

دستورالعمل برداشت صحرائی

گسستگیهای سنگ

در کارهای مهندسی و سدسازی

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه - وزارت نیرو

دستورالعمل برداشت صحرایی گسستگیهای سنگ در کارهای مهندسی و سدسازی

نشریه شماره ۱۸۹

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

۱۳۷۸

انتشارات سازمان برنامه و بودجه ۷۸/۰۰/۵۱

فهرستبرگه

سازمان برنامه و بودجه . دفتر امور فنی و تدوین معیارها
**دستورالعمل برداشت صحرایی گسستگیهای سنگ در مهندسی و
سدسازی / سازمان برنامه و بودجه، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛ وزارت
نیرو، [طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور]. - تهران: سازمان برنامه و بودجه، مرکز مدارک
اقتصادی - اجتماعی و انتشارات، ۱۳۷۸.**
۷۸ ص.: مصور، جدول، نمودار. - (سازمان برنامه و بودجه دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛
نشریه شماره ۱۸۹)

ISBN 964-425-165-2

فهرست نویسی براساس اطلاعات فیبا.
کتابنامه: ص. ۷۸.

۱. سنگها - مکانیک - امکان سنجی. ۲. سنگها - مکانیک - استانداردها.
۳. زمین شناسی مهندسی. ۴. آب - مهندسی. ۵. سد و سدسازی - طرح و محاسبه.
۶. گسله ها. الف. ایران. وزارت نیرو. طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور.
ب. سازمان برنامه و بودجه. مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات. ج. عنوان.

۶۲۴/۱۵۱۳۲۰۲۱۸

TA ۷۰۶/س ۲۵

[TA۳۶۸]

م ۷۸-۱۶۸۹۸

کتابخانه ملی ایران

ISBN 964-425-165-2

شابک ۹۶۴-۴۲۵-۱۶۵-۲

دستورالعمل برداشت صحرایی گسستگیهای سنگ در مهندسی و سدسازی

تهیه کننده: معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها

ناشر: سازمان برنامه و بودجه. مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات

چاپ اول: ۵۰۰ نسخه، ۱۳۷۸

قیمت: ۶۰۰۰ ریال

چاپ و صحافی: موسسه زحل چاپ

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.



جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه

دفتر رئیس

تاریخ:
شماره:
پوست:

بسمه تعالی

شماره: ۱۰۲/۴۸۵۷-۵۴/۴۲۱۶	به: تمامی دستگاههای اجرایی و مهندسان مشاور
تاریخ: ۱۳۷۸/۸/۱۰	
موضوع: دستورالعمل برداشت صحرایی گسستگی های سنگ در کارهای مهندسی و سدسازی	
<p>به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه کشور و آئین نامه استانداردهای اجرایی طرحهای عمرانی این دستورالعمل از گروه دوم مذکور در ماده هفت آئین نامه در یک صفحه صادر می گردد.</p> <p>تاریخ مندرج در ماده ۸ آئین نامه در مورد این دستورالعمل ۱۳۷۸/۱۱/۱ می باشد.</p> <p>به پیوست نشریه شماره ۱۸۹ دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان با عنوان "دستورالعمل برداشت صحرایی گسستگی های سنگ در کارهای مهندسی و سدسازی" ابلاغ می گردد.</p> <p>دستگاههای اجرایی و مهندسان مشاور می توانند مفاد نشریه یادشده و دستورالعمل های مندرج در آن را ضمن تطبیق با شرایط کار خود در طرحهای عمرانی مورد استفاده قرار دهند.</p>	
<p>محمد علی نجفی معاون رئیس جمهور و رئیس سازمان برنامه و بودجه</p>	

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه (مطالعات امکان سنجی) مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرح‌های عمرانی بلحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیتی ویژه برخوردار می‌باشد.

نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه مورخ ۱۳۷۵/۳/۲۳ هیأت محترم وزیران) بکارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام‌شده طرح‌ها را مورد تأکید جدی قرار داده است. با توجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (دفتر امور فنی و تدوین معیارها) براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است:

- استفاده از تخصصها و تجربه‌های کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاههای اجرایی، سازمانها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- پرهیز از دوباره‌کاریها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات تهیه‌کننده استاندارد

ضمن تشکر از کارشناسان محترم برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با بکارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیتهای کشور تلاش نموده و صاحب‌نظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده در تکامل این استانداردها مشارکت کنند.

دفتر امور فنی و تدوین معیارها

پاییز ۱۳۷۸

ترکیب اعضای کمیته

این استاندارد را آقای دکتر حسین معماریان تهیه کرده و در کمیته تخصصی زمین‌شناسی مهندسی طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور مورد بررسی و تصویب قرار گرفته است. اسامی اعضای کمیته به شرح زیر است:

خانم فیروزه امامی	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور	لیسانس زمین‌شناسی
آقای رسول بنی‌هاشمی	شرکت مهندسین مشاور مهاب‌قدس	فوق لیسانس مهندسی معدن
آقای فریدون بهرامی سامانی	شرکت مهندسین مشاور تماوان	فوق لیسانس زمین‌شناسی مهندسی
آقای عباس رادمان	سازمان مدیریت منابع آب ایران	فوق لیسانس مهندسی معدن
آقای حسن عباسی	کارشناس آزاد	لیسانس زمین‌شناسی
آقای حسن مدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	فوق لیسانس مهندسی معدن
آقای حسین معماریان	دانشگاه تهران	دکترای زمین‌شناسی مهندسی
آقای محمدحسن نبوی	شرکت مهندسین مشاور آب نیرو	فوق لیسانس زمین‌شناسی مهندسی
آقای عبدالرزاق واتقی	وزارت نفت	فوق لیسانس مدیریت

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۲	-۱ کلیات
۲	۱-۱ تعاریف
۳	۲-۱ پیشینه مطالعه گسستگیها
۴	۳-۱ روش مطالعه گسستگیها
۵	-۲ جهت یابی
۵	۱-۲ برداشت داده‌ها
۶	۲-۲ نمایش داده‌ها
۷	۳-۲ روش فتوگرامتری
۱۴	-۳ فاصله
۱۴	۱-۳ برداشت داده‌ها
۱۶	۲-۳ نمایش داده‌ها
۱۷	-۴ تداوم
۱۹	۱-۴ برداشت داده‌ها
۲۰	۲-۴ نمایش داده‌ها
۲۱	-۵ ناهمواری
۲۲	۱-۵ روش کار
۲۴	۲-۵ نمایش داده‌ها
۳۴	-۶ مقاومت دیواره
۳۵	۱-۶ روش کار
۳۹	۲-۶ سایر موارد
۴۱	۳-۶ نمایش داده‌ها

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۴۲	۷- بازشدگی
۴۴	۷-۱ روش کار
۴۵	۷-۲ نمایش داده‌ها
۴۶	۸- پرسدگی
۴۷	۸-۱ روش کار
۵۲	۸-۲ سایر موارد
۵۲	۸-۳ نمایش داده‌ها
۵۳	۹- نشست آب
۵۴	۹-۱ روش کار
۵۵	۹-۲ سایر موارد
۵۷	۹-۳ نمایش داده‌ها
۵۸	۱۰- تعداد دسته‌ها
۵۸	۱۰-۱ روش کار
۵۹	۱۰-۲ نمایش داده‌ها
۵۹	۱۱- اندازه قطعات
۶۱	۱۱-۱ روش کار
۶۳	۱۱-۲ سایر موارد
۶۴	۱۱-۳ نمایش داده‌ها
۶۵	۱۲- برداشت مغزه حفاری
۶۵	۱۲-۱ روش کار
۶۷	۱۲-۲ داده‌های تکمیلی
۶۷	۱۲-۳ جهت‌یابی

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۶۸	۴-۱۲ فاصله
۶۹	۵-۱۲ تداوم
۶۹	۶-۱۲ ناهموازی
۷۰	۷-۱۲ مقاومت دیواره
۷۰	۸-۱۲ بازشدگی
۷۱	۹-۱۲ پرشدگی
۷۱	۱۰-۱۲ نشست آب
۷۲	۱۱-۱۲ تعداد دسته درزه‌ها
۷۲	۱۲-۱۲ اندازه قطعات
۷۲	۱۳-۱۲ سایر موارد
۷۴	۱۴-۱۲ رایه نتایج
۷۷	پیوست ۱
۷۸	منابع و مآخذ

توده‌های سنگی، متشکل از قطعات سنگ بکرنند که توسط گسستگی‌هایی از هم جدا شده‌اند. رفتار توده‌های سنگی، به‌خصوص در چند صدمتر بالای پوسته زمین، بیش از همه متأثر از گسستگی‌های موجود در آنها، به ویژه گسستگی‌های بزرگ است. از این روست که بررسی و برداشت صحرایی گسستگی‌های سنگ به همراه توصیف دیگر ساختارهای موجود در آن و طبقه‌بندی سنگ‌شناسی، پیش‌نیاز مطالعات مربوط به سنگها در بررسی‌های مهندسی است.

در سالهای اخیر کوشش‌های زیادی برای یکنواخت کردن نحوه برداشت صحرایی گسستگی‌های سنگ صورت گرفته است. هدف استاندارد حاضر که بر مبنای مصوبات و پیشنهادهای انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ تنظیم شده است، ایجاد بستری مناسب برای کسب اطلاعات یکنواخت از توده‌های سنگی است، به نحوی که بتوان داده‌های گردآوری و پردازش شده به دست گروه‌های کاری مختلف را با اطمینان با یکدیگر مقایسه یا تلفیق کرد. در این استاندارد به دنبال ارائه پیشنهادهایی برای نحوه برداشت صحرایی و ثبت ده ویژگی مربوط به گسستگی‌های سنگ، دستورالعمل لازم نیز برای برداشت و اندازه‌گیری این ویژگیها در مغزه‌های حفاری ارائه شده است.

۱- کلیات

۱-۱ تعاریف

زمین، یعنی جایی که سازه‌ها در سطح یا در داخل آن بنا می‌شوند، از سنگ و خاک تشکیل شده است و فضاهای موجود در مواد پوسته زمین را آب یا هوا پر کرده است. از دیدگاه ژئوتکنیکی کلیه مواد طبیعی بلورین یا دانه‌ای موجود در زمین، که مقاومت فشاری تک محوری آنها بیش از یک مگاپاسکال است، «سنگ»^۱ و نمونه‌های با مقاومت کمتر «خاک»^۲ محسوب می‌شود (بینی اوسکی، ۱۹۷۴).

سنگها، برخلاف بسیاری از مواد دیگر، همگن (هموزن) و همسانگرد (ایزوتروپ) نیستند. علاوه بر آن در اغلب آنها گسستگی‌هایی دیده می‌شود. چنین ویژگی‌هایی است که مکانیک سنگ را از دیگر شاخه‌های علم مکانیک مواد متمایز می‌کند. در نتیجه، اطلاعات گردآوری شده در مورد سنگها باید دو وجه کاملاً متفاوت از عکس‌العمل سنگ را در برابر نیروهای وارد شده به خوبی نشان دهد. یکی از این دو، رفتار مکانیکی «سنگ بکر»^۳ است که مطالعه عملی آن عمدتاً از راه بررسیهای آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های دستی سنگ یا مغزه‌های حفاری انجام می‌شود. وجه دوم عبارت از رفتار مکانیکی «توده سنگ»^۴ یا به زبان ساده‌تر، سنگ دارای گسستگیها و یا سطوح ضعیف است. اطلاعات مربوط به توده سنگ بیشتر به کمک مشاهدات مستقیم و آزمونها و عملیات صحرائی به دست می‌آید.

از نظر مکانیکی به هر نوع سطح ضعیف موجود در سنگ که مقاومت برشی آن ناچیز یا صفر باشد، «گسستگی»^۵ اطلاق می‌شود. گروهی از گسستگیها که ناشی از شکست ترد هستند، «شکستگی»^۶ نیز نامیده می‌شوند. درزه‌ها و گسلها نمونه‌هایی از شکستگی‌اند. گروه دیگری از گسستگیها، همچون لایه‌بندی، پدیده‌های چینه‌شناسی‌اند.

«درزه»^۷ به نوع خاصی از گسستگی اطلاق می‌شود که در امتداد سطح آن جابه‌جایی قابل مشاهده‌ای رخ نداده باشد. گروهی از درزه‌های کمابیش موازی هم، یک «دسته درزه»^۸ را می‌سازند و دو یا چند دسته درزه متقاطع «سیستم درزه»^۹ سنگ را به وجود می‌آورند. یک درزه ممکن است باز، بسته یا جوش خورده باشد. درزه‌هایی که به موزات لایه‌بندی، تورق^{۱۰} و رخ قرار داشته باشند، نام این ساختها را به خود می‌گیرند.

1. Rock

2. Soil

3. Intact rock

4. Rock mass

5. Discontinuity

6. Fracture

7. Joint

8. Joint set

9. Joint system

10- Foliation

«گسل»^۱ به یک شکستگی منفرد یا یک زون خرد شده اطلاق می‌شود که در امتداد سطح آن لغزش (از چند میلیمتر تا چند کیلومتر) اتفاق افتاده باشد. دیواره گروهی از گسلها بر اثر جابه‌جایی برشی، براق و دارای «خش لغزش»^۲ است. در برخی موارد نیز سنگهای واقع در دیواره گسل خرد و هوازده شده‌اند و در نتیجه مواد پرکننده‌ای چون برش‌گسلی^۳ و گوژ^۴ به وجود آورده‌اند. عرض منطقه خرد شده، یعنی فاصله بین دو دیواره گسل از چند میلیمتر تا چند صد متر تغییر می‌کند.

۲-۱- پیشینه مطالعه گسستگیها

ویژگیهای مهندسی سنگ یکپارچه به مشخصات اجزای تشکیل دهنده سنگ و نحوه پیوند آنها با یکدیگر وابسته است. در مقابل، «رفتار توده سنگ» تا حد زیادی به نوع، فاصله و دیگر مشخصات گسستگیهای آن بستگی دارد. به‌طور کلی مشخصات مواد سنگی تحت الشعاع مشخصات گسستگیهای موجود در توده سنگ است. البته این به آن معنی نیست که در زمان بررسی توده سنگ از تعیین مشخصات مواد سنگی (سنگ بکر) صرف‌نظر شود. علاوه بر اینها در برخی نقاط، مثل جایی که فاصله درزه‌ها از هم زیاد است، یا اینکه مواد سنگی سست و دگرسان شده‌اند، مشخصات سنگ بکر می‌تواند تا حدی بر رفتار کلی توده سنگ تأثیر بگذارد.

در طی چند دهه گذشته با ابداع آزمایشهای گوناگون کوششهای فراوانی برای شناسایی سنگ و تعیین مشخصات فیزیکی - مکانیکی آن صورت گرفته است. نظر به اینکه تنوع و فراوانی آزمایشها مشکلات مختلفی را به وجود آورده بود، در سال ۱۹۶۶ انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ISRM)^۵ کمیته‌ای را مسئول تدوین آزمونهای استاندارد کرد. نتیجه تحقیقات این کمیته به تدریج در نشریات ادواری و بعدها به‌طور یک جا به چاپ رسید (براون، ۱۹۸۱). این آزمونها گرچه امروزه به‌طور وسیع در سرتاسر دنیا به کار گرفته می‌شوند، ولی هنوز حالت پیشنهادی و استاندارد نشده‌اند. نوشته حاضر نیز بر مبنای مصوبات انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (براون ۱۹۸۱ و ۱۹۸۶) تنظیم شده است.

بررسی روشهایی که در سالهای اخیر برای طبقه‌بندی ژئوتکنیکی سنگ ابداع شده (از جمله RQD و RSR و RMR و Q) نشان می‌دهد که همه آنها بدون استثنا بیشترین تأکید را بر گسستگیهای توده سنگ قرار داده‌اند. کسب داده‌های قابل اطمینان از گسستگیهای سنگ تقریباً برای انجام دادن هر نوع کار مهندسی از ضروریات است. به عنوان مثال در محدوده یک سد، گسستگیهای سنگ تا حد زیادی بر مقاومت و تغییر شکل‌پذیری پی، جریان آب زیرزمینی، فرار آب از مخزن، پایداری دامنه‌ها و تونلها، سهولت آتشیباری و اندازه قطعات حاصله تأثیر می‌گذارند.

1. Fault

2. Slickenside

3. Fault breccia

4- Gouge

5. International Society of Rock Mechanics

۳-۱ روشهای مطالعه گسستگیها

گسستگیهای سنگ را با سه روش عمده می توان بررسی کرد :

- بررسی رخنمونهای طبیعی و مصنوعی سنگ در صحرا
- بررسی دیواره گمانه ها و مغزه حفاری
- روشهای فتوگرامتری

از میان روشهای بالا روش اول، یعنی: بررسیهای صحرائی توده سنگ، با کمترین وسایل قابل اجرا بوده و لذا بیش از دو روش دیگر به کار گرفته می شود. باید توجه داشت که هر چه توصیف صحرائی توده سنگ بهتر و کاملتر انجام شود و با زبانی کمی بیان شود، نیاز طراح را به آزمونهای برجها، که معمولاً بسیار پرخرج هستند، کاهش خواهد داد.

قبل از آغاز برداشت صحرائی گسستگیها، باید کلیه اطلاعات موجود درباره منطقه، شامل: گزارشها، عکسهای هوایی و نقشه های زمین شناسی، گردآوری شود و در صورت لزوم نقشه زمین شناسی جدیدی با مقیاسی مناسب تهیه شود. تنها پس از آشنایی با زمین شناسی منطقه است که می توان صحیح ترین و کاراترین روش برداشت و بررسی گسستگیها را انتخاب کرد.

پس از اینکه محل رخنمونهای طبیعی و مصنوعی سنگ مشخص شد، باید آنها را بر مبنای تراکم و طرح گسستگیهایشان به «محدوده های ساختاری»^۱ مجزا تقسیم کرد. بررسیهای ژئوتکنیکی مربوط به هر محدوده باید به طور جداگانه صورت گیرد. در بسیاری موارد محدوده های ساختاری در عمل «محدوده های چینه شناختی - ساختاری» اند.

برداشت صحرائی گسستگیها به دو صورت: با «پیشداوری» (اریب)^۲ و «تصادفی»^۳ امکانپذیر است. در شرایطی که بتوان زمین را به واحدها و محدوده های ساختاری تقسیم کرد، ترجیحاً روش اول به کار گرفته می شود. به این ترتیب که در هر محدوده تنها گسستگیهایی که در ارتباط با پایداری مهم تشخیص داده می شوند، توصیف می شوند. در غیراین صورت روش نمونه برداری تصادفی به کار گرفته می شود. در این روش، معمولاً کلیه گسستگیهایی که در امتداد یک خط ثابت یا منطقه مشخصی از رخنمون وجود دارند، توصیف می شوند.

موقعیت فضایی گسستگیها و وضعیت سطح هر گسستگی عناوین دو گروه اصلی اندازه گیریهای صحرائی اند.

(الف) موقعیت فضایی گسستگیها (جهت یابی، تعداد دسته ها، فاصله، اندازه قطعات و تداوم درزه ها)

(ب) وضعیت سطح گسستگی (ناهمواری، مقاومت دیواره، بازشدگی، پرشدگی و نشست آب)

1. Structural domains

2. Biased

3. Random

۲- جهت یابی

۱-۲ برداشت داده‌ها

در صورتی که گسستگی سطحی مسطوی در نظر گرفته شود، «جهت یابی»^۱ آن در فضا توسط: آزیموت امتداد گسستگی و مقدار شیب آن، یا روند و میل خط بزرگترین شیب آن تعیین می‌شود. شیب از سطح افق و امتداد یا جهت شیب در جهت عقربه‌های ساعت از شمال واقعی اندازه‌گیری می‌شود. امتداد یا جهت شیب با یک عدد سه‌رقمی و شیب با یک عدد دو رقمی نشان داده می‌شود و این دو با یک ممیز از هم جدا می‌شوند، مثل: ۳۱/۷۴° یا ۲۳۵/۱۳ (شکل ۱).

ساده‌ترین روش تعیین جهت یابی گسستگیها استفاده از کمپاس و شیب‌سنج است. دقت اندازه‌گیری‌هایی که به این نحو انجام می‌شود به عواملی مثل قابلیت دسترسی و گسترش فضایی رخنمون سنگ، درجه ناهمواری سطح گسستگی، ناجوریه‌های محلی مغناطیسی^۲ (ناشی از لوله‌های آهنی، ریل‌های راه‌آهن یا تجمع کانیهای مغناطیسی) و بالاخره خطاهای انسانی وابسته است. برای کاهش خطای انسانی پیشنهاد می‌شود که قبل از قرائت با کمپاس، جهت حداکثر شیب با شیب‌سنج به دست آید.

در جاهایی که سطح درزه ناهموار یا موجدار است، با قرار دادن یک ورق مقوایی یا پلاستیکی نازک و محکم در زیر کمپاس اندازه‌گیری صورت می‌گیرد. همچنین در سطوحی که تنها خطی از گسستگی رخنمون دارد، با راندن قسمتی از ورقه مورد بحث به داخل بازشدگی درزه، تعیین جهت یابی میسر می‌شود. در زمان برداشت گسستگیها باید دقت کرد تا سطحی که در آن اندازه‌گیری صورت می‌گیرد (سطح رخنمون) عمود بر امتداد گسستگی باشد، در غیر این صورت باید مقادیر اندازه‌گیری شده را اصلاح کرد.

جهت یابی گسستگیهای کوچک در یک گمانه قابل اندازه‌گیری است، به شرط آنکه مختصات فضایی ناشی از مغزه حفاری شده مشخص باشد، یا اینکه مشاهده مستقیم دیواره گمانه امکانپذیر باشد. ابزارهایی چون «مغزه‌گیر جهت یافته»^۳ دوربین تلویزیونی، دوربین عکسبرداری و پریسکوپ مخصوص گمانه نیز برای تعیین جهت یابی گسستگیها در گمانه به کار می‌روند. برای اندازه‌گیری جهت یابی گسستگیها در یک توده سنگ خرد شده از روشی به نام «نمونه‌گیری یکپارچه»^۴ استفاده می‌شود.

1. Orientation

2- hocal magnetic anomalies

3. Oriented core barrel

4. Integral sampling method

برای آگاهی از تعداد و مشخصات دسته درزه‌ها باید جهت‌یابی تعداد نسبتاً زیادی از گسستگی‌ها در محدوده مورد بررسی اندازه‌گیری شود. شاید ۱۵۰ اندازه‌گیری را بتوان به عنوان عددی مناسب در این مورد پیشنهاد کرد^۱. بدیهی است که هرچه گسستگی‌های سنگ منظم‌تر باشد، می‌توان با تعداد کمتری اندازه‌گیری به نتیجه دلخواه رسید. در زمان بررسی‌های صحرایی و یادداشت اطلاعات، باید کوشش شود تا درزه‌ها و دسته درزه‌های منظم از انواع نامنظم و تصادفی تفکیک شوند. «درزه‌های منظم»^۲ در صحرا و نقشه به صورت خطوط مداوم و کم و بیش موازی هم تظاهر می‌کنند، در صورتی که پراکندگی گسستگی‌های نامنظم، طرحی تصادفی دارد. نتیجه اینکه «درزه‌های نامنظم»^۳ به هیچ یک از دسته درزه‌ها تعلق ندارند و اغلب بر اثر عملکرد تنش‌های محلی ایجاد می‌شوند. بسیاری از گسستگی‌های تصادفی دارای سطوحی منظم و دارای انحنا هستند و در محل هم‌پری دو لایه سنگی یا درزه‌های منظم قبلی قطع می‌شوند.

۲-۲ نمایش داده‌ها

الف) ساده‌ترین روش ارائه اطلاعات مربوط به جهت‌یابی گسستگی‌ها در نقشه به صورت یک خط کوتاه است که معرف امتداد آن است. جهت شیب لایه به صورت یک خط قاطع کوتاه و جهت شیب درزه به صورت یک چهارضلعی توپر است که در کنار خط امتداد رسم می‌شود (شکل ۱-ب).

ب) یکی از مهمترین مسائل در مورد جهت‌یابی و تعداد دسته درزه‌های یک توده سنگ، نحوه نمایش و ارائه آنها است، زیرا به دلیل فضای محدود نقشه، نمایش یک یک آنها اغلب امکان‌پذیر نیست. یکی از گویاترین روش‌های نمایش وضعیت فضایی گسستگی‌ها استفاده از «نمودارهای سه‌بعدی» است. در یک نمودار سه بعدی موارد زیادی از جمله: محدوده‌های ساختاری، موقعیت فضایی گسستگی‌ها و دیگر ساختارهای موجود در سنگ، وضعیت دامنه‌ها و تکیه‌گاه‌ها و بالاخره رابطه همه آنها را با سازه مورد نظر می‌توان نشان داد (شکل ۲).

ج) از دیگر روش‌های نمایش داده‌های مربوط به جهت‌یابی، استفاده از «نمودار گلسرخ»^۴ است. ضعف این روش عدم توانایی آن در نشان دادن شیب درزه‌ها است. برای رفع این مشکل پیشنهاد می‌شود که شیب متوسط هر دسته درزه در کنار آن نوشته شود. نقص دیگر این نمودارها این است که تمرکزهایی را که تعداد بیشتری اندازه‌گیری در خود جای داده‌اند، بیش از اندازه بزرگ جلوه داده و تمرکزهای با تراکم کمتر را به نحو اغراق‌آمیزی کوچک نشان می‌دهد (شکل ۳).

د) امروزه با به‌کارگیری تصویرهای کروی و نمایش گسستگی‌ها در شبکه‌های استریوگرافیک^۵، ضمن رفع مشکلات پیش‌گفته، تصویر دقیقی از موقعیت فضایی درزه‌ها و دسته درزه‌ها ترسیم می‌شود. در این جا با به‌کارگیری شبکه‌های

1. Brown, 1981

2. Systematic joints

3. Non - systematic joints

4. Rose diagram

5. Stereographic nets

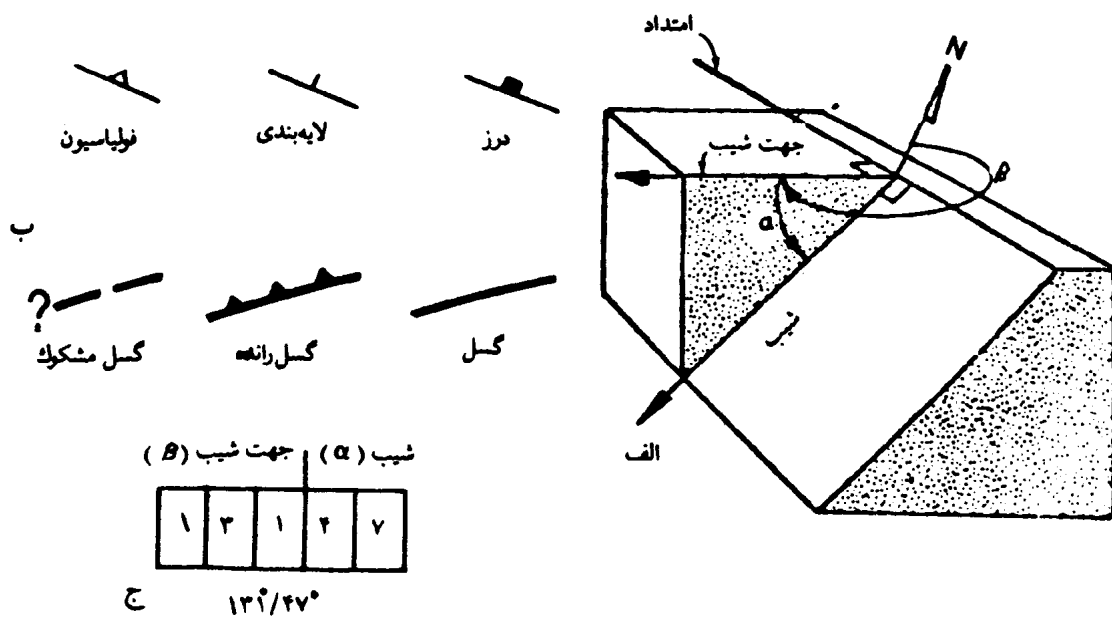
هم مساحت (مثلاً شبکه اشمیت) هر گسستگی به صورت یک دایره عظیمه یا یک نقطه (قطب گسستگی) نمایش داده می‌شود. در مواردی که با تعداد زیادی داده روبه‌رو هستیم، بهتر است به جای رسم دایره عظیمه صفحات، از قطب آنها (تصویر خط عمود بر صفحه) استفاده کنیم. در زمان بررسی و تحلیل این داده‌ها، در صورتی که به علت پراکندگی قطبها نتوان دقیقاً جهت‌یابی دسته درزه‌ها را تعیین کرد، رسم منحنیهای هم تراکم، محل بیشترین تمرکز قطب صفحات را به دست می‌دهد (شکل ۴).

پس از اینکه جهت‌یابی گسستگیها معلوم شد، می‌توان دسته‌های گسستگی را درجه‌بندی کرد. به این ترتیب که شماره ۱ برای منظمترین، متداولترین و فراوانترین دسته در نظر گرفته می‌شود و به ترتیب به دسته‌های کم‌اهمیت‌تر شماره‌های بعدی اختصاص داده می‌شود. دسته درزه‌ها را همچنین می‌توان بر مبنای نقشی که در پایداری سنگ دارند، شماره‌گذاری کرد.

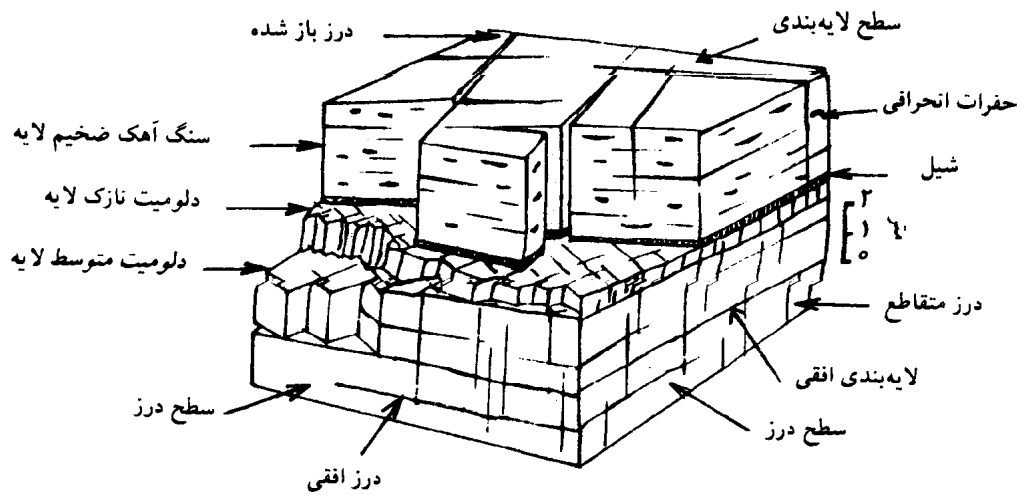
۲-۳ روش فتوگرامتری^۱

در روش فتوگرامتری با تهیه تصویرهای مضاعف دارای پوشش، از بخش موردنظر (دیواره سنگی) و بررسی استریوسکپی آنها، جهت‌یابی و دیگر مشخصات گسستگیهای موجود در دیواره سنگی تعیین و امکانپذیر می‌شود. به این منظور مختصات حداقل ۴ نقطه، در روی هر گسستگی قابل رویت قرائت و توسط آنها جهت‌یابی سطح مورد نظر تعیین می‌شود. با این روش می‌توان سطوح بزرگ را با دقت بسیار زیاد به نقشه درآورد. با کوچک شدن بخش قابل رویت گسستگی، دقت اندازه‌گیریها به سرعت کاهش می‌یابد.

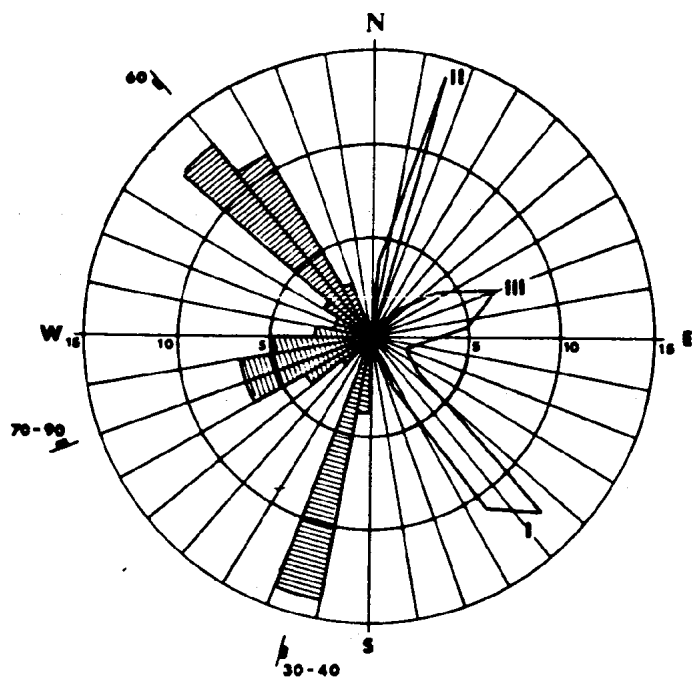
استفاده از روش فتوگرامتری زمانی اقتصادی است که جهت‌یابی تعداد زیادی از سطوح، موردنظر باشد. در مواردی که سطح مورد بررسی نزدیک ناجوریه‌های مغناطیسی قرار می‌گیرد یا اینکه ناپایدار و یا غیرقابل دسترس است، روش فتوگرامتری تنها روش اقتصادی است. در ادامه، فشرده‌ای درباره وسایل مورد نیاز و نحوه انجام دادن این بررسیها را مرور می‌کنیم.



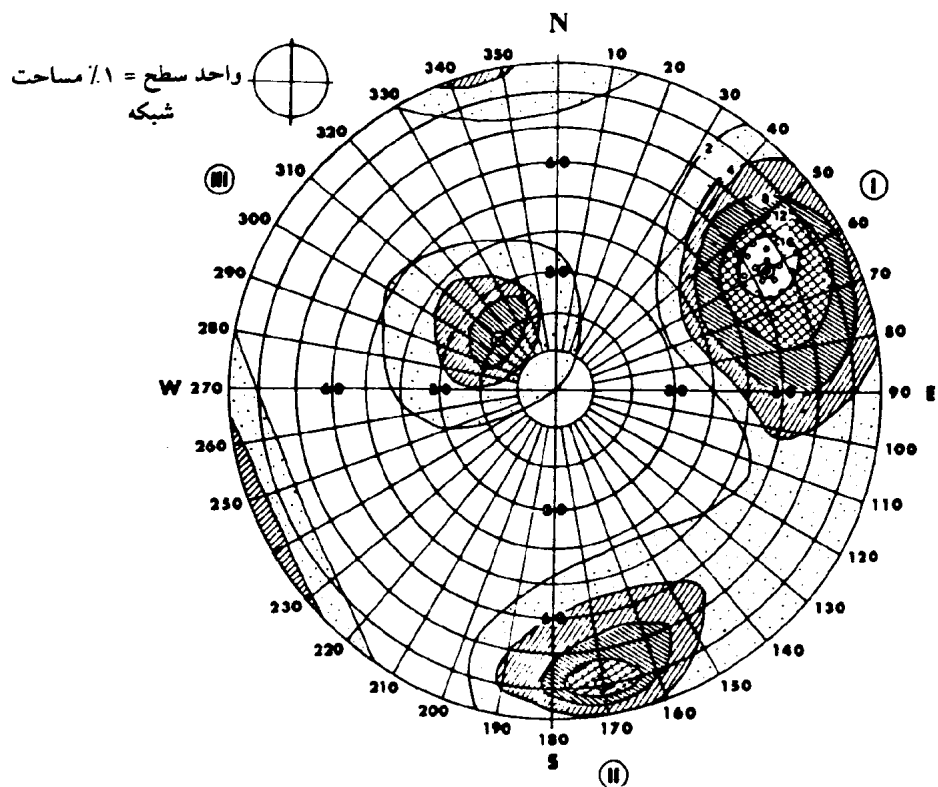
شکل ۱- نمایش جهت یابی سطوح ضعیف سنگ. الف) نمایش سه بعدی امتداد، شیب و جهت شیب، ب) نحوه ارائه جهت یابی (جهت شیب و شیب در حالت "الف") در متن گزارش، ج) نحوه نمایش یک گسستگی منفرد در نقشه (معماریان، ۱۳۷۴)



شکل ۲- نمایش گسستگیهای سنگ در نمودار سه بعدی (معماریان، ۱۳۷۴)



شکل ۳- دو روش نمایش داده‌های مربوط به جهت‌یابی در نمودار گل‌سرخ (Brown, E.T, 1986)



شکل ۴- نمایش پراکندگی سه دسته از گسستگیها بر روی شبکه استریوگرافیک اشمیت
دسته درزه‌های اصلی I و II تقریباً بر یکدیگر عمودند و دسته درزه کم اهمیت‌تر III کم و بیش حالت افقی دارد.

وسایل مورد نیاز :

وسایل لازم برای سه مرحله متفاوت این بررسیها : مرحله شناسایی، مرحله عکسبرداری و بالاخره مرحله نقشه برداری کنترلی، به شرح زیر است :

الف) وسایل نقشه برداری شناسایی^۱، شامل : گونیای نوری^۲، تراز یاب آبنی^۳ و نمودار شناسایی که بر روی تخته سه پایه نصب شده است.

ب) فتوتئودولیت و سه پایه: فتوتئودولیت عبارت است از : یک تتودولیت همراه با یک دوربین عکس برداری نقشه برداری. دوربین، علائم حاشیه عکس^۴ حاصله را نیز رسم می کند. این دوربین مجهز به یک عدسی با اعوجاج قابل اغماض است. شش نشانه (تارگت)^۵ کنترل برای نصب بر روی دیواره سنگی نیز مورد نیاز است. برای اینکه این نشانه ها به خوبی در حالت استریوسکپی دیده شوند، باید کوچکترین ابعادشان $\frac{1}{400}$ فاصله تا سطح سنگ مورد بررسی باشد. رنگ این نشانه ها باید به گونه ای انتخاب شود که در عکس سیاه و سفید حاصله تمایز کافی^۶ داشته باشند. فیلم عکاسی، وسایل ظهور عکس (در صورت امکان تجهیزات ظهور صحرائی برای کنترل و تجدید عکسهای دارای نورپردازی ضعیف و غیر قابل قبول) و نورسنج از دیگر وسایل مورد نیازند.

ج) وسایل نقشه برداری کنترلی^۷ : سه پایه، پایه دوربین^۸، نشانه های مستقر بر روی سه پایه^۹، شاغول^{۱۰} اپتیکی، شاخص (میر) افقی^{۱۱}.

د) وسایل ترسیم (پلات) استریوسکپی یا استریو کمپاراتور^{۱۲} به همراه ابزار ثبت اتوماتیک. این وسایل را باید یک فتوگرامتریست ورزیده به کار گیرد.

روش کار :

الف) نقشه برداری شناسایی : هدف نقشه برداری شناسایی تعیین نقاط مناسب برای استقرار دوربین عکاسی و همچنین نصب نشانه ها بر روی سطح سنگی مورد بررسی است (شکلهای ۵ و ۶). در این مرحله همچنین باید

-
- | | | |
|--------------------------|-------------------|----------------------|
| 1. Reconnaissance survey | 2. Optical square | 3. Abney level |
| 4. Fiducial marks | 5. Target | 6. Contrast |
| 7. Control survey | 8. Tribrachs | 9. Tripod targets |
| 10. Plumbing devices | 11. Subtence bar | 12. Stereocomparator |

مواردی چون ارتفاع سطح (دیواره‌ای) که قرار است عکسبرداری شود، دقت موردنیاز، زوایای افقی و قائم میدان دوربین و میزان کج‌شدگی دوربین از حالت افقی مشخص شود. در بسیاری حالات، محدودیتهایی از نظر استقرار دوربین وجود دارد (شکل ۷). به طور کلی شرایط مناسب آن است که محور دوربین تا حد امکان عمود بر سطح دیواره سنگی باشد.

ب) عکسبرداری: فوتودولیت در یکی از دو انتهای پایه (باز) ^۱ انتخابی قرار می‌گیرد؛ در انتهای دیگر پایه نیز نشانه (تارگت) قرار می‌گیرد؛ دستگاه تراز شده و دوربین به سمت دیواره سنگی قراولروی می‌شود؛ میزان نوردهی و زمان سنج تنظیم می‌شوند؛ فیلم در دوربین عکاسی قرار می‌گیرد؛ تلسکوپ به سمت ایستگاه دیگر قراول می‌رود و در حالی که محور دوربین عمود بر تئودولیت و پایه (باز) است عکسبرداری انجام می‌شود. سپس فوتودولیت و نشانه در دو ایستگاه دو انتهای پایه انتخابی جابه‌جا شده و فرآیند فوق تکرار می‌شود.

پیشنهاد می‌شود که فیلمهای عکاسی در تاریکخانه صحرایی ظاهر شوند تا اگر عکسها شرایط لازم را نداشتند، قبل از آنکه تخته سه پایه، دوربین عکاسی و نشانه جابه‌جا شوند، عکسهای جدید گرفته شود. علاوه بر آن پیشنهاد می‌شود که عکسبرداری به سرعت انجام شود تا از تفاوت‌های ناشی از تغییر سایه در زوج استریوسکپی حاصل جلوگیری شود.

ج) نقشه‌برداری کنترلی: پس از اینکه عملیات عکسبرداری تکمیل شد، برای تعیین مختصات حداقل ۴ نقطه نشانه در محدوده پوشش یک زوج عکس، نقشه‌برداری کنترلی انجام می‌شود. به این منظور می‌توان دوربین عکاسی را از روی تئودولیت برداشت و اندازه‌گیریهای زاویه مورد لزوم را از هر دو انتهای طول پایه انتخابی انجام داد. بنابراین معمولاً دو گروه زوایای افقی و قائم برای کنترل نشانه‌ها و حداقل سه ایستگاه دیگری که مختصات آنها معلوم است، قرائت می‌شود. از طریق این قرائتهای لیزری می‌توان موقعیت دوربین را توسط ترفیع ^۲ تعیین کرد. طول پایه انتخابی را با قراردادن یک شاخص (میر) افقی در یک ایستگاه پایه دوربین و مشاهده آن از ایستگاه دیگر اندازه می‌گیرند. فاصله با استفاده از میانگین زاویه شاخص افقی محاسبه می‌شود. این عمل را از دو انتهای طول پایه انجام می‌دهند.

برای عملیات مربوط به یک زوج عکس باید یک روزکاری را اختصاص داد. در صورتی که پوشش حاصل از یک زوج عکس تمام منطقه مورد نظر را نپوشاند، می‌توان طول پایه را متعاقباً افزایش داد و ایستگاههای جدیدی برای استقرار دوربین و عکسبرداری تعریف کرد.

د) اطلاعات نقشه برداری: اطلاعات نقشه برداری مورد نیاز و ابسته به برنامه‌ای است که برای تحلیل نتایج به کار گرفته می‌شود. به طور کلی، اگر قرائتهای تئودولیت از موقعیتهای دورین یکسان انجام شده باشد (همچنانکه در عکسبرداری عمل می‌شود)، اطلاعات نقشه برداری مورد نیاز عبارتند از: مختصات تئودولیت در سیستم زمینی، و قرائتهای افقی و قائم تئودولیت به سمت نشانه‌ها که به نحو مناسبی متوسط‌گیری شده‌باشد.

ه) دستورالعملهای نقشه برداری: باید توجه داشت که امروزه، اطلاعات گردآوری شده اغلب با کامپیوتر تحلیل می‌شود. به طور کلی در زمان گردآوری اطلاعات باید یادداشتهای دقیقی تهیه شود و علاوه بر آن عکس منطقه هم‌پوش دو عکس مجاور باید بزرگ شود و اطلاعات زیر نیز گردآوری شود:

در روی عکس بزرگ شده محدوده‌هایی که در آنها تعدادی جهت‌یابی برای تحلیلهای آماری مورد نیاز است، باید مشخص شود. علاوه بر آن باید گسستگیهای مهمتری که اطلاعات مربوط به محل، جهت‌یابی و تداوم آنها باید با دقت بیشتری تعیین شود، در روی عکس بزرگ شده مشخص شوند. به طور کلی، برای تعیین این اشکال، تا ۱۰ نقطه قرائت کافی است.

و) روش مشاهده: به طور معمول فیلمهای منفی برای بررسی مستقیماً مورد استفاده قرار می‌گیرند، ولی در صورت تمایل می‌توان تصاویر مثبت^۱ نیز تهیه کرد. برداشت کننده‌ای که قبلاً با این روش گسستگیها را مورد بررسی قرار نداده، در آغاز کار محتاج چند ساعت تمرین است.

برای هر سطح مورد نظر، حداقل مختصات ۴ نقطه مورد نیاز است. نتیجه قرائتها به صورت یکنواخت ثبت می‌شود. هر قرائت ثبت شده شامل: یک کد و به دنبال آن x, y و z نقطه مورد نظر است. این اطلاعات امروزه مستقیماً وارد کامپیوتر می‌شود. به طور معمول همه نقاط مربوط به یک گسستگی واحد دارای یک کد واحد هستند. برداشت کننده از یک قرائت به قرائت بعد، از یک گسستگی به گسستگی بعدی و بالاخره از یک محدوده مورد بررسی به محدوده بعدی کار را ادامه می‌دهد. حدود ۱۰٪ گسستگیهای مهمتر روی عکس بزرگ شده مشخص می‌شوند تا راهنمای فردی باشد که تعبیر و تفسیرهای بعدی را انجام خواهد داد. پیشنهاد می‌شود که برداشت کننده تعدادی کنترل مستقل از هم در مورد دقت مشاهدات، در مقیاس صحرائی، انجام دهد. به این ترتیب خطاهای احتمالی آشکار خواهد شد.

ز) محاسبات: اطلاعات اساسی مورد نیاز برای محاسبات عبارتند از: داده‌های نقشه برداری کنترلی (c) و اطلاعات ثبت شده در کامپیوتر حاصل از عکسبرداری (f). محاسبات کامپیوتری به طور خلاصه عبارتند از: تبدیل مختصات نشانه‌ها به سیستم زمینی و ایجاد ماتریس تبدیل^۲. در مرحله بعد با استفاده از روش کمترین مربعات^۳ بر روی هر گروه از نقاط، سطوحی برازش می‌شود. سطوح برازش شده را می‌توان با شیب و جهت شیب نشان داد. آخرین مرحله بررسیها، محاسبه خطاهای احتمالی است. با استفاده از تکنیکهای خاص، حداکثر خطای ایجاد شده در مقدار و جهت شیب هر نقطه مشخص می‌شود.

1. Diapositive

2. Transformation matrix

3. least square

سایر موارد :

الف) در بررسیهای فتوگرامتری باید منابع ایجاد کننده خطا که در زیر آمده است، مورد توجه قرار گیرند: فیلم عکاسی، دوربین عکاسی، ابزار ترسیم، روش ثبت داده‌ها، فرآیند نقشه‌برداری کنترلی، انحنای زمین، انکسار از اتمسفر و بالاخره برداشت کننده^۱. خطای برداشت کننده دستگاه، در مقایسه با انواع دیگر خطاها که برشمرده شده است، معمولاً اهمیت بیشتری دارد. این خطا عمدتاً ناشی از محدودیت در درک سه‌بعدی توسط برداشت کننده و خطا در تعبیر و تفسیر است. به عنوان مثال، در مواردی که تصویر گسستگی واضح نباشد، برداشت کننده مجبور است به دلخواه در مورد موقعیت نشانه شناور دستگاه تصمیم بگیرد. معمولاً کوشش می‌شود که با بزرگتر کردن نسبت «طول پایه» به «فاصله از دوربین تا سطح مورد بررسی» خطاها تا حد قابل قبولی پایین نگاه داشته شود.

ب) در گسستگی‌هایی که به شدت تجزیه یا هوازده شده‌اند، تشخیص گسستگیها و دیگر ساختهای زمین‌شناسی، حتی از فاصله نزدیک نیز مشکل است. در چنین شرایطی به کارگیری روش فتوگرامتری زیاد کارساز نیست. از طرفی، در مواردی که سطوح از موج و ناهمواری زیادی برخوردار هستند، برازش یک سطح مستوی بر روی آن، زیاد معتبر نیست. به طور کلی تنها زمانی که گسستگی مورد بررسی به صورت یک سطح کاملاً مستوی (با هر جهت‌یابی) است، یا در مواردی که گسستگی مورد نظر ناهموار، ولی به صورت عمود نسبت به دوربین قرار گرفته است، خطای برازش یک صفحه مستوی بر روی آن قابل چشم‌پوشی است. باید توجه داشت که در سطوحی که ناهمواری زیادی دارند، خطای قرائت به سمت حاشیه‌های گسستگی زیاد می‌شود.

در مواردی که فتوگرامتری تنها روش نقشه‌برداری است، برای ثبت کلیه گسستگیهای موجود در محدوده مورد بررسی، بهتر است از بیش از یک زوج عکس استریوسکوپیک برای ثبت گسستگیها استفاده شود.

ج) روش فتوگرامتری قادر است اطلاعاتی فراتر از جهت‌یابی گسستگیها به دست دهد. از آن جمله است نیمرخ‌برداری از سطح سنگ به منظور استفاده در تحلیلهای پایداری. در مواردی که فاصله دوربین تا دیواره سنگی مورد بررسی مناسب است، می‌توان نیمرخهایی از ناهمواری هریک از درزه‌ها رسم کرد (قسمت ۵-۲). چنین نیمرخهایی به منظور برآورد مقاومت برشی به کار می‌آیند. از فتوگرامتری همچنین می‌توان برای تعیین فاصله درزه‌ها و تداوم آنها نیز سود جست. زوجهای عکس استریوسکوپیک که در زمانهای مختلفی از عمر پروژه گرفته شده‌اند، نمایش تصویری خوبی از تغییرات وضعیت محل مورد بررسی را به دست می‌دهند.

نمایش داده‌ها

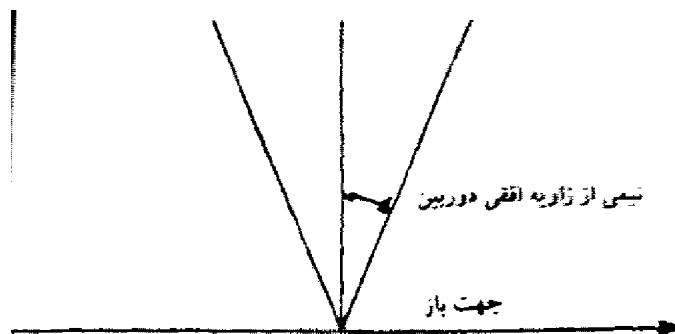
روشهای پیشنهادی برای ارائه داده‌های مربوط به جهت‌یابی در قسمت کمپاس و شیب‌سنج (قسمت ۵-۲/ب) ذکر شده است. حجم زیاد داده‌های مربوط به جهت‌یابی که توسط روشهای فتوگرامتری به دست می‌آیند، گاه محتاج تحلیل آماری هستند. اولین قدم در تحلیل آماری این داده‌ها رسم قطبهای آنها در شبکه هم مساحت است^۱.

۳-فاصله^۲

از عوامل مؤثر در بررسی توده سنگ، «فاصله» بین دو گسستگی (یا درزه) متوالی است که معمولاً به صورت میانگین فواصل عمودی بین درزه‌های موجود در یک دسته درزه در نظر گرفته می‌شود (شکل ۸). فاصله گسستگیها تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر نفوذپذیری توده سنگ دارد و علاوه بر آن، فاصله به همراه جهت‌یابی و تعداد دسته‌های درزه، شکل و اندازه قطعات حاصله را کنترل می‌کند.

۳-۱ برداشت داده‌ها

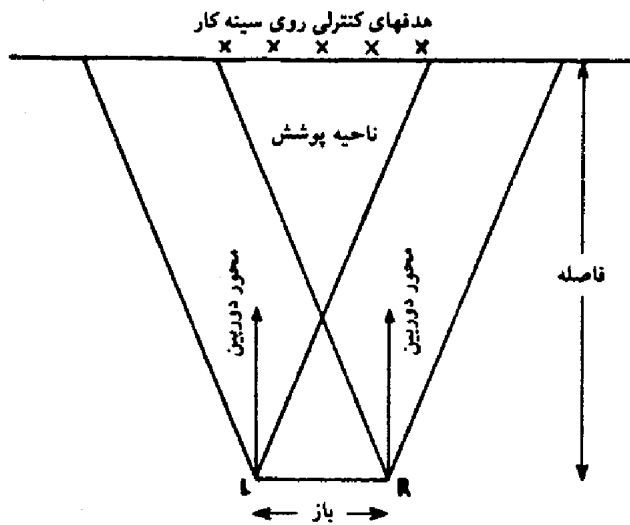
الف) وسایل اندازه‌گیری فاصله عبارتند از: متر نواری (به طول حداقل ۳ متر و تقسیمات میلیمتر)، کمپاس و شیب‌سنج. برای اندازه‌گیری، متر در جهتی عمود بر امتداد درزه‌ها قرار داده می‌شود و فاصله بین درزه‌ها، قرائت می‌شود.



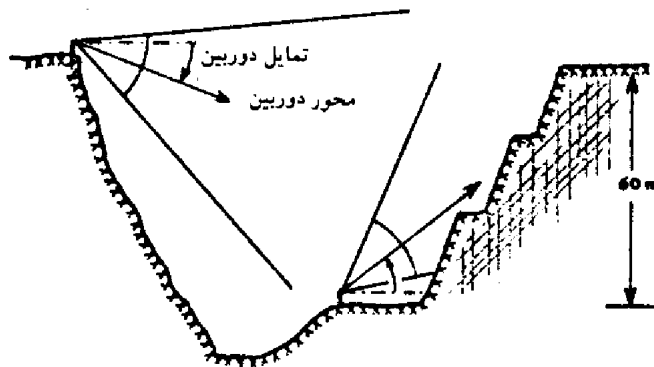
شکل ۵- نمودار شناسایی پیاده شده روی تخته سه پایه

۱- برای آگاهی از روشهای ترسیم سطوح و خطوط در شبکه هم مساحت می‌توانید به منابعی که در این مورد وجود دارد، از جمله معاریان (۱۳۷۲ و ۱۳۷۴) رجوع کنید.

2. Spacing



شکل ۶- نحوه قرارگیری دوربین برای تهیه زوج عکسهای استریوسکوپیک در صحرا



شکل ۷- دو گزینه متفاوت برای استقرار دوربین و خط باز در محلی که دسترسی به دیواره سنگی مشکل است.

طول خط برداشت باید حداقل 10° برابر فاصله دسته درزه موردنظر باشد. در مواردی که به دلیل وضعیت رخنمون امکان قراردادن متر به صورت عمودی نسبت به امتداد درزه‌ها وجود ندارد، باید میزان انحراف را به روش محاسباتی اصلاح کرد. در بیشتر موارد فاصله (S) با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S = d_m \sin \alpha \quad (1-3)$$

که در آن d_m فاصله قرائت شده در امتداد خطی است که با امتداد درزه زاویه α می‌سازد.

ب) در هر دسته درزه ممکن است محدوده‌های دارای فاصله مشابه، توسط چند درزه با فاصله زیاد از یکدیگر جدا شوند. در چنین مواردی می‌توان از نمودار سه‌بعدی و یا نمودار ستونی^۱ برای نشان دادن این گونه تغییرات در رفتار دسته درزه استفاده کرد.

ج) در مواردی که رخنمون سنگ محدود است، یا به دلیل پوشیدگی سطحی هیچ رخنمونی وجود ندارد، برای ۳۰-۲۰ متر فوقانی زمین می‌توان از روش ژئوفیزیک لرزه‌ای استفاده کرد. برخی از مؤلفان روابطی را در مورد رابطه بین فراوانی شکستگیها و سرعت امواج طولی (V_p) یا عرضی (V_s) ارائه داده‌اند.

د) فاصله بین درزه‌ها یا فراوانی آنها را همچنین می‌توان به وسیله بررسی مغزه‌های حاصل از گمانه‌ها یا مشاهدات گمانه‌ای نیز انجام داد. به این منظور از دوربین تلویزیونی، دوربین عکاسی و پریسکوپ^۲ مخصوص گمانه استفاده می‌شود.

۲-۳ نمایش داده‌ها

الف) در مورد هر دسته از گسستگیها باید مقادیر حداکثر، مد^۳ و حداقل فاصله قرائت شده را ثبت کرد. به کمک نمودار ستونی (شکل ۹) می‌توان توزیع فاصله درزه‌ها را تشخیص داد. به منظور طبقه‌بندی درزه‌ها از دیدگاه فاصله می‌توان از مقادیر ارائه شده در جدول ۱، که در هیستوگرام شکل ۹ نیز آمده است، استفاده کرد.

ب) در مواردی که با تعداد زیادی فاصله اندازه‌گیری شده روبه‌رو هستیم، بهتر است برای هر دسته از گسستگیها یک هیستوگرام رسم کنیم. در مواردی که مد دسته درزه به خوبی مشخص نیست یا با مد چندگانه روبه‌رو هستیم، یا در مواردی که فاصله درزه‌ها کم است، می‌توان به جای مد از میانگین^۴ استفاده کرد.

ج) فاصله را همچنین می‌توان به صورت «فراوانی»^۵ که همان تعداد گسستگیها در واحد طول (مثلاً متر) است، نشان داد.

1. Histogram

2. Persicope

۳. مد (mode) مقداری از مجموعه قرائتها است که بیشترین فراوانی را دارد.

4. Average

5. Frequency

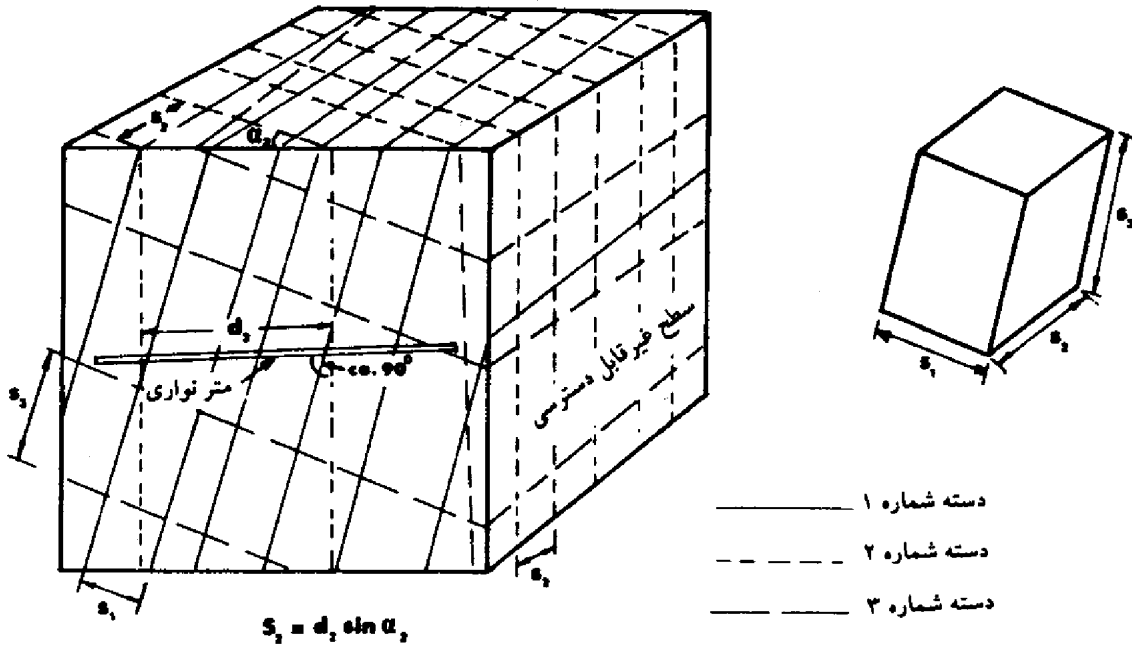
جدول ۱- دسته‌بندی گسستگیها از نظر فاصله

ردیف	فاصله گسستگی‌ها	مقدار (متر)
۱	بسیار دور	> ۲
۲	دور	$۰/۶ - ۲$
۳	متوسط	$۰/۲ - ۰/۰۶$
۴	نزدیک	$۰/۰۶ - ۰/۲$
۵	بسیار نزدیک	$< ۰/۰۶$

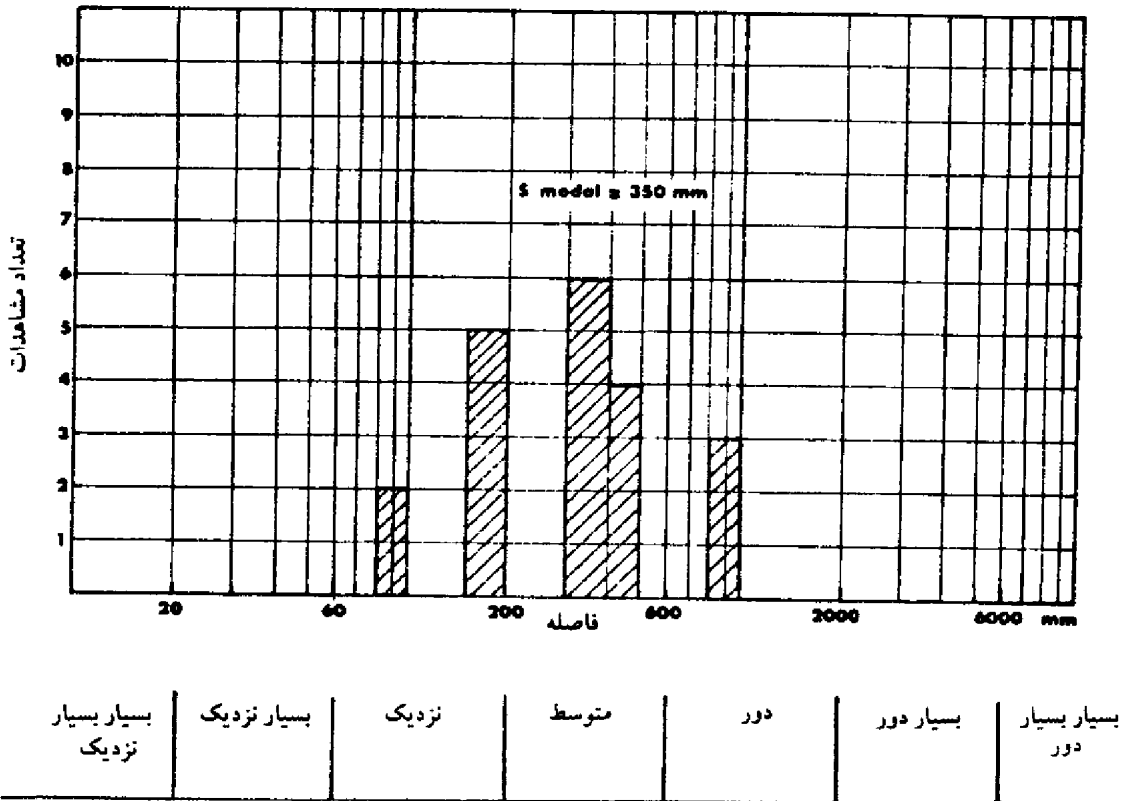
۴-تداوم

«تداوم»^۱، یا به زبان دیگر، گسترش فضایی یک گسستگی از مشخصات مهم دیگری است که متأسفانه به سادگی نمی‌توان آن را به طور کمی بیان کرد. در یک توده سنگی، اغلب یک دسته از گسستگیها نسبت به بقیه تداوم بیشتری دارند. در چنین مواردی دسته فرعی‌تر، در برخورد به دسته با تداوم بیشتر، قطع می‌شوند. در تحلیل شبیه‌های سنگی یا پی‌سدها، تعیین میزان تداوم گسستگیهایی که جهت‌یابی آنها برای ایستایی نامناسب است، اهمیت بسزایی دارد. در تونلها، گسیختگی ممکن است در آغاز یک پدیده موضعی باشد، ولی تداوم گسستگیها، شرایط را برای ریزش، مهیا سازد. در تونلها، گسستگیهای بدون خمیدگی و جابه‌جایی، که بین ۱۰-۵ متر تداوم دارند، بیشترین تأثیر را بر پایداری و ایستایی تونل می‌گذارند، در صورتی‌که همین گسستگیها در یک دامنه سنگی با ارتفاع حدود ۱۰۰ متر یا پی‌سدها اهمیت کمتری دارند. در اغلب موارد، سطح رخنمون کوچکتر از تداوم گسستگیها است. در چنین مواردی مقدار واقعی تداوم را تنها می‌توان تخمین زد، ولی در بررسیهای دقیقتر می‌توان از تئوری احتمالات کمک گرفت.

1. Continuity



شکل ۸- اندازه‌گیری فاصله بین درزه‌ها در رخنمون توده سنگ (Brown, 1986)



شکل ۹- نمودار ستونی نمایش دهنده مقادیر مد، بیشینه و کمینه فاصله‌های مشاهده شده در یک دسته درزه. در قسمت پایین دسته‌بندی پیشنهادی فاصله درزه‌ها آمده است (Brown, 1986).

۱-۴ برداشت داده‌ها

الف) برای اندازه‌گیری تداوم به متر نواری (۱۰ متری) نیاز داریم. به این منظور در صورت امکان باید، ابتدا توده سنگ را برحسب تداوم دسته‌های گسستگی متفاوت به محدوده‌های مختلفی تقسیم کنیم. در این مورد می‌توان از مفاهیمی چون: مداوم، نیمه مداوم و غیرمداوم استفاده کرد. در مرحله بعد باید کوشش شود تا طول گسستگیها در راستای شیب و امتداد آنها اندازه‌گیری شود. چنین اندازه‌گیری‌هایی در رخنمونهای سنگی کوچک مشکل است، ولی در رخنمونهای بزرگی که در بیش از یک جهت فضایی گسترش دارند، مانند: رخنمون سنگها در معادن روباز یا در تونلهای زیرزمینی متقاطع، امکان رسم هیستوگرام اندازه - فراوانی وجود خواهد داشت. پس از اندازه‌گیریهای مربوط به طول رخنمون گسستگیها، مد هر دسته مشخص شده و به صورت جدول ۲ نامگذاری می‌شوند:

جدول ۲- مقادیر کمی برای دسته‌بندی تداوم گسستگیها

ردیف	دسته‌بندی گسستگی‌ها	تداوم (متر)
۱	بسیار کم	< ۱
۲	کم	۱-۳
۳	متوسط	۳-۱۰
۴	زیاد	۱۰-۲۰
۵	بسیار زیاد	> ۲۰

ب) دسته درزه‌های توده سنگ را می‌توان بر مبنای تداوم آنها به انواع: منظم، نیمه‌منظم و نامنظم تقسیم کرد. به‌طور معمول درزه‌های فرعی‌تر در رسیدن به انواع اصلی‌تر قطع می‌شوند (شکل ۱۰). پیشنهاد می‌شود که در بررسیهای دقیقتر نحوه تمام شدن گسستگیها نیز ذکر شود. به این منظور می‌توان گسستگیهایی را که تا خارج از رخنمون ادامه دارند با X، آنهایی که در برخورد با گسستگیهای دیگر قطع می‌شوند با d و آنهایی که در محدوده رخنمون تمام می‌شوند با T مشخص کرد. یک دسته درزه منظم که تعداد آن زیاد باشد، نسبت به یک دسته درزه نیمه‌منظم که تعداد آن بیشتر است تداوم بیشتری دارد. گسستگیهای نامنظم بیشترین تعداد T را به خود اختصاص می‌دهند.

اطلاعات مربوط به نحوه تمام شدن گسستگی باید برای هر دوسوی آن یادداشت شود. به عنوان مثال، گسستگی dx ۵ معرف یک گسستگی به طول ۵ متر است که از یک سو در مقابل یک گسستگی دیگر قطع شده و از سوی دیگر تا خارج از رخنمون ادامه دارد. ثبت نحوه تمام شدن گسستگیها حتماً باید با ابعاد رخنمون تحت بررسی همراه باشد. بررسیها نشان داده است که گسستگیهایی که در مقابل گسستگیهای دیگر قطع می‌شوند، اغلب به شکل مستطیل هستند. در صورتی که گسستگیهایی که در متن سنگ تمام می‌شوند، معمولاً دایره‌ای یا بیضی شکل هستند.

۲-۴ نمایش داده‌ها

الف) دسته‌های مختلف گسستگی را باید بر حسب تداوم نسبی آنها به انواع: منظم، نیمه‌منظم و غیرمنظم تقسیم و بر همین مبنا گسستگیهای موجود در عکسها یا رسم شده در نمودارهای سه‌بعدی را نیز نامگذاری کرد. در مواردی که ابعاد رخنمون مناسب باشد، نمودارهای ستونی را می‌توان برای طولهای رخنمون یافته هر دسته از گسستگیها رسم کرد. رسم این نمودارها، مخصوصاً در مواردی که قرار است از تئوری احتمالات استفاده شود الزامی است. میانگین طول رخنمون درزه‌ها در جهات امتداد و شیب آنها نیز باید قید شود.

ب) داده‌های گردآوری شده مربوط به نحوه تمام شدن (قطع‌شدگی) گسستگیها (مثل dx پیش گفته) را باید به صورت «شاخص تمام شدن^۱» (T_r) توده سنگ، یا محدوده خاصی از آن، نشان داد. T_r عبارت از درصد گسستگیهایی است که در متن سنگ تمام می‌شوند (Σr) به کل انواع تمام‌شدگی اندازه‌گیری شده ($\Sigma r + \Sigma d + \Sigma x$):

$$T_r = \frac{(\Sigma r) \times 100}{2 \times (\Sigma r + \Sigma d + \Sigma x)} \% \quad (1-4)$$

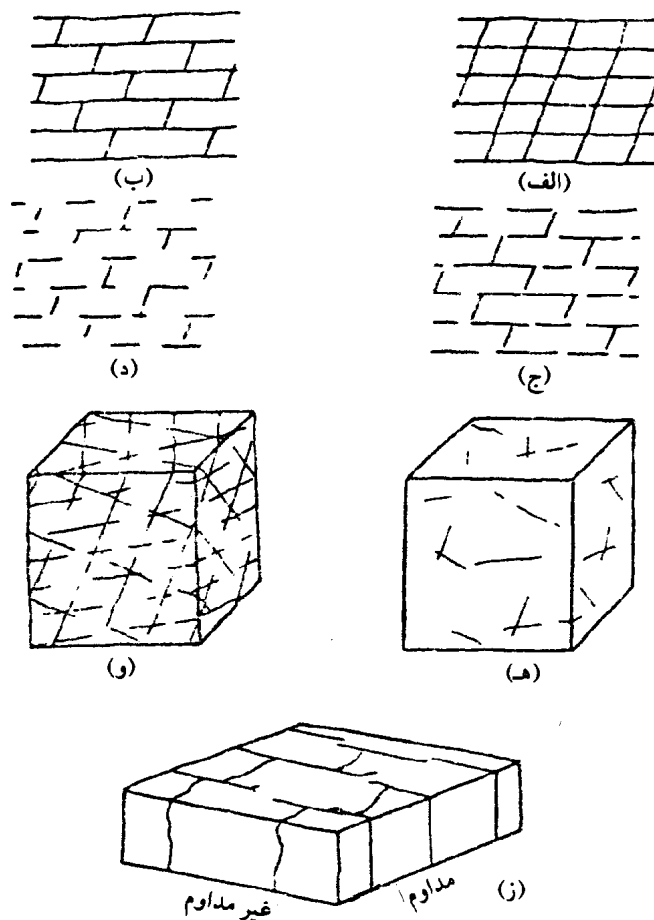
که در آن:

Σx = مجموعه گسستگیهایی که تا خارج از رخنمون ادامه دارند.

Σd = مجموعه گسستگیهایی که در برخورد با گسستگیهای دیگر قطع می‌شوند.

ضریب ۲ در مخرج کسر به این دلیل است که هر گسستگی دو انتها دارد.

ج) تداوم گسستگی برای سطوحی با پتانسیل گسیختگی بیشتر باید برآورد شده و معلوم شود که شرایط موردنیاز پروژه را اقتناع می‌کند یا نه. پیشنهاد می‌شود که مقدار برآورد شده به صورت اضافی تا اولین مضرب ۱۰ درصد گرد شود (مثلاً ۷۴٪ به ۸۰٪). دلیل این امر وجود خطای زیاد در تعیین تداوم گسستگیها است.



شکل ۱۰- نمایش تداوم نسبی دسته‌های مختلف درزه در سنگ (Brown 1981)

الف) دو دسته درزه منظم مداوم، ب) یک دسته درزه منظم مداوم و یک دسته درزه متقاطع با تداوم کمتر، ج) دو دسته درزه منظم نیمه مداوم، د) دو دسته درزه منظم غیرمداوم، ه، و، ز) نمایش تداوم درزه‌ها در نمودارهای سه بعدی

۵- ناهمواری

«ناهمواری»^۱ یا زبری معرف درجه ناصافی یا تموج ذاتی سطح گسستگی است. در جاهایی که دو دیواره گسستگی در تماس مستقیم با هم هستند، ناهمواری نقش مهمی در مقاومت برشی توده سنگ ایفا می‌کند. با افزایش عرض بازشدگی و ضخامت مواد پرکننده درزه، یا وجود هر نوع جابه‌جایی قبلی، از اهمیت ناهمواری به سرعت کاسته می‌شود. ناهمواریها یا تموجهای بزرگ مقیاس که درهم قفل شده هستند در زمان برش، چون بزرگتر از آنند که بریده شوند، افزایش حجم توده سنگ (اتساع)^۲ را به همراه خواهند داشت. در مقابل، ناهمواریها و ناصافیهای کوچک مقیاس در زمان جابه‌جایی برشی اغلب آسیب دیده و خرد می‌شوند.

1. Roughness

2. Dilatancy

در جاهایی که بتوان جهت بالقوه لغزش احتمالی را حدس زد، بهتر است مقدار ناهمواری در همین راستا اندازه‌گیری شود. لازم به یادآوری است که در بسیاری حالات جهت لغزش به موازات بردار شیب گسستگی است. در نقاطی که لغزش توسط دو گسستگی متقاطع کنترل می‌شود، جهت بالقوه لغزش به موازات خط حاصل از تقاطع دو صفحه است. در ارتباط با پایداری تکیه‌گاههای سدهای قوسی، جهت بالقوه لغزش ممکن است مؤلفه افقی قابل توجهی داشته باشد.

۵-۱ روش کار

ناهمواری را به صورتهای مختلفی می‌توان ارزیابی کرد. در اینجا، سه روش رایجتر نیمرخ‌برداری خطی از سطح گسستگی و استفاده از کمپاس و صفحه‌های دایره‌ای و فتوگرامتری مورد بحث قرار می‌گیرد.

الف) روش نیمرخ‌برداری خطی: وسایل مورد نیاز این روش عبارتند از: متر چوبی یا فلزی تاشو (۲ متری با درجات میل‌متری)، خط‌کش، کمپاس و شیب‌سنج و بالاخره یک طناب نایلونی یا سیم فلزی ۱۰ متری که ابتدای هر متر آن، با رنگ قرمز و ابتدای هر دسیمتر، با رنگ آبی علامت‌گذاری و مدرج می‌شود. دوسر طناب باید به دو قطعه چوب یا دستگیره وصل شود تا امکان کشیدن آن وجود داشته باشد.

برای اندازه‌گیری، گسستگی‌هایی انتخاب می‌شوند که مشابه نمونه‌هایی که درگیر گسیختگی برشی احتمالی خواهند بود، هستند. برحسب ابعاد سطح مورد بررسی، از متر دومتری یا طناب نایلونی ۱۰ متری استفاده می‌شود. به این منظور متر، روی سطح گسستگی و به موازات جهت گسیختگی احتمالی قرار داده می‌شود. برای سهولت کار بهتر است متر روی بلندترین نقطه یا نقاط سطح مورد بررسی قرار گیرد و تا حد امکان کشیده و صاف باشد. با قطعه‌ای از گل مجسمه‌سازی می‌توان متر را در محل نقاط مرتفع تثبیت کرد و در مواردی که سطح مورد بررسی پرشیب است، از لغزش آن جلوگیری کرد. پس از آن فاصله قائم y بین متر (یا طناب کشیده شده) و سطح گسستگی با تقریب میلیمتر اندازه‌گیری می‌شود. این عمل در طول متر در فواصل دیگر نیز تکرار می‌شود. در مورد مساوی گرفتن فواصل اندازه‌گیری (X) هیچگونه حساسیتی نباید داشت، چون در این صورت ممکن است یک بال‌آمدگی یا فرورفتگی که در بین دو اندازه‌گیری قرار گرفته است، از قلم بیافتد. به طور میانگین اگر x حدود ۲٪ طول مورد اندازه‌گیری باشد، معیار خوبی از ناهمواری به دست خواهد داد.

در هر اندازه‌گیری زوج مقادیر x و y ثبت می‌شود. علاوه بر آن شیب و جهت شیب خط اندازه‌گیری (راستای متر) نیز، که الزاماً مشابه شیب و جهت شیب صفحه مورد نظر نخواهد بود، ثبت می‌شود. به این ترتیب نیمرخهایی که نمایانگر حداقل، حداکثر و فراوانترین ناهمواری است، رسم می‌شوند. این نیمرخها را، بسته به دقت مورد نظر، می‌توان برای

یک دسته از گسستگیها، یک گسستگی بحرانی و یا تک تک سطوح اندازه‌گیری شده انجام داد. در روشی دیگر، برای تهیه نیمرخ از سطح گسستگی می‌توان از شانه‌ای که دندانه‌های آن متحرک است، استفاده کرد (شکل ۱۲).

میزان زاویه ناهمواری (i) را که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، باید به وسیله متر چوبی و شیب‌سنج اندازه‌گیری کرد و این در صورتی است که نیمرخ آن اندازه کوتاه باشد که ناهمواری به طور اتوماتیک در طی نیمرخ برداری معلوم نشده باشد. در مواردی که سطح گسستگی تموج بزرگی داشته باشد که کاملاً در نیمرخ گرفته نشده است، باید طول و دامنه موج را برآورد کرد و یا در صورت دسترسی آن را به طور مستقیم اندازه‌گیری کرد. پیشنهاد می‌شود عکسهایی که نمایشگر حداقل، حداکثر و فراوانترین ناهمواری است، در حالی که متر یک متری به عنوان مقیاس در آن قرار داده شده، گرفته شود.

امروزه ابزارهای اندازه‌گیری اتوماتیک میزان ناهمواری در نیمرخ برداری خطی ابداع شده است. این وسایل از دقت زیادی برخوردارند که در اغلب بررسیهای مکانیک سنگ مورد نیاز نیست.

ب) کمپاس و شیب‌سنج صفحه‌ای^۱: وسایل مورد نیاز در این روش عبارتند از: کمپاس زمین‌شناسی (ترجیحاً کمپاس کلر^۲) و چهار صفحه دایره‌ای به قطرهای پیشنهادی ۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ سانتیمتر. در ابتدا گسستگیهای قابل دسترسی را که در صورت وقوع گسیختگی برشی درگیر خواهند بود، انتخاب می‌کنیم. سپس با قراردادن بزرگترین صفحه (با قطر ۴۰ سانتیمتر) بر روی سطح گسستگی، در حداقل ۲۵ نقطه، جهت‌یابی (شیب و جهت شیب) اندازه‌گیری می‌شود. بعد همین عمل در مورد صفحه‌ای که قطر کمتر دارد تکرار می‌شود. باید توجه داشت که هر چه قطر صفحه کمتر می‌شود، باید قرائتهای بیشتری انجام داد (مثلاً ۵۰ قرائت با صفحه ۲۰ سانتیمتری، ۷۵ قرائت با صفحه ۱۰ سانتیمتری و ۱۰۰ قرائت با صفحه ۵ سانتیمتری). در مرحله بعد هر گروه از قرائتها را به روی شبکه هم‌مساحت اشمیت پیاده و منحنیهای تراز هم تراکم مربوط به آنها را رسم می‌کنیم و بالاخره عکسهایی نمایش‌دهنده حداقل، حداکثر و فراوانترین حالت ناهمواری را در حالتی که یک متریک متری به عنوان مقیاس در آن استفاده شده است، از سطوح گسستگیها تهیه می‌شود.

مطالعه داده‌های منتقل شده بر روی شبکه اشمیت نشان می‌دهد که کوچکترین صفحه بیشترین پراکندگی قرائتها و بالاترین مقدار زاویه ناهمواری (i) را به دست می‌دهد، در صورتی که بزرگترین صفحه کمترین پراکندگی داده‌ها و کوچکترین مقدار زوایای ناهمواری را دربردارد (شکل ۱۲). حداکثر زوایای ناهمواری برای یک صفحه دایره‌ای مشخص را می‌توان برای هر جهت بالقوه لغزش رسم کرد (شکل ۱۳-ج).

قرائتهای زیاد شیب و جهت شیب (مثلاً حدود ۲۰۰ قرائت) به حدود یک ساعت کار برای هر صفحه گسستگی مورد

1. Compass and disc-clinometer 2. Clar (Breithaupt)

بررسی نیاز دارد، که فقط در شرایط خاص توجیه پذیر است. اگر در نظر باشد تعداد زیادی از صفحه‌های گسستگی را اندازه‌گیری کنیم، پیشنهاد می‌شود روش فتوگرامتری به کار گرفته شود. از طرفی، اگر جهت بالقوه لغزش احتمالی مشخص باشد، به منظور کاهش داده‌های گردآوری شده، روش نیمرخ برداری خطی پیشنهاد می‌شود.

میزان جابه‌جایی عمود بر صفحه گسستگی با ضرب تانژانت زاویه ناهمواری حداکثر در طول پایه (قطر صفحه دایره‌ای شکل) به دست می‌آید. با تکرار این عمل برای صفحه‌های با قطرهای مختلف می‌توان منحنی اتساع را رسم کرد. به کارگیری این روش تصویر واضحی از فرآیند برش، در شرایطی که ناهمواریهای سطح گسستگی کمترین تخریب و صدمه را متحمل می‌شوند، به دست می‌دهد. از این رو این روش برای بررسی برش درزه‌های موجود در سنگهای سخت که تحت تنش عمودی کم قرار دارند، مناسبتر است. باید توجه داشت، که ناهمواریهایی که اندازه آنها کوچکتر از قطر صفحه دایره‌ای شکل است، بر فرآیند اتساع، تأثیری نمی‌گذارند.

ج) فتوگرامتری: روش فتوگرامتری نمونه‌گیری از ناهمواری سطح گسستگیها نیاز به وسایلی دارد که شرح آنها در قسمت ۲-۳ آمده است. در این روش نقاط متعددی روی سطح گسستگی قرائت می‌شود. روش بررسیها و نحوه اندازه‌گیریهای فتوگرامتری نیز در قسمت ۲-۳ آمده است. مختصات نقاط قرائت شده در سطح گسستگی را می‌توان به وسیله یک دستگاه پلات استریوسکپی^۱ یا ابزارهای مشابه نظیر استریوکمپراتور ثبت کرد.

برای برآورد مقاومت برشی و خصوصیات اتساع گسستگیها، مخصوصاً درزه‌های پر نشده، روشهایی مبنی بر تحلیل آماری مختصات قرائت شده از سطح گسستگیها، ابداع شده است.

۲-۵ نمایش داده‌ها

الف) نیمرخ برداری خطی: قرائتهای x و y باید با مقیاس واحدی رسم شوند و علاوه بر آن باید با شیب واقعی، به گونه‌ای که در گوشه شکل ۱۲ آمده است، بر روی صفحه کاغذ کشیده شوند. در روی همین صفحه باید نیمرخهای معرف حداقل، حداکثر و فراوانترین حالت ناهمواری رسم شود تا امکان مقایسه آنها آسانتر شود. این سه نیمرخ ممکن است نمایشگر یک دسته از گسستگیها، یک گسستگی بحرانی منفرد و یا هریک از سطوحی باشد که مورد نمونه‌گیری قرار گرفته‌اند. انتخاب یکی از این حالات وابسته به دقت مورد نیاز است.

در همه تصویرها باید مقیاس نیز درج شود. مشخصات نیمرخ باید به درستی نوشته شود و شیب و جهت شیب آن، در صورتی که به جز شیب و جهت شیب سطح گسستگی مورد بررسی است، باید ذکر شود. به

1. Stereoscopic plotting instrument

همراه نیمرخها باید عکسهای نمایشگر حالات حداقل، حداکثر و فراوانترین وضعیت ناهمواری، وجود داشته باشد.

ب) کمپاس و شیب‌سنج صفحه‌ای: اندازه‌گیریهای صحرائی شیب و جهت شیب، که برای هر صفحه با قطر مشخص انجام شده، باید به صورت قطب صفحه‌ها در شبکه هم‌مساحت رسم شود. این اطلاعات را می‌توان در مرحله بعد با یکدیگر تلفیق کرد و به صورت یک شکل واحد حاوی نیمرخهای تراز معرف سطوح با قطرهای مختلف (شکل ۱۳-ج) درآورد.

اندازه‌گیریهای مربوط به چندین گسستگی وابسته به یک دسته را می‌توان در صورت تمایل در یک شبکه هم‌مساحت نشان داد. به این ترتیب دامنه ناهمواری و تغییرات ایجاد شده در جهت‌یابی گسستگی به دلیل تموجهای سطح، مشخص می‌شود. به همراه نمودارهای حاوی قطبها، باید عکسهای نمایشگر حداقل، حداکثر و فراوانترین حالت ناهمواری قرار داده شود.

ج) روش فتوگرامتری: تجربه نشان داده است که در گزارش، نیمرخها به مراتب بیشتر از نمودارهای حاوی منحنیهای میزان مورد توجه واقع می‌شوند. نیمرخها ترجیحاً باید با مقیاس افقی به قائم یک‌به‌یک رسم شوند، در مواردی که جهت لغزش بالقوه احتمالی مشخص نیست، باید نیمرخهای نمایشگر وضعیت ناهمواری در راستای شیب گسستگی باشند. به همراه نیمرخها باید عکسهای نمایشگر حالات حداقل، حداکثر و فراوانترین شرایط ناهمواری سطح گسستگی آورده شود.

د) عبارات توصیفی: در مراحل مقدماتی نقشه‌برداری صحرائی، مثلاً در مرحله «امکان‌پذیری»، محدودیت زمانی، ثبت ناهمواریها، به گونه‌ای که در صفحه‌های پیش ذکر شد، وجود ندارد. در چنین شرایطی برای بیان ناهمواری از عبارات توصیفی استفاده می‌شود. این عبارات توصیفی با توجه به دو مقیاس مشاهده شامل: مقیاس کوچک (در حد چند سانتیمتر)، و مقیاس متوسط (در حد چند متر) تنظیم شده‌اند. در جدول ۳ عبارات ۹ گانه توصیفی، که به این منظور پیشنهاد شده است، دیده می‌شود. لازم به یادآوری است که واژه «خش لغزش» باید زمانی به کار گرفته شود که نشانه مشخصی از جابه‌جایی برشی قبلی در سطح گسستگی مشاهده شود.

جدول ۳- گروه‌های ناهمواری سطح گسستگی‌ها

خش لغزش ^۳	نرم ^۲	زبر ^۱	ناهمواری‌های کوچک
			ناهمواری‌های متوسط مقیاس
III پله‌ای با خش لغزش	II پله‌ای نرم	I پله‌ای زبر	پله‌ای ^۴
VI مواج با خش لغزش	V مواج نرم	IV مواج زبر	مواج ^۵
IX مسطح با خش لغزش	VIII سطح نرم	VII مسطح زبر	مسطح ^۶

ناهمواریها در مقیاس متوسط به سه دسته پله‌ای، موج و مسطح تقسیم می‌شوند. ناهمواریهای کوچک مقیاس که بر روی انواع یاد شده قرار می‌گیرند به نوبه خود به گروههای سه‌گانه زبر (یا نامنظم)، نرم و حاوی خش لغزش تقسیم می‌شوند. در مورد اخیر باید جهت خش لغزشها را نیز قید کرد، زیرا مقاومت برشی ممکن است در جهات مختلف تغییر کند. نیمرخهای نمونه ناهمواریهای ۹ گانه یاد شده در شکل ۱۴ آورده شده است. باتوجه به زاویه ناهمواری مؤثر، مقاومت برشی ۹ حالت نشان داده شده در نیمرخهای شکل ۱۴ را به نحو زیر می‌توان به نظم درآورد (با فرض اینکه پوشش کانیها در گسستگیها وجود نداشته یا در مورد همه نیمرخها به یک اندازه است).

$$I > II > III \text{ و } IV > V > VI \text{ و } VII > VIII > IX$$

به همین ترتیب واضح است که :

$$I > IV > VII \text{ و } II > V > VIII \text{ و } III > IX \text{ و } VI > IX$$

باید توجه داشت که همه نامساویهای بالا از اعتبار مساوی برخوردار نیستند و در مورد بعضی از آنها نیز نظر قطعی وجود ندارد؛ به عنوان مثال VII، بسته به اینکه امکان اتساع نمونه وجود داشته باشد، ممکن است قویتر از III باشد. در اطراف یک فضای زیرزمینی به دلیل فشار سنگهای اطراف، امکان اتساع سطح ناهموار گسیخته شده وجود ندارد، در صورتی که در دامنه‌های گسیخته شده، ممکن است اتساع به وقوع بپیوندد.

1. Rough (or irregular)

2. smooth

3. Slickensided

4. Stepped

5. Undulating

6. Planar

این امکان وجود دارد که یک تموج بزرگ مقیاس بر روی دو دسته ناهمواریهای متوسط و کوچک مقیاس وجود داشته باشد. در چنین حالتی باید وضعیت ناهمواری بزرگ مقیاس همراه با توصیف ناهمواریهای مقیاسهای مختلف بیان شود. به طور مثال می توان به «ناهمواری مواج نرم (طبقه V) با تموج بزرگ مقیاس دارای طول موج حدود ۱۰۰ متر و دامنه ۵۰ متر» اشاره کرد.

واضح است که عبارات توصیفی مربوط به تداوم سطح گسستگی، مثل: منظم، نیمه منظم و غیر منظم، در تعیین اهمیت نسبی توصیفهای پیش گفته درباره ناهمواری اهمیت زیادی دارند.

ه) برآورد مقاومت برشی: مهمترین هدف توصیف ناهمواری دیواره گسستگیها سهولت بخشیدن به امر برآورد مقاومت برشی^۱ گسستگی است. این برآورد در مورد درزه‌هایی که فاقد پرشدگی هستند، اغلب می تواند کاملاً دقیق باشد. به طور کلی مقاومت برشی شامل زاویه اصطکاک حداکثر (اوج^۲) یا حداقل (باقیمانده^۳) یا بسته به میزان جابه‌جایی برشی قبلی یک زاویه حد واسط بین این دو است. علاوه بر اینها باید نقش تموج بزرگ مقیاس را، اگر وجود داشته باشد، دخالت داد. از این رو:

$$\tau = \sigma'_n \tan(\phi + i) \quad (1-5)$$

که در آن:

$$\tau = \text{مقاومت برشی (اوج یا باقیمانده)}$$

$$\phi = \text{زاویه اصطکاک (اوج یا باقیمانده)}$$

$$\sigma'_n = \text{تنش عمودی مؤثر}$$

$$i = \text{تموج (در صورت وجود)}$$

در حالتی که درزه پرشدگی ندارد، مقاومت برشی اوج (τ_p) به مقدار σ'_n و درجه ناهمواری وابسته است. دامنه زاویه اصطکاک اوج (ϕ_p) بین ۳۰ تا ۷۰ و میانگین آن معمولاً ۴۵° است. در حالتی که درزه پله‌های قائم یا پرشیب دارد یا تداوم آن کمتر از ۱۰۰٪ است، باید چسبندگی (c) موجود را نیز بر مقدار τ افزود (به عنوان مثال حالتی مشابه نیمرخهای شماره I، II، III شکل ۱۴).

در حالتی که هوازدگی وجود ندارد، زاویه اصطکاک باقیمانده (ϕ_r) به درجه هوازدگی دیواره‌های گسستگی و نوع سنگ وابسته است. دامنه ϕ_r معمولاً بین ۲۵° تا ۳۵° و میانگین آن ۳۰° است. در حالتی که دیواره‌ها به شدت هوازده

شده‌اند، این مقدار ممکن است تا 15° کاهش پیدا کند (حتی در حالتی که پرشدگی رسی وجود ندارد). یکی از روشهای برآورد ϕ_r مبتنی بر نسبت بین نتیجه حاصل از آزمایش با چکش اشمیت بر دیواره هوازده گسستگی (τ) و سنگ هوازده (R) است.

مقادیر ϕ_p را می‌توان با استفاده از رابطه زیر تخمین زد:

$$\phi_p = \text{JRC} \log_{10} \left(\frac{\text{JCS}}{\sigma_n} \right) + \phi_r \quad (2-5)$$

که در آن:

$$^1 \text{JRC} = \text{ضریب ناهمواری سطح درزه}$$

$$^2 \text{JCS} = \text{مقاومت فشاری دیواره درزه}$$

$$\phi_r = \text{زاویه اصطکاک باقیمانده}$$

نحوه به‌کارگیری این روش در شکل ۱۵ آمده است. برای این منظور ابتدا نیمرخ را که از ناهمواری سطح گسستگی اندازه‌گیری شده، با سه نیمرخ که در بالای شکل ۱۵ آمده است، مطابقت داده می‌شود تا برآوردی از مقدار JRC به دست آید (جزئیات بیشتر در این مورد در شکل ۱۶ آمده است). سپس دیواره گسستگی توسط چکش اشمیت مورد آزمایش قرار داده می‌شود تا مقدار JCS و ϕ_r برآورد شود. باید توجه داشت که در شکل ۱۵ مقدار ϕ_r برای هر سه حالت، 30° فرض شده است. تجربه نشان داده است که روش فوق بسیار دقیق و کارآمد است و با کمترین مخارج مقدار ϕ_p را به دست می‌دهد.^۳

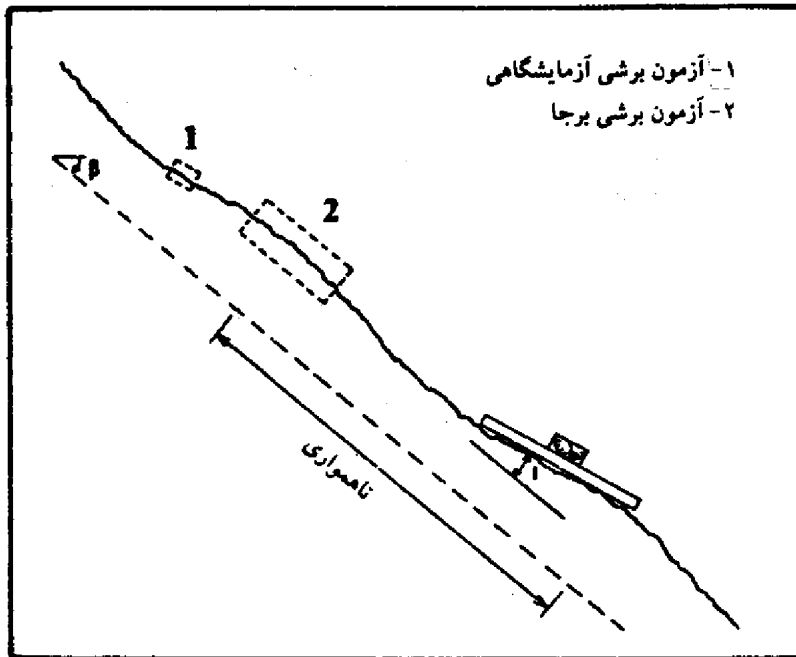
نظر به اینکه مقاومت برشی اوج (τ_p) پس از مقدار نسبتاً جزئی جابه‌جایی در سطح گسستگی ایجاد (بسیج^۴) می‌شود، شاید درست نباشد که زاویه تموج بزرگ مقیاس نیز به برآورد زاویه اصطکاک اوج (ϕ_p) افزوده شود. برای اغلب حالات می‌توان ϕ_p را معادل حداکثر مقدار برای یک درزه با 100% تداوم در نظر گرفت. با این حال، زاویه اصطکاک باقیمانده (ϕ_r) تا زمانی که جابه‌جایی قابل توجهی در سطح گسستگی صورت نگیرد بسیج نمی‌شود. این امر اضافه کردن زاویه تموج بزرگ مقیاس (i) به مقاومت برشی را موجه می‌کند. در صورت مواجهه با گسستگیهای کاملاً مسطح، یا گسستگیهایی که تحت تأثیر برش و جابه‌جایی قرار گرفته‌اند (به صورتی که اتساع بیشتری در آنها متصور نیست)، مقدار ϕ_r تنها مؤلفه مقاومت برشی خواهد بود. این مقدار معرف حداقل مقاومت برشی گسستگی مورد بررسی است.

۱. برای اطلاع از نحوه تعیین JRC (Joint Roughness Coefficient) رجوع کنید به Barton et.al (1974, 1990)

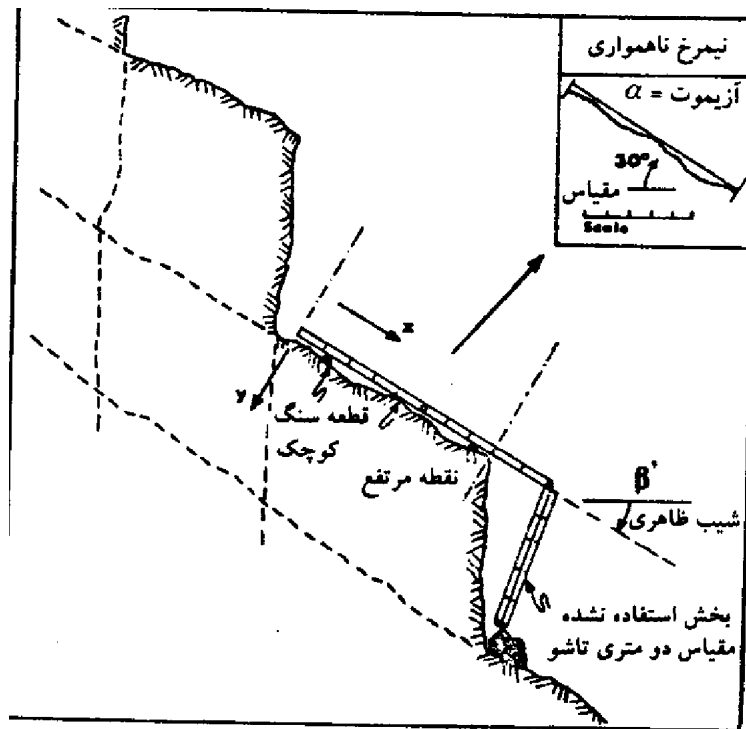
2. Joint wall compression strength

3. Barton & Cubey, (1977)

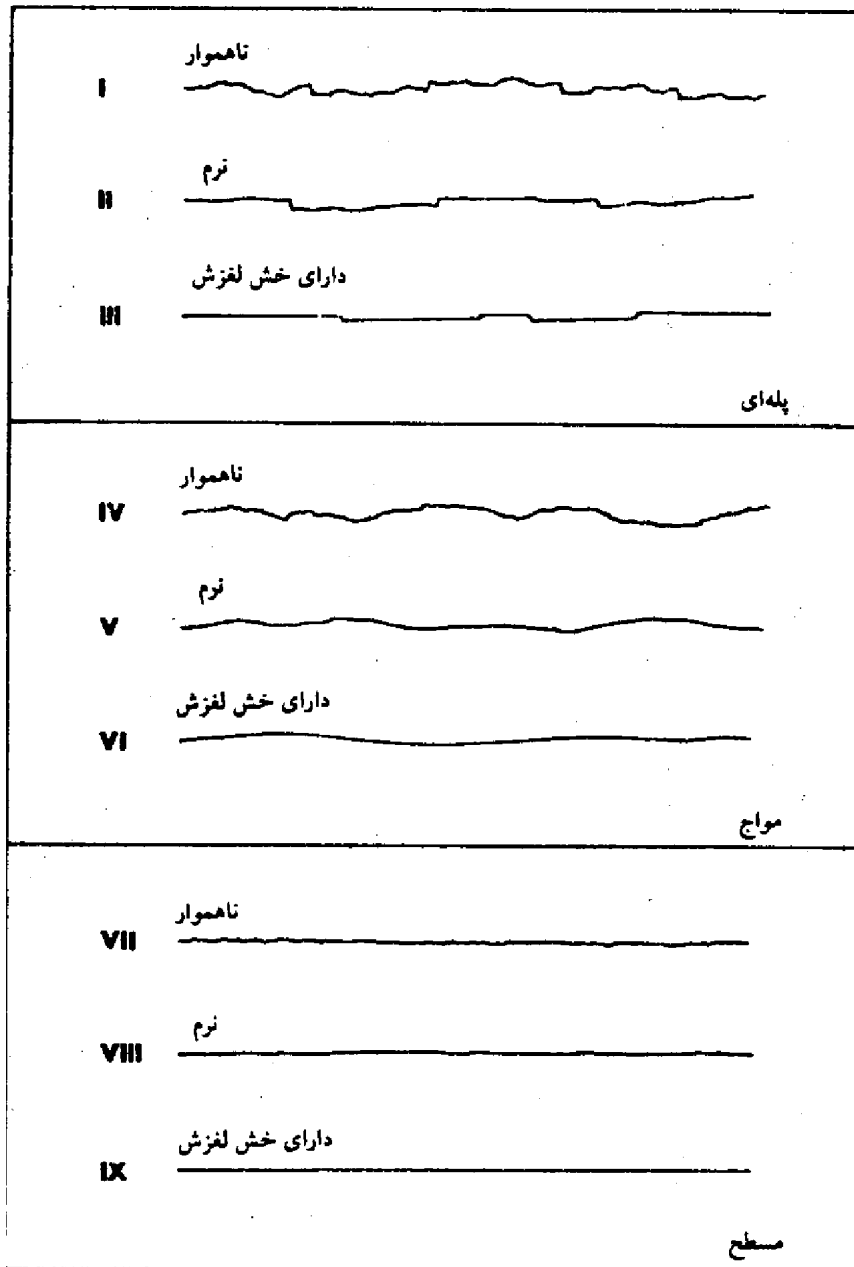
4. Mobilized



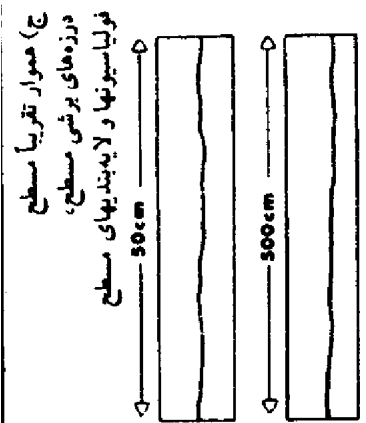
شکل ۱۱- ناهمواری سطح گسستگیها. ناهمواریهای با مقیاسهای مختلف توسط آزمایشهای دارای مقیاس مختلف سنجیده می شوند. تموج ناهمواری را می توان با زاویه α نشان داد.



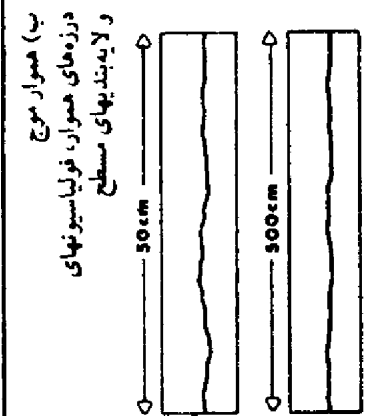
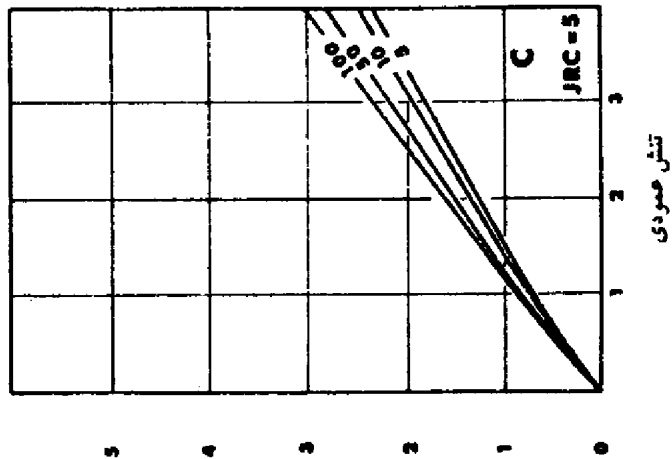
شکل ۱۲- ثبت ناهمواری یک گسستگی در دو بعد، به همراه برآورد جهت لغزش بالقوه



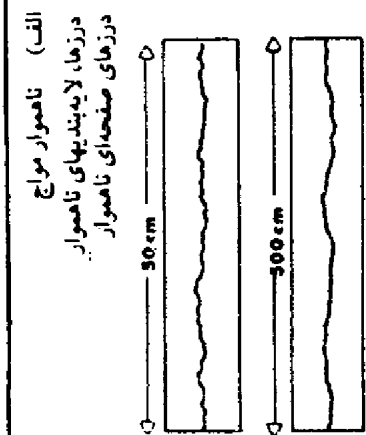
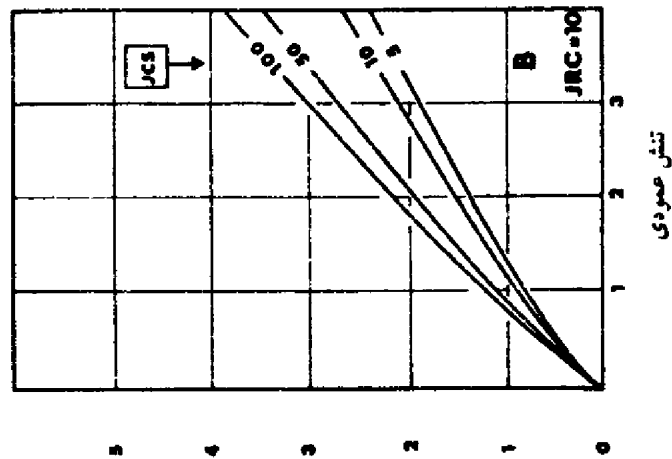
شکل ۱۴- نیمرخهای نمونه‌وار از ناهمواری سطح گسستگیها و نامگذاریهای پیشنهادی برای هر یک. طول هر نیمرخ دامنه‌ای از ۱ تا ۱۰ متر دارد و مقیاسهای قائم و افقی در نمودارها مساوی است.



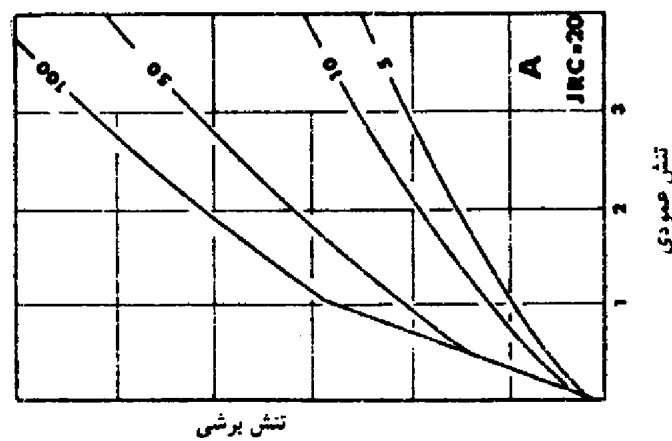
$$\tau/\sigma_n = \tan(\phi + 30^\circ) + (JCS/\sigma_n) \quad (C)$$



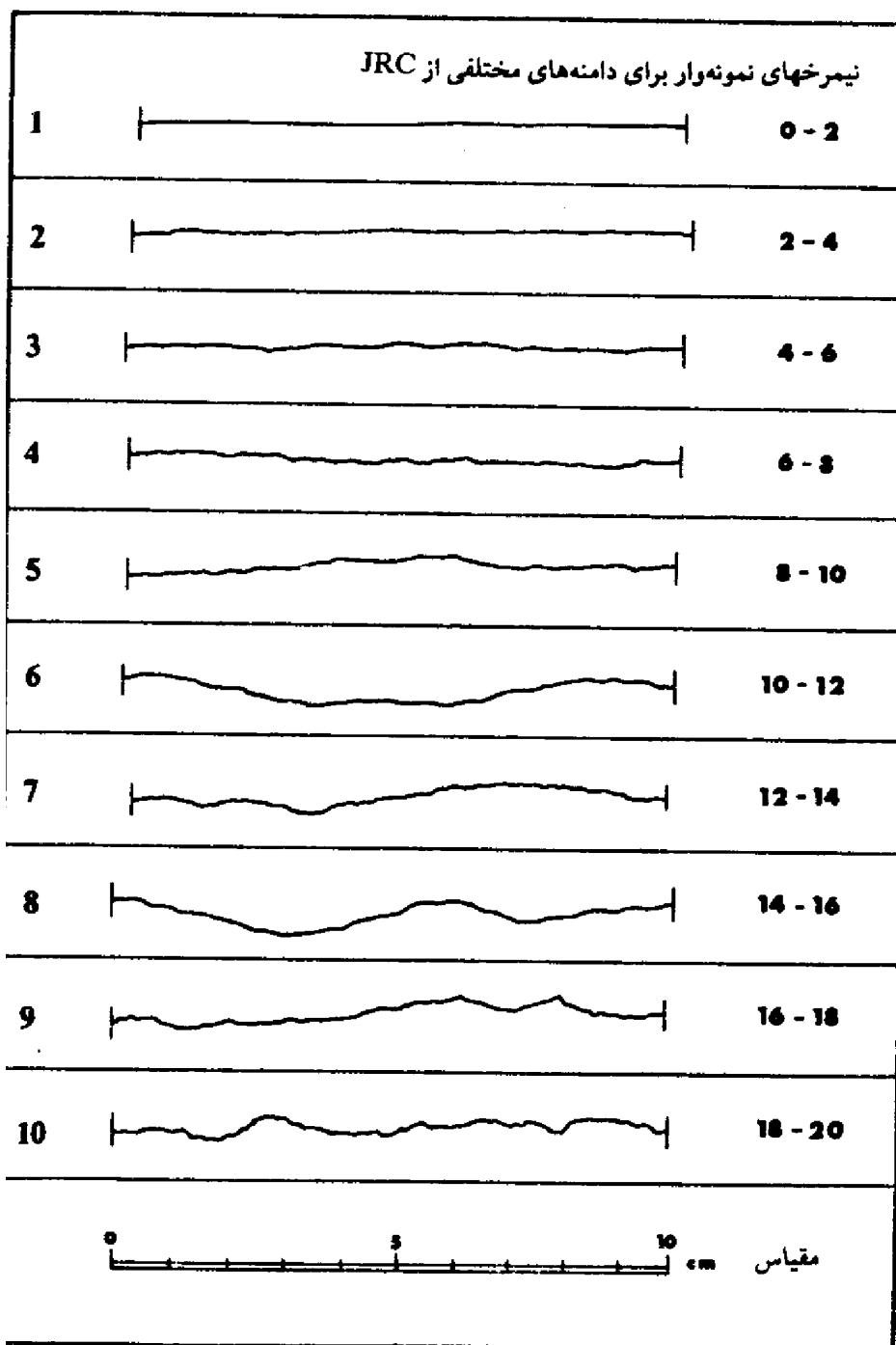
$$\tau/\sigma_n = \tan(\phi + 30^\circ) + (JCS/\sigma_n) \quad (B)$$



$$\tau/\sigma_n = \tan(\phi + 30^\circ) + (JCS/\sigma_n) \quad (A)$$



شکل ۱۵- روشی برای برآورد مقاومت برشی اوج (τ_p) از روی نیمرخ ناهمواری سطح گسستگی. هر نیمرخ باتوجه به مناسب شماره زده شده است (واحدهای MP_a). نیمرخهای ناهمواری به عنوان راهنمایی تقریبی برای مقادیر مناسب JRC ۲۰ و ۱۰ و ۵ به کار می‌روند. درزه‌های کاملاً مسطح نرم، دارای JRC صفر هستند.



شکل ۱۶- نیمرخهای ناهمواری و دامنه JRC

۶- مقاومت دیواره

سطوح گسستگی ممکن است هوازده و یا در اثر فرآیندهای گرمایی^۱ دگرسان شده باشند. مقاومت دیواره‌های سطوح گسستگی به مراتب کمتر از بقیه نقاط سنگ است. به‌طور کلی مقاومت دیواره‌ها، مخصوصاً وقتی که پرتشدگی وجود ندارد و دو دیواره باهم در تماس مستقیم هستند، تأثیر مهمی بر مقاومت برشی توده سنگ دارد.

هوازدگی به دو صورت بر سنگ تأثیر می‌گذارد: یکی با تخریب مکانیکی و دیگری با تجزیه شیمیایی و حل کردن مواد تشکیل‌دهنده سنگ. هوازدگی مکانیکی و شیمیایی معمولاً با هم اتفاق می‌افتند، ولی با توجه به آب و هوای منطقه، ممکن است یکی از این دو غالب باشد. بر اثر هوازدگی مکانیکی، گسستگیهای موجود باز شده و شکستگیهای جدیدی حاصل می‌شود. علاوه بر آن، دانه‌ها یا کانیهای تشکیل‌دهنده سنگ از هم جدا می‌شوند. هوازدگی شیمیایی با رنگ برگشتگی سنگ آغاز شده و نهایتاً به تجزیه کانیهای سیلیکاته و تبدیل آنها به کانیهای رسی منجر می‌شود. برخی از کانیها، همچون کوارتز، در مقابل این فرآیند مقاومت می‌کند و بدون تغییر باقی می‌ماند. یکی از وجوه اصلی هوازدگی شیمیایی حل شدگی است که در مورد کربناتها و سازندهای تبخیری اهمیت زیادی دارد.

پوسته نازکی از سطح دیواره گسستگی را که بر مقاومت برشی و تغییر شکل‌پذیری تأثیر می‌گذارد، می‌توان به کمک آزمونهای ساده‌ای ارزیابی کرد. مقاومت فشاری تک‌محوری ظاهری سنگ را می‌توان با "چکش اشमित"^۲ یا آزمون دست و چکش زمین‌شناسی برآورد کرد.

در مواردی که سطح گسستگیها هموار و مسطوی است، پوشش کانیها تا حد قابل توجهی بر مقاومت برشی گسستگی تأثیر می‌گذارد. از این رو، هر جا که امکان داشته‌باشد باید پوشش کانیها توصیف شده و در موارد ابهام، نمونه گرفته شود.

توصیف وضعیت هوازدگی توده‌سنگ و سنگ بکر حالتی کاملاً کیفی دارد؛ در صورتی که آزمون خراش با دست و چکش و آزمایش با چکش اشमित پاسخ کمی و عددی به دست می‌دهد. از چکش اشमित برای دستیابی به برآوردی از مقاومت دیواره و متعاقباً محاسبه مقاومت برشی نیز استفاده می‌شود.

1. Hydrothermal processes

2. Schmidt hammer

الف) وسایل مورد نیاز: چکش زمین‌شناسی، چاقوی فولادی، چکش اشمیت (نوع L) به همراه جدول و نمودار مربوط. جدول و نمودار برای تصحیحات مربوط به جهت چکش و تبدیل عدد مربوط به بازتاب چکش به برآوردی از مقاومت فشاری تک‌محوری، مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱۷ و جدول ۷). علاوه بر آنچه که ذکر شد، باید وسایل لازم برای اندازه‌گیری چگالی خشک نمونه‌های کوچک سنگ، مثل گرمخانه و ترازو نیز در دسترس باشد.

ب) "درجه هوازدگی توده سنگ"^۱: درجه هوازدگی توده سنگ با توصیف میزان هوازدگی یا تجزیه‌کلی سنگ بیان می‌شود (جدول ۴). "درجه هوازدگی یا میزان تجزیه متن سنگ"^۲ که دیواره یک گسستگی یا یک دسته از گسستگیها را نیز شامل می‌شود، به گونه‌ای که در جدول ۵ پیشنهاد شده است، توصیف می‌شود.

ج) "آزمایش شاخص دستی"^۳: ساده‌ترین روش آزمون دیواره گسستگی استفاده از انگشتان دست و چکش زمین‌شناسی است. نحوه انجام دادن این آزمون در جدول ۶ خلاصه شده است. تعداد و محل انجام دادن این آزمایش به دقت موردنظر بستگی دارد.

به عنوان مثال، در مورد دیواره‌های یک دسته درزه، دستیابی به دامنه‌ای از مقادیر مقاومت، قابل قبول است، در صورتی که در مورد یک درزه منفرد و مجزا دقت بیشتری باید صورت گیرد.

در مواردی که تعیین مقاومت بخشهای نشکسته بین گسستگیها موردنظر است، می‌توان قطعاتی از سنگ بکر، در حد نمونه دستی، را مورد آزمایش قرار داد. در مواردی که نتایج آزمایش بارگذاری نقطه‌ای در دسترس است، می‌تواند برای تعیین مقاومت بخشهای یکپارچه و گسیخته نشده یک سطح گسیختگی بالقوه به کار آید.

د) آزمایش با چکش اشمیت: در این آزمایش یک چکش نوع L، که در آزمایش بتن به کار می‌رود، به وسیله یک فنر تحت کشش، نیروی مشخصی را بر بخشی از چکش که در مجاورت نمونه قرار داده شده، وارد می‌کند (انرژی حاصل برابر 0.075 Kg-m است). مقدار انرژی بازتاب یافته از فصل مشترک سنگ و چکش از روی مقدار بازگشت چکش اندازه‌گیری می‌شود. این آزمایش را می‌توان در آزمایشگاه یا به‌طور برج (در صحرا) و در همه جهات فضایی انجام داد.

1. Weathering grade of rock mass

2. Weathering grade of rock material

3. Manual index test

جدول ۴- روش توصیف کمی گسستگیهای سنگ (ISRM ، ۱۹۸۱)

درجه	توصیف	نشانه و شدت هوازدگی
I	هیچ‌گونه نشانه قابل مشاهده‌ای از هوازدگی وجود ندارد. رنگ برگشتگی جزئی در سطح گسستگیهای عمده دیده می‌شود.	تازه (F) ^۱
II	رنگ برگشتگی معرف هوازدگی مواد سنگی و سطوح گسستگیها است. رنگ تمام مواد سنگی ممکن است با هوازدگی تغییر کرده باشد. همچنین سطح خارجی سنگ ممکن است تاحدی از نمونه هوازده مقاومت کمتری داشته باشد.	کمی هوازده (WS) ^۲
III	کمتر از نیمی از مواد سنگی تجزیه شده و یا به خاک تبدیل شده است. سنگ تازه یا رنگ برگشته به صورت شبکه پیوسته یا قطعات مجزا دیده می‌شود	نسبتاً هوازده (WM) ^۳
IV	بیش از نیمی از مواد سنگی تجزیه شده و یا به خاک تبدیل شده است. سنگ تازه یا رنگ برگشته به صورت شبکه ناپیوسته یا قطعات مجزا دیده می‌شود.	به شدت هوازده (WH) ^۴
V	همه مواد سنگی تجزیه شده و یا به خاک تبدیل شده است ولی ساخت اولیه توده سنگ هنوز عمدتاً باقی مانده است.	کاملاً هوازده (WC) ^۵
VI	همه مواد سنگی به خاک تبدیل شده‌اند. ساخت و فابریک سنگ اولیه از بین رفته است. تغییر زیادی در حجم ایجاد شده، ولی خاک حاصل شده به مقدار قابل ملاحظه‌ای جابه‌جا نشده است.	خاک برجا (RS) ^۶

جدول ۵- نحوه توصیف میزان هوازدگی "مواد سنگی"^۷

عنوان و نشانه*	توصیف
تازه رنگ برگشته ^۸	هیچ‌گونه نشانه هوازدگی مواد سنگی دیده نمی‌شود. رنگ اولیه سنگ تازه تغییر یافته است. میزان تغییر رنگ اولیه باید قید شود. اگر تغییر رنگ وابسته به کانی خاصی باشد، باید ذکر شود.
تجزیه شده ^۹ تخریب شده ^{۱۰}	هوازدگی تا حد تبدیل سنگ به خاک پیشرفته که در آن فابریک اولیه سنگ هنوز دست نخورده است، ولی همه یا بخشی از دانه‌های کانی تجزیه شده‌اند. هوازدگی تا حد تبدیل سنگ به خاک پیشرفته است که در آن فابریک ^{۱۱} اولیه سنگ هنوز دست نخورده است سنگ خرد و پودر می‌شود، ولی دانه‌های کانی تجزیه نشده‌اند.

* هریک از مراحل هوازدگی ذکر شده در این جدول را می‌توان با عباراتی چون «کمی»، «تا حدی» و «به شدت» به زیرگروههایی تقسیم کرد.

- | | | |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1. Fresh | 2. Slightly weathered | 3. Moderately weathered |
| 4. Highly weathered | 5. Completely weathered | 6. Residual soil |
| 7. Rock materials | 8. Discoloured | 9. Decomposed |
| 10. Disintegrated | 11. Fabric | |

جدول ۶- شناسایی فوری مقاومت خاک و سنگ یکپارچه و مقاومت دیواره گسستگیها و مواد پرکننده آنها در صحرا

درجه	توصیف	روش شناسایی در صحرا	دامنه تقریبی مقاومت فشاری تک محوری (MPa)
۱	S ₁ رس بسیار نرم	مشت بسته به سهولت چندین اینچ به داخل آن فرو می‌رود.	< ۰/۰۲۵
۲	S ₂ رس نرم	انگشت شست به سهولت چندین اینچ به داخل آن فرو می‌رود.	۰/۰۲۵-۰/۰۵
۳	S ₃ رس نسبتاً سفت	انگشت شست با فشار متوسط چندین اینچ به داخل آن فرو می‌رود.	۰/۰۵-۰/۱
۴	S ₄ رس سفت	انگشت شست به سادگی در سطح آن فرو می‌رود ولی نفوذ بیشتر نیاز به فشار زیاد دارد.	۰/۱-۰/۲۵
۵	S ₅ رس خیلی سفت	ناخن انگشت شست به سهولت در آن فرو می‌رود.	۰/۲۵-۰/۵
۶	S ₆ رس سخت	ناخن انگشت شست به سختی در آن فرو می‌رود.	> ۰/۵
۷	R ₀ سنگ بسیار بسیار ضعیف	ناخن انگشت شست به سختی در آن فرو می‌رود.	۰/۲۵-۱
۸	R ₁ سنگ بسیار ضعیف	بایک ضربه نوک چکش خرد می‌شود. با چاقوی جیبی می‌توان ورقه‌ای از آن جدا کرد.	۱-۵
۹	R ₂ سنگ ضعیف	به سختی ورقه‌ای از آن توسط چاقوی جیبی جدا می‌شود. بر اثر ضربه با نوک چکش زمین‌شناسی فرورفتگیهای کم عمقی در آن ایجاد می‌شود.	۵-۲۵
۱۰	R ₃ سنگ متوسط	نمی‌توان با چاقوی جیبی آن را خراشاند یا ورقه‌ای از آن جدا کرد. بایک ضربه چکش زمین‌شناسی می‌شکند.	۲۵-۵۰
۱۱	R ₄ سنگ قوی	شکستن نمونه به بیش از یک ضربه چکش زمین‌شناسی نیاز دارد.	۵۰-۱۰۰
۱۲	R ₅ سنگ بسیار قوی	شکستن نمونه به تعداد زیادی ضربه چکش زمین‌شناسی نیاز دارد.	۱۰۰-۲۵۰
۱۳	R ₆ سنگ بسیار بسیار قوی	با ضربات چکش زمین‌شناسی تنها می‌توان تراشه‌هایی از نمونه جدا کرد.	> ۲۵۰

۱- درجات S₁ تا S₆ معرف خاکهای چسبنده است.

۲- مقاومت دیواره گسستگیها معمولاً در محدوده درجات R₀ تا R₆ است؛ در صورتی که مواد پرکننده گسستگی مقاومتشان از S₁ تا S₆ است.

۳- برای دستیابی به اعداد کمی و دقیقتر پیشنهاد می‌شود که در مورد S₁ تا S₆ از آزمون «نفوذسنج» که در مکانیک خاک رایج است استفاده شود. در موارد R₂ الی R₆ نیز می‌توان چکش اشमित را به کار گرفت (تعیین مقاومت موارد R₀ و R₁ با چکش اشमित امکانپذیر نیست).

چکش اشمیت در جهتی عمود بر دیواره گسستگی مورد نظر اعمال می‌شود. برای دستیابی به محافظه کارانه‌ترین نتایج باید سطح سنگی مورد بررسی، در حالت اشباع باشد. در مواردی که سطح سنگ به طور ناخواسته خشک است، باید مراتب به همراه نتایج آزمایش قید شود. سطح مورد بررسی، حداقل در محدوده‌ای که چکش به کار می‌رود، باید عاری از ذرات سست و جدا شده باشد.

اگر عکس‌العمل ناشی از برخورد فنرها شده چکش، سطح مورد بررسی را جابه‌جا کند، نتایج به دست آمده کمتر از مقدار واقعی خواهد بود. چنین مواردی را می‌توان از روی صدای غیرعادی و طبل‌گونه برخورد چکش تشخیص داد، و از نتایج به دست آمده صرف‌نظر کرد. با توجه به نکات فوق، انجام دادن این آزمایش بر روی سنگهای حاوی اجزای سست و گسستگیهای با فاصله کم، نامناسب است. در چنین مواردی بهتر است قطعه‌ای از سنگ را جدا کرد و پس از استقرار در یک پایه محکم مورد آزمایش قرار داد.

هر سطح مورد نظر باید چندین بار مورد آزمایش قرار گیرد تا نتایج واقعی‌تر به دست آید. پیشنهاد می‌شود که برای هر گسستگی ۱۰ آزمایش انجام شود. در مورد گسستگیهای بزرگ نیز می‌توان ۱۰ آزمایش در واحد سطح انجام داد (Brown, 1981). باید توجه داشت که پس از هر آزمایش چکش باید به نقطه جدیدی منتقل شده و آزمایش بعدی انجام شود. در هر دسته ۱۰ تایی آزمایش، از ۵ قرائتی که کمترین مقادیر را دارند صرف‌نظر می‌شود و میانگین ۵ قرائت باقیمانده (r) گزارش می‌شود.

میانگین مقادیر حاصل از بازتاب چکش اشمیت (r) و چگالی سنگ (γ) گسستگی مورد نظر، برای برآورد مقدار مقاومت فشاری دیواره درزه (JCS) با استفاده از شکل ۱۷ به کار می‌آید (قسمت ج در بند ۶-۲).

آزمایش چکش اشمیت را می‌توان روی سطح گسستگی، یا روی سطح قطعه‌ای از سنگ بکر برای تعیین مقاومت بخشهای نشکسته (σ_c) انجام داد. به طور مشابه، نتایج آزمایش بارگذاری نقطه‌ای، اگر موجود است، می‌تواند برای برآورد مقاومت قسمت‌های نشکسته هر سطح بالقوه گسیختگی به کار آید (بخش ۴).

گسستگیهای حاوی پوششهای مداوم نازک از کانی که از تماس اولیه سنگ به سنگ جلوگیری می‌کنند، باید همانند فوق با چکش اشمیت آزمایش شوند. البته بسته به ضخامت و سختی پوشش کانی، برآورد JCS ممکن است بتواند نمایشگر مقاومت برشی باشد یا نباشد. در چنین حالاتی باید پوشش سطح گسستگی و کانی‌شناسی آن توصیف شود (مثلاً کلسیت، تالک، پیریت، گرافیت، کائولینیت و مانند آنها) و در موارد مشکوک نیز نمونه گرفته شود. علاوه بر اینها باید برآوردی از ضخامت پوشش (به میلی‌متر) و گستردگی آن در سطح گسستگی ($\pm 10\%$) قید شود.

۲-۶ سایر موارد

الف) نحوه توزیع میزان هوازدهی در توده سنگ یا سنگ یکپارچه: این عوامل را می‌توان با به‌نقشه درآوردن سطح طبیعی یا مصنوعی (حفاری شده) سنگ، مشخص کرد. البته باید توجه داشت که رخنمون‌ها یا سطوح پراکنده سنگ نمی‌توانند معرف وضعیت هوازدهی کل توده سنگ باشد، چون هوازدهی ممکن است از نقطه‌ای به نقطه دیگر تغییر کند.

نکته دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد، این است که همه درجات هوازدهی ممکن است در یک رخنمون سنگی دیده نشود. توزیع درجات مختلف هوازدهی مواد سنگی به میزان تخلخل و گسستگی‌های باز سنگ نیز وابسته است. در زمان بررسی مغزه‌های حفاری، توزیع هوازدهی سنگ یکپارچه را می‌توان مشخص کرد، ولی وضعیت توده‌سنگی را که مغزه از آن گرفته شده، تنها می‌توان حدس زد.

بخشهایی از توده سنگ، که بر اثر قرار گرفتن در معرض هوا یا نفوذ عوامل سطحی هوازده شده‌اند، باید در صورت امکان از آن بخش از توده‌سنگ که بر اثر عوامل و محلول‌های گرمایی تغییر شکل یافته‌اند، جدا شوند. باید اضافه کرد که در بسیاری موارد تفکیک این دو گروه از یکدیگر عملاً غیرممکن است.

گروهی از سنگها، مخصوصاً آنهایی که حاوی مقدار زیادی رس هستند، در صورتی که در معرض هوازدهی از نوع خشک و تر شدن متوالی قرار گیرند، ممکن است در مدت زمانی کوتاه متورم، سست یا خرد شوند. برای پیش‌بینی این‌گونه رفتار سنگ، نیاز به آزمایش‌های خاصی داریم (آزمایش‌های مربوط به تورم و دوام سنگ که توسط ISRM پیشنهاد شده است)^۱.

ب) آزمایش دستی شاخص سنگ: آزمایش دستی سنگ به وسیله خراش دست و چکش، اطلاعات مناسبی درباره وضعیت هوازدهی سنگ، مخصوصاً لایه‌های نازک هوازده سطح گسستگیها و پوشش کانیهای آن به دست می‌دهد.

آزمایش دستی را برای تعیین درجات S_1 الی S_6 ، یعنی رسها، (جدول ۶) می‌توان با استفاده از یک نفوذسنج جیبی^۲ استاندارد، رایج در مکانیک خاک، به صورت دقیقتری به انجام رساند. به این منظور سوزن نفوذسنج را با یک شدت ثابت به سطح نمونه فشار می‌دهیم. حداکثر مقاومت را می‌توان از روی مقیاس مربوط قرائت کرد. این مقیاس به گونه‌ای تدوین شده است، که مقاومت فشاری حداکثر نمونه را به دست می‌دهد. این مقدار برابر است با دو برابر مقاومت برشی زهکشی نشده، یعنی $\frac{1}{4}(\sigma_1 - \sigma_3)$.

1. Slake durability test (ISRM, 1981)

2. Pocket penetrometer

ج) آزمایش با چکش اشمیت: اعداد بازتاب، حاصل از آزمایش با چکش اشمیت، دامنه‌ای از ۱۰ تا ۶۰ دارد. اعداد کوچکتر معرف "سنگهای ضعیف" هستند ($\sigma_c < 20 \text{ MPa}$) در حالی که اعداد بزرگ نمایشگر "سنگهای بسیار قوی" هستند $\sigma_c > 150 \text{ MPa}$. سنگهای خیلی ضعیف را نمی‌توان با چکش اشمیت نوع L آزمود. برای سنگهای با مقاومت کمتر از ۲۰-۱۵ مگاپاسکال می‌توان از آزمایش شاخص دستی استفاده کرد.

در شرایط آزمایش مساوی، عدد بازتاب حاصل شده، در شرایطی که چکش به طور قائم و به سمت پایین به کار می‌رود (بازتاب درخلاف جهت نیروی گرانی) کمترین مقدار را دارد و در شرایطی که به طور قائم، ولی به سمت بالا به کار رود، بیشترین مقدار را نشان می‌دهد. ارقام ارائه شده در شکل ۱۷ منحصراً مربوط به آزمایش قائم به سمت پایین است. تصحیحات لازم را در شرایطی که چکش به سمت بالا به کار می‌رود، می‌توان از جدول ۷ به دست آورد.

حرکت قطعه سنگ مورد آزمایش، که در نمونه‌های با شکستگی زیاد ممکن است ایجاد شود، یا خرد شدن دانه‌های سست سطح سنگ، باعث دستیابی به عدد بازتاب کوچکتر از انتظار می‌شود. قرائتهای بزرگتر از انتظار به ندرت به دست می‌آید. دو دسته قرائتهای واقعی مربوط به آزمایش با چکش اشمیت و نحوه دستیابی به یک میانگین قابل قبول در زیر آمده است:

- درزه‌های ناهموار مسطح، با پوششی از مواد آهنی در گرانت

۴۴، ۳۶، ۳۸، ۴۴، ۳۲، ۴۴، ۴۰، ۴۴، ۳۴، ۴۲

میانگین ۵ قرائت با ارزش بیشتر (از ۱۰ آزمایش) $r = 44$

میانگین ۸ قرائت با ارزش بیشتر $r = 43$

- درزه‌های ناهموار، مواج، با پوشش کلسیتی در هورنفلس

۲۸، ۳۰، ۲۸، ۲۴، ۲۴، ۳۰، ۳۰، ۲۸، ۲۸

میانگین ۵ قرائت با ارزش بیشتر (از ۱۰ آزمایش) $r = 29$

میانگین ۳ قرائت با ارزش بیشتر $r = 30$

آزمایش با چکش اشمیت معیاری از مقاومت مکانیکی لایه نازک مواد هوازده مجاور سطح گسستگی را به دست می‌دهد. نظر به اینکه این مواد هوازده، به همراه ناهمواری سطح گسستگی، مقاومت برشی آن را کنترل می‌کنند، لذا شاخص مهمی به حساب می‌آیند. "مقاومت فشاری دیواره درزه"، به علت هوازدگی، اغلب کم و حدود ۲۰٪ مقاومت سنگ یکپارچه مجاورش (σ_c) است.

جدول ۷- تصحیحات مربوط به کاهش عدد قرائت شده توسط چکش اشمیت، در حالی که چکش به صورت قائم و رو به پایین به کار نرفته است.

عدد بازتاب	به سمت پایین		به سمت بالا		افقی
	$x = -45$	$x^* = -90$	$x = +45$	$x = +90$	
۱۰	۰/۸	۰	-	-	$x = 0$
۲۰	۰/۹	۰	-۸/۸	-۶/۹	
۳۰	۰/۸	۰	-۷/۸	-۶/۲	
۴۰	۰/۷	۰	-۶/۶	-۵/۳	
۵۰	۰/۶	۰	-۵/۳	-۴/۳	
۶۰	۰/۴	۰	-۴	-۳/۳	

* $x =$ زاویه بین محور طولی چکش و سطح افق

۳-۶ نمایش داده‌ها

الف) درجه هوازدگی "توده سنگ" و مواد سنگی: درجات هوازدگی محدوده‌های قابل تشخیص هوازدگی در توده سنگ به صورت طرح‌های (نقشه‌های) ساده شده یا نیمرخهای قائم نشان داده می‌شود و در هر محدوده درجه هوازدگی (مثلاً I, II, III و ...) را قید می‌کنند. درجه هوازدگی "مواد سنگی" یک گسستگی منفرد یا یک دسته درزه مشخص نیز باید توصیف شود. به عنوان مثال: "دسته درزه شماره ۱: اکثر دیوارها نسبتاً تغییر رنگ یافته‌اند و تقریباً ۲۰٪ آنها تازه و هوانزده است".

ب) آزمایش شاخص دستی سنگ: مقاومت مواد سازنده دیوار هر گسستگی و یا یک دسته گسستگی خاص را باید به همراه دامنه مقاومت فشاری متصور برای هر یک ذکر کرد. به عنوان مثال: "دسته درزه شماره ۱: اکثراً نیمه مقاوم (MPa، ۲۰-۵۰ R_۳) و تقریباً ۲۰٪ مقاوم (MPa، ۱۰۰-۵۰ R_۳)". مقادیری که معرف دیواره گسستگی هستند، باید از مقادیری که معرف بخشهای تازه‌تر و داخلی‌تر سنگ است متمایز شوند.

ج) آزمایش با چکش اشمیت: اعداد معرف میانگین بازتاب (r) برای مواد دیواره هر گسستگی یا یک دسته گسستگی خاص باید قید شوند. به همراه این اعداد بزرگ باید چگالی متوسط سنگ (γ) و برآوردی از مقاومت دیواره گسستگی (JCS) بر حسب مگاپاسکال (MPa) نیز آورده شود. اعداد مربوط به یک دسته نمونه ۱۰ تایی از آزمایشها نیز برای نمایش دامنه تغییرات قرائتها، آورده می‌شود. مقادیری که مربوط به دیواره گسستگی است، باید به دقت از مقادیری که معرف قسمتهای تازه‌تر و داخلی‌تر سنگ است، تفکیک شوند.

۷- باز شدگی

"باز شدگی"^۱ به فاصله عمودی بین دو دیوار یک گسستگی، که ممکن است از هوا یا آب پر شده باشد اطلاق می‌شود. "باز شدگی" را باید با "عرض پر شدگی"^۲، که در مورد گسستگیهای پر شده صادق است، تمیز داد. گسستگیهای پر شده (مثلاً بارس) را که بخشی از آنها شسته شده هستند، می‌توان زیر عنوان باز شدگی مورد بررسی قرار داد.

باز شدگیهای بزرگ می‌توانند بر اثر جابه‌جایی برشی در سطح یک گسستگی که از ناهمواری و تموج قابل ملاحظه‌ای برخوردار است، یا باز شدگیهای ناشی از کشش و بالاخره حل شدن مواد دیواره گسستگی به وجود آیند. گسستگیهای قائم یا پر شیب که در اثر فرسایش دره یا عقب‌نشینی یخچالها درست شده‌اند، می‌توانند از باز شدگی زیادی برخوردار باشند.

در اغلب توده‌های سنگی زیرزمینی باز شدگی کم و معمولاً کمتر از نیم میلیمتر است، در صورتی که برخی از گسستگیهای کششی یا شسته شده سطحی تر ممکن است ده‌ها، صدها و حتی هزارها میلیمتر باز شدگی داشته باشند.

بجز در مواردی که سطح گسستگی بسیار مسطح و هموار است، باز شدگی $0/1$ میلیمتر یا 1 میلیمتر تفاوت چندانی در میزان مقاومت برشی ندارند، ولی می‌توانند به طور غیرمستقیم و با تأثیر بر قابلیت انتقال هیدرولیکی، مقدار تنش عمودی مؤثر و به تبع آن مقاومت برشی را تغییر دهند.

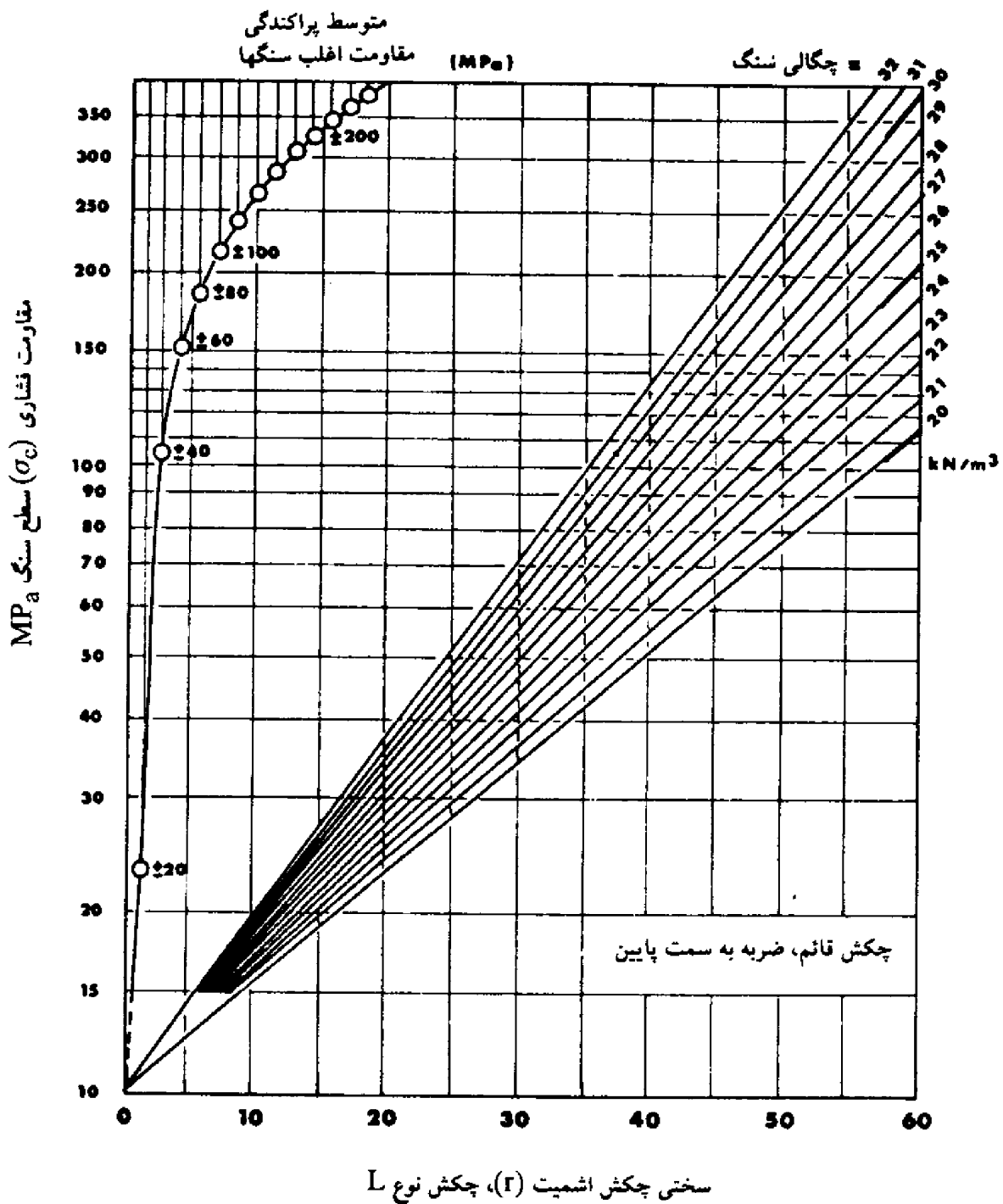
متأسفانه، مشاهده مستقیم باز شدگیهای کوچک معمولاً قابل اطمینان نیست. زیرا باز شدگیهای مشاهده شده اغلب به علت اختلالات ناشی از آتشیاری یا تأثیر هوازدگی سطحی، وضعیت طبیعی خود را ندارند. شاید بتوان موارد استثناء را باز شدگی اندازه‌گیری شده در گسستگیهای دیواره گمانه‌ها و تونلهای حفاری (و نه آتشیاری) شده، دانست. تأثیر باز شدگی را بهتر از همه می‌توان توسط آزمایشهای تراوایی با آب به دست آورد.^۳

باز شدگیها بر مبنای قابلیت انتقال آب و نقش آنها در سست‌کنندگی توده سنگ ثبت می‌شوند. عواملی چون فشار آب داخل درزه، هجوم سیالات به داخل حفاریها و فرار ناخواسته آنها متأثر از باز شدگی گسستگیهاست.

1. Aperture

2. Width of filling

۳. (استاندارد آزمایشهای تراوایی، ۱۳۷۴، ۱۵۵-الف، طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور)



شکل ۱۷- نمودار همبستگی میان چگالی سنگ، مقاومت فشاری سنگ و عدد بازتاب چکش اشمیت (نوع L)

۷-۱ روش کار

الف) وسایل مورد نیاز عبارتند از: متر نواری ۳ متری با درجات میلیمتری، مجموعه نوارهای فلزی با ضخامت‌های متفاوت (مشابه فیلری که برای تنظیم شمع اتومبیل به کار می‌رود)، رنگ افشان سفید، وسایل لازم برای شستن دیواره سنگی.

ب) پرونده‌های زیرزمینی کثیف باید ابتدا شسته شوند. در صورتی که امتداد مورد بررسی، به وسیله رنگ افشان سفید شود، ظریفترین گسستگیها هم با سهولت بیشتری قابل مشاهده خواهند بود. نکته دیگری که باید به آن توجه شود نورپردازی مناسب محدوده مورد بررسی است.

ج) بازشدگیهای بزرگتر را با خط کش یا متر دارای درجات میلیمتری و انواع کوچکتر را با راندن ورقه‌های فلزی دارای ضخامت معلوم (مشابه فیلر) به داخل گسستگیها، اندازه‌گیری می‌کنیم. اندازه‌گیری در مورد کلیه گسستگیهایی که امتداد خط مورد بررسی (متر) را قطع می‌کنند، انجام می‌شود. علاوه بر آن، تغییرات در بازشدگی یک گسستگی منفرد در طول خط اثر آن باید یادداشت شود.

د) بازشدگیهایی که در یک سطح سنگی دیده می‌شوند، به دلیل هوازدگی یا نحوه حفاری، معمولاً فراختر از انواعی هستند که در بخشهای داخلی تر توده سنگ یافت می‌شود. همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، تونلهایی که با ماشین و نه با آتشباری حفر شده‌اند و همچنین گمانه‌های حفاری شده، بازشدگیها را در مقیاس طبیعی به دست می‌دهند. دیواره گمانه‌ها را با پریسکوپ و دوربین عکسبرداری یا ویدیویی گمانه‌ای مورد بررسی قرار می‌دهیم. به این منظور همچنین می‌توان از مسدودکننده حساس به فشار^۱ استفاده کرد^۲.

ه) پریسکوپ گمانه‌ای^۳، زمانی تجویز می‌شود که عمق مورد بررسی از سطح، کمتر از ۳۰ متر است. با توجه به ساختمان پریسکوپ اعماق بیشتر باعث اختلال در مسیر حرکت نور می‌شود. یک مقیاس که در حد میلیمتر درجه‌بندی شده و رنگی متفاوت با سنگ دارد در خارج از پریسکوپ به نحوی نصب می‌شود که بتوان مقدار بازشدگیهای دیواره گمانه را تعیین کرد. قرائتهایی که به این صورت انجام می‌شود، برای مواردی که زاویه بین امتداد گمانه و لایه^۴ ۹۰ درجه نیست، باید تصحیح شوند.

و) بازیابی مغزه به روش «نمونه‌گیری یکپارچه»^۴ برای دستیابی به مقادیر قابل قبول بازشدگیها در شرایط ویژه تجویز

1. Pressure sensitive packers

2. Fairhurst & Roegters (1972)

3. Borehole periscope

4. Integrated sampling

می‌شوند. در این روش پس از اینکه مغزه به توسط دوغاب به صورت یکپارچه درآمد، بازیابی می‌شود (رجوع کنید به بخش ۲-۱).

ز) باید توجه داشت که حتی بازشدگیهای دست نخورده نیز نمی‌توانند معیار دقیقی از پتانسیل آبگذری سنگ را به دست دهند. ناهمواری سطح درزه می‌تواند قابلیت انتقال را به مقدار قابل مقایسه‌ای، نسبت به دیواره صاف و همواره کاهش دهد. علاوه بر اینها شواهدی در دست است که جریان آب در درزه‌ها، به عوض اینکه ورقه‌ای باشد، لوله‌ای است. با توجه به نکات فوق آزمایشهای تراوایی برجا، در مقایسه با اندازه‌گیری مستقیم بازشدگی، معیار دقیقتری از بازشدگی را به دست می‌دهند^۱.

ح) بازشدگیهای اندازه‌گیری شده در مورد گسستگیهایی که جابه‌جایی برشی تحمل کرده‌اند (به عنوان مثال در یک دامنه ناپایدار) ممکن است از یک نقطه به نقطه دیگر به شدت تغییر کند. در چنین حالتی بخشهایی از دو دیواره گسستگی به هم چسبیده‌اند که در زمان برآورد قابلیت آبگذری می‌توانند همراه کننده باشند.

۲-۷ نمایش داده‌ها

الف) میزان بازشدگی گسستگیها با توجه به جدول ۸ توصیف می‌شود:

جدول ۸- طبقه‌بندی برای توصیف بازشدگی گسستگیهای سنگ (ISRM، ۱۹۸۱)

وضعیت شکستگی	طبقه توصیفی	میزان بازشدگی
شکستگیهای بسته	کاملاً بسته	$< 0.1 \text{ mm}$
	بسته	$0.1 - 0.25 \text{ mm}$
	نسبتاً بسته	$0.25 - 0.5 \text{ mm}$
شکستگیهای باز	کمی باز	$0.5 - 2.5 \text{ mm}$
	نسبتاً باز	$2.5 - 10 \text{ mm}$
	باز	$> 10 \text{ mm}$
شکستگیهای خیلی باز	خیلی باز	$1 - 10 \text{ cm}$
	بینهایت باز	$10 - 100 \text{ cm}$
	غار مانند	$> 100 \text{ cm}$

۱. (استاندارد آزمایشهای تراوایی، ۱۳۷۴، ۱۵۵-الف، طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور)

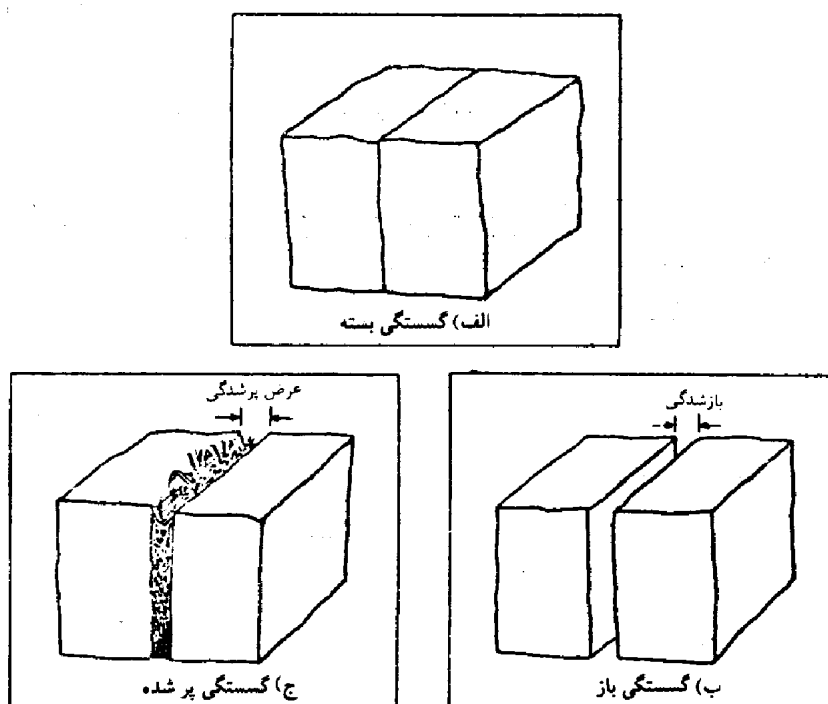
ب) در مورد هر دسته از گسستگیها باید بازشدگی دارای بیشترین فراوانی^۱ ثبت شود.

ج) گسستگیهای منزوی که بازشدگی آنها به مقدار قابل توجهی بیش از مقادیر دارای بیشترین فراوانی است، باید به دقت توصیف شوند. در این مورد باید محل و جهت یابی گسستگی هم ذکر شود.

د) از گسستگیهای بینهایت باز (۱۰۰-۱۰ cm) یا غار مانند ($> 1\text{ m}$) باید عکس هم گرفته شود.

۸- پرشدگی

"پرشدگی" به حالتی اطلاق می شود که فاصله بین دو دیواره یک گسستگی از موادی نظیر: کلسیت، کلریت، رس، لای (سیلت) و گواش و از این دست گونه، پر شده است. فاصله عمودی بین دو دیواره گسستگی پر شده را "عرض پرشدگی"^۲ می گویند و باید آن را از "بازشدگی"^۳ تمیز داد.



شکل ۱۸- مفاهیم بازشدگی و پرشدگی گسستگیها

1. Modal value

2. Width of filling

3. Aperture

پرشدگی گسستگیها می تواند نقش مؤثری در ویژگیهای سنگ از جمله : مقاومت برشی، تغییر شکل پذیری و تراوایی آن داشته باشد. نقش پرشدگی در کوتاه مدت و درازمدت ممکن است متفاوت باشد، از این رو برقراری شرایط مناسب در کوتاه مدت، ممکن است گمراه کننده باشد.

گسترده‌گی تغییرات در رفتار سنگ به عوامل مختلفی وابسته است که شاید بتوان مهمترین آنها را به شرح زیر خلاصه کرد:

- کانی شناسی مواد پرکننده
- دانه بندی و اندازه ذرات
- نسبت بیش تحکیمی^۱
- مقدار آب و تراوایی
- جابه جایی برشی قبلی
- ناهموازی دیواره های گسستگی
- عرض پرشدگی
- شکستگی و خردشدگی دیواره های گسستگی

باید کوشش شود که موارد فوق به طور کمی توصیف شود و با رسم طرحهای شماتیک یا تهیه عکسهای رنگی از حالات بارز، وضعیت گسستگی تا حد امکان تشریح شود. آزمونهای شاخصی برای بررسی دقیقتر گسستگیهایی که تهدیدی برای پایداری هستند، پیشنهاد شده است. نتیجه توصیف صحرائی گسستگیها ممکن است ضرورت انجام دادن آزمونهای برجای صحرائی را در شرایطی خاص، همچون پی سدها یا دامنه های مسئله دار، تجویز کند.

۸-۱ روش کار

الف) وسایل مورد نیاز : متر نواری سه متری با درجات میلیمتری، متر تاشو حداقل ۲ متری، کیسه پلاستیکی برای گرفتن نمونه هایی حداکثر ۱ الی ۲ کیلوگرمی از پرشدگیها، در شرایطی خاص ممکن است نیاز به گرفتن نمونه دست نخورده برای تعیین مقاومت برشی باشد. به این منظور می توان از انواع لوله های نمونه گیر رایج در آزمایشهای مکانیک خاک استفاده کرد. وسایل مورد نیاز دیگر عبارتند از : چکش زمین شناسی و یک چاقوی فولادی.

ب) عرض پرشدگی : حداکثر و حداقل عرض پرشدگی گسستگیهای پر شده (مثلاً درزه های پر شده از رس) با ۱۰٪

1. Over - consolidation ratio

خطا اندازه‌گیری شده و عرض پرشدگی دارای بیشترین فراوانی نیز برآورد می‌شود. در مواردی که دیواره‌های گسستگی تغییر شکل یافته و هوازده نیستند، تفاوت زیاد بین حداقل و حداکثر عرض پرشدگی، می‌تواند نشانه‌ای از جابه‌جایی برشی قبلی باشد.

در مورد گسستگی‌هایی که پرشدگی آنها از پیچیدگی خاصی برخوردار است (مثل: مناطق برشی، مناطق خرد شده، مناطق گسلی، دایکها و همبریه‌های سنگ‌شناسی) نیز عرض پرشدگی باید تا آنجا که امکان دارد به طور دقیق اندازه‌گیری شود. در شرایطی که از حساسیت برخوردار است، پیشنهاد می‌شود که شمایی از وضعیت پرشدگی، همانند مثالهایی که در شکل ۱۸ آمده، کشیده شود.

ج) میزان هوازده‌گی: مواد پرکننده ممکن است محصولات هوازده‌گی سنگ، به‌خصوص دیواره‌های گسستگی باشند. برای توصیف این مواد می‌توان از مفاهیم پیشنهادی زیر استفاده کرد:

تجزیه شده^۱: هوازده‌گی تا حد تبدیل سنگ به خاکی پیشرفته است که در آن فابریک اولیه سنگ هنوز دست‌نخورده است، ولی همه یا بخشی از دانه‌های کانی تجزیه شده‌اند.

تخریب شده^۲: هوازده‌گی تا حد تبدیل سنگ به خاکی پیشرفته است که در آن فابریک اولیه سنگ هنوز دست‌نخورده است و دانه‌های کانی تجزیه نشده‌اند.

د) کانی‌شناسی: برای همه انواع پرشدگی، بخش ریزدانه‌تر مواد باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد زیرا این مواد هستند که معمولاً در درازمدت بر مقاومت برشی تأثیر می‌گذارند. از این رو باید ترکیب کانی‌شناسی بخش ریزدانه‌تر، مخصوصاً در موارد برخورد با رسهای فعال یا متورم شونده، مشخص شود. در مواردی که تعیین نوع کانی دقیقاً امکانپذیر نیست، باید نمونه لازم گرفته شود.

در مواردی که رسهای متورم شونده، همچون مونموریونیت^۳، شناسایی شوند و در مواردی که این مواد ممکن است در پایداری نقش منفی داشته باشند، باید برای آزمونه‌های "تورم آزاد" و "فشار تورم" نمونه گرفته شود. در این‌گونه موارد پیشنهاد می‌شود، میزان رطوبت بر جای نمونه نیز در حد امکان یادداشت شود^۴.

ه) اندازه ذرات: روش توصیف دانه‌بندی و اندازه ذرات وابسته به نوع مواد پرکننده است. توصیف صحرائی باید همراه با برآورد کمی از دانه‌بندی مواد پرکننده گسستگی، از جمله: درصد رس، لای، ماسه و ذرات سنگی باشد (با

1. Decomposed

2. Disintegrated

3. Montmorillonite

۴- به‌عنوان مثال رجوع کنید به صفحات ۳۰۷ و ۳۷۱ کتاب زمین‌شناسی برای مهندسين، حسين معماريان (۱۳۷۴).

تقریب ۱۰٪±). برای انجام دادن این برآورد اغلب لازم است تا چند کیلوگرم از مواد پرکننده از داخل گسستگی خارج شده و مورد بررسی قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود توصیف اندازه ذرات بر مبنای جدول ۹ انجام شود.

در مواردی که آزمایشهای دقیقتر مکانیک خاک تجویز می‌شود، باید بخش ریزدانه نمونه برای تعیین موارد زیر به آزمایشگاه ارسال شود.

- درصد رس (درصد ذرات کوچکتر از ۲ میکرون)
- حدود اتربرگ شامل حد روانی (LL) و شاخص روانی (PI)
- (PI = LL - PL)%
- حساسیت^۱
- فعالیت^۲

جدول ۹- مواد پرکننده گسستگیها بر مبنای اندازه دانه‌ها^۳

اندازه ذرات (میلیمتر)	مواد پرکننده
۲۰۰-۶۰۰	قطعه سنگ ^۴
۶۰-۲۰۰	قلوه سنگ ^۵
۲۰-۶۰	شن درشت ^۶
۶-۲۰	شن متوسط
۲-۶	شن ریز
۰/۶-۲	ماسه درشت
۰/۲-۰/۶	ماسه متوسط
۰/۰۶-۰/۲	ماسه ریز
< ۰/۰۶	لای رس

و) مقاومت مواد پرکننده: مقاومت مواد پرکننده، مخصوصاً بخش ریزدانه را که معمولاً ضعیف‌ترین انواع هستند، باید با آزمایش شاخص دستی (با استفاده از دست و نوک چکش)، به نحوی که در جدول ۶ شرح داده شده، تعیین

1- Sensitivity

2- Activity

3. Modified wentworth scale

4. Boulder

5. Cobble

6. Gravel

کرد. باید توجه داشت که مقاومت برشی زهکشی نشده خاکهایی که با درجات S_1 و S_6 در این جدول آمده برابر نصف مقاومت تک محوری ذکر شده است.

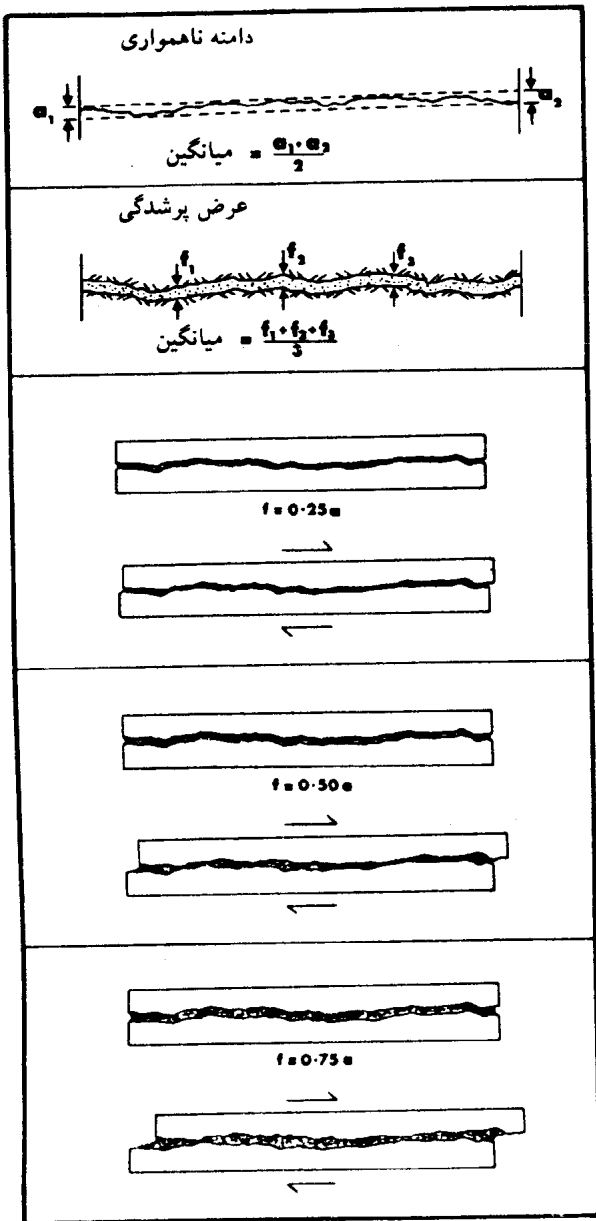
در شرایطی که آزمایشهای مکانیک خاک دقیقتری تجویز شود (مثلاً برای تعیین مقاومت برشی زهکشی شده) باید از مواد پرکننده گسستگی، نمونه دست نخورده گرفت. به این منظور می توان از لوله های نمونه گیر متنوعی که در مکانیک خاک رایج است، استفاده کرد.

ز) جابه جایی قبلی: باید دقت شود که آیا جابه جایی قبلی در سطح گسستگی وجود داشته است یا نه. به این منظور می توان از نشانه های مختلف نظیر: خش لغزش، آثار برش و درزه های متقاطع جابه جا شده، استفاده کرد. در چنین مواردی باید برآوردی از نسبت بیش تحکیمی (OCR) نیز ذکر شود.

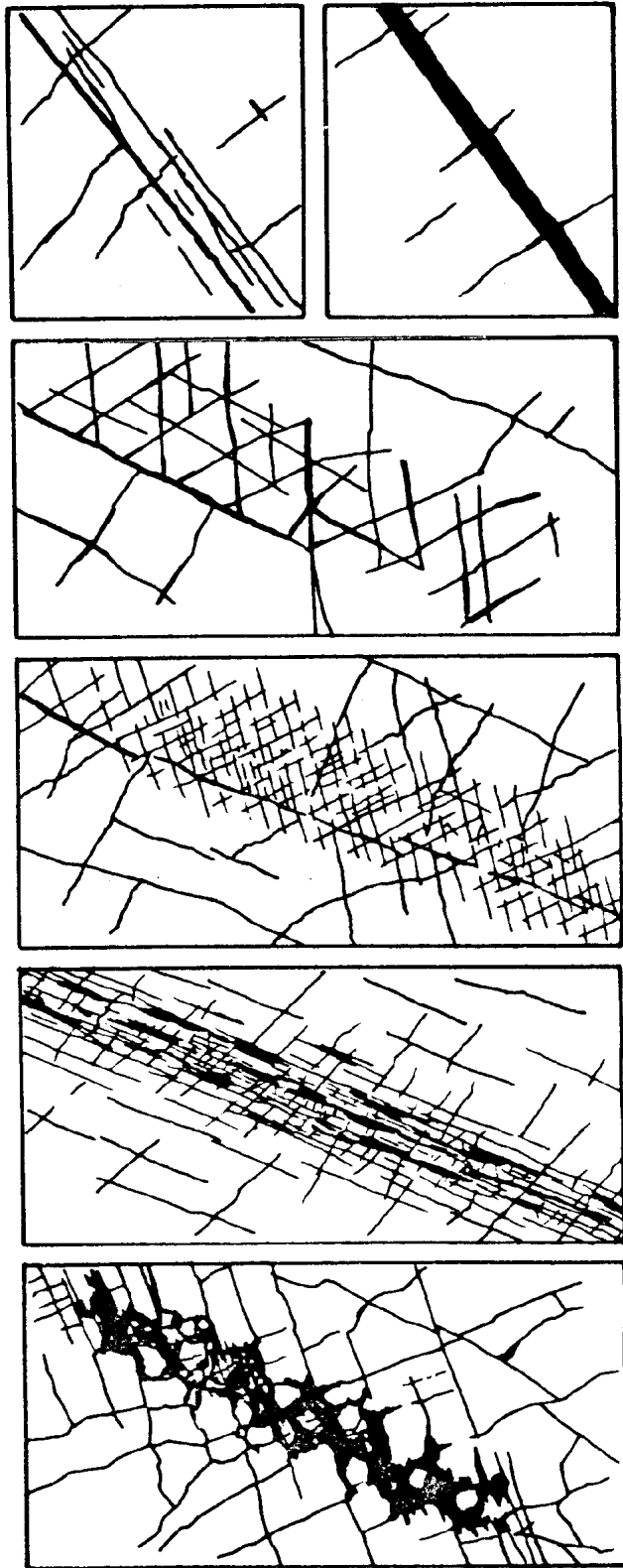
ح) مقدار آب و تراوایی: مقدار آب و تراوایی پرشدگیها، مخصوصاً انواع رسی آنها، در صورتی که مورد نیاز باشد، باید به گونه ای که در جدول ۱۰ آمده است، توصیف شوند:

جدول ۱۰- توصیف صحرایی رطوبت و تراوایی مواد پرکننده گسستگی

درجه	شرح
W_1	مواد پرکننده کاملاً تحکیم یافته و خشک هستند. به دلیل تراوایی پایین، احتمال آنگذری قابل توجه وجود ندارد.
W_2	مواد پرکننده مرطوبند، ولی آب آزاد وجود ندارد.
W_3	مواد پرکننده خیس اند و گاهی قطره های آب از آنها می چکد.
W_4	مواد پرکننده آثاری از شسته شدن را نشان داده و آب به طور دائم از آنها خارج می شود (برآورد به صورت لیتر بر دقیقه).
W_5	مواد پرکننده به طور موضعی شسته شده اند. آب قابل ملاحظه ای از محل مواد شسته شده خارج می شود (برآورد به صورت لیتر بر دقیقه و توصیف فشار آن با عباراتی چون کم، متوسط و زیاد).
W_6	مواد پرکننده کاملاً شسته شده اند. آب با فشار زیاد از محل گسستگی خارج می شود (برآورد به صورت لیتر بر دقیقه و توصیف فشار با عباراتی چون کم، متوسط و زیاد).



(الف)



(ب)

شکل ۱۹- انواع پرشدگی گسستگیها. الف) در حالت پرشدگی ساده، عرض پرشدگی و دامنه ناهمواری سطح گسستگی می تواند برای برآورد مقدار جابه جایی برشی تا حد رسیدن به تماس سنگ به سنگ به کار آید (a = دامنه ناهمواری، f = عرض پرشدگی). ب) طرح های شماتیک از پرشدگی مرکب گسستگیهای سنگ

۲-۸ سایر موارد

الف) آزمایش شاخص دستی برای تعیین درجات S_1 تا S_6 را می‌توان با استفاده از یک نفوذسنج جیبی رایج در آزمایشهای مکانیک خاک، بادقت بیشتری انجام داد. این ابزار شامل سوزنی است که با یک شدت ثابت، به نمونه وارد می‌شود. حداکثر مقاومت نمونه را می‌توان از روی مقیاسی خواند که برآوردی از مقاومت فشاری تک‌محوری حداکثر را نشان می‌دهد. مقدار قرائت شده برابر مقاومت برشی زهکشی نشده است $(\sigma_1 - \sigma_3) \frac{1}{4}$.

ب) تجزیه گرمایی مواد گسلی (گوژ) و یا رسوب محصولات گرمایی، تشخیص کانی‌شناسی مواد پرکننده را مشکل می‌کند؛ زیرا این محصولات، سنگ‌شناسی متفاوت با سنگهای سازنده دیواره گسستگی یا قطعات خردشده درون آن دارند.

ج) در مواردی که جابه‌جایی قبلی در امتداد سطحی واقع در داخل مواد پرکننده صورت گرفته باشد و به صورت سطوح برش و خش لغزش تظاهر کند، نسبت بیش‌تحکیمی (OCR) اهمیت خود را از دست می‌دهد. در چنین مواردی مقاومت گسستگی در حد مقاومت باقیمانده (نهایی)^۱ است. در مواردی که احتمال جابه‌جایی قبلی از میان مواد پرکننده وجود ندارد، نسبت بیش‌تحکیمی اهمیت خود را باز می‌یابد، زیرا مقاومت برشی اوج در حالت زهکشی شده^۲ رس دست‌نخورده ممکن است به مراتب بیشتر از مقاومت باقیمانده آن باشد.

د) گسلها اغلب حاوی یک بخش بسیار نفوذپذیر گوژ برشی در کنار یک بخش کاملاً نفوذناپذیر گوژ رسی هستند. در چنین مواردی قابلیت انتقال آب از سطح گسل غیریکنواخت خواهد بود؛ لذا قبل از آنکه تونل شناسایی، کاملاً محدوده گسل خورده را، اکتشاف کند، نباید نسبت به خشک و غیرقابل نفوذ بودن آن پیشداوری کرد.

۳-۸ نمایش داده‌ها

نحوه ارائه داده‌ها وابسته به اهمیت یک گسستگی منفرد یا یک دسته گسستگی خاص در ارتباط با پروژه مورد بررسی است. مهمترین داده‌هایی را که در ارتباط با پرشدگی گسستگیها می‌توان ارائه داد عبارتند از:

الف) وضعیت پرشدگی: عرض پرشدگی
ناهمواریه‌های دیواره‌ها
شمای صحرائی

1. Residual (ultimate) strength 2. Peak drained shear strength

ب) ویژگیهای مواد پرکننده : کانی شناسی

اندازه ذرات

درجه هوازگی

پارامترهای شاخص خاک

قابلیت تورم

ج) نشت آب : مقدار آب و تراوایی

(با درجات W_1 الی W_6 از روی جدول ۱۰)

۹- نشت آب

نشت آب از سنگ عمدتاً ناشی از جریان آب از خلال گسستگیها است (تراوایی ثانوی). در برخی از سنگهای رسوبی ممکن است بخشی از آبگذری از بین دانه ها و ناشی از تراوایی اولیه باشد. شدت نشت آب متناسب است با شیب آبی (گرادیان هیدرولیکی) در محل و تراوایی در راستای مورد نظر. سرعت زیاد آب در شکستگیهای باز به دلیل آشفته بودن جریان، باعث افت بار می شود.

پیش بینی سطح ایستابی، مسیر احتمالی نشت آب، و فشار تقریبی آب، اغلب می تواند هشدار در مورد پایداری و مشکلات احتمالی باشد. توصیف صحرائی سنگها باید همراه با پیشنهادها لازم در مورد نوع آزمایشهای تراوایی صحرائی مورد نیاز باشد، به صورتی که بتوان عوامل پیش گفته را در مراحل اولیه کار شناسایی کرد.

سطوح ایستابی غیر عادی و سطوح ایستابی معلق نیز ممکن است در توده های سنگی دیده شود که توسط بخشهای ناتراوایی چون دایکها، گسستگیهای لایه های تراوای پر شده از رس، احاطه شده باشند. پیش بینی چنین موانعی در مقابل جریان، و سطوح ایستابی غیر عادی ناشی از آنها، از اهمیت زیادی برخوردار است. این مسئله، به ویژه در پروژه هایی که ممکن است موانع مورد بحث در اعماق زیاد توسط تونل قطع شده و جریان زیاد و پرفشاری از آب را به همراه داشته باشند، حساس می شود. نشت آب به داخل یک گودبرداری و در نتیجه پایین رفتن سطح ایستابی ممکن است، نشست پی هایی را که روی لایه های رسی قرار گرفته اند، باعث شود.

همراه با تشریح دقیق نحوه نشت آب از محل یک گسستگی یا یک دسته از گسستگیها، نسبت به اهمیتی که در ارتباط با پایداری دارند، باید هیدروژئولوژی محل نیز به طور تقریبی توصیف شود. بسیار بجا خواهد بود، اگر در صورت امکان اطلاعاتی، هر چند ناچیز، در مورد آخرین بارندگیها نیز ذکر شود. اطلاعات مربوط به بارندگی در تعبیر و تفسیر

داده‌ها به کار می‌آیند. اطلاعات اضافی، همچون: جهت حرکت آبهای زیرزمینی، آمار دما و بارندگی، در صورت دسترسی، می‌تواند مفید واقع شود.

۹-۱ روشن کار

الف) آمار و اطلاعات لازم عبارتند از: مشاهده مستقیم (در تونلها نورپردازی مناسب ضروری است)، عکسهای هوایی، آمار بارندگی و دما.

ب) عکسهای هوایی را باید به منظور شناسایی وضعیت کلی زهکشی محلی و وضعیت سطح ایستابی احتمالی مورد مطالعه قرار داد. نشت آب زیرزمینی اغلب به صورت نمو خطی گیاهان در امتداد گسلها و دایکها مشاهده می‌شود. هر جا که امکانپذیر است، باید اطلاعات مربوط به تغییرات فصلی سطوح ایستابی و آمارهای مربوط به دما و بارندگی گردآوری شود.

ج) توصیف هیدروژئولوژی محلی اغلب به مراحل اولیه عملیات صحرایی محدود می‌شود. در مواردی ممکن است هیچگونه چاهی برای انجام آزمایشهای پمپاژ یا گمانه‌ای برای تعیین سطح ایستابی یا آزمایش با ردیابها وجود نداشته و نصب پیزومترها نیز امکانپذیر نباشد. در چنین مواردی وضعیت آب زیرزمینی توسط استنتاج‌های زمین‌شناسی برآورد می‌شود. در همین مرحله نیاز احتمالی به حفر گمانه‌های اکتشافی برای تعیین سطح ایستابی، انجام آزمایش ردیابی، نصب پیزومترها و آزمایش پمپاژ و افت آب مشخص شده و محل مناسب حفر گمانه در روی نقشه تعیین می‌شود.

د) رابطه متقابل بین پروژه مهندسی موردنظر و رژیم آب زیرزمینی مفروض باید مشخص شده و پیامدهای آن ذکر شود. تأثیر نشت آب به سمت یا به داخل گودبرداریهای طراحی شده، باید توضیح داده شود. نقش هرگونه افت سطح ایستابی بر تأسیسات موجود و نشست پی‌های قرار گرفته روی لایه‌های رسی باید بیان شود.

ه) نشت آب از خلال یک گسستگی پر شده یا پرنشده، و یا یک دسته گسستگی مشخص که در تونل یا در سطح رخنمون دارند، باید به گونه‌ای که در جدول ۱۱ آمده توصیف شوند.

و) در مواردی که سازه‌ای مثل: یک تونل، برای زهکشی در توده سنگ حفر می‌شود، مناسبتر خواهد بود که چگونگی جریان کلی آب به داخل هربخش از سازه توصیف شود. بهترین زمان برای این عمل بلافاصله بعد از حفاری است، زیرا در بسیاری موارد سطح آب به سرعت افت می‌کند. در جدول ۱۲ طبقه‌بندی پیشنهادی برای توصیف نشت جریان آب از توده سنگ آمده است.

ز) در مورد دامنه‌های سنگی عمده، باید میزان مؤثر بودن تمهیداتی چون: زهکشی سطحی، گمانه‌های مایل و گالریهای زهکش، در زمان بررسیهای صحرایی تعیین شود. تصمیم‌گیری در این موارد با توجه به جهت‌یابی، فاصله و بازشدگی گسستگیهای درگیر انجام می‌شود.

ح) تاثیر بالقوه یخ زدن بر مسیر نشت آب نیز باید مشخص شود. میزان آب نشتی از خلال گسستگیها در دماهای یخبندان ممکن است، گمراه‌کننده باشد. احتمال مسدود شدن مسیر جریان توسط یخ زدن دهانه آن و نقش منفی آن در ناپایداری دامنه یا بخش حفاری شده نیز باید مورد توجه قرار گیرد.

۲-۹ سایر موارد

الف) در مواردی که امکانپذیر است، باید آمار بارندگی به منظور کمک به تعبیر و تفسیر نشت آب فراهم آید. این مسئله مخصوصاً در مورد رخنمونهای سطحی، دامنه‌ها و تونلهای واقع در اعماق کم مفید واقع می‌شود.

ب) در معادن روباز، گمانه‌ها برای اکتشاف ماده معدنی حفر می‌شوند و حفاریهای ماشینی در مراحل بعدی و در صورت موفقیت آمیز بودن اکتشافات، انجام می‌شود. در چنین نقاطی، وجود گمانه‌ها امکان بررسیهای کافی آبهای زیرزمینی، نظیر: نصب پیزومترها و آزمایشهای ردیابی، آزمایش بارافتان و آزمایش پمپاژ را فراهم می‌آورد. دیواره گمانه‌ها را می‌توان با پریسکوپ، دوربین عکاسی و ویدیویی گمانه، برای تعیین محل‌های نشت آب، مورد بررسی قرار داد.

ج) آزمایشهایی که به منظور برآورد تراوایی توده سنگ در گمانه انجام می‌شود، نظیر: آزمایشهای بارافتان و لوژون توسط ISRM به‌طور جداگانه تشریح شده‌اند. ارائه نتایج آزمایش لوژون در دسترس، مکمل پیشنهادهایی است که در این نوشته برای توصیف صحرایی سنگ ارائه شده است (قسمت مغزه حفاری).

جدول ۱۱- طبقه‌بندی برای نشت آب از خلال گسستگیهای پرنشده و پرشده

درجه	شرح	
I	گسستگی خیلی بسته و خشک است و جریان آب از خلال آن محتمل به نظر نمی‌رسد.	گسستگیهای پرنشده
II	گسستگی خشک است و اثری از جریان آب دیده نمی‌شود.	
III	گسستگی خشک است، ولی شواهدی از جریان آب وجود دارد (آثار رنگ بر گسستگی و زنگ‌زدگی).	
IV	گسستگی مرطوب، ولی جریان آزاد آب وجود ندارد.	
V	نشت آب از گسستگی مشاهده می‌شود. گاهی قطره‌ای آب خارج می‌شود، ولی جریان مداوم آب نشتی وجود ندارد.	
VI	آب به‌طور مداوم از گسستگی جریان دارد. در این صورت مقدار آن، برحسب لیتر بر ثانیه برآورد شده و فشار آن به‌صورت کم، متوسط یا زیاد بیان می‌شود.	
I	مواد پرکننده کاملاً تحکیم یافته و خشک‌اند. به دلیل نفوذپذیری کم احتمال جریان قابل توجه وجود ندارد.	گسستگیهای پرشده
II	مواد پرکننده مرطوب‌اند، ولی هیچگونه آب آزادی وجود ندارد.	
III	مواد پرکننده خیس‌اند و گاهی قطره‌ای آب می‌چکد.	
IV	مواد پرکننده آثاری از شسته شدن یا جریان دائم آب رانشان می‌دهند (شدت جریان برحسب لیتر بر دقیقه برآورد می‌شود).	
V	مواد پرکننده به‌طور محلی شسته شده‌اند و از محل مسیرهای شسته‌شده، جریان قابل ملاحظه آب وجود دارد (برآورد مقدار برحسب لیتر بر دقیقه و برآورد فشار به صورت کم، متوسط یا زیاد بیان می‌شود).	
VI	مواد پرکننده به‌طور کامل شسته شده‌اند، فشار آب خروجی، مخصوصاً وقتی که اول بار به آن برخورد می‌شود، بسیار زیاد است (برآورد مقدار برحسب لیتر بر دقیقه و برآورد فشار به صورت کم، زیاد، متوسط بیان می‌شود).	

د) سطوح لایه‌بندی و درزه‌های موازی با آن در سنگهای رسوبی، که از تراوایی اولیه بالایی برخوردارند، قادرند بخشهای وسیعی از توده سنگ را از نظر هیدرولیکی به هم متصل کنند. چنین شرایطی در آن گروه از سنگهای آذرین و دگرگونی که فاقد درزه‌های ناحیه‌ای و گسل هستند، دیده نمی‌شود.

ه) در برخی موارد، گسلها حاوی یک بخش به شدت نفوذپذیر برشی در مجاورت یک بخش کاملاً نفوذناپذیر گویز رسی است. در چنین شرایطی ممکن است قابلیت انتقال هیدرولیکی کاملاً ناهمسانگرد^۱ بوده یا اینکه جریان منحصراً به موازی سطح گسل انجام شود. از این رو است که نباید تا قبل از آنکه یک گسل به‌طور کامل توسط تونل اکتشافی قطع شود، در مورد میزان آب و خشک بودن آن تصمیم گرفت.

جدول ۱۲- طبقه‌بندی پیشنهادی برای نشت آب از توده سنگ در یک تونل

درجه	شرح
I	دیواره‌ها و سقف خشک است. هیچ‌گونه نشت قابل اندازه‌گیری دیده نمی‌شود.
II	نشت ناچیز و مخصوصاً به صورت چکیدن آب از گسستگیها است.
III	نشت متوسط و مخصوصاً به صورت جریان یکنواخت از گسستگیها است (برآورد جریان بر حسب لیتر بر دقیقه در ۱۰ متر طول حفاری).
IV	جریان زیاد و مخصوصاً به صورت جریان یکنواخت از گسستگیها است (برآورد جریان بر حسب لیتر بر دقیقه در ۱۰ متر طول حفاری).
V	جریان به‌طور استثنایی زیاد است. باید مبدأ جریان شدید مشخص شود (برآورد جریان بر حسب لیتر بر دقیقه در ۱۰ متر طول حفاری).

و) بالاترین نقطه درزه‌های نشت‌کننده در سطح یک دامنه ممکن است داده‌ای غیر مستقیم برای تحلیل مقدماتی پایداری باشد. به همین ترتیب عمق یک تونل یا محل استقرار آن در ارتباط با مناطق مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا قادر است نشانه‌ای از امکان بالقوه هجوم آب به دست دهد.

۳-۹-۹ نمایش داده‌ها

الف) با توجه به اطلاعات گردآوری شده، مسیر حرکت آب زیرزمینی با پیکانهای در روی عکس هوایی، نقشه زمین‌شناسی یا هرنقشه مبنای دارای مقیاس مناسب رسم می‌شوند. در صورت نیاز می‌توان آمار مربوط به بارندگی و دما را نیز ضمیمه کرد.

ب) روی نقشه‌های زمین‌شناسی ساده شده یا نیمرخها، باید محل سدهای زیرزمینی در مقابل جریان آب نظیر: دایکها، گسستگیهای عمده پر شده از رس و لایه‌های ناتراوا) مشخص شده و سطح ایستابی متصور نیز قید شود. در روی نقشه همچنین باید محل گمانه‌های موجود و نقاط مناسب پیشنهادی برای حفر گمانه‌های جدید مشخص شود.

ج) هرچاکه ممکن است باید رابطه متقابل بین پروژه مهندسی طراحی شده و جریان مفروض آب زیرزمینی توصیف شود. در مواردی که داده مناسب در دسترس است، باید سطح ایستابی قبل و بعد از احداث سازه موردنظر، برآورد شود. علاوه بر آن باید تأثیر شرایط آب و هوایی استثنایی، تأثیر یخ زدن و روشهای مصنوعی زهکشی نیز بیان شود.

د) نشت آب از گسستگیهای منفرد یا یک دسته درزه خاص و یا کل توده سنگ باید به صورت درجات نشت (قید شده در جدولهای ۱۱ و ۱۲) بیان شود. در مواردی که داده کافی در دست است، می توان منحنیهای معرف جریان و نشت یکسان را رسم کرد و یا نتایج را به صورت نمودار ستونی نشان داد. در مورد تونلها، می توان دادههای نشت را در امتداد خط تونل، همراه با دادههای ساختی، درست به گونه ای که در مورد عدد لوژون و زمین شناسی در طول گمانه ارائه می شود، نشان داد.

۱۰- تعداد دسته ها

رفتار مکانیکی و شکل ظاهری توده سنگ متأثر از تعداد دسته درزه هایی است که یکدیگر را قطع کرده اند. رفتار مکانیکی از این نظر تأثیر می پذیرد که تعداد دسته درزه ها میزان تغییر شکل سنگ را، قبل از آنکه نیاز به گسیختگی بخشهای سنگ بکر باشد، نشان می دهد. تعداد دسته درزه ها علاوه بر تعیین شکل ظاهری توده سنگ، میزان حفاری ناخواسته در زمان آتشیاری را نیز کنترل می کنند (شکل ۲۰).

در دامنه های سنگی، تعداد دسته درزه ها، به همراه جهت یابی آنها نسبت به سطح آزاد دامنه ممکن است مهمترین عامل ناپایداری به حساب آیند. در شرایط مشابه با کاسته شدن از تعداد دسته درزه ها میزان ناپایداری به سرعت کاهش می یابد. در مقابل، در شرایطی که تعداد دسته درزه ها زیاد و فاصله درزه ها کم باشد، ممکن است گسیختگی بالقوه دامنه از حالت لغزش و یا برگشتن به گسیختگیهای چرخش و دایره ای (مشابه حالت خاک) تبدیل شود.

در تونلها، سه دسته درزه، یا بیشتر از آن، باعث قطعه قطعه شدن سنگ می شود. این توده های سنگی دارای درجه آزادی بیشتری برای گسیخته شدن، در مقایسه با سنگهای حاوی کمتر از سه دسته درزه، هستند. لازم است تأکید شود میزان حفاری ناخواسته در خلال آتشیاری سنگی، رابطه مستقیم با تعداد دسته درزه ها دارد.

۱۰-۱ روش کار

الف) وسایل مورد نیاز عبارتند از: کمپاس، شیب سنج زمین شناسی و لوازم مورد نیاز برای بررسی مستقیم یا عکسبرداری.

ب) تعداد دسته درزه ها اغلب تابعی از محدوده بررسی و برداشت است. در بررسیهای اولیه بهتر است کلیه دسته درزه های موجود برداشت شوند. به این منظور تا ۱۵۰ قرائت جهت یابی انجام می شود و نتایج به صورت قطب صفحات رسم شده و منحنیهای میزان زده شوند (قسمت ۲، جهت یابی).

ج) در مواردی که جهت یابیها منظم هستند و تغییرات زیادی ندارند، از تعداد اندازه گیریهای لازم برای شناسایی دسته درزه ها کاسته می شود.

د) در مراحل پیشرفته تر بررسیها، تعداد دسته درزه های محلی موجود نیز باید، علاوه بر آنچه که در بند ب آمد، ثبت شوند. پایداری یک بخش خاص از یک تونل یا دامنه سنگی، یا تغییر شکل پذیری یک پی، تابعی از تعداد دسته درزه های است که به طور محلی و موضعی یافت می شوند و نه تعداد دسته درزه هایی که با توجه به بند ب تعیین شده اند.

ه) دسته درزه های شناسایی شده را باید شماره گذاری کرد. به عنوان مثال، پایدارترین و مداوم ترین دسته درزه منظم شماره ۱ نامگذاری می شود و شماره های بعدی به دسته های کم اهمیت تر اختصاص داده می شود. در صورت نیاز می توان دسته درزه ها را بر مبنای نقشی که در پایداری دارند، شماره گذاری کرد.

و) در زمان ثبت تعداد دسته درزه ها باید دسته های منظم از دسته های نامنظم تفکیک شوند. به طور کلی دسته درزه های منظم حاوی درزه هایی هستند که با یکدیگر موازی یا تقریباً موازی هستند. در صورتی که درزه های نامنظم از جهت یابی تصادفی برخوردارند. در مواردی که نتوان دسته درزه ها را در صحرا تشخیص داد، باید با استفاده از روش آماری و پیاده کردن قطب صفحات بر روی شبکه قطبی هم مساحت، روند کلی هر دسته را تشخیص داد.

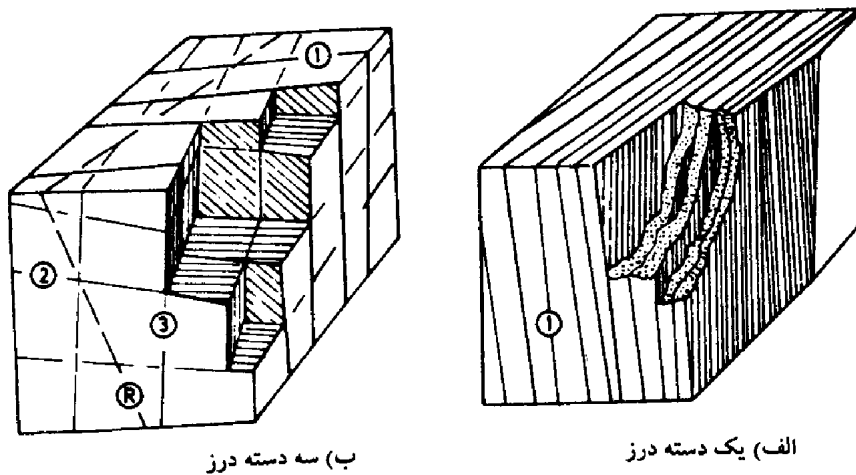
۱۰-۲ نمایش داده ها

تعداد دسته درزه های موجود را می توان همراه با داده های مربوط به جهت یابی ارائه کرد. تعداد دسته درزه هایی که به طور محلی (مثلاً در طول یک تونل) دیده شده اند به صورت مندرج در شکل ۲۰ توصیف می شوند.

۱۱- اندازه قطعات^۱

اندازه قطعات یکی از بهترین شاخصهای تعیین کننده رفتار سنگ است. ابعاد قطعه به توسط فاصله گسستگیها، تعداد دسته درزه ها و تداوم آنها تعیین می شود. تعداد دسته درزه ها و جهت یابی آنها شکل قطعات حاصله را تعیین می کند. شکل قطعات ممکن است مکعبی، لوزی، چهاروجهی، ورقه ای و مانند آن باشند. نظر به اینکه درزه های یک دسته دقیقاً باهم موازی نیستند، لذا قطعات حاصله نیز کاملاً یکسان نیستند. به طور کلی، سنگهای رسوبی درزه دار معمولاً منظم ترین قطعات را به وجود می آورند.

1- Block size



شکل ۲۰- رابطه تعداد دسته درزه‌ها با رفتار مکانیکی و شکل ظاهری توده سنگ

تلفیق دو ویژگی، اندازه قطعات و مقاومت برشی بین قطعات، رفتار مکانیکی توده سنگ را در یک شرایط تنش خاص مشخص می‌کند. توده‌های سنگی حاوی قطعات بزرگ کمتر تغییر شکل می‌یابند و در حفاریهای زیرزمینی قوسهای پایداری رامی‌سازند. در دامنه‌ها، در صورتی که اندازه قطعات کوچک باشد، حالت گسیختگی به جای آنکه مانند توده‌های سنگی به صورت لغزش^۱ و واژگونی^۲ باشد، ممکن است مشابه خاکها و به صورت چرخشی دایره‌ای^۳، بشود، در حالت‌های استثنایی، ممکن است اندازه قطعات به حدی کوچکتر باشد که جریان^۴ حادث شود. برای نمونه می‌توان به قطعات در حد حبه قند در مناطق برشی ایجاد شده در کوارتزیت اشاره کرد.

کارایی حفاری روباز و آتشکاری در سنگ تا حد زیادی تابعی از اندازه قطعات است. بسیار بجا خواهد بود اگر توزیع اندازه قطعات در یک توده سنگی را مشابه توزیع اندازه دانه‌ها در خاک در نظر بگیریم.

اندازه قطعات را می‌توان یا به صورت ابعاد متوسط یک قطعه نمونه از توده سنگ، تحت عنوان شاخص اندازه قطعات (I_b) و به صورت تعداد درزه‌هایی که واحد حجم سنگ را قطع می‌کند و شمارش حجم درزه‌ها (J_v) نامیده می‌شود، بیان کرد.

1- Sliding

2- Toppelling

3. Circular Rotational

4. Flow

۱۱-۱ روش کار

الف) وسیله مورد نیاز عبارت است از: متر نواری سه متری که با درجات میلیمتری مدرج شده است.

ب) شاخص اندازه قطعات^۱ (I_b): این شاخص را می توان با انتخاب چند قطعه نمونه از سنگ و تعیین میانگین ابعاد آنها به دست آورد. نظر به اینکه این شاخص ممکن است دامنه ای از میلیمتر تا چندین متر داشته باشد، لذا یک دقت برداشت تا 10% کافی به نظر می رسد. برای هر محدوده، از توده سنگ باید اندازه قطعه دارای بیشترین فراوانی (I_b) و دامنه تغییرات آن (بزرگترین و کوچکترین قطعات نمونه موجود در محدوده) مشخص شود. همراه با (I_b) باید تعداد دسته درزه ها نیز قید شود.

ج) شمارش حجمی درزه ها (J_v): شمارش حجمی درزه ها به صورت مجموع تعداد درزه ها در هر متر، برای هر دسته درزه موجود بیان می شود. درزه های تصادفی را نیز می توان اضافه کرد، ولی این درزه ها معمولاً تأثیر کمی در نتایج حاصله دارند.

تعداد درزه های هر دسته را باید در جهت عمود به دسته درزه شمارش کرد. به این منظور یک طول نمونه برداری 5 الی 10 متری پیشنهاد می شود. به این ترتیب که درزه های شمارش شده بر 5 یا 10 تقسیم می شوند تا تعداد درزه ها در متر به دست آید. نتایج نمونه از شمارش سه دسته درزه و درزه های تصادفی در امتداد یک خط برداشت 5 یا 10 متری عمود بر هر دسته به صورت زیر است:

$$J_v = \frac{6}{10} + \frac{24}{10} + \frac{5}{5} + \frac{1}{10}$$

$$J_v = 0/6 + 2/4 + 1 + 0/1 = 4/1 \text{ m}^3$$

در جدول ۱۳ رابطه بین شمارش حجمی درزه ها و اندازه قطعات آمده است.

جدول ۱۳- رابطه بین شمارش حجمی درزه‌ها و اندازه قطعات (ISRM,1981)

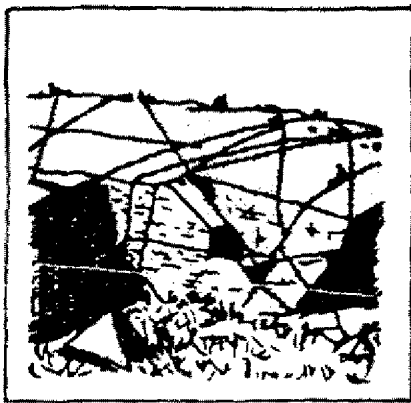
توصیف قطعات	تعداد درزه در متر مکعب (J_v)
قطعات بسیار بزرگ	< 1
قطعات بزرگ	۱-۳
قطعات متوسط	۳-۱۰
قطعات کوچک	۱۰-۳۰
قطعات بسیار کوچک	> 30

مقادیر $J_v > 60$ نمایشگر توده سنگ خرد شده است و در زونهای برشی عاری از رس دیده می‌شوند.

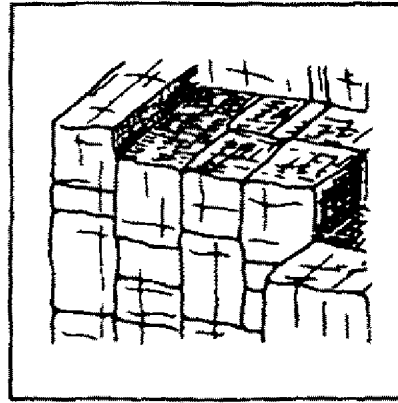
د) توده‌های سنگی : به منظور توصیف اندازه و شکل قطعات در توده‌های سنگی می‌توان از مفاهیم مندرج در جدول ۱۴ استفاده کرد. مثالهایی در این مورد در شکل ۲۱ آمده است.

جدول ۱۴- شکل قطعات در توده سنگ

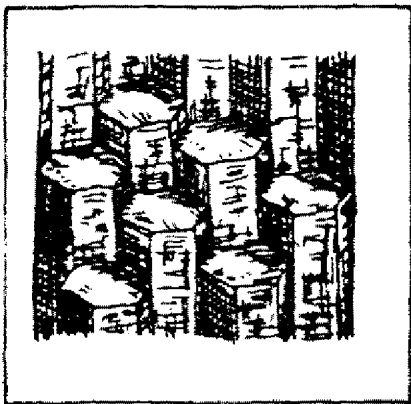
شرح	شکل قطعات
درزه‌های محدود یا فاصله	توده‌ای
ابعاد قطعات تقریباً یکسان است.	قطعه‌ای
یک بعد قطعات به مقدار قابل ملاحظه‌ای کوچکتر از دو بعد دیگر است.	صفحه‌ای
یک بعد قطعات به مقدار قابل ملاحظه‌ای از دو بعد دیگر بزرگتر است.	ستونی
تنوع گسترده اندازه و شکل قطعات	نامنظم
به شدت خرد شده یا جبه‌فندی	خرد شده



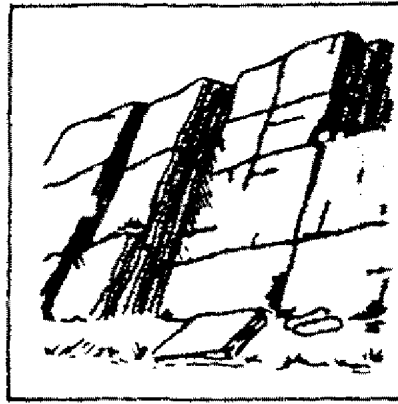
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۲۱- نمایش توده‌های سنگی با قطعات دارای اشکال مختلف

۱۱-۲ سایر موارد

الف) هدف از "شاخص اندازه قطعات" (I_b) نمایش متوسط ابعاد قطعات نمونه سنگ است. در مواردی که بیش از ۳ دسته درزه وجود داشته باشد، مقدار متوسط فاصله هر یک از دسته درزه‌ها (مثل S_1, S_2, S_3) ممکن است نتواند مقدار واقعی I_b را به دست دهد. در چنین مواردی دسته چهارم در صورتی که از فاصله زیادی برخوردار باشد، ممکن است به طور مصنوعی مقدار I_b را افزایش دهد، در صورتی که تأثیر عملی آن در اندازه قطعات ناچیز خواهد بود.

در سنگهای رسوبی، دو دسته درزه عمود برهم به همراه لایه‌بندی حالت رایج قطعات مکعبی یا منشوری را به وجود می‌آورند. در این‌گونه موارد I_b را می‌توان به دقت به صورت زیر محاسبه کرد:

$$I_b = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3}$$

ب) برداشت صحرائی برای شمارش حجمی درزه‌ها (J_v) به سرعت امکانپذیر است. این عمل را می‌توان حتی بدون متر نواری و تنها با شمارش درزه‌ها در جهت عمود بر امتداد درزه‌ها در یک طول ۵ یا ۱۰ متری انجام داد. (۱۰٪ ± خطا قابل قبول است). باید توجه داشت که J_v برابر با $\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + \dots + \frac{1}{S_n}$ نیست.

محاسبه J_v مبتنی بر میانگین فاصله است، نه فراوانترین فاصله‌ای که مشاهده شده است. گرچه نتایج معمولاً مشابه است، ولی باید توجه داشت که توزیع فاصله معمولاً به صورت لوگ - نرمال است. به جز در مواردی که فاصله درزه‌های منظم زیاد یا بسیار زیاد است (مثلاً ۱۰-۱ متر) درزه‌های تصادفی نادری که در سنگ وجود دارد، تأثیر قابل توجهی بر J_v ندارند.

نظر به اینکه امروزه به‌طور گسترده‌ای از RQD در اغلب طبقه‌بندی‌های توده‌سنگ استفاده می‌شود، رابطه تقریبی بین J_v و RQD را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$RQD = 115 - 3/3 J_v \text{ تقریبی}$$

- در صورتی که مقدار $J_v < 4/5$ باشد، مقدار RQD برابر ۱۰۰ است.

ج) داده‌های مربوط به جهت‌یابی گسستگی‌ها اطلاعاتی تکمیلی برای توصیف شکل و نحوه قرارگیری قطعات ناهمسانگرد به دست می‌دهد (مثل صفحات شیبدار یا قطعات ستونی قائم و مانند آن). در مواردی که ابعاد قطعه تا حد قابل قبولی همسان است، تنها به ارائه شکل قطعه بسنده می‌کنیم (مکعبی، لوزی، منشوری، چهاروجهی، نامنظم و غیره).

۱۱-۳ نمایش داده‌ها

الف) فراوانترین مقدار قرائت شده برای شاخص اندازه قطعات (I_b) برای هر محدوده موردنظر ثبت می‌شود. به‌همراه آن مقادیر I_b نمونه برای بزرگترین و کوچکترین قطعات هر محدوده نیز یادداشت می‌شود. به‌همراه این داده‌ها بهتر است، تعداد دسته درزه‌ها و تداوم آنها نیز قید شود.

ب) مقدار شمارش حجمی درزه (J_v) برای هر محدوده موردنظر ثبت می‌شود. بهتر است که به‌همراه J_v تعداد دسته درزه‌ها و تداوم آنها نیز قید شود.

ج) توده سنگ و شکل قطعات آن توصیف می‌شود (توده‌ای، قطعه‌ای، صفحه‌ای، ستونی، خردشده و...). در صورت امکان اندازه و شکل قطعات با عکسهای گرفته شده یا طرحهای کشیده شده، از رخنمونهای نمونه توده سنگ، ارائه شوند.

۱۲- برداشت مغزه حفاری

بررسی گسستگیهای سنگ در "مغزه حفاری"^۱ از ویژگیهای خاصی برخوردار است. بدیهی است که در مراحل اولیه بررسیهای صحرایی، مغزه حفاری در دسترس نیست. در این مرحله از بررسیها، محل، تعداد، عمق و جهت یابی گمانه‌های احتمالی، باتوجه به وضعیت گسستگیها، مشخص می‌شود.

در مواردی که مغزه حفاری در دسترس است باید ابتدا بر مبنای پارامترهای زیر توصیف شوند:

الف) مغزه بازیابی شده^۲

ب) فراوانی گسستگیها^۳

ج) شاخص کیفی سنگ^۴

۱۲-۱ روش کار

الف) وسایل موردنیاز عبارتند از: متر نواری حداقل ۳ متری که با درجات میلتری مدرج شده است، نقاله برای تعیین زاویه بین محور مغزه حفاری و گسستگیها، وسایل لازم برای شستشوی مغزه. در بررسیهای دقیقتر ممکن است به یکی از وسایل زیر نیز نیاز باشد: پرسکوپ گمانه‌ای، دوربین تلویزیونی و وسیله اندازه‌گیری سطح آب به همراه کابل‌های مربوط.

ب) ابتدا مغزه‌های سنگی باید شسته شوند. در مواردی که مغزه دارای گسستگیهای پر شده است یا اینکه جنس سنگ آرژیلیتی^۵ است و نسبت به مرطوب و خشک شدن حساس است، باید از شستشوی مغزه اجتناب کرد. قبل از آغاز توصیف دقیق مغزه باید مرزها و اشکال زمین‌شناسی موجود در آن شناسایی شود. علاوه بر آن باید نشانه‌های معرف عمق افقهای زمین‌شناسی و همچنین شروع و انتهای هر دور حفاری، کنترل شود و خطاهای احتمالی آنها مشخص شود.

1. Drill core

2. Total core recovery

3. Discontinuity frequency

4. Rock quality designation (RQD)

5. Argillaceous rock

مغزه بازیابی شده: عبارت از مجموع طول قطعات مغزه بازیابی شده است که به صورت درصدی از طول گمانه حفاری شده نشان داده می‌شود. در مواردی که مغزه خرد شده است، باید قطعات را کنار هم قرار داد و تا حد امکان مغزه را بازسازی کرد و سپس طول آن را اندازه گرفت.

مغزه بازیابی شده در یک گمانه، یا برای هر دور حفاری حساب می‌شود. نتایج به دست آمده در یک توده سنگ ضعیف به مقدار زیادی به تجهیزات حفاری مورد استفاده و مهارت حفار بستگی دارد. سایش و آسیاب شدن مغزه حفاری ممکن است از دست رفتن بیش از حد مغزه را به همراه داشته باشد. مغزه‌هایی که چنین صدماتی دیده‌اند باید قید شوند. کل مغزه بازیابی شده در مرحله اول از "نمودار حفاری"^۱ تهیه شده به دست حفاران محاسبه می‌شود. از این رو باید راهنمایی‌های کافی به حفاران داده شود تا عمق حفاری در ابتدا و انتهای هر محدوده از دست رفته مغزه^۲، مشخص شود. به این منظور در جایی که مغزه از دست رفته است یک قطعه چوب که روی آن عمق شروع و پایان نیافتن مغزه مشخص شده، در جعبه مغزه قرار داده شود.

فراوانی گسستگیها: تعداد گسستگیهای طبیعی که در هر متر از مغزه وجود دارد، فراوانی گسستگیها نامیده می‌شود. نظر به اینکه جهت یابی گسستگیها در این مرحله مورد نظر نیست، لذا گمانه‌های دارای جهت یابی متفاوت، فراوانی‌های متفاوتی از گسستگی را به دست خواهند داد. شکستگیهای ناشی از عملیات حفاری و جابه‌جا کردن نمونه‌ها باید به دقت شناسایی شده و در تعیین فراوانی گسستگیها محسوب نشوند. شکستگیهای مصنوعی، تازه و عاری از هوازدگی و پرتشدگی اند.

شاخص کیفی سنگ (RQD): عبارت است از درصد بازیابی آن گروه از مغزه‌هایی که طولی برابر یا بیش از ۱۰ سانتیمتر دارند. در اینجا مغزه‌های کوتاهتر حاصل درزه‌های با فاصله کمتر، گسلها، خردشدگیها و هوازدگی حذف می‌شوند. طول مغزه حفاری در امتداد محور آن اندازه‌گیری می‌شود. در مواردی که مغزه در خلال جابه‌جایی، یا در خلال حفاری شکسته باشد، باید در کنار هم جفت شده و به صورت یک قطعه واحد محاسبه شوند (البته اگر طول قطعات در هم جفت شده، مساوی یا فراتر از ۱۰ سانتیمتر است).

موادی که از سنگهای اطراف ضعیفتر هستند (مثل گوزهای بیش تحکیم یافته^۳)، حتی اگر طولی برابر یا فراتر از ۱۰ سانتیمتر داشته باشند، به حساب نمی‌آیند. باید توجه داشت که این‌گونه مواد تنها در صورتی که از پیشرفته‌ترین وسایل و خبیره‌ترین حفاران استفاده شود، ممکن است بازیابی شوند.

مقدار RQD برای هر نوبت از حفاری محاسبه می‌شود. در این رابطه مقادیر RQD مربوط به هر لایه، محدوده

1. Drilling log

2. Core loss

3. Over consolidated gouge

ساختی، مناطق ضعیف و غیره باید به طور جداگانه محاسبه شود، به این ترتیب تصویر دقیقتری از محل، عرض و مناطق دارای RQD کم یا صفر مشخص می‌شود.

۱۲-۲ داده‌های تکمیلی

به دنبال ثبت اطلاعات مربوط به مغزه بازیافتی، فراوانی گسستگیها و شاخص کیفی سنگ، موارد زیر در مورد توصیف پارامترهای ده‌گانه مربوط به گسستگیها آورده می‌شود. ترکیبی از بررسی مستقیم مغزه حفاری، مشاهده دیواره گمانه (پریسکوپ یا دوربین تلویزیونی گمانه‌ای)، یا آزمایش تزریق آب، برای آن گروه از پارامترهایی که در نمونه‌های مغزه بازیافتی کم و بیش تغییر کرده‌اند (چون بازشدگی، پرشدگی و نشست آب)، انجام می‌شود.

۱۲-۳ جهت یابی

جهت ظاهری کلیه گسستگیهایی که مغزه را قطع می‌کند، باید اندازه‌گیری شود. به این منظور باید زاویه حاده بین محور مغزه و هر گسستگی (θ) توسط نقاله، با دقت $\pm 5^\circ$ ، اندازه‌گیری شود. در حالی که گمانه قائم باشد، مقدار شیب حقیقی هر گسستگی عبارت از $90 - \theta$ است. باید توجه داشت که بدون در دست داشتن مغزه جهت یابی شده، امکان تعیین جهت شیب یا امتداد گسستگیهای برداشت شده در مغزه حفاری وجود ندارد. در مواردی که تعداد دو یا بیشتر، گمانه غیر موازی با هم در توده سنگ حفر شده است، اگر اشکال قابل تشخیصی چون لایه‌بندی یا فولیاسیون^۱ در توده سنگ وجود دارد، می‌توان با استفاده از تکنیکهای ترسیمی، مخصوصاً استریوگرافیک، شیب و جهت شیب واقعی گسستگیها را تعیین کرد.^۲

در صورتی که بررسیهای سطحی قبلی، جهت یابی تقریبی دسته‌درزه‌هایی را مشخص کرده است، می‌توان از گمانه‌های با جهت یابی مشخصی، برای کنترل جهت یابی این گسستگیها در اعماق، استفاده کرد. در مواردی که احتمال برخورد به درزه‌های قائم و افقی وجود دارد، پیشنهاد می‌شود گمانه‌های غیر قائم و با شیب زیاد (مثلاً با شیب 60° درجه) حفر شود.

در مواردی که ابزار ویژه جهت یابی به کار گرفته شود، می‌توان مقادیر مربوط به شیب و جهت شیب گسستگیها را از یک گمانه منفرد نیز به دست آورد. در این ارتباط چند روش متفاوت وجود دارد.

الف) جهت یابی مغزه بر مبنای جهت اندازه‌گیری شده در هر حفاری که به نام روش کرالیوس^۳ معروف است. در

1. Foliation

2. Phillips, 1971

3. Craelius method

جایی که بتوان قطعات مجاور هم مغزه را بخوبی در کنار هم جفت و جور کرد، این روش به خوبی نتیجه می دهد. وجود مناطقی که مغزه بازیافتی وجود ندارد یا گسستگیهایی که به طور عمود مغزه را قطع می کند، کارایی این روش را به طور کلی کاهش می دهد.

ب) جهت یابی مغزه توسط خط انداز فولادی و ابزار جهت یابی^۱

ج) روش نمونه گیری یکپارچه^۲. در این روش ابتدا در عمق دلخواه یک گمانه با قطر کم حفر شده سپس یک آرماتور دارای جهت یابی مشخصی در داخل آن قرار داده شده و با تزریق سیمان محکم می شود. سپس مرحله دوم حفاری با قطر بیشتر انجام شده و به این ترتیب مغزه یکپارچه و دارای جهت یابی مشخص که در محور آن آرماتور فولادی قرار دارد، به دست می آید.

د) مقدار و جهت شیب گسستگیها را همچنین می توان به وسیله بررسی مستقیم گمانه با دوربینهای تلویزیونی مخصوص، یا پریسکوپ گمانه ای به دست آورد. دوربین تلویزیونی را می توان به گونه ای جهت یابی کرد که سطوح گسستگیها به صورت یک خط مستقیم بر روی صفحه نمایش^۳ نشان داده شود. در چنین شرایطی جهت و مقدار شیب را به سادگی می توان اندازه گیری کرد. گرچه دوربینهای تلویزیونی را تا عمق ۴۰۰ متر نیز به کار برده اند، با این حال معمولاً نتایج رضایتبخش را تنها می توان در اعماق کمتر از ۱۵۰ متر به دست آورد. کمترین قطر گمانه برای استفاده از دوربین ۷۶ میلیمتری است. در گمانه های با قطر کمتر می توان از پریسکوپ گمانه ای استفاده کرد. باید توجه داشت که به علت اعوجاج و انحراف مسیر نور در فواصل زیاد، استفاده از پریسکوپ برای اعماق کمتر از ۳۰ متر محدود می شود.

۱۲-۴ فاصله

در سنگهایی که دارای فولیاسیون یا لایه بندی مشخصی هستند، با انطباق قطعات مغزه در کنار هم، می توان فاصله حقیقی درزه های فولیاسیون، درزه های موازی لایه بندی یا دیگر درزه های منظمی که به طور مورب مغزه را قطع کرده اند، نیز به دست آورد. در اینجا فاصله (S) به طول (L) اندازه گیری شده بین دو گسستگی متوالی یک دسته درزه، در امتداد محور مغزه و زاویه حاده (θ) ای که این اشکال با محور مغزه به وجود می آورند، بستگی دارد، از این رو:

$$S = L \sin \theta \quad (1-12)$$

زاویه θ بین محور مغزه و هر درزه متعلق به یک دسته درزه به اندازه زوایایی که با مشاهده مستقیم و در رخنمونها اندازه گیری شوند، قابل اطمینان نیستند. در مواردی که یک دسته درزه عمود بر محور گمانه قرار گرفته است، فاصله را به طور مستقیم می توان اندازه گیری کرد، زیرا در این حالت S برابر L است.

در مواردی که سنگ فاقد اشکال مشخصی چون لایه بندی و فولیاسیون است، برآورد فاصله در هر دسته درزه به میزان انطباق قطعات مغزه در کنار هم بستگی دارد. در چنین شرایطی، وجود مناطقی که مغزه به دست نیامده، کار بررسی را پیچیده تر می کند. با این وجود اگر درزه هایی که مغزه را قطع می کنند، دارای زاویه تقاطع (θ) متفاوتی بوده و یا اشکال سطح درزه در آنها متفاوت باشد (مثل پوشش کانیه، ناهمواری سطحی، ...)، این امکان وجود دارد که فاصله مربوط را برای گروه درزه هایی که زاویه تقاطع کم و بیش مشابهی دارند، برآورد کرد. به کارگیری ابزارهای قابل توجه مشاهده مستقیم دیواره گمانه، همچون پریسکوپ و دوربین تلویزیونی، به صورت قابل توجهی اعتبار اندازه گیریها را افزایش خواهد داد.

۱۲-۵ تداوم

به جز در مواردی که گمانه ها در شبکه ای نزدیک به هم حفر شده اند، آنچنان که در مورد گمانه های حفر شده برای تزریق و ایجاد پرده آبنند وجود دارد، امکان تعیین تداوم گسستگیها با بررسی مغزه حفاری یا مشاهده مستقیم دیواره گمانه وجود ندارد. در مواردی که شبکه بهم فشرده ای از گمانه ها وجود دارد، نیز تنها پس از بررسی و مقایسه دقیق برداشتهای گمانه های مختلف امکان برآورد تداوم یک درزه، یا یک دسته درزه، به وجود خواهد آمد.

۱۲-۶ ناهمواری

ناهمواری دیواره درزه ها را منحصرأ نمی توان با بررسی مغزه حفاری مشخص کرد، با این وجود می توان به هر سطح، درجه ای از مسطوی بودن (مثل: مسطوی، دارای انحناء، نامنظم) و درجه ای از همواری (مثل: دارای خش لغزش، هموار، ناهموار) را منسوب کرد.

بررسی مستقیم دیواره گمانه توسط پریسکوپ و دوربین تلویزیونی معمولاً می تواند اطلاعات بیشتری در ارتباط با ناهمواری سطح درزه ها به دست دهد، مگر در مواردی که به علت ضعیف بودن سنگ و یا بد اجرا شدن حفاری، سایش و آسیاب شدن مغزه، اتفاق افتاده است.

۱۲-۷ مقاومت دیواره

روشهای تعیین مقاومت دیواره درزه را می‌توان در مورد شکستگیهای موجود در مغزه حفاری نیز به کار برد (قسمت ۶، مقاومت دیواره). نظر به اینکه مغزه حفاری نمونه‌ای خطی از توده سنگ به دست می‌دهد، لذا به سادگی می‌توان به وسیله آن عمق نفوذ هوازدگی در دیواره گسستگیها را مشاهده و به دقت توصیف کرد. علاوه بر آن از مغزه حفاری می‌توان برای آزمایشهای مکانیکی مانند: آزمایش با چکش اشमित، برای تعیین مقاومت دیواره یا آزمایش بارگذاری نقطه‌ای برای تعیین مقاومت مواد سنگی، استفاده کرد. فرانکلین و دیگران (۱۹۷۱) پیشنهاد کرده‌اند که آزمایش بارگذاری نقطه‌ای ترجیحاً بلافاصله بعد از خارج شدن مغزه از محفظه مغزه‌گیر و در جهتی عمود بر محور مغزه انجام شود. در زمان تعیین مقاومت مواد دیواره باید ابتدا از جفت شدن دو قطعه مغزه مجاور هم مطمئن شد. عدم جفت شدن دو دیواره می‌تواند معرف شسته شدن بخشی از مواد پرکننده گسستگی، جابه‌جایی برشی یا سایش بخشی از مواد هوازده دیواره در خلال فرآیند حفاری باشد.

۱۲-۸ بازشدگی

میزان دقیق بازشدگی درزه‌ها را تنها با روش "نمونه‌گیری یکپارچه" می‌توان تعیین کرد، در غیراین صورت تنها می‌توان برآوردی تقریبی از بازشدگی به دست داد. در مواردی که بتوان دو تکه مغزه دوسوی یک گسستگی را درکنار هم جفت کرد، به صورتی که هیچ‌گونه فضایی بین آنها، وجود نداشته باشد، این احتمال وجود دارد که با یک گسستگی تقریباً بسته تا بسته (بازشدگی ۰/۵ تا کمتر از ۰/۱ میلی‌متر) روبه‌رو باشیم. البته احتمال وجود یک گسستگی نسبتاً باز تا باز نیز منتفی نیست. برای کنترل این مطلب باید هم‌محور بودن دو قطعه جفت شده کنترل شود. اگر دو قطعه مغزه مجاور کاملاً در هم جفت نشوند و یا اگر حفره‌ای مشاهده شود، می‌توان از واژه "باز" جهت توصیف گسستگی استفاده کرد. در عمل دیده شده که آنچه در مغزه حفاری به صورت گسستگی باز یا تقریباً باز مشاهده می‌شود، در حالت طبیعی ممکن است یک گسستگی بسته بوده و به دلیل شسته شدن مواد پرکننده گسستگی یا سایش بخشی از مواد هوازده سطح گسستگی در خلال حفاری، حالت باز به خود گرفته باشد.

با مشاهده دیواره گمانه به وسیله دوربین تلویزیونی یا پریسکوپ معمولاً می‌توان حالت باز یا بسته بودن این درزه‌ها را تشخیص داد. با این حال اندازه‌گیری میزان بازشدگی، مخصوصاً در درزه‌های با بازشدگی کم، معمولاً مشکل است. درزه‌های باز بیشترین اهمیت را از دیدگاه پتانسیل نشت و تراوش آب دارند، از این رو مسئله فوق در جاهایی که با سنگهای به شدت نفوذپذیر روبه‌رو هستیم، مهم نیست. امروزه روشهایی برای برآورد میزان بازشدگی تئوریک یک درزه هموار، با تحلیل آماری نتایج آزمایش تزریق آب، ابداع شده است. البته باید توجه داشت که بازشدگی واقعی ممکن است به دلیل ناهمواریهای سطح درزه چندین برابر بازشدگی تئوریکی باشد که این‌گونه محاسبه می‌شود.

۹-۱۲ پر شدگی

مواد نرم پرکننده گسستگیها معمولاً به وسیله حفاری و مغزه‌گیری بازیابی نمی‌شوند، مگر آنکه از روش مغزه‌گیری یکپارچه، که پیشتر اشاره شده، استفاده شود یا اینکه از ابزارهای پیشرفته حفاری (مغزه‌گیر دو یا سه جداره، مغزه‌گیر دوکفه‌ای)^۱ و جریان آب تحت کنترل استفاده شود. با روشهای متداول حفاری تنها می‌توان مقادیر جزئی از مواد رسی را که به دیواره گسستگی چسبیده‌اند، بازیابی کرد. پر شدگیهای بازیابی شده را باید از نظر ضخامت، مقاومت و کانی‌شناسی توصیف کرد.

در جاهایی که کل مغزه بازیافتی کمتر از صد در صد است، این احتمال وجود دارد که مقدار قابل توجهی از مواد پرکننده یا هوازده در خلال فرآیند حفاری شسته شده باشد، باید برآوردی از ضخامت، محل و جهت یابی این مناطق مظنون به پر شدگی قید شود. یاداشتهای حفاران که در آن، سرعت پیشروی حفاریها، مقدار فرار آب از گمانه، نوع خرده سنگهای بازیابی شده و رنگ آب برگشتی قید شده، می‌تواند در این راستا به کار گرفته شود.

نظر به اینکه پر شدگیها با همه اهمیتی که در تغییر شکل، پایداری و نشت آب دارند، با روشهای سنتی حفاری و نمونه‌گیری قابل شناسایی نیستند، از این رو اغلب لازم می‌شود تا از تکنیکهای پیشرفته بازیابی مغزه یا روشهای مشاهده و تصویربرداری از دیواره گمانه استفاده کرد.

۱۰-۱۲ نشت آب

بررسی مغزه حفاری، ممکن است نشانه‌ای غیرمستقیم از میزان نشت آب به دست دهد. رنگ برگشتگی قهوه‌ای متمایل به قرمز آهن سه ظرفیتی، معمولاً معرف بخشی از توده سنگ است که بالاتر از سطح ایستابی قرار دارد. باید توجه داشت که اکسید شدن دیواره گسستگیها در زیر سطح ایستابی هم ممکن است صورت گیرد، ولی میزان آن بسیار کمتر است. به‌طور معمول محکمترین اکسید آهنها در محدوده نوسانهای سطح ایستابی یافت می‌شود.

سطح ایستابی را در گمانه‌های حفاری به سادگی می‌توان با ابزارهای ساده‌ای تعیین کرد. این وسایل که معمولاً با باتری کار می‌کنند به داخل گمانه رانده شده و در برخورد به سطح ایستابی اتصال آنها برقرار می‌شود. اطلاعات اضافی در مورد سطح ایستابی را می‌توان از نمودار گمانه‌ها به دست آورد. برای تشخیص محل نشت یا جریان آب در گمانه می‌توان از پرسکوپ یا دوربین تلویزیونی گمانه استفاده کرد. آزمونهای برآورد تراوایی توده‌سنگ و تعیین قابلیت انتقال هیدرولیکی یک گسستگی یا یک دسته از گسستگیها (آزمایش بار افتان، آزمایش لوژون، آزمایش

1 - Split Spoon Sampler

ردیابها و اندازه‌گیری پیزومترها) از سوی انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ISRM) و همچنین با استانداردهای وزارت نیرو^۱ تشریح شده‌اند. ارائه نتایج آزمایش لوژون، در صورتی که در دسترس است، همراه با نتایج مربوط به بازیابی مغزه حفاری، فراوانی شکستگیها و RQD اطلاعات با ارزشی را در اختیار قرار خواهد داد.

۱۱-۱۲ تعداد دسته درزه‌ها

میزان اطلاعات قابل حصول از مغزه‌ها و گمانه‌های اکتشافی به جهت یابی گمانه‌ها نسبت به دسته‌درزه‌های موجود در توده سنگ و همچنین طول گمانه‌ها نسبت به فاصله بین درزه‌ها بستگی دارد. در صورتی که بررسیهای سطحی جهت یابی تقریبی برخی از دسته‌درزه‌ها را مشخص کرده باشد، با گمانه‌هایی که جهت یابی آنها کاملاً مشخص است، می‌توان تعداد دسته‌درزه‌ها را در عمق کنترل کرد. در همین ارتباط حداقل دو عدد از گمانه‌ها نباید موازی یکدیگر باشند. تعداد دسته درزه‌هایی که در سطح مشاهده می‌شود، اغلب بیشتر از تعدادی است که در عمق به آن برخورد می‌شود.

۱۲-۱۲ اندازه قطعات

تداوم و جهت یابی اندازه قطعات توسط عواملی چون: فاصله گسستگیها و تعداد دسته‌درزه‌ها کنترل می‌شود. نمودار اندازه قطعات که متکی بر مشاهدات مغزه حفاری است، تنها می‌تواند برآوردی تقریبی و کلی از اندازه قطعات واقعی سنگ باشد.

روشی سریع برای برآورد اندازه تقریبی قطعات با مغزه حفاری، انتخاب چشمی چند قطعه نمونه مغزه و تعیین ابعاد میانگین آنها (با تقریب $\pm 10\%$) است. این برآورد را می‌توان در هر واحد سنگی یا محدوده مشخصی از سنگ انجام داد. اگر گمانه‌ها به گونه‌ای جهت یابی شده‌اند که همه دسته‌درزه‌های موجود در سنگ قطع شده‌اند (به عنوان مثال در حالت سیستم درزه‌های مکعبی، گمانه قطری حفر شده باشد)، متوسط قطعات مغزه اندازه‌گیری شده، به‌طور تقریبی نمایشگر "شاخص اندازه قطعات" خواهد بود. نموداری که تغییرات این شاخص را در عمق نشان دهد، توصیفهای ارائه شده در مورد مغزه حفاری را تکمیل خواهد کرد.

۱۳-۱۲ سایر موارد

الف) در زمان برآورد فراوانی گسستگیها و RQD از روی مغزه حفاری، باید شکستگیهای مصنوعی و تازه را که به

۱- استاندارد آزمایشهای تراوایی، ۱۳۷۴، ۱۵۵-الف، طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور.

وسیله فرآیند حفاری یا برای جادادن مغزه‌ها در جعبه مغزه ایجاد شده، حذف کرد. نکات زیر می‌تواند برای تشخیص گسستگیهای طبیعی از شکستگیهای مصنوعی به کار آید:

- یک سطح ناهموار شکست ترد با سطوح رخ تازه در بلور کانیها معرف یک شکستگی مصنوعی است.
- یک سطح عمدتاً هموار یا تا حدی هوازده با مواد پوشاننده نرم یا مواد پرکننده‌ای چون تالک، ژپس، کلریت، میکا یا کلیست معرف یک گسستگی طبیعی است.
- در سنگهای دارای فولیاسیون، رخ یا لایه‌بندی، موازی با گسستگیهای سنگ، تفکیک بین گسستگیهای طبیعی و شکستگیهای مصنوعی مشکل است.
- بسته به نوع وسایل حفاری به کار گرفته شده، ممکن است بخشی از مغزه در محفظه داخلی بچرخد و باعث سایش سطح گسستگی شود. در سنگهای ضعیف معمولاً مشکل است که بتوانیم در مورد طبیعی یا مصنوعی بودن سطوح مدور حاصله تصمیم‌گیری کنیم. در هر جا که شک وجود دارد، باید فرض محافظه‌کارانه، یعنی طبیعی بودن شکستگی را در نظر بگیریم.
- بسیار بجا خواهد بود اگر تواتر رخداد شکستگیهای مصنوعی را ثبت کنیم (به همراه RQD پایین‌تر مربوط به آن). این اطلاعات برای تعیین نقش آشکاری در سنگهای رسوبی ضعیفتر یا سنگهای دگرگونی دارای فولیاسیون یا شیستی، به کار می‌آید.

ب) میزان شکسته شدن مغزه در طول فرآیند حفاری می‌تواند تا حدی تابع قطر مغزه در سنگهای ضعیفتر باشد. نظر به اینکه برخی از شکسته‌شدنهای مصنوعی را به سختی می‌توان از انواع طبیعی تشخیص داد (مثل حالت سنگهای ضعیف دارای رخ یا فولیاسیون)، بهتر است که قطر مغزه حفاری، در جاهایی که مقاومت سنگ مورد سؤال است کمتر از NX (۵۵ میلیمتر) نباشد. استفاده از مغزه‌های با قطر کمتر (مثلاً ۳۲ یا ۴۲ میلیمتر) مسئولیت خدمه حفاری را برای دستیابی به مغزه‌های بدون شکستگی مصنوعی دوچندان می‌کند. روشی برای تصحیح RQD نسبت به مغزه با قطر استاندارد NX توسط هیوز^۱ (۱۹۷۱) ارائه شده است.

ج) اندازه طول قطعات مغزه را به صورتهای مختلفی می‌توان برداشت کرد (شکل ۲۲). روش پیشنهادی در این مورد، اندازه‌گیری طول قطعه در امتداد محور مغزه است.

د) نتایج تهیه نمودار از مغزه (فراوانی گسستگیها و RQD) در برخی از انواع شیلها و گل‌سنگهایی که فرآیند دیاژنز^۲ و سنگ‌شدگی را به‌خوبی تحمل نکرده‌اند، تا حد زیادی وابسته به زمان و میزان رطوبت سنگ است. در همین ارتباط می‌توان از پدیده "دیسک"^۳ شدن مغزه نام برد که طی آن در یک مغزه یکپارچه، بر اثر گذر زمان، شکستگیهایی ایجاد

1. Heuze

2. Diagenesis

3. Disking

می‌شود. این پدیده به چند صورت مختلف دیده می‌شود.

- ترک خوردگی ناشی از رها شدن از تنش (و تورم) در مغزه‌هایی که از نواحی تحت تنش بالا گرفته می‌شوند. این حالت بیشتر در مغزه‌های گرفته شده در سنگهای شیلی دیده می‌شود.
- ترکهای ناشی از دست دادن آب که در سنگهای ضعیفتر شیلی و گلسنگی دیده شده و می‌تواند در کمتر از چند دقیقه باعث کاهش RQD از ۱۰۰٪ به ۰٪ شود. یکپارچگی اولیه در این سنگها احتمالاً به علت فشار منفی آب منفذی است.
- ترکهایی که در برخی از شیلها و گلسنگها و بر اثر مرطوب شدن آنها ایجاد می‌شود.

کلیه این پدیده‌ها باعث می‌شوند که مقادیر فراوانی گسستگیها و RQD محاسبه شده از اعتبار کمتری برخوردار باشند. در مواردی که امکان وقوع چنین پدیده‌هایی وجود دارد، باید برداشت مغزه حفاری را زمین‌شناس مهندس بلافاصله بعد از خارج شدن مغزه‌ها از گمانه و در فواصل زمانی بعد از آن تا زمان رخداد پدیده مورد انتظار انجام دهد. در چنین شرایطی زمین‌شناس مهندس می‌تواند با آزمونهای شاخصی چون بارگذاری نقطه‌ای و به کارگیری چکش اشمیت، در محدوده زمانی که مغزه در حالت اشباع است، اطلاعات مناسبی گردآوری کند.

ها) در برخی حالات می‌توان علاوه بر تعیین "درصد مغزه بازیابی شده" مقدار "مغزه کامل بازیابی شده"^۱ را نیز محاسبه کرد. حالت اخیر به مجموع طول قطعات مغزه‌ای اطلاق می‌شود که پیرامون کاملی دارند. این دو نوع بازیابی زمانی مقادیر یکسانی را نشان خواهند داد که هیچ‌گونه خرده مغزه‌ای بازیابی نشده و این در حالی است که سنگ حالت توده‌ای دارد.

و) عکسهای رنگی می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد برای ثبت رنگ و حالت ظاهری مغزه به کار آید. علاوه بر آن عکسی از هر جعبه مغزه، در حالی که در لبه کناری جعبه یک مقیاس (سانتیمتری) قرار دارد، مفید خواهد بود. مناطق از دست رفته مغزه باید با قطعات چوبی که روی آن عمقی که مغزه گرفته نشده نوشته شده، مشخص شود. ترک کردن مغزه‌ها قبل از گرفتن عکس، تمایز^۲ خوبی بین انواع مختلف سنگ و حالت‌های نواری احتمالی موجود در سنگ، ایجاد می‌کند. ترک کردن، نمی‌تواند کمکی به تشخیص بهتر درزه‌ها بکند، چون بر اثر ترک شدن، نمونه به طور کلی تیره تر می‌شود.

۱۲-۱۴ ارائه نتایج

نظر به اینکه نیازهای طرحهای مهندسی مختلف متفاوت است، استاندارد خاصی برای نتایج بررسیهای مغزه حفاری ارائه نمی‌شود.

1. Solid core recovery

2. Contrast

به این منظور فهرست کنترل زیر ارائه می‌شود تا مواردی از آن که بسته به هدفهای پروژه مفید تشخیص داده می‌شود، در گزارش نتایج قید شود:

الف) اطلاعات عمومی :

- شماره گمانه
- نام محل یا پروژه
- مختصات یا محل در شبکه
- ارتفاع رأس گمانه
- جهت‌یابی گمانه (جهت شیب و شیب، α/β)
- نوع دستگاه حفاری، نوع سرمته و مغزه گیر

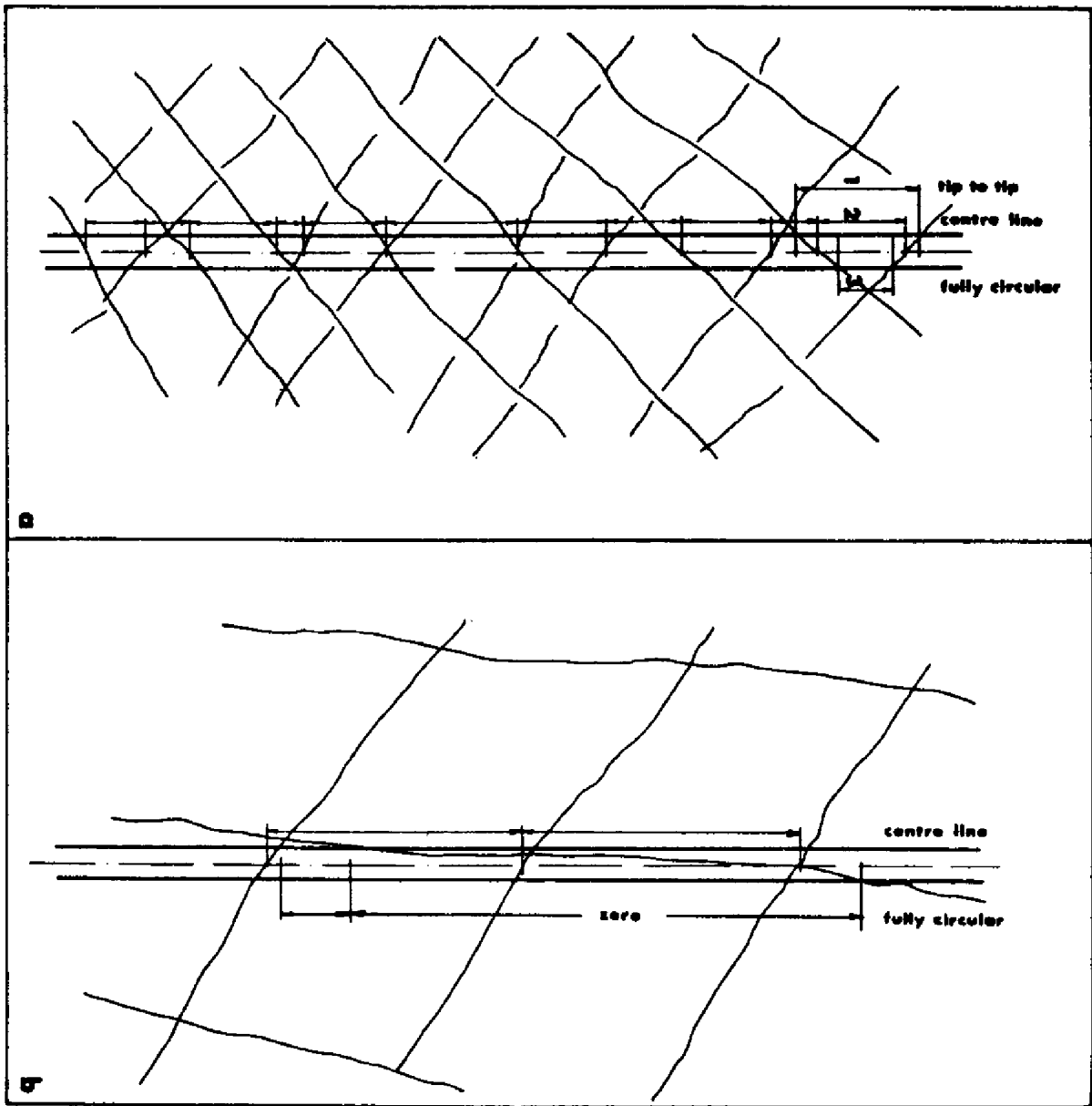
ب) نمودار (لاگ) گمانه

- نمودار نمایش دهنده نوع سنگ (به همراه کلید معرفی‌کننده نشانه‌ها)
- نمودار شاخص بارگذاری نقطه‌ای (I_s)
- نمودار مغزه بازیابی شده
- نمودار نتایج آزمایش لوژون (به واحد لوژون) و سطح ایستایی
- نمودار فراوانی گسستگیها
- نمودار شاخص کیفی سنگ (RQD)
- نمودار شاخص اندازه قطعات (I_b)
- نمودار نمایش دهنده شیب گسستگیهای اصلی

ج) داده‌های تکمیلی :

لازم است که در یک سمت نمودارهای (لاگهای) فوق و در یک ستون عریض، مواردی از فهرست زیر به صورت توصیفی ارائه شود:

- فاصله (برآورد تعداد دسته درزه‌ها)
- ناهمواری
- درجه هوازدگی
- نتایج آزمایش با چکش اشمیت (مقاومت دیواره JCS)
- بازشدگی
- پرشدگی و رنگ برگشتی آهنی



شکل ۲۲- روشهای اندازه‌گیری قطعات مغزه حفاری
 پیشنهاد می‌شود که همواره طول اندازه‌گیری شده در امتداد محور مغزه مورد استفاده قرار گیرد.

پیوست ۱: یک نمونه برگه پیشنهادی برای ثبت داده‌های گسستگیهای سنگ (معماریان ۱۳۷۴) صفحه از صفحه

۲- عنوان:			۴- برداشت‌کننده:
روز	ماه	سال	
۵- تاریخ:			

ایستگاه	جهت‌یابی (درجه)		تداوم	فاصله	ناهمواری	مقاومت دیواره	بازشدگی	پرشدگی	مقاومت هوا	نش آب	ملاحظات (ارائه اطلاعات، بیشتر به صورت توصیفی)
	شیب	جهت شیب (آزیموت)									
۱۱	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳

۱۲- نوع گسستگی	۱۵- تداوم (متر)	۱۶- فاصله (متر)	۱۷- ناهمواری	۱۸- مقاومت دیواره	۱۹- بازشدگی (میلی‌متر)	۲۰- پرشدگی	۲۱- مقاومت مواد پرکننده
۰۰- نامشخص	۱-۱ <	۱-۲ >	۱- پله‌ای	۱- تازه	۱- ۰/۱ <	۰۰- تمیز	مشابه بند ۱۸
۱- زون گسله	۱-۳-۲	۰/۶-۲-۲	۲- موج	۲- کمی هوازده	۲- ۰/۱-۰/۵	۱- رنگ‌برگشتگی	
۲- گسل	۳-۱۰-۳	۰/۲-۰/۶-۳	۳- مسطح	۳- نسبتاً هوازده	۳- ۰/۵-۲/۵	۲- رس	۲۲- نشست آب
۳- درز	۱۰-۲۰-۴	۰/۰۶-۰/۲-۴	a- زبر	۴- به شدت هوازده	۴- ۲/۵-۱۰	۳- لای	۱- خشک
۴- رخ	> ۲۰-۵	< ۰/۰۶-۵	b- نرم	۵- کاملاً هوازده	۵- ۱۰ >	۴- کلسیت	۲- شواهد جریان
۵- شیب‌سوزتی			c- با خش لغزش	۶- خاک بر جا (جدولهای	(یا مشابه	۵- ژئیس	آب (رنگ‌برگشتی)
۶- شکاف			۲۳-	۴ یا ۵ یا شماره‌های	جدول ۸)	۶- اکسیدها	۳- مرطوب
۷- ترک کششی				۱۱ الی ۱۳ از روی		۷- گوژ	۴- جریان‌کنند آب
۸- فولیاسیون				جدول ۶)		۸- مواد گرمایی	۵- جریان شدید
۹- لایه‌بندی						۹- (درج اطلاعات	(جدول ۱۱ یا
						بیشتر در ملاحظات)	هر مبنای دیگر)

۱۳- منابع و مأخذ

۱-۱۳ معماریان، حسین. زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۵۴ صفحه ۱۳۷۴.
۲-۱۳ معماریان، حسین. زمین شناسی برای مهندسیین (چاپ دوم)، انتشارات دانشگاه تهران، ۷۳۶ صفحه، ۱۳۷۴.
۳-۱۳ معماریان، حسین. روشهای صحرایی بررسی توده سنگ، مجموعه مقالات اولین سمینار سدسازی ایران، جلد دوم، صفحات ۶۸ الی ۸۹ ۱۳۶۶.

13-4 Brown, E.T. (ed) Rock Characterization, Testing and Monitoring , ISRM Suggested Methods, Pergamon Press, 211 PP, 1981 (2nd ed 1986).

Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization - Ministry of Energy

**Instructions for field rockmass
discontinuity survey for
engineering purposes**

No: 189

Office of the Deputy for Technical Affairs
Bureau of Technical Affairs and Standards

1378/2000

این نشریه

با عنوان «دستورالعمل برداشت صدراپی گسستگیهای سنگ در کارهای مهندسی و سدسازی» تهیه شده است. احداث سازه‌های ایمن و کارآمد در سنگ محتاج آگاهی از ویژگیهای آن است. یکی از مهمترین عواملی که رفتار مهندسی سنگ را کنترل می‌کند، گسستگیهای موجود در آن اعم از گسل، درز و لایه‌بندی است. در این دستورالعمل روش استاندارد گردآوری اطلاعات از گسستگیهای سنگها، به صورتی که قابل استفاده در کاربردهای مختلف، از جمله در طبقه‌بندی مهندسی سنگ باشد، فراهم آمده است.

مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات

ISBN 964-425-165-2



9 789644 251658