نشریه علمی - پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره هفتم، شماره ۳، بهمن ماه ۱۳۹۶

ارزیابی دقت و بررسی روش تبدیل قطاعی در تعیین جابجایی دو بعدی نقاط ناشی از رانش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (*IRS P5*)

علی عزیزی*[1]، اعظم هادیلو[2]، محمد علی شریفی[1]

[1]دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
{*aazizi, sharifi}@ut.ac.ir

[2]دانش آموخته کارشناسی ارشد نقشه‌برداری، فتوگرامتری - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
azam83_hadiloo@yahoo.com

(تاریخ دریافت مهر ۱۳۹۴، تاریخ تصویب مرداد ۱۳۹۶)

چکیده

تعیین بردارهای جابجایی ناشی از لغزش زمین، مرحله مقدماتی و اساسی در تهیه نقشه‌های ریسک‌پذیری رانش را تشکیل میدهد. هدف از این مقاله، اعتبار سنجی روشی مبتنی بر تبدیل قطاعی (localized) در تعیین بردارهای جابجایی دو بعدی در مناطق متأثر از رانش زمین است. برای این منظور، از تصاویر دید عقبنگر IRS P5 در دو اپوک زمانی با فاصله زمانی یکسال در منطقه‌ای در استان اردبیل، استفاده شده است. هدف اصلی این مقاله، استفاده از مشاهدات زمینی موجود در منطقه تحت رانش به منظور تحلیل و ارزیابی دقیقتر صحت مقادیر محاسبه شده در میزان جابجایی منطقه زمین رانش با روش قطاعی می‌باشد. روش تبدیل قطاعی می‌تواند در مستند سازی و تهیه نقشه‌های متوسط مقیاس در سطح کشور برای مناطقی که دارای مقادیر قابل توجه رانش هستند و نیز پایش مستمر این مناطق استفاده شود و با توجه به اینکه مناطق تحت رانش معمولا قطاع کوچکی از کل تصویر ماهواره‌ای را تشکیل میدهند، روش قطاعی، همانطور که در این تحقیق نشان داده شده است، میتواند کارآیی قابل قبولی داشته باشد. به منظور نشان دادن کارآیی و دقت این روش جهت مستندسازی و پایش رانش زمین، از اندازه‌گیری‌های زمینی انجام شده بوسیله GPS توسط شرکت مهندسین مشاور ایستاسنج دقیق، جهت تحلیل کلی روش قطاعی، استفاده شد. جهت انجام این مقایسه، نقاطی که در خارج منطقه زمین رانش دارای مشاهدات زمینی بودند، در تصاویر ماهواره‌ای شناسایی گردیدند و با تصحیح خطای شیفت ضرائب RPC به کمک این نقاط، هم‌مرجع سازی مکانی بین نقاط اندازه‌گیری شده در تصویر و مشاهدات زمینی صورت گرفت. به علت عدم همزمانی مشاهدات زمینی و زمان‌های تصویربردای ماهواره‌ای، هم‌مرجع سازی زمانی برای این نقاط نیز ضروری بود. هم‌مرجع سازی زمانی با یک برونیابی خطی انجام شد. نحوه مقایسه بردارهای جابجایی استخراج شده از تصاویر و مشاهدات زمینی و دقت نهایی بدست آمده در بردارهای جابجایی، در این مقاله گزارش شده است.

واژگان کلیدی: رانش و لغزش زمین، تبدیل قطاعی، ارزیابی دقت، هم‌مرجع سازی مکانی و زمانی، تصاویر ماهواره‌ای آرایه خطی با دید عقبنگر

---

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

تصاویر ماهواره‌ای نقش پررنگ و غیرقابل انکاری در مراحل مختلف حوادث غیرمترقبه دارند [۱, ۲]. یکی از کاربردهای تصاویر ماهواره‌ای اندازه‌گیری جابجایی نقاط پس از حوادث غیر مترقبه است. اندازه‌گیری جابجایی نقاط ناشی از رانش زمین، نقش مهمی را در پایش مستمر این پدیده به منظور اخطار زود هنگام ایفا میکند. به علاوه، بردارهای جابجایی نقاط، اولین لایه اطلاعاتی در سیستم-های اطلاعات مکانی به منظور تهیه نقشه‌های ریسک پذیری را تشکیل میدهند. مشاهدات زمینی و ژئودتیکی، یکی از روشهای متداول در تعیین جابجایی ناشی از رانش زمین است که میتواند دقت بسیار بالایی داشته باشد ولی این روش‌ها اساساً زمانبر و مستلزم استقرار تجهیزات اندازه‌گیری در محل وقوع زمین لغزش هستند. این امر یکی از نقاط ضعف اساسی این روش‌ها به خصوص در مناطقی که دسترسی به آنها دشوار است محسوب می‌شود. به علاوه، روش‌های متکی بر اندازه‌گیری‌های مستقیم زمینی، به نقاط پراکنده محدود شده و امکان ایجاد پوشش سراسری جابجایی، از این طریق دشوار است. یکی از روش‌هایی که می‌تواند نقص فوق را برطرف نماید استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری است [۹]. این روش، دقت بالایی در تعیین جابجایی‌هایی که در جهت ارسال پالس صورت می‌گیرد را داراست و میتواند پوششی سراسری برای مناطق تحت رانش یا لغزش را فراهم آورد ولی توان روش فوق در تعیین جابجائیهای افقی در مناطقی که میزان رانش بزرگ است کاهش می‌یابد. روش دیگری که میتواند به عنوان مکمل در کنار دو روش مطرح شده در بالا مد نظر قرار گیرد، استفاده از تصاویر اپتیکی ماهواره‌ای است [۱۰،۱۲]. دقت استخراج جابجایی نقاط با این تصاویر، به قدرت تفکیک مکانی سنجنده، دقت تناظریابی نقاط در اپوکهای زمانی متفاوت و تبدیل هندسی جهت هم‌مرجع سازی تصاویر وابسته است.

در سال ۲۰۱۴، Stumpf و همکاران به بررسی تاثیر تعداد نقاط کنترل زمینی برروی صحت اندازه‌گیری جابجایی پوسته زمین در اثر رانش پرداختند. روش پیشنهادی برروی تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا پیاده-سازی شد و خطای برابر ۱۳ سانتی متر گزارش شد [۳]. در سال ۲۰۰۵، Strozzi و همکاران به بررسی جامع توانایی داده‌های رادار اخذ شده در باند L برای شناسایی مناطق جابجا شده در اثر رانش پرداختند [۴]. Mora و همکاران در سال ۲۰۰۳، یک سیستم مبتنی بر فتوگرامتری رقومی و داده‌های GPS برای شناسایی مناطق رانش یافته ارائه نمودند. بر اساس نتایج ارائه شده توسط آنها، روش پیشنهادی به منظور پایش مستمر مناطق کارآمد است [۵]. Niethammer و همکاران در سال ۲۰۱۲ به بررسی کاربرد پرنده‌های بدون سرنشین در شناسایی مناطق رانش یافته و میزان جابجایی آن پرداختند[۶]. Baldi و همکاران در سال ۲۰۰۸، با تلفیق تکنیک‌های فتوگرامتری و داده‌های GPS به بررسی مناطق رانش یافته در منطقه Patigno پرداختند [۷]. روشی که در این مقاله جهت هم‌مرجع سازی تصاویر مورد بررسی قرار گرفته و دقت آن ارزیابی شده است، مبتنی بر انتقال از سیستم مختصات تصویر اپوک زمانی بعد از وقوع زمین لغزش به سیستم مختصات تصویر اپوک زمانی قبل است. بدین ترتیب، اندازه‌گیری بردارهای جابجایی نیازمند مشاهدات زمینی و نقاط کنترل نخواهد بود و در مناطقی که دسترسی به مشاهدات زمین در آنها امکانپذیر نیست از طریق روش فوق مولفه‌های مسطحاتی جابجایی نقاط میتواند استخراج شود. با تعمیم این روش، مولفه جابجایی ارتفاعی نیز قابل استخراج خواهد بود. مدل-های هم‌مرجع سازی مختصات اپوک‌های زمانی مختلف در تصاویر ماهواره‌ای به دوگروه قابل تقسیم است: "هم‌مرجع سازی کلی" و "هم‌مرجع سازی قطاعی". ضرورت هم‌مرجع سازی کلی تصاویر در حالتی مطرح می‌شود که پدیده زمین لغزش قسمت قابل توجهی از منطقه تحت پوشش تصاویر را در برگرفته باشد. مدل بهینه برای هم‌مرجع سازی تصاویر در این حالت، در [۱۰] پیشنهاد شده است. هم‌مرجع سازی قطاعی، مناسب برای مناطقی است که در آنها وسعت منطقه تحت رانش، قسمت کوچکی از کل تصویر را تشکیل میدهد. البته لازم به ذکر است که روش قطاعی، میتواند قابلیت اعمال در مناطقی که در آنها وسعت منطقه رانش زیاد است را نیز داشته باشد مشروط براینکه قید اتصالات قطاع تصاویر، در معادلات در نظر گرفته شود. در این تحقیق، دقت روش قطاعی بر روی تصاویر دید عقبنگر سنجنده IRS-P5 در اپوکهای زمانی ۲۰۱۰/۲۰۰۹ از منطقه‌ای در استان اردبیل، (شکل ۱)، که در آن زمین رانش اتفاق افتاده است مورد ارزیابی قرار گرفته است.

شکل۱- دید عقبنگر سنجنده IRS P5 از منطقه زمین رانش

در گزارش ارائه شده در [۱۰] صرفا میانگین عددی مقادیر بردارهای جابجایی اندازه‌گیری شده در تصاویر با میانگین عددی بردارهای جابجایی مشاهدات زمینی، مقایسه شده است. در حالیکه در این تحقیق، هدف اصلی، برآورد دقت جابجاییها با روش مقایسه نقطه‌ای در نظر گرفته شده است تا از این طریق کارآیی روش قطاعی در تعیین جابجایی‌های ناشی از زمین‌لغزش، دقیقتر مشخص گردد. مشکل اساسی در روش مبتنی بر مقایسه نقطه‌ای جهت برآورد دقت اندازه‌گیری جابجایی‌های ناشی از زمین‌لغزش، این است که عدم انطباق زمانی اخذ تصاویر و مشاهدات زمینی، اجتناب ناپذیر است بویژه در مناطقی که دارای مقادیر بزرگ جابجایی با پیوستگی ممتد زمانی هستند. برای رفع این مشکل جهت انجام مقایسه نقطه ای، در این تحقیق، روشی که آن را هم‌مرجع سازی زمانی و مکانی نامیده‌ایم پیشنهاد شده است. در بخش‌های بعدی این مقاله، ابتدا توانایی تئوریک روش تبدیل قطاعی ارائه میگردد و سپس روش پیشنهادی جهت برآورد دقت بردارهای اندازه‌گیری شده در اپوکهای زمانی ۲۰۰۹/۲۰۱۰ بررسی خواهد شد.

۲-هم‌مرجع سازی قطاعی تصاویر

مدلهای ریاضی دوبعدی که میتوانند در هم‌مرجع سازی تصاویر آرایه خطی از نوع عقبنگر با زوایای دید مشابه (تصاویر بازدید مجدد revisit)، استفاده شوند، شامل تبدیل‌های افاین و پروژکتیو و نیز روش موسوم به توجیه نسبی شبه - فیزیکی میشود. مدل توجیه نسبی شبه فیزیکی در این شرائط از تبدیل‌های دوبعدی دیگر دقت بالاتری خواهد داشت. جزئیات روش توجیه نسبی شبه – فیزیکی به عنوان تبدیل بهینه در هم‌مرجع سازی کل فضای تصاویر عقب نگر در [۱۱] ارائه شده است. معادله (۱) بیان کننده شکل ماتریسی این مدل ریاضی است [۱۱]:

$$\begin{pmatrix} 1 & x & y & xy & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} BY_{shift} \\ BY_{drift} \\ B\varphi \\ BZ_{drift} \\ BX_{shift} \\ BX_{drift} \\ \tan\kappa \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} py \\ px \end{pmatrix} \qquad (۱)$$

در رابطه بالا px، py، x و y به ترتیب بیان کننده مقادیر پارالاکس‌های x و y و مختصات پیکسلی نقاط متناظر در اپوکهای زمانی متفاوت هستند. بردار مجهولات در معادله (۱) عناصر توجیه نسبی تصاویر بازدید مجدد در دو اپوک زمانی را نشان می‌دهند. جزئیات پارامترهای بردار مجهولات، در [۱۱] توضیح داده شده است. این مدل ریاضی برای هم‌مرجع سازی کل فضای دو تصویر مناسب است و کاربرد آن در تعیین جابجایی‌هایی است که وسعت مکانی آنها قسمت عمده ای از فضای تصویر را در برمیگیرد [۱۱]. ولی اگر منطقه تحت رانش قسمت کوچکی از کل پوشش زمینی تصویر را تشکیل دهد و نیز چنانچه برای حل پارامترهای معادلات تبدیل، از نقاط ثابت در اطراف منطقه تحت رانش استفاده شود، در این صورت به علت کوچک بودن منطقه تحت رانش نسبت به کل فضای تصویر، خطاهای هندسی سنجنده در تصاویر بازدید مجدد، شباهت هندسی نزدیک به یکدیگر خواهند داشت، به همین دلیل، روش قطاعی، با استفاده از معادله کانفورمال مناسب‌ترین روش خواهد بود، زیرا در چنین شرائطی اگر تبدیلات با ترم‌های بیشتری استفاده شود، به علت شباهت هندسی تصاویر، اختلاف هندسی بین قطاع‌های متناظر در دو تصویر، فاقد خطاهای قابل توجه که نیاز به ترم‌های بالاتر دارد، خواهد بود و در صورت حضور ترم‌های بیشتر از تبدیل کانفورمال، ترم‌های اضافی معادل هندسی در تصویر نخواهند داشت و به این دلیل معادلات بیش- پارامتریزه خواهد شد و نهایتا منجر به ایجاد بردارهای کاذب در تعیین جابجایی ناشی از زمین لغزش خواهد شد. بنابراین، برای مناطقی که زمین لغزش جزء کوچکی از کل فضای پوششی تصویر را تشکیل میدهد و در صورتی که زوایای دید تصاویر در اپوکها، مشابه باشند، در چنین شرائطی روش قطاعی با مدل ریاضی کانفورمال مناسب‌تر است. از آنجایی که منطقه متأثر از زمین رانش، بخش بسیار کوچکی از کل تصویر استفاده شده در این تحقیق را تشکیل میداد، معادله (۱)

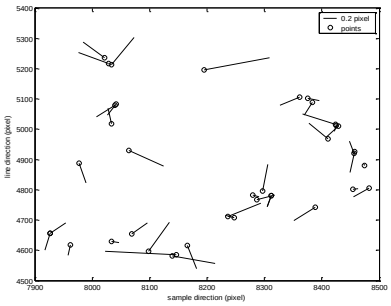
نمیتوانست بعنوان تبدیل بهینه جهت تعیین بردارهای ناشی از رانش زمین برای این منطقه در نظر گرفته شود. معادله تبدیل بهینه در این حالت، برای تصاویر بازدید مجدد مداری (تصاویر با زوایای دید مشابه)، معادلات کانفورمال دو بعدی است:

$$\begin{pmatrix} dx \\ dy \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_1 - \lambda * R \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_2 + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} \qquad (۲)$$

در رابطه بالا، x، y مختصات پیکسلی نقاط متناظر در دو اپوک زمانی متفاوت؛ Δx ، Δy ، λ و R به ترتیب ضرائب انتقالی، مقیاس و دوران تبدیل کانفورمال هستند که با استفاده از نقاط اندازه‌گیری شده در مناطق ایستا در حوالی منطقه زمین رانشی، محاسبه میشوند. شناسایی مناطق ایستا در حاشیه منطقه تحت رانش زمین، از طریق آنالیز درجه‌ی رندوم بودن بردار باقیمانده‌ها بعد از حل معادله (۲) قابل انجام است. مختصات پیکسلی ۳۸ نقطه متناظر در تصاویر اپوکهای ۲۰۱۰/۲۰۰۹ اندازه‌گیری شد و تبدیل کانفورمال، معادله (۲)، بر روی این نقاط اجرا گردید. مقادیر عددی انحراف معیار برای تبدیل کانفورمال در جدول (۱) و بردارهای خطای باقیمانده برای ۳۸ نقطه اندازه‌گیری شده در حاشیه منطقه زمین رانش، در شکل (۲) ارائه شده است. همانطور که در جدول (۱) مشاهده میشود دقت بهتر از یک پیکسل، از طریق تبدیل کانفورمال بدست آمده است.

جدول۱- نتایج بدست آمده از اجرای تبدیل کانفورمال بر روی ۳۸ نقطه اندازه‌گیری شده در اپوک‌های (۲۰۱۰/۲۰۰۹)

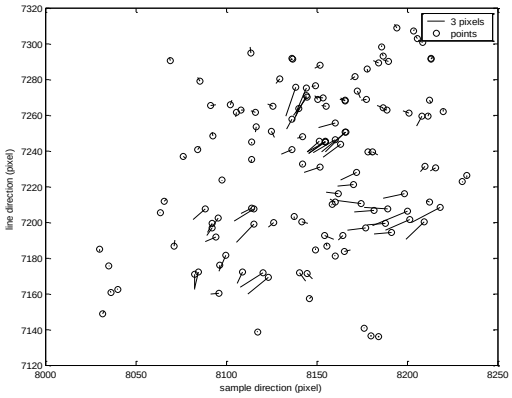
مدل ریاضی	حداقل/ حداکثر (Vx) (پیکسل)	حداقل/ حداکثر (Vy) (پیکسل)	خطای مربعی متوسط x (پیکسل)	خطای مربعی متوسط y (پیکسل)
کانفورمال	-۰,۶۹ ۰,۶۳	-۰,۴۲ ۰,۵۳	۰,۲۳	۰,۲۵



شکل۲- بردارهای باقیمانده پس از اجرای تبدیل کانفورمال دو بعدی با استفاده از ۳۸ نقطه متناظر در اطراف منطقه زمین رانش در اپوک‌های زمانی ۲۰۱۰/۲۰۰۹

۳- تعیین بردارهای جابجایی ناشی از رانش زمین

بعد از اجرای هم‌مرجع سازی تصاویر اپوک‌های ۲۰۱۰/۲۰۰۹ و محاسبه ضرائب تبدیل کانفورمال با روش هم‌مرجع سازی قطاعی، مختصات پیکسلی نقاط اندازه-گیری شده در تصویر اپوک ۲۰۱۰ از سیستم مختصات این تصویر به سیستم مختصات تصویر اپوک ۲۰۰۹ که به عنوان تصویر مرجع در نظر گرفته شده است منتقل گردید. به علت اختلاف زمانی حدود یکسال بین تصاویر دو اپوک، و نیز به علت شدت زیاد رانش زمین در منطقه، بافت نقاط متناظر به مقدار قابل توجهی دچار تغییر گردیده بود و بدین لحاظ روشهای تناظریابی اتوماتیک قابل استفاده نبودند. تنها راه حل ممکن برای حل این مشکل، استفاده از اپراتور خبره و شناسایی نقاط متناظر به صورت چشمی بود. بدیهی است اگر تصاویری که در اپوک‌های زمانی کوتاه‌تر از یکسال اخذ شده‌اند در اختیار بود تشابه بافت بیشتری در نقاط متناظر، وجود میداشت و تناظریابی اتوماتیک می‌توانست امکان‌پذیر باشد. در تحقیق ارائه شده در [۱۰] نقاط اندازه‌گیری شده در منطقه زمین رانش، پوشش کاملی را برای تحلیل دقت روش قطاعی دارا نبودند. به منظور ایجاد پوشش بهتر از منطقه تحت رانش، تراکم نقاط متناظر در دو اپوک ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ افزایش یافت و حدود ۱۳۰ نقطه متناظر در مناطق زمین رانش، به صورت چشمی شناسایی و مختصات پیکسلی آنها اندازه‌گیری شد و سپس بردارهای جابجایی از طریق معادله (۲) محاسبه گردید. شکل (۳) بردارهای جابجایی محاسبه شده در منطقه زمین رانش را نشان میدهد. روند حرکتی نقاط زمینی در طول مدت یکسال به وضوح در شکل (۳) قابل تشخیص است. اهمیت روش قطاعی موقعی مشهود است که با اندازه‌گیری‌های زمینی در همین منطقه مقایسه شود. به علت شدت رانش و شیب منطقه امکان استقرار ایستگاه‌های اندازه‌گیری زمینی فقط برای تعداد کمی از نقاط میسر بوده است که در مقایسه با ۱۳۰ نقطه اندازه‌گیری شده در تصاویر، اهمیت اجرائی روش ارائه شده در این مقاله، مشروط بر اینکه دقت بالایی مورد نیاز نباشد، را نشان میدهد.



شکل۳- بردارهای جابجایی دو بعدی نقاط در منطقه تحت زمین رانش برای تصاویر اپوکهای ۲۰۱۰/۲۰۰۹

دقت روش استفاده شده در این تحقیق در مقایسه با روش‌های زمینی و روش اینترفرومتری به مراتب کمتر است. افزایش دقت روش مورد استفاده در این تحقیق، به‌طور کلی به عوامل زیر وابسته است:

(۱) دقت مدل هندسی در هم‌مرجع سازی،

(۲) دقت تناظریابی،

(۳) استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک بالاتر از تصویر IRS-P5.

اولین مورد اشاره شده در بالا، یعنی دقت مدل هندسی بهینه در هم‌مرجع سازی، با معادله (۲)، قابل انجام است. افزایش دقت تناظریابی در مناطق تحت رانش، موقعی میسر است که تغییر بافت فاحش اتفاق نیفتاده باشد. بنابراین، تصاویری که در فاصله‌های زمانی کوتاه‌تر اخذ شده‌اند می‌تواند این شرط را نیز برآورده سازد و دقت زیر پیکسل با استفاده از الگوریتم‌های متداول در تناظریابی اتوماتیک در این حالت قابل دستیابی خواهد بود.

موضوعی که در ارتباط با این مقاله حائز اهمیت است و تمرکز اصلی مقاله را تشکیل میدهد این است که با روش ارائه شده در این تحقیق، بردارهای جابجایی (شکل ۳)، با چه دقتی اندازه‌گیری شده‌اند. تنها راه برآورد دقت مطلق این اندازه‌گیری‌ها، همانطور که قبلا اشاره شد، مقایسه آنها با اندازه‌گیری‌های انجام شده زمینی در محل وقوع زمین رانش است. این موضوع در بخش‌های بعدی این مقاله بررسی خواهد شد.

۴- مقایسه بردارهای جابجایی استخراج شده از تصاویر IRS P5 و مشاهدات زمینی

همانطور که در بخش مقدمه اشاره شد، در تحقیق ارائه شده در [۱۰] صرفا میانگین عددی مقادیر بردارهای جابجایی اندازه‌گیری شده در تصاویر، با میانگین عددی بردارهای جابجایی مشاهدات زمینی مقایسه شده است، در حالیکه در این تحقیق، هدف اصلی، برآورد دقت جابجائی‌ها با روش مقایسه نقطه‌ای در نظر گرفته شده است تا از این طریق کارآیی روش قطاعی، دقیقتر مشخص شود. همانطور که قبلا اشاره شد، عدم انطباق زمانی اخذ تصاویر و مشاهدات زمینی، اجتناب ناپذیر است. در این تحقیق، روش هم‌مرجع سازی زمانی و مکانی، که در زیر توضیح داده میشود پیشنهاد شده است.

مشاهدات زمینی توسط شرکت مهندسین مشاور ایستاسنج دقیق به تقاضای اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل صورت گرفته است. این اندازه‌گیری‌ها در دو منطقه، که تحت عنوان منطقه رانش و منطقه لغزش تقسیم بندی شده‌اند انجام شده است. در منطقه زمین لغزش، جابجائی‌های اندازه‌گیری شده مقادیر کوچکی را نشان میدهد در حالیکه در منطقه زمین رانش که منطبق بر مناطق پرشیب‌تر است اندازهٔ جابجائی‌ها به مراتب بیشتر از منطقه زمین لغزش گزارش شده است [۱۳].

مشکلات اصلی جهت مقایسه اندازه‌گیری‌های انجام شده در روی زمین و اندازه‌گیری‌های انجام شده در تصاویر IRS P5 به شرح زیر است:

- عدم امکان شناسایی ایستگاه‌های استقرار گیرنده GPS در تصاویر به علت قدرت تفکیک تصاویر سنجنده IRS P5 (حدود ۲/۵ متر)،
- عدم همزمانی اندازه‌گیری‌های زمینی با زمان تصویر برداری.

برای حل دو مشکل بالا، راه حل‌های تقریبی زیر در نظر گرفته شد:

- هم‌مرجع سازی مکانی از طریق انترپوله مکانی،
- هم‌مرجع سازی زمانی از طریق برونیابی زمانی.

در قسمت بعدی این مقاله، موارد بالا بررسی خواهد شد.

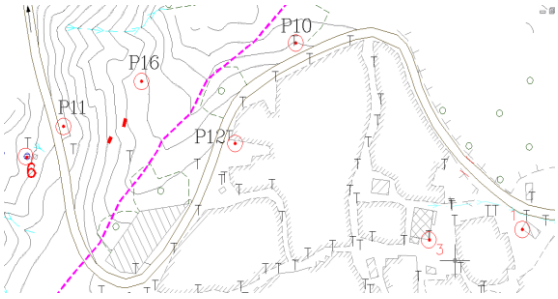
۴-۱- هم‌مرجع سازی مکانی مشاهدات تصویری و مشاهدات زمینی با استفاده از نقاط ثابت

همانطور که در بخش قبل اشاره شد، امکان رؤیت و شناسایی نقاط استقرار GPS در تصاویر IRS P5 وجود نداشت و لذا مقایسه مستقیم مختصات این نقاط با مختصات بدست آمده با مشاهدات زمینی امکان‌پذیر نبود.

راه حل تقریبی ارائه شده در این تحقیق برای حل مشکل فوق یافتن مختصات زمینی نزدیکترین نقاط در تصاویر IRS P5 به محل ایستگاه‌های استقرار گیرنده‌های GPS در روی زمین است. جهت محاسبه مختصات زمینی نقاط اندازه‌گیری شده در تصاویر، از ضرائب RPC (زمین مستقل) تصاویر استفاده شد. مشکل ضرائب RPC در این است که این ضرائب دارای خطای شیفت هستند [۱۲]. بنابراین انتقال نقاط اندازه‌گیری شده در تصویر به فضای زمین فقط در صورتی با دقتی قابل قبول میسر است که خطای شیفت ضرائب تصحیح شود. تصحیح خطای شیفت RPC و سپس انتقال نقاط اندازه‌گیری شده در تصاویر به فضای زمین را در این مقاله هم‌مرجع‌سازی مکانی نامیده‌ایم. مراحل تصحیح خطای شیفت ضرائب RPC در بخش بعد ارائه گردیده است.

۴-۱-۱- تصحیح خطای شیفت در ضرائب RPC

برای تصحیح خطای شیفت ضرائب RPC ، می‌بایست از نقاطی استفاده شود که جابجایی مکانی نداشته‌اند و یا نقاطی که جابجایی مکانی آنها بسیار کوچکتر از قدرت تفکیک تصاویر باشد تا بعنوان نقاط ثابت در نظر گرفته شوند[۸]. شبکه نقاط در داخل روستا که توسط شرکت مهندسین مشاور ایستاسنج دقیق، ایجاد گردیده است، در صورت قابل شناسایی بودن در تصاویر، میتوانست بعنوان نقاط ثابت در نظر گرفته شود. این نقاط، به عنوان نقاط کنترل، جهت تصحیح خطای RPC استفاده شد. ولی همه این نقاط به دلیل منطبق نبودن بر عارضه‌ای مشخص در تصاویر قابل شناسایی نبودند. از بین این نقاط، نقطه P12 در داخل روستا، (شکل ۴)، که موقعیت تقریبی آن در تصویر اپوک ۲۰۱۰ قابل شناسایی بود، به علت اینکه در زمین همواری قرار داشت، به عنوان نقطه کنترل ارتفاعی، جهت محاسبه‌ی خطای شیفت ارتفاعی ضرائب RPC انتخاب گردید. مختصات پیکسلی نقطه‌ی P12 در تصاویر جلونگر و عقبنگر تصاویر IRS P5 قرائت گردید و با استفاده از ضرائب RPC مختصات سه بعدی این نقطه در سیستم WGS84 محاسبه و سپس به سیستم UTM جهت مقایسه با مشاهده زمینی همین نقطه و محاسبه خطای شیفت RPC ها منتقل گردید.



شکل۴- تعدادی از ایستگاه‌های زمینی در داخل و اطراف روستا[۱۳]

مختصات محاسبه شده با ضرائب RPC و مختصات زمینی آنها در سیستم UTM و اختلاف مختصات محاسبه شده و مختصات اندازه‌گیری شده زمینی به ترتیب در جداول ۲ و ۳ ارائه گردیده است.

جدول۲- مختصات زمینی محاسبه شده نقطه p12 با ضرائب RPC و مختصات اندازه‌گیری شده در روی زمین توسط شرکت مهندسین مشاور ایستاسنج دقیق

نقطه کنترل شناسایی شده در تصویر	X (متر)	Y (متر)	Z (متر)
P12 (محاسبه شده با ضرائب RPC)	۲۶۹۷۷۲,۰۲	۴۱۳۵۲۲۷,۷۸	۱۱۹۰,۱۳
P12 (اندازه گیری شده در روی زمین)	۲۶۹۸۲۶,۴۲	۴۱۳۵۵۲۹,۵۶	۱۰۹۷,۴۱

جدول۳- مقادیر شیفت محاسبه شده برای ضرائب RPC

Shift_X (متر)	Shift_Y (متر)	Shift_Z (متر)
- ۵۴,۴۰	- ۳۰۱,۷۸	۹۲,۷۲

شیفت بدست آمده در جدول۳ برای مؤلفه‌های مسطحاتی نقاط، به علت عدم امکان یافتن انطباق کامل نقطه زمینی با موقعیت تصویری آنان نمیتوانست دقت بالایی داشته باشد ولی شیفت محاسبه شده برای مؤلفه ارتفاعی، به علت قرار گرفتن نقطه در منطقه مسطح، دقت بالاتری داشت. لذا نقاط اندازه‌گیری شده زمینی بیشتری در داخل روستا که با دقت بالاتری موقعیت آنها در تصاویر قابل شناسایی باشد نیز مورد نیاز بود تا مقادیر دقیقتری برای شیفت مؤلفه‌های مسطحاتی بدست آید. برای این منظور، سه نقطه مسطحاتی (نقاط ۱، ۳، ۶) در داخل روستا (شکل۴)، که می‌توانست در تصاویر با دقت خوبی شناسایی شود زیرا منطبق بر گوشه ساختمان و یا عارضه‌ای طبیعی بودند و مختصات مسطحاتی آنها نیز قابل استخراج از نقشه برداشت شده زمینی بود، انتخاب گردیدند تا مقادیر شیفت مسطحاتی ضرائب RPC با

دقت بالاتری محاسبه گردد. مختصات زمینی نقاط ۱، ۳، ۶ که با RPC محاسبه گردیده است در جدول ۴ ارائه شده است. میانگین شیفت بدست آمده برای ضرائب RPC برای نقاط مسطحاتی، به ترتیب، ۴۹,۳- ، ۲۹۶,۴ متر برای مؤلفه‌های X و Y، با انحراف معیاری برابر با ۱,۱۳ و ۱,۱۴ متر برآورد گردید که نشان دهندهٔ دقت بهتر از یک پیکسل در شناسایی نقاط زمینی در داخل روستا در فضای تصویر است. بنابراین، شیفت محاسبه شده برای ضرائب RPC که با استفاده از نقاط ۱، ۳ و ۶، (شکل۴)، بدست آمده است از شیفت مسطحاتی محاسبه شده با استفاده از نقطه P12 دقیقتر است و بدین ترتیب، مقدار نهایی خطای شیفت ضرائب RPC بدست آمده برای هر سه مؤلفه X، Y و Z با استفاده از نقطه P12 و نقاط ۱، ۳ و ۶ به ترتیب برابر با ۴۹,۳- ، ۲۹۶,۴ و ۹۲,۷ متر، به عنوان مقادیر نهایی خطای ضرائب RPC در نظر گرفته شد.

جدول۴- شیفت ضرائب RPC محاسبه شده از طریق تفاضل مختصات اندازه‌گیری شدهٔ نقاط زمینی و مختصات محاسبه شده با ضرائب RPC

شیفت Y (متر)	شیفت X (متر)	مختصات محاسبه شده با RPC ها Y (متر)	مختصات محاسبه شده با RPC ها X (متر)	مختصات اندازه‌گیری شده در روی زمین Y (متر)	مختصات اندازه‌گیری شده در روی زمین X (متر)	نقاط کنترل
-۲۹۶,۳	-۴۹,۹	۴۱۳۵۱۸۱,۸۸	۲۶۹۹۶۶,۵۴	۴۱۳۵۴۷۸,۲۷	۲۷۰۰۱۶,۴۷	۱
-۲۹۷,۳	-۴۷,۷	۴۱۳۵۱۷۴,۰۸	۲۶۹۹۰۷,۱۸	۴۱۳۵۴۷۱,۴۳	۲۶۹۹۵۴,۹۳	۳
-۲۹۵,۷	-۵۰,۴	۴۱۳۵۲۲۵,۹۴	۲۶۹۶۳۸,۲۳	۴۱۳۵۵۲۱,۶۹	۲۶۹۶۸۸,۶۰	۶

۵-۲- هم‌مرجع سازی مکانی نقاط متحرک

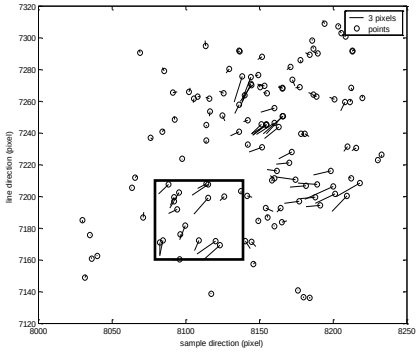
با مشخص شدن خطای شیفت ضرائب RPC که در بخش قبل توضیح داده شد، هم‌مرجع سازی مکانی اندازه-گیری‌های زمینی و اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی تصاویر برای منطقه زمین رانش، امکان‌پذیر گردید. بنابراین، کلیه نقاطی که بردارهای جابجایی آنها از طریق تصاویر عقبنگر اپوکهای ۲۰۱۰/۲۰۰۹ اندازه‌گیری شده بودند (شکل ۳) میتوانستند از طریق تعیین نقاط متناظر در تصاویر جلونگر و سپس ضرائبِ RPC به فریم مشاهدات زمینی منتقل گردیده و با مشاهدات زمینی مقایسه گردند. ولی از آنجایی که استقرار ایستگاه‌های زمینی در منطقه زمین رانش به علت شیب بسیار زیاد منطقه، به نقاط P3, P4, P5, P6, P27 محدود می‌شد و نیز طبق گزارش، نقاط P3 و P4 به علت رانش زمین تخریب شده بودند، مقایسه اندازه‌گیری‌های تصاویر و مشاهدات انجام شده زمینی در منطقه رانش، فقط می‌توانست برای نقاط P5 ، P6 و P27 صورت گیرد. مشکل دیگر در این مرحله این بود که در منطقه زمین رانش، جابجایی نقاط صورت گرفته بود و لذا جهت مقایسه بردارهای جابجایی بدست آمده در تصویر و مشاهدات زمینی، لازم بود نقاط زمینی P5، P6 و P27 در تصاویر شناسایی گردند. ولی، همانطور که قبلا اشاره شد، ابعاد این نقاط در روی زمین، کوچکتر از قدرت تفکیک تصویر بود و لذا این نقاط در روی تصویر قابل شناسایی نبودند. راه حل دیگر برای شناسایی نقاط در روی تصویر این بود که برای نقاط زمینی با استفاده از ضرائب RPC که خطای شیفت آنها تصحیح شده بود از طریق حل تبدیل معکوس توابع رشنال، مختصات پیکسلی در فضای تصویر محاسبه گردد. ولی این راه حل نیز در صورتی می‌توانست اجراء گردد که اولاً هم-مرجع‌سازی زمانی صورت گرفته باشد و ثانیا، ردیابی این نقطه در تصویر اپوکهای دیگر امکان‌پذیر باشد. ولی یافتن متناظر نقطه منتقل شده به فضای تصویر، در اپوک بعدی، به علت تغییرات شدید اطلاعات بافت تصویر در فاصله زمانی یکسال بین دو اپوک تصویر، امکان‌پذیر نبود. بنابراین، تنها راه حل ممکن برای مقایسه بردارهای جابجایی استخراج شده در تصاویر و مشاهدات زمینی، یافتن نزدیکترین نقاط در فضای تصویر به نقاط اندازه‌گیری شده در زمین بود. برای این منظور، محدوده کلی منطقه زمین رانشی متعلق به نقاط P5 و P6 با استفاده از نقشه ۱:۵۰۰ منطقه تعیین گردید. محدوده این منطقه زمین رانشی که ابعادی در حدود ۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر را دربر می‌گیرد در سیستم مختصات UTM در جدول ۵ ارائه گردیده است.

جدول۵- محدوده زون زمین رانشی مربوط به نقاط *P5* و *P6*

Ymin-Ymax (متر)	Xmin-Xmax (متر)
۴۱۳۵۳۸۰ – ۴۱۳۵۴۸۰	۲۷۰۳۷۰ - ۲۷۴۷۰

محدودهٔ زون متناظر این منطقه در فضای تصویر، از طریق ضرائب RPC مشخص گردید. بردارهای جابجایی دوبعدی نقاط در این زون، که از نقاط ارائه شده در شکل۳

استخراج گردیده است در شکل۵ در داخل مربع نشان داده شده‌اند. بنابراین، مقایسه بردارهای جابجایی در فضای تصویر با مشاهدات زمینی، صرفاً برای نقاطی که در همسایگی نقاط P5 و P6 قرار داشتند انجام شد.



شکل۵- بردارهای جابجایی در فضای تصویر در محدوده نقاط زمینی P5 , P6 برای تصاویر اپوک ۲۰۱۰/۲۰۰۹ (محدوده مورد نظر با مربع مشخص شده است)

جهت پیدا کردن نزدیکترین نقاط در فضای تصویر به نقاط زمینی P5 و P6، مختصات پیکسلی کلیه نقاطی که در شکل ۵ نشان داده شده‌اند، با اندازه‌گیری نقاط متناظر در تصاویر دید جلونگر و عقبنگر از طریق ضرائب RPC اصلاح شده تصویر اپوک ۲۰۱۰، به فضای زمین منتقل گردید. نقاط ۳۰ و ۱۳۱ به ترتیب به عنوان نزدیکترین نقاط به نقاط P5 و P6 شناسایی شدند. مختصات زمینی نقاط ۳۰ و ۱۳۱ و نیز مختصات نقاط P5 و P6 در سیستم UTM جهت مقایسه، در جدول۶ اراده گردیده است. مشاهدات زمینی توسط شرکت مهندسین مشاور ایستاسنج دقیق در پنج مرحله زمانی صورت گرفته است. تاریخ اخذ تصاویر ماهواره‌ای IRSP5 موجود از منطقه و تاریخ مشاهدات زمینی انجام شده توسط شرکت مهندسین مشاور ایستاسنج دقیق، در همان منطقه، جهت مقایسه در جدول۷ ارائه شده است.

جدول۶- مختصات زمینی محاسبه شده با ضرائب *RPC* و مختصات نزدیکترین مشاهدات زمینی به آنها

شماره شناسه نقطه	X (متر)	Y (متر)	Z (متر)	ΔX (متر)	ΔY (متر)	ΔZ (متر)
P6	۲۷۰۴۳۶,۷۲	۴۱۳۵۴۰۸,۲۹	۱۰۷۷,۱۲			
۱۳۱	۲۷۰۴۵۲,۰	۴۱۳۵۳۵۹,۰	۱۰۷۰,۰	-۱۶	۴۹	۷
P5	۲۷۰۴۲۸,۱۷	۴۱۳۵۴۵۳,۰۶	۱۰۸۰,۶۳			
۳۰	۲۷۰۴۱۹,۰	۴۱۳۵۴۵۲,۰	۱۰۷۷,۰	۹	۱	۳

جدول۷- بالا: جدول زمانی تصاویر ماهواره‌ای از منطقه زمین رانش، پائین: جدول زمانی مشاهدات زمینی انجام شده در منطقه

۱۳۸۶/۰۵/۰۱	۲۰۰۷/۰۷/۲۳	تصویر اپوک ۱
۱۳۸۷/۰۵/۱۳	۲۰۰۸/۰۸/۰۴	تصویر اپوک ۲
۱۳۸۸/۰۵/۲۶	۲۰۰۹/۰۸/۱۷	تصویر اپوک۳
۱۳۸۹/۰۶/۰۸	۲۰۱۰/۰۸/۳۰	تصویر اپوک ۴
۱۳۹۰/۰۶/۱۰	۲۰۱۱/۰۹/۰۱	تصویر اپوک ۵

۱۳۸۸/۱۰/۰۵	مشاهدات مرحله یک
۱۳۸۸/۱۲/۱۹	مشاهدات مرحله دو
۱۳۸۹/۰۳/۲۳	مشاهدات مرحله سه
۱۳۸۹/۰۷/۰۷	مشاهدات مرحله چهار
۱۳۸۹/۱۲/۱۰	مشاهدات مرحله پنج

همانطور که در جدول۶ مشاهده می‌شود، نقطه ۳۰ با اختلافی در حدود ۹ متر و ۱ متر در مؤلفه‌های X و Y در محدوده نقطه P5 قرار گرفته است در حالیکه نقطه ۱۳۱ با نقطه زمینی P6 تفاوتی را در حدود ۱۶ و ۴۹ متر در امتداد مولفه‌های X و Y نشان می‌دهد. یافتن نقاطی در تصویر که از نظر مکانی نزدیکتر به نقطهٔ P6 باشند به علت تغییر قابل توجه بافت تصویر در فاصله زمانی سالهای ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ امکان‌پذیر نگردید. بنابراین، عدم امکان یافتن نقطه P6 در تصاویر ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ به علت تغییرات شدید بافت تصویر، از یک طرف، و نیز عدم انطباق زمانی بین مشاهدات زمینی و تصویر از طرف دیگر، عواملی هستند که مقایسه کامل بردارهای جابجائی استخراج شده از تصویر را با مشاهدات زمینی به صورتی دقیق ناممکن میساخت. معذالک، اجرای یک برونیابی زمانی براساس مشاهدات زمینی که در بازه‌های زمانی نزدیک به زمان تصویربرداری انجام شده بود، میتوانست تا حدی مقایسه بهتری را برای نتایج بدست آمده در تصویر با مشاهدات زمینی فراهم نماید که در بخش بعدی، تحت عنوان هم‌مرجع‌سازی زمانی، جزئیات آن ارائه می‌شود.

۵-۳- هم‌مرجع سازی زمانی نقاط متحرک

همانطور که در بخش قبل اشاره شد، جهت انجام مقایسه دقیقتر بین مشاهدات زمینی و اندازه‌گیری‌های

تصویری، می‌بایست هم‌مرجع سازی زمانی نیز به دلیل عدم انطباق زمان تصویربرداری با مشاهدات زمینی، صورت گیرد. با استناد به جدول۷، مشاهدات زمینی مراحل یک تا پنج، در بازه زمانی ۸۸/۱۰/۰۵ تا ۸۹/۱۲/۱۰ (حدود ۴۳۰روز) صورت گرفته است و بنابراین، از بین تصاویر موجود از منطقه، تصاویر اپوکهای ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ که در بازه زمانی۲۶ مرداد ۸۸ و ۸ شهریور ۸۹ اخذ شده‌اند، به زمان مشاهدات زمینی نزدیکتر هستند. این تصاویر در فاصله زمانی حدود ۳۷۸ روز اخذ شده‌اند، و فاصله زمانی مشاهدات زمینی، حدود ۴۳۰ روز است. بنابراین، اختلاف بازه زمانی مشاهداتی در تصاویر با مشاهدات زمینی حدود ۵۲ روز است. سرعت متوسط حرکت نقاط P5 و P6 با استناد به اندازه‌گیری‌های زمینی در بازه زمانی ۸۸/۱۰ تا ۸۹/۱۲ در جدول ۹ برحسب میلیمتر/روز ارائه شده است[۱۳]. مقادیر عددی بردارهای جابجایی نقاط ۳۰ و ۱۳۱ (متناظرهای تقریبی نقاط P5 و P6) در جدول ۸ قابل مشاهده است. با فرض حرکت خطی و یکنواخت در منطقه زمین رانش، مقدار جابجایی برای نقاط P5 و P6 در فاصله زمانی ۵۲ روز به ترتیب برابر با ۱,۵ متر و ۲,۶ متر قابل تخمین خواهد بود. بنابراین، مقادیر کل جابجایی حدود ۱۲,۳ متر و ۲۰,۹ متر به ترتیب برای نقاط ۳۰ و ۱۳۱ با احتساب اختلاف زمانی مشاهدات زمینی و مشاهدات انجام شده بر روی تصاویر، بدست خواهد آمد. بدیهی است این مقایسه براساس یک برونیابی زمانی صورت گرفته است که اعتبار آن صرفا منوط به پذیرش‌پیش فرض حرکت خطی یکنواخت در منطقه زمین رانش است. با این پیش فرض، مقادیر بدست آمده برای بردارهای جابجایی در جدول ۱۰ ارائه گردیده است که اختلافی در حد کوچکتر از یک پیکسل را با مشاهدات زمینی نشان میدهد.

جدول۸- مولفه‌ها و برایند بردارهای جابجایی، اندازه‌گیری شده بر روی تصاویر برای نقاط ۳۰ و ۱۳۱ در فاصله زمانی ۸۸/۵/۲۶ تا ۸۹/۶/۸

برآیند بردار جابجایی (متر)	جابجایی در امتداد مولفه Y (پیکسل)	جابجایی در امتداد مولفه X (پیکسل)	نام نقطه
۱۰,۸	-۳,۱۴ (معادل ۷,۸متر)	-۲,۹۶ (معادل ۷,۴متر)	۳۰ متناظر تقریبی p5
۱۸,۳	-۶,۰۶ (معادل ۱۵,۱متر)	-۴,۰۹ (معادل ۱۰,۲متر)	۱۳۱ متناظر تقریبی p6

جدول۹- سرعت جابجایی مسطحاتی نقاط P5 و P6 (از ۱۳۸۸/۱۰ تا ۱۳۸۹/۱۲) [۱۳]

سرعت حرکت mm/day	نام نقطه
۲۹,۱۱	P5
۴۹,۲۴	P6

جدول۱۰- اختلاف اندازه‌گیری‌های زمینی و اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی تصاویر پس از انجام برونیابی زمانی

اختلاف جابجایی مشاهده شده زمینی و تصویری (متر)	برآیند بردار جابجایی (اندازه‌گیری شده در تصاویر) (متر)	برآیند بردار جابجایی (اندازه‌گیری شده در روی زمین) (متر)	نام نقطه
۰/۸	۱۰/۸ + ۱/۵ = ۱۲/۳	۱۳/۱۰۶	۳۰ متناظر تقریبی p5
۱/۵	۱۸/۳ + ۲/۶ = ۲۰/۹	۲۲/۳۹۳	۱۳۱ متناظر تقریبی p6

۶- نتیجه‌گیری

در تحقیق ارائه شده در این مقاله، روشی مبتنی بر اندازه‌گیری بردارهای جابجایی دوبعدی نقاط ناشی از زمین رانش با استفاده از تصویر ماهواره‌ای IRSP5 برای مناطق غیر قابل دسترسی و صعب‌العبور، بدون استفاده از نقاط کنترل زمینی، ارائه گردید و نتایج بدست آمده به صورتی تقریبی با استفاده از روشی که آن را در این مقاله، هم‌مرجع‌سازی مکانی و زمانی نامیده‌ایم، با مشاهدات زمینی مقایسه شد. روش ارائه شده در این مقاله می‌تواند برای پایش مستمر مناطقی که در معرض زمین رانش شدید قرار دارند بدون هیچگونه نیاز به مشاهدات زمینی، استفاده شود. به علاوه، روش پیشنهادی می‌تواند جهت تولید نقشه‌های کوچک و متوسط مقیاس زمین رانشی در سطح کشور نیز استفاده شود. بدیهی است در صورتی که از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالاتری استفاده شود دقت بالاتری در اندازه‌گیری بردارهای جابجایی میتواند بدست آید. با تعمیم روش ارائه شده در این مقاله، اندازه‌گیری جابجایی سه بعدی نقاط با استفاده از تصاویر استرئو امکانپذیر خواهد بود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از سازمان مراتع و جنگل‌ها و شرکت مهندسین مشاور ایستاسنج دقیق بخاطر در اختیار قرار دادن گزارش اندازه‌گیری‌های زمینی در منطقه زمین لغزشی مورد مطالعه در این مقاله صمیمانه قدردانی می‌شود. از داوران محترم که با دقت مقاله را مطالعه و کمک در بهبود مقاله داشتند نیز صمیمانه قدردانی می‌شود.

مراجع

[1] M. Janalipour and A. Mohammadzadeh, "Building Damage Detection Using Object-Based Image Analysis and ANFIS From High-Resolution Image (Case Study: BAM Earthquake, Iran)," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing ,vol. 9, pp. 1937-1945, 2016.

[2] M. Janalipour and M. Taleai, "Building change detection after earthquake using multi-criteria decision analysis based on extracted information from high spatial resolution satellite images," International journal of remote sensing, vol. 38, pp. 82-99, 2017/01/02 2017.

[3] A. Stumpf, J.-P. Malet, P. Allemand, and P. Ulrich, "Surface reconstruction and landslide displacement measurements with Pléiades satellite images," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 95, pp. 1-12, 2014.

[4] T. Strozzi, P. Farina, A. Corsini, C. Ambrosi, M. Thüring, J. Zilger, A. Wiesmann, U. Wegmüller, and C. Werner, "Survey and monitoring of landslide displacements by means of L-band satellite SAR interferometry," Landslides, vol .2 ,pp. 193-201, 2005.

[5] P. Mora, P. Baldi, G. Casula, M. Fabris, M. Ghirotti, E. Mazzini, and A. Pesci, "Global Positioning Systems and digital photogrammetry for the monitoring of mass movements: application to the Ca'di Malta landslide (northern Apennines, Italy)," Engineering Geology, vol. 68, pp. 103-121, 2003.

[6] U. Niethammer, M. James, S. Rothmund, J. Travelletti, and M. Joswig, "UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results," Engineering Geology, vol. 128, pp .2-11 ,2012.

[7] P. Baldi, N. Cenni, M. Fabris, and A. Zanutta, "Kinematics of a landslide derived from archival photogrammetry and GPS data," Geomorphology, vol. 102, pp. 435-444, 2008.

[8] Z. Xiong and Y. Zhang, "A generic method for RPC refinement using ground control information," Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 75, pp. 1083-1092, 2009.

[9] Singh, L. (2003). "Application of SAR Interferometry in Landslide Studies with Special Reference to Generation of Input data for Statistical Susceptibility Assessment. " MSc thesis, ITC, University of Twente, Enschede.

[10] Hoseni, S., Azizi, A.,Bahrudi,A. and Sharifi, M. (2013). “Using High Resolution IRSP5 Images for Determination of Landslide Displacement.” Journal of Geomatics Science and Technology. Vol.2, No.4, PP. 31-44.

[11] Azizi, A., Hadilu, A and Sharifi, M. (2014). “A Quasi-Rigorous Approach for the Solution of the Relative Orientation of the Linear Array Satellite Images with Similar Viewing Geometry.” Journal of Geomatics science and Technology. Vol.4, No.1, PP. 132-119.

[12] Hadiloo,A (2013). “Determination of Landslide Using IRSP5 Satellite Images.” Msc Thesis, Surveying engineering College. University of Tehran, Iran.

[13] ISTA SANJ DAGHIGH Consulting Engineers. “Technical Report of the Fifth Stage of Processing and Adjustment Computations of GPS Satellite Networks for Damdool Khalkhal Landslide Zone”, Employer: Natural Resources and Watershed Management of Ardabil Province.