بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی معدن

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی استخراج معدن

عنوان:

بررسی تاثیر ناپیوستگی ها بر نفوذ پذیری و مقاومت فشاری یک محوری سنگ قبل و بعد از تزریق

استاد راهنما:

دکتر حسن مومیوند

استاد مشاور:

مهندس موسی زاده

تنظیم و نگارش:

معصوم محمدی قراگوز

بهمن ماه 1391

فرم شماره ۹

دانشکده فنی مهندسی

بسمه تعالی

تاریخ :

شماره :

پایان‌نامه خانم / آقای معصوم محمدی قراگوز به شماره دانشجویی ۸۹۲۰۴۱۰۰۵ رشته مهندسی استخراج معدن

تحت عنوان : «بررسی تأثیر ناپیوستگی ها بر نفوذ پذیری و مقاومت فشاری یک محوری سنگ قبل و بعد از تزریق»

به تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۲۳ و به شماره پایان‌نامه ۹۴۱-ف ۲ و با رتبه عالی و نمره ۱۹/۶ توسط هیئت محترم داوران ذیل مورد پذیرش قرار گرفت.

ردیف	کمیته دفاع	نام و نام خانوادگی	تاریخ و امضاء
۱	استاد راهنمای اول و رئیس هیات داوران	دکتر حسن مومیوند	۹۱/۱۱/۲۳
۲	استاد راهنمای دوم	-	-
۳	استاد مشاور (در صورت وجود)	مهندس سیف الدین موسی زاده	
۴	داور خارجی	دکتر میرعلی محمدی	
۵	داور داخلی	دکتر جعفر عبدالهی شریف	۹۱/۱۱/۲۳
۶	نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر رسول شعبانی	

حق چاپ و نشر برای دانشگاه ارومیه محفوظ می باشد.

تقدیم به

روح بزرگ و خون شریف شهیدان وطنم و شهید حمید قاسمی

و

پدر مهربانم که دلیلی شد برای تلاش پر شورم در کسب دانش

و

مادر عزیزتر از جانم که همواره مدیون زحماتش خواهم بود

و

برادران عزیزم یاسر و علی، که در سختی ها و خوشی های زندگی کنارم هستند

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس خداوندی را که در نهاد آدمی شوق حقیقت جویی و علم آموزی را برافروخت و نعمت نوشیدن جرعه ای از دریای علم بی کرانش را بر من ارزانی فرمود. کنون که به یاری خدای، توفیق انجام این پایان نامه را یافته ام، به حکم ادب و وظیفه بر خود لازم می دانم از تمامی عزیزانی که مرا در این راه یاری نموده اند، تشکر و قدردانی نمایم.

از استاد عزیزم جناب آقای دکتر حسن مومیوند که با در اختیار قرار دادن بی دریغ تجربیات گرانبهای خویش، نقشی اساسی در به ثمر رسیدن این تحقیق ایفا نمودند.

از استاد محترم و بزرگوارم، آقای دکتر شریف که در طول مدت تحصیل در دانشگاه ارومیه از محضرشان بهره برده ام. از برادر عزیزم که در انجام کار های آزمایشگاه همواره در کنارم بودند سپاسگزاری می نمایم.

آرزوی شادکامی برای همگی دارم، یاد این عزیزان همواره در ذهنم خواهد ماند.

معصوم محمدی قراگوز

زمستان هزار و سیصد و نود و یک

فهرست مطالب

عنوان صفحه

چکیده.....

فصل اول: مقدمه 1

فصل دوم: مروری بر پیشینه موضوع تحقیق 2

2-1- مقدمه..... 2

2-2- ویژگی های ناپیوستگی ها در توده سنگ..... 2

2-3- نفوذ پذیری سنگ..... 4

2-3-1- نفوذ پذیری سنگ سالم..... 6

2-3-1-1- آزمون های آزمایشگاهی نفوذ پذیری سنگ سالم..... 6

2-3-2- نفوذ پذیری توده سنگ..... 6

2-3-2-1- نفوذ پذیری یک شکستگی منفرد..... 7

2-3-2-2- برآورد ضریب نفوذپذیری توده سنگ..... 9

2-3-2-3- آزمایش نفوذپذیری در توده سنگ..... 11

2-4- مقاومت فشاری یک محوری سنگ..... 12

2-4-1- مقاومت فشاری یک محوری سنگ سالم..... 12

2-4-1-1- عوامل موثر برمقاومت فشاری یک محوری سنگ سالم..... 13

2-4-2- مقاومت فشاری یک محوری توده سنگ..... 16

2-4-3- برآورد مقاومت فشاری یک محوری توده سنگ درزه دار با استفاده از ضریب درزه داری..... 17

2-5- بهسازی با استفاده از دوغاب سیمان..... 19

2-5-1- اهداف تزریق..... 19

2-5-2- خصوصیات توده سنگ در ارتباط با تزریق..... 20

2-5-2-1- خواص فیزیکی ناپیوستگی های موجود در توده سنگ..... 20

2-5-2-2- شکل و گسترش درزه ها..... 20

2-5-2-3- باز شدگی درزه ها..... 21

2-5-2-4- زبری درزه ها..... 22

2-6- بحث و نتیجه گیری..... 22

فصل سوم: آماده سازی نمونه ها و انجام آزمایش های نفوذپذیری و مقاومت فشاری یک محوری..... 23
3-1- مقدمه..... 23
3-2- مواد مصرفی و تجهیزات مورد نیاز..... 23
3-3- آماده سازی نمونه ها..... 23
3-4- ایجاد ناپیوستگی با تعداد دسته و جهت یافتگی های مختلف..... 25
3-5- بهسازی نمونه های دارای ناپیوستگی با دوغاب سیمان..... 32
3-6- آزمایش نفوذ پذیری..... 35
3-7- آزمایش مقاومت فشاری یک محوری..... 40
3-8- تعیین ضریب درزه برای انواع گروه نمونه ها..... 52
فصل چهارم: تحلیل نتایج..... 55
4-1- مقدمه..... 55
4-2- تحلیل نتایج نفوذ پذیری..... 55
4-2-1- درصد تأثیر بهسازی با دوغاب بر نفوذ پذیری..... 66
4-3- تحلیل نتایج مقاومت فشاری یک محوری..... 67
4-3-1- درصد تأثیر بهسازی با دوغاب بر مقاومت فشاری یک محوری..... 77
4-4- بررسی رابطه بین مقاومت فشاری یک محوری و ضریب درزه داری..... 78
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات..... 80
5-1- نتیجه‌گیری..... 80
5-2- پیشنهادات..... 81
پیوست الف: آزمایش سرعت موج طولی..... 82
الف-1- مقدمه..... 82
الف-2- روش اندازه گیری سرعت موج..... 82
منابع..... 86

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول (2-1): طبقه بندی سنگ ها بر اساس مقاومت فشاری تک محوری..... 13
جدول (2-2): مقادیر ضریب n برای جهت یافتگی مختلف (β^o)..... 18
جدول (2-3): مقادیر پیشنهادی پارامتر مقاومت درزه (r) برای مقادیر مختلف مقاومت فشاری یک محوری سنگ سالم..... 18
جدول(2-4): مقادیر پیشنهادی پارامتر مقاومت درزه (r) برای درزه های پرشده..... 19
جدول (3-1): ویژگی های فیزیکی و مکانیکی سیمان مصرفی..... 23
جدول(3-2): مشخصات گروه نمونه های سنگ بکر و سنگ دارای ناپیوستگی..... 25
جدول (3-3): نتایج حاصل از آزمایش نفوذپذیری روی نمونه های بدون بهسازی..... 37
جدول (3-4): نتایج حاصل از آزمایش نفوذپذیری روی نمونه های بهسازی شده با دوغاب سیمان..... 39
جدول (3-5): نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه های بدون بهسازی..... 49
جدول(3-6): نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه های بهسازی شده با دوغاب سیمان..... 51
جدول (3-7): ضریب درزه داری (J_f) با استفاده از ضریب جهت یافتگی درزه ها (n)، فراوانی درزه ها (J_n) در متر و پارامتر مقاومت (اصطکاک) درزه (r) برای 12 گروه نمونه های دارای 1 و 2 دسته ناپیوستگی و زوایای 0، 30، 45، 60 و 90 درجه با جهت افقی در حالت بدون بهسازی..... 53
جدول(3-8): ضریب درزه داری (J_f) با استفاده از ضریب جهت یافتگی درزه ها (n)، فراوانی درزه ها (J_n) در متر و پارامتر مقاومت (اصطکاک) درزه (r) برای 8 گروه نمونه های دارای 3 دسته ناپیوستگی و فراوانی مختلف و زوایای 0، 30، 45، 60 و 90 درجه با جهت افقی در حالت بدون بهسازی..... 54
جدول (الف-1): نتایج حاصل از آزمایش سرعت موج طولی برای نمونه های دارای ناپیوستگی بهسازی نشده... 83

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل (2-1): نمایش شماتیک برخی ویژگی های ناپیوستگی ها 3
شکل (2-2): هدایت هیدرولیکی برای انواع سنگ ها و توده‌سنگ‌ها 4
شکل(2-3): تراوش از یک نمونه‌ی شیب‌دار سنگ 5
شکل(2-4): رابطه بین نفوذپذیری و روزنه‌داری برای ماده سنگ سالم گرانیت 6
شکل (2-5): نحوه گسترش مسیر هادی آب در سنگ 7
شکل (2-6): رابطه‌ی نفوذپذیری و تنش محوری در شکستگی 8
شکل (2-7): مدل ساده‌ی توده‌ی‌سنگ 9
شکل (2-8): رابطه‌ی نفوذپذیری و عرض شکستگی 10
شکل (2-9): تغییر نفوذپذیری در اثر تغییر عمق در یک کوه گرانیت 10
شکل (2-10): تصویر شماتیک آزمایش لوژان 12
شکل (2-11): طبقه بندی های مقاومتی مختلف برای سنگ بکر 13
شکل (2-12): تأثیر درصد کوارتز بر مقاومت فشاری ماسه سنگ 14
شکل (2-13): رابطه بین چگالی خشک و مقاومت فشاری برخی سنگ ها 15
شکل (2-14): تأثیر ناهمسانگردی بر مقاومت فشاری سه نوع شیست 15
شکل (2-15): ناهمسانگردی مقاومت سنگ اسلیت خاکستری 16
شکل (2-16): تصویر شماتیک نیمرخ یک درزه 21
شکل (2-17): رابطه بین طول درزه و حداکثر باز شدگی آن 21

شکل (3-1): دستگاه مغزه گیر با قطر استاندارد NX (54 میلی متر) 24
شکل (3-2): دستگاه برش نمونه 24
شکل (3-3): تعدادی از نمونه های آماده سازی شده بر اساس استاندارد انجمن آزمایش و مصالح آمریکا 25
شکل (3-4): نمونه های دارای یک دسته ناپیوستگی و جهت یافتگی صفحه ناپیوستگی با حالت افقی (فشار جانبی) به ترتیب دارای زوایای 0، 30، 45، 60 و 90 درجه 27
شکل (3-5): نمونه های دارای دو دسته ناپیوستگی متقاطع شامل یک دسته قائم و جهت یافتگی صفحه دسته ناپیوستگی دیگر با حالت افقی (فشار جانبی) به ترتیب دارای زوایای 0، 30، 45، 60 و 90 درجه 27
شکل (3-6): نمونه های دارای دو دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود بر هم و جهت یافتگی صفحه یک دسته از ناپیوستگی ها با حالت افقی (فشار جانبی) به ترتیب دارای زوایای 0، 30، 45، 60 و90 درجه 28
شکل (3-7): نمونه های دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع ، یک دسته در جهت قائم و دو دسته ناپیوستگی دیگر متقاطع و عمود بر هم دارای زوایای 0، 30، 45، 60 و 90 درجه 28
شکل (3-8): نمونه های دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم شامل یک دسته در جهت قائم و دو دسته ناپیوستگی دیگر متقاطع و عمود بر هم دارای زوایای 0، 30، 45، 60 و 90 درجه، یکی از دسته ها دارای چهار ناپیوستگی موازی 29

شکل (3-9): نیمرخ ناپیوستگی ها در صفحه قائم داخل و بیرون نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود بر هم شامل دو دسته قائم و عمود بر هم و یک دسته در جهت افقی با زاویه 0 درجه و دارای چهار ناپیوستگی موازی 29
شکل (3-10): نیمرخ ناپیوستگی ها در صفحه قائم داخل و بیرون نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود بر هم شامل یک دسته قائم دارای زاویه 90 درجه، دو دسته ناپیوستگی عمود بر هم دارای زوایای 30 و 60 درجه و در جهت مخالف همدیگر، دسته ناپیوستگی با زاویه 30 درجه دارای چهار ناپیوستگی موازی 30
شکل (3-11): نیمرخ ناپیوستگی ها در صفحه قائم داخل و بیرون نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود بر هم شامل یک دسته قائم دارای زاویه 90 درجه و دو دسته ناپیوستگی عمود بر هم و هر یک دارای زوایه 45 درجه و در جهت مخالف همدیگر، یکی از دسته ناپیوستگی های با زاویه 45 درجه دارای چهار ناپیوستگی موازی 30
شکل (3-12): نیمرخ ناپیوستگی ها در صفحه قائم داخل و بیرون نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود بر هم شامل یک دسته قائم دارای زاویه 90 درجه، دو دسته ناپیوستگی عمود بر هم دارای زوایای 60 و 300 درجه و در جهت مخالف همدیگر، دسته ناپیوستگی با زاویه 60 درجه دارای چهار ناپیوستگی موازی 31
شکل (3-13): نیمرخ ناپیوستگی ها در صفحه افقی داخل و بیرون نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود بر هم شامل یک دسته در جهت افقی با زاویه 0 درجه، دو دسته قائم و عمود بر هم دارای زاویه 90 درجه با جهت افقی، یکی از دسته ناپیوستگی های با زاویه 90 درجه دارای چهار ناپیوستگی موازی 31
شکل (3-14): تعدادی از نمونه های بهسازی شده با دوغاب سیمان 32
شکل (3-15): تعدادی از نمونه های بهسازی شده با دوغاب سیمان 32
شکل (3-16): نمونه های بهسازی شده دارای یک دسته ناپیوستگی و جهت یافتگی صفحه ناپیوستگی با حالت افقی (فشار جانبی) به ترتیب دارای زوایای 0، 30، 45، 60 و 90 درجه 33
شکل (3-17): نمونه های بهسازی شده دارای دو دسته ناپیوستگی متقاطع شامل یک دسته قائم و جهت یافتگی صفحه دسته ناپیوستگی دیگر با حالت افقی (فشار جانبی) به ترتیب دارای زوایای 0، 30، 45 و 60 درجه 33
شکل (3-18): نمونه های بهسازی شده دارای دو دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود بر هم و جهت یافتگی صفحه یک دسته از ناپیوستگی ها با حالت افقی (فشار جانبی) به ترتیب دارای زوایای 0، 30، 45، 60 و90 درجه 34
شکل (3-19): نمونه های بهسازی شده دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع ، یک دسته در جهت قائم و دو دسته ناپیوستگی دیگر متقاطع و عمود بر هم طوری که جهت یافتگی صفحه یکی از آنها با حالت افقی به ترتیب دارای زوایای 0، 30، 45، 60 و 90 درجه 34
شکل (3-20): نمونه های بهسازی شده دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم شامل یک دسته در جهت قائم و دو دسته ناپیوستگی دیگر متقاطع و عمود بر هم و یکی از دسته های دارای چهار ناپیوستگی موازی جهت یافتگی صفحه آن با حالت افقی به ترتیب دارای زوایای 0، 30، 45، 60 و 90 درجه 35
شکل (3-21): سلول هوک به همراه کلاهک های مخصوص آزمایش نفوذپذیری 35
شکل (3-22): وسایل مورد نیاز برای آزمایش نفوذپذیری 36
شکل (3-23): دستگاه اندازه گیری مقاومت فشاری 41
شکل (3-24): شکست سنگ سالم در ماده سنگ 42
شکل (3-25): شکست نمونه دارای یک دسته ناپیوستگی با جهت یافتگی 0 درجه در ماده سنگ در حالت بدون بهسازی 42
شکل (3-26): شکست نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود بر هم شامل دو دسته قائم و عمود بر هم و یک دسته در جهت افقی با زاویه 0 درجه و دارای چهار ناپیوستگی موازی در ماده سنگ در حالت بدون بهسازی 43
شکل (3-27): شکست نمونه دارای دو دسته ناپیوستگی متقاطع 30 و 60 در صفحه ناپیوستگی در حالت بدون بهسازی .. 44
شکل (3-28): شکست نمونه دارای دو دسته ناپیوستگی متقاطع 45 و 45 در صفحه ناپیوستگی در حالت بدون بهسازی 44

شکل (3-29): شکست نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع 30، 60 و 90 در صفحه ناپیوستگی در حالت بدون بهسازی. 45
شکل (3-30): شکست نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع 45، 45 و 90 در صفحه ناپیوستگی در حالت بدون بهسازی. 45
شکل (3-31): شکست نمونه دارای یک دسته ناپیوستگی با جهت یافتگی 0 درجه در ماده سنگ در حالت بهسازی شده با دوغاب سیمان. 46
شکل (3-32): شکست نمونه دارای یک دسته ناپیوستگی قائم و یک دسته دارای زاویه 45 با جهت افقی در دوغاب سیمان در حالت بهسازی شده با دوغاب سیمان..... 46
شکل (3-33): شکست نمونه دارای دو دسته ناپیوستگی متقاطع 30 و 60 در دوغاب سیمان در حالت بهسازی شده با دوغاب سیمان..... 47
شکل (3-34): شکست نمونه دارای دو دسته ناپیوستگی متقاطع 45 و 45 در دوغاب سیمان در حالت بهسازی شده با دوغاب سیمان..... 47
شکل (3-35): شکست نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع 60، 30 و 90 دسته ناپیوستگی با زاویه 60 درجه دارای چهار ناپیوستگی موازی در دوغاب سیمان در حالت بهسازی شده با دوغاب سیمان..... 48
شکل (3-36): شکست نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع 0، 90 و 90 یکی از دسته ناپیوستگی های با زاویه 90 درجه دارای چهار ناپیوستگی موازی در ماده سنگ در حالت بهسازی شده با دوغاب سیمان..... 48

شکل (4-1): رابطه بین جهت یافتگی و نسبت نفوذپذیری به نفوذپذیری سنگ سالم برای نمونه های دارای یک دسته ناپیوستگی با جهت یافتگی 0، 30، 45، 60 و 90 درجه نسبت به افق بهسازی نشده..... 57
شکل (4-2): رابطه بین جهت یافتگی و نسبت نفوذپذیری به نفوذپذیری سنگ سالم برای نمونه های دارای دو دسته ناپیوستگی متقاطع شامل یک دسته قائم بهسازی نشده..... 57
شکل (4-3): رابطه بین جهت یافتگی و نسبت نفوذپذیری به نفوذپذیری سنگ سالم برای نمونه های دارای دو دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود بر هم بهسازی نشده..... 58
شکل (4-4): رابطه بین جهت یافتگی و نسبت نفوذپذیری به نفوذپذیری سنگ سالم برای نمونه های دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع بهسازی نشده..... 58
شکل (4-5): رابطه بین جهت یافتگی و نسبت نفوذپذیری به نفوذپذیری سنگ سالم برای نمونه های دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم یکی از دسته ها دارای چهار ناپیوستگی موازی بهسازی نشده..... 59
شکل (4-6): رابطه بین جهت یافتگی و نسبت نفوذپذیری به نفوذپذیری سنگ سالم برای نمونه های دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم یکی از دسته ها دارای چهار ناپیوستگی موازی 30، 45، 60 و 90 درجه بهسازی نشده. 59
شکل (4-7): مقایسه نسبت نفوذپذیری به نفوذپذیری سنگ سالم در نمونه های دارای یک دسته ناپیوستگی قبل و بعد بهسازی..... 60
شکل (4-8): مقایسه نسبت نفوذپذیری به نفوذپذیری سنگ سالم در نمونه های دارای دو دسته ناپیوستگی متقاطع شامل یک دسته قائم قبل و بعد بهسازی..... 61
شکل (4-9): مقایسه نسبت نفوذپذیری به نفوذپذیری سنگ سالم در نمونه های دارای دو دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود بر هم قبل و بعد بهسازی..... 62
شکل (4-10): مقایسه نسبت نفوذپذیری به نفوذپذیری سنگ سالم در نمونه های دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع قبل و بعد بهسازی..... 63

شکل (4-11): مقایسه نسبت نفوذپذیری به نفوذپذیری سنگ سالم در نمونه های دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم یکی از دسته ها دارای چهار ناپیوستگی موازی قبل و بعد بهسازی..... 64
شکل (4-12): رابطه نسبت نفوذپذیری نمونه های دارای ناپیوستگی به نفوذپذیری سنگ سالم با تعداد درزه در متر قبل بهسازی با دوغاب سیمان..... 65
شکل (4-13): رابطه نسبت نفوذپذیری نمونه های دارای ناپیوستگی به نفوذپذیری سنگ سالم با تعداد درزه در متر بعد بهسازی با دوغاب سیمان..... 65
شکل (4-14): رابطه درصد تأثیر تزریق بر نفوذپذیری با جهت یافتگی برای نمونه های دارای ناپیوستگی..... 66
شکل (4-15): رابطه مقاومت فشاری با جهت یافتگی ناپیوستگی در نمونه های دارای یک دسته ناپیوستگی قبل بهسازی.. 68
شکل (4-16): رابطه مقاومت فشاری با جهت یافتگی ناپیوستگی در نمونه های دارای یک دسته ناپیوستگی بعد بهسازی... 68
شکل (4-17): رابطه مقاومت فشاری با جهت یافتگی ناپیوستگی در نمونه های دارای دو دسته ناپیوستگی یک دسته قائم قبل بهسازی..... 69
شکل (4-18): رابطه مقاومت فشاری با جهت یافتگی ناپیوستگی در نمونه های دارای دو دسته ناپیوستگی یک دسته قائم بعد بهسازی..... 69
شکل (4-19): رابطه مقاومت فشاری با جهت یافتگی ناپیوستگی در نمونه های دارای دو دسته ناپیوستگی عمود بر هم قبل بهسازی..... 70
شکل (4-20): رابطه مقاومت فشاری با جهت یافتگی ناپیوستگی در نمونه های دارای دو دسته ناپیوستگی عمود بر هم بعد بهسازی..... 70
شکل (4-21): رابطه مقاومت فشاری با جهت یافتگی ناپیوستگی در نمونه های دارای سه دسته ناپیوستگی عمود بر هم قبل بهسازی..... 71
شکل (4-22): رابطه مقاومت فشاری با جهت یافتگی ناپیوستگی در نمونه های دارای سه دسته ناپیوستگی عمود بر هم بعد بهسازی..... 71
شکل (4-23): رابطه مقاومت فشاری با جهت یافتگی ناپیوستگی در نمونه های دارای سه دسته ناپیوستگی یک دسته دارای چهار ناپیوستگی موازی قبل بهسازی..... 72
شکل (4-24): رابطه مقاومت فشاری با جهت یافتگی ناپیوستگی در نمونه های دارای سه دسته ناپیوستگی یک دسته دارای چهار ناپیوستگی موازی بعد بهسازی..... 72
شکل (4-25): رابطه مقاومت فشاری با جهت یافتگی برای نمونه های با دسته ناپیوستگی های مختلف قبل بهسازی با دوغاب سیمان..... 73
شکل (4-26): رابطه مقاومت فشاری با جهت یافتگی برای نمونه های با دسته ناپیوستگی های مختلف بعد بهسازی با دوغاب سیمان..... 74
شکل (4-27): رابطه مقاومت فشاری با جهت یافتگی برای نمونه های با دسته ناپیوستگی های مختلف قبل و بعد بهسازی با دوغاب سیمان..... 75
شکل (4-28): رابطه بین مقاومت فشاری یک محوری و ضریب جهت یافتگی برای نمونه های دارای ناپیوستگی قبل بهسازی با دوغاب سیمان..... 76

شکل (4-29): رابطه بین مقاومت فشاری یک محوری و ضریب جهت یافتگی برای نمونه های دارای ناپیوستگی بعد بهسازی با دوغاب سیمان 76
شکل (4-30): رابطه درصد تأثیر تزریق بر مقاومت فشاری با جهت یافتگی برای نمونه های دارای ناپیوستگی 77
شکل (4-31): رابطه بین نسبت مقاومت سنگ درزه دار به مقاومت سنگ سالم و ضریب درزه داری نتایج حاصل از این تحقیق برای سنگ آهک و مقایسه آن با رابطه ارائه شده توسط رامامورتی (2001) 79

شکل (الف-1): دستگاه آزمایش سرعت موج طولی 84
شکل (الف-2): نمونه های آماده سازی شده بدون بهسازی برای انجام آزمایش 84
شکل (الف-3): رابطه بین نسبت نفوذپذیری سنگ درزه دار به نفوذپذیری سنگ سالم با سرعت موج طولی برای نمونه های دارای ناپیوستگی بهسازی نشده 85
شکل (الف-4): رابطه بین مقاومت فشاری سنگ درزه دار با سرعت موج طولی برای نمونه های دارای ناپیوستگی بهسازی نشده 85

چکیده

ناپیوستگی ها مهمترین ویژگی توده سنگ برای کنترل نفوذ پذیری و مقاومت آن هستند. تزریق به عنوان یکی از روش های بهسازی زمین عمدتاً برای کاهش نفوذپذیری و ارتقاء مقاومت سنگ استفاده می شود. در این تحقیق تأثیر ناپیوستگی های دارای جهت‌یافتگی، فراوانی و تعداد دسته های متقاطع در نفوذ پذیری و مقاومت سنگ قبل و بعد از بهسازی با تزریق دوغاب سیمان مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه های سنگ فاقد ناپیوستگی، دارای یک دسته ناپیوستگی، دو دسته ناپیوستگی، سه دسته ناپیوستگی متقاطع منفرد و سه دسته ناپیوستگی متقاطع که یک دسته آنها دارای چهار ناپیوستگی موازی بوده در گروه های مختلف دارای زاویه شیب صفحه ناپیوستگی ها با جهت افقی به ترتیب 0، 30، 45، 60 و 90 درجه کلاً در دو بخش عمده بدون بهسازی و به صورت بهسازی شده با دوغاب سیمان آماده سازی شده و آزمون های نفوذپذیری و مقاومت فشاری روی آن ها انجام شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که نفوذپذیری با افزایش تعداد ناپیوستگی‌ها و فراوانی آن ها به شدت افزایش می یابد، طوری که نفوذپذیری نمونه های سنگ به شدت درزه دار متشکل از 20 قطعه سنگ، صدها هزار برابر (تا 850000 برابر) سنگ یک پارچه است. این نشان می‌دهد وفور ناپیوستگی ها و مجاری ارتباطی آن ها نقش اساسی در نفوذپذیری دارند. نفوذپذیری گروه های نمونه های دارای یک دسته ناپیوستگی و دو دسته ناپیوستگی متقاطع با یک دسته در راستای قائم با افزایش زاویه جهت یافتگی نسبت به افق افزایش می یابد. در گروه‌های دارای دو و سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود بر هم، حداقل نفوذپذیری در جهت یافتگی 45 درجه نسبت به افق و بیشترین نفوذپذیری در جهت یافتگی با زاویه 0 و 90 درجه اتفاق می افتد. در گروه های دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم و یکی از دسته ها دارای چهار ناپیوستگی موازی که مصداق سنگ به شدت درزه دار بوده، حداقل نفوذپذیری در جهت یافتگی 0 درجه و بیشترین نفوذپذیری در جهت یافتگی با زاویه 30 درجه اتفاق می‌افتد. با بهسازی سنگ درزه دار توسط دوغاب سیمان، ناپیوستگی های با زاویه 90 درجه که موازی مسیر جریان آب قرار دارند با شدت بیشتری نفوذپذیری آن ها نسبت به ناپیوستگی ها با زاویه 0 درجه کاهش می‌یابد.

برای کلیه نمونه های دارای دسته ناپیوستگی با زاویه 0 یا 90 درجه نسبت به حالت افقی که بدون بهسازی و با بهسازی هستند، شکست در ماده سنگ اتفاق می افتد. برای کلیه گروه های دارای دسته ناپیوستگی‌های متقاطع و فراوانی مختلف بدون بهسازی در زاویه جهت یافتگی برابر 30، 45 و 60 درجه، شکست در صفحه ناپیوستگی اتفاق می‌افتد اما در حالت بهسازی شده شکست در سیمان تزریق شده اتفاق افتاده و قطعات نمونه در امتداد ناپیوستگی می‌لغزند. بیشترین تأثیر تزریق بر مقاومت فشاری در ناپیوستگی ها با زوایای 30 و 60 درجه و کمترین تأثیر در ناپیوستگی ها با زوایای 0 و 90 درجه می باشد. تأثیر بهسازی در کاهش نفوذپذیری بیشتر از تأثیر آن در ارتقاء مقاومت سنگ است. رابطه بین نسبت مقاومت فشاری سنگ درزه دار به مقاومت فشاری سنگ سالم ($\frac{\sigma_{cj}}{\sigma_{ci}}$) و ضریب درزه داری ($J_f$) برای سنگ آهک قبل از تزریق تفاوت قابل توجهی با رابطه ارائه شده توسط رامامورتی دارد.

واژه‌های کلیدی: ناپیوستگی ها، نفوذ پذیری، تزریق، سنگ، مقاومت فشاری

فصل اول

مقدمه

نفوذ پذیری سنگ یکی از موضوعات اساسی در بررسی ژئوتکنیک و هیدرولیک در سازه های آبی و تونل ها است. از جمله کاربرد های معمول آن می توان نفوذپذیری در سد ها، نفوذ آب های آلوده در تشکیلات سنگی و نفوذ آب در توده های سنگ در معادن و تونل ها را نام برد. توده های سنگ برجا، همگن و پیوسته نبوده بلکه دارای انواع ناپیوستگی ها هستند. سنگ سالم فاقد ناپیوستگی، مقاوم تر و نفوذ ناپذیرتر از مصالحی همچون بتن است که جهت جلوگیری از نفوذپذیری استفاده می شود. بنابراین ناپیوستگی ها مهمترین ویژگی توده سنگ برای کنترل نفوذ پذیری هستند.

فناوری بهسازی زمین با بکارگیری تزریق اخیرا در سطح جهان و حتی کشور توسعه وسیعی یافته است. تزریق به عنوان یکی از روش های بهسازی زمین عمدتا برای کاهش نفوذ پذیری و افزایش مقاومت سنگ استفاده می شود. امروزه با استفاده از میزان نفوذ پذیری و با توجه به نوع سازه سنگی، نشان داده می شود که چه وقت تزریق لازم است. از تزریق به عنوان بهسازی در انواع سازه های سنگی همچون تونل های راه، مغار نیروگاه ها و سایر سازه های متعدد زیرزمینی استفاده می شود و همچنین انجام عملیات تزریق در سد سازی اجتناب ناپذیر است. وجود ناپیوستگی های دارای جهت‌یافتگی، فراوانی و تعداد دسته های متقاطع در توده های سنگ در برگیرنده سازه های سنگی اجتناب ناپذیر است. با افزایش تعداد دسته ناپیوستگی ها و فراوانی آن ها، سنگ به سمت توده های خرد شده میل می‌کند. ویژگی های بارز تعداد دسته ناپیوستگی های متقاطع دارای فراوانی و جهت یافتگی مختلف مصداق تمایز میزان خرد شدگی توده های سنگ از سنگ یک پارچه هستند. به رغم اهمیت فوق العاده چنین موضوعی تاکنون تأثیر چنین ویژگی های ناپیوستگی ها بر نفوذ پذیری و مقاومت سنگ قبل و بعد از تزریق مورد تحقیق قرار نگرفته است. به رغم سخت و طاقت فرسا بودن اجرای چنین موضوعی در این تحقیق تلاش هایی به عمل آمده است تا تأثیر تعداد دسته ناپیوستگی های متقاطع دارای جهت یافتگی و فراوانی مختلف بر نفوذ پذیری و مقاومت فشاری یک محوری قبل و بعد از تزریق مورد بررسی قرار گیرد.

این پایان نامه شامل پنج فصل است. فصل اول مقدمه پیش رو است. در فصل دوم پیشینه موضوع تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل سوم نحوه آماده سازی نمونه های سنگ دارای یک دسته ناپیوستگی، دو دسته ناپیوستگی و سه دسته ناپیوستگی دارای فراوانی و بهسازی آن ها با تزریق دوغاب سیمان و همچنین انجام آزمایش های نفوذ پذیری و مقاومت فشاری یک محوری قبل و بعد از تزریق در آزمایشگاه شرح داده شده است. نتایج به دست آمده در فصل چهارم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند و نتیجه گیری و پیشنهادات در فصل پنجم آورده شده است. همچنین به علت سخت و طاقت فرسا بودن آماده سازی نمونه‌های به ویژه دارای تعداد دسته ناپیوستگی های متقاطع دارای جهت یافتگی و فراوانی، قبل از انجام آزمایش مقاومت فشاری یک محوری، آزمایش غیر مخرب اولتراسونیک برای تعیین سرعت عبور موج نمونه های درزه‌دار بدون تزریق نیز انجام شد که این موضوع در قسمت پیوست آورده شده است.

فصل دوم

مروری بر پیشینه موضوع تحقیق

2–1– مقدمه

توده سنگ یک جسم جامد پیوسته، همگن و همسانگرد نیست و دارای انواع ناپیوستگی ها می باشد. تأثیر ناپیوستگی ها بر ویژگی های مهندسی توده سنگ به مراتب بیش از تأثیر خود ماده سنگ است. ناپیوستگی ها بارزترین عوامل کنترل کننده نفوذپذیری و مقاومت توده سنگ هستند. بهسازی توده سنگ نیز به منظور کاهش نفوذپذیری و ارتقاء مقاومت توده سنگ می باشد که از طریق ناپیوستگی ها انجام می شود. در این فصل ویژگی های ناپیوستگی ها، نفوذ پذیری، مقاومت یک محوری و بهسازی توده سنگ با استفاده از تزریق شرح داده می شود.

2–2– ویژگی های ناپیوستگی ها در توده سنگ

توده سنگ شامل ماده سنگ و ناپیوستگی ها است. ماده سنگ جسم پیوسته و منسجم سنگ است. ناپیوستگی ها مهمترین عامل کنترل کننده نفوذپذیری و مقاومت سنگ هستند. ویژگی های مهندسی ماده سنگ را ریز ترک ها و ریز شکست ها تعیین می کنند در حالی که تأثیری که ناپیوستگی های توده سنگ بر ویژگی های مهندسی توده سنگ دارد به مراتب بیش تر از نقشی است که خود ماده سنگ می تواند در این مورد داشته باشد. جهت توصیف رفتار سنگ حتما باید ویژگی مربوط به ناپیوستگی ها و میزان تأثیری که بر روی توده سنگ می گذارند مورد توجه و بررسی قرار گیرد (رامامورتی، 1993). برخی ویژگی های ناپیوستگی ها که بر رفتار توده سنگ تأثیر می گذارند عبارتند از: جهت یافتگی، دهانه، پایایی، فاصله بندی، زبری، مواد پر کننده و تعداد دسته ناپیوستگی ها (شکل 2-1).

1- جهت یافتگی: جهت یافتگی عبارت است از وضعیت ناپیوستگی ها در فضا که با شیب و جهت شیب تعریف می شود. شیب نسبت به افق و جهت شیب در جهت عقربه های ساعت نسبت به شمال واقعی اندازه گیری می شود. جهت یافتگی بر مقاومت و نفوذپذیری یا هدایت هیدرولیکی توده سنگ موثر است (انجمن بین المللی مکانیک سنگ،1981).

2- دهانه: دهانه عبارت از فاصله ی عمودی ما بین دیواره های سنگی مجاور یک ناپیوستگی است. دهانه و تغییرات فضایی وضعیت آن بر مقاومت و نفوذپذیری ناپیوستگی و توده سنگ موثر است (انجمن بین المللی مکانیک سنگ،1981).

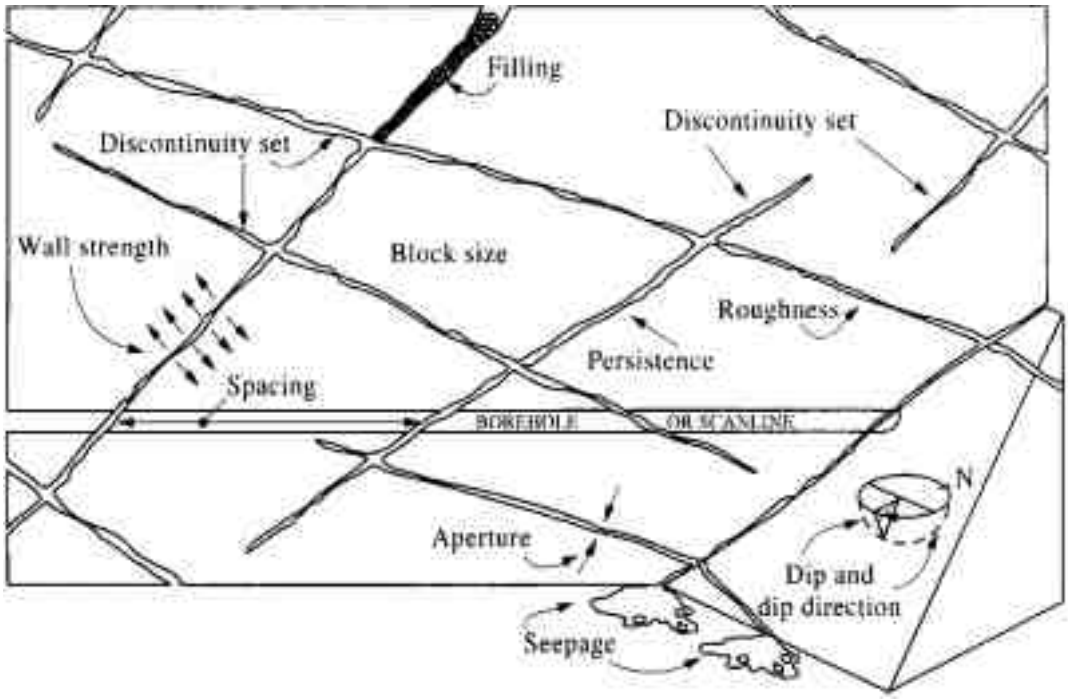
3- پایایی: منظور از پایایی، طول اثر ناپیوستگی است کـه در یـک رخنمـون مشـاهده مـی شـود. پایـایی در مقاومت برشی صفحه ی ناپیوستگی، خواص خرد شدن و نفوذپذیری توده سنگ تأثیر اساسی دارد (انجمن بین المللی مکانیک سنگ، 1981).

4- فاصله بندی: فاصله بندی عبارت از فاصله ی عمودی ما بین دو ناپیوستگی مجاور متعلق بـه یـک دسـته است. فاصله بندی تعیین کننده ی اندازه ی تک بلـوک سـنگ سـالم اسـت. فاصـله بنـدی بـر مقاومـت و نفوذپذیری موثر است (انجمن بین المللی مکانیک سنگ، 1981).

5- زبری: زبری معرف ناصافی و موجی بودن سطح داخلی ناپیوستگی نسبت بـه صـفحه ی اصـلی آن اسـت. زبری بر مقاومت برشی به ویژه در ناپیوستگی های جابجا نشده موثر است (انجمـن بـین المللـی مکانیـک سنگ، 1981).

6- مواد پر کننده: پر کننده ماده ای است که دیواره های سنگی مجاور ناپیوستگی را از هم جدا مـی سـازد. مواد پر کننده تـأثیر زیـادی در مقاومـت و نفوذپـذیری تـوده سـنگ دارد (انجمـن بـین المللـی مکانیـک سنگ، 1981).

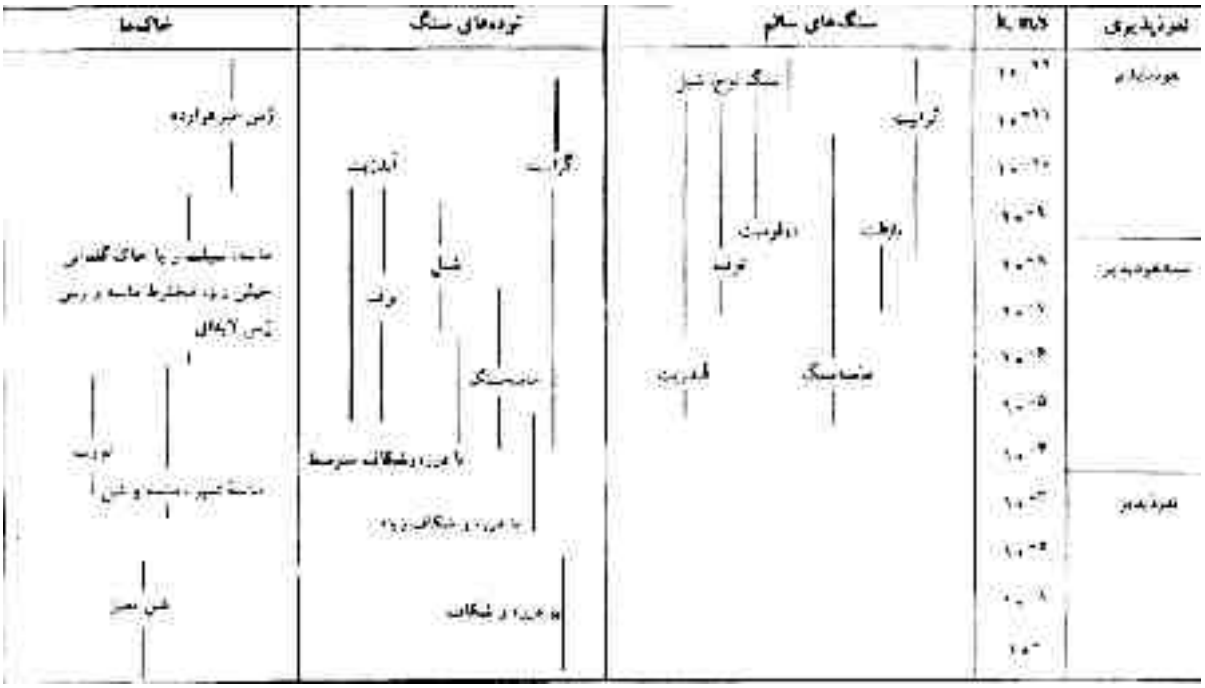
7- تعداد دسته ناپیوستگی ها: تعداد سری های ناپیوستگی های متقاطع را تعداد دسته ناپیوستگی ها می گویند. دسته ناپیوستگی های متقاطع در مقاومت و نفوذپذیری توده سنگ نقش زیادی دارند (انجمن بین المللـی مکانیک سنگ، 1981).



شکل 2-1: نمایش شماتیک برخی ویژگی های ناپیوستگی ها (هادسون، 2000).

2–3– نفوذپذیری سنگ

قابلیت تراوش مایعاتی نظیر آب و یا گاز را در سنگ را می توان نفوذپذیری نامید. اساس نفوذپذیری در ماده سنگ به ویژگی‌هایی نظیر تخلخل وابسته است اما آنچه که اهمیت فوق العاده‌ای در توده سنگ به منظور نفوذپذیری دارد، ناپیوستگی‌ها هستند. ناپیوستگی‌ها تأثیر به سزایی در جریان هیدرولیکی دارند. نفوذپذیری سنگ سالم کمتر از توده سنگ و خاک است (شکل 2-2).



شکل 2-2: هدایت هیدرولیکی برای انواع سنگها و توده‌سنگ‌ها (وتوکوری، 1994).

هنگامی که آب‌زیرزمینی از مواد متخلخل و یا توده سنگ می‌گذرد، دبی جریان (Q) متناسب باسطح مقطع (A) وشیب هیدرولیکی($i = \Delta h / L$) خواهد بود. این قانون که اولین بار توسط هنری دارسی در سال 1865 عنوان شد به قانون دارسی مشهور است. دبی جریان آب در یک نمونه استوانه‌ای سنگ تحت شیب هیدرولیکی مطابق شکل (2-3) براساس قانون دارسی به صورت زیر تعیین می شود.

$$Q = VA = kiA = k\frac{\Delta h}{L}A = k\frac{A}{\mu}\frac{\Delta P}{L} \qquad (1\text{-}2)$$

که درآن

V: سرعت،

A: سطح مقطع نمونه،

k: ضریب نفوذ پذیری،

i: شیب هیدرولیکی،

Δh: اختلاف بار پیزومتری،

L : طول نمونه،

K: نفوذپذیری ذاتی،

μ: گرانروی مایع (ویسکوزیته)،

ΔP: اختلاف فشار در دو انتهای نمونه است.

h: بار پیرومتریک از مجموع بار فشار و بار ارتفاع به دست می‌آید :

$$h = \frac{p}{\delta} + z \qquad (2\text{-}2)$$

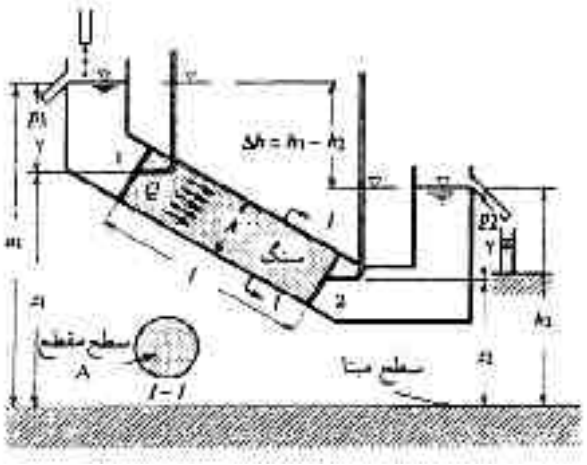
که درآن

p: چگالی مایع

δ: وزن مخصوص مایع،

z : ارتفاع نسبت به خط مبنا می‌باشد.

ضریب k با دیمانسیون طول بر زمان (L/T)، ضریب نفوذپذیری نامیده می‌شود و عبارت است از سرعت واحد جریان در واحد شیب هیدرولیکی و برحسب سانتیمتر بر ثانیه یا متر بر ثانیه اندازه‌گیری می‌شود.



شکل 2-3: تراوش از یک نمونه‌ی شیب‌دار سنگ

اگر عبورسیالی غیر از آب مورد نظر باشد آنگاه ضریب رسانایی هیدرولیکی (K) با دیمانسیون L^2 و واحد دارسی مورد استفاده قرار می گیرد. عامل K نفوذپذیری ذاتی نیز نامیده می‌شود. یک دارسی به صورت زیر تعریف شده است:

$$\text{یک‌دارسی} = \left(\frac{Q}{A}\right)\mu \Big/ \left(\frac{\Delta P}{l}\right) = \left(1cm^3/\sec/cm\right)^2 \times (\text{یک‌سانتی‌پواز})/(\text{یک‌اتمسفر/cm}) \qquad (3\text{-}2)$$

رابطه بین k و K به صورت زیر است :

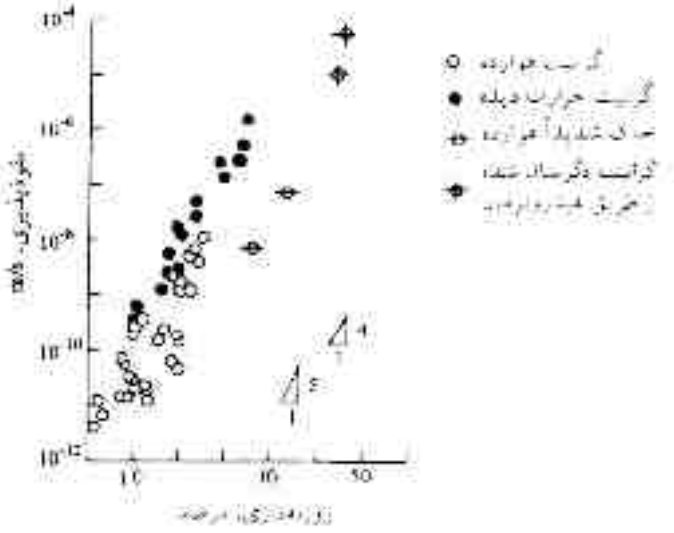
$$k = \frac{K\rho g}{\mu} = \frac{Kg}{\nu} \qquad (4\text{-}2)$$

که درآن

ν گرانروی سینماتیک سیال می باشد.

2–3–1– نفوذپذیری سنگ سالم

مقاومت در برابر جریان در ماده سنگ (سنگ سالم) به نوع سنگ، هندسه منافذ سنگ (اندازه و شکل روزنه ها) بستگی دارد. ضریب نفوذپذیری سنگ بر اساس قانون دارسی تعریف می‌شود. این ضریب در آزمایشگاه از طریق انجام آزمایش نفوذپذیری (تراوش) اندازه‌گیری می‌شود. ضریب نفوذپذیری و روزنه‌داری با همدیگر ارتباط متقابل دارند که نمونه‌ای از این رابطه در شکل (2-4) برای ماده سنگ گرانیت نشان داده شده است.



شکل 2-4: رابطه بین نفوذپذیری و روزنه‌داری برای ماده سنگ سالم گرانیت (واتانابه، 1983).

2–3–1–1– آزمون‌های آزمایشگاهی نفوذپذیری سنگ سالم

اندازه‌گیری ضریب نفوذپذیری سنگ سالم در محل مشکل است زیرا جدا کردن ماده سنگ از درزه‌ها و شکاف‌ها امکان پذیر نیست. به همین علت این ضریب از طریق آزمون نفوذپذیری در آزمایشگاه اندازه‌گیری می‌شود. روش‌های آزمایشگاهی تعیین ضریب نفوذپذیری متداول عبارتند از: استفاده از جریان هوا، بار افتان، روش شعاعی و روش بار ثابت.

2–3–2– نفوذپذیری توده‌سنگ

توده سنگ عموماً یک محیط ناپیوسته است. یک محیط ناپیوسته سنگ با صفحات شکستگی قطع شده و مجموعه ای از بلوک های چند وجهی سنگ بکر و نفوذ ناپذیر تولید کرده است. حضور صفحات شکستگی