

ارزیابی مکان‌گزینی سکونت‌گاه‌های متأثر از مخاطرات طبیعی با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی (مطالعه موردی روستای گوگرد)

شهرام روستایی^۱

حسن احمدزاده^۲

محمد رضا نیکجو^۳

مریم دهقانی^۴

چکیده

جهت کاهش آسیب‌پذیری ناشی از مخاطرات طبیعی، تغییر مکان استقرار برخی از روستاهای کشور اجتناب‌ناپذیر است. طرح جابجایی و اسکان مجدد روستائی طرحی است که با مطالعه علل جابجایی و بررسی ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی روستاییان و ارزیابی محیطی و کالبدی گزینه‌های مکان استقرار جدید، اقدام به تعیین مکان بهینه استقرار و فعالیت روستاهای مورد بررسی می‌نماید. روستای گوگرد به‌علت آسیب‌پذیری در برابر وقوع زمین لغزش‌های متوالی چندین بار جهت جابجایی مورد مطالعه قرار گرفته و در نهایت محلی برای جابجایی آن در نظر گرفته شده است. در صورتی که خود این مکان در برابر مخاطرات طبیعی آسیب‌پذیر باشد؛ سبب فروپاشی کالبدی، اقتصادی و اجتماعی روستا خواهد شد. ارزیابی آسیب‌پذیری در ارتباط با مخاطرات طبیعی، نیازمند ابزار دقیق با قابلیت کاربرد در سطح فضایی گسترده است. از این رو در این پژوهش جهت ارزیابی میزان پایداری مکان منتخب برای جابجایی روستای گوگرد، ابتدا نرخ و دامنه جابجایی، طی دوره

۱- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.

۲- دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.

۳- دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.

۴- استادیار گروه مهندسی راه و ساختمان و محیط زیست دانشگاه شیراز.

زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ با بهره‌گیری از ۲۵ تصویر راداری سنجنده ASAR ماهواره ENVISAT به کمک تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (D-InSAR) با روش SBAS استخراج شد. نتایج بررسی‌ها و نقشه‌نمایی جابجایی نشان داد که مکان منتخب از نظر پایداری شرایط مساعدی ندارد و به‌طور متوسط ۱۲ سانتی‌متر در سال جابجایی در راستای خط دید ماهواره را تجربه می‌کند. به منظور رفتار سنجی دامنه‌های محدوده مورد مطالعه در برابر حرکات دامنه‌ای، ارزیابی میزان پایداری محیط و درک بهینه آن، نمودار سری زمانی جابجایی برای ۶ نقطه در پیرامون مکان منتخب ترسیم گردید. این نمودارها نشانگر وجود حرکت رو به پایین در تمام جهات دامنه‌های مکان منتخب در راستای خط دید سنجنده می‌باشد که میزان آن بین ۱۴-۸ سانتی‌متر متغیر است.

واژگان کلیدی: ژئومورفولوژی کاربردی، تداخل‌سنجی تفاضلی، اسکان مجدد، گوگرد.

مقدمه

مخاطرات طبیعی حوادث تهدیدکننده‌ای هستند؛ که قادر به ایجاد آسیب در فضای فیزیکی و اجتماعی که در آن اتفاق می‌افتند، می‌باشند. و این نه تنها در لحظه وقوع، بلکه با توجه به پیامدهایی که در ارتباط با خود دارند در درازمدت نیز رخ می‌دهد. وقتی که این پیامدها در جامعه و یا زیرساخت، تأثیر می‌گذارند، به بلایای طبیعی تبدیل می‌شوند (آیالا^۵؛ ۲۰۰۲: ۱۲۱). بنابراین آنچه که به سوانح طبیعی شهرت یافته است پدیده‌های عادی و طبیعی هستند که قاعداً باید از تبدیل شدن آن‌ها به فاجعه جلوگیری نمود. برای جلوگیری از ایجاد فاجعه در مکان‌های روستایی، یکی از راه‌حل‌ها، مکانیابی عرصه‌هایی با آسیب‌پذیری کم‌تر می‌باشد. از مخاطراتی که بشر در دهه‌های اخیر به‌ویژه در مناطق کوهستانی با آن دست به گریبان بوده پدیده زمین لغزش است. این پدیده به‌عنوان یک رفتار مورفولوژیکی مخاطره‌آمیز حاصل از عملکرد عوامل طبیعی و انسانی است که همانند دیگر بی‌نظمی‌های مورفولوژیکی، موجب بروز خسارت به تأسیسات، زیرساخت‌ها و دارایی‌های انسان می‌گردد. یکی از وظایف عملی

و قابل توجه دانش ژئومورفولوژی، شناسایی لندفرم‌های پایدار و مکان‌هایی با حداقل احتمال گرفتاری به پدیده‌های کاتاستروفیک یا آرام ناشی از فرآیندهای طبیعی یا انسانی است که به نوعی، اثر نامطلوبی به اشغال یا استفاده انسانی می‌گذارد (روزنفلد^۶؛ ۲۰۰۴: ۴۲۳).

تاکنون پژوهشگران زیادی در ارتباط با جابجایی سکونت‌گاه‌ها و یا به‌کارگیری روش‌های تداخل‌سنجی راداری در تعیین نرخ جابجایی زمین ناشی از مخاطرات کار کرده‌اند که می‌توان به مطالعات مختلف پژوهش‌کننده سوانح طبیعی برای جابجایی‌های سکونت‌گاه‌های روستایی ایران به‌علت وقوع زلزله، سیل، زمین‌لغزش و یا سایر عوامل، افضلی و همکاران (۱۳۹۲)، بنیاد مسکن (۱۳۹۱)، خوانین‌زاده (۱۳۹۰)، (شریفی‌کیا و همکاران؛ ۱۳۹۰)، معتق و همکاران (۱۳۸۸)، سعیدی (۱۳۸۸)، دارابی (۱۳۸۶)، هوپر^۷ و همکاران (۲۰۱۴-۲۰۱۰) عثمان اوغلو^۸ (۲۰۱۱)، سامسون او^۹ (۲۰۰۷)، لورنس^{۱۰} (۲۰۰۲)، هنس^{۱۱} (۲۰۰۱) اشاره نمود.

طرح مکانیابی بهینه استقرار روستای گوگرد، که با هدف تهیه طرح مکانیابی و جابجایی این روستا به‌علت وقوع زمین‌لغزش، توسط معاونت عمران روستایی بنیاد مسکن انقلاب اسلامی استان آذربایجان غربی در سال ۱۳۹۱ تهیه شد. در این طرح سه گزینه پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفته و در نهایت گزینه سوم به‌عنوان گزینه نهایی برای جابجایی در نظر گرفته شده است. لذا ارزیابی پایداری این مکان برای جابجایی روستایی که یک بار وقوع زمین‌لغزش را تجربه نموده است، ضروری می‌نماید. اما این امر در ارتباط با رخداد زمین لغزش به سبب فراگیری فضایی و رخداد آرام و بطئی، به سه ولت قابلیت شناسایی و درک ندارد. ارزیابی اثرات این پدیده نیازمند ابزار دقیق با قابلیت کاربرد در سطح فضایی گسترده

6 - Rosenfeld

7- Hooper

8- Osmanoglu

9- Samsonov

10- Laurence

11- Hanssen

است. زیرا این رفتارها زمانی که منجر به بروز تغییرات در روند عادی زندگی بشر شده و ایجاد آسیب نماید از حساسیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود (افضلی، همکاران؛ ۱۳۹۲: ۶۲).

در پژوهش حاضر از تکنیک‌های تداخل‌سنجی تفاضلی استفاده گردید. تداخل‌سنجی تفاضلی راداری^{۱۲} تاکنون یکی از دقیق‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های سنجش از دور، برای شناسایی اولیه جابجایی‌های به‌وجود آمده در سطح زمین بوده است. علاوه بر آن، در این روش به‌واسطه بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای و قابلیت تکرارپذیری آن، پایش این پدیده در مکان مورد نظر با سهولت و در کوتاه‌ترین زمان و بهینه‌ترین هزینه اجرایی، امکان اجرا دارد. چرا که، این تکنیک ابزاری قدرتمند در جهت ایجاد مدل‌های رقومی ارتفاعی از توپوگرافی سطح زمین است و در پیمایش جابجایی‌های با مقیاس سانتی‌متر وابسته به دگرگونی سطح، مورد استفاده قرار می‌گیرد (لورنس؛ ۲۰۰۲: ۳۶۱).

به‌کارگیری تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی در مطالعه جابجایی و تغییر شکل سطح زمین، یک موضوع نسبتاً جدیدی است. روش‌های زیادی در به‌کارگیری این تکنیک وجود دارد؛ اما بر اساس مطالعات و تجربیات صورت گرفته در بین روش‌های مختلف، تکنیک تداخل‌سنجی پراکنش‌کننده دائمی^{۱۳} و تکنیک مجموعه خطوط مبنای کوتاه^{۱۴} تصاویر SAR^{۱۵}، قابلیت‌های زیادی در ارائه اطلاعات در مورد تغییر شکل زمین^{۱۶} بر روی مناطق گسترده (با دقت میلی‌متری) دارند؛ لذا به‌کارگیری این روش برای تحقیقات تغییر شکل زمین، هم در مقیاس منطقه‌ای و هم در مقیاس محلی مناسب است (عثمان اوغلو؛ ۲۰۱۱، هوپر و همکاران؛ ۲۰۱۰، هنسن؛ ۲۰۰۱).

12- Differential Synthetic Aperture Radar (DInSAR)

13- Persistent Scatterer Interferometry (PSI)

14- Short Baselines Interferometry (SBAS)

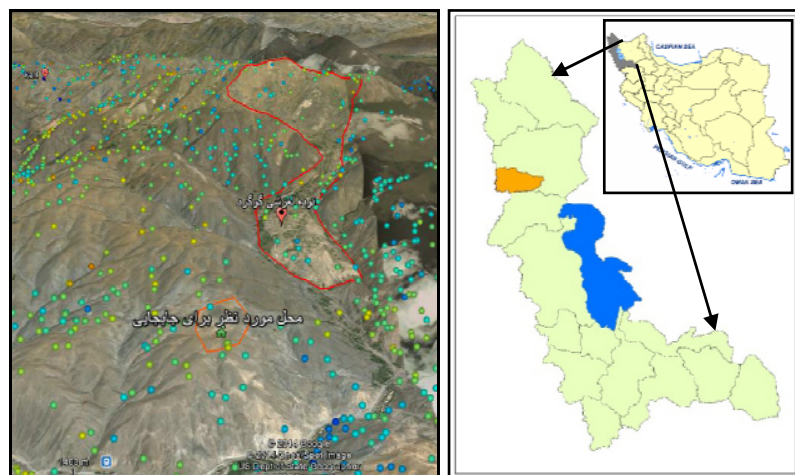
15- Synthetic Aperture Radar

16- Deformation

منطقه مورد مطالعه

روستای گوگرد از توابع دهستان زری، بخش قطور، شهرستان خوی با مختصات جغرافیایی $38^{\circ} 29'$ عرض شمالی و $44^{\circ} 34'$ طول شرقی، در استان آذربایجان غربی واقع شده است. طبق آمار خانه بهداشت در سال ۱۳۹۱ این روستا دارای ۴۶۸ خانوار و ۲۵۶۶ نفر جمعیت می‌باشد. منطقه مورد نظر جهت جابجایی با مختصات جغرافیایی $38^{\circ} 28'$ عرض شمالی و $44^{\circ} 32'$ طول شرقی، در قسمت جنوب غربی روستای گوگرد قرار دارد. این منطقه از نظر توپوگرافی بسیار ناهموار است. حداکثر ارتفاع آن ۳۶۲۲ متر و حداقل ارتفاع در خروجی آن ۱۸۰۰ متر است و بین بلندترین نقطه و پست‌ترین نقطه ۱۸۲۲ متر اختلاف ارتفاع وجود دارد. بیش‌تر اراضی محدوده دارای شیب تند بوده و کم‌تر اراضی مسطح در این منطقه مشاهده می‌شود. این موضوع حاکی از قرارگیری حدود ۹۰ درصد از وسعت منطقه، در شیب ۱۵ تا ۶۰ درصد و به بالا و پتانسیل بالا برای ایجاد ناپایداری در صورت مساعد بودن سایر شرایط (عوامل ثانویه) می‌باشد.

از نظر لیتولوژی کل محدوده اطراف روستای گوگرد به دلیل افیولیتی بودن بسیار مستعد وقوع زمین لغزش و فرسایش بوده و میزان رسوب‌زایی بالایی دارد. از گونه‌های لیتولوژیکی با تراکم بالا در منطقه می‌توان به گونه‌های ماسه سنگ با تناوب شیل و مارن، بازالت، داسیت و آندزیت اشاره کرد. در این منطقه شیب‌های لغزشی فراوانی وجود دارد که بزرگ‌ترین آن‌ها یک شیب لغزشی قدیمی روستای گوگرد است. وسعت این زمین لغزش قدیمی حدود ۸۸۰ هکتار و منشأ آن تکتونیکی است که در طول زمان تثبیت گشته بود ولی در سال‌های اخیر، ناپایداری‌های جدیدی در سطحی حدود ۲۰۰ هکتار روی همین زمین لغزش قدیمی اتفاق افتاده، و همچنان نیز فعال است.



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه (همپوشانی نقاط PS روی توده لغزشی گوگرد و مکان پیشنهادی برای جابجایی)

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۲۵ تصویر سنجنده‌ی ASAR رادار ENVISAT از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ در مدار نزولی^{۱۷} با استفاده از تکنیک تداخل سنجی پراکنش کننده دائمی (PSI) و روش مجموعه خطوط مبنای کوتاه (SBAS)، و نرم افزارهای Doris, StaMPS, Matlab جهت پایش رفتار دامنه‌های مکان پیشنهادی مورد پردازش قرار گرفت. این تصاویر از نوع تصاویر SLC^{۱۸} شده می‌باشد که توسط آژانس فضایی اروپا^{۱۹} در اختیار ما قرار گرفت.

پس از انتخاب تصویر مرجع^{۲۰} دیگر تصاویر تحت عنوان تصاویر پیرو^{۲۱} نسبت به تصویر مرجع (تصویر ۲۰۰۷/۰۲/۱۷) مورد آنالیز قرار گرفت. اطلاعات مداری دقیق ماهواره در لحظه‌ی اخذ تصاویر نیز به منظور تعدیل اثر مؤلفه مداری (ترم هندسی) موسوم به فایل‌های

17 - Descending

18 - single look complex

19 - European Space Agency (ESA)

20 - Master

21 - Slave

ODR از ftp سایت دانشگاه دلف^{۲۲} هلند تهیه شده‌اند. همچنین به منظور به حداقل رساندن ترم توپوگرافی اختلاف فاز در تصاویر تداخل‌سنج تولیدی، از مدل رقومی SRTM^{۲۳} منطقه شمال غرب ایران، با دقت ۳ ثانیه قوسی استفاده شده است. جهت کاهش اثرات اتمسفری و محاسبه سری زمانی از روش خطوط مبنای عمودی کوتاه یا SBAS استفاده گردید.

$$\Delta\phi = \phi_{flat} + \phi_{topo} + \phi_{orbit} + \phi_{defo} + \phi_{tropo} + \phi_{noise} \quad (۱)$$

در اینجا $\Delta\theta$ فاز اینترفرومتری (یا تغییر فاز بین دریافت‌های فاز در اثر جابجایی)، ϕ_{flat} فاز زمین مسطح، ϕ_{topo} فاز توپوگرافی، ϕ_{orbit} خطای فاز ناشی از خطاهای اطلاعات مدار، ϕ_{defo} سهم فاز وابسته به تغییر شکل زمین، ϕ_{topo} سهم فاز تروپوسفر، و ϕ_{noise} نویز ترکیب شده است (عثمان اوغلو؛ ۲۰۱۱: ۵).

یک اینترفروگرام از ضرب پیکسل به پیکسل سیگنال‌های بازگشتی مختلط از دو تصویر SAR اخذ شده در دو زمان متفاوت نتیجه می‌شود و اختلاف فاز بین دو تصویر در این دو زمان را به دست می‌دهد. می‌توان ثابت نمود اختلاف فازی که به این صورت در بین دو عبور مختلف به دست می‌آید به اثرات مختلف توپوگرافی، مداری، اثرات اتمسفر، جابجایی سطح و نویز مربوط می‌شود که در قالب یک فرمول کلی به صورت زیر می‌توان آن را بیان نمود (معتق و همکاران؛ ۱۳۸۸: ۲۱-۱۹):

$$\Delta\phi_{1,2} = \frac{4\pi}{\lambda} B_p + \frac{4\pi}{\lambda r_m \sin \theta} B_n \Delta q_{1,2} + \frac{4\pi}{\lambda} d + \phi_{Atmosphere} + Noise \quad (۲)$$

در این معادله، $\Delta\phi_{1,2}$: اختلاف توپوگرافی (فاز) دو پیکسل، r_m : فاصله سنسور تا هدف، B_p : طول باز موازی، B_n : طول باز عمودی، λ : طول موج و θ : زاویه دید می‌باشد.

مؤلفه‌های فرمول بالا به ترتیب نمایش‌دهنده اثر مداری، اثر توپوگرافی، اثر جابجایی زمین در بین دو عبور مختلف ماهواره و مؤلفه‌های اتمسفری و نویز می‌باشد.

22 - Delft technical university

23 - Shuttle Radar Topography Mission

مشاهدات اینترفرومتری میزان جابجایی زمین را در بین فاصله زمانی بین تصویر پایه و پیرو نشان می‌دهد با داشتن این مشاهدات که به اختلاف جابجایی زمین مربوط می‌شوند؛ می‌توان میزان جابجایی مطلق را در هر کدام از این زمان‌ها به دست آورد. با داشتن مجموعه‌ای از اینترفروگرام‌ها می‌توان تمامی جابجایی‌ها را بر اساس تصویر تاریخ مرجع که به عنوان تاریخی با جابجایی صفر در نظر گرفته می‌شود به روش کم‌ترین مربعات محاسبه نمود. در این پژوهش از تکنیک کم‌ترین مربعات برای حل مسئله معکوس و ترسیم سری‌های زمانی، و از سری زمانی تغییرات زمین، جهت رفتارسنجی بهتر پدیده جابجایی، نسبت به یک زمان مشخص استفاده شد. برای این منظور ۶ نقطه در جهات مختلف مکان منتخب برای جابجایی روستای گوگرد و ایجاد گوگرد جدید، انتخاب و نمودار سری زمانی آن‌ها ترسیم شد تا رفتار آن‌ها در ارتباط با حرکات دامنه‌ای مورد ارزیابی قرار گیرد (شکل ۵).

یافته‌ها و بحث

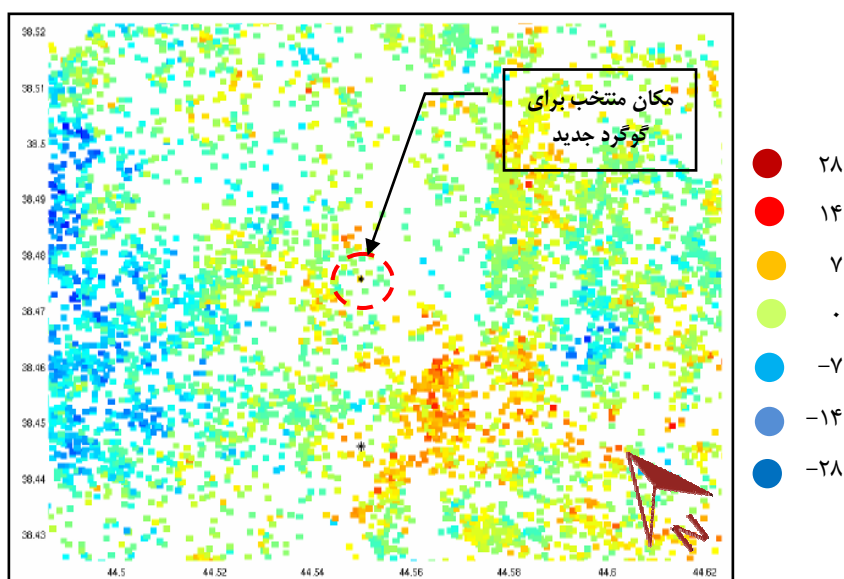
از ۲۵ تصویر راداری ۲۴ تصویر تداخل‌سنج در روش PS-InSAR و ۹۴ تصویر تداخل‌سنج^{۲۴} در روش SBAS تهیه و مورد پردازش قرار گرفت. از روی این تصاویر تداخل‌سنج پیکسل‌های منتخب موسوم به PS^{۲۵}، حدود ۵۵۰۰۰ پیکسل در روش PS-InSAR و ۴۳۰۰۰ پیکسل در روش SBAS انتخاب گردید. نتایج هر دو روش مذکور بیانگر وجود جابجایی در پیرامون مکانی که برای جابجایی روستای گوگرد در نظر گرفته شده، می‌باشد. اما با توجه به این که در روش PS تنها از یک تصویر پایه استفاده می‌شود لذا چنان که طول باز زمانی و مکانی تصاویر پیرو نسبت به تصویر پایه انتخابی بیش‌تر از حد مجاز باشند و سبب کاهش هم‌دوسی^{۲۶} شوند؛ نتایج چندان مطلوبی حاصل نخواهد شد برای رفع این مشکل از روش جدید SBAS استفاده شد که اینترفروگرام‌ها را بر اساس طول باز زمانی و مکانی کوتاه‌تری ایجاد و مورد پردازش قرار می‌دهد. در این روش متوسط نرخ جابجایی سطح زمین در راستای دید سنجنده بین ۳۱/۸ تا ۲۹- میلی‌متر در سال نمایان شد (شکل ۴). نتایج سری

24- Interferogram

25- Permanent Scatterer

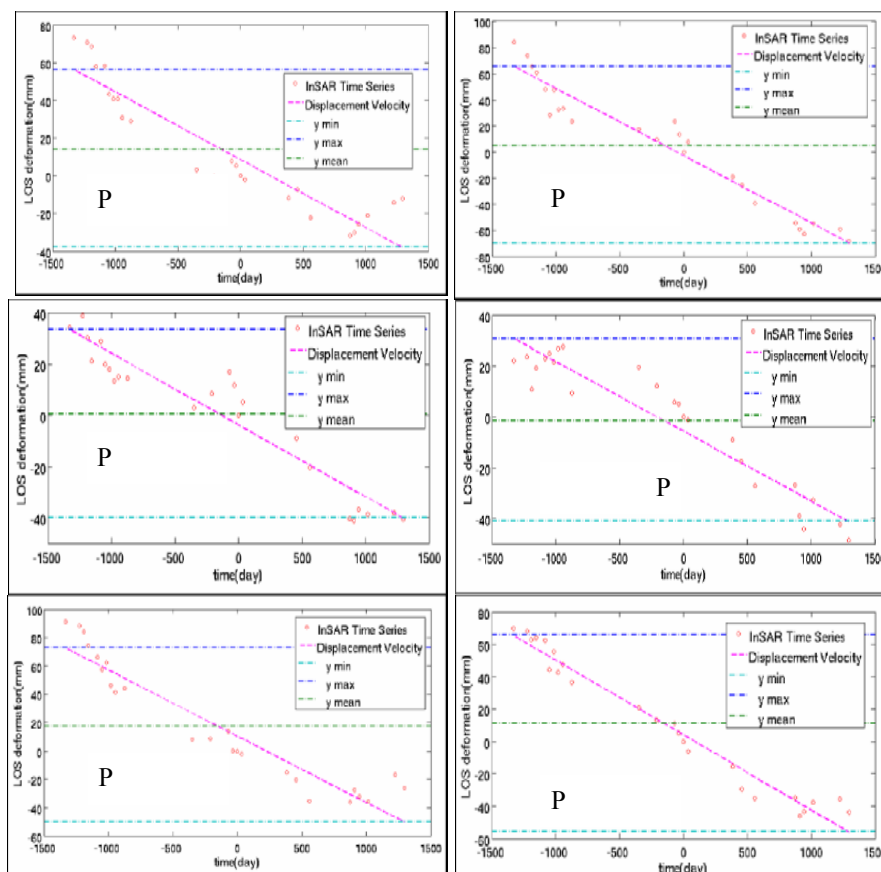
26- Coherence

زمانی حاصل از تداخل‌سنجی تصاویر، مکانیزم جابجایی و یا عدم آن را در گذشته بررسی می‌کند. نمودارهای سری زمانی هر پیکسل را از لحاظ میزان جابجایی و چگونگی رفتار این جابجایی طی مدت زمان مشاهداتی (تاریخ اخذ تصاویر) مورد بررسی دقیق‌تری قرار می‌دهد. در واقع شیب خط برازشی، نشان‌دهنده‌ی میزان و جهت جابجایی (به سمت پایین یا بالا در راستای دید سنجنده^{۳۷}) خواهد بود. همان‌طور که در سری‌های زمانی ترسیمی ملاحظه می‌شود، روند کلی تغییرات و جابجایی‌ها نسبت به زمان برای همه نقاط از یک الگوی به خصوص پیروی نموده و نشان‌دهنده رخداد جابجایی سطحی در بیشتر دامنه‌های مکان منتخب، در راستای دید ماهواره و ناپایداری آن طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ می‌باشد.



شکل (۲) نقشه نرخ جابجایی منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط جهت ترسیم نمودار سری زمانی

شکل (۴) نقشه نرخ جابجایی منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط جهت ترسیم نمودار سری زمانی



شکل (۵) نمودار سری زمانی جابجایی برای ۶ نقطه منتخب در دامنه‌های مکان منتخب برای جابجایی روستای گوگرد

در شکل (۲) پراکنش نقاط منتخب برای ترسیم نمودار سری زمانی جابجایی روی تصویر گوگل ارث (بالا) و نیز نقشه نرخ جابجایی متوسط منطقه در راستای دید سنجنده و نیز جانمایی مکان منتخب برای جابجایی و ایجاد گوگرد جدید (پایین) نشان داده شده است. انتخاب این نقاط به گونه‌ای انجام گرفته تا نقاط پیرامونی مکان منتخب را در تمام جهات

پوشش دهد. با نگاهی به راهنمای رنگی نقشه جابجایی هم می‌توان متوسط جابجایی حاکم بر مکان منتخب را مشاهده نمود. پراکنش نامناسب نقاط PS در بعضی قسمت‌های این نقشه ناشی از تغییرات سطحی زیاد و یا عدم قرارگیری در معرض دید سنجنده می‌باشد. در شکل (۳) نمودارهای سری زمانی ۶ نقطه اطراف مکان منتخب و شیب خط برازشی آن‌ها، نشان داده شده است. این نمودارها نشان‌دهنده میزان و جهت جابجایی در راستای دید سنجنده (LOS) می‌باشند. در این نمودارها محور افقی (X) نشان دهنده فاصله زمانی تصاویر پیرو از تصویر مرجع (تصویر ۲۰۰۷/۰۲/۱۷) بر حسب روز و محور عمودی (Y) نشانگر میزان جابجایی سطح زمین در راستای دید سنجنده برحسب میلی‌متر می‌باشد. همان‌طور که در سری‌های زمانی ترسیمی ملاحظه می‌شود، روند کلی تغییرات و جابجایی‌ها نسبت به زمان برای تمامی نقاط از یک الگو پیروی نموده و نشان‌دهنده وجود رخداد جابجایی سطحی در همه دامنه‌های مکان مورد نظر می‌باشد. با توجه به نمودارها دامنه‌های مکان مذکور بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ یک روند نزولی نسبتاً شدیدی را تجربه کرده است و میزان آن بین ۱۴-۸ سانتی‌متر متغیر می‌باشد. این مکان علی‌رغم داشتن شیب نسبی مناسب باری ایجاد سکونتگاه جدید، اما به‌لحاظ شیب دامنه‌ای نامناسب، ساختار و جنس زمین‌شناسی سست و آسیب‌پذیر، وجود خطوط گسلی و حضور شاخه آبراهه‌ای می‌تواند مشکوک به فعالیت زمین لغزش باشد. چنان‌که بارگذاری، ایجاد ترانشه و القای لرزش ناشی از عبور وسایل نقلیه در این مکان صورت گیرد، امکان وقوع حرکات توده‌ای قوت خواهد گرفت. لذا قبل از هرگونه اقدام عملی بررسی‌های همه‌جانبه ضرورت خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

مخاطراتی طبیعی مانند زمین لرزه، لغزش، سیل و ... از جمله فرآیندهایی هستند که وقوع آن‌ها عاملی در ایجاد و تشدید آسیب‌پذیری کانون‌های استقرار فعالیت‌های انسانی به خصوص سکونت‌گاه‌ها محسوب می‌شوند. سکونتگاه‌های انسانی و به‌خصوص زیستگاه‌های روستایی در پاره‌ای از مواقع به‌دلیل استقرار جبری در بسترهای واجد مخاطره، در معرض آسیب‌پذیری قرار می‌گیرند. در چنین شرایطی شناخت کافی از درجه و میزان آسیب‌پذیری،

تحلیل و تبیین ویژگی‌ها و شرایط گروه‌های انسانی و مکان‌های در معرض خطر می‌تواند مجال برنامه‌ریزی و آمایش محیطی فضا را در جهت تعدیل خطرپذیری و دوری از بحران فراهم نماید. موضوعی که بی‌توجهی یا کم‌توجهی به آن می‌تواند رویداد یک پدیده طبیعی در بستر محیطی، خود را به تهدید و ناامنی تبدیل کرده و در موارد زیادی فاجعه‌بار شود (شریفی‌کیا و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۶).

طرح مکانیابی و جابجایی روستای گوگرد، به سفارش معاونت عمران روستایی بنیاد مسکن انقلاب اسلامی استان آذربایجان غربی توسط یک شرکت مهندسان مشاور در سال ۱۳۹۱ تهیه شده است. لذا ضرورت داشت تا گزینه پیشنهادی نهایی برای جابجایی روستای مذکور قبل از هرگونه اقدام عملی، از نظر پایداری محلی نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

در پاره‌ای موارد حرکات جابجایی خود را آشکارا نشان نمی‌دهند بلکه با گذشت زمان و با فراهم شدن عوامل ثانویه رخ می‌دهند. پارامترهای مختلفی در ناپایداری‌های این منطقه دخالت دارند که از عمده‌ترین آن‌ها می‌توان به لیتولوژی و زمین‌ساخت، شیب زیاد دامنه‌ای، خاک هوازده عمیق، زیرشویی بستر، فعالیت تکتونیکی و لرزه‌خیزی و نقش فعالیت انسانی اشاره داشت. وقوع سیل و ایجاد فرسایش کناری نیز زاویه استقرار نهشته‌های منفصل را تغییر داده و نقش عمده‌ای در ایجاد ناپایداری ایفا می‌کند.

برای آشکارسازی چنین حرکاتی تکنیک‌های تداخل سنجی تفاضلی بهترین روش می‌باشد. لذا در این پژوهش ۲۵ تصویر سنجنده ASAR رادار ENVISAT از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ در مدار نزولی^{۲۸} با استفاده از تکنیک پراکنش‌کننده دائمی (PSI) و تکنیک مجموعه خطوط مبنای کوتاه (SBAS)، با استفاده از نرم‌افزارهای Doris, StaMPS, Matlab تحت سیستم عامل لینوکس برای مانیتورینگ و رفتار سنجی دامنه‌های مکان پیشنهادی استفاده شده است. نتایج نشان داد که متوسط نرخ جابجایی سطح زمین در راستای دید سنجنده در این مکان بین ۳۱/۸ تا ۲۹- میلی‌متر در سال می‌باشد.

نتایج به‌دست آمده از رفتارسنجی دامنه‌های مکان منتخب جهت جابجایی روستای گوگرد، با ترسیم نمودارهای سری زمانی تغییرات نشان داد که، دامنه‌های مکان مذکور بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ یک روند نزولی نسبتاً شدیدی را تجربه کرده است که میزان آن بین ۸-۱۴ سانتی‌متر متغیر می‌باشد. این مکان علی‌رغم داشتن شیب نسبی مناسب، چنانکه بارگذاری، ایجاد ترانشه، القای لرزش ناشی از عبور وسایل نقلیه روی آن صورت گیرد، وقوع حرکات توده‌ای امکان‌پذیر خواهد شد. لذا قبل از هرگونه اقدام عملی بررسی‌های همه‌جانبه ضرورت خواهد داشت.



شکل (۶) نمونه‌هایی از تصاویر مربوط به آثار و پیامدهای زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه

منابع

- افضل‌ی، عباسعلی، محمد شریفی‌کیا، و سیاوش شایان (۱۳۹۲)، «ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها و سکونتگاه‌ها از پدیده فرونشست زمین در دشت دامغان»، *دو فصلنامه ژئومورفولوژی کاربردی/ایران*؛ سال اول، شماره اول، صص ۶۱-۷۳.
- امینی، مصطفی (۱۳۹۲)، «پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز گوگرد شهرستان خوی؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی»، گروه آموزشی جغرافیای طبیعی؛ دانشگاه شهیدبهشتی، ۱۴۱ صفحه.
- خوانین‌زاده، نغمه (۱۳۹۰)، «استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری برای مطالعه زمین لغزش»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده فنی، ۱۴۸ صفحه.
- دارابی، حسن (۱۳۷۷)، «مدلی برای مکان‌یابی سکونت‌گاه‌های روستایی»، *مسکن و محیط روستا*، شماره ۸۳، صص ۱۶-۱۳.
- روستایی، شهرام و حسن احمدزاده (۱۳۹۲)، «تکنیک‌های تداخل‌سنجی راداری رویکردی نو در پایش تغییرات سطحی زمین (مطالعه موردی زمین لغزش‌های منطقه قطور)»، *دومین همایش ملی ژئومورفولوژی و پایش تغییرات محیطی*، دانشگاه تهران.
- روستایی، شهرام و حسن احمدزاده (۱۳۸۴)، «پهنه‌بندی مخاطرات محیطی تهدیدکننده سازه‌های خطی در آذربایجان با استفاده از GIS»، *کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، تبریز*، ص ۷۴.
- سعیدی، عباس و صدیقه حسینی حاصل (۱۳۸۸)، «شالوده مکانیابی و استقرار روستاهای جدید»، انتشارات بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، چاپ اول، ۳۲۰ صفحه.
- سعیدی، عباس (۱۳۷۷)، «*مبانی جغرافیای روستایی*»، انتشارات سمت، تهران.
- شریفی‌کیا، محمد؛ امیری، شهرام و سیاوش شایان (۱۳۹۰)، «سنجش آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی ناحیه ولشت از مخاطرات زمینی»، *مجله مدرس علوم انسانی - برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، دوره ۱۵ شماره ۱ (پیاپی ۷۱) صص ۱۵۰-۱۲۵.

معتق، مهدی و همکاران (۱۳۸۸)، «گزارش طرح مطالعه نشست زمین در دشت رفسنجان به کمک سیستم تداخل سنجی ماهواره‌ای»، ۷۷ صفحه.

- مهندسان مشاور آرتا نقشینه شهر (۱۳۹۱)، «طرح مکانیابی بهینه استقرار روستای گوگرد (شهرستان خوی)» بنیاد مسکن انقلاب اسلامی استان آذربایجان غربی، معاونت عمران روستایی، ۲۲۲ صفحه.

-Ayala, I., (2002), "Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disasters in Developing Countries", *Geomorphology*, Vol. 47, PP. 107-124.

-Bishop, M.P., James, A., Shroder, J.F., Walsh, S., (2011), "Geospatial technologies in geomorphological mapping: Concepts, issues, and research directions", *Annals of the Association of American Geographers*.

-Bishop, M.P., Shroder, J.F., (2003), "A perspective on computer modeling and fieldwork", *Geomorphology*, 53, 1-9.

-Charles, (2006), "Comprehensive Risk Assessment for Natural Hazards", *World Meteorological Organization*, 91p.

-Cornforth, Derek. (2005), "*Landslides in Practice: Investigation, Analysis and Remedial/Preventative Options in Soils*", J. Wiley, 624 pages.

-Dahal. R.K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Dhakal, S., Paudyal, P., (2008), "Predictive Modeling of Rainfall-induced Landslide Hazard in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights-of-evidence", *Geomorphology*, Vol. 102, PP.496-510.

-Dahal. R.K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Masuda, T., Nishino, K., (2008), "GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping", *Environmental Geology*, 54 (2), pp 314–324.

-Hanssen, R.F., (2001), "Radar interferometry: data interpretation and error analysis", *In Remote Sensing and Digital Image Processing*; Kluwer Academic: Dordrecht, Netherlands, Volume 2.

- Hooper, A., Spaans, K., Bekaert, D., Caro Cuenca, M., Arkan. M., Oyen, A., (2010), "StaMPS/MTI Manual; Delft Institute of Earth Observation and Space Systems," Delft University of Technology. 35pp.
- Hu Beibei, Jun Zhou, Jun Wang, Zhenlou Chen, Dongqi Wang, Shiyuan Xu. (2009), "Risk assessment of land subsidence at Tianjin coastal area in China", *Environ Earth Science*, vol.59, pp269-276.
- Laurence C. Smith, (2002), "Emerging Application of Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) in Geomorphology and Hydrology", *Annals of the Association of American Geographers*, 92, pp 359-398.
- Marston, B., (2011), "***Multi-Scale and Object-Oriented Analysis for Mountain Terrain Segmentation and Geomorphological Assessment***", MSc thesis, University of Nebraska. pp 8-10.
- Osmanoglu, B., (2011), "***Application and development of new algorithm for displacement analysis using InSAR time series***", PhD Thesis, University of Miami.164pp.
- Panizza, M., (2004), "Environmental Geomorphology", *Encyclopedia of Geomorphology*, Vol.1, P. 318-320.
- Pourghasemi, H.R., Mohammady, M., Pradhan, B., (2012), "Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin", Iran; Elsevier; *CATENA*, Vol. 97, pp71-84.
- Rosenfeld, C. L., (2004), "Geomorphological Hazard", *Encyclopedia of Geomorphology*, Vol. 1, pp.423-426.
- Samsonov, S.V., (2007), "Integration of Differential InSAR and GPS measurements for studying of surface deformation", PhD thesis in Faculty of Graduate Studies The University of Western Ontario London, Ontario, Canada, pp.176.
- Van Westen, C.J., (1993), "***Application of Geographic Information Systems in Landslide Hazard Zoning***", ITC publication, P15.