

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر فصلنامهی علمی فضای جغرافیایی

سال بیستم، شمارهی ۶۹ بهار ۱۳۹۹، صفحات ۱۶۴–۱۵۱

> *جمشید یاراحمدی^۱ احد حبیب زاده^۲ مالک رفیعی^۳ کریم عباسزاده^٤

رفتارسنجی توده لغزشی دوپیق در حوزه آبخیز اهرچای با استفاده از روش پردازش پراکنشگرهای ثابت تداخلسنجی راداری و GPS سه فرکانسه

تاريخ پذيرش: ١٣٩٨/٠٧/٠٩

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۹

چکیدہ

زمین لغزش ها یکی از رایج ترین و خطرناک ترین تهدیدات طبیعی در جهان هستند که باعث خسارات قابل توجه و زیان های اقتصادی می شوند. شناسایی و نظارت بر زمین لغزش ها، دو جنبه تحقیق قابل توجه برای تحلیل زمین لغزش ها است. امروزه، پردازش تداخل سنجی راداری یکی از ابزارهای موثر در پایش زمین لغزش ها است. روش پراکنشگر دائمی (PSI) یکی از تکنیک های پیشرفته تداخل سنجی بوده که باعث بهبود دقت نتایج نسبت به سایر روش های متداول تداخل سنجی شده است. هدف اصلی این تحقیق، آشکار سازی و پایش زمین لغزش های زیر حوضه اهر چای با استفاده از روش پراکنشگر دائمی (PSI) بوده است. داده های مورد استفاده شامل ۲۲ تصویر ماهواره ای - ASAR ASAR در مدار پایین گذر بوده است. نتایج حاصل از پردازش تداخل سنجی راداری با مشاهدات زمینی از طریق GPS سه فرکانسه مقایسه گردید. در حالی که نتیجه مشاهدات بیانگر عدم فعالیت توده لغزشی دوپیق بود ولی نتایج پردازش

٤- دانشجوي دكتري منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامي اهواز.

^{*}۱- بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران. (نویسنده مسئوول).

۲- بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجانشرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران.

۳- بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجانشرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران.

اینترفرومتری نشان داد که سطح توده لغزشی دوپیق هنوز هم فعال است. محاسبه نرخ جابجایی سطح زمین در PS شناسایی شده در سطح توده لغزشی مورد نظر نشان داد که متوسط سالانه نرخ تغییرات سطح زمین در این توده لغزشی ۱۲/٤ میلیمتر در سال در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ بوده است. لازم است احتمال ناپایداریهای دامنهای موجود در منطقه، با بهکارگیری تکنیکهای جدید پردازشی و دادههای بروز و قابل دسترس راداری بررسی شده و نتایج حاصله جهت انجام اقدامات مقتضی در اختیار برنامهریزان و مدیران قرار گیرد.

کلید واژهها: اَشکارسازی، پایش، زمینلغزش، پراکنشگر دائمی، دوپیق.

مقدمه

زمین لغزش ها^ه یکی از عمدهترین مخاطرات محیطی هستند که باعث ایجاد خسارات هنگفت مالی و جانی و صدمه به ابنیهها و پروژههای مهندسی در سراسر دنیا بهویژه در مناطق کوهستانی میشوند. این پدیده تقریباً در همه کشورهای جهان اتفاق میافتند و نقش مهمی در تحول سیمای زمین دارند. آنها همچنین بهعنوان مخاطره طبیعی جدی در اکثر مناطق دنیا به حساب می آیند (Guzzetti et al., 2012). برای اندازه گیری ناپایداری زمین روش های مختلف ژئودیتیکی و غیرژئودیتیکی وجود دارند. از جمله روش های ژئودیتکی می توان به مشاهدات زمینی از طریق برداشت های GPS، توتال استیشن، لیزر اسکنر اشاره کرد. مشاهدات حاصل از این روش ها، اندازه گیری های دقیق و پیوستهای را در نقاط محدودی از مناطق ناپایدار ارائه میدهند؛ اما هیچ کدام از اینها، توانائی تعیین وسعت و الگوی فضائی مناطق ناپایدار را ندارند (Lanari et al., 2004). از طرف دیگر، تکرار انجام هرکدام از این روشها بهویژه هنگامیکه برای منطقه وسیعی مورد نظر باشد، بسیار پرهزینه و زمانبر خواهد بود. وجود چنین محدودیتهایی همواره از چالشهای اساسی محققان در ارتباط با اندازه گیریهای دقیق و پایش فضایی تغییرات سطح زمین محسوب می شود. امروزه، روش های غیرژئودیتیکی با ظهور سنجندههای دورسنجی مختلف و متعاقب آن، ماهوارههای راداری تصویربرداری در دهه ۱۹۹۰ و توسعه سریع آن در سال.های بعد از آن، افق تازه و بسیار امیدوار کنندهای را پیش روی محققان علوم زمین قرار داده است. با توجه به اینکه زمینلغزش ها مستقیماً سطح زمین را تحت تاثیر قرار میدهند، کاربرد تکنیکهای سنجش از دور در مطالعات ناپایداری دامنهها خیلی مناسب به نظر میرسد. از میان تکنیکهای دورسنجی، تداخل سنجی راداری (InSAR) که قابلیت کار در تمام شرایط بد جوی و طول مدت شب و روز را داشته از جمله تکنیکهای موثر و کارآمد در آشکارسازی و پایش تغییرات آرام سطح زمین محسوب می شود. البته، نبود همبستگی مکانی و زمانی در تصاویر راداری در دسترس، استفاده از روش تداخل سنجی راداری رایج را برای پایش جابهجایی سطح زمین محدود میکند. در سالهای اخیر روشهای نوینی بر پایه روش تداخلسنجی راداری ارائه شده است که تنها از نقاطی که در

طول زمان ویژگیهای بازپراکنشی نسبتاً ثابتی دارند با عنوان پراکنش کنندههای دائمی^۲ برای پایش جابهجایی سطح زمین استفاده می کنند. پیکسلهای پراکنش کننده دایمی با وجود خط مبناهای زمانی و مکانی بزرگ، کوهرنسی بالایی دارند و از نبود همبستگی تصاویر SAR کمتر تأثیر می پذیرند.

برای بروز رسانی و پایش زمین لغزش های توسکانی^۷ ایتالیا (Rosi et al., 2017) از روش PSInSAR استفاده کرده است. نتایج کار آنها منجر به آشکارسازی ۲۷۲ نقطه لغزشی فعال شد. در تحقیقی (Bayer et al (2017) نتیجه گرفتهاند که روشهای پیشرفته پرازش تداخلسنجی از قبیل PS-InSAR و SBAS حرکات آهسته زمین لغزشها را دقیقتر از روش معمول تداخلسنجی اندازهگیری میکنند. رفتار زمینلغزشهای منطقه گولابا^ در ایالت هیماچال پرادش ۹ هندوستان را (Virk et al (2019 با استفاده از سری زمانی تصاویر راداری سنجنده سنتینل ۱ (۳۰ تصویر بالاگذر و ۲۳ تصویر پایین گذر) با روش PSInSAR پایش کردند. نتایج آنها بیانگر وجود تغییرات سطح زمین در محدوده زمین لغزش و مناطق مجاور آن در بازه ۲٦ ماهه تحقیق بود. تکنیک اینترفرومتری چند زمانه (MTI) در قالب تداخل-سنجي تفاضلي پيشرفته (A-DInSAR) توسط(Vicari et al., 2019) براي بررسي و پايش حركات بطئي زمين لغزشي که با فعالیت مجدد خود باعث تخریب ساختمانهای موود در مرکز شهر Stigliano در جنوب ایتالیا شده بود مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج کار آنان بیانگر تغییرات سطح زمین به اندازه ٥– تا ٢٥– میلیمتر در سال در روش PS و ۵- تا ۱۵- میلیمتر در سال SBAS بوده است. ناپایداری دامنهای ناحیه آلپی Valle d'Aosta واقع در شمالغرب ایتالیا را (Solari et al (2019) با استفاده از سری زمانی تصاویر سنتینل ۱ به روش SqueeSAR تکنیک اینترفرومتری چندزمانه (MTI) مطالعه کردهاند. خروجی کار آنها منجر به آشکارسازی ۲۷۷ نقطه نایایدار مرتبط با فعالیت زمین-لغزش ها و حرکات تودهای در این ناحیه شده است. روش پردازشی PSInSAR بر روی تصاویر بالاگذر سنجنده ALOS PALSAR (۲۰۱۰ تا ۲۰۱۰) و تصاویر پایین گذر سنجنده ENVISAT ASAR (۲۰۱۰ تا ۲۰۱۰) جهت آشکارسازی و پایش زمین لغزش های رخ داده در منطقه نوقول^{۱۰} توسط (Shirani and Pasandi (2019 به کار گرفته شده و نتایج حاصله را با مشاهدات سیستم جهانی ناوبری ماهوارهای ('GNSS') ارزیابی کردهاند. نتایج کار بیانگر انطباق مناسب نتایج حاصله از هر دو روش یاد شده بوده و مقدار جابجایی در جهت جنوبی به میزان ۱/۲ تا ۱/۵ متر در دوره زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ بر آورد شده است. آشکارسازی و پایش زمین لغزش های فعال در حوضه آبریز گرم چای میانه با استفاده از تکنیک اینترفرومتری راداری و تصاویر راداری PALSAR موضوع تحقیق (2014) Yarahmadi بوده است. نتایج تحقیق ایشان منجر به شناسایی تعداد ۲٤ منطقه لغزشی فعال در سه بازه زمانی ۲۰۰۷، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ در

9- Himachal Pradesh

⁶⁻ Persistent Scatterer

⁷⁻ Tuscany

⁸⁻ Gulaba

¹⁰⁻ Noghol

¹¹⁻ Global Navigation Satellite System(GNSS)

منطقه یاد شده گردید. در تحقیقی مشابه (2019) Sabeti et al اقدام به پایش و رفتارسنجی جابجایی سطحی ناشی زمین لغزش روستای ماسوله با استفاده از دو روش تداخل سنجی راداری با استفاده از ۱۱ تصویر راداری ماهوارهای در بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ و روش مشاهدات ژئودیتکی (۲۱ ایستگاه GPS) نمودند. نتایج حاصل از بررسی جابجایی سطح زمین در هر دو روش یاد شده بسیار مشابه بوده و جابجایی قابل ملاحظهای در قسمت پایین دست زمین لغزش نشان داد. برای ارزیابی پایداری زمین لغزش قدیمی سرچشمه در شمال خراسان (Akbari Mehr et al., 2013) از دو روش تداخل سنجی راداری (InSAR) و سیستم مشاهدات جهانی (GPS) استفاده کردهاند. نقشه های حاصل از هر دو روش یاد شده حکایت از پایداری رامین لغزش می سرچشمه در شمال خراسان (دا (Saca)) از دو روش یاد شده حکایت از پایداری رامین لغزش سرچشمه دارند. ایشان وقوع خشکسالی های اخیر را علت احتمالی پایداری توده لغزشی سرچشمه بیان کردهاند. با توجه به قابلیت های روش پردازشی اینترفرومتری راداری و بالاخص روش پیشرفته پراکنشگرهای دائمی (ISA)، در تحقیق حاضر از روش اخیر در آشکارسازی و پایش زمین لغزش دو پیق در حوضه اهرچای استفاده شده است.

منطقه مورد مطالعه

این زمین لغزش با وسعت حدود ٤٢ هکتار در نزدیکی روستای دوپیق از توابع شهرستان اهر و در کیلومتر ٢٢ محور اهر-ورزقان، در استان آذربایجانشرقی واقع شده است. موقعیت جغرافیایی آن در ۲۹^{° ۳}۸۹ عرض شمالی ۶۹[°] ۶۹ طول شرقی میباشد. محدوده لغزشی دوپیق در دامنه شمالی یکی از آبراهههای فرعی رودخانه اهرچای واقع شده است؛ حداقل و حداکثر ارتفاع آن از سطح دریا به ترتیب ۱۵۰۰ تا ۱۳۳۵ متر است. این توده لغزشی از نظر زمین شناسی بر روی سازند رسوبی مدفون مربوط به دوره پلیوسن قرار گرفته و لیتولوژی آن از کنگلومرا–ماسه سنگ با بافت درشت تا متوسط تشکیل شده است. کاربری اراضی غالب منطقه اراضی زراعی دیم میباشد. از نظر اقلیمی به روش سیزپتیک اهر، متوسط دمای هوا ۱۱ درجه سانتی گراد بوده و متوسط مجموع بارش سالانه ۲۹۲۳ میلی متر بوده که بیش ترین مقدار آن در اردیبهشت ماه (۳/۵۰ میلی متر) و کم ترین آن در مردادماه (۸/۷ میلی متر) بوده که بیش ترین مقدار آن در اردیبهشت ماه (۳/۵۰ میلی متر) و کم ترین آن در مردادماه (۸/۷ میلی متر) بوده که تحقیق حاضر، با استفاده از برنامه EOLI-SA9.72 تعداد ۲۲ تصویر راداری از سنجنده ENVISAT-ASAR در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ مربوط به مدار پائین گذر^{۲۱} و قبطش^{۳۱} ۷۷ از سازمان فضایی اروپا برای منطقه مورد مطالعه تهیه تحقیق حاضر، با استفاده از برنامه EOLI-SA9.72 تعداو ۲۲ تصویر راداری از سنجنده ENVISAT-ASAR زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۱ مربوط به مدار پائین گذر^{۲۱} و قبطش^{۳۱} ۷۷ از سازمان فضایی اروپا برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد (جدول ۱). جهت انجام پردازش سری زمانی، ابتدا تمامی تصاویر مورد نظر با استفاده از نرمافزار SARscape5.2 به فرمت^۱ عدیل شدند. جهت تشکیل اینترفرو گرامها، تصویر پایه^{۱۰} و تصاویر پیرو^۳ انتخاب شدند. در اینجا، به فرمت^۱ عدیل شدند. جهت تشکیل اینترفرو گرامها، تصویر پایه^{۱۰} و تصاویر پیرو^۳ انتخاب شدند. در اینهای مدوس ایمورین کاری از و تعرفری مانون و مین و این و تصاویر باین مینوی و مینوزار ENVISA

- 14- Single Look Complex
- 15- Master image
- 16- Slave image
- 17- Coherence

¹²⁻ Descending

¹³⁻Polarization

تصویر پایه انتخاب میشود که به ازای تداخل نماهای تشکیل شده بر مبنای آن، مقدار همدوسی تجمعی آن بیشینه باشد (Maghsodi and Mahdavi, 2015).

رديف	ENVISAT-ASAR	رديف	ENVISAT-ASAR
١	ASAR_20030502_SLC	١٢	ASAR_20061222_SLC
٢	ASAR_20030606_SLC	١٣	ASAR_20070126_SLC
٣	ASAR_20030815_SLC	١٤	ASAR_20070302_SLC
٤	ASAR_20031024_SLC	١٥	ASAR_20070406_SLC
٥	ASAR_20040206_SLC	١٦	ASAR_20070511_SLC
٦	ASAR_20040416_SLC	١٧	ASAR_20080425_SLC
٧	ASAR_20040521_SLC	١٨	ASAR_20090828_SLC
٨	ASAR_20040625_SLC	١٩	ASAR_20091106_SLC
٩	ASAR_20041112_SLC	۲.	ASAR_20091211_SLC
1.	ASAR_20060106_SLC	۲۱	ASAR_20100115_SLC
11	ASAR_20060210_SLC	77	ASAR_20100709_SLC

جدول ۱- لیست دادههای راداری مورد استفاده Table 1- Used ASAR data list

در تحقیق حاضر بهخاطر وجود برخی محدودیتهای موجود در روش پردازشی تداخل سنجی معمولی از قبیل: همدوسی بالا برای اخذ اطلاعات دقیق در زمینه تغییر شکل زمین و تعیین مدل رقومی ارتفاعی و همچنین خطای توپوگرافی باقیمانده در تداخل نماها، از روش تداخل سنجی پراکنشگر دائمی^{۱۸} بهعنوان یکی از پیشرفته ترین تکنیک-های تداخل سنجی استفاده شده است. در اینجا، مجموعه نقاط پراکنشگر دائمی براساس شاخص پراکندگی دامنه^{۱۹} انتخاب شده است. این شاخص بر پایه آنالیز سری زمانی دامنه بوده که در آن، هر پیکسل براساس نسبت بین انحراف معیار و میانگین دامنه در طول زمان ارزیابی می شود. شاخص پراکندگی دامنه براساس رابطه زیر بیان می شود.

$$D_a = \frac{\sigma_a}{\mu_a} \tag{1}$$

که در آن σ_a و μ_a به ترتیب برابر با انحراف معیار و میانگین دامنه بازپراکنش هر پیکسل است پس از تولید تداخل نگارها، فاز(فاز بازیابی نشده^{۲۰}) پیکسل Xام در تداخل نگار iام را میتوان بهصورت زیر نوشت (Hooper, 2006 و Hooper et al., 2007):

 $\phi_{int.x.i} = \phi_{def.x.i} + \Delta \phi_{\varepsilon.x.i} + \phi_{atm.x.i} + \Delta \phi_{orb.x.i} + \phi_{n.x.i}$ (7) معادله (۲)

¹⁸⁻ Persistent (Permanent) Scatterer InSAR (PSI)

¹⁹⁻ Amplitude Dispersion Index

²⁰⁻ Unwrapped Phase

که در اینجا $\phi_{def.x.i} = \phi_{def.x.i}$ جابه جایی پیکسل Xام در راستای خط دید ماهواره، $\Delta \phi_{\varepsilon.x.i} = \Delta \phi_{\varepsilon.x.i}$ فاز توپوگرافی به خاطر خطا در مدل رقومی ارتفاع، $\phi_{atm.x.i} = \phi_{atm.x.i}$ نویز موجود در فاز پیکسل X ام، مانند نویز گرمایی یا دقیق نبودن اطلاعات مداری مورد استفاده و در نهایت $\sigma_{n.x.i}$ نویز موجود در فاز پیکسل X ام، مانند نویز گرمایی یا خطا در ثبت هندسی می باشد. در اینجا فرض می کنیم که ترمهای $\phi_{def.x.i} = \phi_{atm.x.i}$ و $\Delta \phi_{orb.x.i} = \phi_{atm.x.i}$ طولی مشخص به اندازه L همبستگی مکانی دارند و ترمهای $\Delta \phi_{\varepsilon.x.i} = \Delta \phi_{\varepsilon.x.i}$ و $\Delta \phi_{orb.x.i} = \Delta \phi_{orb.x.i}$ دیگر PS قبلاً معلوم باشد، میانگین فاز آنها که داخل یک دایره به مرکزیت پیکسل X ام و به شعاع L قرار دارند را محاسبه می کنیم (Hooper, 2006).

$$\overline{\phi}_{int.x.i=}\overline{\phi}_{def.x.i} + \overline{\phi}_{atm.x.i} + \Delta \overline{\phi}_{orb.x.i} + \overline{\phi}_{n.x.i} \tag{(4)}$$

که در این فرمول علامت بار نشان دهنده میانگین $\overline{\emptyset}_{n.x.i}$ و $g_n + \Delta \emptyset_{arepsilon}$ و فرض می شود مقدار کوچکی دارد. حال اگر معادله (۲) را از (۳) کم کنیم، خواهیم داشت:

$$\phi_{int.x.i-}\overline{\phi}_{int.x.i=}\Delta\phi_{\varepsilon.x.i} + \phi_{n.x.i} + \overline{\phi}_{n.x.i}$$
(٤) معادله (٤)

در معادله (٤) میان $\overline{\emptyset}_{n.x.i}$ برابر $\overline{\emptyset}_{n.x.i}$ بطلاف بین مقدار میانگین فازهای $\widehat{\emptyset}_{atm.x.i}$ $\widehat{\emptyset}_{atm.x.i}$ در مسیر دایرهای و مقدار آنها در پیکسل xام میباشد. خطا در عدم صحت مدل ارتفاع رقومی متناسب است با مؤلفه خط مبنای عمودی B_{\perp} است. بنابراین می توان آن را به صورت زیر نوشت (Hooper, 2006).

$$\Delta \phi_{\epsilon,x,i} = B_{\perp,x,i} K_{\epsilon,x}$$
 (0) معادله (

که در رابطه بالا K_{ɛ.x} ثابت تناسب است. با جایگزینی رابطه (۵) و(۴) داریم.

$$\phi_{\text{int.x.i}} = B_{\perp.x.i} K_{\epsilon.x} + \phi_{n.x.i} + \phi_{n.x.i}$$
 (9) as a solution of the set of the s

با استفاده از تمامی تداخل نگارهای موجود می توان مقدار K_{E.X} را برای پیکسل xام با روش کمترین مربعات برآورد کنیم. یک کمیت همدوسی زمانی _۲X از تغییرات فاز باقیمانده که معیاری است از PS بودن، در هر مرحله از تکرار محاسبه می شود (Hooper, 2006).

$$\gamma_{X} = \frac{1}{N} |\sum_{i=1}^{N} exp\{j(\phi_{int.x.i} - \overline{\phi}_{nt.x.i} - \Delta \phi_{\varepsilon.x.i})\}$$
(V) as a solution (V)

که در رابطه بالا N تعداد تداخل نگارهای موجود و $\Delta \phi_{\varepsilon.x.i} \Delta \phi_{\varepsilon.x.i}$ برآورد محاسبه شده برای $\Delta \phi_{\varepsilon.x.i} \Delta \phi_{\varepsilon.x.i}$ است. با فرض این که مقدار $\overline{\phi}_{n.x.i}$ تعداد تداخل نگارهای موجود و $\Delta \phi_{\varepsilon.x.i} \Delta \phi_{\varepsilon.x.i}$ مقدار $\overline{\phi}_{n.x.i}$ می باشد و می تواند معیاری برای شناسایی پیکسل های SP باشد، از نظر آماری پیکسل های که دارای مقدار بزرگتر γ_X باشند احتمال PS بودنشان افزایش می یابد. بنابراین در یک فرایند تکراری پیکسل های با مقدار بیشتر γ_X استخراج شده و بعد از انجام یک تست آماری روی

مقادیر _۲_X نهایی، پیکسل های PS اصلی شناسایی شده و بقیه کنار گذاشته می شوند و در نهایت رفتار فاز سری زمانی جابجایی این پیکسل ها بررسی می شوند. در این روش، از یک مدل خطی معادله (۸) جهت محاسبه ارتفاع باقی مانده^{۲۱} و سرعت جابجایی استفاده می شود.

Disp= V.
$$(t-t_0)$$

معادله (۸)

در اینجا، Disp میزان جابجایی در زمان t1 بوده و V نیز سرعت جابجایی میباشد. آشکارسازی زمین لغزش ها و پایش رفتار آن ها به روش پراکنش گر دائمی، مطابق روش موجود در روند نمای شکل (۱) انجام گرفته است.



(PSI) شکل ۱: روند نمای پردازش پراکنشگرهای دائمی (PSI) Figure 1: Workflow of PSI model

رفتارسنجی توده لغزشی دوپیق با استفاده از GPS های سه فرکانسه بهمنظور رفتارسنجی این توده یک شبکه نقاط ژئودتیک با ۲۳ ایستگاه مشاهداتی شامل نقاط مبنا و شاهد در سطح منطقه لغزشی یاد شده جهت انجام مشاهدات (GPS) طراحی و ایجاد گردیده است (شکل ۲). در اینجا، ۵ ایستگاه (BM.1, BM.2, BM.2 و BM.4) بهعنوان نقاط مبنا بر روی محلهای پایدار و ثابت از دیدگاه زمین شناسی

21- Residual Height

مانند تخته سنگهای ریشهدار و اطراف منطقه لغزشی در نظر گرفته شدند. باقی نقاط نیز شبکه نقاط شاهد را تشکیل می دهند که در سطح منطقه لغزشی و نزدیک به درز و شکافهای ناشی از زمین لغزش در نظر گرفته شده اند. بدین ترتیب حرکات نقاط شاهد نشان دهنده حرکات توده ای و رو به پایین محل قرارگیری پیلارها می باشد. مشاهدات شبکه نقاط مبنا و نقاط شاهد نشان دهنده حرکات توده ای و رو به پایین محل قرارگیری پیلارها می باشد. مشاهدات شبکه نقاط مبنا و نقاط شاهد نشان دهنده حرکات توده ای و رو به پایین محل قرارگیری پیلارها می باشد. مشاهدات شبکه نقاط مبنا و نقاط شاهد نشان دهنده حرکات توده ای و رو به پایین محل قرارگیری پیلارها می باشد. مشاهدات منجکه نقاط مبنا و نقاط شاهد نشان دهنده حرکات توده ای و رو به پایین محل قرارگیری پیلارها می باشد. مشاهدات ماهواره ای (GPS) سه فرکانسه که شامل یک گیرنده مدل A4 و سه گیرنده مدل SPS850 با قابلیت دریافت سیگناله ای ماهواره ای (GPS) سه فرکانسه که شامل یک گیرنده مدل A4 و سه گیرنده مدل SPS850 با قابلیت دریافت سیگناله ای ماهواره ای (GPS) سه فرکانسه که شامل یک گیرنده مدل A4 و سه گیرنده مدل GLONASS با قابلیت دریافت سیگناله ای ماهواره ای GLONASS با قابلیت دریافت سیگناله مای ماهواره ای Trimble یک ترک می در مرحله دوم مشاهداتی با استفاده از چهار گیرنده دو فرکانسه کمپانی B4 مامل دو گیرنده مدل TRM3910 و یک گیرنده مدل Razhan Ab e Zagros, 2016) به روش استاتیک و به مدت ۳۰ دقیقه برای هر طول باز و نرخ ۱۰ ثانیه برای مشاهدات، صورت پذیرفته است (Subab bb e Zagros, 2016).



شکل ۲: نقشه توپوگرافی توده لغزشی دوپیق به همراه جانمایی نقاط رفتارسنجی در سطح آن Figure 2: Topographic map of dopiagh landslide with monitoring benchmarks

نتيجه گيرى

در تحقیق حاضر، بر مبنای کمترین مقدار خط مبناهای عمودی، زمانی و داپلر، تصویر ۲۰۰۷۰۵۱ بهعنوان تصویر پایه انتخاب شده و ۲۱ تصویر دیگر نسبت به این تصویر در راستای برد^{۲۲} ثبت هندسی شدند. شکل (۳) به ترتیب موقعیت زمانی و خط مبنای تصاویر پیرو و تصویر رفرنس را در فرآیند پردازش پراکنشگرهای دائمی برای ۲۱ تصویر راداری مورد استفاده را نشان میدهد. مقدار آستانه همدوسی برای انتخاب نقاط پراکنشگر دائمی آ۰۰ انتخاب شده است؛ بهطوریکه نقاط دارای همدوسی پایینتر از آستانه انتخابی بهعنوان پراکنشگر دائمی انتخاب نخواهند شد. در ادامه، از شاخص پراکندگی دامنه (ADI) برای شناسایی و انتخاب نقاط SVندیدا استفاده شده است. در این تحقیق، با انتخاب حد آستانه ۲۰ برای شاخص پراکندگی دامنه، تعداد ۲۹۲ نقطه پراکنشگر دائمی (PS) در منطقه مورد مطالعه شناسایی

²²⁻ Slant Range Geometry

گردید. با برش محدوده حوضه آبخیز اهرچای از کل تصویر، مشخص گردید که تعداد ۳۲۰ نقطه PS دائمی در داخل منطقه مورد مطالعه قرار گرفته که PS شماره ۲٦٩ مربوط به محدوده توده لغزشی دوپیق شناسایی شده است (شکل ٤). نتایج سری زمانی اختلاف فاز PS مذکور نشان داد که متوسط سالانه نرخ تغییرات سطح زمین در توده لغزشی دوپیق ۱۲/٤ میلیمتر در سال در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ بوده است. در نقشههای نهایی مربوط به جابجایی حاصل از پردازش اینترفرومتری، همیشه مقادیر مثبت به معنی کاهش فاصله سنجنده تا سطح زمین بوده و مقادیر منفی نیز به معنی عکس این عمل در جهت دید ماهواره (LOS۲۳) تفسیر می شوند.



Figure 3: Plots of connection graph: time-position (on the left), and time-normal baseline (on the right)



شکل ٤: موقعیت PS های شناسایی شده در محدوده توده لغزشی دوپیق و نرخ جابجایی در سطح آن (۲۰۱۰–۲۰۱۰) Figur 4: Positions of detected PS on Dopiagh landslide and its surface displacment velosity (2003-2010)

²³⁻ Line of Sight

نتایج جابجایی ناشی از مرحله اول و دوم مشاهداتی شبکه نقاط مبنا در جدول (۲) ارائه شده است. اطلاعات این جدول نشان میدهد که جابجاییهای مسطحاتی بهترتیب 2، 5 و 0.2 میلی متر برای نقاط BM.4، BM.2 و BM.4 بوده که کم تر از مقادیر تعیین شده مجاز جابجایی می باشند. این امر، نشانگر ثبات شبکه نقاط مبنا است. نتایج جابجایی مسطحاتی و ارتفاعی نقاط شاهد به همراه ابعاد بیضی خطای نسبی جابجایی و خطای تعیین جابجایی ارتفاعی در سطح و فاصله اطمینان ۹۰٪ در مرحله دوم نسبت به مرحله اول مشاهدات تعیین موقعیت ماهوارهای محاسبه گردیده و در جدول (۳) درج شدهاند. جابجاییهای مشاهده شده دارای مقادیر ناچیزی می باشند که با توجه به بازه مشاهداتی تقریباً یک ساله، نقاط مشاهداتی دارای نرخ جابجایی نزدیک به صفر خواهند بود. بردار جابجایی مسطحاتی نقاط به همراه بیضی خطای نقاط در سطح اطمینان ۹۰٪ (میدان جابجایی محدوده لغزشی) در شکل (۵) به صورت گرافیکی ارائه گردیده است.



شکل ٥: نمایشی کلی از بیضی خطای نقاط شاهد به همراه بردار جابجایی هر کدام از نقاط در منطقه لغزشی (بین مرحله اول و دوم

مشاهداتی)

Figure 5: An overview of the ellipsoid error of the control points with the displacement vector of each points in the slip zone (between the first and second observation stages)

```
جدول ۲– مقادیر جابجاییهای مسطحاتی و ارتفاعی شبکه نقاط مبنا منطقه لغزشی در سطح و فاصله اطمینان ۹۰٪ در بازه ۱۱ ماهه مرحله
```

اول و دوم مشاهدات

Table 2- Flat and elevation displacement values of banchmark points network in slide zone at 95% confidence level and 11 month
interval

Point Name	Δx (mm)	Δy (mm)	D (mm)	AZ (deg)	a (mm)	b (mm)	phi (deg)	Horizontal Status	Δz (mm)	Sd.Δz (mm)	Vertical Status
BM.2	-1	-۲	۲	۲۰٥	۲	۲	V	Ν	٨	Λ/Υ	N
BM.4	١	-0	٥	171	٥	۲	•	Ν	-٨	11	Ν
BM.5	•/1	-•/٢	۰/۲	١٤	١	• /٦	•	Ν	٠/١	٢	Ν

ان ۹۵٪ در بازه ۱۱ ماهه مرحله اول	ىنطقه لغزشى در سطح و فاصله اطمينا	ی و ارتفاعی شبکه نقاط شاهد .	جدول ۳– مقادیر جابجاییهای مسطحاتہ
----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------	-----------------------------------

و دوم مشاهدات

Point Name	Δx (mm)	Δy (mm)	D (mm)	AZ (deg)	a (mm)	B (mm)	Phi (deg)	Horizontal Status	Δz (mm)	Sd.\Dz (mm)	Vertical Status
MP.1	٢	-V	٧	178	١٧	١٥	-7V	N	11	٣٧	Ν
MP.2	-1	٢	۲	ليليك	٤	•	-٤٦	N	٩	٤٩	Ν
MP.3	٢	•	۲	٩٠	٤	٣	-٤٥	N	١٩	٤٥	Ν
MP.7	١	-٤	٤	١٦٦	١٣	١٢	٦٧	N	١٢	22	Ν
MP.9	١	۳_	٤	١٦٢	١٥	١٣	۲۳	N	١٣	٢٤	Ν
MP.12	٨	-٦	٩	١٣١	١٦	٩	-٦	Ν	۱.	۳۱	Ν
MP.14	٦	-1	٦	٩٩	١٦	۱.	٢	N	١٦	77	Ν
MP.15	۲_	•	٢	٩٠	١٥	11	٨	N	٨	۲۸	Ν
MP.16	١	٢	۲	۲۷	١٤	11	۱.	N	٩	۳۱	Ν
MP.17	١.	۲	۱.	٧٩	11	٩	٤	N	١	٣٤	Ν

Table 3- Flat and elevation displacement values of control points network in slide zone at 95% confidence level and 11 month interval

نتيجه گيرى

در تحقیق حاضر، از روش نقاط پراکنشگر دائمی (PSInSAR) به عنوان یکی از روش های پیشرفته پردازش تداخل-سنجی راداری در آشکارسازی و پایش ناپایداری توده لغزشی دوپیق در حوزه آبخیز اهرچای استفاده شده است. برای این منظور، تعداد ۲۲ تصویر راداری ENVISAT در مدار پائین گذر در نظر گرفته شد. در این تحقیق، بخاطر محدودیت خط مبنای عمودی، از روش PSInSAR جهت آشکارسازی و پایش رفتار توده لغزشی مذکور استفاده شده است. نتایج سری زمانی اختلاف فاز PS مذکور نشان داد که متوسط سالانه نرخ تغییرات سطح زمین در توده لغزشی دوپیق ۱۲/٤ میلیمتر در سال در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ بوده است. علیرغم این که مشاهدات GPS سه فرکانسه انجام گرفته در تاریخهای دیماه ۹۱ و آذرماه ۹۲ بیانگر غیرفعال بودن توده لغزشی دوپیق داشت ولی نتایج پردازش اینترفرومتری راداری نتایج یاد شده را رد میکند.

قابلیت روش اینترفرومتری تفاضلی (DInSAR) راداری در آشکارسازی و پایش زمین نغزش ها در مطالعات متعددی گزارش شده است. در همین راستا، از دو دهه اخیر، تکنیکهای مبتنی بر پردازش سری زمانی جهت غلبه بر محدودیت-های یاد شده توسعه یافته است. با این وجود، تکنیک مذکور دارای محدودیت های همچون عدم همبستگی زمانی و ژئومتریکی (Zebker and Villasenor, 1992) و تاثیرات اتمسفری (Massonnet and Feigl, 1998) می باشد (Errardino et al., 2003, Hooper, 2007 and Iglesias et al., 2015). اخیراً، (Dong et al., 2018). اجرای تهیه نقشه جابجایی سطح زمین لغزش جیاجو⁴ در چین، روش اینترفرومتری پراکنشگر همبسته (°CSI) را از طریق ترکیب پراکنشگر دائمی (PS) و پراکنشگر توزیع شده (^{۲۱}DS) توسعه داده اند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که حرکت قسمت شمالی زمین لغزش یاد شده سریع تر از قسمت جنوبی آن بوده و میزان آن را ۱۲۰ میلی متر در سال محاسبه کرده اند. نتایج مشابه در پژوهش (Villasenor et al., 2018) در پایش میزان حرکت خزش^{۷۷} دامنه های مشرف به دریاچه نایت ال^۸ در استان اتاراخاند^{۹۹} هندوستان که با استفاده از ۱۵ تصویر راداری RSAT ASAR در بازه زمانی ۲۰۰۸ تایت ال^۲ در استان اتاراخاند^{۹۹} هندوستان که با استفاده از ۱۵ تصویر راداری RSAT ASAR در مناطق بالادست دامنه تا ۲۰۱۰ و روش RSI مشاهده شده است. مطابق نتایج ایشان، میزان حرکت توده خزشی در مناطق بالادست دامنه شرقی ۲۱ میلی متر در سال و در پایین دست آن ۵ میلی متر در سال محاسبه شده است؛ بنابراین، در صورت دسترسی به سری زمانی تصاویر راداری، پردازش پیشرفته اینتر فرومتری راداری به روش پراکنشگرهای دائمی ضمن آشکارسازی مناطق ناپاید ار، امکان پایش این مناطق و محاسبه نرخ جابجایی آن ها را با دقت بالا در حد میلی متر فراهم می میزاد و تحقیق حاضر تلاشی در جهت بیان قابلیت ذکر شده در شرایط کشور ایران بوده است.

تشکر و قدردانی

از سازمان فضایی اروپا (ESA) به خاطر فراهم آوردن امکان تهیه تصاویر راداری مورد استفاده در تحقیق حاضر، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجانشرقی بالاخص همکاران طرح، صمیمانه تشکر و قدردانی میگردد.

- 24- Jiaju
- 25- Coherent Scatterer InSAR
- 26- Distributed Scatterers
- 27- Creep
- 28- Nainital
- 29- Uttarakhand

References

- Akbarimehr, M., Motagh, M., Haghighi, M. H., (2013), "Slope stability assessment of Sarcheshmeh landslide, Northeast Iran, investigated using InSAR and GPS observation". *Remote Sens*, 5: 3681-3700.

- Bayer, B., Schmidt, D., Simoni, A., (2017), "The influence of external digital elevation models on PS-InSAR and SBAS results: Implications for the alanysis of deformation signals caused by slow moving landslides in northern Apennines(Italy)", *IEEE Transection on Geoscince and Remote Sensing*, 62: 84-12. [on line]: http://www.ieee.org

- Brardinoni, F., Slaymaker, O., Hassan, M. A., (2003), "Landslide inventory in a rugged forested watershed: A comparison between air-photo and field survey data", *Geomorphology*, 54: 179-196.

- Dong, J., Zhang, L., Tang, M., Liao, M., Xu, Q., Gong, J., Ao, M., (2018), "Mapping landslide surface displacement with series SAR interferometry by combining persistent and distributed scatterers: A case study of Jiaju landslide in Danba, China", *Remote Sensing of Environment*, 205: 180-198. [on line]: www.elsevier.com/locate/rse

- Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo M., Chang, K. T., (2012), "Landslide inventory maps: New tools for an old problem", *Earth-Science Reviews*, 112: 42-66. [on line]: www.elsevier.com/locate/earscirev

- Hooper, A., Segall, P., Zebker, H., (2007), "<u>Persistent scatterer interferometric synthetic</u> <u>aperture radar for crustal deformation analysis</u>, with application to Volcán Alcedo, Galápagos", *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112 (B7): 17-32

- Hooper, A. J., (2006), "Persistent scatter radar interferometry for crustal deformation studies and modeling of volcanic deformation", Stanford University, California.

- Iglesias, R., Mallorqui, J., Monells, D., López-Martínez, C., Fabregas, X., Aguasca, A., Gili, J., Corominas, J., (2015), "PSI deformation map retrieval by means of temporal sublook coherence on reduced sets of SAR images", *Remote Sens*, 7: 530-544

- Larani, R., Lundgren, P., Manzo, M., Casu, F., (2004), "Satellite radar interferometry time series analysis of surface deformation for Los Angeles", *California, Geophysical research letters*, 31 (23): 1-5.

- Maghsodi, Y., Mahdavi, S., (2015), "*The principles of radar remote sensing*, Tehran, Kntu. Publication". [In Persian].

- Massonnet, D., Feigl, K. L., (1998), "Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface", *Reviews of Geophysics*, 36 (4): 441-500.

- Razhan Ab e Zagros Cosl. Eng., (2016), "Dopiagh landslide monitoring research report in Ahar region based on GPS observations", <u>Natural Resources and Watershed Management of East Azerbaijan Province Adminstration</u>, Tabriz, Iran, [In Persian].

- Rosi, A., Tofani, V., Tanteri, L., Tacconi Stefanelli, C., Agostini, A., Catani F., casagli, N., (2017), "The new landslide inventory of Tuscany(Italy) updated with PS-InSAR", *geomorphological features and landslide distribution, Landslides*, 15: 5-19

- Sabeti H., Motagh, M., Sharifi, M. A., Akbari, B., Akbarimehr, M., Fard, D., (2019), "Determination of the displacement rate of the Masouleh landslide for management of landslide risk by Radar Interferometry", *Jwmseir*, 16 (44) :103-113. [In Persian].

- Shirani, K., Pasandi, M., (2019), "Detecting and monitoring of landslides using persistent scattering synthetic aperture radar interferometry", *Environmental Earth Sciences*, 78:42-57.

- Solari, L., Soldato, M. D., Montali, R., Bianchini, S., Raspini, F., Thuegaz, P., Bertolo, D., Tofani, V., Casagli, N., (2019), "A Sentinel-1 based hot-spot analysis: landslide mapping in north-western Italy", *International Journal of Remote Sensing*, 13: 1-24.

- Vicari, A., Famiglietti, N. A., Colangelo, G., Cecere, G., (2019), "A comparison of multi temporal interferometry techniques for landslide susceptibility assessment in urban area: An example on Stigliano (MT), A town of Southern of Italy", *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10 (1): 836-852.

- Virk, A. S., Singh, A., Mittal, S. K., (2019), "Monitoring and analysis of displacement using InSAR techniques for Gulaba landslide site", *Journal of Engineering Science and Technology*, 14 (3): 1558-1571.

- Yarahmadi, J., (2014), "Detection and monitoring of landslides based on InSAR technique and estimation of their sedimentation by WEPP model, Case study: Garmi Chai basin", Phd thesis, Tabriz unversity, Faculty of Geography. [In Persian].

- Yhokhan, A., Pradeef, K. G., Chung, P. C., Jiun, Y. Y., Kuo-En, C., Kmanini, A., (2018), "Application of persistent scatterer interferometry(PSI) in monitoring slope movements in Nainital, Uttrakhand lesser Himalaya, India", *J. Earth Syst. Sci.*, 127: 6-18.

- Zebker, H.A., Villasenor, J., (1992), "Decorrelation in interferometric radar echoes", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens*, 30: 950-959.