع

الف: منابع فارسی :

- آسیابانها، عباس، (۱۳۷۴)، بررسی میکروسکوپی سنگهای آذرین و دگرگونی (ترجمه)، انتشارات دانشگاه بین المللی امام خمینی.
- آقائاتی، سید علی، (۱۳۸۳)، زمین شناسی / ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- اسفندیاری، ب؛ برزگر، ف، (۱۳۵۸)، بررسی گنبد های نمکی جنوب ایران بر مبنای تفسیر ماهواره نددست، مجله دانشکده علوم دانشگاه تهران، جلد یازدهم، شماره اول و دوم.
- جعفری صدر، سید عبدالرضا، (۱۳۷۰)، پترولوژی سنگهای آذرین و دگرگونی گنبد نمکی گچین، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم دانشگاه تهران.
- جلالی، حسین؛ ناصحی، سید علیرضا؛ نیکودل، محمد رضا، (۱۳۷۷)، زوال و دوام مصالح سنگی در موج شکنهای منطقه چابهار، سومین کنفرانس بین المللی بنادر و سازه های دریایی.
- حسن پور، جعفر؛ اصغری، ابراهیم، (۱۳۷۹)، بررسی منابع قرضه سنگی در نوار ساحلی خلیج فارس، چهارمین کنفرانس بین المللی بنادر و سازه های دریایی.
- حسینی، حمید رضا، (۱۳۸۳)، ارزیابی عملکرد موج شکنهای توده سنگی سواحل شمالی خلیج فارس (استان بوشهر)، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش سازه های دریایی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس.
- تلخابلو، مهدی، (۱۳۷۷)، بررسی شاخصهای مهندسی سنگهای کربناته منطقه سد لار، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم دانشگاه تربیت مدرس.
- توکلی، محسن، (۱۳۶۶)، انتخاب و استخراج سنگ مناسب برای احداث موج شکن بندرجاسک، پایان نامه کارشناسی ارشد معدن، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- درویش زاده، علی، (۱۳۷۰)، زمین شناسی / ایران، انتشارات نشر دانش امروز، تهران.
- فهیمی فر، احمد؛ سروش، حامد، (۱۳۸۰)، آزمایشهای مکانیک سنگ (مبانی نظری و استانداردها)، جلد اول (آزمونهای آزمایشگاهی)، شرکت سهامی آزمایشگاه فنی ومکانیک خاک، چاپ اول.
- شناسنامه بنادر کشور، (۱۳۷۴)، سازمان سازمان بنادر و کشتیرانی، اداره کل مطالعات و تحقیقات.

- گزارش مرحله اول مطالعات طرح ترمیم و توسعه بندر چند منظوره کنگ (جلد اول)، مطالعات پایه (۱۳۷۳)، مهندسین مشاور سازه پردازی ایران، گروه مهندسی سواحل و بنادر.
- مرادی، مسعود، (۱۳۸۲)، تحولات پترولوژیکی واحدهای آذرین گنبد‌های نمکی سواحل و جزایر خلیج فارس، پایان نامه دکتری دانشکده علوم دانشگاه تهران.
- مر، فرید؛ شرفی، علی اصغر، (۱۳۷۶)، اصول ژئوشیمی (ترجمه)، انتشارات دانشگاه شیراز، چاپ سوم.
- مجموعه مقالات اولین سمپوزیوم دی‌اپیریسم با نگرشی ویژه به ایران، (۱۳۶۹)، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- مطیعی، ه، (۱۳۷۲)، چینه شناسی زاگرس، زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- معماریان، حسین، (۱۳۸۲)، زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم.
- معین وزیری، حسین، (۱۳۷۱)، پترولوژی و پتروگرافی سنگهای آذرین، انتشارات دانشگاه تربیت معلم تهران.
- ناصحی، علیرضا، (۱۳۷۶)، تعیین معیارهای مناسب برای کاربرد سنگ در احداث سازه های دریایی، جنوب شرق ایران (چابهار)، سومین کنفرانس بین المللی بنادر و سازه های دریایی.
- نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ جنوب غرب ایران، شرکت ملی نفت ایران (۱۹۶۹).
- نیکودل، محمدرضا، (۱۳۶۹)، مطالعه معیارهای شناخت زوال پذیری و دوام سنگ، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس.
- یثربی، سید شهاب الدین؛ صفری، حجت الله، (۱۳۷۷)، بررسی معیارهای کنترل کیفیت سنگ در موج شکن ها با نگرشی ویژه به منطقه خلیج فارس و دریای عمان، سومین کنفرانس بین المللی بنادر و سازه های دریایی.

ب: منابع انگلیسی

- Adam, J.R., Kent , Marc., Norman, Ian., Hutcheon, Edward. M. Stolper. 1999. *Assimilation of seawater-derived components in an oceanic volcano: evidence from matrix glasses and glass inclusions from Loihi seamount, Hawaii*, Chemical Geology, 156, pp.299-319.
- Ahmadzadeh-Heravi, M., Houshmandzadeh, A., Nabavi, M.H. 1990. *New concepts of hormoz formation's stratigraphy and the problem of salt diapirism in south Iran*. Proc. Symp. on diapirism with special reference to Iran, Vol.1, pp.1-22, Geol. Surv. Iran, Tehran, Iran.
- AL-Ameen, S.I., Waller, M.D. 1994. *The influence of rock strength and abrasive mineral content on the Cerchar Abrasive Index*, Engineering Geology, 36, pp.293-301.
- American Society for Testing Materials. 1996. *Annual Books of ASTM standards*, Vol, 04, 08.
- Andriani, G.F., Walsh, N. 2002. *Physical properties and textural parameters of calcarenitic rocks: qualitative and quantitative evaluations*, Engineering Geology, 67, pp.5-15.
- Aydin, N.S., Duzgoren., Aydin, A., Malpas, J. 2002. *Re-assessment of chemical weathering indices: case study on pyroclastic rocks of Hong Kong*, Engineering Geology, 63, pp.99-119.
- Bell, F.G. 2001. *Engineering Properties of Soil and Rocks, 3rd Edition*, Butter Worths, London.
- Bell, F.G., Haskins, D.R. 1997. *A geotechnical overview of Katse Dam and Transfer Tunnel, Lesotho, with a note on basalt durability*, Engineering Geology, 46, pp.175-198.
- Benavente, D., Garcia del Cura,., Fort, R., Ordonez, S. 2004. *Durability estimation of porous building stones from pore structure and strength*, Engineering Geology, 74, pp.113-127.
- Benavente, D., Garcia del Cura, M.A., Bernabeu, A., Ordonez, S. 2001. *Quantification of salt weathering in porous stones using an - experimental continuous partial immersion method*, Engineering Geology, 59, pp.313-325.

- Benavente, D., Garc, M.A., del Cura, M.A., Guinead, J.Garc ., Sanchez, Morald. S., Ordonez, S. 2004. *Role of pore structure in salt crystallisation in unsaturated porous stone*, Journal of Crystal Growth, 260, pp.532-544.
- Bonnelye, Veronique., Sanz, Migual. Angel., Durand, Jean-Pierre ., Plasse, Ludovic., Gueguen, Frederic ., Mazounie, Pierre. 2004. *Reverse osmosis on open intake seawater: per-treatment sterategy*, Desalination , 167, pp.191-200.
- Brattli, Bjorge. 1992. *The influence of geological factors on the mechanical properties of basic igneous rocks used as road surface aggregates*, Engineering Geology, 33, pp.31-44.
- Chigira, M ., Oyama, T. 1999. *Mechanism and effect of chemical weathering of sedimentary rocks*, Engineering Geology, 55, pp.3-14.
- Cipu, Rosa. 2001. *Water Rock interaction, Proceeding of the tenth international symposium on water-rock interaction, villasimius, Italy. 10-15 july.*
- CIRIA/CUR .1991. *Manual on the use of rocks in the coastal and shoreline engineering.*
- Curran, Joanne., Smith, Bernard., Warke, Patricia. 2002. *Weathering of igneous rocks during shallow burial in an upland peat environment : observations from the Bronze Age Copney Stone Circle Complex, Northern Ireland*, Cutena, 49, pp.139-155.
- Daudre, B., Cloetingh, S. 1994. *Numerical modelling of salt diapirism: influence of the tectonic regime*, Tectonophysics, 240, pp.59-79.
- Davoudzadeh, M. 1990. *Some dynamic aspects of the salt diapirism in the southern Iran*. Proc. Symp. On diapirism with special reference to Iran, Vol.2, 149, Geol. Surv. Iran, Tehran, Iran.
- Dhakal, Ganesh., Yoneda, Tetsuro., Kato, Masaji ., Kaneko, Katsuhiko. 2002. *Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks*, Engineering Geology, 65, pp.31-45.
- Duperret ,Anne., Taibi, Said., Mortimore ,Rory N., Daigneault, Martin .2005. *Effect of groundwater and sea weathering cycles on the strength of*

chalk rock from unstable coastal cliffs of NW France, Engineering Geology, 76, pp.125-143.

- Edgell, H.S. 1996. *Salt tectonism in Persian Gulf basin*. Geol. Soc. London, Special publications, 100, pp.129-151.

- Ehlen, Judy. 1999. *Fracture characteristics in weathered granites*, Geomorphology, 31, pp.29-45.

- Ela, D.D. Schultz., Jackson, M.P.A., Vendeville, B.C. 1993. *Mechanics of active salt diapirism*, Tectonophysics, 228, pp.215-312.

- Ersoy, A., Waller, M.D. 1995. *Textural characterisation of rocks*, Engineering Geology, 39, pp.123-136.

- Gianelli, Giovanni., Mekuria, Negussie., Battaglia, Stefano., Chersicla, Alessandro., Garofalo, Paolo., Ruggieri, Giovanni., Manganelli, Mirco., Gebregziabher, Zewde. 1998. *Water-rock interaction and hydrothermal mineral equilibria in the Tendaho geothermal system*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 86, pp.253-276.

- Gokceoglu, Candan., Ulusay, Resat., Sonmez, Harun. 2000. *Factors affecting the durability of selected weak and claybearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles*, Engineering Geology, 57, pp. 215-237.

- Gosh, Amitava., Daemen, Jaak. J.K. 1991. *Fracture characteristics of rock discontinuities*, Engineering Geology, 34, pp.1-9.

- Goudie, A. S., Parker, A. G. 1998. *Experimental simulation of rapid rock block disintegration by sodium chloride in a foggy coastal desert*, Journal of Arid Environments, 40, pp.347-355.

- Guan, P., Ng, C.W.W., Sun, M., Tang, W. 2001. *Weathering indices for rhyolitic tuff and granite in Hong Kong*, Engineering Geology, 59, pp.147-159.

- Gupta, Anand.S., Rao, K. Seshagiri. 2000. *Weathering effects on the strength and deformational behaviour of crystalline rocks under uniaxial compression state*, Engineering Geology, 56, pp.257-274.

- Gupta, Anand.S., Rao, K. Seshagiri. 2001. *Weathering indices and their applicability for crystalline rocks*, Bull Eng Geol Env, 60, pp.201-221.

- Hegde, A.V., Srinivas,Rao P. 1995. *Effect of core porosity on stability and runup of breakwaters*, Ocean Engineering, 22, No 8,pp.519-526.
- Heilbronner, Renee. 2000. *Automatic grain boundary detection and grain size analysis using polarization micrographs or orientation images*, Journal of Structural Geology, 22 ,pp.969-981.
- Hodder, A.P.W. 1984. *Thermodynamic interpretation of weathering indices and its application to Engineering projectiles of rocks*, Engineering Geology, 20,pp.241-251.
- Husseini, M.J. 1998.*The Arabian Infracambrian extensional system*. Tectonophysics, Vol.148,pp.93-103.
- Jeng, F.S., Weng, M.C., Lin, M.L., Huang, T.H. 2004. *Influence of petrographic parameters on geotechnical properties of tertiary sandstones from Taiwan*, Engineering Geology, 74,pp.122-138.
- Kent,P.E.1979.*The emergent Hormuz salt plugs of southern Iran*. Journ. Petrol. Geol, Vol.2,pp.177-144.
- Kessona,Urbain.A.,Hanssonb, Jan., Stigha, Jimmy.2004. *Characterisation of microcracks in the Bohus granite, western Sweden, caused by uniaxial cyclic loading*, Engineering Geology, 72,pp.131-142.
- Koncagul, Engin. C., Santi, Paul. M. 1999. *Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt shale using slake durability, Shore hardness and rock structural properties*, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 36,pp.139-153.
- Kuhnel, Radko. A. 2004.*Cause and consequence: volume changes behind building material deterioration*, Materials Characterization, 53,pp.171-180.
- Lan, H.X., Hu, R.L., Yue, Z.Q., Lee, C.F., Wang, S.J. 2003. *Engineering and geological characteristics of granite weathering profiles in South China*, Journal of Asian Earth Sciences, 21,pp.353-364.
- Larsson, D., Gronvold, K., Oskarsson, N., Gunnlaugsson, E. 2002. *Hydrothermal alteration of plagioclase and growth of secondary feldspar in the Hengill Volcanic Centre, SW Iceland*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 114,pp.275-290.

- Mather ,Bryant. 2004. *Concrete durability*, Cement & Concrete Composites , 26,pp.3-4.
- Matsukura, Y., Hashizume, K., Oguchi, C.T.2002.*Effect of microstructure and weathering on the strength anisotropy of porous rhyolite*, Engineering Geology ,63,pp.39-47.
- Moon, Vicki., Jayawardane, Jayanthi. 2004.*Geomechanical and geochemical changes during early stages of weathering of Karamu Basalt, New Zealand*, Engineering Geology ,74,pp. 57 72.
- Moon, Vicki G. 1993.*Geotechnical characteristics of ignimbrite: A soft pyroclastic rock type*, Engineering Geology, 35,pp.33-48.
- Moon, Vicki G. 1993. *Microstructural controls on the geomechanical behaviour of ignimbrite*,Engineering Geology, 35,pp.19-31.
- Nalpas, T., Brun, J.P. 1993. *Salt flow and diapirism related to extension at crustal scale*,Tectonophysics, 228,pp.349-362.
- Nelson, Stephan.T., Montana, Art. 1992. *Sieve – textured plagioclase in volcanic rocks produced by rapid decompression*,American mineralogist , Vol 77,pp.1242-1249.
- Oguchi, Chiaki T., Matsukura, Yokinori . 1999. *Effect of porosity on the increase in weathering rind thicknesses of andesite gravel*, Engineering Geology, 55,pp.77-79.
- Oliver, Nicholas H.S., Bbons, Paul. D. 2001.*Mechanisms of fluid flow and fluid-rock interaction in fossil metamorphic hydrothermal systems inferred from vein –wall rock,patterns,geometry and microstructure*.Geofluids,1, pp .137-162.
- Oyama, Takahiro., Chigira, Masahiro. 1999. *Weathering rate of mudstone and tuff on old unlined tunnel walls*,Engineering Geology, 55,pp.15-27.
- Ozkahraman, H.T., Iık, E.C. 2005. *The effect of chemical and mineralogical composition of aggregates on tensile adhesion strength of tiles*, Construction and Building Materials,19,pp.251-255.
- Pel, L., Huinink, H., Kopinga, K. 2003. *Salt transport and crystallization in porous building materials*, Magnetic Resonance Imaging,21,pp.317-320.

- Raisanen, M. 2004. *Relation between texture and mechanical properties of hybrid rocks from the Juala-Iitti Complex, Southeastern Finland*, Engineering Geology, 74, pp.197-211.
- Ramamurthy, T., Rao, G. Venkatappa ., Singh, J. 1993. *Engineering behaviour of phyllites*, Engineering Geology, 33, pp.209-225.
- Ramamurthy, T. 2003. *A geo-engineering classification for rocks and rock masses*, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 25, pp.139-153.
- Rao, Subba., Pramod, C.h., Rao, Balakrishna. 2004. *Stability of berm breakwater with reduced armor stone weight*, Ocean Engineering ,31, pp. 1577 1589.
- Sousa, Luis M.O., Suarez del Rio, Luis M., Calleja, Lope., Ruiz de Argandona, Vicente G., Rodriguez Rey, Angel. 2004. *Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites*, Engineering Geology, 75, pp.88-102.
- Staoklin, J ., Nabavi, M.H. 1975. Tectonic Map of Iran, 1:250,000, GSI.
- Talbot, C.J., Alavi, M. 1996. *The past of a future syntaxis across the Zagros*. Geol. Soci. London, Special Publications, 100, pp. 89-109.
- Talbot, C.J., 1998. *Extrusions of Hormoz salt in Iran*. Geol. Soci. London, Special Publications, 143, pp. 315-334.
- Topal, Tamer., Sozmen, Burak. 2003. *Deterioration mechanisms of tuffs in Midas monument*, Engineering Geology, 68, pp.201-223.
- Topal, T., Doyuran, V. 1997. *Engineering geological properties and durability assessment of the Cappadocian tuff*, Engineering Geology ,47, pp.175-187.
- Torum, Alf., Kuhnen, Franziska., Menze ,Andreas. 2003. *On berm breakwaters. Stability, scour, overtopping*, Coastal Engineering, 49, pp. 209 238
- Tsuchiyama, Akira. 1985. *Dissolution kinetics of plagioclase in the melt of the system diopside-albite-anorthite, and origin of dusty plagioclase in andesites*, contrib. mineral petrol, 89, pp.1-16.

- Tugrul, A., Zarif, I.H. 1999. *Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey*, Engineering Geology, 51, pp.303-317.
- Uchupi, Elazar., Swift, S.A., Ross, D.A. 1999. *Late Quaternary stratigraphy, Paleoclimate and neotectonism of the Persian_Arabian/Gulf region*, Marine Geology, 160, pp.1-23.
- Ulusay, R., Tureli, K., Ider, M.H. 1994. *Prediction of engineering properties of a selected litharenite sandstone from its petrographic characteristics using correlation and multivariate statistical techniques*, Engineering Geology, 37, pp.135-157.
- Van der Weijden, Cornelis H., Pacheco, Fernando A.L. 2003. *Hydrochemistry, weathering and weathering rates on Madeira island*, Journal of Hydrology, 283, pp.122-145.
- White, M.J. 1998. *Visualization of the El Berrocal granite: application to rock engineering*, Engineering Geology, 49, pp.185-194.
- Xu, Xing-Wang., Cai, Xin-Ping., Zhang, Bao-Lin., Wang, Jie. 2004. *Explosive microfractures induced by K-metasomatism*. Journal of Asian Earth Sciences, 23, pp.307-319.
- Yoshida, Hidekazu., Takeuchi, T. Makoto., Metcalfe, Richard. 2005. *Long-term stability of flow-path structure in crystalline rocks distributed in an orogenic belt, Japan*, Engineering Geology, 77, pp.125-143.
- Yua, Mao-Hong., Zana, Yue-Wen., Zhaob, Jian., Yoshimine, Mitsutoshi. 2002. *A Unified Strength criterion for rock material*, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 39, pp.975-989.



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth science

Subject:

Effect of petrological factors in durability and
strength of igneous rocks
(case study of southest iran coasts)

By:

Mahdi Amanian

Supervisor:

Dr.Hossein Mehdizade Shahre
Dr.Naser Hafezi Moghadas

Advisor :

Dr.Mohammad Reza Nikudel

2005