

مطالعه زمین لغزش با استفاده از تکنیک ماره

سیف اله رسولی^۱، زهرا اسکندری^۲ و یوسفعلی عابدینی^۳

^۱ دانشیار، دانشکده فیزیک و مرکز پژوهشی اپتیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه، زنجان، ایران
^۲ کارشناس ارشد، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
^۳ استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۲/۲۶

چکیده

در این نوشتار، روشی جدید برای مطالعه زمین لغزش و اندازه گیری مقدار جابه جایی ناشی از آن با استفاده از تکنیک ماره ارائه می شود. این پژوهش در روستای قلفاتی از توابع شهرستان زنجان انجام شده است. روستای قلفاتی در دامنه کوه مشرف به دره ای ژرف واقع شده است و شیب زمین در محل استقرار آن زیاد است. رخداد زمین لغزش به طور مستمر در طول سال های گذشته در این روستا گزارش شده است. برای انجام این مطالعه، نقش یک توری روی دیوار اتاق یکی از منازل مسکونی روستا که در اثر زمین لغزش در سنوات گذشته بارها تَرَک برداشته بود، چاپ شد. به طوری که تَرَک در وسط نقش توری و امتداد آن موازی خطوط توری قرار گرفت. تصویر این توری توسط دستگاه تصویرساز روی توری دیگری که راستای خطوط آن با خطوط توری اول زاویه کوچکی داشت، انداخته شد. توری دوم در کانون پشتی دستگاه تصویرساز قرار داشت. از برهم نهی این دو، فریزهای ماره ظاهر شد. در اثر لغزش زمین، فریزهای ماره متناظر با دو سوی تَرَک نسبت به هم جابه جا می شد. در هر ۵ دقیقه یک تصویر از فریزهای ماره توسط دوربین CCD در حافظه رایانه ثبت شد. در تابستان و پاییز سال ۱۳۸۸ به مدت ۷۰ روز متوالی، تصاویر نقش ماره در فواصل زمانی برابر به طور خودکار در حافظه رایانه ثبت شد. با تحلیل فریزهای ماره و تعیین مقدار جابه جایی نسبی آنها، مقدار حرکت زمین و رفتار زمانی آن تعیین شد. جابه جایی ناشی از حرکت شیب در این مدت در حدود ۴ میلی متر اندازه گیری شد. از مزایای این روش سادگی آرایش، هزینه پایین، تمام خودکار بودن و دقت بالای آن است. دقت اندازه گیری جابه جایی زمین در این پژوهش ۰/۰۴ میلی متر بود.

کلیدواژه ها: تکنیک ماره، زمین لغزش، اندازه گیری جابه جایی

* نویسنده مسئول: سیف اله رسولی

E-mail: rasouli@iasbs.ac.ir

۱- مقدمه

منازل روستاییان موجود و مشهود است. در تعدادی از منازل روستا دیوارهایی وجود دارد که تَرَک برداشته اند و در صورت تعمیر نشدن دیوارها، این نوع تَرَک ها هر سال بازتر و بازتر می شوند. شواهد موجود و اظهارات ساکنان روستا این مطلب را تأیید می کند. همچنین مواردی وجود دارد که به دلیل تعمیرات بسیار لایه سطحی، دوسوی تَرَک ها ظاهراً به هم وصل شده اند، اما پس از برداشتن لایه های سطحی، شکاف های ژرف تری در محل تَرَک دیوارها نمایان می شود.

در اثر رانش زمین در زمین های شیب دار، توده ای از خاک در امتداد شیب زمین جابه جا می شود. این جابه جایی دارای دو مؤلفه قائم و افقی است. مؤلفه قائم جابه جایی، باعث نشست می شود و مؤلفه افقی آن، باعث رانش نسبی دو بخش ساکن و متحرک زمین می شود. به نظر می رسد که باز شدن مداوم این شکاف ها در طول سال های گذشته ناشی از جابه جایی نسبی توده های مواد تشکیل دهنده زمین در دوسوی شکاف ها است که نسبت به هم با آهنگ کوچکی جابه جا می شوند. در تصاویر شکل ۱ نمونه هایی از اثرات زمین لغزش در روستای قلفاتی نشان داده شده است.

از تکنیک ماره به دلیل خاصیت بزرگنمایی آن برای اندازه گیری جابه جایی های کوچک، انحراف های کوچک باریکه نور و حرکت های آهسته در شاخه های مختلف علوم و فنون استفاده می شود (Rasouli, 2010). وقتی دو ساختار با ضریب عبور و یا بازتاب تناوبی (مانند توری) با گام های نزدیک به هم، به طور موازی یا مورب روی هم قرار بگیرند، ساختار تناوبی جدیدی با گام بزرگ تر (بسامد فضایی کمتر) به وجود می آید که نقش ماره یا فریزهای ماره نامیده می شود (Patroroski, 1993).

Kostak (1969) وسیله ای برای آشکارسازی و اندازه گیری حرکت زمین در پیوندگاه های صخره ها با استفاده از دو نقش ماره ای معرفی کرد. در این روش با برهم نهی توری های دایره ای دو مجموعه از فریزهای ماره هذلولی شکل تشکیل می شود. با این وسیله صرفاً با شمارش تعداد و جهت جابه جایی فریزهای ماره،

مطالعه پایداری شیب های طبیعی زمین پیش از اجرای پروژه های بزرگ عمرانی، مانند انتخاب مسیر احداث بزرگراه ها و راه های کوهستانی، انتخاب محل احداث سدها و همچنین کانال های انتقال آب، احداث تونل ها و طرح هایی مانند توسعه جنگل ها، مراتع و معادن اهمیت ویژه ای دارد و از مهم ترین الزامات اجرای این گونه پروژه ها به شمار می رود.

به حرکت توده ای مواد تشکیل دهنده زمین شامل خاک و سنگ در مناطق شیب دار تحت تأثیر نیروی گرانش به طرف پایین، حرکت شیب گفته می شود و با توجه به نوع حرکت توده مواد به: افتان، لغزش انتقالی یا رانش، لغزش چرخشی، سیلان و واژگونی طبقه بندی می شود (Sassa et al., 2007; Glade et al., 2005). عوامل بسیاری بر پایداری یک شیب تأثیر می گذارند و می توانند باعث ایجاد لغزش شوند (Capper & Cassie, 1976).

مطالعه حرکت شیب های طبیعی زمین و رفتارسنجی آن، هم از نظر پدیده شناسی و هم به دلیل خسارت های زیادی که این پدیده به وجود می آورد اهمیت دارد و به همین دلیل روش های بسیاری برای این منظور به کار برده شده است. از آن جمله می توان به نقش برداری معمولی، استفاده از ابزارهای برداشت صحرائی، GPS، روش های لرزه نگاری و یا روش های سنجش از راه دور اشاره کرد (شریعت جعفری، ۱۳۷۵). عموماً این روش ها با هزینه بالا انجام می شود و دقت نوعی آنها در تعیین مقدار جابه جایی های نسبی در بهترین حالت از مرتبه چند میلی متر است. بنابراین ارائه روشی که بتوان با آن جابه جایی های ناشی از لغزش زمین را به طور دقیق، کمی و کم هزینه اندازه گیری کرد، از اهمیت زیادی دارد.

روستای قلفاتی واقع در ۶۵ کیلومتری جاده زنجان به بیجار از جمله مناطقی است که رخداد پدیده زمین لغزش به طور مستمر در طول سال های گذشته در آن گزارش شده است. این روستا در دامنه کوه مشرف به دره ای ژرف واقع شده و شیب زمین در محل استقرار آن زیاد است. آثار جابه جایی زمین ناشی از این پدیده در مزارع و حتی

محور Y می سازند (شکل ۳)، با رابطه زیر نشان داده می شود:

(۲)

$$T(x, y) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} a_n a_m \exp\left(\frac{i2\pi m}{d} [(n+m)x \cos(\theta/2) + (n-m)y \sin(\theta/2)]\right)$$

از رابطه (۲)، ساختار تناوبی جدیدی با گام بزرگ تر از گام توری ها برای حالت $n=m$ به دست می آید که گام فضایی آن از رابطه زیر حاصل می شود

(Patroroski 1993):

$$d_m = \frac{d}{2\sin(\theta/2)} \quad (۳)$$

در ادامه با توجه به آرایش آزمایش، d گام توری دوم و گام تصویر توری اول، θ زاویه بین خطوط دو توری، و d_m گام فریزهای ماره در نظر گرفته می شود. در آرایش شکل ۲، گام توری اول (D) و گام توری دوم (d) با رابطه $D = \frac{p}{q} d$ با هم ارتباط دارند که p و q فاصله توری های اول و دوم از عدسی تصویر ساز هستند.

در نقش ماره چرخشی، جابه جایی یکی از توری ها در امتداد عمود بر خطوط آن باعث جابه جایی بیشتر فریزهای ماره در جهت عمود بر امتداد فریزهای ماره می شود (شکل ۳). در این مطالعه فریزهای ماره افقی و خطوط توری ها عمودی بودند. باز شدن تَرَک در اثر رخداد زمین لغزش باعث جابه جایی نسبی دوسوی آن می شود یعنی بخشی از توری اول که در یک سمت تَرَک است، در امتداد افقی حرکت می کند و در نتیجه فریزهای ماره متناظر آنها عمودی حرکت می کنند. برای θ ثابت، جابه جایی فریزهای ماره، δd_m ، با جابه جایی تصویر توری اول، δd ، به صورت زیر ارتباط دارد:

$$\delta d_m = \frac{\delta d}{2\sin(\theta/2)} = \left(\frac{d_m}{d}\right) \delta d \quad (۴)$$

با داشتن نسبت $\frac{d_m}{\delta d_m}$ می توان مقدار جابه جایی نسبی دو طرف شکاف را از رابطه زیر به دست آورد:

$$\delta D = \left(\frac{p}{q}\right) \delta d = \left(\frac{p}{q}\right) \left(\frac{d}{d_m}\right) \delta d_m = D \left(\frac{\delta d_m}{d_m}\right) \quad (۵)$$

در این پژوهش $D=2\text{mm}$ است و به طور تجربی تعیین می شود. این نسبت برابر یک بخش بر گام فریزهای ماره بر حسب پیکسل است.

۳- کارهای تجربی و نتایج

برای انجام این پژوهش، ابتدا لایه کاهنگی دیوار مورد نظر که در سال های گذشته بارها به علت زمین لغزش تَرَک برداشته بود، تراشیده و سپس سطح دیوار با ملات گچ، صاف و هموار شد. پس از خشک شدن کامل لایه گچی، سطح دیوار با رنگ تمام پلاستیک نقاشی شد. رنگ پلاستیک سطح دیوار را مناسب برای مرحله چاپ نقش توری می کند. نقش توری اول شامل خطوط موازی با گام 2mm با استفاده از کلیشه ای که پیش تر تهیه شده بود، روی دیوار چاپ شد به گونه ای که رد تَرَک در وسط این توری و به موازات خطوط توری قرار گرفت. از یک ریل و دو عدد لغزنده و تعدادی سیلندر و پیستون برای نگهداشتن عدسی ها و دوربین ها استفاده شد. از دو تایی سیلندر و پیستون تنظیم ارتفاع را ممکن می کرد. ریل روی سطح میز ثابت شد و پایه های میز برای جلوگیری از هرگونه جابه جایی ناخواسته، با ملات گچ به سطح زمین چسبانده شد. توری دوم در محل قرارگیری فیلم (نگاتیو) در یک دوربین عکاسی (زنیت-۴۱۲) تعبیه شد. این دوربین روی ریل و در برابر توری اول قرار گرفته و تصویر توری اول توسط دوربین روی توری دوم انداخته شد. با جابه جایی دوربین روی ریل در فاصله تقریبی ۱ متری از توری اول، نقش فریزهای ماره روی توری دوم نمایان شد. دوربین روی یک پایه دوران پذیر نصب شده بود که امکان ایجاد زاویه دلخواه میان راستای خطوط دو توری را فراهم می آورد. گام توری دوم $\frac{1}{10}\text{mm}$ بود. دوربین تصویربرداری مجهز به CCD روی نگهدارنده دیگری نصب شد. این دوربین تصاویر نقش ماره را ثبت می کرد. خروجی دوربین تصویربرداری برای ذخیره و پردازش تصاویر با نرم افزار Matlab به ورودی کارت capture رایانه متصل بود.

با استفاده از برنامه نوشته شده در محیط نرم افزار Matlab، در فواصل زمانی ۳۰۰

جابه جایی های نسبی دو سمت پیوندگاه را می توان در دو صفحه افقی و قائم اندازه گیری کرد. مقدار جابه جایی با تعداد فریزهای خلق یا نابود شده متناسب است و تعداد فریزها به صورت عدد صحیح فرد تعیین می شود. بنابراین در این روش فقط جابه جایی هایی ثبت می شوند که در حد محو یا تولید دو فریز کامل باشند و این دقت اندازه گیری را محدود می کند. از طرفی تغییر دمای محیط باعث تغییر دمای بازوهای فولادی و صخره، و در نتیجه تغییر ابعاد بازوها (نگه دارنده های دو واحد ماره ای) می شود. بنابراین اندازه گیری جابه جایی نسبی دوسوی پیوندگاه با خطای قابل ملاحظه ای انجام می گیرد.

در این پژوهش روش جدیدی مبتنی بر ماره تصویرافکنی برای اندازه گیری زمین لغزش ارائه می شود. این روش، کاملاً خودکار است، دقت بالایی دارد و با این حال بر خلاف روش بالا، به تغییرات دمای محیط حساس نیست. اندازه گیری جابه جایی های از مرتبه یک هزارم میلی متر با این روش امکان پذیر است. دقت اندازه گیری جابه جایی در این پژوهش 0.04 میلی متر بود.

۲- روش مطالعه و تئوری کار

چون رخداد پدیده زمین لغزش به طور مستمر در طول سال های گذشته در روستای قلفاتی گزارش شده بود، این روستا برای اجرای پروژه در نظر گرفته شد. نقش یک توری روی دیوار اتاق یکی از منازل مسکونی روستا که در اثر حرکت شیب در سال های گذشته بارها تَرَک برداشته بود، چاپ شد، به طوری که تَرَک در وسط نقش توری و امتداد آن موازی خطوط توری قرار گرفت. امتداد این تَرَک قائم بود. تصویر توری بیان شده در بالا توسط دستگاه تصویر ساز روی توری دیگری که راستای خطوط آن با خطوط توری اول زاویه کوچکی داشت، انداخته شد. توری دوم در کانون دستگاه تصویر ساز قرار داده شد. در اینجا گام تصویر توری اول و گام توری دوم برابر هستند. روی توری دوم فریزهای ماره چرخشی تشکیل شد. دوربین تصویربرداری مجهز به CCD در فاصله تقریبی یک متر از توری دوم قرار داده شد. برای این که تصویر نقش ماره به خوبی توسط دوربین گرفته شود به پشت توری دوم ورقه ماتی چسبانده شد. توسط یک عدد عدسی مرکب که بر روی CCD نصب بود، نقش ماره روی صفحه حساس CCD تصویر شد. چیدمان این آزمایش، در شکل ۲ نشان داده شده است. دوربین CCD در هر ۵ دقیقه یک نقش ماره را به طور زمان واقعی در حافظه رایانه ثبت می کرد.

در این کار به جز توری اول، $G1$ ، که در دوسوی شکاف دیوار و بر روی آن چاپ می شود، بقیه قطعات روی یک ریل نصب می شود. در هنگام آزمایش، کلیه قطعات نصب شده روی این ریل نسبت به هم کاملاً ساکن اند و اجازه حرکت ندارند. جابه جایی ریل و قطعات نصب شده روی آن، از جمله توری دوم، $G2$ ، نسبت به بخشی از توری اول که به علت حرکت شیب جابه جا می شود در حالت کلی دارای سه مؤلفه است: نزدیک یا دور شدن ریل نسبت به توری اول و مؤلفه های جابه جایی عرضی این دو نسبت به هم. دور یا نزدیک شدن ریل نسبت به توری اول در این روش به سادگی قابل آشکار سازی نیست. جابه جایی عرضی ریل و توری اول را نسبت به همدیگر می توان به دو مؤلفه قائم و افقی تجزیه کرد. اولی همان نشست قائم است و دومی ناشی از رانش عرضی است. چنانچه خطوط توری اول عمودی باشند، جابه جایی افقی دو سمت این توری نسبت به همدیگر باعث جابه جایی فریزهای ماره در امتداد عمودی خواهد شد و مؤلفه عرضی رانش زمین اندازه گیری خواهد شد.

برای یک توری رانکی، ضریب عبور برای حالتی که خطوط آن عمود بر محور X است به وسیله رابطه زیر نشان داده می شود (Patroroski 1993):

$$t(x) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a_n \exp\left(\frac{i2\pi n x}{d}\right) \quad (۱)$$

که در آن d گام توری و a_n ضریب بسط فوری ساختار تناوبی توری هستند. ضریب عبور از نقش ماره حاصل از برهم نهی دو توری که به ترتیب زاویه های $\theta/2$ و $-\theta/2$ با

به آسانی می‌توان جابه‌جایی‌هایی از مرتبه میکرون را با این روش اندازه‌گیری کرد. در عمل با چاپ توری با گام کوچک‌تر می‌توان دقت اندازه‌گیری را افزایش داد و یا با تغییر زاویه میان خطوط تصویر توری اول و توری دوم می‌توان گام فریزهای ماره و در نتیجه دقت اندازه‌گیری‌ها را بالا با افزایش داد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از تکنیک ماره، تکنیکی جدید، دقیق، ساده و کم هزینه برای رفتارسنجی پدیده زمین‌لغزش ارائه شد و جابه‌جایی دوسوی تَرَک دیوار ناشی از پدیده زمین‌لغزش طی ۷۰ روز متوالی در روستای قلفقانی اندازه‌گیری شد. این روش نسبت به دیگر روش‌های رفتارسنجی مانند روش‌های سطحی با استفاده از GPS، استفاده از ابزارهای برداشت صحرایی، و یا روش‌های لرزه‌نگاری دقت بالاتر و هزینه کم‌تری دارد. دقت نوعی روش‌های بالا برای تعیین جابه‌جایی‌ها از مرتبه چند میلی‌متر برای GPS و از مرتبه سانتی‌متر برای ابزارهایی همچون دستگاه تئودولیت است در حالی که دقت روش ارائه شده در این پژوهش از مرتبه صدم میلی‌متر است. همچنین اندازه‌گیری جابه‌جایی‌هایی از مرتبه یک هزارم میلی‌متر با این روش با کمی تغییرات، امکان‌پذیر است. همچنین این روش، کاملاً خودکار است، دقت بالایی دارد و برخلاف روش استفاده از ماره هذلولوی، به تغییرات دمای محیط حساس نیست.

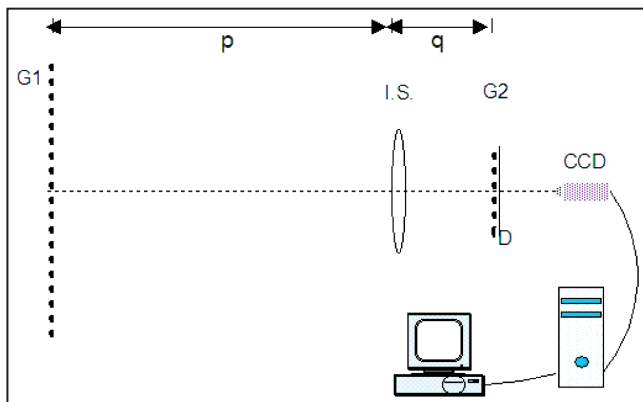
سپاسگزاری

از اداره آبخیزداری استان زنجان که در شناسایی محل پژوهش ما را راهنمایی کردند سپاسگزاری می‌شود. همچنین از خانواده آقای اصغر بیگدلی از اهالی روستای قلفقانی به خاطر یاری‌هایی که در اجرای این تحقیق داشتند تشکر می‌شود. از آقای محمود پویامهر برای کمک‌هایی که در تهیه و ساخت برخی از قطعات مورد نیاز و رفت و آمد به محل آزمایش فراهم کردند نیز سپاسگزاری می‌شود.

ثانیه عکس‌هایی از نقش ماره با شناسه زمان ثبت شامل سال، ماه، روز، ساعت، دقیقه و ثانیه گرفته و ذخیره شد. این کار به صورت زمان واقعی انجام می‌شد.

برای پردازش تصاویر، ابتدا خطوط با بسامد فضایی بالا با روش تبدیل فوریه از تصاویر حذف شد (Gonzalez et al. 2004; Rasouli & Tavassoly, 2006). سپس با تعیین لبه‌های بالایی و پایینی یک فریز روشن ماره در هر دو طرف تَرَک دیوار و میانگین‌گیری از آنها، رد فریز ماره در دو سوی تَرَک تعیین شد. برای اندازه‌گیری جابه‌جایی فریزهای ماره ابتدا فاصله عمودی نقطه پایانی رد فریز ماره سمت چپی نسبت به نقطه ابتدایی رد فریز ماره سمت راستی به دست آمد. تفاضل مؤلفه Δ این فاصله در هر فریم نسبت به متناظر آن در فریم اول تعیین شد که مقدار آن معیاری از جابه‌جایی فریزهای ماره در دو طرف تَرَک دیوار بر حسب تعداد پیکسل است. در شکل ۴ فریزهای ماره نوعی پیش و پس از پالایش فضایی و رد یکی از فریزهای ماره در دو طرف تَرَک دیوار نمایش داده شده است.

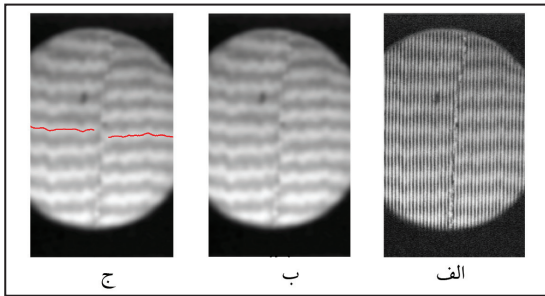
شکل ۵ رد یکی از فریزهای ماره را در تعدادی از تصاویری که در بازه زمانی ۱۳۸۸/۵/۲۱ تا ۱۳۸۸/۷/۲۹ ثبت شده اند، نشان می‌دهد. این تصاویر با فاصله زمانی ۷ روز از همدیگر ثبت شده اند. همان گونه که گفته شد در نقش ماره چرخشی، جابه‌جایی یکی از توری‌ها در امتداد عمود بر خطوط آن باعث جابه‌جایی بیشتر فریزهای ماره در جهت عمود بر امتداد فریزهای ماره می‌شود. در این مطالعه فریزهای ماره افقی و خطوط توری‌ها قائم بودند. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود جابه‌جایی فریزهای ماره عمودی است و این معادل جابه‌جایی نسبی دوسوی تَرَک در امتداد افقی است. با جای‌گزینی مقادیر جابه‌جایی فریزهای ماره در رابطه ۵، جابه‌جایی نسبی دو قسمت مجاور تَرَک محاسبه شد. در شکل ۶ نمودار جابه‌جایی نسبی دوسوی تَرَک بر حسب میلی‌متر طی ۷۰ روز متوالی نشان داده شده است. مقدار کل جابه‌جایی در این مدت در حدود ۴ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. دقت اندازه‌گیری جابه‌جایی نسبی در این آزمایش ۰/۰۴ mm بوده است.



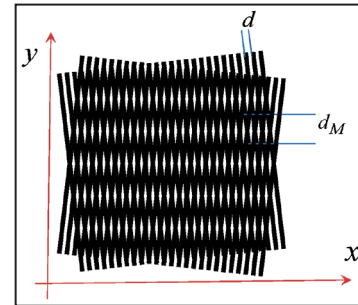
شکل ۲- آرایش چیدمان مورد استفاده، که در آن G_1 ، G_2 ، I.S. و D به ترتیب توری اول چاپ شده روی دیوار، توری دوم، عدسی تصویرساز و ورق مات هستند. توری اول، G_1 ، در دو سوی شکاف دیوار چاپ می‌شود و دیگر بخش‌های آرایش آزمایش به صورت یک سامانه به هم پیوسته‌اند و در یک سو مرز توده در حال لغزش قرار می‌گیرد.



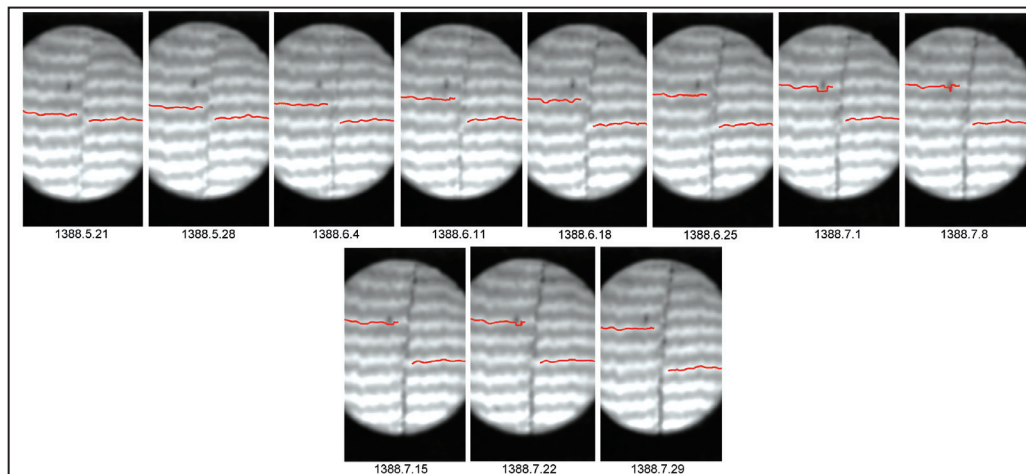
شکل ۱- نمونه‌هایی از تخریب‌های ناشی از زمین‌لغزش در روستای قلفقانی واقع در ۶۵ کیلومتری جاده زنجان به بیجار



شکل ۴- الف) نقش ماره پیش از پالایش فضایی، ب) نقش ماره پس از پالایش فضایی و ج) رد یک فریز روشن ماره در هر دو سوی ترک دیوار

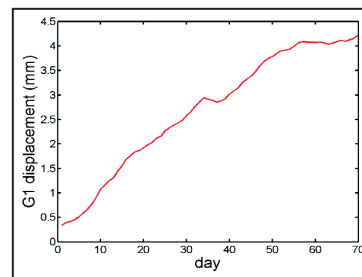


شکل ۳- فریزهای حاصل از برهم‌نهی دو توری رانگی، d گام توری‌ها و d_M گام فریزهای ماره هستند.



شکل ۵- رد یک فریز ماره در دو سوی ترک دیوار برای تصاویری که در فاصله زمانی ۷ روز از همدیگر در بازه زمانی ۱۳۸۸/۷/۲۹ تا ۱۳۸۸/۵/۲۱ ثبت شده‌اند. تاریخ ثبت هر یک از تصاویر در زیر شکل‌ها آورده شده است.

شکل ۶- نمودار جابه‌جایی نسبی دو بخش دیوار در اطراف ترک بر حسب میلی‌متر طی ۷۰ روز متوالی در بازه زمانی ۱۳۸۸/۷/۲۹ تا ۱۳۸۸/۵/۲۱



کتابنگاری

شریعت‌جعفری، م.، ۱۳۷۵- زمین‌لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی)، انتشارات سازه، ۲۱۸ صفحه.

References

- Capper, P. L. & Cassie, W. F., 1976 - The Mechanics Of Engineering Soils, John Wiley & Sons, New York.
- Glade, T., Anderson, M. & Crosier, M., 2005 - Landslide Hazard and Risk, John Wiley & Sons.
- Gonzalez, R., Woods, R. & Eddins, S., 2004- Digital Image Processing using Matlab, Pearson Prentice Hall.
- Kostak, B., 1969 - A new Device for In-situ Movement Detection and Measurement, Experimental Mechanics, SESA 9: 374-379.
- Patroroski, K., 1993 - Handbook of the moiré fringes technique, Elsevier.
- Rasouli, S. & Tavassoly, M. T., 2006 - Application of moiré technique to the measurement of the atmospheric turbulence parameters related to the angle of arrival fluctuations, Opt. Lett. 31:3276-3278.
- Rasouli, S., 2010 - Use of a moiré deflectometer on a telescope for atmospheric turbulence measurements, Opt. Lett. 35:1470-1472.
- Sassa, K., Fukuoka, H., Wang, F. & Wang, G., 2007 - Progress in Landslide Science, Springer.