

مطالعه جابه‌جایی قائم حاصل از زمین‌لرزه ۹۸/۸/۱۷ ترکمانچای با استفاده از روش InSAR

سعید نگهبان^{۱*}، حمید گنجائیان^۲، شهلا سعیدی^۳ و افشان قاسمی^۴

۱. استادیار، گروه جغرافیا، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۴. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(دریافت: ۹۸/۱۰/۱۴، پذیرش نهایی: ۹۹/۷/۸)

چکیده

زلزله به‌عنوان یکی از انواع مخاطرات محیطی محسوب می‌شود که با آثار محسوس و نامحسوس همراه است. یکی از آثار نامحسوس زلزله‌ها، جابه‌جایی قائم زمین است که با توجه به تأثیراتی که بر شهرها و لندفرم‌های منطقه دارد، ارزیابی آنها می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق به ارزیابی میزان جابه‌جایی قائم زمین ناشی از زلزله ۱۷ آبان ۱۳۹۸ ترکمانچای به روش تداخل‌سنجی راداری پرداخته شده است. در این تحقیق از ۲ تصویر ماهواره سنتینل ۱ مربوط به یک دوره زمانی ۱۲ روزه قبل و بعد از زلزله (۲۰۱۹/۱۰/۲۸ و ۲۰۱۹/۱۱/۰۹) و همچنین روش تداخل‌سنجی راداری استفاده شده است. نرم‌افزارهای مورد استفاده در تحقیق نیز شامل SNAP (انجام پیش‌پردازش‌های لازم و تهیه نقشه میزان جابه‌جایی)، Snaphu (باز کردن فازها) و ARCGIS (تهیه نقشه‌های خروجی) می‌باشد. نتایج تحقیق بیانگر این است که تحت‌تأثیر زلزله ترکمانچای، محدوده مطالعاتی با ۱۳+ و ۹۶- میلی‌متر جابه‌جایی همراه بوده است. نتیجه ارزیابی جابه‌جایی در نقاط شهری محدوده مطالعاتی بیانگر این است که شهر سراب با ۴۱، ترکمانچای با ۳۰، میانه با ۳، هشتگرد با ۲۸، ترک با ۱۸، آق‌کند با ۱۴ و نیر با ۳۲ میلی‌متر فرونشست همراه بوده‌اند. همچنین نتایج ارزیابی جابه‌جایی در واحدهای ژئومورفولوژی نیز بیانگر این است که جابه‌جایی قائم صورت‌گرفته در دشتهای منطقه می‌تواند در نوسان آب‌های زیرزمینی و جابه‌جایی صورت‌گرفته در دامنه‌ها، می‌تواند در تشدید حرکات دامنه‌ای در سال‌های آتی مؤثر باشند.

واژه‌های کلیدی: زلزله ترکمانچای، جابه‌جایی قائم، تداخل‌سنجی راداری.

۱. مقدمه

ذخیره شده باشد، رخ خواهند داد و با توجه به اینکه فلات ایران بر روی نوار لرزه‌خیز آلپ-همیالیا قرار گرفته است، حدود ۸ درصد از زلزله‌های دنیا و حدود ۱۷ درصد از زلزله‌های بزرگ دنیا بر روی آن اتفاق می‌افتد (زارع و کامران‌زاد، ۱۳۹۳). زمین‌لرزه‌های بزرگ یکی از ویرانگرترین بلایای طبیعی است که اغلب منجر به تلفات گسترده و مرگ‌ومیر زیاد می‌شود (پن و همکاران، ۲۰۱۹) که این عوامل به‌عنوان اثرات محسوس زلزله محسوب می‌شود. اما زلزله‌ها در کنار اثرات محسوس که دارند، اثرات نامحسوس هم بر جای می‌گذارند که آثار آن ممکن است در بلندمدت نمود پیدا کند. در واقع زلزله‌های با قدرت بالا، سبب ایجاد جابه‌جایی قائم زمین

مخاطرات محیطی که طیف وسیعی از مخاطرات کاملاً طبیعی تا مخاطرات حاصل از فعالیت‌های انسانی را شامل می‌شود، از جمله عوامل بازدارنده در توسعه مناطق محسوب می‌شود (رکنی و همکاران، ۱۳۹۵). مخاطرات طبیعی انواع مختلفی دارد، که از نظر سرعت وقوع به دو دسته مخاطرات سریع و تدریجی تقسیم می‌شوند (امیدوار، ۱۳۹۰). یکی از انواع مخاطرات سریع، زلزله است. زلزله به‌عنوان تهدیدی در حال رشد و یکی از مخاطرات پیش‌روی جوامع انسانی محسوب می‌شود (زارعی و استعلاجی، ۱۳۹۵). زلزله‌های تکنونیک در هر جای زمین که در آن انرژی کرنشی کشسانی به‌میزان کافی برای گسترش شکستگی در امتداد صفحه گسل

به صورت فرونشست و بالا آمدگی می‌شوند که می‌تواند بر روی نواحی سکونتگاهی و تأسیسات و همچنین لندفرم‌ها ژئومورفولوژی اثرات منفی بر جای گذارد. یکی از زلزله‌های که اخیراً در ایران رخ داده است، زلزله ۱۷ آبان ۱۳۹۸ ترکمانچای ساعت ۰۲:۱۷:۰۴ به وقت محلی (۲۰۱۹/۱۱/۷ ساعت ۲۲:۴۷:۰۴ به وقت بین‌المللی) با بزرگی $MN=5/9$ (مرکز لرزه‌نگاری کشوری) بوده است که که سبب بروز خسارات محسوس زیادی به سکونتگاه‌های منطقه شده است و همچنین با جابه‌جایی قائم قابل توجهی نیز همراه بوده است. جابه‌جایی قائم منطقه علاوه بر اثراتی که بر نواحی سکونتگاهی دارد، در نوسان آب‌های زیرزمینی، ایجاد مشکل در محاسبات مربوط به آب‌های زیرزمینی و گسیختگی دامنه‌ها نیز تأثیرات زیادی دارد، به همین دلیل محاسبه میزان جابه‌جایی قائم صورت گرفته می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. به منظور ارزیابی میزان جابه‌جایی قائم منطقه، از روش‌های مختلفی از جمله استفاده از داده‌های ژئودینامیک و روش تداخل‌سنجی راداری استفاده می‌شود (شریفی‌کیا، ۱۳۹۱) که روش تداخل‌سنجی راداری به علت در دسترس بودن، سرعت بالا و همچنین محدوده گسترده‌ای که پوشش می‌دهد، بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در زمینه محاسبه میزان جابه‌جایی قائم زمین با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که از جمله آنها می‌توان به سیگنا و همکاران (۲۰۱۴) اشاره کرد که با استفاده از تصاویر COSMO SKY و روش سری‌زمانی SBAS میزان جابه‌جایی قائم زمین در منطقه پیانا دگلی (ایتالیا) را حدود ۵/۵ تا ۶/۴ میلی‌متر در سال محاسبه کرده‌اند. ایبر و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از تصاویر ALOSE PALSAR و روش سری‌زمانی SBAS میزان جابه‌جایی زمین در فلات نمک کوهات (در شمال پاکستان) را ۷- تا ۱۰- سانتی‌متر در سال محاسبه کرده‌اند. باتسون و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از تصاویر ERS و

روش سری‌زمانی SBAS میزان جابه‌جایی قائم در منطقه والز انگلستان را ۱+ سانتی‌متر در سال محاسبه کرده‌اند. بوزانو و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از تصاویر ENVISAT و روش تداخل‌سنجی راداری، فرونشست دشت آکه آلبو را در طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ حدود ۸۰ میلی‌متر محاسبه کرده است. هو و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از روش PS به ارزیابی میزان فرونشست در هانوی ویتنام پرداخته‌اند. دو و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری میزان فرونشست زمین در شبه جزیره لیژاوو در چین را ۳۲ میلی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. نگوین‌هاو و تاکه‌واکا (۲۰۱۹) با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ و روش سری‌زمانی SBAS میزان فرونشست زمین در نام‌دینه را بین ۲۱- تا ۲/۵+ در سال برآورد کرده‌اند. ژائو و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از تصاویر ماهواره SAR و روش تداخل‌سنجی راداری، میزان جابه‌جایی زمین در منطقه ساحلی شانگ‌های چین را ۳۰- سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. در ایران شکرزاده و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از تصاویر ENVISAT و تکنیک پراکنش‌کننده‌های دائمی، جابه‌جایی قائم ناشی از زلزله بم را بررسی کرده‌اند. روزبان و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ و روش تداخل‌سنجی راداری، فرونشست زمین در دشت رفسنجان را ارزیابی کرده‌اند. زارع کمالی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از تصاویر سنجنده ASAR و روش سری‌زمانی SBAS، میزان جابه‌جایی قائم زمین در اراضی تهران را مورد ارزیابی قرار داده است. مهرابی و پورخسراونی (۱۳۹۷) با استفاده از تصاویر ENVISAT و روش تداخل‌سنجی راداری، به اندازه‌گیری میزان جابه‌جایی سطح زمین ناشی از زلزله داهوئی (زرنند) در استان کرمان پرداختند و مقصودی و همکاران (۱۳۹۸) نیز با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ و تکنیک تداخل‌سنجی راداری مبتی بر پراکنش‌گرهای دائمی، به بررسی میزان فرونشست زمین در منطقه غربی تهران پرداخته‌اند. با توجه به موارد مذکور، هدف از تحقیق حاضر ارزیابی میزان جابه‌جایی قائم ناشی از زلزله

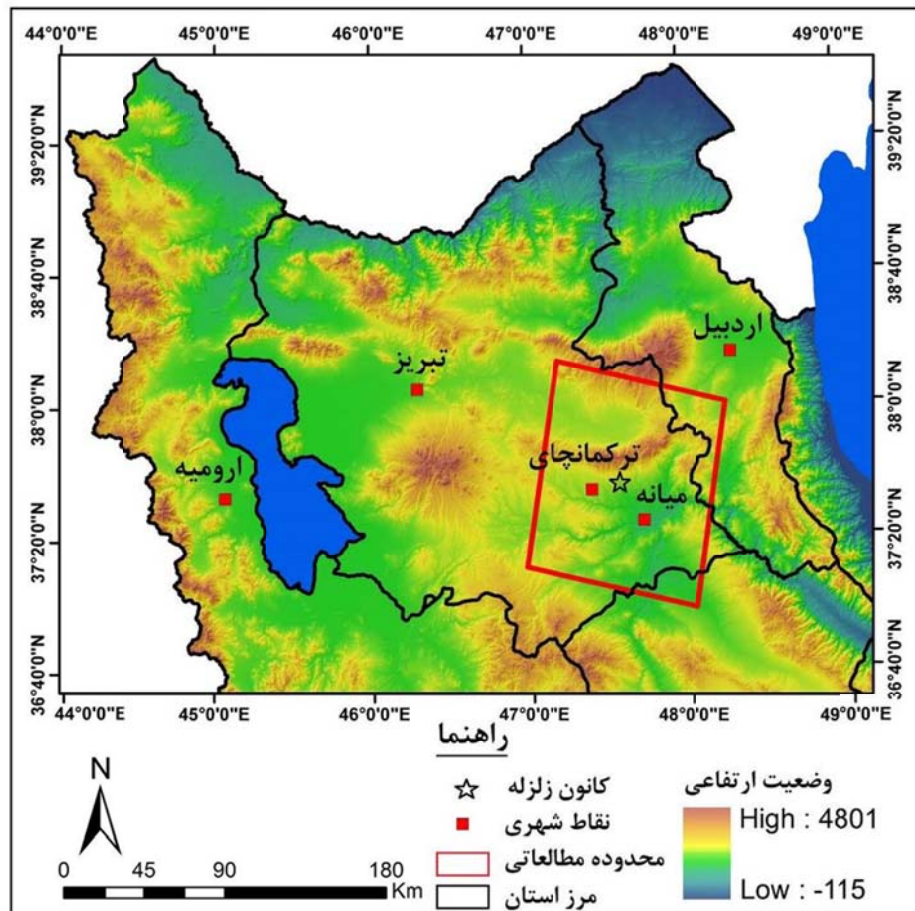
محدوده را دامنه‌های کوه سبلان و بخش‌های میانی آن را نیز رشته‌کوه بزغوش در بر گرفته است و همچنین دشت‌های میانه، هشترود و سراب نیز از جمله دشت‌های مهم محدوده هستند.

۲. روش تداخل‌سنجی راداری

به‌منظور ارزیابی تأثیر زلزله ۱۷ آبان ۱۳۹۸ ترکمانچای بر روی شهرهای اطراف، از روش تداخل‌سنجی راداری استفاده شده است. روش تداخل‌سنجی راداری یکی از روش‌هایی است که در اندازه‌گیری جابه‌جایی قائم زمین به کار می‌رود. در این روش تصاویر مختلف راداری که دارای مقادیر فاز و دامنه موج برگشتی از عارضه به سمت سنجنده هستند با یکدیگر تلفیق شده و تصویری به نام تداخل نگاشت (Interferogram) تولید می‌شود.

ترکمانچای بر شهرهای اطراف با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری می‌باشد.

محدوده مطالعاتی در تحقیق حاضر بر اساس موقعیت کانون زلزله ترکمانچای و همچنین موقعیت تصاویر راداری (محدوده تحت پوشش تصویر انتخابی) انتخاب شده است. این محدوده از نظر تقسیمات سیاسی در جنوب شرق استان آذربایجان شرقی قرار دارد و بخش‌هایی از استان‌های اردبیل و زنجان را نیز شامل می‌شود (شکل ۱). شهرهای مهم واقع در محدوده نیز شامل شهرهای میانه، سراب و هشترود است. محدوده مطالعاتی از نظر تقسیمات مورفوتکتونیک در واحد شمال غرب و در نزدیکی گسل تبریز قرار دارد و دارای گسل‌های فرعی دیگر از جمله گسل بزغوش و تسوج است. از نظر ژئومورفولوژی، چشم‌انداز منطقه را واحد دشت و کوهستان در بر گرفته است، به طوری که بخش‌های شمالی



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه.

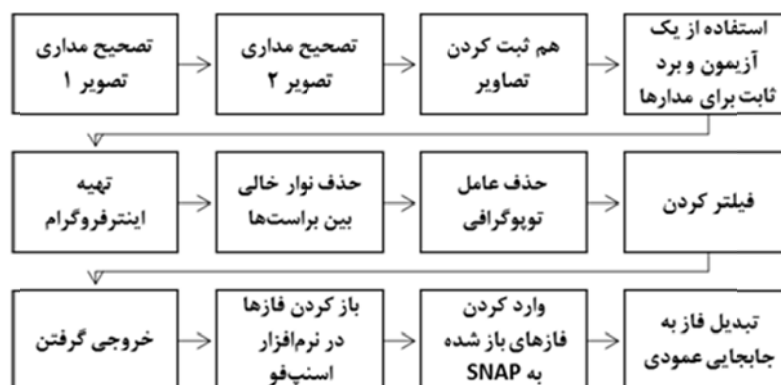
جهت حرکت ماهواره در هر دو تصویر با توجه به اینکه خورشید آهنگ هستند، نزولی و از قطب شمال به طرف قطب جنوب تصویر برداری شده است. برای هر دو تصویر نیز از قطبش VV استفاده شده است چرا که قطبش‌های همسان به دلیل منطبق بودن تصاویر بر روی هم، دارای بازگشت قوی‌تری هستند. بعضی از سنجنده‌ها می‌توانند چندین نوع قطبش داشته باشند که در این صورت، داشتن تصاویر با قطبش‌های مختلف کمک بزرگی به تفسیر می‌کند.

پس از تهیه تصاویر موردنظر، مراحل تداخل‌سنجی راداری با استفاده از این تصاویر در نرم‌افزار SNAP 5.0 انجام شده است. این نرم‌افزار برای کار با داده‌های سنتینل طراحی شده است. مراحل انجام تداخل‌سنجی در شکل ۲ نشان داده شده است که بر اساس آن ابتدا محدوده موردنظر از تصاویر اصلی به‌خاطر سرعت در پردازش تصاویر جدا و تصحیحات مداری (با استفاده از فایل‌های مداری دقیق که روزها یا هفته‌ها پس از تولید محصول در دسترس هستند، تصحیحات مداری انجام شده است) بر روی آن انجام شده است. سپس تصاویر باهم هم‌ثبت (Back Geocoding) شده‌اند.

تداخل نگاشت تصویری است که از اختلاف‌فاز دو تصویر به‌دست آمده در دو زمان مختلف که از نظر هندسی به‌طور دقیق بر روی هم منطبق شده‌اند، حاصل می‌شود (دنیل و همکاران، ۲۰۰۳). لازم به‌ذکر است که ثبت هندسی دو تصویر طی دو مرحله به‌صورت تقریبی و دقیق انجام می‌شود (هانسن، ۲۰۰۱). در یک تداخل نگاشت اطلاعات اختلاف‌فاز دو تصویر که گویای اختلاف‌فاصله عارضه تا سنجنده در دو زمان تصویربرداری است، وجود دارد. به‌کمک مقدار اختلاف‌فاز می‌توان متغیرهای مختلف از جمله میزان جابه‌جایی سطح زمین تا کسری از سانتی‌متر و اطلاعات توپوگرافی سطح زمین را با دقت ۱۰ متر استخراج کرد. با توجه به اینکه هدف از تحقیق حاضر ارزیابی میزان جابه‌جایی منطقه تحت‌تأثیر زلزله ترکمانچای است، از ۲ تصویر ماهواره سنتینل ۱ (Sentinel) به‌علت قابلیت دسترسی و محدوده تحت‌پوشش استفاده شده است (جدول ۱). ماهواره‌های سنتینل شامل دو ماهواره هستند که دارای مدار قطبی بوده و عملیات تصویربرداری را در روز و شب و بدون تأثیرپذیری از شرایط جوی در محدوده باند C با طول موج ۵/۶ سانتی‌متر انجام می‌دهند.

جدول ۱. مشخصات تصاویر مورد استفاده.

| ماهواره | تاریخ | نوع تصویر | حالت مداری | پلاریزیشن | دوره زمانی |
|----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| سنتینل ۱ | ۲۰۱۹/۱۰/۲۸ | SLC | نزولی | VV | ۰ |
| سنتینل ۱ | ۲۰۱۹/۱۱/۰۹ | SLC | نزولی | VV | ۱۲ |



شکل ۲. مراحل انجام تداخل‌سنجی راداری.

شمال‌غرب ایران به‌وقوع پیوسته است که به‌لحاظ دارا بودن نرخ بالای دگرشکلی و سابقه لرزه‌خیزی تاریخی یکی از فعال‌ترین مناطق ایران محسوب می‌شود. بررسی موقعیت زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه شمال‌غرب بیانگر این است که این منطقه در طول تاریخ بارها زمین‌لرزه‌های تاریخی بزرگ و مخربی را تجربه کرده است. تمرکز زمین‌لرزه‌های تاریخی در امتداد گسلی که از شمال کلان شهر تبریز عبور می‌کند، گویای جنبایی چشمگیر و قابل توجه این گسل در طول تاریخ می‌باشد. زمین‌لرزه اخیر ترکمانچای در منتهی‌الیه شرقی این گسل واقع می‌شود. برخلاف لرزه‌خیزی تاریخی که فراوانی قابل توجهی در منطقه دارد، لرزه‌خیزی دستگاهی صد سال اخیر چندان بارز نمی‌باشد. در واقع، علی‌رغم نرخ بالای تغییر شکل پوسته بر پایه اندازه‌گیری‌های GPS، لرزه‌خیزی قابل‌انتظاری که با رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ همراه باشد به چشم نمی‌خورد. نگاهی به نقشه لرزه‌خیزی دستگاهی ۱۹۲۰ تا ۲۰۱۹ میلادی به‌خوبی حکایت از نرخ پایین لرزه‌خیزی و انرژی کم لرزه‌ای آزادشده در طی صد سال اخیر دارد. این مسئله به‌خوبی دلالت بر چیرگی نرخ تغییر شکل حاصل از اندازه‌گیری‌های ژئودتیک نسبت به تغییر شکل لرزه‌ای همراه با رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ دارد. بررسی زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه بیانگر این است که هیچ زمین‌لرزه دستگاهی با بزرگای بالای ۷ در راستای گسل شمال تبریز و منطقه مهرزه‌ای زمین‌لرزه ۱۷ آبان ترکمانچای در طی صد سال اخیر روی نداده است. زمین‌لرزه‌های متوسط تا بزرگ نیز عملاً به رخداد زمین‌لرزه دوگانه ۲۱ مرداد ۱۳۹۱ اهر-ورزقان با بزرگای ۶/۳ و ۶/۴ محدود می‌شود. به‌جز دو مورد فوق، هیچ زلزله دیگری با بزرگای بالای ۶ در منطقه مشاهده نمی‌شود. در مقایسه با نرخ بالای جابه‌جایی راست‌گرد در راستای گسل شمال تبریز و سابقه رخداد زمین‌لرزه‌های متعدد فراوان با بزرگای بالای ۷، رخداد کم زمین‌لرزه‌های متوسط تا بزرگ

در ادامه به‌منظور استفاده از یک آزمون و برد ثابت برای کل تصاویر از دستور مربوطه (Enhanced Spectral Diversity) استفاده شده است. پس از انجام این تصحیحات با استفاده از اختلاف‌فازها باینترفروگرام منطقه به‌دست آمده است. پس از تهیه اینترفروگرام فضای خالی بین آنها (تصاویر سنتینل ۱ از ۳ IW تشکیل شده است که هر IW دارای ۹ براست است و بین براست‌ها، فضای خالی وجود دارد) حذف شده است (TOPS Debrust) و سپس ابتدا عامل توپوگرافی حذف شده (Topographic Phase Removal) و پس از آن به‌منظور افزایش کیفیت تصویر، اینترفروگرام تهیه‌شده فیلتر شده است (Goldstein Phase Filtering).

پس از انجام مراحل تداخل‌سنجی برای تبدیل اختلاف‌فازها به جابه‌جایی قائم از یک نرم‌افزار واسطه به‌نام اسنپ‌فو (Snaphu Export) جهت باز کردن فازها استفاده شده است. برای این منظور پس از انجام مراحل تداخل‌سنجی راداری از اینترفروگرام تهیه‌شده خروجی گرفته شده است. سپس فایل خروجی گرفته شده به‌منظور باز کردن فازها وارد نرم‌افزار اسنپ‌فو شده است. پس از باز کردن فازها (unwrapping) در اسنپ‌فو، در مرحله بعدی فازهای باز شده وارد نرم‌افزار Snap شده و با استفاده از رابطه ۱ اختلاف‌فاز به جابه‌جایی قائم در سیستم متریک تبدیل شده است.

$$Vert_Displ = \frac{\Phi_{unw} * \lambda}{-4\pi * \cos\theta inc} \quad (1)$$

در این رابطه جابه‌جایی قائم با استفاده از فاز باز شده (Φ_{unw}) در طول موج متوسط تصویر (λ) تقسیم بر منفی چهار در عدد پی در کسینوس زاویه تابش تصویر به‌دست می‌آید (یواس‌جی‌اس، ۲۰۱۹).

۳. بحث و نتایج

۳-۱. سابقه لرزه‌خیزی منطقه

زمین‌لرزه ۱۷ آبان ماه در منطقه ترکمانچای، واقع در

به‌خوبی بر کم بودن نرخ آزاد شدن انرژی منطقه به‌صورت لرزه‌ای دلالت دارد. این خود به‌خوبی بر خطر لرزه‌ای بالای منطقه و احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ در آینده در راستای گسل شمال تبریز دلالت دارد (پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۹۸).

۲-۳. موقعیت زلزله رخ داده

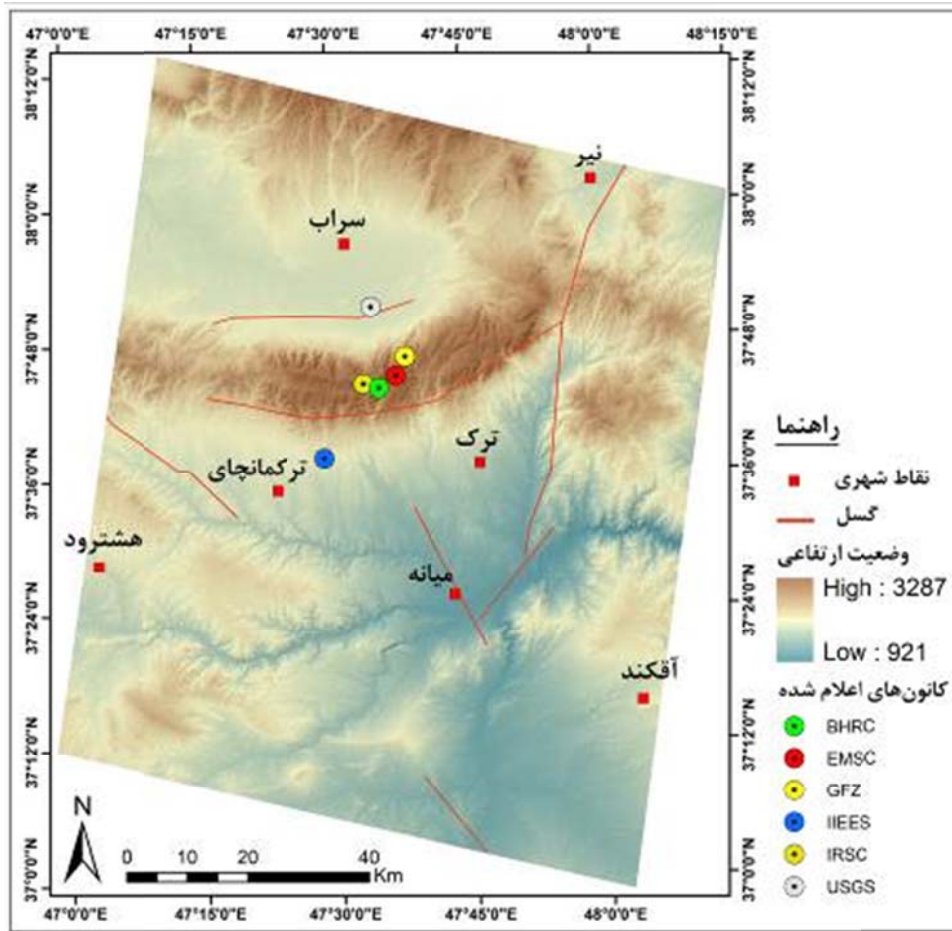
زلزله ترکمانچای در تاریخ ۱۳۹۸/۰۸/۱۷ در نزدیکی شهر ترکمانچای در استان آذربایجان شرقی رخ داده است. بزرگی زلزله از سوی مراجع مختلف بین ۵/۸ تا ۶ و عمق آن نیز تا ۱۰ کیلومتر گزارش شده است (جدول ۲). این زلزله همچنین دارای ۶۱۰ پس‌لرزه بوده که بزرگ‌ترین پس‌لرزه آن $MN=4/8$ بوده است (مرکز لرزه‌نگاری کشور، ۱۳۹۸). مطالعات سازمان نقشه‌برداری کشور بر اساس نتایج به‌دست آمده از آنالیز میدان سرعت و میدان استرین (کرنش) شبکه ژئودینامیک کشور حاکی از آن است که در انتهای جنوب‌شرق گسل شمال تبریز و منطقه کوه‌های بزغوش، یک کشش وجود دارد که باید ناشی از رخداد پدیده‌ای در

داخل کوه‌های بزغوش باشد که این کشش با یک حرکت راست‌گرد توأم شده‌است. نرخ راست‌گردی ۳/۲ میلی‌متر در سال و نرخ کشش ۸/۱ میلی‌متر در سال است. زلزله مذکور از نظر تقسیمات مورفوتکتونیک (طالقانی، ۱۳۸۸) در واحد شمال‌غرب و در نزدیکی گسل تبریز و گسل‌های فرعی آن شامل گسل بزغوش و گسل تسوج رخداده است و چنین به‌نظر می‌رسد که این زلزله ناشی از جنبایی گسلی امتدادلغز چپ‌گرد با روند شمال‌شرق-جنوب‌غرب باشد. چنین روندی و سازوکاری در یکی دیگر از شاخه‌های گسل بزغوش به‌خوبی دیده می‌شود. اگرچه احتمال ارتباط این زمین‌لرزه با گسل یادشده نامحتمل به‌نظر می‌رسد، لیکن وجود روندهای مشابه از گسل فوق، به‌عنوان شاخه‌های فرعی این گسل در بخش‌های غربی‌تر، در موقعیتی که زمین‌لرزه ترکمانچای و پس‌لرزه‌های آن رویداده‌اند، غیرمحتمل نمی‌باشد. بخش غربی گسل جنوب بزغوش نیز روند کم‌ویش مشابهی با به‌خط‌شدگی پس‌لرزه‌ها را نشان می‌دهد (پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۹۸). در شکل ۳ موقعیت زلزله ترکمانچای از سوی مراکز مختلف نشان داده شده است.

جدول ۲. مشخصات رومرکزی، عمق و بزرگی زلزله ۱۷ آبان ۱۳۹۸ ترکمانچای (ساعت ۰۲:۱۷:۰۴ به‌وقت محلی) گزارش‌شده توسط مراکز لرزه‌نگاری.

| ردیف | مرجع* | بزرگی | عمق | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی |
|------|-------|-------|-----|---------------|---------------|
| ۱ | IRSC | ۵/۹ | ۹ | ۴۷/۵۲۱ | ۳۷/۷۱۲ |
| ۲ | IIEES | ۵/۸ | ۶ | ۴۷/۴۸۰ | ۳۷/۶۲۰ |
| ۳ | BHRC | ۶ | ۱۰ | ۴۷/۵۶۰ | ۳۷/۷۱۰ |
| ۴ | EMSC | ۵/۹ | ۱۰ | ۴۷/۶۰۰ | ۳۷/۷۲۰ |
| ۵ | USGS | ۵/۹ | ۱۰ | ۴۷/۵۵۸ | ۳۷/۸۰۷ |
| ۶ | GFZ | ۶ | ۱۰ | ۴۷/۶۱۰ | ۳۷/۷۵۰ |

*. ۱. مرکز لرزه‌نگاری ایران (Smological Center) ۲. پژوهشگاه بین‌المللی مهندسی زلزله و زلزله‌شناسی (International Institute of Earthquake Engineering and Seismology) ۳. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (Building and Housing Research Center) ۴. مرکز لرزه‌نگاری اروپا (Euro-Med Seismological Centre) ۵. سازمان زمین‌شناسی آمریکا (United States Geological Survey) ۶. مرکز تحقیقات علوم زمین آلمان (German Research Centre for Geosciences).

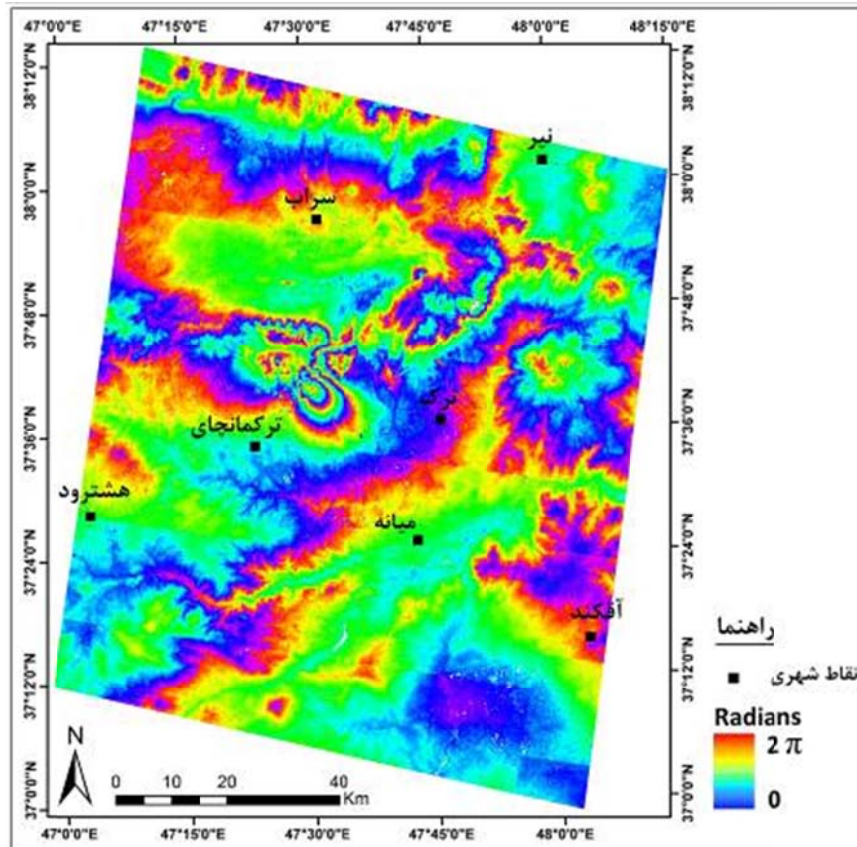


شکل ۳. موقعیت رومرکزی زلزله ۱۷ آبان ۱۳۹۸ ترکمانچای (ساعت ۰۲:۱۷:۰۴ به وقت محلی) گزارش شده توسط مراکز لرزه‌نگاری.

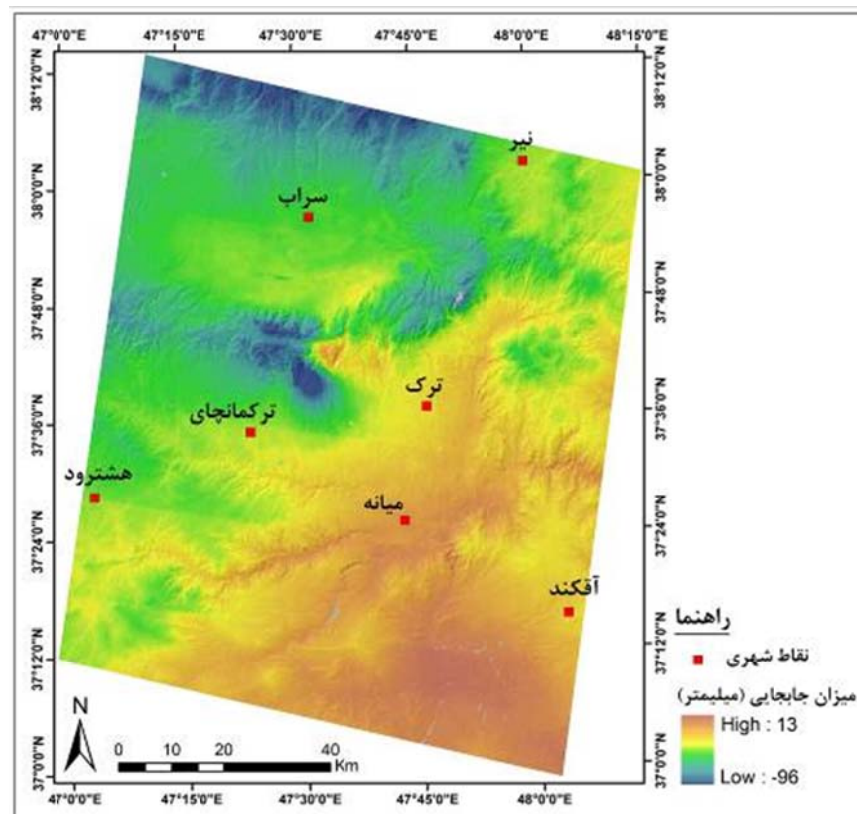
شده وارد نرم‌افزار Snap شده و با استفاده از رابطه ۱، اختلاف فاز به جابه‌جایی قائم تبدیل شده است و نقشه نهایی میزان جابه‌جایی قائم تهیه شده است (شکل ۵). بر اساس نقشه نهایی تهیه‌شده، محدوده مطالعاتی بین ۱۳ تا ۹۶- میلی‌متر جابه‌جایی داشته است. در واقع این محدوده، تحت تأثیر زلزله، ۹۶ میلی‌متر فرونشست و ۱۳ میلی‌متر نیز بالاآمدگی داشته است. ارزیابی نقشه جابه‌جایی منطقه بیانگر این است که بیشترین میزان جابه‌جایی در حاشیه کانون زلزله رخ داده است و در یک روند کلی، مناطق غربی محدوده با فرونشست مواجه شده‌اند که روند میزان فرونشست به سمت مناطق شرقی کمتر می‌شود و در بعضی از مناطق با بالاآمدگی مواجه شده‌اند.

۳-۳. ارزیابی جابه‌جایی ناشی از زلزله

با توجه به اهمیتی که میزان جابه‌جایی زمین در مطالعات مختلف دارد، در این تحقیق با استفاده از روش تداخل‌سنجی واداری، میزان جابه‌جایی منطقه در طی دوره ۱۲ روزه (قبل و بعد از زلزله) محاسبه شده است. تصاویر مورد استفاده مربوط به تاریخ‌های ۲۰۱۹/۱۱/۰۹ (نزدیک‌ترین تصاویر مربوط به قبل و بعد از زلزله) می‌باشد. پس از تهیه تصاویر، پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصاویر انجام شده است و نقشه اینترفروگرام منطقه تهیه شده است (شکل ۴). پس از تهیه نقشه اینترفروگرام و انجام پردازش‌های لازم، در مرحله بعدی از یک نرم‌افزار واسطه به نام Snaphu جهت بازکردن فازها استفاده شده است و فازهای باز



شکل ۴. نقشه اینترفروگرام منطقه (بازه زمانی ۲۰۱۹/۱۰/۲۸ تا ۲۰۱۹/۱۱/۰۹).



شکل ۵. نقشه میزان جابه‌جایی منطقه (بازه زمانی ۲۰۱۹/۱۰/۲۸ تا ۲۰۱۹/۱۱/۰۹).

بر روی واحدهای ژئومورفولوژی از جمله واحد دشت بوده است. در واقع زلزله مذکور سبب جابه‌جایی قائم در واحد دشت‌های منطقه شده است که این جابه‌جایی می‌تواند با نوسان آب‌های زیرزمینی و همچنین تغییر و ایجاد مشکل در محاسبات مربوط به آب‌های زیرزمینی مواجه باشد. ارزیابی نتیجه نهایی حاصل‌شده از روش تداخل‌سنجی و محاسبه میزان جابه‌جایی در منطقه بیانگر این است که محدوده مطالعاتی بین ۱۳ تا ۹۶- میلی‌متر جابه‌جایی داشته است. نتیجه ارزیابی جابه‌جایی در نقاط شهری محدوده مطالعاتی بیانگر این است که بیشترین میزان جابه‌جایی قائم در بین شهرهای اطراف، مربوط به شهر سراب بوده است که با ۴۱ میلی‌متر فرونشست مواجه شده است.

همچنین شهرهای ترکمانچای با ۳۰، میانه با ۳، هشتروند با ۲۸، ترک با ۱۸، آفکند با ۱۴ و نیر با ۳۲ میلی‌متر فرونشست همراه بوده‌اند (شکل ۷). همچنین نتیجه ارزیابی میزان فرونشست در دشت‌های منطقه بیانگر این است که دشت‌های ترکمانچای، سراب، نیر و هشتروند نیز با ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر فرونشست همراه بوده است و دشت میانه نیز با بالاآمدگی مواجه بوده است که می‌تواند بر بسیاری از محاسبات از جمله محاسبات مربوط به افت سطح آب‌های زیرزمینی اثر گذار باشد. از دیگر آثار نامحسوس زلزله ترکمانچای، جابه‌جایی دامنه‌ها، به‌خصوص دامنه‌های کوه بزغوش و سبلان است که بر اساس نقشه میزان جابه‌جایی منطقه، این دامنه‌ها در بعضی از مناطق با بیش از ۸۰ میلی‌متر فرونشست مواجه شده‌اند. دامنه‌های مذکور، هر چند در زمان حاضر سبب بروز حادثه نشده‌اند، ولی میزان جابه‌جایی صورت‌گرفته می‌تواند در ایجاد گسیختگی و آماده حرکت کردن دامنه‌ها در سال‌های آتی تأثیر گذار باشد.

۳-۴. اثرات محسوس زلزله ترکمانچای بر منطقه

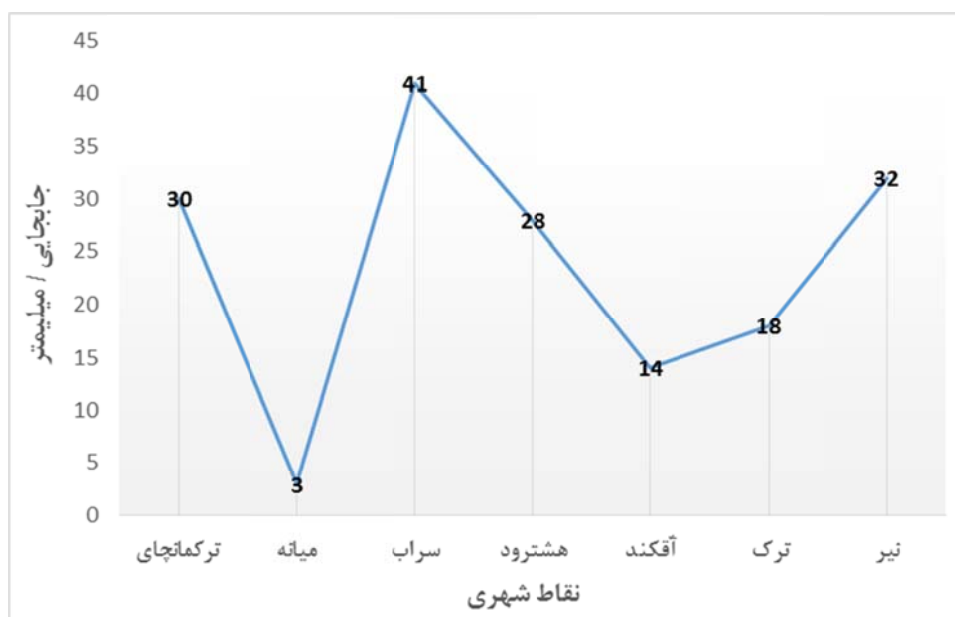
زلزله ترکمانچای با اثرات محسوس و نامحسوس زیادی همراه بوده است. این زلزله با توجه به بزرگی که داشته است، سبب وارد آوردن خسارات زیادی به نواحی سکونتگاهی از جمله مناطق روستایی شده است. در واقع از جمله آثار محسوس زلزله ترکمانچای تخریب نواحی سکونتگاهی و تأسیسات بوده است. بر اساس گزارش وزارت کشور (۱۳۹۸)، زلزله ترکمانچای در شهرستان‌های میانه و سراب بیشترین تخریب را داشته است، به‌طوری‌که در شهرستان میانه با ۵ کشته و ۲۳۳ نفر مصدوم و همچنین تخریب تعداد زیادی از روستاهای این شهرستان همراه بوده است که از جمله این روستاها، روستای ورنکش است که تخریب ۳۰ خانه در آن گزارش شده است. در شکل ۶ تصویری از خسارات وارد شده در روستای ورنکش (در بخش ترکمانچای شهرستان میانه قرار دارد) در برابر زلزله ترکمانچای نشان داده شده است (فرمانداری شهرستان میانه، ۱۳۹۸). همچنین این زلزله در شهرستان سراب نیز با تخریب ۵۰ درصدی ۲۵ منزل مسکونی همراه بوده است.

۳-۵. اثرات نامحسوس زلزله بر منطقه

یکی از تأثیرات مهم زلزله‌ها، آثار نامحسوس آنها است. در واقع تحت‌تأثیر زلزله‌های با قدرت زیاد، منطقه با جابه‌جایی قائم همراه خواهد شد که این جابه‌جایی می‌تواند به‌صورت فرونشست و یا بالاآمدگی باشد. زلزله ترکمانچای با توجه به قدرتی که داشته است، سبب جابه‌جایی قائم منطقه شده است. جابه‌جایی قائم منطقه می‌تواند بر روی نواحی سکونتگاهی و سازه‌ها اثرات مستقیم داشته باشد و سبب تخریب پایه‌های ساختمان‌ها و سازه‌ها شود و همچنین بسیاری از اثرات آن به‌مرور زمان نمود پیدا می‌کند. همچنین از دیگر اثرات این زلزله، تأثیر



شکل ۶. تصاویری از تخریب نواحی مسکونی روستای ورنکش میانه.



شکل ۷. نمودار میزان فرونشست ناشی از زلزله ترکمانچای در شهرهای منطقه.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه زلزله‌ها با آثار مخربی همراه هستند، در مورد تأثیرات آنها تحقیقات مختلفی صورت گرفته است. بیشتر تحقیقات صورت گرفته در مورد آثار محسوس زلزله‌ها و همچنین شناسایی نواحی آسیب‌پذیر بوده است، اما در تحقیق حاضر علاوه بر بررسی آثار محسوس زلزله‌ها، به شناسایی آثار نامحسوس آن شامل جابه‌جایی قائم منطقه نیز پرداخته شده است. نتایج تحقیق حاضر بیانگر این است که زلزله ۱۷ آبان ۱۳۹۸ ترکمانچای با بزرگی $MN=5/9$ (مرکز لرزه‌نگاری کشوری) با آثار محسوس و نامحسوس زیادی همراه بوده است. در این تحقیق به منظور ارزیابی آثار محسوس آن، از آمار و اطلاعات استانداری آذربایجان شرقی استفاده شده است.

نتایج به‌دست آمده بیانگر این است که شهرستان میانه بیشترین میزان آسیب‌پذیری را داشته است به طوری که حدود ۳۷۰ خانه با تخریب بین ۵ تا ۱۰۰ درصد همراه بوده‌اند. بر طبق آمار ارائه شده، ۵ نفر کشته و بیش از ۳۰۰ نفر نیز مصدوم شده‌اند. به علاوه، نتایج حاصل از ارزیابی میزان جابه‌جایی قائم منطقه با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری بیانگر این است که محدوده مطالعاتی بین ۱۳ میلی‌متر (بالامدگی) تا ۹۶+ میلی‌متر (فرونشست) جابه‌جایی داشته است. ارزیابی روند کلی تغییرات بیانگر این است که مناطق غربی با فرونشست و مناطق شرقی محدوده نیز با بالاآمدگی مواجه شده‌اند. نتایج ارزیابی جابه‌جایی قائم زمین در نواحی شهری بیانگر این است که شهر سراب با ۴۱ میلی‌متر فرونشست، دارای

س.، ۱۳۹۵، بررسی فرونشست زمین، چشم اندازه‌ها و تحولات ژئومورفولوژی ناشی از آن در دشت‌های تراکمی (مطالعه موردی: دشت نیشابور)، م فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۲۴، ۳۸-۲۱.

روزبان، ع.، اسماعیلی، ع. و معتق، م.، ۱۳۹۵، بررسی فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (DInSAR) و با به‌کارگیری تصاویر سنجنده SENTINEL، دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

زارع، م.، کامران‌زاد، ف.، ۱۳۹۳، پراکندگی لرزه‌خیزی در ایران، نشریه تحلیل فضایی، م مخاطرات محیطی، ۴، ۵۸-۳۹.

زارع‌کمالی، م.، الحسینی‌المدرسی، س. و نقدی، ک.، ۱۳۹۶، مقایسه میزان جابه‌جایی عمودی زمین با استفاده از الگوریتم SBAS در باندهای راداری X و C (مطالعه موردی: اراضی تهران)، م سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۲۸، ۱۲۰-۱۰۴.

زارعی، ی.، استعلاجی، ع.، ۱۳۹۵، تبیین اثرات زلزله بر ساختمان‌های مسکونی مناطق روستایی بخش شنبه و طسوج، م جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۲۴، ۵۲-۳۳.

شریفی‌کیا، م.، ۱۳۹۱، تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل‌سنجی راداری (D-InSAR) در دشت نوق-بهرمان، م برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۷۷، ۷۷-۵۵.

شکرزاده، س.، وثوقی، ب. و آمیخ‌پی، م.، ۱۳۹۳، مطالعه میدان تغییر شکل بعد لرزه‌ای زمین‌لرزه ۱۳۸۲ بم با استفاده از تکنیک پراکنش‌کننده‌های دائمی، م علوم زمین، ۹۴، ۲۱۹-۲۰۹.

علایی‌طالبانی، م.، ۱۳۸۸، ژئومورفولوژی ایران، چاپ پنجم، انتشارات قومس، تهران.

مرکز لرزه‌نگاری کشور، ۱۳۹۸، گزارش زمین‌لرزه ۵/۹ مورخ ۱۷ آبان ۱۳۹۸، مؤسسه ژئوفیزیک.

بالاترین میزان جابه‌جایی قائم بوده است؛ همچنین شهرهای ترکمانچای با ۳۰، میانه با ۳، هشتگرد با ۲۸، ترک با ۱۸، آفکنند با ۱۴ و نیر با ۳۲ میلی‌متر فرونشست داشته‌اند. علاوه بر نواحی سکونتگاهی، واحدهای ژئومورفولوژی نیز با جابه‌جایی همراه بوده‌اند که می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. یکی از واحدهایی که میزان جابه‌جایی قائم در آن بسیار حائز اهمیت است، واحد دشت‌های منطقه است که بررسی نقشه نهایی بیانگر این است که دشت‌های ترکمانچای، سراب، نیر و هشتگرد نیز با ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر فرونشست همراه بوده است و دشت میانه نیز با بالاآمدگی مواجه بوده است. جابه‌جایی قائم صورت‌گرفته در دشت‌های منطقه می‌تواند در نوسان آب‌های زیرزمینی و ایجاد مشکل در محاسبات پارامترها مختلف از جمله محاسبه افت سطح آب‌های زیرزمینی منطقه مؤثر باشد. یکی دیگر از تأثیرات جابه‌جایی قائم منطقه، تأثیر بر دامنه‌ها است. با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از منطقه را واحد کوهستان در بر گرفته است، این جابه‌جایی می‌تواند سبب تشدید حرکات دامنه‌ای در سال‌های آتی شود. در واقع، زلزله ترکمانچای از طریق جابه‌جایی قائم در نواحی کوهستانی و تأثیراتی که در استحکام دامنه‌ها و ایجاد گسیختگی در آنها داشته است، می‌تواند زمینه را برای وقوع حرکات دامنه‌ای در سال‌های آتی فراهم کند. مجموع نتایج حاصله از تحقیق حاضر بیانگر این است که زلزله ترکمانچای علاوه بر تأثیرات محسوس، با تأثیرات نامحسوس زیادی نیز همراه بوده است که آثار نامحسوس آن ممکن است در سال‌های آینده نمود پیدا کند.

مراجع

امیدوار، ک.، ۱۳۹۰، مخاطرات طبیعی، انتشارات دانشگاه یزد، یزد.

پژوهشگاهی بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (۱۳۹۸)، گزارش اولیه زمین‌لرزه ۱۷ آبان‌ماه ۱۳۹۸ ترکمانچای (سراب) با بزرگای گشتاوری ۵/۹.

رکنی، ج.، حسین‌زاده، س.، لشکری‌پور، غ. و ولایتی،

جابه‌جایی سطح زمین ناشی از زلزله ۱۳۸۳ داهوئیه (زرنند) استان کرمان و شناسایی گسل عامل آن با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، م پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۲۵، ۷۳-۶۱.

وزارت کشور، ۱۳۹۸، گزارش مربوط به خسارات زلزله ترکمانچای، استانداری آذربایجان شرقی.

مقصودی، ی.، امانی، ر. و احمدی، ح.، ۱۳۹۸، بررسی رفتار فرونشست زمین در منطقه غرب تهران با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل ۱ و تکنیک تداخل‌سنجی راداری مبتنی بر پراکنش‌گرهای دائمی، م تحقیقات منابع آب ایران، ۶۱، ۳۱۳-۲۹۹.

مهرابی، ع.، پورخسروانی، م.، ۱۳۹۷، اندازه‌گیری میزان

Abir, I. A., Khan, S. D., Ghulam, A., Tariq, S. and Shah, M. T., 2015, Active tectonics of western Potwar Plateau-Salt Range, northern Pakistan from InSAR observations and seismic imaging. *Remote Sensing of Environment*, 168, 265-275.

Bateson, L., Cigna, F., Boon, D. and Sowter, A., 2015, The application of the Intermittent SBAS(ISBAS) InSAR method to the South Wales Coalfield, UK. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 249-257.

Bozzano, F., Esposito, C., Franchi, S., Mazzanti, P., Perissin, D. and Rocca, A., 2015, Understanding the subsidence process of a quaternary plain by combining geological and hydrogeological modelling with satellite InSAR data: the acque albule plain case study. *Remote Sens. Environ.* 168, 219-238.

Cigna, F., Novellino, A., Colm, J. and Sowter, A., 2014, Intermittent SBAS (ISBAS) InSAR with COSMO-SkyMed X-band high resolution SAR data for landslide inventory mapping in Piana degli Albanesi (Italy). In: *SPIE Proceedings: SAR Image Analysis, Modeling, and Techniques XIV*, Amsterdam, Netherlands, 22 Sep.

Daniel, R. C., Maisons, C., Carnec, S., Mouelic, L., King, C. and Hosford, S., 2003, Monitoring of slow ground deformation by ERS radar interferometry on the Vauvert salt mine (France) Comparison with ground-based measurement, *Remote Sensing of Environment*, 88, 468-478.

Du, Y., Feng, G., Peng, X. and Li, Z., 2017,

Subsidence Evolution of the Leizhou Peninsula, China, Based on InSAR Observation from 1992 to 2010, *Appl. Sci.* 2017, 7, 466; doi:10.3390/app7050466.

Esa., 2019, <https://step.esa.int/main/snap-user-day-10-september-2017>.

Hanssen, R. F., 2001, *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis*. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers.

Ho, D. T. D., Tran, C. Q., Nguyen, A. D. and Le, T. T., 2016, Measuring ground subsidence in Hanoi city by radar interferometry. *Science and Technology Development Journal*, 19 (2), 122-129.

Nguyen Hao, Q. and Takewaka, S., 2019, Detection of Land Subsidence in Nam Dinh Coast by Dinsar Analyses, *International Conference on Asian and Pacific Coasts*, 1287-1294.

Pan, S. T., Cheng, Y. Y. and Lin, C. H., 2019, Extrication time and earthquake-related mortality in the 2016 Taiwan earthquake, *Journal of the Formosan Medical Association*, 118(11), 1504-1514.

Zhao, Q., Ma, G., Wang, Q., Yang, T., Liu, M., Gao, W., Falabella, F., Mastro, P. and Pepe, A., 2019, Generation of long-term InSAR ground displacement time-series through a novel multi-sensor data merging technique: The case study of the Shanghai coastal area, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 154, 10-27.

<http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/snapu/>

Study of vertical displacement caused by 2019 Turkmanchay earthquake based on InSAR method

Negahban, S.^{1*}, Ganjaeian, H.², Saeedi, Sh.³ and Ghasemi, A.⁴

1. Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Economics, Management & Social sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

2. Ph.D. Student, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

3. M.Sc. Graduated, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, Isfahan University, Isfahan, Iran

4. Ph.D. Student, Department of Physical Geography, Faculty of Geo Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

(Received: 4 Jan 2020, Accepted: 29 Sep 2020)

Summary

Large earthquakes are one of the most devastating natural disasters, often resulting in extensive casualties and high mortality, which are considered to be the most significant effects of earthquakes. But earthquakes, in addition to their tangible effects, also have intangible effects that may have long-term effects. In fact, high-power earthquakes cause vertical displacement of the earth by subsidence and uplift, which can adversely affect the residential areas and facilities as well as geomorphological landforms. One of the most recent earthquakes in Iran was the 5.9 earthquake on 2019/11/07 in the Turkmanchay, which caused considerable damage to the settlements in the region and was accompanied by significant vertical displacement. Vertical displacement of the area, in addition to its effects on habitat areas, has a significant impact on groundwater fluctuation, causing problems in groundwater calculations and slope ruptures. For this reason, calculating the vertical displacement rate can be very important. Different methods are used to evaluate the vertical displacement of each area that the radar interferometry is among the best methods. Therefore, the purpose of this study is to evaluate the vertical displacement caused by the Turkmanchay earthquake on surrounding cities using the radar interferometry method.

This research is based on analytical-descriptive and software methods. Research data include Sentinel-1 radar images, DEM 30m, and statistical information related to the Turkmanchay earthquake. The software used in the research also includes SNAP (pre-processing and mapping displacement rates), Snaphu (Phase Unwrapping), and ArcGIS (preparing output maps). In this research, the radar interferometry method is used to assess the displacement rate of the study area. Radar interferometry is one of the most powerful tools for monitoring the subsidence phenomenon. This method, by comparing the phases of two radar images of the region taken at two different times, can determine the changes in the surface of the earth at that time interval. The phase taken from a feature on the Earth's surface is proportional to its distance to the radar sensor. Therefore, the change in this distance affects the measured phase. In this research, Sentinel-1 images are used for radar interferometry.

The Turkmanchay earthquake occurred on 2019/11/07 near the city of Turkmanchay in Azerbaijan province. The magnitude of the earthquake was reported by various authorities from 5.8 to 6 and its depths up to 10 km. The earthquake also had 610 aftershocks, with the largest one being 4.8, and the closest cities to its hypocenter are Turkmanchay, Mianeh, Turk, Sarab, and Hashtrud. The Turkmanchay earthquake has had many tangible and intangible effects. Due to its magnitude, the earthquake has caused a lot of damage to residential areas including rural areas. One of the tangible effects of the Turkmanchay earthquake was the destruction of residential areas and facilities. The earthquake also caused considerable vertical displacement in the region, given the final map, with a range of 13 to 96 mm. Evaluation of the displacement map of the region indicates that most displacements occurred at the margin of the earthquake hypocenter and, in a general trend, the western areas of the area have experienced subsidence, with a decreasing trend toward the eastern regions and some areas were experiencing uplift.

The Turkmanchay earthquake has left many tangible and intangible effects. Among the tangible effects were the destruction of residential areas, with approximately 370 home experienced destruction of between 5 and 100 percent. Also, according to the statistics, 5 people were killed and more than 300 were injured. Among its intangible effects has been the vertical displacement of the area. The results of the evaluation of vertical displacement in urban areas indicate that the city of Sarab with a 41 mm subsidence has the highest vertical displacement. The cities of Turkmanchay, Mianeh, Hashtrud, Turk, Aghkand, and Nair experienced subsidence rates of 30, 3, 28, 18, 14 and 32 mm respectively. In addition to residential areas, geomorphological units have also witnessed a displacement, which can be very important. One of the units where the vertical displacement is very important is the lowland area where the final map shows that the Turkmanchay, Sarab, Hashtrud and Nair plains have been subsided and the Mianeh plain has been uplifted. The vertical displacement in the plains of the area can be effective in fluctuating groundwater and making it difficult to calculate various parameters including the groundwater level drop. Another effect of vertical displacement is the impact on slopes. Given that much of the area is covered by the mountain unit, this displacement can intensify slope movements in the coming years.

Keywords: Earthquake, Vertical Displacement, Radar Interferometry, Turkmanchay.

* Corresponding author:

snegahban@shirazu.ac.ir