



## مقدمه

از طریق مطالعه جابه‌جایی زمین می‌توان به برآوردی از پارامترهای تاثیرگذار در فرایند جابه‌جایی زمین دست یافت که این امر در مدل‌سازی ژئوفیزیکی و تعیین راه‌کارهای لازم جهت مقابله با این‌گونه از پدیده‌ها موثر خواهد بود. به کمک روش‌های نقشه‌برداری می‌توان میدان جابه‌جایی حاصل از زمین‌لغزش را با دقت بسیار بالا اندازه‌گیری نموده و به‌طریق آنالیزهای آماری به این نکته پی برد که کدام نقاط در محدوده میدان زمین‌لغزش دارای جابه‌جایی معنی‌داری بوده و باید به‌عنوان مناطق خطرناک کدگذاری گردند. در این پژوهش از مشاهدات دوره‌ای سامانه تعیین موقعیت ماهواره‌ای (GPS) در مراحل مشاهداتی مختلف به‌منظور پایش جابه‌جایی سطحی زمین استفاده شده است. استفاده از مشاهدات سامانه تعیین موقعیت ماهواره‌ای به‌منظور تعیین موقعیت دقیق یک نقطه، در سه مؤلفه مختصاتی بسیار کاربردی و مقرون به‌صرفه می‌باشد. با وجود دقت بالای تعیین موقعیت به کمک GPS، قدرت تفکیک مکانی این روش به‌دلیل طبیعت نقطه-مبنا بودن مشاهدات آن، به‌طورنسبی پایین می‌باشد. این خصوصیت به‌منظور بررسی جابه‌جایی‌های سطحی با وسعت بالا و پیچیدگی در مکانیزم حرکتی، چندان مناسب نمی‌باشد. مشاهدات GPS به‌منظور بررسی جابه‌جایی پدیده‌هایی مشابه لغزش سطحی شیب، می‌تواند به صورت مشاهدات پیوسته بر روی ایستگاه‌های دائم و یا به صورت مشاهدات گسسته و دوره‌ای باشد [۱]. طبعاً با استفاده از مشاهدات پیوسته می‌توان از مزایای قدرت تفکیک زمانی بالای مشاهدات GPS به‌منظور آنالیز دقیق‌تر چگونگی حرکات سطحی ایستگاه‌های GPS در طول زمان آگاهی یافت. هم‌چنین به‌منظور انجام مشاهدات می‌توان از تکنیک‌های مختلف نظیر مشاهدات استاتیک، استاتیک سریع و یا کینماتیک سود برد. تکنیک مورد استفاده به‌طور مستقیم به دقت مورد نظر، وسعت منطقه، تعداد ایستگاه‌های مشاهده، قابلیت دسترسی آن‌ها، فاصله نقاط از یکدیگر و هزینه در نظر گرفته شده برای این منظور وابسته است [۲]. در کلیه روش‌های زمینی نقشه‌برداری جهت رفتارسنجی زمین‌لغزش مانند GPS، فتوگرامتری برد کوتاه، تاکنومتری و ترازبایی به یک شبکه ژئودتیک نیاز خواهیم داشت. این شبکه شامل نقاط مبنا و نقاط شاهد می‌باشد که چگونگی طراحی این شبکه در رفتارسنجی دامنه ناپایدار بسیار حائز اهمیت خواهد بود.

## زمین لغزش

تاکنون تعاریف و اصطلاحات متعددی از قبیل زمین‌لغزش، حرکت

## پایش جابه‌جایی سطحی ناشی از زمین‌لغزش به کمک مشاهدات دوره‌ای سامانه تعیین موقعیت ماهواره‌ای

مهرداد اکبری مهر<sup>۱</sup>، مهدی معتمدی<sup>۲</sup>، محمد علی شریفی<sup>۳</sup>، بهمن اکبری<sup>۴</sup>  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۷

## چکیده

زمین‌لغزش یکی از بلایای طبیعی است که اغلب در مناطق کوهستانی، پربارش و لرزه‌خیز به‌وقوع می‌پیوندد. این پدیده ژئولوژیکی همه ساله کشورهای متعددی را متحمل خسارات و تلفات جبران‌ناپذیری می‌کند. ایران از جمله کشورهای مستعد زمین‌لغزش است که تاکنون بیش از ۳۲۰۰۰ زمین‌لغزش در آن شناسایی شده است. اطلاع از نحوه توزیع مکانی و زمانی جابه‌جایی سطحی زمین برای تشخیص مناطقی که در معرض زمین‌لغزش قرار دارند و تعیین راه‌کارهایی برای مقابله و یا حتی حذف عواملی که منجر به وجود آمدن آن‌ها می‌شوند ضروری است. هدف این پژوهش استفاده از سامانه تعیین موقعیت ماهواره‌ای به‌عنوان یک روش ژئودتیک-ماهواره‌ای به‌صورت ابرازی سودمند جهت بررسی خطرات ناشی از زمین‌لغزش می‌باشد. با ایجاد شبکه ژئودتیک با ۲۰ نقطه مشاهداتی در شیب لغزشی روستای توان واقع در منطقه الموت استان قزوین و انجام مشاهدات میدانی شبکه ژئودتیک طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ به رفتارسنجی دقیق حرکات سطحی اخیر زمین تحت اثر زمین‌لغزش پرداخته شده است. سری زمانی جابه‌جایی به‌دست آمده مؤید این مطلب است که زمین‌لغزش مورد مطالعه، یک زمین‌لغزش فعال خصوصاً در بخش بالادست شیب لغزشی بوده و هم‌چنان به فعالیت حرکتی خود ادامه داده است.

واژه‌های کلیدی: زمین‌لغزش، رفتارسنجی، جابه‌جایی، سامانه تعیین موقعیت ماهواره‌ای، شبکه ژئودتیک

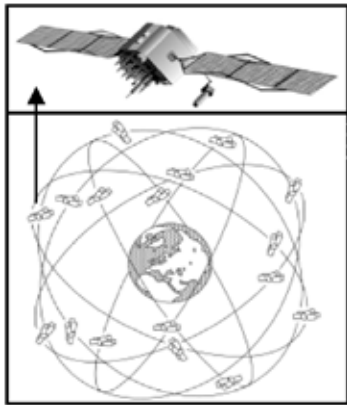
۱. نویسنده مسئول و دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه‌برداری و

ژئوماتیک، دانشکده فنی دانشگاه تهران، m.akbarimehr@ut.ac.ir

۲. استادیار، گروه مهندسی نقشه‌برداری و ژئوماتیک، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

۳. استادیار، گروه مهندسی نقشه‌برداری و ژئوماتیک، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

۴. رئیس گروه تثبیت فرسایش توده‌ای و زمین‌لغزش، معاونت آبخیزداری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور.



شکل ۲- شماتیک آرایش مداری ماهواره‌های سامانه تعیین موقعیت ماهواره‌ای GPS [۴]

موقعیت خود پردازند [۵]. مزایا و معایب استفاده از سامانه تعیین موقعیت ماهواره‌ای در شبکه‌های ژئودتیکی با اهداف مختلف در جدول ۱ اشاره شده است.

### منطقه مورد مطالعه

شیب لغزشی مورد مطالعه در شمال شرقی استان قزوین در منطقه توریستی الموت و در پایین دست منطقه مسکونی روستایی به نام توان واقع شده است. (شکل ۳ و ۴). موقعیت جغرافیایی حوزه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 26'$  و طول جغرافیایی  $50^{\circ} 33'$  قرار دارد و وسعت آن در حدود ۴۰ هکتار می‌باشد.

در سال ۸۹ اداره کل منابع طبیعی استان قزوین پروژه‌ای تحت عنوان بررسی و رفتارسنجی حرکات سطحی شیب روستای توان تعریف نمود. بررسی‌های زمین‌شناسی پیشین و آثار خرابی‌های ناشی از این زمین لغزش در مناطق مسکونی روستا، باغات و زمین

### جدول ۱- مزایا و معایب استفاده از سامانه تعیین موقعیت

#### ماهواره‌ای در مشاهدات شبکه‌های ژئودتیکی [۶]

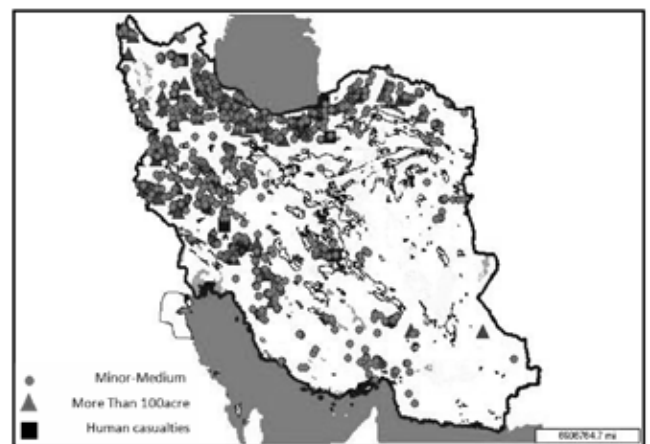
مزایا	معایب
- عدم نیاز به برقراری دید میان نقاط شبکه ژئودتیکی طراحی شده	- نیاز به دید آسمانی و افق باز به منظور انجام مشاهدات
- امکان انجام مشاهدات در تمام طول شبانه روز و تمامی فصول و شرایط آب و هوایی	- عدم کارایی در مناطقی با پوشش گیاهی انبوه و قطع ارتباط گیرنده و ماهواره
- حصول نتایج قابل قبول و دقت‌های مطلوب در امور ژئودتیکی	- دقت پایین تر مولفه ارتفاعی به میزان یک دوم دقت مشابه در مولفه مسطحاتی
- سهولت در انجام مشاهدات به علت صرفه جویی در زمان و عدم نیاز به افراد متخصص جهت انجام مشاهدات	- محدودیت در تامین منبع انرژی گیرنده به منظور مشاهدات پیوسته، خصوصاً در مشاهدات بلند مدت

شیب، حرکت توده‌ای و غیره توسط محققین برای توصیف این پدیده زمین‌شناسی ارائه شده است. اما آنچه بیش تر مرسوم و متداول است عبارت و اصطلاح زمین لغزش است. به حرکت رو به پایین توده خاک یا سنگ از شیب اصطلاحاً زمین لغزش گفته می‌شود [۳]. این پدیده عموماً در مناطق کوهستانی و شیب‌دار رخ می‌دهد. البته عوامل زیادی از قبیل شرایط آب و هوایی، زمین‌شناسی منطقه و غیره در رخداد این پدیده موثر واقع می‌شوند. از آنجایی که زمین لغزش از مخاطرات قابل پیش‌بینی در زمین‌شناسی محسوب می‌شود، می‌توان با شناسایی و بررسی آن‌ها، تا حدی از میزان خسارات مالی و جانی ناشی از آن کاست. ایران به دلیل شرایط خاص زمین‌شناسی (فعالیت گسل‌ها، سنگ‌شناسی، سازندهای فرسایش پذیر)، آب و هوایی، میزان بارش، لرزه‌خیزی، پوشش گیاهی و هم‌چنین کم توجهی به قابلیت اراضی در مناطق مختلف، از جمله کشورهای مستعد زمین لغزش می‌باشد (شکل ۱).

### سامانه تعیین موقعیت ماهواره‌ای (SPG)

سیستم تعیین موقعیت GPS در بدو شروع فعالیت به گونه‌ای طراحی شده بود که ۲۴ ماهواره در ارتفاع حدودی ۲۰۰۰۰ کیلومتری و در ۶ مدار با زاویه حدودی ۵۵ درجه نسبت به کمر بند استوا به دور زمین در حال گردش باشند (شکل ۲). امروزه تعداد این ماهواره‌ها به بیش از ۳۰ ماهواره رسیده است که این امر خود به تعداد ماهواره‌های قابل دست‌یابی توسط گیرنده‌ها افزوده و متعاقباً به رسیدن گیرنده‌ها به یک آرایش مناسب به منظور تعیین موقعیت هر چه دقیق‌تر کمک شایانی می‌نماید.

این ماهواره‌های در حال گردش، گیرنده‌ها (بخش کاربر) را قادر به تعیین موقعیت، سرعت و جهت حرکت می‌سازد. اساس تعیین موقعیت ماهواره‌ها بر پایه زنجیره کدهای ارسالی بر روی امواج حامل  $L_2/L_1$  در طیف مایکروویو از سوی ماهواره به گیرنده استوار است. آنتن‌ها نیز توانایی دریافت و معنادار نمودن کدها و سنجش زمان و فاز امواج را دارا بوده و از این طریق می‌توانند به تعیین

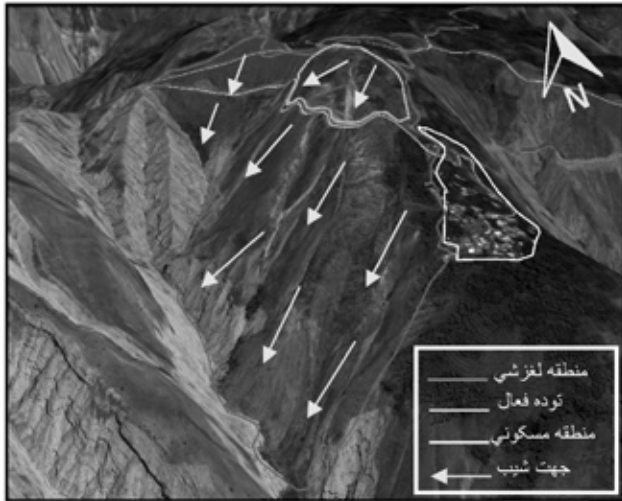


شکل ۱- نقشه پراکندگی زمین لغزش‌های شناسایی شده در سطح کشور [۱۰]

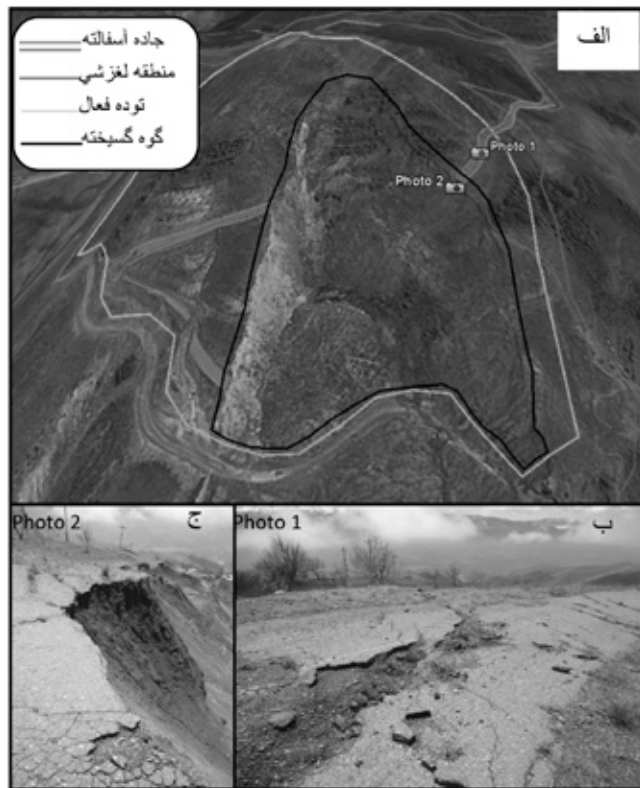
خواهد بود [۷]. مشاهدات GPS شبکه ژئودتیک شیب روستای توان در چهار مرحله مشاهداتی به تاریخ‌های آذر ۱۳۸۹، اردیبهشت و مرداد ۱۳۹۰ و فروردین ۱۳۹۱ انجام شده است. فاصله زمانی میان مراحل مشاهداتی نیز به ترتیب ۵، ۳ و ۸ ماه می‌باشد.

## ۲-۱- پردازش مشاهدات GPS

مشاهدات شبکه ژئودتیک ایجادی به منظور پایش میزان جابه‌جایی



شکل ۴- تصویر Google Earth مایل از شیب لغزشی روستای توان



شکل ۵- الف) تصویر بزرگ‌نمایی شده از توده فعال شیب لغزشی، ب و ج) تصاویر تخریب جاده دسترسی روستا ناشی از زمین‌لغزش مربوط به مناطق مشخص شده در شکل الف

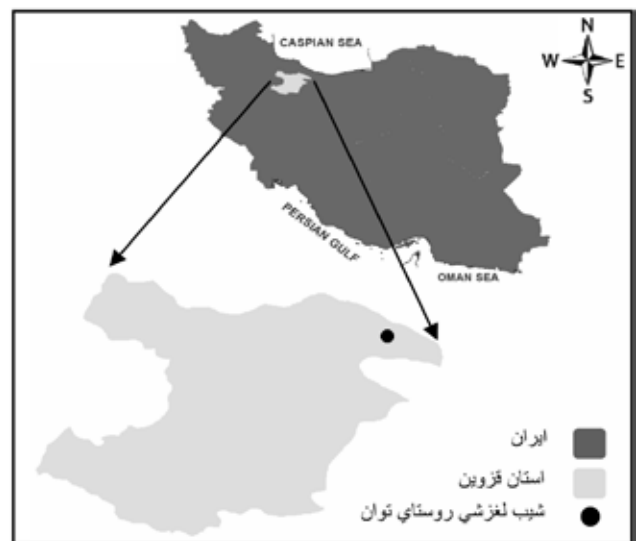
های کشاورزی پایین‌دست آن، حاکی از رخداد پدیده لغزش در شیب مورد بررسی بوده است. علت اصلی لغزش‌های گذشته مربوط به لیتولوژی مارنی منطقه و سست شدن خاک رویه آن به دلیل بارش و لغزنده شدن سطح این لایه می‌باشد. وجود چشمه‌های فراوان در منطقه، بالا بودن سطح آبهای زیرزمینی، نرخ بارندگی بالا، فعالیت‌های کشاورزی و آبیاری بیش از حد آن‌ها در رخداد خزش‌های پیشین منطقه بی‌تأثیر نبوده است. شکل ۵- الف بزرگ‌نمایی قسمت توده فعال لغزشی می‌باشد. گوه گسیخته شده در شکل به وضوح نمایان می‌باشد. اشکال ۵- ب و ۵- ج نیز تصاویری از منطقه لغزشی و تخریب راه دسترسی روستا را به تصویر کشیده است که گواه جابه‌جایی سطحی محسوس زمین در این منطقه می‌باشد.

## ۱- روش کار و پیاده‌سازی

### ۱-۱- مشاهدات میدانی GPS

پایش حرکات سطحی اخیر شیب پایین‌دست روستای توان با استفاده از مشاهدات تکراری GPS صورت پذیرفت. برای این منظور یک شبکه ژئودتیک با ۲۰ ایستگاه مشاهداتی شامل نقاط مبنا و شاهد در سطح منطقه لغزشی ایجاد گردید (شکل ۶). این ایستگاه‌ها از جنس بتن مسلح و به ارتفاع یک متر در محل‌های از پیش جانمایی شده قرار گرفتند. نقاط مبنا شامل ۳ ایستگاه می‌باشد که بر روی محل‌های پایدار و ثابت از دیدگاه زمین‌شناسی مانند تخته سنگ‌های ریشه‌دار و در بیرون و اطراف منطقه لغزشی قرار گرفته‌اند. باقی نقاط نیز شبکه نقاط شاهد را تشکیل می‌دهند که در سطح منطقه لغزشی و نزدیک به درز و شکاف‌های ناشی از زمین‌لغزش در نظر گرفته شده‌اند. نقاط مبنا و شاهد در اشکال و جداول این مقاله به ترتیب با پیشوندهای "BM" و "MP" آورده شده است.

دقت مورد نیاز جهت پایش حرکات سطحی پدیده‌های با حرکت آرام با توجه به نرخ حرکتی آن دارای دقت سانتی‌متر تا میلی‌متر



شکل ۳- جانمایی شیب لغزشی مورد مطالعه بر روی نقشه کشوری و استانی



### ۳-۱- آنالیز جابه‌جایی

اختلاف میان مختصات‌های یک ایستگاه در هر مرحله مشاهداتی، بیان‌گر جابه‌جایی آن در فاصله زمانی میان دو مرحله مشاهداتی متوالی و بردار ترسیمی میان این دو مختصات منحصر به فرد، به‌عنوان بردار جابه‌جایی آن نقطه خواهد بود. عدم قطعیت در هر نوع مشاهده فیزیکی موجب می‌شود تا به‌غیر از جابه‌جایی فیزیکی نقاط، عوامل دیگری نظیر تاثیر خطاهای متفاوت محیطی و یا دستگاهی باعث تغییر مختصات یک نقطه در هر مرحله مشاهداتی شود. به‌همین دلیل باید از یک ابزار آماری به‌منظور تمیز دادن خطاها از جابه‌جایی‌های حقیقی رخ داده استفاده نمود. بیضی خطای نسبی نقاط، یک مفهوم آماری برگرفته از ماتریس واریانس- کواریانس نسبی میان دو مرحله مشاهداتی متوالی می‌باشد. روابط ۱، ۲ و ۳ بیان‌گر ابعاد بیضی خطای نسبی و جهت توجیه آن است.  $a$  و  $b$  به‌ترتیب نیم قطر اطول و اقصر بیضی خطای نسبی و  $\psi$  زاویه پادساعت‌گرد قطر اطول آن، به مبدا محور  $x$ ها است. این مفهوم آماری به‌خوبی می‌تواند به‌عنوان آستانه تاثیر خطاهای احتمالی بُعد مسطحات در نظر گرفته شود. در این پژوهش از سطح و فاصله اطمینان ۹۵٪ به‌منظور آنالیز جابه‌جایی و محاسبه ابعاد بیضی خطا استفاده شده است.

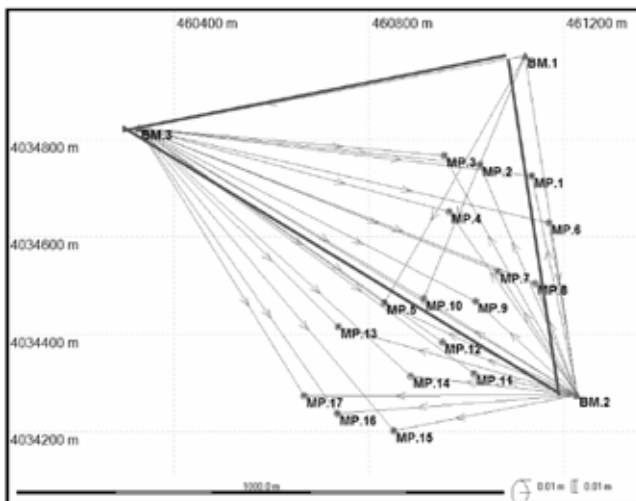
$$a^2 = \frac{1}{2} [\delta_{\Delta x}^2 + \delta_{\Delta y}^2 + \sqrt{(\delta_{\Delta x}^2 - \delta_{\Delta y}^2)^2 + 4\delta_{\Delta x \Delta y}^2}] \quad (1)$$

$$b^2 = \frac{1}{2} [\delta_{\Delta x}^2 + \delta_{\Delta y}^2 - \sqrt{(\delta_{\Delta x}^2 - \delta_{\Delta y}^2)^2 + 4\delta_{\Delta x \Delta y}^2}] \quad (2)$$

$$\tan 2\psi = \frac{2\delta_{\Delta x \Delta y}}{\delta_{\Delta x}^2 - \delta_{\Delta y}^2} \quad (3)$$

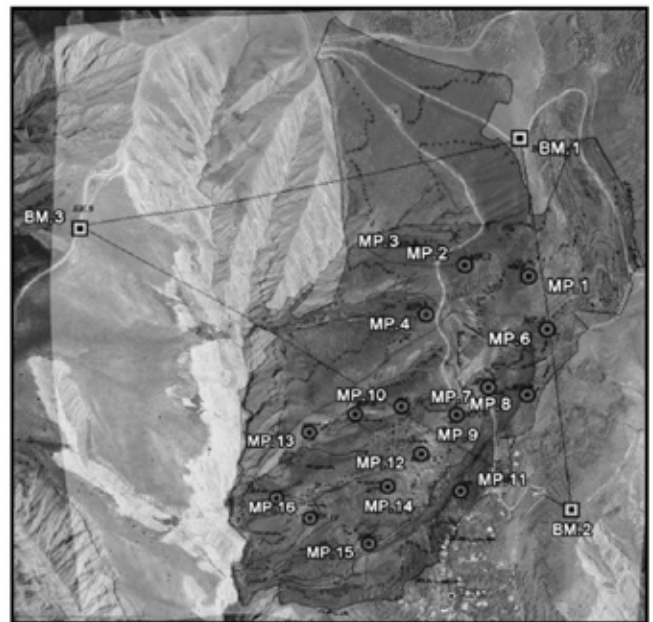
### نتایج

چهار مرحله مشاهدات دوره‌ای GPS و نتایج به‌دست آمده از آن بیان‌گر جابه‌جایی سطحی شیب لغزشی روستای توان خصوصاً



شکل ۷- طول مبنایهای مشاهده‌شده‌ای که در پردازش و سرشکنی تعیین موقعیت نقاط به‌کار گرفته شده‌اند (طول مبنای آبی: میان نقاط مبنا و طول مبنای قرمز: میان نقاط مبنا و نقاط شاهد).

سطحی ناشی از زمین‌لغزش شیب روستای توان در مُد استاتیک و با استفاده از گیرنده‌های دو فرکانسه صورت پذیرفت. بدین ترتیب، با نظرگرفتن مدت زمان مشاهده حداقل ۴۰ دقیقه برای هر طول‌باز و نرخ ۵ ثانیه برای مشاهدات و با توجه به طول مبنای مشاهداتی کوتاه، می‌توان دقت  $1 \text{ ppm} + 5 \text{ mm}$  را برای هر طول‌باز انتظار داشت [۸]. مدت زمان انتخابی برای مشاهدات شبکه نقاط شاهد با توجه به طول‌بازهای کوتاه‌تر از ۲ کیلومتر و استفاده از گیرنده‌های دو فرکانسه و رفع سریع ابهام فاز، منطقی به‌نظر می‌رسد. هندسه شبکه مورد نظر و طول‌مبنایهای مشاهده شده در شکل ۷ نشان داده شده است. داده‌های خام مربوط به هر مرحله از مشاهدات پس از تبدیل به فرمت استاندارد Rinex، به کمک نرم‌افزار Leica Geo Office پردازش شد. به‌منظور دقت هر چه بیشتر، از اطلاعات مداری دقیق که دو هفته پس از تاریخ انجام مشاهدات توسط پایگاه اینترنتی سازمان NGS منتشر می‌شود نیز استفاده شد [۹]. هم‌چنین یکپارچه‌سازی نتایج مختصات شبکه ژئودتیک پایش جابه‌جایی شیب و شبکه ژئودزی سراسری کشوری، به‌کمک مشاهدات پیوسته نقاط دائم ژئودینامیکی سازمان نقشه‌برداری کشور صورت پذیرفت. مشاهدات ۲۴ ساعته همزمان با اپک اول نقطه ژئودینامیکی تهران واقع در محوطه سازمان نقشه‌برداری کشور (TEHN) که به فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتر از منطقه مورد مطالعه واقع شده است، در انتقال مختصات از شبکه سراسری به شبکه نقاط کنترل جابه‌جایی روستای توان شرکت داده شد. پس از پردازش طول‌بازهای انتخابی، سرشکنی کم‌ترین مربعات به‌منظور دستیابی به مختصات منحصر به فرد برای هر نقطه در هر مرحله مشاهداتی به‌کار گرفته شد.



شکل ۶- تصویر Google Earth قائم هم‌پوشانی شده با نقشه توپوگرافی از شیب لغزشی روستای توان به‌همراه نقاط مبنا و شاهد رفتارسنجی

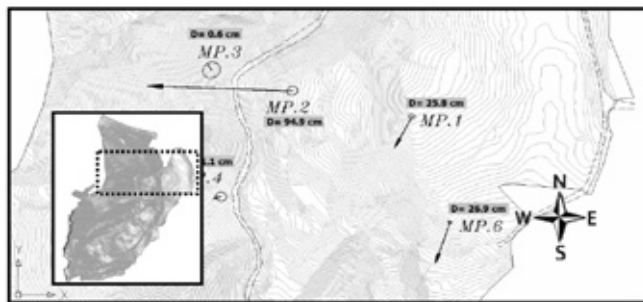
جابه‌جایی زمین‌لغزش روستای توان توسط مشاهدات سامانه تعیین موقعیت ماهواره‌ای، توده فعال لغزشی شیب مورد بررسی، شناسایی و در شکل ۵- الف با خط سبز رنگ مشخص شده است. علاوه بر این سری زمانی‌های جابه‌جایی مسطحاتی نقاط مشاهداتی که یکی از آن‌ها به‌عنوان نمونه در شکل ۱۰ نشان داده شده است نیز می‌تواند اطلاعات خوبی در ارتباط با مکانیزم جابه‌جایی و رابطه میان تغییرات فصلی و جابه‌جایی‌های رخ داده آشکار کند.

### نتیجه‌گیری

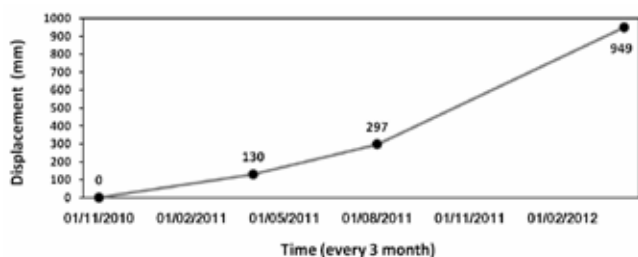
به‌طور کلی روش‌های نقشه‌برداری به‌دلیل زمین مرجع بودن نتایج آن، روش‌های مناسبی به‌منظور کنترل و پایش پدیده‌های حرکت سطحی زمین به‌شمار می‌روند. زمین‌لغزش نیز به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی با پسماند حرکت سطحی زمین است که با توجه به قابل پیش‌بینی بودن آن، ضرورت پایش حرکتی آن بیش از پیش آشکار می‌شود.

در این پژوهش به‌کمک سامانه تعیین موقعیت ماهواره‌ای مکانیزم حرکت سطحی زمین تحت اثر زمین‌لغزش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از زمین‌لغزش روستای توان الموت نشان دهنده جابه‌جایی شیب مورد بررسی است. سری زمانی جابه‌جایی به‌دست آمده مؤید این مطلب است که زمین‌لغزش مورد مطالعه، یک زمین‌لغزش فعال از لحاظ حرکتی بوده و هم‌چنان به فعالیت حرکتی خود ادامه داده است. در این پژوهش قسمت بالادست شیب، توده فعال حرکتی این زمین‌لغزش شناسایی شد و گواهِ آن جابه‌جایی ۹۵ سانتی‌متری نقطه MP.۲ و سایر نقاط موجود واقع در این محدوده در طول دوره مشاهدات می‌باشد. عامل اصلی در حرکت توده لغزشی نیز علاوه بر بارندگی و لیتولوژی مارنی- آهکی مستعد

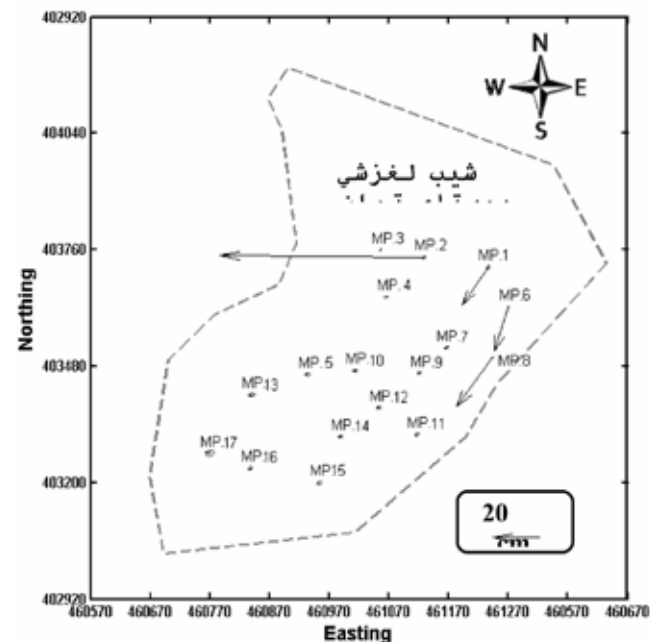
در قسمت بالادست آن طی مدت زمان مشاهدات از پاییز ۱۳۸۹ تا بهار ۱۳۹۱ می‌باشد. نتایج عددی شامل میزان جابه‌جایی در اُپک‌های مشاهداتی به‌همراه خطای استاندارد برآورد شده برای هر نقطه در هر اُپک، وضعیت ایستگاه از لحاظ جابه‌جایی و یا ثبات آن و هم‌چنین نرخ برآورد شده جابه‌جایی برای هر کدام از نقاط مشاهداتی در جدول ۲ آورده شده است. اشکال ۸ و ۹ نیز نشان‌دهنده بردارهای جابه‌جایی نقاط شاهد شبکه ژئودتیک می‌باشد. نتایج به‌دست آمده حاکی از جابه‌جایی معنی‌دار اغلب نقاط شاهد رفتارسنجی قسمت بالادست شیب لغزشی حد فاصل زمانی میان مراحل مشاهدات GPS می‌باشد. علت فعالیت قابل توجه قسمت بالایی توده لغزشی را می‌توان در وجود چشمه‌ها و باغات فراوان و آبیاری بی‌رویه آن‌ها جستجو کرد. بارگذاری اضافی ناشی از ساخت و سازهای روستایی بر روی خاک سست و ناپایدار منطقه و برهم زدن پایداری شیب مستعد لغزش خصوصاً به‌دلیل کوهپُری‌های متعدد با هدف ساخت راه‌های متعدد مواصلاتی روستا نیز به روند حرکت رو به پایین قسمت بالادست شیب سرعت بخشیده است. به‌عنوان مثال جابه‌جایی ۱۳، ۱۷ و ۶۵ سانتی‌متر برای نقطه مشاهداتی MP.۲ در مراحل دوم و سوم و چهارم مشاهداتی ثبت شد. این جابه‌جایی بیشینه جابه‌جایی مسطحاتی ثبت شده در منطقه لغزشی بوده است. به این ترتیب می‌توان نرخ جابه‌جایی ۰/۸ الی ۲/۶ میلی‌متر در روز را برای نقطه MP.۲ و مناطق اطراف آن به‌دست آورد. تطابق جابه‌جایی‌های به‌دست آمده در مراحل مشاهداتی متوالی از نقطه نظر میزان و جهت جابه‌جایی به‌خوبی گویای مکانیزم حرکتی شیب مورد بررسی است (شکل ۸). هم‌چنین بر اساس نتایج حاصله از پایش



شکل ۹- نمایش گرافیکی بیضی خطا و بردار جابه‌جایی مسطحاتی نقاط شاهد توده فعال شیب لغزشی بر روی نقشه توپوگرافی



شکل ۱۰- نمودار سری زمانی جابه‌جایی مسطحاتی نقطه MP.۲



شکل ۸- نمایش گرافیکی بیضی خطا و بردار جابه‌جایی مسطحاتی نقاط شاهد شبکه ژئودتیک بین اُپک اول و چهارم مشاهدات GPS

جدول ۲- نتایج عددی آنالیز جابه‌جایی مسطحاتی مشاهدات GPS در چهار مرحله مشاهداتی و در سطح اطمینان ۹۵٪

Pt ID	Epoch 1 to 2 (5 months)			Epoch 2 to 3 (3 months)			Epoch 3 to 4 (8 month)			Epoch 1 to 4 (16 months)		
	Disp. (mm)	Std. error	Rate (mm/day)	Disp. (mm)	Std. error	Rate (mm/day)	Disp. (mm)	Std. error	Rate (mm/day)	Disp. (mm)	Pt Status	Rate (mm/day)
MP.1	33	3	0.21	160	3	1.62	65	4	0.26	258	moved	0.51
MP.2	130	5	0.82	167	6	1.69	652	6	2.65	949	moved	1.89
MP.3	1	4	----	6	8	----	9	9	----	6	Stable	----
MP.4	5	5	----	15	5	0.15	3	4	----	11	moved	0.02
MP.5	5	5	----	5	10	----	9	11	----	11	moved	0.02
MP.6	36	2	0.22	163	2	1.65	70	3	0.28	269	moved	0.53
MP.7	9	6	0.06	2	9	----	8	9	----	8	moved	0.02
MP.8	39	3	0.25	243	5	2.46	52	5	0.21	333	moved	0.66
MP.9	5	8	----	5	9	----	1	7	----	1	Stable	----
MP.10	10	2	0.06	5	5	----	11	6	0.04	15	moved	0.03
MP.11	4	4	----	12	6	0.12	3	7	----	10	moved	0.02
MP.12	4	4	----	3	3	----	3	5	----	7	Stable	----
MP.13	10	6	0.06	11	11	----	7	9	----	10	moved	0.02
MP.14	4	10	----	6	11	----	2	5	----	4	Stable	----
MP.15	11	5	0.07	7	7	----	5	7	----	6	Stable	----
MP.16	10	4	0.07	7	7	----	5	6	----	5	Stable	----
MP.17	21	8	0.13	9	9	----	9	9	----	23	moved	0.05

5- Josep A., Corominas, G.J. and Rius, J. 2000. Using Global Positioning System Techniques in Landslide Monitoring. Journal of Engineering Geology. Barcelona, Sepanyol. 167-192

6- Rizos C. 1999. Introduction to GPS. chapter One." University of New South Wales.

7- Settles E., "Slope monitoring methods" A state of the art report, 2008.

8- Turner A.K. and Shuster R.L. 1996. Landslide; Investigation and Mitigation. Special Report, National Research Council (U.S) Transportation Research Board, Chapter Nine .199-209.

9- W.schofield and Breach, M. 2007. Engineering Surveying. Butterworth and Heinemann of ELSEVIER, Six Edition, P 321.

10- Wan Aziz W.A. and Khamarrul A.R. 2009. An Appropriate GPS Technology for Landslide Monitoring at East-west Highway, Perak, Malaysia. Faculty of Geoinformation Science and Engineering University Technology Malaysia, Skudai 81310, Johor.

لغزش، ناپایدار شدن شیب به واسطه بارگذاری بیش از حد و عملیات عمرانی مختلف در شیب ناپایدار تشخیص داده شد. مطالعاتی نظیر آنچه در این مقاله آورده شده است همراه با تجربه‌های علمی و عملی آن، باعث پیشرفت روزافزون و کسب تجربه‌های فراوان در زمینه تسکین و کاهش آثار سو و مخرب بلایای طبیعی به خصوص در پدیده‌های قابل پیش‌بینی مانند زمین‌لغزش خواهد بود.

#### منابع

۱- گروه تثبیت فرسایش توده‌ای و زمین‌لغزش، سازمان مراعات، جنگل‌ها و آب‌خیزداری کشور. ۱۳۸۸. اصول رفتارسنجی سطحی حرکات توده‌ای.

2- Dzurisin, D. 2007. Volcano Deformation: Geodetic Monitoring Techniques. Journal of Springer, 441 p.

3- Gassner, G., Wieser, A. and Brunner, F.K. 2002. GPS Software Development for Monitoring of Landslide. Proc. FIG XXII, Deformation Measurement and Analysis II, Congress Washington, D.C. 12pp.

4- <http://www.ngs.noaa.gov/orbits>, National Geodetic Survey organization.