جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه - وزارت نیرو

دستورالعمل برداشت صحرایی گسستگیهای سنگ در کارهای مهندسی و سدسازی

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

نشریه شماره ۱۸۹

omoorepeyman.ir

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

انتشارات سازمان برنامه و بودجه ۷۸/۰۰/۵۱

۱۳۷۸

omoorepeyman.ir

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: سازمان‌برنامه 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

فهرست‌نویسی براساس اطلاعات فیپا.

کتابنامه: ص.۷۸.

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

TA ۷۰۶/س۲د۵ ۶۲۴/۱۵۱۳۲۰۲۱۸

[TA۳۶۸]

کتابخانه ملی ایران ۷۸-۱۶۸۹۸م

شابک ۲-۱۶۵-۴۲۵-۹۶۴ ISBN 964-425-165-2

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: ۶۰۰۰ریال

چاپ و صحافی: موسسه زحل چاپ

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

omoorepeyman.ir

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه
دفتر فنی

تاریخ :
شماره :
پیوست :

بسمه تعالی

به: تمامی دستگاههای اجرایی و مهندسان مشاور	شماره: ۱۰۲/۴۸۵۷ـ۵۴/۴۲۱۶ تاریخ: ۱۳۷۸/۸/۱۰

موضوع: دستورالعمل برداشت صحرایی گسستگی‌های سنگ درکارهای مهندسی و سدسازی

به‌استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه کشور و آئین‌نامه استانداردهای اجرائی طرحهای عمرانی این دستورالعمل از گروه [دوم] مذکوردرماده هفت‌آئین‌نامه‌در [یک] صفحه صادر می‌گردد.

تاریخ مندرج در ماده ۸ آئین‌نامه در مورد این دستورالعمل [۱۳۷۸/۱۱/۱] می‌باشد.

به‌پیوست نشریه شماره ۱۸۹ دفترامورفنی وتدوین معیارهای این سازمان باعنوان "دستورالعمل برداشت صحرایی گسستگی‌های سنگ درکارهای مهندسی و سدسازی" ابلاغ می‌گردد.

دستگاههای اجرایی و مهندسان مشاور می‌توانند مفاد نشریه یادشده و دستورالعمل‌های مندرج در آن را ضمن تطبیق با شرایط کار خود در طرحهای عمرانی مورد استفاده قرار دهند.

محمدعلی نجفی
معاون رییس‌جمهور و رییس
سازمان برنامه و بودجه

کدپستی: ۱۱۴۹۷، آدرس تلگرافی: تهران‌بنا‌سه
شماره‌فکس: فارس ۲۱۶۱۰۳، لاتین ۲۱۲۶۴۲

omoorepeyman.ir

بسمه تعالی

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.

دفترامور فنی و تدوین معیارها

پاییز ۱۳۷۸

omoorepeyman.ir

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	شرکت‌مهندسین مشاور مهاب‌قدس	فوق‌لیسانس مهندسی معدن
آقای فریدون بهرامی سامانی	شرکت مهندسین مشاور تماوان	فوق‌لیسانس زمین‌شناسی مهندسی
آقای عباس رادمان	سازمان مدیریت منابع آب ایران	فوق‌لیسانس مهندسی معدن
آقای حسن عباسی	کارشناس آزاد	لیسانس زمین‌شناسی
آقای حسن مدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	فوق‌لیسانس مهندسی معدن
آقای حسین معماریان	دانشگاه تهران	دکترای زمین‌شناسی مهندسی
آقای محمدحسن نبوی	شرکت مهندسین مشاور آب نیرو	فوق‌لیسانس زمین‌شناسی مهندسی
آقای عبدالرزاق واثقی	وزارت نفت	فوق‌لیسانس مدیریت

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

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

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

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

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

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

omoorepeyman.ir

مقدمه

توده‌های سنگی، متشکل از قطعات سنگ بکرند 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 ساختهای 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 شده‌است.

omoorepeyman.ir

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 یـا دانـه‌ای 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 (هموژن) 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. درنتیجه، 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 توده‌سنگ بیشتر به کمک مشاهدات مستقیم و آزمونها و عملیات صحرایی 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 مـی‌شوند. درزه‌هـا 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 مـتقاطع «سـیستم 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- Folialion

omoorepeyman.ir

«گسل»[1] 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[2]» است. در برخی موارد نیز سنگهای واقع در دیواره گسل خرد و هوازده شده‌اند و در نتیجه مواد پرکننده‌ای چون برش گسلی[3] و گوژ[4] به‌وجود آورده‌اند. عرض منطقه خرد شده، یعنی فاصله بین دو دیواره گسل از چند میلیمتر تا چند صد متر تغییر می‌کند.

۱-۲ 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 تحت‌الشعاع 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. علاوه‌بر 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)[5] 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 به طور 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 آتشباری و اندازه قطعات حاصله تأثیر می‌گذارند.

---

1. Fault
2. Slickenside
3. Fault breccia
4- Gouge
5. International Society of Rock Mechanics

omoorepeyman.ir

۱-۳ روشهای مطالعه گسستگیها

گسستگیهای سنگ را با سه روش عمده می‌توان بررسی کرد :

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

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

قبل از آغاز برداشت صحرایی گسستگیها، باید کلیه اطلاعات موجود درباره منطقه، شامل :گزارشها، عکسهای هوایی و نقشه‌های زمین‌شناسی، گردآوری شود و در صورت لزوم نقشه زمین‌شناسی جدیدی با مقیاسی مناسب تهیه شود. تنها پس از آشنایی با زمین‌شناسی منطقه است که می‌توان صحیح‌ترین 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 «محدوده‌های ساختاری»[1] مجزا تقسیم کرد. بررسیهای ژئوتکنیکی مربوط به هر محدوده باید به‌طور جداگانه صورت گیرد. در بسیاری موارد محدوده‌های ساختاری در عمل «محدوده‌های چینه شناختی - ساختاری»اند.

برداشت صحرایی گسستگیها به دو صورت: با «پیشداوری» (اریب)[2] و «تصادفی»[3] امکانپذیر است. در شرایطی که بتوان زمین را به واحدها و محدوده‌های ساختاری تقسیم کرد، ترجیحاً روش اول به کار گرفته می‌شود. به این ترتیب که در هر محدوده تنها گسستگیهایی که در ارتباط با پایداری مهم تشخیص داده می‌شوند، توصیف می‌شوند. درغیراین صورت روش نمونه‌برداری تصادفی به کار گرفته می‌شود. در این روش، معمولاً کلیه گسستگیهایی که در امتداد یک خط ثابت یا منطقه مشخصی از رخنمون وجود دارند، توصیف می‌شوند.

موقعیت فضایی گسستگیها و وضعیت سطح هر گسستگی عناوین دو گروه اصلی اندازه‌گیریهای صحرایی‌اند.

الف) موقعیت فضایی گسستگیها (جهت‌یابی، تعداد دسته‌ها، فاصله، اندازه قطعات و تداوم درزه‌ها)

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

---

1. Structural domains 2. Biased 3. Random

moorepeyman.ir

۲-جهت‌یابی

۲-۱ برداشت داده‌ها

در صورتی که گسستگی سطحی مسطوی درنظر گرفته شود، «جهت‌یابی»[1] 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: ۰۳۱/۷۴ یا ۲۳۵/۱۳ (شکل ۱).

ساده‌ترین روش تعیین جهت‌یابی 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، ناجوریهای محلی مغناطیسی[2] (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 جهت‌یابی 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 این‌صورت باید مقادیر اندازه‌گیری شده را اصلاح کرد.

جهت‌یابی 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»[3] دوربین تلویزیونی، دوربین عکسبرداری و پریسکوپ مخصوص گمانه نیز برای تعیین جهت‌یابی گسستگیها در گمانه به کار می‌روند. برای اندازه‌گیری جهت‌یابی گسستگیها در یک توده سنگ خرد شده از روشی به نام «نمونه‌گیری یکپارچه»[4] استفاده می‌شود.

---

1. Orientation
2- hocal magnetic anomalies
3. Oriented core barrel
4. Integral sampling method

omoorepeyman.ir

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[1]. 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»[2] در صحرا و نقشه به صورت خطوط مداوم و کم و بیش موازی هم تظاهر می‌کنند، در صورتی‌که پراکندگی گسستگیهای نامنظم، طرحی تصادفی دارد. نتیجه اینکه «درزه‌های نامنظم»[3] 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 همبری 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 درمورد 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 ازجمله: محدوده‌های ساختاری، موقعیت فضایی گسستگیها و دیگر ساختهای موجود در سنگ، وضعیت دامنه‌ها و تکیه‌گاه‌ها و بالاخره رابطه همه آنها را با سازه موردنظر می‌توان نشان داد (شکل ۲).

ج) از دیگر روشهای نمایش داده‌های مربوط به جهت‌یابی، استفاده از «نمودار گلسرخی[4]» 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 راکه 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 (شکل۳).

د) امروزه با به‌کارگیری تصویرهای کروی و نمایش گسستگیها در شبکه‌های استریوگرافیک[5]، ضمن رفع مشکلات پیش‌گفته، تصویر دقیقی از موقعیت فضایی درزه‌ها و دسته درزه‌ها ترسیم می‌شود. در این‌جا با به‌کارگیری شبکه‌های

---

1. Brown, 1981
2. Systematic joints
3. Non - systematic joints
4. Rose diagram
5. Stereographic nets

omoorepeyman.ir

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 دوایر 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 درنظر 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.

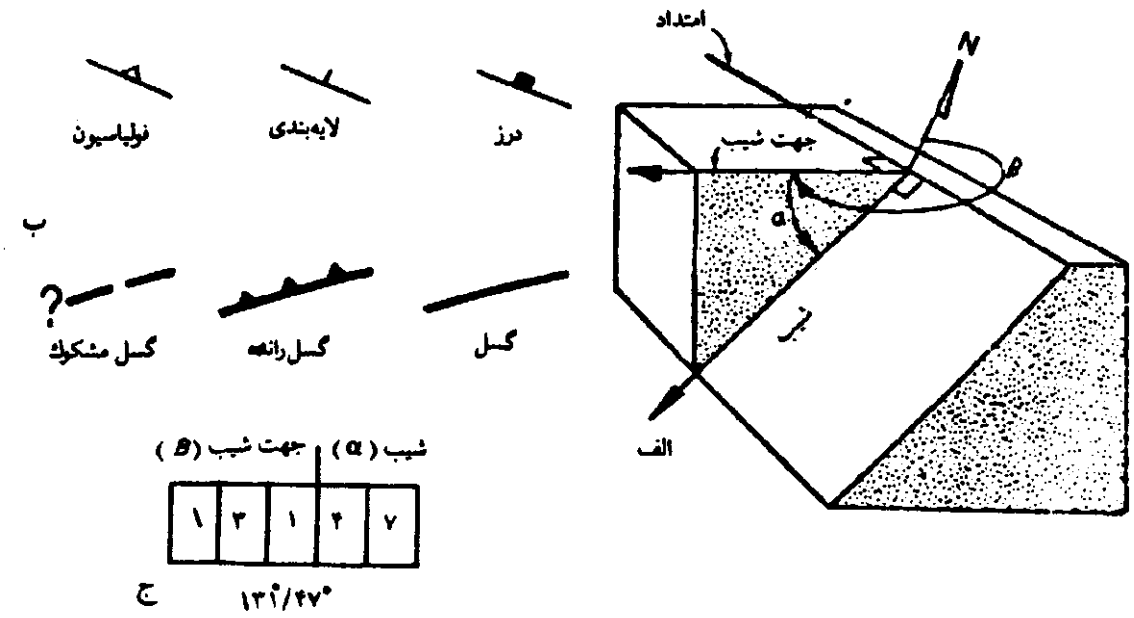
۲-۳ روش فتوگرامتری[1]

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.

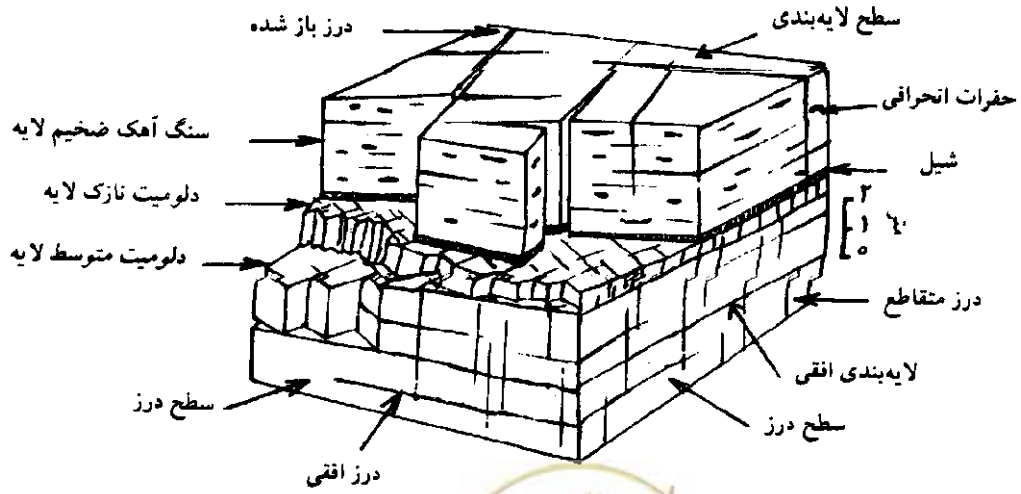
استفاده از روش فتوگرامتری زمانی اقتصادی است که جهت‌یابی تعداد زیادی از سطوح، موردنظر باشد. در مواردی که سطح مورد بررسی نزدیک ناجوریهای مغناطیسی قرار می‌گیرد یا اینکه ناپایدار و یا غیرقابل دسترس است، روش فتوگرامتری تنها روش اقتصادی است. در ادامه، فشرده‌ای درباره وسایل مورد نیاز و نحوه انجام دادن این بررسیها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

1. Photogrametric method

omoorepeyman.ir

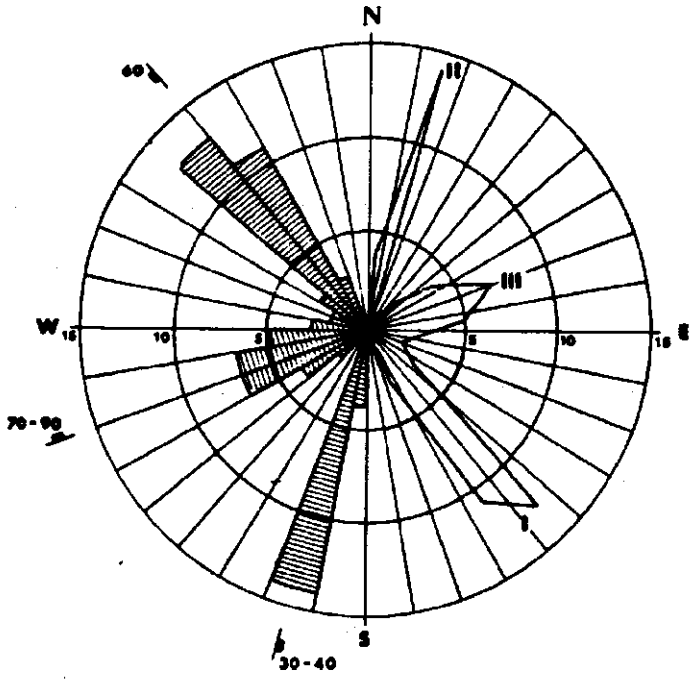


شکل ۱- نمایش جهت‌یابی سطوح ضعیف سنگ. الف)نمایش سه بعدی امتداد، شیب و جهت شیب، ب) نحوه ارائه جهت‌یابی (جهت شیب و شیب در حالت "الف") در متن گزارش، ج) نحوه نمایش یک گسستگی منفرد در نقشه (معماریان، ۱۳۷۴)

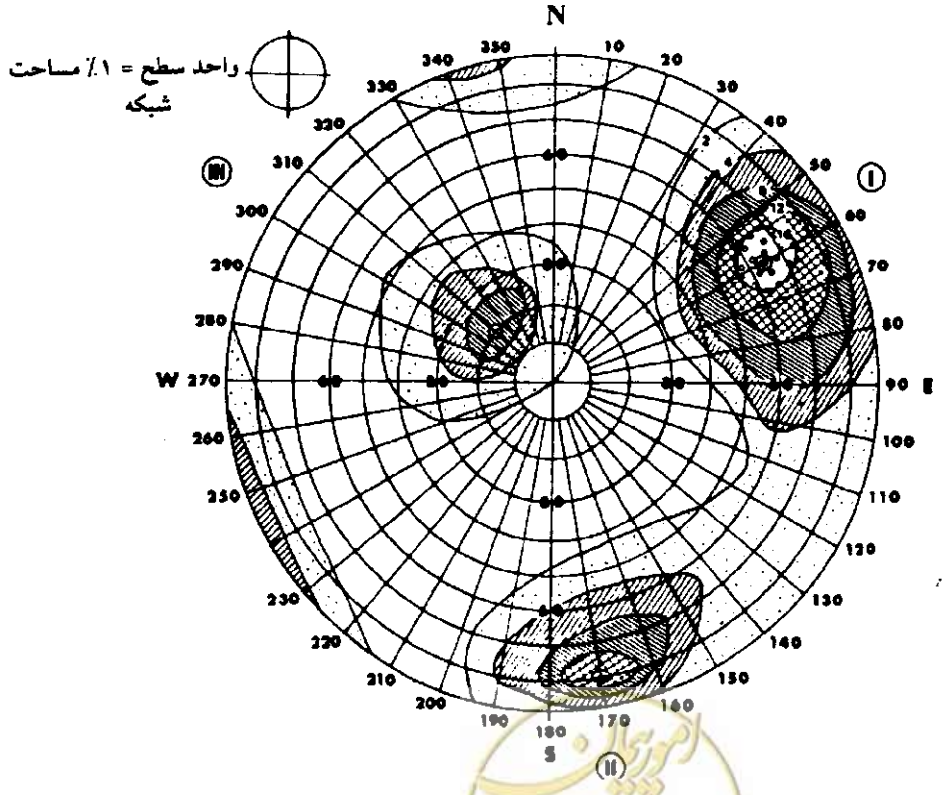


شکل ۲- نمایش گسستگیهای سنگ در نمودار سه بعدی (معماریان، ۱۳۷۴)

omoorepeyman.ir



شکل ۳- دو روش نمایش داده‌های مربوط به جهت‌یابی در نمودار گلسرخی (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 IIIکم و بیش حالت افقی دارد.

omoorepeyman.ir

وسایل مورد نیاز :

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

الف) وسایل نقشه‌برداری شناسایی [1]، شامل : گونیای نوری [2]، ترازیاب آبنی [3] و نمودار شناسایی که بر روی تخته سه پایه نصب شده است.

ب) فتوتئودولیت و سه پایه: فتوتئودولیت عبارت است از : یک تئودولیت همراه با یک دوربین عکس‌برداری نقشه‌برداری. دوربین، علائم حاشیه عکس [4] حاصله را نیز رسم می‌کند. این دوربین مجهز به یک عدسی با اعوجاج قابل اغماض است. شش نشانه (تارگت) [5] کنترل برای نصب بر روی دیواره سنگی نیز مورد نیاز است. برای اینکه این نشانه‌ها به خوبی در حالت استریوسکپی دیده شوند، باید کوچکترین ابعادشان $\frac{۱}{۴۰۰}$ فاصله تا سطح سنگ مورد بررسی باشد. رنگ این نشانه‌ها باید به گونه‌ای انتخاب شود که در عکس سیاه و سفید حاصله تمایز کافی [6] داشته باشند. فیلم عکاسی، وسایل ظهور عکس (درصورت امکان تجهیزات ظهور صحرایی برای کنترل و تجدید عکسهای دارای نورپردازی ضعیف و غیرقابل قبول) و نورسنج از دیگر وسایل مورد نیازند.

ج) وسایل نقشه‌برداری کنترلی [7] : سه پایه، پایه دوربین [8]، نشانه‌های مستقر بر روی سه پایه [9]، شاغول [10] اپتیکی، شاخص (میر) افقی [11].

د) وسایل ترسیم (پلات) استریوسکپی یا استریوکمپاراتور [12] به همراه ابزار ثبت اتوماتیک. این وسایل را باید یک فتوگر امتریست ورزیده به کار گیرد.

روش کار :

الف) نقشه‌برداری شناسایی : هدف نقشه‌برداری شناسایی تعیین نقاط مناسب برای استقراردوربین عکاسی و همچنین نصب نشانه‌ها 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

omoprepeyman.ir

مواردی چون ارتفاع سطح (دیواره‌ای) که قرار است عکسبرداری شود، دقت موردنیاز، زوایای افقی و قایم 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 : فتوتئودولیت در یکی از دو انتهای پایه (باز)[1] 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 زمان‌سنج تنظیم می‌شوند؛ فیلم در دوربین عکاسی قرار می‌گیرد؛ تلسکوپ به سمت ایستگاه دیگر قراول می‌رود و در حالتی که محور دوربین عمود بر تئودولیت و پایه (باز) است عکسبرداری انجام می‌شود. سپس فتوتئودولیت 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 قایم 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[2] 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 روز کاری را اختصاص داد. در صورتی‌که پوشش حاصل از یک زوج عکس تمام منطقه موردنظر را نپوشاند، می‌توان طول پایه را متعاقباً افزایش داد و ایستگاههای جدیدی برای استقرار دوربین و عکسبرداری تعریف کرد.

omoorepeyman.ir

1. Base Line 2. Rise

د) اطلاعات نقشه‌برداری : اطلاعات نقشه‌برداری مورد نیاز و ابسته به برنامه‌ای است که برای تحلیل نتایج به کار گرفته می‌شود. به طورکلی، اگر قرائتهای تئودولیت از موقعیتهای دوربین 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.

هـ) دستورالعملهای نقشه‌برداری : باید توجه داشت که امروزه، اطلاعات گردآوری شده اغلب با کامپیوتر تحلیل می‌شود. به طورکلی در زمان‌گردآوری 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 طورکلی، 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[1] 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 موردنظر، 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 موردنظر 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 صحرایی، انجام دهد. به این ترتیب خطاهای احتمالی آشکار خواهد شد.

ز) محاسبات : اطلاعات اساسی مورد نیاز برای محاسبات عبارتند از : داده‌های نقشه‌برداری 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[2]. در مرحله بعد با استفاده از روش کمترین مربعات[3] 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

omoorepeyman.ir

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[1]. 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 تموج و ناهمواری زیادی برخوردار هستند، برازش یک سطح مستوی بر روی آن، زیاد معتبر نیست. به طورکلی تنها زمانی که گسستگی مورد بررسی به صورت یک سطح کاملاً مستوی (با هر جهت‌یابی) است، یا در مواردی که گسستگی موردنظر 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.

---

1. Operator

omoorepeyman.ir

نمایش داده‌ها

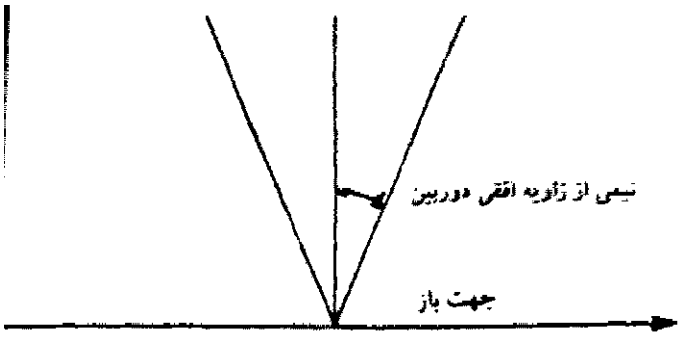
روشهای پیشنهادی برای ارائه داده‌های مربوط به جهت‌یابی در قسمت کمپاس و شیب‌سنج (قسمت ۵-۲/ب) ذکر شده است. حجم زیاد داده‌های مربوط به جهت‌یابی که توسط روشهای فتوگرامتری به دست می‌آیند، گاه محتاج تحلیل آماری هستند. اولین قدم در تحلیل آماری این داده‌ها رسم قطبهای آنها در شبکه هم مساحت است [۱].

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 درنظر 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.

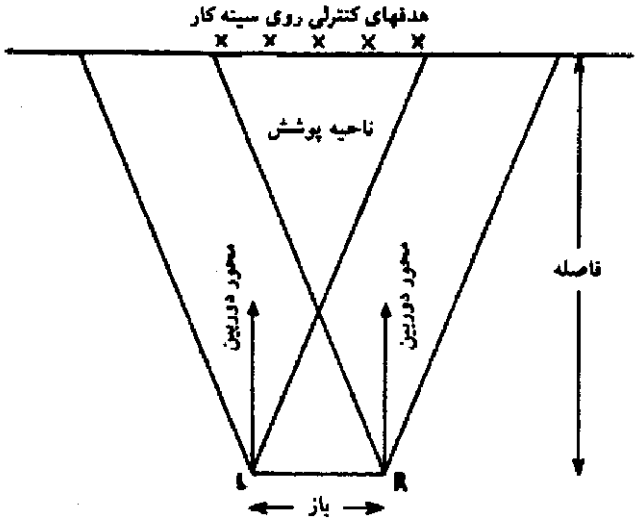


شکل ۵- نمودار شناسایی پیاده شده روی تخته سه پایه

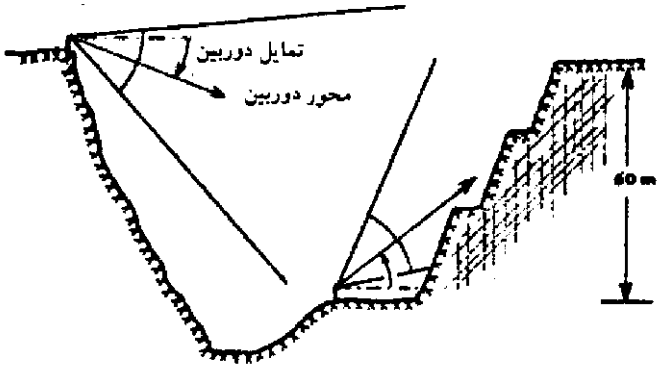
۱- برای آگاهی از روشهای ترسیم سطوح و خطوط در شبکه هم مساحت می‌توانید به منابعی که در این مورد وجود دارد، ازجمله معماریان (۱۳۷۲ و ۱۳۷۴) رجوع کنید.

2. Spacing

omorerepeyman.ir



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 ۱۰ 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:

$$S = d_m \sin\alpha \qquad (۱-۳)$$

omoorepeyman.ir

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 [1] برای نشان دادن این‌گونه 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 [2] مخصوص گمانه استفاده می‌شود.

۳-۲ نمایش داده‌ها

الف) در مورد هر دسته از گسستگیها باید مقادیر حداکثر، مد [3] 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 [4] استفاده کرد.

ج) فاصله را همچنین می‌توان به صورت «فراوانی» [5] 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

omoorepeyman.ir

جدول ۱- دسته‌بندی گسستگیها از نظر فاصله

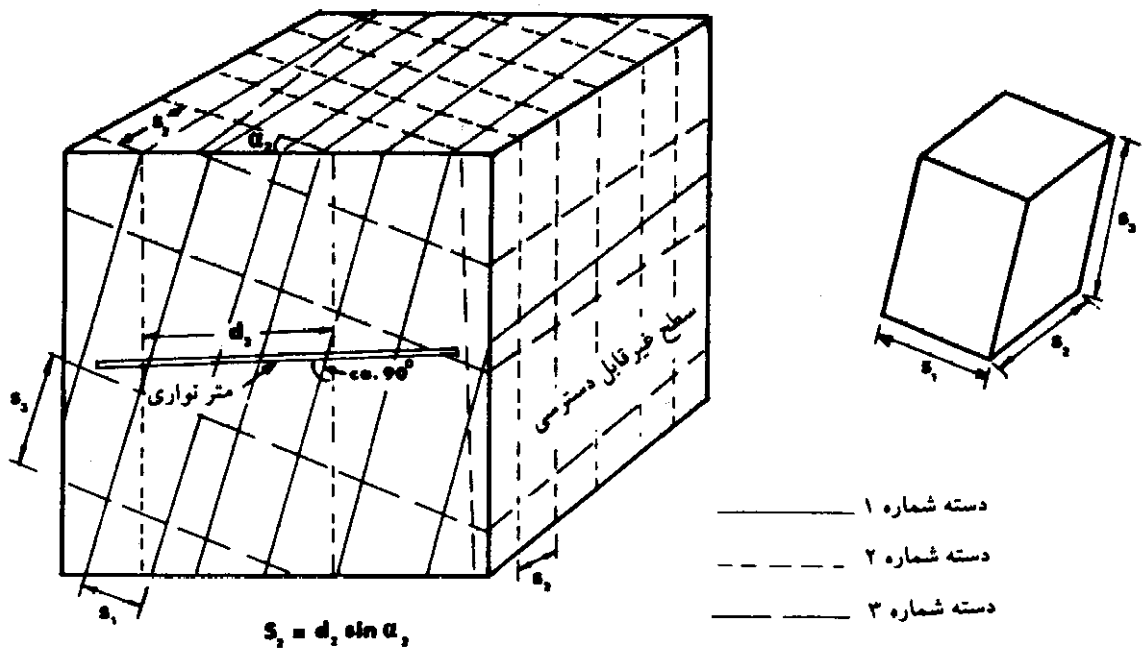
ردیف	فاصله گسستگی‌ها	مقدار (متر)
۱	بسیار دور	> ۲
۲	دور	۲ - ۰/۶
۳	متوسط	۰/۶ - ۰/۲
۴	نزدیک	۰/۲ - ۰/۰۶
۵	بسیار نزدیک	< ۰/۰۶

۴-تداوم

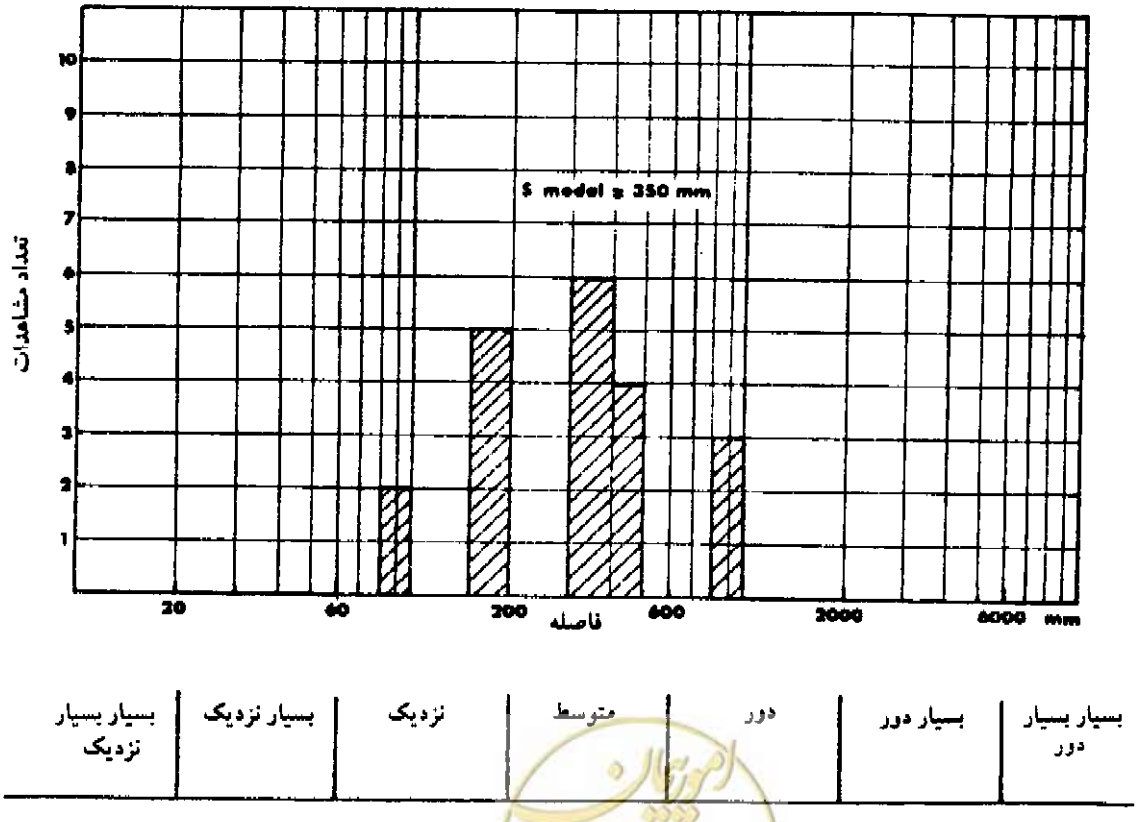
«تداوم»[1]، یا به زبان دیگر، گسترش فضایی یک گسستگی از مشخصات مهم دیگری است که متأسفانه به سادگی نمی‌توان آن را به طورکمی بیان کرد. دریک توده سنگی، اغلب یک دسته از گسستگیها نسبت به بقیه تداوم بیشتری دارند. در چنین مواردی دسته فرعی‌تر، در برخورد به دسته با تداوم بیشتر، قطع می‌شوند. در تحلیل شیبهای سنگی 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، درصورتی‌که همین گسستگیها در یک دامنه سنگی با ارتفاع حدود ۱۰۰ متر یا پی سدها 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

omorepeyman.ir



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).

omoorepeyman.ir

۴-۱ 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	بسیارکم	< 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 r مشخص کرد. یک دسته درزه منظم که تعداد x آن زیاد باشد، نسبت به یک دسته درزه نیمه‌منظم که تعداد d آن بیشتر است تداوم بیشتری دارد. گسستگیهای نامنظم بیشترین تعداد r را به خود اختصاص می‌دهند.

اطلاعات مربوط به نحوه تمام شدن گسستگی باید برای هر دوسوی آن یادداشت شود. به عنوان مثال، گسستگی 5dx 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.

omoorepeyman.ir

۲-۴ نمایش داده‌ها

الف) دسته‌های مختلف گسستگی را باید برحسب 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 dx۵ پیش گفته) را باید به‌صورت «شاخص تمام شدن[1]» (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 ($\Sigma r + \Sigma d + \Sigma x$) :

$$T_r = \frac{(\Sigma r) \times ۱۰۰}{۲ \times (\Sigma r + \Sigma d + \Sigma x)} ٪ \qquad (۱-۴)$$

که در آن :

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

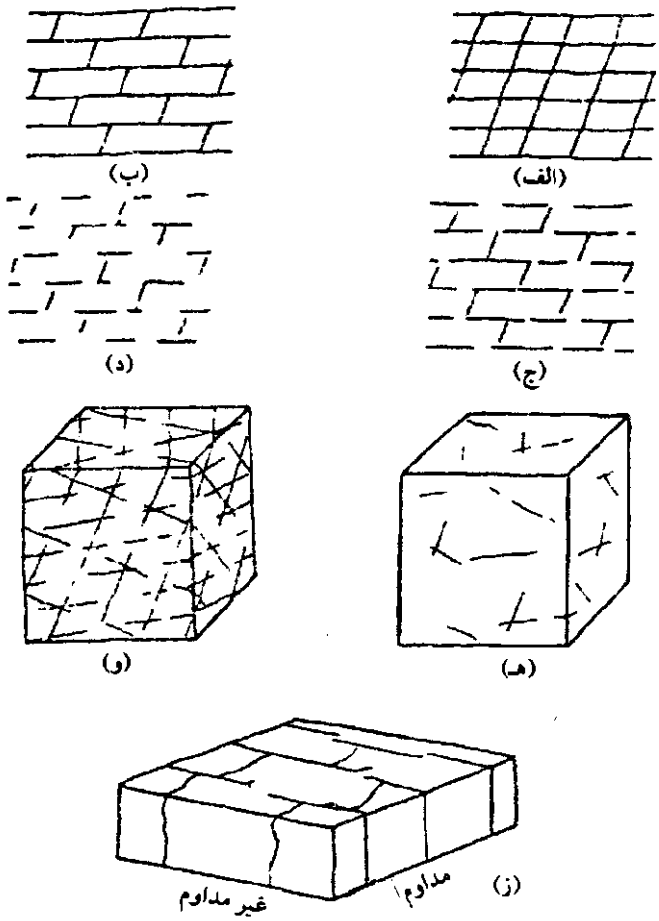
Σd = مجموعه گسستگیهایی که در برخورد با گسستگیهای دیگر قطع می‌شوند.

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 اقناع 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.

1. Termination Index

omoorepeyman.ir



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

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

۵-ناهمواری

«ناهمواری»[1] یا زبری معرف درجه ناصافی یا تموج ذاتی سطح گسستگی است. درجاهایی 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[2]) 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

omoorepeyman.ir

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 را ایجتر 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 قطعه‌چوب 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 درمواردی 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 بالاآمدگی 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 موردنظر نخواهد بود، ثبت می‌شود. به این ترتیب نیمرخهایی که نمایانگر حداقل، حداکثر و فراوانترین ناهمواری است، رسم می‌شوند. این نیمرخها را، بسته به دقت موردنظر، می‌توان برای

omoorepeyman.ir

یک دسته از گسستگیها، یک گسستگی بحرانی و یا تک‌تک 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 به‌وسیله متر چوبی و شیب‌سنج اندازه‌گیری کرد و این در صورتی است که نیمرخ آن اندازه کوتاه باشد که ناهمواری به طور اتوماتیک در طی نیمرخ‌برداری 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 نیمرخ‌برداری خطی ابداع شده است. این وسایل از دقت زیادی برخوردارند که در اغلب بررسیهای مکانیک سنگ مورد نیاز نیست.

ب) کمپاس و شیب‌سنج صفحه‌ای[1] : وسایل مورد نیاز در این روش عبارتند از : کمپاس زمین‌شناسی (ترجیحاً کمپاس کلر[2]) 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 هرچه 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 عکسهای 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، درصورتی‌که 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)

omoorepeyman.ir

بررسی نیاز دارد، که فقط در شرایط خاص توجیه‌پذیر است. اگر درنظر 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 نیمرخ‌برداری 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 [1] 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) نیمرخ‌برداری 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

omoorepeyman.ir

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

ب) کمپاس و شیب‌سنج صفحه‌ای : اندازه‌گیریهای صحرایی 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 درصورت تمایل در یک شبکه هم مساحت نشان داد. به این ترتیب دامنه ناهمواری و تغییرات ایجاد شده در جهت‌یابی گسستگی بـه دلیـل تموجهای سطح، مشخص می‌شود. به همراه نمودارهای حاوی قطبها، بـاید عکسـهای نـمایشگر حـداقـل، 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 تر جیحاً 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 عکسـهای نـمایشگر حـالات حـداقـل، حـداکـثر و فراوانترین شرایط ناهمواری سطح گسستگی آورده شود.

د) عبارات توصیفی : در مراحل مقدماتی نقشه‌برداری صحرایی، 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 باتوجه به دو مقیاس مشـاهده شـامل: مقیاس کوچک (در حد چند سانتیمتر)، و مقیاس متوسط (در حد چند متر) تنظیم شـده‌انـد. در جـدول 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.

omoorepeyman.ir

جدول ۳- گروههای ناهمواری سطح گسستگی‌ها

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

ناهمواریها در مقیاس متوسط به سه دسته پله‌ای، مواج 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).

$$I > II > III \quad و \quad IV > V > VI \quad و \quad VII > VIII > IX$$

به همین ترتیب واضح است که :

$$I > IV > VII \quad و \quad II > V > VIII \quad و \quad III > IX \quad و \quad VI > IX$$

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، درصورتی 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

omoorepeyman.ir

این امکان وجود دارد که یک تموج بزرگ مقیاس برروی دو دسته ناهمواریهای متوسط و کوچک مقیاس وجود داشته باشد. در چنین حالاتی باید وضعیت ناهمواری بزرگ مقیاس همراه با توصیف ناهمواریهای مقیاسهای مختلف بیان شود. به طور مثال می‌توان 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، نیمه‌منظم و غیرمنظم، در تعیین اهمیت نسبی توصیفهای پیش‌گفته درباره ناهمواری اهمیت زیادی دارند.

ه) برآورد مقاومت برشی : مهمترین هدف توصیف ناهمواری دیواره گسستگیها سهولت بخشیدن به امر برآورد مقاومت برشی [1] گسستگی است. این برآورد در مورد درزه‌هایی که فاقد پرشدگی هستند، اغلب می‌تواند کاملاً دقیق باشد. به طور کلی مقاومت برشی شامل زاویه اصطکاک حداکثر (اوج [2]) یا حداقل (باقیمانده [3]) 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:

$$\tau = \sigma'_n \tan(\phi + i) \qquad (۱-۵)$$

که در آن :

τ = مقاومت برشی (اوج یا باقیمانده)

ϕ = زاویه اصطکاک (اوج یا باقیمانده)

σ'_n = تنش عمودی مؤثر

i = تموج (در صورت وجود)

درحالتی 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. درحالتی 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 حالتهایی مشابه نیمرخهای شماره I، II، III شکل ۱۴).

درحالتی 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. درحالتی که دیواره‌ها به شدت هوازده

1. Shear strength 2. Peak 3. Residual

omoorepeyman.ir

شده‌اند، این مقدار ممکن است تا ^{o}۱۵ 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 (r) و سنگ هوانزده (R) است.

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

$$\phi_p = JRC \log_{10}(\frac{JCS}{\sigma_n}) + \phi_r \qquad (۲-۵)$$

که در آن :

JRC [۱] = ضریب ناهمواری سطح درزه

JCS [۲] = مقاومت فشاری دیواره درزه

ϕ_r = زاویه اصطکاک باقیمانده

نحوه به‌کارگیری این روش در شکل ۱۵ آمده است. برای این منظور ابتدا نیمرخی را که از ناهمواری سطح گسستگی اندازه‌گیری شده، با سه نیمرخی که در بالای شکل ۱۵ آمده است، مطابقت داده می‌شود تا برآوردی از مقدار JRC به دست آید (جزییات 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، ^{o}۳۰ 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 جزیی 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 ۱۰۰٪ تداوم درنظر 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 متصورنیست)، مقدار ϕ_r تنها مؤلفه مقاومت برشی خواهد بود. این مقدار معرف حداقل مقاومت برشی گسستگی مورد بررسی است.

---

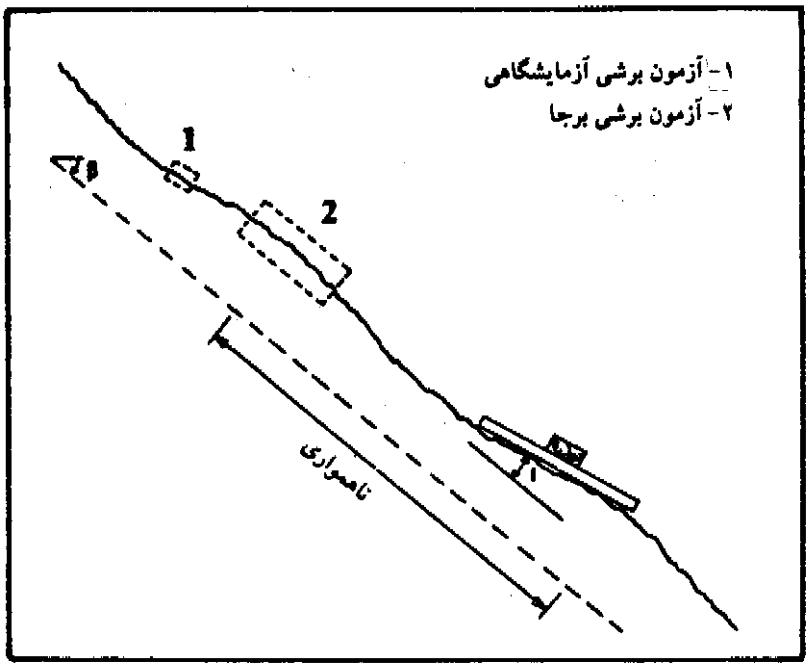
۱. برای اطلاع از نحوه تعیین JRC (Joint Roughness Coefficient) رجوع کنید به Barton et.al (1974, 1990)

2. Joint wall compression strength

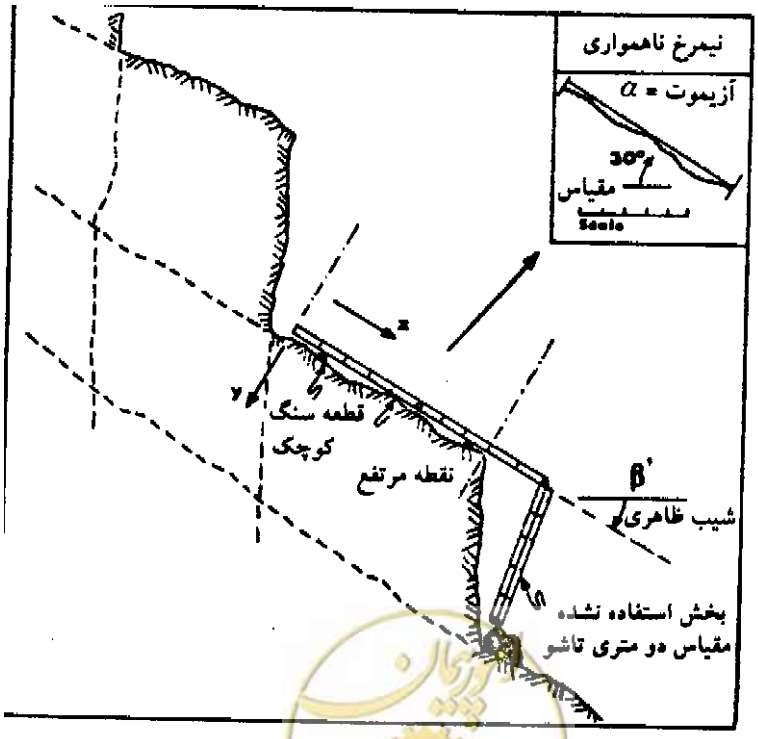
3. Barton & Cubey , (1977)

4. Mobilized

omoorepeyman.ir

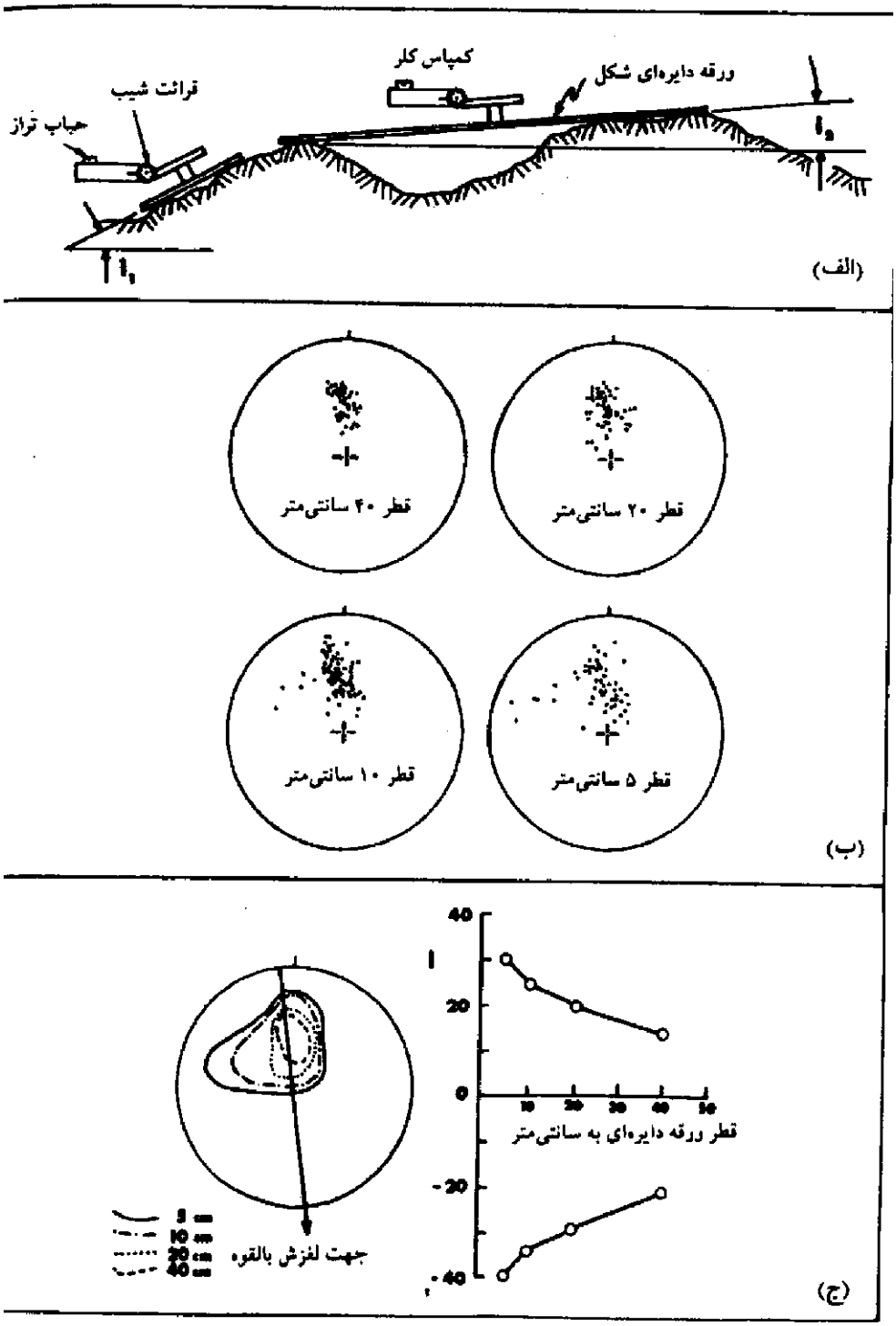


شکل ۱۱- ناهمواری سطح گسستگیها. ناهمواریهای با مقیاسهای مختلف توسط آزمایشهای دارای مقیاس مختلف سنجیده می‌شوند. تموج ناهمواری را می‌توان با زاویه i نشان داد.



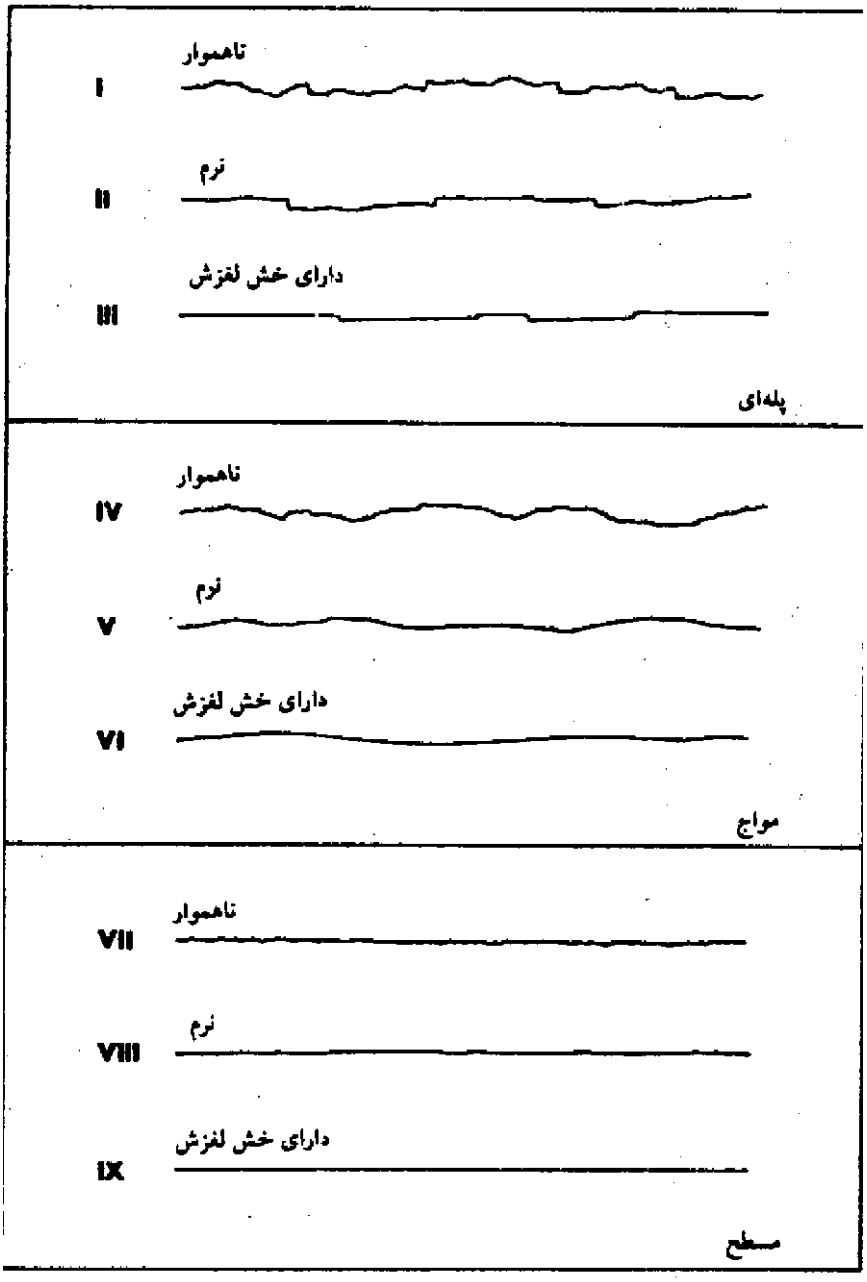
شکل ۱۲- ثبت ناهمواری یک گسستگی در دو بعد، به همراه برآورد جهت لغزش بالقوه

omoorepeyman.ir



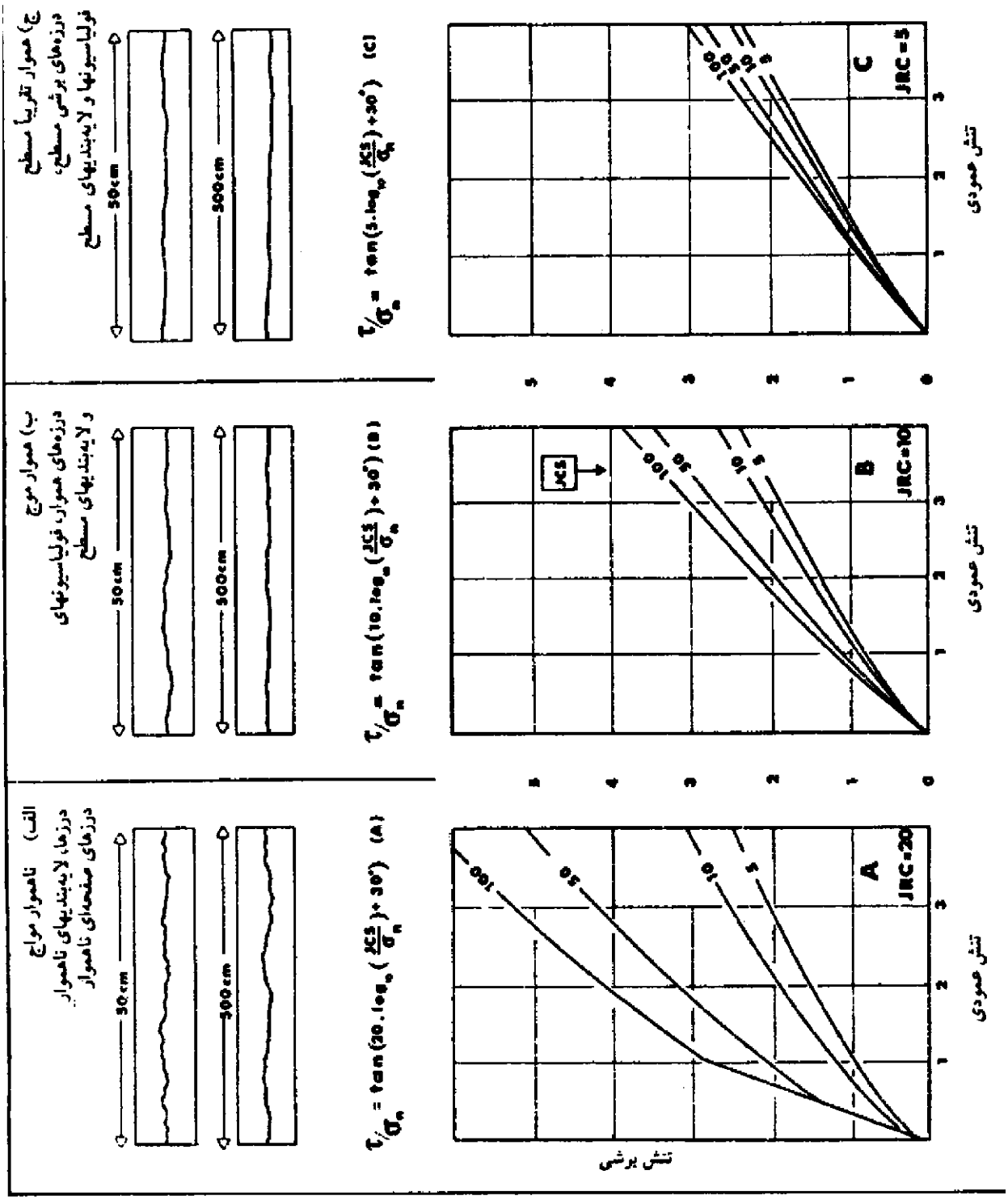
شکل ۱۳- ثبت ناهمواری گسستگیها در سه بعد (در حالتی که جهت بالقوه لغزش هنوز شناخته شده نیست.) الف) به این منظور صفحه‌های دایره‌ای با قطرهای متفاوت (مثلاً ۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ سانتیمتر) به نوبت به کمپاس کلر و شیب‌سنج آن بسته می‌شوند. ب) قرائتهای مربوط به شیب و جهت شیب برای هر صفحه به طور جداگانه در شبکه هم‌مساحت رسم می‌شوند. ج) منحنیهای تراز معرف حداکثر تغییرات شیب ناهمواری در مورد هر صفحه را می‌توان با یکدیگر تلفیق کرد.

omoorepeyman.ir



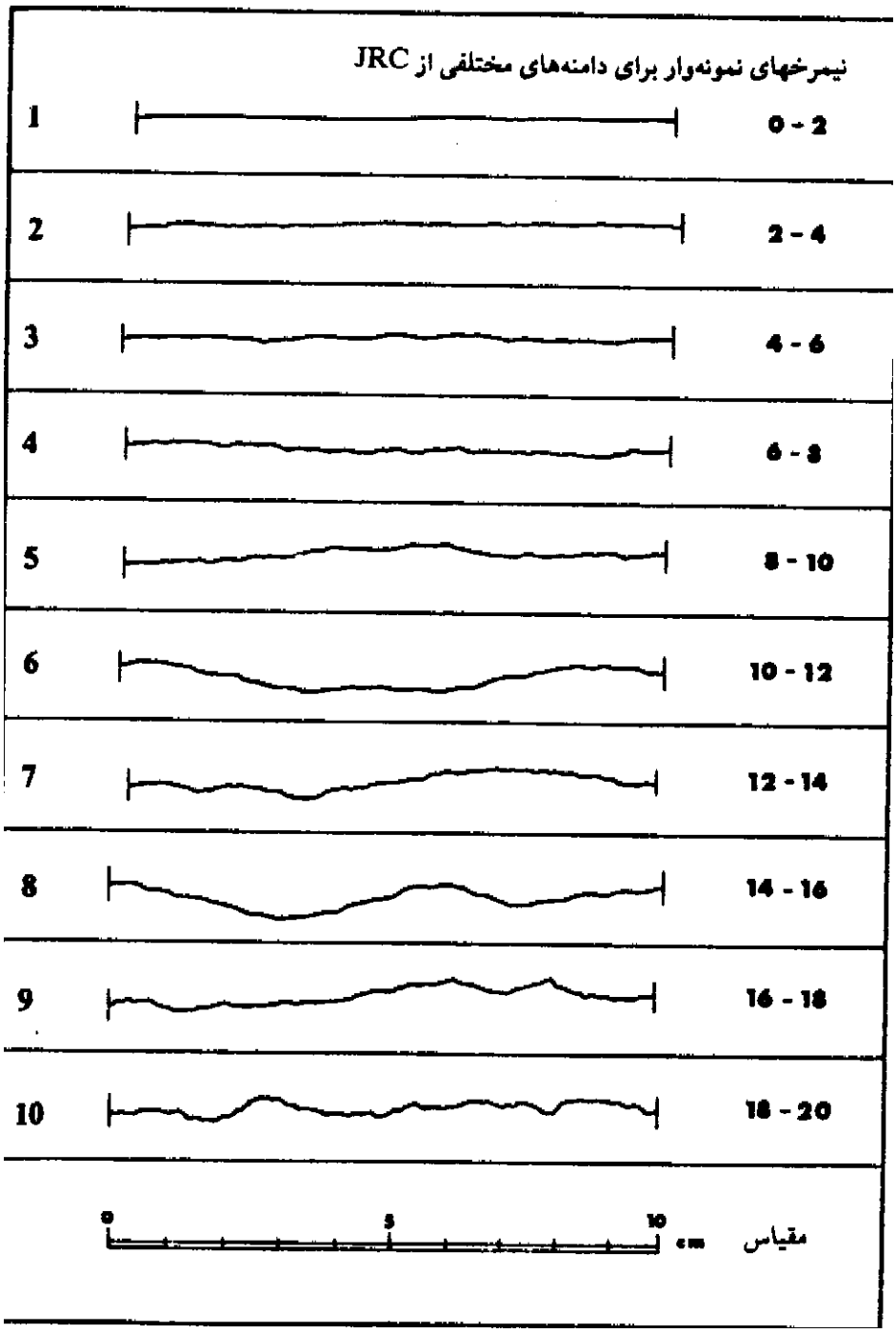
شکل ۱۴- نیمرخهای نمونه‌وار از ناهمواری سطح گسستگیها و نامگذاریهای پیشنهادی برای هر یک. طول هر نیمرخ دامنه‌ای از ۱ تا ۱۰ متر دارد و مقیاسهای قائم و افقی در نمودارها مساوی است.

omoorepeyman.ir



شکل ۱۵- روشی برای برآورد مقاومت برشی اوج (τ_p) از روی نیمرخ ناهمواری سطح گسستگی. هر نیمرخ باتوجه به JCS 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.

omoorepeyman.ir



شکل ۱۶- نیمرخهای ناهمواری و دامنه JRC

omoorepeyman.ir

۶-مقاومت دیواره

سطوح گسستگی ممکن است هوازده و یا در اثر فرآیندهای گرمابی [1] دگرسان شده باشند. مقاومت دیواره‌های سطوح گسستگی به مراتب کمتر از بقیه نقاط سنگ است. به‌طورکلی مقاومت دیواره‌ها، مخصوصاً وقتی که پر شدگی وجود ندارد و دو دیواره باهم درتماس 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 باتوجه 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 تشکیل دهنده 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 درمورد 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 اشمیت [2]" یا آزمودن با دست و چکش زمین‌شناسی برآورد کرد.

در مواردی که سطح گسستگیها هموار و مسطوی است، پوشش کانیها تا حد قابل‌توجهی 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؛ درصورتی‌که آزمون خراش با دست و چکش و آزمایش با چکش اشمیت پاسخ کمی و عددی به دست می‌دهد. از چکش اشمیت برای دستیابی به برآوردی از مقاومت دیواره و متعاقباً محاسبه مقاومت برشی نیز استفاده می‌شود.

omoorepeyman.ir

1. Hydrothermal processes 2. Schmidt hammer

۶-۱ روش کار

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 [1]": درجه هوازدگی توده سنگ با توصیف میزان هوازدگی یا تجزیه‌کلی سنگ بیان می‌شود (جدول ۴). "درجه هوازدگی یا میزان تجزیه متن سنگ [2]" 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 [3]": 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، درمورد دیواره‌های یک دسته درزه، دستیابی به دامنه‌ای از مقادیر مقاومت، قابل قبول است، درصورتی‌که درمورد 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، درحد 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 ۰/۰۷۵ 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 برجا (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

omoorepeyman.ir

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

نشانه و شدت هوازدگی	توصیف	درجه
تازه (F)[1]	هیچ‌گونه نشانه قابل مشاهده‌ای از هوازدگی وجود ندارد. رنگ برگشتگی جزیی در سطح گسستگیهای عمده دیده می‌شود.	I
کمی هوازده (WS)[2]	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 هوانزده مقاومت کمتری داشته باشد.	II
نسبتاً هوازده (WM)[3]	کمتراز 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.	III
به شدت هوازده (WH)[4]	بیش از نیمی از مواد سنگی تجزیه شده و یا به خاک تبدیل شده است. سنگ تازه یا رنگ‌برگشته به‌صورت شبکه ناپیوسته یا قطعات مجزا دیده‌می‌شود.	IV
کاملاً هوازده (WC)[5]	همه مواد سنگی تجزیه شده و یا به خاک تبدیل شده است ولی ساخت اولیه توده سنگ هنوز عمدتاً باقی مانده است.	V
خاک برجا (RS)[6]	همه مواد سنگی به خاک تبدیل شده‌اند. ساخت و فابریک سنگ اولیه ازبین رفته است. تغییر زیادی در حجم ایجاد شده، ولی خاک حاصل شده به مقدار قابل ملاحظه‌ای جابه‌جا نشده است.	VI

جدول ۵- نحوه توصیف میزان هوازدگی "مواد سنگی"[7]

عنوان و نشانه*	توصیف
تازه	هیچ‌گونه نشانه هوازدگی مواد سنگی دیده نمی‌شود.
رنگ برگشته[8]	رنگ اولیه سنگ تازه تغییریافته است. میزان تغییر رنگ اولیه باید قید شود. اگر تغییر رنگ وابسته به کانی خاصی باشد، باید ذکر شود.
تجزیه شده[9]	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.
تخریب شده[10]	هوازدگی تا حد تبدیل سنگ به خاک پیشرفته است که در آن فابریک[11] اولیه سنگ هنوز دست‌نخورده 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. Completly weathered
6. Residual soil
7. Rock materials
8. Discoloured
9. Decomposed
10. Disintegrated
11. Fabric

omoorepeyman.ir

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

	درجه	توصیف	روش شناسایی در صحرا	دامنه‌تقریبی‌مقاومت فشاری تک‌محوری (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 فرومی‌رود.	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 کم‌عمقی 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 S_1 تا S_6 معرف خاکهای چسبنده است.

۲- مقاومت دیواره گسستگیها معمولاً در محدوده درجات R_0 تا R_6 است؛ درصورتی که مواد پرکننده گسستگی مقاومتشان از S_1 تا S_6 است.

۳- برای دستیابی به اعداد کمی و دقیقتر پیشنهاد می‌شود که درمورد S_1 تا S_6 از آزمون «نفوذسنج» که در مکانیک خاک رایج است استفاده شود. در موارد R_2 الی R_6 نیز می‌توان چکش اشمیت را به کار گرفت (تعیین مقاومت موارد $R0$ و $R1$ با چکش اشمیت امکانپذیر نیست).

omoorepeyman.ir

چکش اشمیت درجهتی عمود بر دیواره گسستگی موردنظر اعمال می‌شود. برای دستیابی به محافظه‌کارانه‌ترین نتایج باید سطح سنگی مورد بررسی، در حالت اشباع باشد. درمواردی 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 جداشده باشد.

اگر عکس‌العمل ناشی از برخورد فنر رها 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 به‌دست آمده صرفنظر کرد. باتوجه 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 موردنظر باید چندین بار مورد آزمایش قرار گیرد تا نتایج واقعی‌تر به‌دست 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 ۱۰تایی 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 موردنظر، 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. به‌طور 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 (۱۰٪ ±) قید شود.

omoorepeyman.ir

۶-۲ سایر موارد

الف) نحوه توزیع میزان هوازدگی 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 هوازدگی کل توده سنگ باشد، چون هوازدگی ممکن است از نقطه‌ای به نقطه دیگر تغییر کند.

نکته دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد، این است که همه درجات هوازدگی ممکن است در یک رخنمون سنگی دیده نشود. توزیع درجات مختلف هوازدگی مواد سنگی به میزان تخلخل و گسستگیهای باز سنگ نیز وابسته است. در زمان بررسی مغزه‌های حفاری، توزیع هوازدگی سنگ یکپارچه را می‌توان مشخص کرد، ولی وضعیت توده‌سنگی راکه 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 گرمابی 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 هوازدگی 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)[1].

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

آزمایش دستی را برای تعیین درجات S_1 الی S_6 ، یعنی رسها، (جدول ۶) می‌توان با استفاده از یک نفوذسنج جیبی[2] 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 $\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$.

---

1. Slake durability test (ISRM, 1981)

2. Pocket penetrometer

omoorepeyman.ir

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 ($\sigma_c <$ ۲۰ MPa) در حالی‌که اعداد بزرگ نمایشگر "سنگهای بسیار قوی" هستند $\sigma_c >$ ۱۵۰ 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 به‌دست 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 گرانیت

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

میانگین ۵ قرائت با ارزش بیشتر (از ۱۰ آزمایش) r = ۴۴

میانگین ۸ قرائت با ارزش بیشتر r = ۴۳

- درزه‌های ناهموار، مواج، با پوشش کلسیتی در هورنفلس

۲۰، ۳۰، ۲۸، ۲۴، ۲۴، ۲۸، ۳۰، ۳۰، ۲۸، ۲۸

میانگین ۵ قرائت با ارزش بیشتر (از ۱۰ آزمایش) r = ۲۹

میانگین ۳ قرائت با ارزش بیشتر r = ۳۰

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.

omeprepeyman.ir

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
r	$x^* = -۹۰$	$x = -۴۵$	$x = +۴۵$	$x = +۹۰$	$x = ۰$
۱۰	۰	−۰/۸	−	−	−۳/۲
۲۰	۰	−۰/۹	−۸/۸	−۶/۹	−۳/۴
۳۰	۰	−۰/۸	−۷/۸	−۶/۲	−۳/۱
۴۰	۰	−۰/۷	−۶/۶	−۵/۳	−۲/۷
۵۰	۰	−۰/۶	−۵/۳	−۴/۳	−۲/۲
۶۰	۰	−۰/۴	−۴	−۳/۳	−۱/۷

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

۶-۳ 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 : "دسته‌درزه 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 هریک ذکر کرد. به عنوان مثال : "دسته‌درزه شماره ۱: اکثراً نیمه‌مقاوم (R_3 ۲۰-۵۰ MPa) و تقریباً ۲۰٪ مقاوم (R_3 ۵۰-۱۰۰ MPa)". 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) برحسب مگاپاسکال (MPa) نیز آورده شود. اعداد مربوط به یک دسته نمونه ۱۰تایی 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.

omoorepeyman.ir

۷-باز شدگی

"باز شدگی"[1] 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"[2]، که در مورد گسستگیهای پر شده صادق است، تمیز داد. گسستگیهای پر شده (مثلاً با رس) راکه بخشی از آنها شسته شده هستند، می‌توان زیر عنوان بازشدگی مورد بررسی قرار داد.

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

در اغلب توده‌های سنگی زیرزمینی بازشدگی کم و معمولاً کمتر از نیم میلیمتر است، درصورتی‌که برخی از گسستگیهای کششی یا شسته شده سطحی‌تر ممکن است ده‌ها، صدها و حتی هزارها میلیمتر بازشدگی داشته باشند.

بجز در مواردی که سطح گسستگی بسیار مسطح و هموار است، بازشدگی ۰/۱ میلیمتر یا ۱ 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.

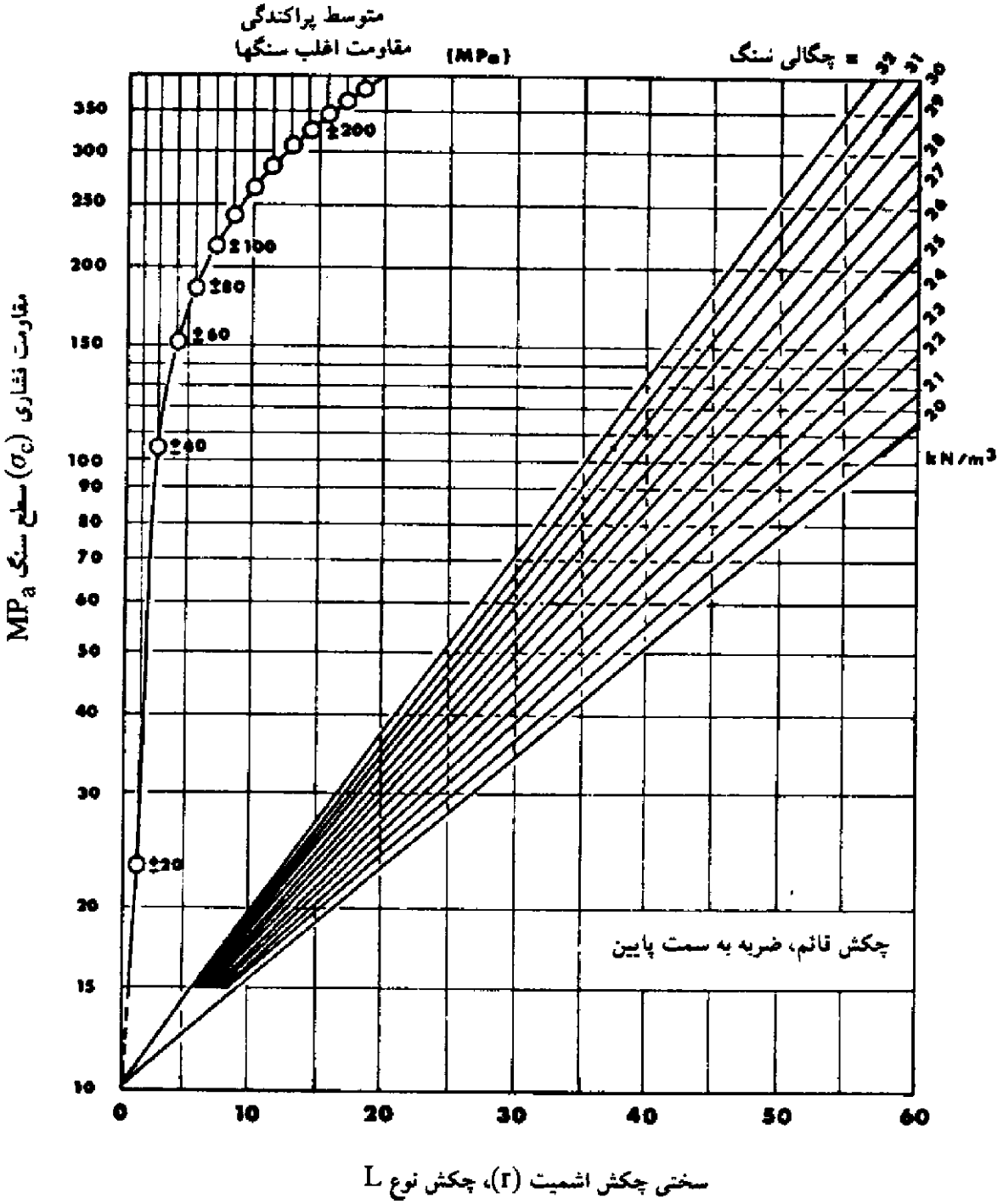
متأسفانه، مشاهده مستقیم بازشدگیهای کوچک معمولاً قابل اطمینان نیست. زیرا بازشدگیهای مشاهده شده اغلب به علت اختلالات ناشی از آتشباری یا تأثیر هوازدگی سطحی، وضعیت طبیعی خود را ندارند. شاید بتوان موارد استثناء را بازشدگی اندازه‌گیری شده در گسستگیهای دیواره گمانه‌ها و تونلهای حفاری (و نه آتشباری) شده، دانست. تأثیر بازشدگی را بهتر از همه می‌توان توسط آزمایشهای تراوایی با آب به‌دست آورد[3].

بازشدگیها 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 بازشدگی گسستگیهاست.

---

1. Aperture
2. Width of filling
۳. (استاندارد آزمایشهای تراوایی، ۱۳۷۴، ۱۵۵-الف، طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور)

omoorepeyman.ir



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

omoorepeyman.ir

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) برونزدهای زیرزمینی کثیف باید ابتدا شسته شوند. درصورتی‌که 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 خط‌کش 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 داخلی‌تر توده‌سنگ 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. باتوجه 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 ° 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. Fairhurste & Roegters (1972)
3. Borehole periscope
4. Integrated sampling

omranrepeyman.ir

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 به‌دست دهند. ناهمواری سطح درزه می‌تواند قابلیت انتقال را به مقدار قابل مقایسه‌ای، نسبت به دیواره صاف و همواره کاهش دهد. علاوه بر اینها شواهدی دردست است که جریان آب در درزه‌ها، به عوض اینکه ورقه‌ای باشد، لوله‌ای است. باتوجه 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 حالاتی بخشهایی از دو دیواره گسستگی به هم چسبیده‌اند که در زمان برآورد قابلیت آبگذری می‌توانند گمراه کننده باشند.

۲-۷ نمایش داده‌ها

الف) میزان بازشدگی گسستگیها باتوجه به جدول ۸ توصیف می‌شود :

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

میزان بازشدگی	طبقه توصیفی	وضعیت شکستگی
< ۰/۱ mm	کاملاً بسته	شکستگیهای بسته
۰/۱-۰/۲۵ mm	بسته	
۰/۲۵-۰/۵ mm	نسبتاً بسته	
۰/۵-۲/۵ mm	کمی باز	شکستگیهای باز
۲/۵-۱۰ mm	نسبتاً باز	
> ۱۰ mm	باز	
۱-۱۰ cm	خیلی باز	شکستگیهای خیلی باز
۱۰-۱۰۰ cm	بینهایت باز	
> ۱۰۰ cm	غار مانند	

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

omegrepeyman.ir

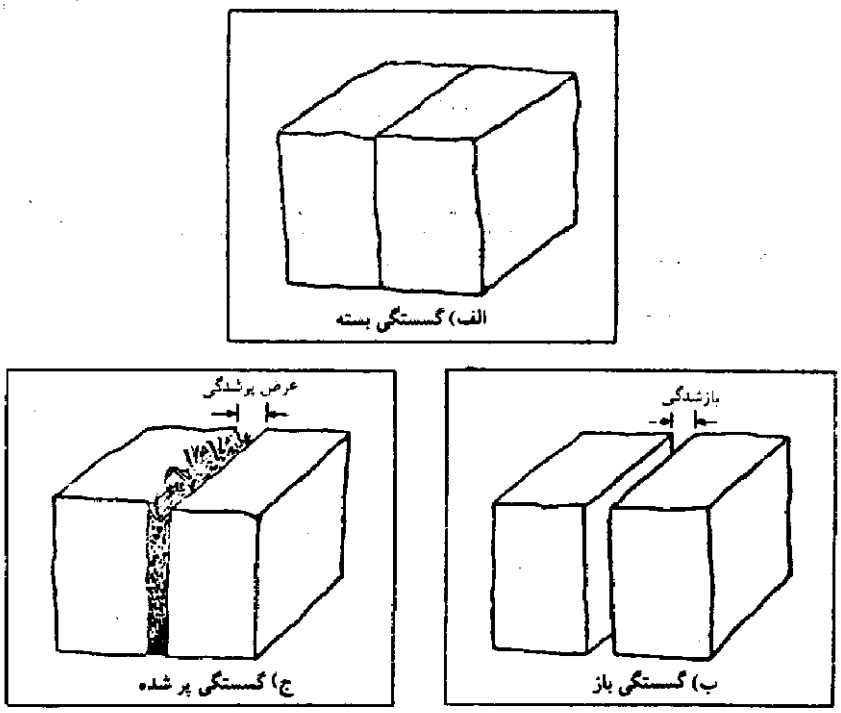
ب) در مورد هر دسته از گسستگیها باید بازشدگی دارای بیشترین فراوانی [1] ثبت شود.

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 جهت‌یابی گسستگی هم ذکر شود.

د) از گسستگیهای بینهایت باز (cm ۱۰۰-۱۰) یا غار مانند (m ۱ <) باید عکس هم گرفته شود.

۸-پرشدگی

"پرشدگی" به حالتی اطلاق می‌شود که فاصله بین دو دیواره یک گسستگی از موادی نظیر : کلسیت، کلریت، رس، لای (سیلت) و گوژ و از این دست گونه، پر شده است. فاصله عمودی بین دو دیواره گسستگی پر شده را "عرض پرشدگی" [2] می‌گویند و باید آن را از "بازشدگی" [3] تمیز داد.



شکل ۱۸- مفاهیم بازشدگی و پرشدگی گسستگیها

1. Modal value
2. Width of filling
3. Aperture

omoorepeyman.ir

پرشدگی گسستگیها می‌تواند نقش مؤثری در ویژگیهای سنگ از جمله : مقاومت برشی، تغییر شکل‌پذیری و تراوایی آن داشته باشد. نقش پرشدگی در کوتاه مدت و درازمدت ممکن است متفاوت باشد، از این‌رو برقراری شرایط مناسب در کوتاه‌مدت، ممکن است گمراه کننده باشد.

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

- کانی‌شناسی مواد پرکننده
- دانه‌بندی و اندازه ذرات
- نسبت بیش تحکیمی [1]
- مقدار آب و تراوایی
- جابه‌جایی برشی قبلی
- ناهمواری دیواره‌های گسستگی
- عرض پرشدگی
- شکستگی و خردشدگی دیواره‌های 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 صحرایی گسستگیها ممکن است ضرورت انجام‌دادن آزمونهای برجای صحرایی را در شرایطی خاص، همچون پی سدها یا دامنه‌های مسئله‌دار، تجویز کند.

۸-۱ روش کار

الف) وسایل موردنیاز : متر نواری سه متری با درجات میلیمتری، متر تاشو حداقل ۲ متری، کیسه پلاستیکی برای گرفتن نمونه‌هایی 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 می‌توان از انواع لوله‌های نمونه‌گیر رایج در آزمایشهای مکانیک خاک استفاده کرد. وسایل موردنیاز دیگر عبارتند از : چکش زمین‌شناسی و یک چاقوی فولادی.

ب) عرض پرشدگی : حداکثر و حداقل عرض پرشدگی گسستگیهای پرشده (مثلاً درزه‌های پرشده از رس) با ۱۰٪

1. Over - consolidation ratio

omoorepeyman.ir

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 همبریهای 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 هوازدگی : مواد پرکننده ممکن است محصولات هوازدگی سنگ، به‌خصوص دیواره‌های گسستگی باشند. برای توصیف این مواد می‌توان از مفاهیم پیشنهادی زیر استفاده کرد:

تجزیه شده[1] : هوازدگی 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[2] : هوازدگی 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. ازاین‌رو 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[3]، شناسایی شوند و در مواردی که این مواد ممکن است در پایداری نقش منفی داشته باشند، باید برای آزمونهای "تورم آزاد" و "فشار تورم" نمونه گرفته شود. در این‌گونه موارد پیشنهاد می‌شود، میزان رطوبت برجای نمونه نیز در حد امکان یادداشت شود[4].

ه) اندازه ذرات : روش توصیف دانه‌بندی و اندازه ذرات وابسته به نوع مواد پرکننده است. توصیف صحرایی 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 مهندسین، حسین معماریان (۱۳۷۴).

omoorepeyman.ir

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[1]
- فعالیت[2]

جدول ۹- مواد پرکننده گسستگیها بر مبنای اندازه دانه‌ها[3]

مواد پرکننده	اندازه ذرات (میلیمتر)
قطعه سنگ[4]	۲۰۰-۶۰۰
قلوه سنگ[5]	۶۰-۲۰۰
شن[6] درشت	۲۰-۶۰
شن متوسط	۶-۲۰
شن ریز	۲-۶
ماسه درشت	۰/۶-۲
ماسه متوسط	۰/۲-۰/۶
ماسه ریز	۰/۰۶-۰/۲
لای رس	< ۰/۰۶

و) مقاومت مواد پرکننده : مقاومت مواد پرکننده، مخصوصاً بخش ریزدانه راکه 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

omoorepeyman.ir

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 تک‌محوری 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 دست‌نخورده گرفت. به این منظور می‌توان از لوله‌های نمونه‌گیر متنوعی که در مکانیک خاک رایج است، استفاده کرد.

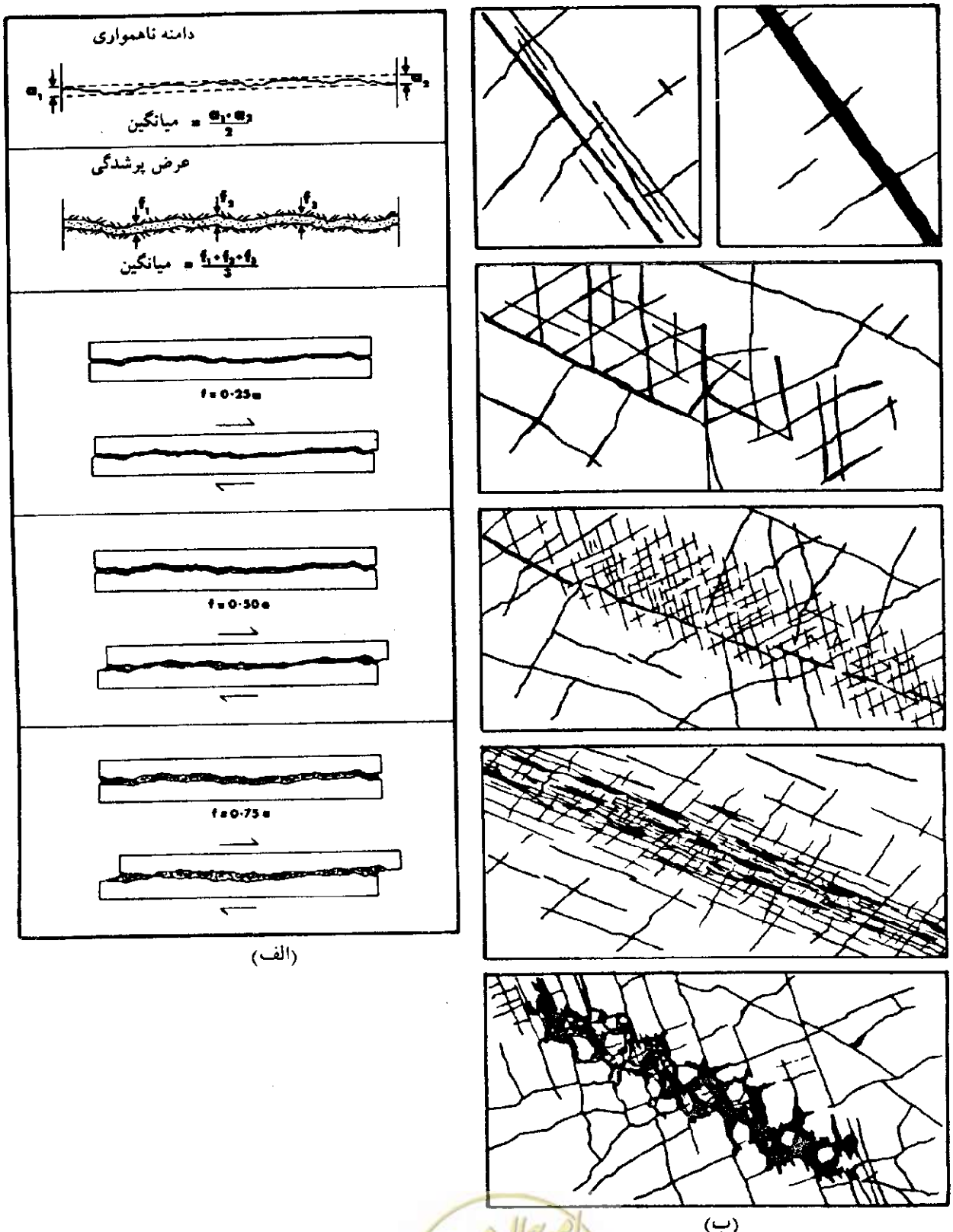
ز) جابه‌جایی قبلی : باید دقت شود که آیا جابه‌جایی قبلی در سطح گسستگی وجود داشته است یا نه. به این منظور می‌توان از نشانه‌های مختلف نظیر : خش لغزش، آثار برش و درزه‌های متقاطع جابه‌جا شده، استفاده کرد. در چنین مواردی باید برآوردی از نسبت بیش‌تحکیمی (OCR) نیز ذکر شود.

ح) مقدار آب و تراوایی : مقدار آب و تراوایی پرشدگیها، مخصوصاً انواع رسی آنها، درصورتی‌که مورد نیاز باشد، باید به گونه‌ای 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. به‌دلیل تراوایی پایین، احتمال آبگذری قابل توجه وجود ندارد.
W_2	مواد پرکننده مرطوبند، ولی آب آزاد وجود ندارد.
W_3	مواد پرکننده خیس‌اند و گاهی قطره‌های آب از آنها می‌چکد.
W_4	مواد پرکننده آثاری از شسته‌شدن را نشان داده و آب به‌طور دائم از آنها خارج می‌شود (برآورد به صورت لیتر بر دقیقه).
W_5	مواد پرکننده به‌طور موضعی شسته شده‌اند. آب قابل ملاحظه‌ای از محل مواد شسته شده خارج می‌شود (برآورد به صورت لیتر بر دقیقه و توصیف فشار آن با عباراتی چون کم، متوسط و زیاد).
W_6	مواد پرکننده کاملاً شسته شده‌اند. آب با فشار زیاد از محل گسستگی خارج می‌شود (برآورد به صورت لیتر بر دقیقه و توصیف فشار با عباراتی چون کم، متوسط و زیاد).

omoprepeyman.ir



شکل ۱۹- انواع پرشدگی گسستگیها. الف) درحالت پرشدگی ساده، عرض پرشدگی و دامنه ناهمواری سطح گسستگی می‌تواند برای برآورد مقدار جابه‌جایی برشی تا حد رسیدن به تماس سنگ به سنگ به کار آید (a = دامنه ناهمواری، f = عرض پرشدگی). ب) طرح‌های شماتیک از پرشدگی مرکب گسستگیهای سنگ

omoorepeyman.ir

۸-۲ 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 $\frac{۱}{۲}(\sigma_1 - \sigma_3)$.

ب) تجزیه گرمابی مواد گسلی (گوژ) و یا رسوب محصولات گرمابی، 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) [1] 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 [2] 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.

۸-۳ 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 راکه در ارتباط با پرشدگی گسستگیها می‌توان ارائه داد عبارتند از :

الف) وضعیت پرشدگی :

عرض پرشدگی

ناهمواریهای دیواره‌ها

شمای صحرایی

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

omoorepeyman.ir

ب) ویژگیهای مواد پرکننده : کانی شناسی

اندازه ذرات

درجه هوازدگی

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). دربرخی از سنگهای رسوبی ممکن است بخشی ازآبگذری از بین دانه ها وناشی از تراوایی اولیه باشد. شدت نشت آب متناسب است باشیب آبی (گرادیان هیدرولیکی)در محل وتراوایی 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، وفشار تقریبی آب، اغلب می تواند هشداری در مورد پایداری و مشکلات احتمالی باشد. توصیف صحرایی سنگها باید همراه با پیشنهادهای لازم در مورد نوع آزمایشهای تراوایی صحرایی 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 توده‌های سنگی دیده شود که توسط بخشهای ناتراوایی چون دایکها، گسستگیهایا لایه‌های تراوای پرشده ازرس، احاطه شده باشند. پیش‌بینی چنین موانعی در مقابل جریان، و سطوح ایستابی غیرعادی ناشی از آنها، از اهمیت زیادی برخوردار است . این مسئله، به ویـژه در پروژه‌هایی که ممکن است موانع مورد بحث در اعماق زیاد توسط تونل قطع شده و جریان زیاد و پرفشاری از آب را به‌همراه داشته باشند، حساس می‌شود. نشت آب به داخل یک گودبرداری و در نتیجه پایین رفتن سطح ایستابی ممکن است، نشست پی‌هایی راکه روی لایه‌های رسی قرار گرفته‌اند، باعث شود.

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

omoorepeyman.ir

داده‌هابه‌کار می‌آیند. اطلاعات اضافی، همچون : جهت حرکت آبهای زیرزمینی، آمار دماو بارندگی، در صورت دسترسی، می‌تواند مفید واقع شود.

۹-۱ روش 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 به‌منظور شناسایی وضعیت‌کلی زهکشی محلی و وضعیت سطح ایستابی احتمالی مورد مطالعه قرار داد. نشت آب زیرزمینی اغلب به‌صورت نمو خطی گیاهان در امتداد گسلهاو دایکها مشاهده می‌شود. هرجاکه 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 یاگمانه‌ای 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 برتأسیسات موجود و نشست پی‌های قرار گرفته روی لایه‌های رسی باید بیان شود.

ه)نشت آب از خلال یک گسستگی پرشده 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 مواردی‌که 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 توده‌سنگ آمده است.

omorepeyman.ir

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 باتوجه 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،گمراه کننده باشد. احتمال مسدود شدن مسیر جریان توسط یخ زدن دهانه آن و نقش منفی آن در ناپایداری دامنه یابخش حفاری شده نیز باید موردتوجه قرار گیرد.

۹-۲ 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 آمیزبودن اکتشافات، انجام می‌شود. در چنین نقاطی، وجودگمانه‌ها امکان بررسیهای کافی آبهای‌زیرزمینی، نظیر : نصب پیزومترها و آزمایشهای ردیابی، آزمایش بارافتان و آزمایش پمپاژ را فراهم می‌آورد. دیواره گمانه‌ها رامی‌توان با پریسکوپ، دوربین عکاسی و ویدیویی گمانه، برای تعیین محلهای نشت آب، مورد بررسی قرار داد.

ج) آزمایشهایی که به‌منظور 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).

omoorepeyman.ir

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

	درجه	شرح
گسستگیهای پرنشده	I	گسستگی خیلی بسته و خشک است و جریان آب از خلال آن محتمل به‌نظر نمی‌رسد.
	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 گشتگی 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. دراین صورت مقدار آن، برحسب لیتر برثانیه برآورد شده و فشار آن به‌صورت کم، متوسط یا زیاد بیان می‌شود.
گسستگیهای پرشده	I	مواد پرکننده کاملاً تحکیم یافته و خشک‌اند. به‌دلیل نفوذپذیری کم احتمال جریان قابل توجه وجود ندارد.
	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 واز محل مسیرهای شسته‌شده، جریان قابل‌ملاحظه آب وجود دارد (برآوردمقدار برحسب لیتر بردقیقه 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 به‌صورت 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 گوژ رسی است. در چنین شرایطی ممکن است قابلیت انتقال هیدرولیکی کاملاً ناهمسانگرد[1] بوده یا اینکه جریان منحصراً به موازی سطح گسل انجام شود. ازاین رواست که نباید تاقبل از آنکه یک گسل به‌طور کامل توسط تونل اکتشافی قطع شود، در مورد میزان آب و خشک بودن آن تصمیم گرفت.

1. Anisotropic

omorepeyman.ir

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

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

و) بالاترین نقطه درزه‌های نشت کننده 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.

۹-۳ نمایش داده‌ها

الف) باتوجه به اطلاعات گردآوری شده، مسیر حرکت آب زیرزمینی با پیکانهایی 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 زمین شناسی ساده شده یا نیمرخها، باید محل سدهای زیرزمینی در مقابل جریان آب نظیر: دایکها، گسستگیهای عمده پرشده 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) هرجاکه 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 برآن باید تأثیر شرایط آب و هوایی استثنایی، تأثیر یخ زدن و روشهای مصنوعی زهکشی نیز بیان شود.

omorepeyman.ir

د) نشت آب از گسستگیهای منفرد یا یک دسته درزه خاص و یا کل توده سنگ باید به‌صورت درجات نشت (قید شده درجدولهای ۱۱ و ۱۲)بیان شود. در مواردی که داده‌کافی در دست است، می‌توان منحنیهای معرف جریان و نشت یکسان را رسم کرد و یا نتایج رابه‌صورت نمودار ستونی نشان داد. در مورد تونلها، می‌توان داده‌های نشت را در امتداد خط تونل، همراه با داده‌های ساختی، درست به گونه‌ای که در مورد عدد لوژون و زمین‌شناسی در طول گمانه ارائه می‌شود، نشان داد.

۱۰- تعداد دسته‌ها

رفتار مکانیکی و شکل ظاهری توده سنگ متأثر از تعداد دسته درزه‌هایی است که یکدیگر را قطع کرده‌اند. رفتار مکانیکی از این نظر تأثیر می‌پذیرد که تعداد دسته درزه‌هامیزان تغییرشکل سنگ را، قبل از آنکه نیاز به گسیختگی بخشهای سنگ بکر باشد، نشان می‌دهد. تعداد دسته درزه‌ها علاوه برتعیین شکل ظاهری توده سنگ، میزان حفاری ناخواسته در زمان آتشباری را نیز کنترل می‌کنند (شکل ۲۰).

در دامنه‌های سنگی، تعداد دسته‌درزه‌ها، به همراه جهت‌یابی آنها نسبت به سطح آزاد دامنه ممکن است مهمترین عامل ناپایداری به‌حساب آیند. در شرایط مشابه باکاسته شدن از تعداد دسته درزه‌ها میزان ناپایداری به سرعت کاهش می‌یابد. در مقابل، در شرایطی‌که تعداد دسته درزه‌ها زیاد و فاصله درزه‌هاکم باشد، ممکن است گسیختگی بالقوه دامنه از حالت لغزش و یا برگشتن به گسیختگیهای چرخش و دایره‌ای (مشابه حالت خاک) تبدیل شود.

در تونلها، سه دسته درزه، یا بیشتر از آن، باعث قطعه‌قطعه شدن سنگ می‌شود. این توده‌های 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 آتشباری سنگی، رابطه مستقیم با تعداد دسته درزه‌ها دارد.

۱۰-۱ روش کار

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

ب) تعداد دسته درزه‌ها اغلب تابعی از محدوده بررسی و برداشت است. در بررسیهای اولیه بهتر است کلیه دسته درزه‌های موجود برداشت شوند. به این منظور تا ۱۵۰ قرائت جهت‌یابی انجام می‌شود و نتایج به‌صورت قطب صفحات رسم شده و منحنیهای میزان زده شوند (قسمت ۲، جهت‌یابی).

omoorepeyman.ir

ج) در مواردی که جهت‌یابیها منظم هستند و تغییرات زیادی ندارند، از تعداد اندازه‌گیریهای لازم برای شناسایی دسته درزه‌ها کاسته می‌شود.

د) در مراحل پیشرفته‌تر بررسیها، تعداد دسته درزه‌های محلی موجود نیز باید، علاوه بر آنچه که در بند ب آمد، ثبت شوند. پایداری یک بخش خاص از یک تونل یا دامنه سنگی، یاتغییر شکل‌پذیری یک پی، تابعی از تعداد دسته درزه‌هایی است که به‌طور محلی و موضعی یافت می‌شوند و نه تعداد دسته درزه‌هایی که با توجه به بند ب تعیین شده‌اند.

هـ) دسته درزه‌های شناسایی شده را باید شماره‌گذاری کرد. به‌عنوان مثال، پایدارترین و مداوم‌ترین دسته درزه منظم شماره ۱ نامگذاری می‌شود و شماره‌های بعدی به دسته‌های کم اهمیت‌تر اختصاص داده می‌شود. در صورت نیاز می‌توان دسته درزه‌ها را برمبنای نقشی که در پایداری دارند، شماره‌گذاری کرد.

و) در زمان ثبت تعداد دسته درزه‌ها باید دسته‌های منظم از دسته‌های نامنظم تفکیک شوند. به‌طورکلی دسته درزه‌های منظم حاوی درزه‌هایی هستند که با یکدیگر موازی یا تقریباً موازی هستند. درصورتی که درزه‌های نامنظم از جهت‌یابی تصادفی برخور دارند. در مواردی که نتوان دسته درزه‌ها را در صحرا تشخیص داد، باید با استفاده از روش آماری و پیاده کردن قطب صفحات برروی شبکه قطبی هم مساحت، روندکلی هر دسته را تشخیص داد.

۱۰-۲نمایش داده‌ها

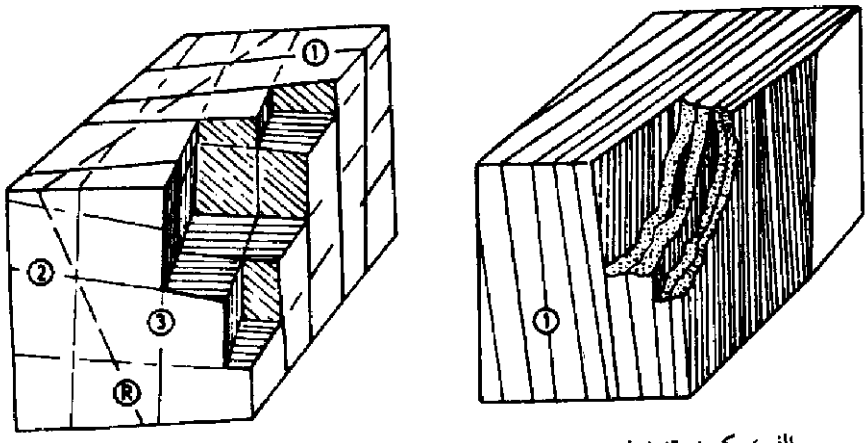
تعداد دسته درزه‌های موجود را می‌توان همراه با داده‌های مربوط به جهت‌یابی ارائه کرد. تعداد دسته درزه‌هایی که به‌طور محلی (مثلاً در طول یک تونل) دیده شده‌اند به صورت مندرج در شکل ۲۰ توصیف می‌شوند.

۱۱- اندازه قطعات[1]

اندازه قطعات یکی از بهترین شاخصهای تعیین کننده رفتار سنگ است. ابعاد قطعه به توسط فاصله گسستگیها، تعداد دسته‌درزه‌هاو تداوم آنها تعیین می‌شود. تعداد دسته درزه‌ها و جهت‌یابی آنها شکل قطعات حاصله را تعیین می‌کند. شکل قطعات ممکن است مکعبی، لوزی، چهاروجهی، ورقه‌ای و مانند آن باشند. نظر به اینکه درزه‌های یک دسته دقیقاً باهم موازی نیستند، لذا قطعات حاصله نیز کاملاً یکسان نیستند. به‌طورکلی، سنگهای رسوبی درزه‌دار معمولاً منظم‌ترین قطعات را به‌وجود می‌آورند.

1- Block size

omoorepeyman.ir



ب) سه دسته درز　　الف) یک دسته درز

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

تلفیق دو ویژگی، اندازه قطعات و مقاومت برشی بین قطعات، رفتارمکانیکی توده سنگ رادر 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 صورتی‌که اندازه قطعات کوچک باشد، حالت گسیختگی به جای آنکه مانند توده‌های سنگی به صورت لغزش[1] و واژگونی[2] باشد، ممکن است مشابه خاکها و به صورت چرخشی دایره‌ای[3]، بشود، در حالتهای استثنایی، ممکن است اندازه قطعات به حدی کوچکتر باشد که جریان[4] حادث شود. برای نمونه می‌توان به قطعات در حد حبه قند در مناطق برشی ایجاد شده در کوارتزیت اشاره کرد.

کارآیی 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 رامشابه توزیع اندازه دانه‌ها در خاک درنظر بگیریم.

اندازه قطعات را می‌توان یا به‌صورت ابعاد متوسط یک قطعه نمونه از توده سنگ، تحت عنوان شاخص اندازه قطعات (I_b) و به‌صورت 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

omoorepeyman.ir

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 [1] (I_b): این شاخص را می‌توان با انتخاب چند قطعه نمونه از سنگ و تعیین میانگین ابعاد آنها به‌دست آورد. نظر به‌اینکه این شاخص ممکن است دامنه‌ای از میلیمتر تا چندین متر داشته باشد، لذا یک دقت برداشت تا ۱۰٪ کافی به‌نظر می‌رسد. برای هر محدوده، از توده‌سنگ باید اندازه‌قطعه 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 درزه‌ها نیز قید شود.

ج) شمارش حجمی درزه‌ها(J_v): شمارش حجمی درزه‌ها به‌صورت مجموع تعداد درزه‌ها در هر متر، برای هر دسته درزه موجود بیان می‌شود. درزه‌های تصادفی را نیز می‌توان اضافه کرد، ولی این درزه‌هامعمولاً تأثیر کمی در نتایج حاصله دارند.

تعداد درزه‌های هر دسته را باید در جهت عمود به دسته درزه شمارش کرد. به‌این منظور یک طول نمونه‌برداری ۵الی ۱۰ متری پیشنهاد می‌شود. به‌این ترتیب که درزه‌های شمارش شده بر ۵ یا ۱۰ تقسیم می‌شوند تا تعداد درزه‌ها در متر به‌دست آید. نتایج نمونه از شمارش سه دسته درزه و درزه‌های تصادفی در امتداد یک خط برداشت ۵ یا۱۰ متری عمود بر هردسته به صورت زیر است :

$$J_v = \frac{۶}{۱۰} + \frac{۲۴}{۱۰} + \frac{۵}{۵} + \frac{۱}{۱۰}$$

$$J_v = ۰/۶ + ۲/۴ + ۱ + ۰/۱ = ۴/۱ \ m^3$$

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

1. Block size index

omoorepeyman.ir

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

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

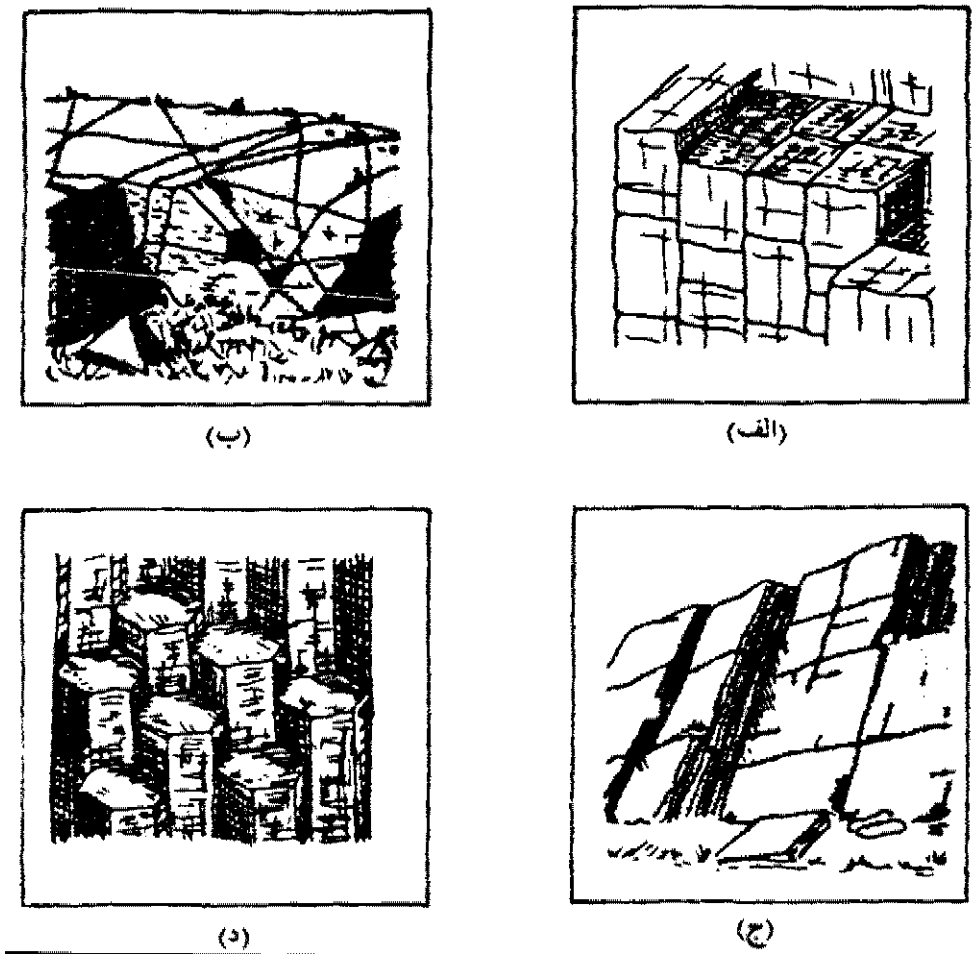
مقادیر J_V > ۶۰ نمایشگر توده سنگ خرد شده‌است و در زونهای برشی عاری از رس دیده می‌شوند.

د)توده‌های سنگی : به‌منظور 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

شکل قطعات	شـــرح
توده‌ای	درزه‌های محدود یا فاصله
قطعه‌ای	ابعاد قطعات تقریباً یکسان است.
صفحه‌ای	یک بعد قطعات به مقدار قابل ملاحظه‌ای کوچکتر از دو بعد دیگراست.
ستونی	یک بعد قطعات به مقدار قابل ملاحظه‌ای از دوبعد دیگر بزرگتر است.
نامنظم	تنوع گسترده اندازه و شکل قطعات
خردشده	به شدت خردشده یا حبه‌قندی

omoorepeyman.ir



شکل ۲۱- نمایش توده‌های سنگی با قطعات دارای اشکال مختلف

۲-۱۱ 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 به‌دست دهد. در چنین مواردی دسته چهارم در صورتی که از فاصله زیادی برخوردار باشد، ممکن است به‌طور 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:

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

omoorepeyman.ir

ب) برداشت صحرایی 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 برامتداد درزه‌ها در یک طول ۵ یا ۱۰ متری انجام داد. (۱۰٪ ± خطا قابل قبول است). باید توجه داشت که J_v برابر با $\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + ... + \frac{1}{S_n}$ 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:

تقریبی $RQD = ۱۱۵ - ۳/۳ J_v$

- در صورتی که مقدار $J_v < ۴/۵$ 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 قایم 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).

۱۱-۳نمایش 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 یاداشت می‌شود. به‌همراه این داده‌ها بهتر است، تعداد دسته درزه‌هاو 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.

omoorepeyman.ir

ج) توده سنگ و شکل قطعات آن توصیف می‌شود (توده‌ای، قطعه‌ای، صفحه‌ای، ستونی، خردشده و...).
درصورت 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[1]" 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 جهت‌یابی 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[2]

ب) فراوانی گسستگیها[3]

ج) شاخص کیفی سنگ[4]

۱۲-۱ روش کار

الف) وسایل موردنیاز عبارتند از : متر نواری حداقل ۳ متری که با درجات میلمتری 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: پریسکوپ 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[5] 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. علاوه‌بر 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

omoorepeyman.ir

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 به‌دست 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[1]" 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[2]، مشخص شود. به این منظور در جایی‌که 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 جهت‌یابی گسستگیها در این مرحله موردنظر نیست، لذا گمانه‌های دارای جهت‌یابی متفاوت، فراوانی‌های متفاوتی از گسستگی را به‌دست 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 پر شدگی‌اند.

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 گوژهای بیش تحکیم یافته[3])، 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 خبره‌ترین 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

omoorepeyman.ir

ساختی، مناطق ضعیف و غیره باید به‌طور 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 نشت آب)، انجام می‌شود.

۱۲-۳ جهت‌یابی

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 $5^{\circ} \pm$، اندازه‌گیری شود. در حالی‌که گمانه قائم باشد، مقدار شیب حقیقی هر گسستگی عبارت از $90^{\circ} - \theta$ است. باید توجه داشت که بدون در دست داشتن مغزه جهت‌یابی شده، امکان تعیین جهت شیب یا امتداد گسستگیهای برداشت شده در مغزه حفاری وجود ندارد. در مواردی که تعداد دو یا بیشتر، گمانه غیرموازی با هم در توده سنگ حفر شده است، اگر اشکال قابل تشخیصی چون لایه‌بندی یا فولیاسیون[1] در توده سنگ وجود دارد، می‌توان با استفاده از تکنیکهای ترسیمی، مخصوصاً استریوگرافیک، شیب و جهت شیب واقعی گسستگیها را تعیین کرد[2].

درصورتی‌که بررسیهای سطحی قبلی، جهت‌یابی تقریبی دسته‌درزه‌هایی را مشخص کرده است، می‌توان از گمانه‌های با جهت‌یابی مشخصی، برای کنترل جهت‌یابی این گسستگیها در اعماق، استفاده کرد. در مواردی که احتمال برخورد به درزه‌های قایم و افقی وجود دارد، پیشنهاد می‌شود گمانه‌های غیرقائم و با شیب زیاد (مثلاً با شیب ۶۰ درجه) حفر شود.

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

الف) جهت‌یابی مغزه بر مبنای جهت اندازه‌گیری شده در هر حفاری که به نام روش کرالیوس[3] معروف است. در

---

1. Foliation
2. Phillips, 1971
3. Craelius method

omoorepeyman.ir

جایی‌که بتوان قطعات مجاور هم مغزه را بخوبی در کنار هم جفت و جور کرد، این روش به خوبی نتیجه می‌دهد. وجود مناطقی که مغزه بازیافتی وجود ندارد یا گسستگیهایی که به‌طور عمود مغزه را قطع می‌کند، کارایی این روش را به‌طور کلی کاهش می‌دهد.

ب) جهت‌یابی مغزه توسط خط انداز فولادی و ابزار جهت‌یابی [1]

ج) روش نمونه‌گیری یکپارچه [2]. در این روش ابتدا در عمق دلخواه یک گمانه با قطر کم حفر شده سپس یک آرماتور دارای جهت‌یابی مشخصی در داخل آن قرار داده شده و با تزریق سیمان محکم می‌شود. سپس مرحله دوم حفاری با قطر بیشتر انجام شده و به این ترتیب مغزه یکپارچه و دارای جهت‌یابی مشخص که در محور آن آرماتور فولادی قرار دارد، به دست می‌آید.

د) مقدار و جهت شیب گسستگیها را همچنین می‌توان به وسیله بررسی مستقیم گمانه با دوربینهای تلویزیونی مخصوص، یا پریسکوپ گمانه‌ای به دست آورد. دوربین تلویزیونی را می‌توان به گونه‌ای جهت‌یابی کرد که سطوح گسستگیها به‌صورت یک خط مستقیم بر روی صفحه نمایش [3] نشان داده شود. در چنین شرایطی جهت و مقدار شیب را به سادگی می‌توان اندازه‌گیری کرد. گرچه دوربینهای تلویزیونی را تا عمق ۴۰۰ متر نیز به‌کار برده‌اند، با این‌حال معمولاً نتایج رضایتبخش را تنها می‌توان در اعماق کمتر از ۱۵۰ متر به‌دست آورد. کمترین قطر گمانه برای استفاده از دوربین ۷۶ میلیمتری است. در گمانه‌های با قطر کمتر می‌توان از پریسکوپ گمانه‌ای 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 می‌شود.

۱۲-۴ فاصله

در سنگهایی که دارای فولیاسیون یا لایه‌بندی مشخصی هستند، با انطباق قطعات مغزه در کنار هم، می‌توان فاصله حقیقی درزه‌های فولیاسیون، درزه‌های موازی لایه‌بندی یا دیگر درزه‌های منظمی که به طور مورب مغزه را قطع کرده‌اند، نیز به‌دست آورد. در اینجا فاصله (S) به طول (L) اندازه‌گیری 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 می‌آورند، بستگی دارد، از این رو:

$$S = L \sin \theta \qquad (۱-۱۲)$$

1. Christensen - Huegel method 2. Integrated sampling method 3. Monitor

omoorepeyman.ir

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

در مواردی که سنگ فاقد اشکال مشخصی چون لایه‌بندی 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 به‌دست نیامده، کار بررسی را پیچیده‌تر می‌کند. با این‌وجود اگر درزه‌هایی که مغزه را قطع می‌کنند، دارای زاویه تقاطع (θ) متفاوتی بوده و یا اشکال سطح درزه در آنها متفاوت باشد (مثل پوشش کانیها، ناهمواری سطحی، ...)، این امکان وجود دارد که فاصله مربوط را برای گروه درزه‌هایی که زاویه تقاطع کم و بیش مشابهی دارند، برآورد کرد. به‌کارگیری ابزارهای قابل توجیه مشاهده مستقیم دیواره گمانه، همچون پریسکوپ و دوربین تلویزیونی، به صورت قابل توجهی اعتبار اندازه‌گیریها را افزایش خواهد داد.

۱۲-۵ تداوم

به‌جز در مواردی که گمانه‌ها در شبکه‌ای نزدیک به هم حفر شده‌اند، آنچنان که در مورد گمانه‌های حفر شده برای تزریق و ایجاد پرده آببند وجود دارد، امکان تعیین تداوم گسستگیها با بررسی مغزه حفاری یا مشاهده مستقیم دیواره گمانه وجود ندارد. در مواردی که شبکه بهم فشرده‌ای از گمانه‌ها وجود دارد، نیز تنها پس از بررسی و مقایسه دقیق برداشتهای گمانه‌های مختلف امکان برآورد تداوم یک درزه، یا یک دسته درزه، به‌وجود خواهد آمد.

۱۲-۶ناهمواری

ناهمواری دیواره درزه‌ها را منحصراً نمی‌توان با بررسی مغزه حفاری مشخص کرد، با این وجود می‌توان به هر سطح، درجه‌ای از مسطوی بودن (مثل : مسطوی، دارای انحناء، نامنظم) و درجه‌ای از هموار (مثل : دارای خش لغزش، هموار، ناهموار) را منسوب کرد.

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

omoorepeyman.ir

۱۲-۷مقاومت 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 اشمیت، 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 تر جیحاً 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 شسته‌شدن بخشی از مواد پرکننده گسستگی، جابه‌جایی برشی یا سایش بخشی از مواد هوازده دیواره در خلال فرآیند حفاری باشد.

۱۲-۸بازشدگی

میزان دقیق بازشدگی درزه‌ها را تنها با روش "نمونه‌گیری یکپارچه" می‌توان تعیین کرد، در غیراین‌صورت 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 به‌صورت گسستگی باز یا تقریباً باز مشاهده می‌شود، در حالت طبیعی ممکن است یک گسستگی بسته بوده و به دلیل شسته‌شدن 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 به‌شدت 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 باز شدگی واقعی ممکن است به دلیل ناهمواریهای سطح درزه چندین برابر بازشدگی تئوریکی باشد که این‌گونه محاسبه می‌شود.

omoprepeyman.ir

۱۲-۹ 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)[1] و جریان آب تحت کنترل استفاده شود. با روشهای متداول حفاری تنها می‌توان مقادیر جزیی 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 قابل‌توجهی از مواد پرکننده یا هوازده در خلال فرآیند حفاری شسته شده باشد، باید برآوردی از ضخامت، محل و جهت‌یابی 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 پرشدگیها با همه اهمیتی که در تغییر شکل، پایداری و نشت آب دارند، با روشهای سنتی حفاری و نمونه‌گیری قابل شناسایی نیستند، از این‌رو اغلب لازم می‌شود تا از تکنیکهای پیشرفته بازیابی مغزه یا روشهای مشاهده و تصویربرداری از دیواره گمانه استفاده کرد.

۱۲-۱۰ نشت آب

بررسی مغزه حفاری، ممکن است نشانه‌ای غیرمستقیم از میزان نشت آب به‌دست 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 باطری 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 به‌دست آورد. برای تشخیص محل نشت یا جریان آب در گمانه می‌توان از پریسکوپ 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

omoorepeyman.ir

ردیابها و اندازه‌گیری پیزومترها) از سوی انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ISRM) و همچنین با استانداردهای وزارت نیرو[1] 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.

۱۲-۱۱ تعداد دسته درزه‌ها

میزان اطلاعات قابل حصول از مغزه‌ها و گمانه‌های اکتشافی به جهت‌یابی گمانه‌ها نسبت به دسته‌درزه‌های موجود در توده سنگ و همچنین طول گمانه‌ها نسبت به فاصله بین درزه‌ها بستگی دارد. در صورتی که بررسیهای سطحی جهت‌یابی تقریبی برخی از دسته‌درزه‌ها را مشخص کرده باشد، با گمانه‌هایی که جهت‌یابی 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 جهت‌یابی 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 ۱۰٪ ±) است. این برآورد را می‌توان در هر واحد سنگی یا محدوده مشخصی از سنگ انجام داد. اگر گمانه‌ها به گونه‌ای جهت‌یابی 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.

۱۲-۱۳ 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.

omoorepeyman.ir

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، ژیپس، 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. درهر جا که شک وجود دارد، باید فرض محافظه‌کارانه، یعنی طبیعی بودن شکستگی را درنظر 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 آتشکاری 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 جاهایی‌که مقاومت سنگ مورد سئوال 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 [1] (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 [2] و سنگ شدگی را به‌خوبی تحمل نکرده‌اند، تا حد زیادی وابسته به زمان و میزان رطوبت سنگ است. در همین ارتباط می‌توان از پدیده "دیسک" [3] شدن مغزه نام برد که طی آن در یک مغزه یکپارچه، بر اثر گذر زمان، شکستگیهایی ایجاد

1. Heuze 2. Diagenesis 3. Disking

omoorepeyman.ir

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 ازدست 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.

هـ) در برخی حالات می‌توان علاوه‌بر تعیین "درصد مغزه بازیابی شده" مقدار "مغزه کامل بازیابی شده"[1] 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 کارامد برای ثبت رنگ و حالت ظاهری مغزه به‌کار آید. علاوه‌بر آن عکسی از هر جعبه مغزه، در حالی‌که 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. تر کردن مغزه‌ها قبل از گرفتن عکس، تمایز[2] خوبی بین انواع مختلف سنگ و حالتهای نواری احتمالی موجود در سنگ، ایجاد می‌کند. تر کردن، نمی‌تواند کمکی به تشخیص بهتر درزه‌ها بکند، چون بر اثر تر شدن، نمونه به‌طور کلی تیره‌تر 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

omoorepeyman.ir

به این منظور فهرست کنترل زیر ارائه می‌شود تا مواردی از آن‌که 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 مغزه‌گیر**

ب) نمودار (لاگ) گمانه

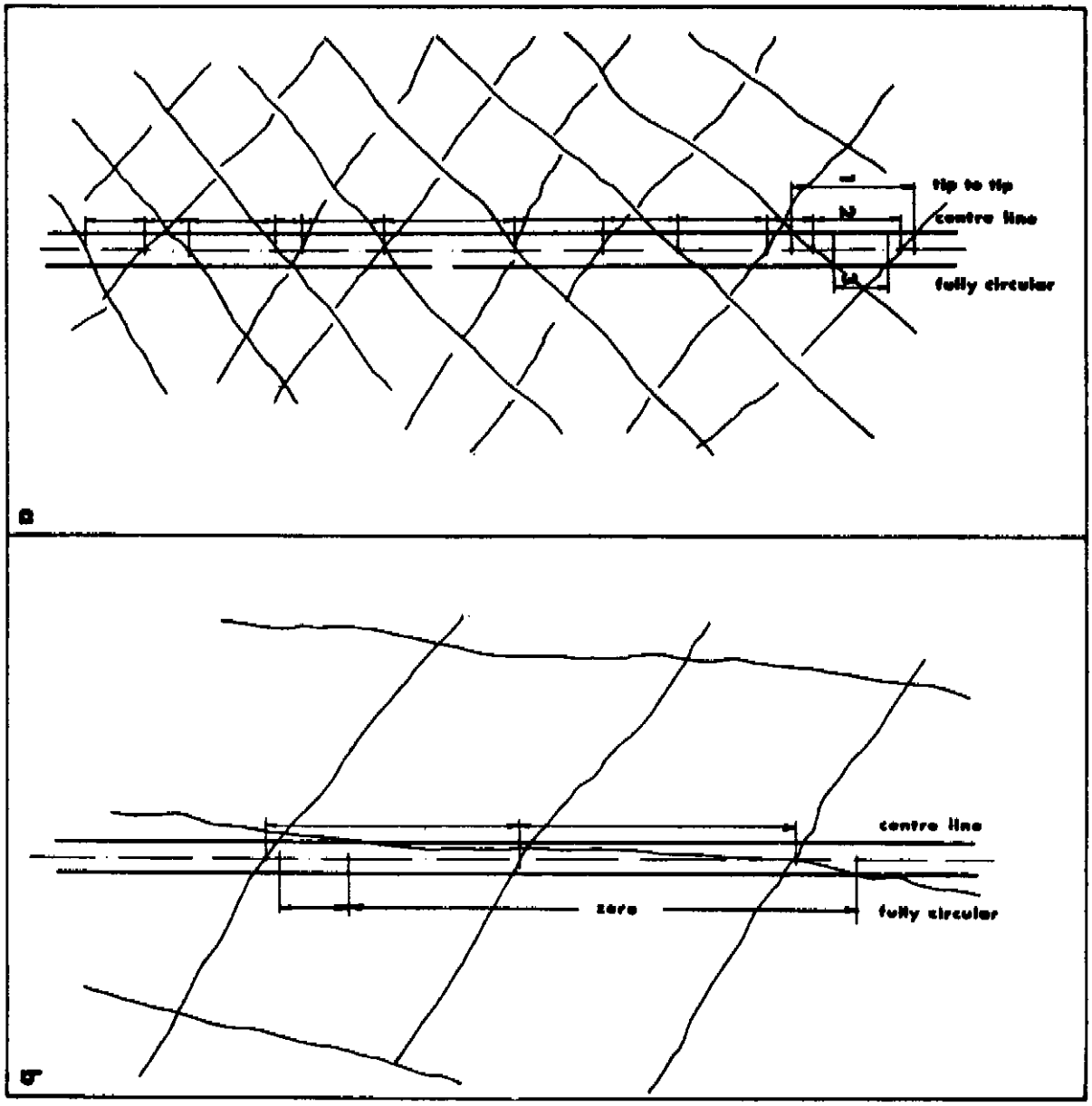
- **نمودار نمایش دهنده نوع سنگ (به همراه کلید معرفی‌کننده نشانه‌ها)**
- **نمودار شاخص بارگذاری نقطه‌ای (I_s)**
- **نمودار مغزه بازیابی شده**
- **نمودار نتایج آزمایش لوژون (به واحد لوژون) و سطح ایستابی**
- **نمودار فراوانی گسستگیها**
- **نمودار شاخص کیفی سنگ (RQD)**
- **نمودار شاخص اندازه قطعات (I_b)**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

omorepeyman.ir



شکل ۲۲- روشهای اندازه‌گیری قطعات مغزه حفاری

پیشنهاد می‌شود که همواره طول اندازه‌گیری شده در امتداد محور مغزه مورد استفاده قرار گیرد.

omoorepeyman.ir

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

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

ملاحظات (ارائه اطلاعات، بیشتر به‌صورت توصیفی)	۲۳	نشت آب ۲۲	مقاومت مواد پرکننده ۲۱	پرشدگی ۲۰	بازشدگی ۱۹	مقاومت دیواره	ناهمواری ۱۷		فاصله ۱۶	تداوم ۱۵	جهتیابی (درجه) شیب ۱۴		جهت‌شیب (آزیموت) ۱۳			نوع گسستگی ۱۲	ایستگاه ۱۱

۲۱- مقاومت مواد پرکننده	۲۰- پرشدگی (میلیمتر)	۱۹- بازشدگی (میلیمتر)	۱۸-مقاومت‌دیواره	۱۷- ناهمواری	۱۶- فاصله(متر)	۱۵- تداوم(متر)	۱۲-نوع‌گسستگی
مشابه‌بند۱۸	۰- تمیز	۱- ۰/۱ >	۱- تازه	۱- پله‌ای	۱- ۲ >	۱- ۱ >	۰- نامشخص
	۱-رنگ‌برگشتگی	۲- ۰/۵-۰/۱	۲-کمی هوازده	۲- مواج	۲- ۲-۰/۶	۲- ۳-۱	۱- زون گسله
۲۲-نشت آب	۲- رس	۳- ۲/۵-۰/۵	۳-نسبتاً هوازده	۳- مسطح	۳- ۰/۶-۰/۲	۳- ۱۰-۳	۲- گسل
۱- خشک	۳- لای	۴- ۱۰-۲/۵	۴- به شدت هوازده	a- زبر	۴- ۰/۲-۰/۰۶	۴- ۲۰-۱۰	۳- درز
۲-شواهدجریان آب(رنگ‌برگشتی)	۴-کلسیت	۵- ۱۰ >	۵- کاملاً هوازده	b- نرم	۵- ۰/۰۶ >	۵- ۲۰ >	۴- رخ
۳- مرطوب	۵- ژیپس	(یا مشابه	۶- خاک‌بر جا(جدولهای	c- با خش لغزش			۵- شیستوزیتی
۴- جریان‌کندآب	۶- اکسیدها	جدول ۸)	۴ یا ۵ یا شماره‌های				۶- شکاف
۵- جریان شدید	۷- گوژ		۱۱الی۱۳ از روی				۷- ترک کششی
(جدول ۱۱ یا	۸- مواد گرمابی		جدول ۶)				۸- فولیاسیون
هرمبنای دیگر)	۹-(درج‌اطلاعات بیشتردرملاحظات)						۹- لایه‌بندی

۲۳-

omoorepeyman.ir

۱۳- منابع و مآخذ

۱۳-۱ معماریان، حسین. زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۵۴ صفحه ۱۳۷۴.

۱۳-۲ معماریان، حسین. زمین‌شناسی برای مهندسین (چاپ دوم)، انتشارات دانشگاه تهران، ۷۳۶ صفحه، ۱۳۷۴.

۱۳-۳ معماریان، حسین. روشهای صحرایی بررسی توده‌سنگ، 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).

omoorepeyman.ir

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

omoorepeyman.ir

این نشریه
با عنوان «دستورالعمل برداشت صحرایی 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

9789644251658

omoorepeyman.ir