Archive of SID

دومین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران
کرمانشاه، ۹ و ۱۰ مهر ماه ۱۳۹۳

بررسی پایداری سطوح شیب‌دار با استفاده از روش ریزلرزه‌نگاری و انتشارآوایی

محمد حسین عرب نژاد*[۱]، مرتضی احمدی*[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن، مکانیک سنگ، دانشگاه تربیت مدرس

۲- عضو هیئت علمی بخش مهندسی معدن، مکانیک سنگ، دانشگاه تربیت مدرس

Arabnejad.m.h@gmail.com

خلاصه

پایداری پلکان‌های سنگی و خاکی همواره یکی از مسائل مهم ژئوتکنیکی و مهندسی شیب بوده، و شناسایی بموقع مناطق محتمل شکست و ریزش می‌تواند عامل بسیار موثری در جلوگیری و کاهش خسارات مالی و جانی گردد. به همین منظور روش‌های متنوعی برای رفتارنگاری و اطمینان از پایداری شیب توسعه و بسط داده شده است. هرکدام از این روش‌ها دارای مکانیزم، مزایا و معایب خاصی برای رفتارنگاری می‌باشند. در این مقاله با برشماری روش‌های مختلف رفتارنگاری به تشریح روش ریزلرزه نگاری و انتشارآوایی به عنوان یک روش جدید و کاربردی برای رفتارنگاری شیب پرداخته می‌شود.با بررسی جوانب روش‌های مختلف نشان داده شد که روش ریزلرزه‌نگاری و انتشارآوایی یک روش بسیار مناسب برای تعیین مناطق ناپایدار و سطوح شکست در پلکان‌ها بوده و توانایی مناسبی در پیش‌بینی و اعلام هشدارهای بموقع در هنگام شکست سطوح شیب‌دار را دارا می‌باشد.

کلمات کلیدی: سطوح شیبدار، رفتارنگاری، ریزلرزه‌نگاری و انتشارآوایی

۱. مقدمه

مسئله پایداری سطوح شیبدار سنگی و خاکی همواره یکی از مسائل مهم و چالش برانگیز در پروژه های بزرگ ژئوتکنیکی در مناطق مختلف می باشد. در پلکان‌های با ارتفاع زیاد انواع مختلف ناپایداری امکان ظهور و بروز را پیدا می‌کند. لغزش و ریزش در یک سطح شیبدار می‌تواند خسارات جبران ناپذیر جانی و مالی و ایجاد محدودیت‌های زیادی در هنگام اجرای یک پروژه را به دنبال داشته باشد به همین منظور اطمینان از پایداری شیب‌های طبیعی یا پلکان‌های حفر شده در یک پروژه اعم از سدسازی، راه‌سازی، ساختمان‌سازی در رو یا پاشنه یک پلکان و همچنین پلکان در معادن روباز یکی از موارد مهم می‌باشد. روش‌های مختلف رفتارنگاری[1] برای بررسی پایداری پلکان توسعه و بسط داده شده‌اند که هر کدام دارای مزایا،معایب ، محدودیت‌ها و شرایط کاربردی مخصوص به خود را دارند که می‌توانند در بررسی پایداری پلکان از آن‌ها استفاده مناسب نمود.

رفتارنگاری شامل اندازه‌گیری‌های دوره‌ای یا اتوماتیک نقاط معین در اطراف مناطق فعال برای تعیین تغییرشکل و جابجایی‌ها می‌باشد.یک رفتارنگاری مناسب و کارآمد باید توانایی ارزیابی پلکان برای ایجاد علائم اخطار و هشدارهای لازم و بموقع برای محافظت از افراد و وسایل را داشته باشد[1].

دلایل و الزامات اصلی رفتارنگاری پایداری شیب موارد زیر است:

- تصحیح و بهبود طراحی شیب
- ایجاد اطمینان از پایداری شیب برای تصمیم‌های مدیریتی بعدی
- استفاده از یک سیستم اعلام هشدار برای مناطق ناپایدار
- اندازه‌گیری میزان جابجایی و نرخ آن در زون‌های ناپایدار
- ایجاد یک ضریب اطمینان برای شیب برای عملیات‌های عمرانی بعدی

[1] Monitoring

* بخش مهندسی‌معدن‌مکانیک سنگ‌دانشگاه تربیت مدرس

www.SID.ir

Archive of SID

۲. مراحل رفتارنگاری پلکان

روند رفتارنگاری پلکان عموما شامل پنج مرحله می‌گردد. شروع مراحل با در نظر گرفتن الزامات و نیازهای رفتارنگاری است که شامل: اهداف، نیاز ها، ملزومات(اقتصادی و ایمنی) پروژه، تحقیق بر روی مشکلات گذشته پلکان مورد نظر و در نهایت تهیه یک گزارش از موارد مهم و الزامی در بررسی که باید در نظر گرفته شود و همچنین نتایجی که باید به آنها رسید.

مرحله دوم تعیین شرایط پروژه و سطح شیبدار می‌باشد که وابسته به شرایط پلکان، طراحی پلکان و برآورد ریسک می‌باشد نتایج این مرحله شامل محاسبه و تعیین احتمال ریزش و پارامترهای که بیشتر بر روی شکست موثراند،می‌باشد.

مرحله سوم در نظر گرفتن تاثیر این پارامترها بر روی طراحی سیستم‌های رفتارنگاری مختلف می‌باشد و توجه به این مطلب که برای بررسی دقیق این پارامترها با توجه به شرایط پلکان کدام روش دارای ارجعیت می‌باشد.

مرحله چهارم ابزاربندی و اندازه‌گیری واقعی در محل می‌باشد در این مرحله مشخص کردن تکنیک اندازه‌گیری و تغییرات پارامترهای مختلف، توجه به میزان دقت و صحت اندازه‌گیری و مشخص‌کردن مسئولیت افراد بسیار مهم می‌باشد.

مرحله پنجم شامل تفسیر و ارائه گزارش داده‌های رفتارنگاری است. گزارش باید شامل: نتایج و اطلاعات رخدادها ،تصمیم‌گیری‌ها ،تغییرات طراحی و میزان فواید مالی آنالیز و رفتارنگاری پلکان می‌باشد[2][1].

۳. روش های رفتارنگاری

روشهای مختلف رفتارنگاری شیب‌ها بر اساس وسایل اندازه‌گیری یا سنسورها و همچنین تئوری و تکنیک بررسی شیب به انواع مختلفی تقسیم بندی می‌شوند، که می‌توان آن‌ها را به چهار دسته کلی تقسیم کرد: روش های نقشه برداری و مساحی، روش های ژئوتکنیکی ،روش های ژئوفیزیکی و همچنین روش های از راه دور.

روش‌های نقشه‌برداری با اندازه‌گیری جابجایی و تغییر مکان نقاط شاخص تعیین شده در یک، دو یا سه جهت عمل می‌کنند. ابزار و روش‌هایی مانند دوربین‌های نقشه‌برداری و اسکنرهای لیزری زمینی[۱] در این دسته‌بندی قرار می‌گیرند.

ابزارهای اندازه‌گیری ژئوتکنیکی جابجایی و تغییرمکان نقاط شاخص تعیین شده را و همچنین تاثیرات محیطی یا شرایط مختلف را بررسی می‌کنند ابزار هایی مانند کشیدگی‌سنج[۲] ها،فشارسنج[۳] ها ،انحراف سنج[۴] ها و شتاب‌نگار[۵] ها در این دسته قرار می‌گیرند.

ابزارهای اندازه‌گیری ژئوفیزیکی پارامترهای خاک و سنگ و شرایط آن‌ها را بررسی می‌کنند، که شامل ابزارهایی مانند نقشه‌های لرزه‌ای و مقاومت الکتریکی ناحیه مورد نظر می‌باشد.

روش های از راه دور جابجایی و تغییر مکان نقاط مشخص را بدون ارتباط فیزیکی با محل را اندازه گیری می‌کنند این روش‌ها اغلب با استفاده از بالن‌ها و وسایل پروازی با استفاده از انتشار امواج الکترومغناطیسی و بازتاب یا انکسار از نقاط حساس انجام می‌گیرد ابزارهایی مانند رادار ها، لیدار[۶] ها و دوربین های نوری[۷] در این دسته قرار می‌گیرند.

همچنین گاهی اوقات در رفتارنگاری تغییر شکل‌های پیچیده این روش ها به صورت ترکیبی یا موازی نیز می‌توانند بکار گرفته شوند.در این تقسیم بندی ابزار و وسایل مختلفی در هر دسته توسعه وکاربردی گردیده‌اند که این تقسیم بندی در جدول ۱ آورده شده است:

---

۱ Terrestrial laserscanner
۲ Extensometer
۳ Piezometer
۴ Tilt meter
۵ Accelerometer
۶ Lidar
۷ Optical Camera

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- روش های مختلف رفتارنگاری شیب‌های سنگی و خاکی

اانواع روش ها	تقسیم بندی
روش های نقشه برداری و مساحی	تاچئومتری[۱] لیزر اسکن های زمینی ارتفاع سنج های دقیق[۲] سیستم های موقعیت سنج جهانی[۳]
روش های ژئوتکنیکی	ترک سنج[۴]ها انحراف سنج ها کشیدگی‌سنج ها شیب سنج‌ها[۵]ی درون چاهی کشیدگی‌سنج‌های درون چاهی فشارسنج‌ها زمان‌سنج بازتاب زمین[۶] فیبر های نوری[۷]
روش های ژئوفیزیکی	جریان سنج های مستقیم ژئو الکتریکی رفتارنگاری ریز لرزه نگاری
روش های از راه دور	مساحی عکسهای هوایی[۸] اسکنرهای لیزری بالنی ماهواره ها ماهواره رادارهای تداخلی[۹] رادارهای زمینی تداخلی[۱۰]

۳. روش ریز لرزه‌نگاری و انتشارآوایی

ناپایداری سطوح شیبدار عموما توامان با انتشار ریز لرزه‌ها تولید شده با ترک خوردگی، گسترش ترک و همچنین برش در لایه‌ها می‌باشد.این روش شامل نصب دریافت کننده‌های غیرفعال اکوستیک در پ که ثبت انرژی آزاد شده و خصوصا توزیع این رخدادهای اکوستیک را فراهم می‌کند، می باشد. با انجام یکسری تحلیل بر روی این داده‌ها می‌توان برای مشخص کردن مناطق فعال، تغییر شکل شیب و جزئیاتی از پیشروی روند شکست استفاده کرد[5][4][3].

شکل۱ نمایی کلی از سیستم دریافت کننده و سنسورهای این روش را نشان می-دهد.تجهیزات این روش شامل سنسورهای دریافت کننده، پیش تقویت کننده برای تقویت امواج دریافت شده، سیستم ذخیره و پردازش اطلاعات و منبع تغذیه می‌باشد.

شکل۱- سیستم دریافت کننده و سنسورهای روش انتشارآوایی و ریزلرزه نگاری

۱ Tacheometry
۲ Precise Levelling
۳ Global Positioning System
۴ Crackmeter
۵ Inclinometer
۶ Time Domain Reflectometry
۷ Fibre Optics
۸ Photogrammerty
۹ Satellite-born Radar Interferometry
۱۰ Ground-based Radar Interferometry

www.SID.ir

Archive of SID

در طی دو ده گذشته تکنیک رفتارنگاری ریز لرزه ای از تحقیقات محدود به یک روش کاربردی برای یک سیستم ایمنی و اعلام هشدار در بسیاری از فیلد های ژئوتکنیکی تبدیل گردیده است. این روش کاربرد بسیاری در کشورهای آفریقای جنوبی، کانادا، ژاپن، استرالیا و امریکا داشته است. این روش علاوه برکاربرد وسیعی برای استفاده در کلیه فیلدهای ژئوتکنیکی،بررسی‌های مکانیک شکستی [1] در کلیه مواد تا کاربرد در رفتارنگاری فعالیت-های آتشفشانی، شکستگی و جریان سیال درمخازن هیدروکربنی ،سیستم های زمین‌گرمایی و بررسی فعالیت‌های تکتونیکی غالب مناطق مورد استفاده گردیده است[6][1]. داده های این روش توسط مدل سازی های عددی نیز بسیار مورد مقایسه قرار گرفته که تطابق بسیار خوبی را نشان می دهد[6].

کاربرد این روش برای بررسی ناپایداری شیب های طبیعی از دهه ۱۹۸۰ میلادی آغاز گردیده است اگر چه مطالعات اخیر شرایط ویژه‌ای را برای توسعه، کاربرد و شناخته شدن این ابزار را در پی داشته است[10-3].

استفاده از روش‌های متداول در رفتارنگاری شیب اگر چه توانایی خوبی در بررسی پایداری دارند اما توانایی یک بررسی موثر ریزترک‌های درون توده سنگ را ندارند، این ریزترک‌ها خود منجر به تولید شکستگی‌های بزرگ‌تر و در نهایت ریزش و شکست نهایی می‌گردد. پیشرفت های امروزی بشر و ساخت سازه‌های عظیم و بزرگ مواجه با شرایط جدید و پیچیده ژئوتکنیکی را سبب گردیده است، این شرایط مکانیزم‌های پیچیده تنش و شکست را منجر می‌گردد روش رفتارنگاری ریز لرزه نگاری استفاده وسیعی در درک بهتر مکانیزم شکست در توده سنگ‌های عمیق را با بررسی امواج لرزه ای و موقعیت یابی آن ها فراهم می‌کند.با استفاده از این روش می‌توان یک سیستم هشدار ایمنی و اعلام خطر بسیار سریعتر از بقیه روش‌ها بکاربرد زیرا این روش توانایی رفتارنگاری در مراحل اولیه تغییر شکل را دارد. علاوه بر آن از این روش می‌توان برای بررسی تاثیر ساخت یک سازه و واکنش زمین در مراحل مختلف ساخت مورد استفاده قرار گیرد. همچنین این روش توانایی تعیین مناطق فعال و ناپایدار را دارد[6].

رفتارنگاری ریز لرزه نگاری اطلاعات منحصر بفردی در رابطه با تغییر شکل های زیر سطحی را در حجم کل شیب مهیا می کند. که این امر یک استفاده و کاربرد منحصر بفردی را در زمانی که داده های مجزا از سیستم های مختلف که عموما در پروژه‌ها استفاده می‌گردد را به منظور مقایسه و صحت سنجی (به عنوان مثال نتایج نقشه برداری، ترک سنج‌ها، کشیدگی سنج‌ها و غیره) فراهم می‌کند [1][2] . در کل روش ریز لرزه نگاری توانایی یک بررسی عمقی و سریعتر نسبت به دیگر روش را را دارست و در مقایسه با روش های مرسوم یک روش از راه دور، سه بعدی، و رفتارنگاری در لحظه می‌باشد[6].

در ابتدا این روش برای بررسی ناپایداری در شیب های سنگی مورد استفاده قرار گرفت ولی اکنون برای بررسی در شیب های خاکی نیز مفید فاید می‌باشد در عمل اگرچه میزان کم قدرت انتشار های اکوستیک و بالا بودن دامنه امواج در این گسیختگی‌ها مانع تحلیل‌ها می‌شود.اما با استفاده از ابزار و وسایل خاصی و همچنین سنسورهای خاصی برای شیب‌های خاکی این روش را کاربردی کرده است.استفاده از روش ریزلرزه نگاری در سطوح شیبدار خاکی با استفاده از کابل های حساس به ارتعاش که درون زمین نصب می‌گردند و با جابجایی حاصل از حرکت شیب این کابل‌ها که متصل به سنسورهای اکوستیک هستند توانایی ضبط داده‌ها و تعیین محل جابجایی را دارد[9][8][7].

۴. اندازه گیری پارامترها

امیترانو [2] و همکاران رابطه بین رخدادهای اکوستیک شیب و همچنین حجم ناپایدار و ریزش یا به عبارتی میزان ناپایداری شیب را نشان دادند. آن‌ها همچنین در رابطه با تغییر شکل های شکننده(ترک خوردگی، رشد ترک، گسلها و برش زیر لایه ها) که منجر به تولید سیگنال های ریز لرزه ای می‌گردند، این روش را بکار بردند،بخصوص برای استفاده در بررسی ریزش های واژگونی که نیاز به برش و شکستگی است این روش را توصیه کرده‌اند. در کل برای شکست‌ها و ریزش‌هایی که نیاز به تولید سطح شکستگی دارد این روش بسیار مفید و کاربردی است[4][3].

اصول استفاده از این روش شامل چهار مرحله می‌باشد[6]:

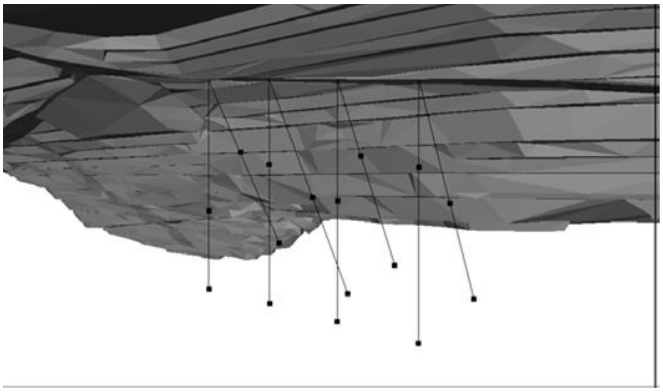
۱- نصب سنسورهای حساس بر روی شیب برای ثبت داده ها،
۲- تعیین محل و بزرگی رخدادها با انجام تحلیل های مختلف بر روی امواج ثبت شده،
۳- تعیین مناطق دچار تغییرشکل و جابجایی بر اساس تعداد تجمعی رخدادها و انرژی آزاد شده و
۴- قضاوت بر روی پایداری شیب.

در شکل ۲ و ۳ نصب سنسورها بر روی یک شیب و نتایج حاصل از رفتارنگاری را نشان می‌دهد که با استفاده از نتایج حاصل از نقطه یابی می‌توان به مناطق ناپایدار ، نوع شکست و دیگر پارامترهای مختلف از رفتار شیب پی‌برد.

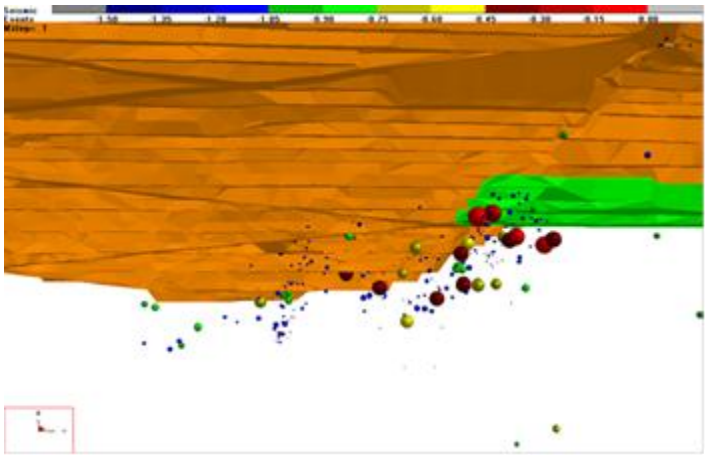
[1] Fracture Mechanic
[2] Amitrano

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- نصب سنسورها درون یک سطح شیبدار[10]



شکل ۳-تعیین محل رخدادها با توجه به میزان انرژی و زمان رسیدن امواج به سنسورها[10]

به از نصب و دریافت اطلاعات آنالیزها و تحلیل های مختلفی بر روی داده ها انجام میگیرد که این آنالیز ها را میتوان به چند دسته تقسیم‌بندی کرد:

۱- شمارش تعداد رخداد ها که نشان دهنده نرخ فعالیت‌ها با میزان انرژی آزاد شده است،

۲- تعیین محل رخدادها،

۳- انالیز کامل داده های امواج ثبت شده و

۴- تعیین محل و نوع شکست و مکانیزم غالب بر اساس یک رفتارنگاری چندین ماهه.

بعد از انجام آنالیز های مختلف از سه جنبه می‌توان پایداری شیب را مورد بررسی قرار داد:

۱-انرژی آزاد شده مرتبط – با بررسی داده های رفتارنگاری رخدادهای اتفاق افتاده و دامنه آن‌ها میتوان یک تحلیل ابتدایی انجام داد به این صورت که تغییرات مختلف در انرژی آزاد شده، داده‌های موقت و کیفی در رابطه با پایداری شیب را مهیا می‌کندکه افزایش در میزان انرژی آزاد شده نشان دهنده ناپایداری پلکان می‌باشد.

۲-ارزیابی‌های خاص-تعیین نقاط رخدادهای ریز لرزه نگاری اطلاعات مفیدی در رابطه با موقعیت رشد و همچنین مکانیزم نواحی ناپایدار(نوع و جهت ریزش) را می‌تواند مهیا کند. هرگونه موقعیت یابی ساده نیاز به آزمایش‌های لرزه ای برای تعیین شرایط زیرسطحی و کالیبره کردن داده‌ها و سنسورها دارد.

۳-تانسور لحظه‌ای[1] و موقیت یابی[2]- داده‌های جزئی‌تر از بررسی‌های ریز لرزه نگاری می‌تواند اطلاعات در رابطه با رخدادهای ریز لرزه‌ای به صورت مجزا صورت گیرد که به تفسیر مکانیزم ناپایداری کمک می‌کند غالب شدن شکستگی ها و رخدادهای برشی نشان دهنده ناپایداری زیاد یک شیب است[11]. این امر نیاز به انجام آزمایش‌های لرزه ای، نصب ژئوفون ها و همچنین یک مقطع نگاری سه بعدی و تحلیل دقیق نتایج دارد.

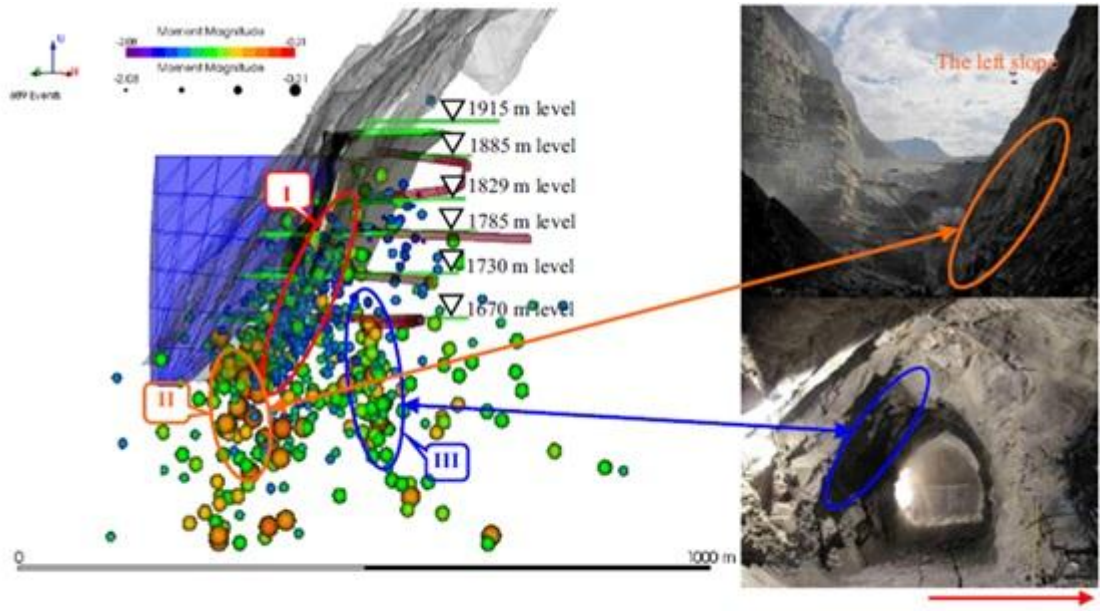
در شکل ۴ کاربرد این روش را در ساختگاه سد نشان می‌هد که با استفاده از نتایج رفتارنگاری در رابطه با پایداری پلکان می‌توان قضاوت کرد.

[1] Moment Tensor

[2] Source location

www.SID.ir

Archive of SID



شکل٤- تعیین محل و بزرگی رخدادها و تطابق با رخدادها با شرایط محیطی[6]

داده ریز لرزه نگاری ممکن است برای رفتارنگاری‌های موقت یا ارزیابی‌های ویژه ناپایداری شیب مورد استفاده قرار گیرد. تنوع و توزیع در اطلاعات رخداد ها به میزان زیادی وابسته به حساسیت و نحوه آرایش ژئوفون ها دارد و همچنین نتایج وابسته به حساسیت سنسورها، محدوده دینامیکی رخدادها، محدوده فرکانس‌رخدادها و نحوه آرایش سنسور ها می‌باشد و به در نتیجه تفسیر محدودی در اثر عدم توجه به ملاحظات نصب سنسور ها می‌تواند ایجاد گردد[6].

اهمیت شبکه و سیستم نصب شده را در کارهای روس[1] می‌توان دید او با افزایش حساسیت لرزه ای شبکه توانست میزان دریافتی رخدادها را از ۳ به ۵۰-۱۰۰ رخداد در هر روز در یک لغزش ۱۵ سانتی متری در سال دست یابد[12]. تحلیل مربوط به سیگنال‌ها همچنین مشخص‌کننده تاثیر و نمایان‌کننده رخدادهای ناخواسته[2] در پلکان می‌گردد بیش از ۶۶۰۰۰ فایل ثبت شده در یک دوره ۳۱ ماهه توسط اسپیلمان[3] ثبت شدکه او توانست ۲۳۳ محل برای سیگنال ها را در یک پلکان با حرکت ۱-۲ سانتی متر در سال را مشخص کند[11]. رفتارنگاری که توسط امیترانو انجام گرفت، محل نویزهای اکوستیک در یک صخره در طول یک دوره شش ماهه تا ریزش را ثبت کرد. او همچنین نشان داد که به صورت متوسط 1/7 رخداد در روز تا ۲ ساعت قبل ار ریزش زمانی که نرخ افزایش به سه برابر بزرگی و توامان با افزایش سایز رخداد های لرزه ای مشاهده گردید[3].

۵. ملاحظات نصب

سیستم ریزلرزه‌نگاری از آرایشی از ژئوفون های حساس بهره می‌گیرد که عموما متصل به یک سیستم جمع‌آوری مرکزی برای ثبت انتشارهای ریز لرزه‌ای بوده و همچنین فیلترهایی در جهت عدم ثبت داده‌های ناخواسته محیطی را انجام می‌دهد. برای این امر سنسورها باید مستقیما به سطح سنگ متصل گردند. منابع داده‌های ناخواسته در بررسی پایداری پلکان‌ها می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- فعالیت های انسانی(عبور و مرور وسایل نقلیه، حفاری یا ساخت و ساز)
- تاثیرات اتمسفری(باد، تابش، خورشید و ....)
- فرایند های زمین شناسی غیر مرتبط(سقوط قطعات سنگ و زمین لرزه‌های دور)

اگر چه امکان حذف‌کردن منابع داده‌های ناخواسته وجود دارد اما این روند باعث کاهش شفافیت و کیفیت داده‌های ثبت شده در رابطه با ناپایداری شیب می‌گردد. ملاحظاتی باید برای بدست آوردن مقاومت و حد آستانه مورد انتظار و فاصله عبوری سیگنال‌ها و در نتیجه سرعت عبوری موج در محیط در رابطه با داده‌های ناخواسته محلی باید در نظر گرفته شود. تخلخل و شکستگی‌ها جاذب‌های بسیار خوبی برای انرژی ریز لرزه‌ها و در نتیجه

[1] Rouse
[2] Noise
[3] Spillmann

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش عمقی که سیگنال ها را می‌توان بدست آورد، گردد[9][3]. اسپیلمان این نکته را متذکر شد که ممکن است در سنگ‌های بشدت خورد شده و سنگ‌های کریستالی گسله، عمق ۱۰۰ متر نهایت عمقی است که داده ها را می‌توان برداشت کرد[11].

مسئله ذخیره داده‌ها برای این سیستم نیاز به یک ظرفیت مناسب می‌باشد عموما از سیستم‌های رادیویی برای انتقال داده‌ها از دستگاه گیرنده به سیستم مرکزی استفاده می‌گردد. عمر مفید قطعات الکترونیکی نیز مسئله مهمی می‌باشد که در بررسی‌های طولانی مدت منجر به خرابی و در نتیجه نیاز به مراقبت و در موارد لزوم باید تعویض گردند[6][12][11].

طرح بندی شبکه نقش مهمی برای تعیین قابلیت ثبت داده‌ها را ایفا می‌کند ژئوفون‌های بهینه باید به صورت تصادفی توزیع گردد و در مرکز محل مورد نظر نصب گردد. برای محل‌های خاص و ناپایدار حداقل فاصله باید از معمول نیز کمتر باشد . در مناطق ناپایدار کم عمق نیاز به یک آرایش نزدیک از سنسورها و در شکست های عمیق نیاز به محل یابی مشخص و نصب با دقت سنسور ها در مناطق ناپایدار می باشد.

رفتارنگاری ریز لرزه نگاری درون چالی می‌تواند کمک قابل توجه‌ای برای موقعیت یابی، عمق و زمان رسیدن امواج باشد،خصوصا در سنگ-های هتروژن به شدت خرد شده که عموما ریزش دارند.اهمیت نصب ژئوفون‌های نصب شده در چال و ارتباط با دیواره بسیار زیاد است و باید از موادی برای ارتباط مناسب سنسور و سطح مورد نظر استفاده کرد که ماکزیمم عبور سیگنال را از خود داشته باشد و به عنوان جاذب عمل نکند[7][8].

۶. نتیجه‌گیری

روش‌های مختلف برای رفتارنگاری ناپایداری شیب‌های سنگی و خاکی وجود دارد که می‌توان آنها به چهار دسته کلی: روش‌های نقشه برداری و مساحی، روش های ژئوتکنیکی ،روش های ژئوفیزیکی و همچنین روش های از راه دور تقسیم می‌گردندکه هرکدام از این روش ها دارای مزایا، محدودیت ها و شرایط کاربردی شدن خاصی می‌باشند. با توجه به پیشرفت‌های زیاد در تئوری‌ها و ابزارهای مکانیکی و الکتریکی تمایل برای استفاده از روش‌های نوین که قابلیت‌های زیادی دارند رو به فزونی است. روش انتشار آوایی و ریزلرزه نگاری یک روش نوین که دارای مزایای بسیاری نسبت به روش های مرسوم می‌باشد. این روش توانایی یک بررسی زیر سطحی از توده مورد نظر را دارد و می‌تواند به میزان دقت بالایی مکانیزم، محل و میزان پیشروی شکست در توده های مختلف و در اعماق مختلف را رفتارنگاری نما ید.

این روش یک سیستم هشدار ایمنی (بسیار سرعتر از بقیه روش‌ها) و توانایی رفتارنگاری در مراحل اولیه تغییر شکل را دارد. علاوه بر آن از این روش می‌توان برای بررسی تاثیر ساخت یک سازه و واکنش زمین در مراحل مختلف ساخت مورد استفاده قرار گیرد. همچنین این روش توانایی تعیین مناطق فعال و ناپایدار را دارد و در مقایسه با روش های مرسوم یک روش از راه دور، سه بعدی و رفتارنگاری در لحظه می‌باشد. همچنین یک استفاده و کاربرد منحصر بفردی را در زمانی که داده‌های مجزا از سیستم‌های مختلف که عموما در پروژه‌ها استفاده می‌گردد را به منظور مقایسه و صحت سنجی فراهم می‌کند

این روش دارای آنالیزها و تحلیل‌های مختلفی می‌باشد که میتوان با این تحلیل‌های مختلف یک دید بسیار کامل از رفتار یک توده سنگ و خاک را بدست آورد. هر چند تحلیل‌ها روند تئوریکی و تخصصی دارند اما کاربرد این تحلیل‌ها بسیار مناسب و کاربردی می‌باشد. ملاحظات نصب و دقت در کاربرد صحیح ابزار و سنسور یکی از موارد مهم و ضروری در بکارگیری این روش می‌باشد که توجه به این موارد در میزان دقت و صحت نتایج تاثیر بسزایی دارد.

۱۲. مراجع

۱- B. S. für Umwelt and G. und Verbraucherschutz, *ClimChAlp: Climate Change, Impacts and Adaptation Stategies in the Alpine Space: Strategic Interreg III B Alpine Space Project*. 2008.

2- K. Osasan and T. Afeni, “Review of surface mine slope monitoring techniques,” *J. Min. Sci.*, vol. 46, no. 2, pp. 177–186, 2010.

3- D. Amitrano, J. R. Grasso, and G. Senfaute, “Seismic precursory patterns before a cliff collapse and critical point phenomena,” *Geophys. Res. Lett.*, vol. 32, no. 8, p. L08314, 2005.

4- D. Amitrano, S. Gaffet, J.-P. Malet, and O. Maquaire, “Understanding mudslides through micro-seismic monitoring: the Super-Sauze (South-East French Alps) case study,” *Bull. la Société Géologique Fr.*, vol. 178, no. 2, pp. 149–157, 2007.

www.SID.ir

Archive of SID

5- O. Méric, S. Garambois, J.-P. Malet, H. Cadet, P. Guéguen, and D. Jongmans, "Seismic noise-based methods for soft-rock landslide characterization," *Bull. la Soc. Geol. Fr.*, vol. 178, no. 2, pp. 137–148, 2007.

6- N. Xu, C. Tang, L. Li, and Z. Zhou, "Microseismic monitoring and stability analysis of the left bank slope in Jinping first stage hydropower station in southwestern China," *Int. J. …*, vol. 48, pp. 950–963, 2011.

7- N. Dixon, R. Hill, and J. Kavanagh, "Acoustic emission monitoring of slope instability: development of an active waveguide system," 2003.

8- T. Spillmann, "Borehole radar experiments and microseismic monitoring on the unstable Randa rockslide (Switzerland)." ETH, 2007.

9- C. Rouse, P. Styles, and S. a. A. Wilson, "Microseismic emissions from flowslide-type movements in South Wales," *Eng. Geol.*, vol. 31, no. 1, pp. 91–110, Sep. 1991.

10- G. Sweby, L. Morris, D. Goodchild, and C. Trifu, "High Resolution Seismic Monitoring at Mt Keith Open Pit Mine," *Golden Rocks 2006, …*, pp. 6–11, 2006.

11- T. Spillmann, H. Maurer, A. G. Green, B. Heincke, H. Willenberg, and S. Husen, "Microseismic investigation of an unstable mountain slope in the Swiss Alps," *J. Geophys. Res. Solid Earth*, vol. 112, no. B7, p. B07301, Jul. 2007.

12- M. Roth, M. Dietrich, L. H. Blikra, and I. Lecomte, "Seismic monitoring of the unstable rock slope site at Åknes, Norway," in *19th EEGS Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*, 2006.

www.SID.ir