



Analyzing Tangible and Intangible Effects of Kermanshah Ezgeleh Earthquake on Landforms

Hamid Ganjaeian¹, Mojtaba Yamani^{1*}, Abolghasem Goorabi¹, Mehran Maghsoudi¹

¹Department of Geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

INFO ARTICLE

Article Type: Research article

Article history:

Received 5 August 2020

Accepted 11 September 2020

Available online 15 September 2020

Keywords:

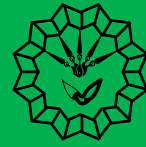
Earthquake, Landform, Vertical Displacement, Radar Interference, Ezgeleh.

Citation: Ganjaeian, H., Yamani, M., Goorabi¹, A., Maghsoudi, M. (2020). Analyzing Tangible and Intangible Effects of Kermanshah Ezgeleh Earthquake on Landforms. *Geography and Sustainability of Environment*, 10 (2), 89-103.

doi: [10.22126/GES.2020.5571.2274](https://doi.org/10.22126/GES.2020.5571.2274)

ABSTRACT

Earthquakes are one of the most important environmental hazards that always lead to a lot of damage. In addition to the effects that earthquakes on residential areas, they also have many tangible and intangible effects on landforms that can cause hazards. Due to the importance of the issue, the current study investigates the tangible and intangible effects of herd earthquakes on landforms in the Ezgeleh region. The research data includes the 30-meter SRTM digital elevation model, digital data layers, Sentinel 1 images, and information obtained through field visits. The most important research tools include ARCGIS software (for mapping and final output) and GMT (for radar interference). This research has been done in 3 stages. In the first stage, using the radar interferometry method, the amount of vertical displacement of the area is calculated. In the second stage, the vertical displacement of the landforms of the region has been evaluated and in the third stage, the tangible effects of the earthquake on the landforms of the region have been investigated. The results of the research indicate that under the influence of earthquakes, the area had a displacement of between -613 and +917 mm. Due to the vertical displacement that has occurred in the region, the landforms of the region have also faced a lot of displacement so that the plains in the region have been affected by this displacement in which the highest displacement with 382 to 917 mm elevation is related to Zahab plain. Unlike the plains of the region in which the movement and changes have been mostly imperceptible, the slopes located in the region, in addition to the imperceptible effects, have also encountered many tangible effects. Therefore, many slopes of the region, including the slopes located near the villages of Ramaki Ramazan, Meleh Kaboud and Ghouchbashi have Inadslice, as well as the slopes near Piran waterfall and Baba Yadegar valley have Debriz.



تحلیل اثرات محسوس و نامحسوس زمین لرزه منطقه ازگله کرمانشاه بر لندفرمها

حمید گنجائیان^۱، مجتبی یمانی^{۱*}، ابوالقاسم گورابی^۱، مهران مقصودی^۱

^۱گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مشخصات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: پژوهشی</p> <p>تاریخچه مقاله:</p> <p>دریافت ۱۵ مرداد ۱۳۹۹</p> <p>پذیرش ۲۱ شهریور ۱۳۹۹</p> <p>دسترسی آنلاین ۲۵ شهریور ۱۳۹۹</p> <p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>زمین لرزه، لندفرم، جابه‌جایی عمودی، تداخل‌سنجی راداری، ازگله.</p> <p>استناد: گنجائیان، حمید؛ یمانی، مجتبی؛ گورابی، ابوالقاسم؛ مقصودی، مهران (۱۳۹۹). تحلیل اثرات محسوس و نامحسوس زمین لرزه منطقه ازگله کرمانشاه بر لندفرمها. <i>جغرافیا و پایداری محیط</i>. ۱۰ (۲)، ۸۹-۱۰۳. doi: 10.22126/GES.2020.5571.2274</p>	<p>زمین لرزه یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی است که همواره با خسارت‌های زیادی همراه است. زمین لرزه افزون بر اثراتی که در نواحی سکونت‌گاهی دارد، روی لندفرمها نیز اثرات محسوس و نامحسوس زیادی می‌گذارد که می‌تواند سبب بروز مخاطرات شود. با توجه به اهمیت موضوع، در نوشتار پیش رو اثرات محسوس و نامحسوس زمین لرزه ازگله بر لندفرمهای منطقه بررسی شده است. داده‌های پژوهش شامل مدل رقومی ارتفاعی سی متر SRTM، لایه‌های اطلاعاتی رقومی، تصاویر سنتینل ۱ و اطلاعات به‌دست‌آمده از راه بازدیدهای میدانی است. مهم‌ترین ابزارهای پژوهش شامل نرم‌افزار آرک جی.آی.اس. به‌منظور تهیه نقشه و خروجی‌های نهایی) و GMT (برای انجام تداخل‌سنجی راداری) است. جستار حاضر در سه مرحله انجام شده است؛ در مرحله اول با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان جابه‌جایی عمودی منطقه محاسبه شده است. در مرحله دوم جابه‌جایی عمودی لندفرمهای منطقه ارزیابی شده و در مرحله سوم، با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از روش تداخل‌سنجی راداری و بازدیدهای میدانی، اثرات محسوس زمین لرزه بر لندفرمهای منطقه بررسی شده است. نتایج پژوهش بیانگر این است که تحت تأثیر زمین لرزه ازگله منطقه بین ۶۱۳- تا ۹۱۷+ میلی‌متر جابه‌جایی داشته است. با توجه به جابه‌جایی عمودی رخ داده در منطقه، لندفرمهای منطقه نیز با جابه‌جایی زیادی روبه‌رو شده‌اند به طوری که دشت‌های واقع در منطقه نیز تحت تأثیر این جابه‌جایی بوده‌اند که بیشترین میزان جابه‌جایی با ۳۸۲ تا ۹۱۷ میلی‌متر بالآمدگی مربوط به دشت ذهاب بوده است. برخلاف دشت‌های منطقه که جابه‌جایی و تغییرات صورت گرفته در آن‌ها به‌طور عمده به‌صورت نامحسوس بوده است، دامنه‌های واقع در منطقه افزون بر اثرات نامحسوس با اثرات محسوس زیادی نیز روبه‌رو شده‌اند، به طوری که بسیاری از دامنه‌های منطقه از جمله دامنه‌های واقع در نزدیک روستاهای رمکی رمضان، مله‌کبود و قوچ‌باشی با زمین‌لغزش و همچنین دامنه‌های نزدیک به آبشار پیران و دره بابایادگار با ریزش روبه‌رو شده‌اند.</p>

مقدمه

یکی از مخاطراتی که با خسارت‌های زیادی همراه است، زمین‌لرزه است (یوسف^۱ و همکاران، ۲۰۲۰: ۱؛ روی و ماستاگار^۲، ۲۰۲۰: ۲؛ التائی و البوسودا^۳، ۲۰۱۹). زمین‌لرزه‌های بزرگ یکی از ویران‌گرترین بلایای طبیعی هستند که اغلب منجر به تلفات گسترده و مرگ‌ومیر زیاد می‌شوند (یزدانیان^۴ و همکاران، ۲۰۲۰؛ ساوادا^۵ و همکاران، ۲۰۱۹؛ پن^۶ و همکاران، ۲۰۱۹؛ ژئو^۷ و همکاران، ۲۰۱۸)؛ همچنین در پی وقوع این نوع زلزله، زیرساخت‌های انسانی با آسیب شدید روبه‌رو خواهند شد (فارفل^۸ و همکاران، ۲۰۱۱؛ بارتلز و ون رویان^۹، ۲۰۱۲). زلزله‌های تکتونیکی در هر جای زمین که در آن انرژی کرنشی کشسانی به‌میزان کافی برای گسترش شکستگی در امتداد صفحه گسل ذخیره شده باشد، رخ خواهند داد و با توجه به اینکه فلات ایران روی نوار لرزه‌خیز آلپ - هیمالیا قرار گرفته است، حدود ۸٪ از زلزله‌های دنیا و حدود ۱۷٪ از زلزله‌های بزرگ دنیا روی آن اتفاق می‌افتد (زارع و کامران‌زاده، ۱۳۹۳). با توجه به موارد پیش‌گفته، زمین‌لرزه مخاطره طبیعی ناگهانی‌ای است که بخشی‌های زیادی از ایران در معرض آن قرار دارند. یکی از زمین‌لرزه‌هایی که طی سال‌های اخیر در ایران رخ داد و سبب واردآوردن خسارت‌های جانی و مالی زیادی شد، زمین‌لرزه ۷/۳ ریشتری از گله کرمانشاه در تاریخ ۲۱ آبان ۱۳۹۶ (۲۰۱۷/۱۱/۱۲) بوده است. این زمین‌لرزه با پیامدهای محسوس و نامحسوس زیادی همراه بوده است؛ از جمله پیامدهای محسوس آن می‌توان به تخریب نواحی سکونت‌گاهی، راه‌ها، پل‌ها و سایر تأسیسات و همچنین حرکات دامنه‌ای اشاره کرد که سبب کشته و زخمی شدن هزاران نفر در غرب استان کرمانشاه شد؛ اما این زمین‌لرزه، افزون بر اثراتی که بر نواحی سکونت‌گاهی داشته است، اثرات محسوس و نامحسوس زیادی نیز بر لندفرم‌های منطقه داشته است. از آثار نامحسوس آن می‌توان به جابه‌جایی عمودی زمین و از آثار محسوس آن نیز به حرکات دامنه‌ای رخ داده اشاره کرد. با توجه به اینکه هر کدام از این آثار می‌تواند اثرات منفی زیادی در منطقه داشته باشد، در پژوهش حاضر بررسی شده‌اند.

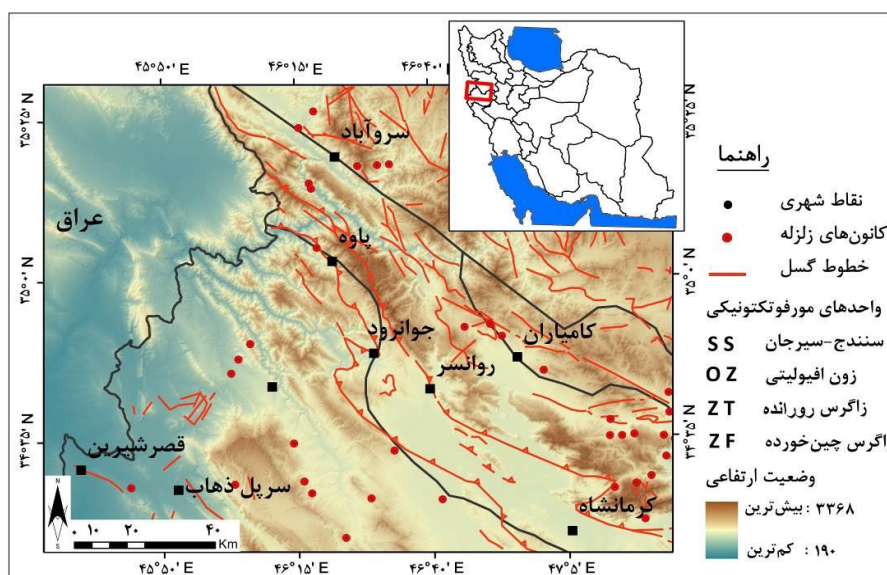
جابه‌جایی عمودی ناشی از زمین‌لرزه و همچنین حرکات دامنه‌ای پس از وقوع زمین‌لرزه، از جمله مهم‌ترین اثرات محسوس و نامحسوس زمین‌لرزه بر لندفرم‌ها به‌شمار می‌رود و همین مسئله سبب شده است تا واجدیان و همکاران (۱۳۹۰)، کرمی و همکاران (۱۳۹۶) و گورابی (۱۳۹۹) به‌ترتیب اثرات محسوس و نامحسوس زمین‌لرزه‌های بم (۱۳۸۲)، ورزقان (۱۳۹۱) و ازگله (۱۳۹۶) را بررسی کنند. به‌منظور ارزیابی جابه‌جایی‌های صورت‌گرفته از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها روش تداخل‌سنجی راداری است. کاربرد این روش سبب شده است تا بوزانو^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۵)، هو^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۶)، دیو^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۷)، نگوین‌هائو و تاکوا^{۱۳} (۲۰۱۹)، ژائو^{۱۴} و همکاران (۲۰۱۹)، ژانگ^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۹)، هیو^{۱۶} و همکاران (۲۰۱۹)،

- 1- Yousuf
- 2- Roy & Mastagar
- 3- Al-Taei & Albusoda
- 4- Yazdaniyan
- 5- Sawada
- 6- Pan
- 7- Xu
- 8- Farfel
- 9- Bartels & Van Rooyen
- 10- Bozzano
- 11- Ho
- 12- Du
- 13- Nguyen Hao & Takewaka
- 14- Zhao
- 15- Zhang
- 16- Hu

اصلان^۱ و همکاران (۲۰۱۹)، مهرابی و پورخسرانی (۱۳۹۷) و مقصودی و همکاران (۱۳۹۸) از این روش برای محاسبه میزان جابه‌جایی عمودی زمین استفاده کنند؛ همچنین در بسیاری از پژوهش‌های صورت‌گرفته از جمله ابیر^۲ و همکاران (۲۰۱۵)، سیگنا^۳ و همکاران (۲۰۱۵)، باتسون^۴ و همکاران (۲۰۱۵) و یانگ^۵ و همکاران (۲۰۱۹) از این روش برای ارزیابی جابه‌جایی عمودی مناطق شهری و لندفرم‌های منطقه استفاده شده است. با توجه به موارد یادشده، هدف از نوشتار پیش رو ارزیابی اثرات محسوس و نامحسوس زمین‌لرزه ازگله کرمانشاه با استفاده از تصاویر راداری و روش تداخل‌سنجی راداری است.

معرفی منطقه مورد بررسی

محدوده مورد مطالعه از نظر تقسیمات سیاسی در غرب ایران و بین دو استان کردستان و کرمانشاه قرار دارد و شهرهای سروآباد و کامیاران (در استان کردستان)، پاوه، جوانرود، روانسر، سرپل ذهاب، قصرشیرین و کرمانشاه (در استان کرمانشاه)، از شهرهای مهم در محدوده مورد بررسی هستند (شکل ۱). انتخاب محدوده مورد مطالعه متناسب با اهداف پژوهش، موقعیت کانون زمین‌لرزه ازگله و همچنین موقعیت تصاویر راداری بوده است. این محدوده از نظر تقسیمات صورت‌گرفته از سوی آقنابتی (۱۳۸۵)، در محدوده زاگرس چین‌خورده و زاگرس مرتفع قرار دارد و همچنین بخش‌های شمال شرقی آن نیز در پهنه سندج - سیرجان واقع شده است. قرارگرفتن این منطقه در نوار زاگرس و مجاورت با گسل‌های اصلی مانند گسل اصلی زاگرس، سبب شده است تا این محدوده پتانسیل لرزه‌خیز بالایی داشته باشد، به طوری که بیش از ۵۰٪ از زمین‌لرزه‌های ایران در نوار زاگرس ثبت شده است. از نظر ژئومورفولوژی بخش زیادی از محدوده را واحد کوهستان و دشت‌های میان‌کوهی دربرگرفته است و از نظر اقلیمی نیز با توجه به اختلاف ارتفاعی زیادی که دارد (حدود ۳۰۰۰ متر)، دارای تنوع اقلیمی زیادی است؛ به طوری که نیمه شمالی و کوهستان‌های شاهو و کوسالان زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های معتدل و مناطق جنوبی تابستان گرم و خشک و زمستان‌های سرد و نیمه‌مرطوب دارد.



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

- 1- Aslan
- 2- Abir
- 3- Cigna
- 4- Bateson
- 5- Yang

مواد و روش‌ها

داده‌های پژوهش شامل مدل رقومی ارتفاعی سی متر SRTM، لایه‌های اطلاعاتی رقومی، تصاویر سنتینل ۱ (مربوط به تاریخ‌های ۲۰۱۷/۱۱/۰۷ و ۲۰۱۷/۱۱/۱۹) و اطلاعات به‌دست‌آمده از راه بازدیدهای میدانی است. مهم‌ترین ابزارهای پژوهش شامل نرم‌افزار آرک جی.آی.اس.^۱ (به‌منظور تهیه نقشه و خروجی‌های نهایی) و GMT (به‌منظور انجام تداخل‌سنجی راداری) است. در جستار پیش رو به‌منظور بررسی اثرات زمین‌لرزه از گله بر لندفرم‌های منطقه مراحل زیر انجام شده است:

- **مرحله اول:** در این مرحله به‌منظور بررسی اثرات غیر مستقیم زمین‌لرزه از گله، ابتدا با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان جابه‌جایی عمودی منطقه محاسبه شده است. روش تداخل‌سنجی راداری یکی از روش‌هایی است که در اندازه‌گیری جابه‌جایی عمودی زمین به‌کار می‌رود، در این روش، تصاویر مختلف راداری که مقادیر فاز و دامنه موج برگشتی از عارضه به‌سمت سنجنده دارند، با یکدیگر تلفیق شده و تصویری به‌نام تداخل‌نگاشت^۲ تولید می‌شود. تداخل‌نگاشت تصویری است که از اختلاف فاز دو تصویر به‌دست آمده در دو زمان مختلف که از نظر هندسی به‌طور دقیق بر روی هم منطبق شده‌اند، حاصل می‌شود (دنیل^۳ و همکاران، ۲۰۰۳). لازم به ذکر است که ثبت هندسی دو تصویر طی دو مرحله به‌صورت دقیق انجام می‌شود (هانسن^۴، ۲۰۰۱). در یک تداخل‌نگاشت، اطلاعات اختلاف فاز دو تصویر که گویای اختلاف فاصله عارضه تا سنجنده در دو زمان تصویربرداری است، وجود دارد. به‌کمک مقدار اختلاف فاز می‌توان متغیرهای مختلف از جمله میزان جابه‌جایی سطح زمین تا کسری از سانتی‌متر و اطلاعات توپوگرافی سطح زمین را با دقت ده متر استخراج کرد. در پژوهش حاضر به‌منظور انجام تداخل‌سنجی راداری از دو تصویر سنتینل ۱ استفاده شده است (جدول ۱).

- **مرحله دوم:** پس از محاسبه میزان جابه‌جایی عمودی منطقه، میزان جابه‌جایی عمودی رخ داده در لندفرم‌های محدوده مورد مطالعه (دشت‌ها و دامنه‌ها) بررسی شده است که به‌عنوان اثرات نامحسوس زمین‌لرزه بر لندفرم‌ها به‌شمار می‌رود.

- **مرحله سوم:** در این مرحله اثرات محسوس زمین‌لرزه بر روی لندفرم‌ها ارزیابی شده است. روش کار به این صورت است که ابتدا نقشه میزان پیوستگی منطقه، پیش از وقوع زمین‌لرزه تهیه شده است. برای این منظور از تصاویر مربوط به تاریخ‌های ۲۰۱۷/۱۰/۲۶ و ۲۰۱۷/۱۱/۰۷ استفاده شده است. در واقع، به این صورت مناطقی که پیوستگی پایین دارند (بدون تأثیر زمین‌لرزه) شناسایی شده‌اند؛ سپس نقشه پیوستگی منطقه مربوط به پیش و پس از زمین‌لرزه (۲۰۱۷/۱۰/۲۶ و ۲۰۱۷/۱۱/۰۷) تهیه شده است. با استفاده از این روش، مناطقی که بدون تأثیر زمین‌لرزه پیوستگی پایینی داشته‌اند، شناسایی شده‌اند.

جدول ۱. مشخصات تصاویر مورد استفاده

ماهواره	تاریخ	نوع	حالت مداری	پلاریزیشن	بیس لاین
سنتینل ۱	۲۰۱۷/۱۱/۰۷	SLC	نزولی	۷۷	۰
سنتینل ۱	۲۰۱۷/۱۱/۱۹	SLC	نزولی	۷۷	۱۴/۲

- 1- Arc GIS
- 2- Interferogram
- 3- Daniel
- 4- Hanssen

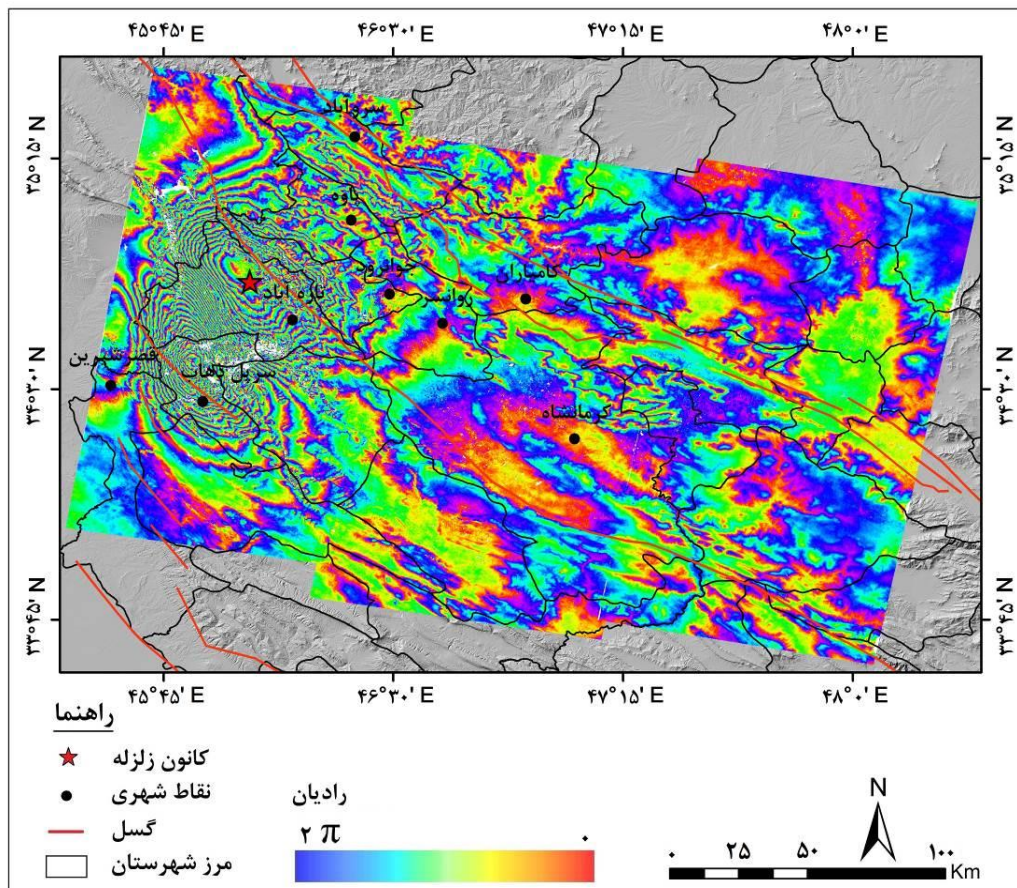
پس از شناسایی مناطق دارای پیوستگی پایین، مناطقی که پیش از زمین‌لرزه دارای پیوستگی بالا بوده‌اند، ولی پس از زمین‌لرزه پیوستگی آن‌ها پایین بوده، به‌عنوان مناطق آسیب‌دیده و دارای حرکت شناسایی شده است. پس از شناسایی این مناطق، نتایج، با نتیجه‌های به‌دست‌آمده از بازدیدهای میدانی (در بازدیدهای میدانی با استفاده از مصاحبه و همچنین مشاهدات میدانی، مناطقی که با حرکات دامنه‌ای روبه‌رو شده بودند، شناسایی شدند) مقایسه شده و سپس موقعیت دقیق مناطقی که با حرکات دامنه‌ای لغزش و ریزش روبه‌رو شده‌اند، شناسایی شده است.

نتایج

ارزیابی میزان جابه‌جایی عمودی منطقه

یکی از روش‌های بررسی تغییرات ناشی از زمین‌لرزه، استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری است. در این پژوهش به‌منظور تهیه نقشه میزان جابه‌جایی عمودی منطقه، ابتدا نقشه اینترفروگرام منطقه تهیه شده است (شکل ۲). بررسی نقشه اینترفروگرام تهیه‌شده بیانگر این است که مناطق غربی محدوده مطالعاتی که منطبق بر کانون زمین‌لرزه است، بیشترین تغییرات را داشته است.

پس از تهیه نقشه اینترفروگرام و انجام پیش‌پردازش‌های لازم، نقشه میزان جابه‌جایی عمودی منطقه تهیه شده است (شکل ۳). براساس نقشه جابه‌جایی منطقه، تحت تأثیر زمین‌لرزه ازگله، نیمه شمالی منطقه دچار فرونشست و نیمه جنوبی منطقه نیز با بالاآمدگی روبه‌رو شده است که براساس نتایج به‌دست‌آمده، ماکزیمم میزان فرونشست ۶۱۳ میلی‌متر بوده که بیشترین میزان آن در کانون زمین‌لرزه بوده و به‌سمت اطراف از میزان آن کاسته شده است و همچنین ماکزیمم میزان بالاآمدگی نیز ۹۱۷ میلی‌متر بوده است.

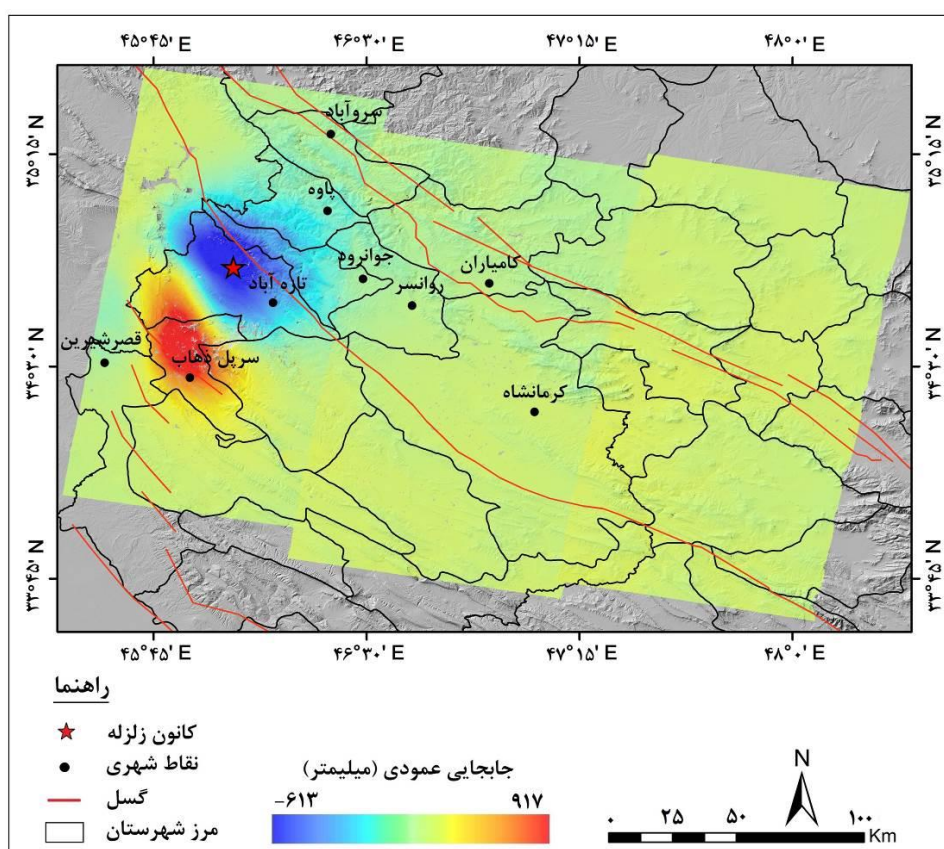


شکل ۲. نقشه اینترفروگرام منطقه مورد مطالعه (تصاویر پیش و پس از زمین‌لرزه)

بیشترین میزان آن نزدیک به کانون زمین‌لرزه بوده و به سمت اطراف آن میزان آن کاسته شده است. نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی میزان جابه‌جایی عمودی منطقه، بیانگر تأثیر قابل توجه زمین‌لرزه از گله در جابه‌جایی عمودی منطقه است که با توجه به اهمیت موضوع، در ادامه تأثیر این جابه‌جایی بر منطقه ارزیابی شده است.

ارزیابی اثرات زمین‌لرزه بر لندفرم‌های منطقه

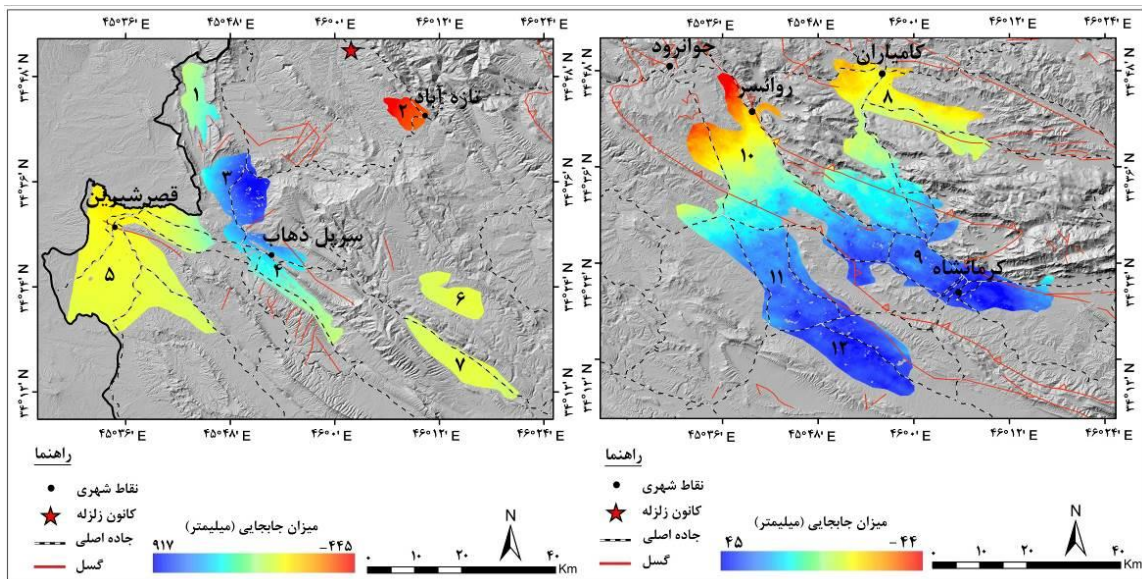
شکل زمین در گذر زمان تغییر می‌کند و این تغییرات می‌تواند به صورت دوره‌ای یا غیر دوره‌ای باشد. تغییر شکل زمین ممکن است مربوط به فرایندهای تکتونیکی مانند زمین‌لرزه، گسل، آتشفشان، زمین‌لغزش و فرایندهای انسانی مانند فعالیت معادن و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی باشد (آگوستان^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). یکی از انواع تغییرات شکل زمین مربوط به جابه‌جایی عمودی سطح زمین، یعنی فرونشست و بالاآمدگی است (دکلارک^۲ و همکاران، ۲۰۱۷) که می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله زمین‌لرزه ایجاد شود؛ از زمین‌لرزه‌هایی که سبب ایجاد تغییرات زیادی در منطقه شد، زمین‌لرزه از گله بوده است. این زمین‌لرزه سبب ایجاد تغییرات ارتفاع در واحدهای دشت، دامنه و نواحی کوهستانی شده است. این اثرگذاری در بسیاری از مناطق کاملاً محسوس (مانند دشت ذهاب که با تخریب گسترده نواحی سکونت‌گاهی همراه بوده است)، قابل مشاهده و در سطح گسترده‌ای صورت گرفته است و در مناطقی نیز به صورت نامحسوس (مانند دشت کرمانشاه که شواهد خاصی نداشته) بوده است. با توجه به اینکه بیشترین میزان تأثیر زمین‌لرزه از گله روی واحدهای دشت و دامنه بوده است، در این بخش تغییرات شکل گرفته بر این واحدها بررسی خواهد شد.



شکل ۳. نقشه میزان جابه‌جایی عمودی منطقه (پیش و پس از زمین‌لرزه)

ارزیابی تأثیر زمین لرزه ازگله بر دشتها

یکی از واحدهای ژئومورفولوژی که تحت تأثیر زمین لرزه ازگله قرار گرفته است، واحد دشت‌های منطقه است. نتایج ارزیابی‌ها بیانگر این است که این زمین لرزه به‌طور مستقیم سبب جابه‌جایی عمودی دشت‌های منطقه شده است که ارزیابی میزان جابه‌جایی صورت گرفته در هر کدام از این دشت‌ها بسیار مهم خواهد بود. در واقع ارزیابی‌های صورت گرفته روی دشت‌های منطقه بیانگر این است که در میزان جابه‌جایی عمودی منطقه، باید تمامی عوامل در نظر گرفته شود؛ برای مثال نمی‌توان فرونشست رخ داده در منطقه‌ای را فقط به افت سطح آب‌های زیرزمینی نسبت داد؛ زیرا براساس نتایج پژوهش حاضر، بسیاری از دشت‌ها تحت تأثیر حرکات تکتونیکی با فرونشست یا بالآمدگی روبه‌رو شده‌اند؛ بنابراین تغییرات صورت گرفته در هر کدام از دشت‌ها می‌تواند محاسبات مختلفی در برنامه‌ریزی‌های عمرانی، از جمله محاسبه میزان افت سطح آب زیرزمینی را با مشکل و خطا مواجه کند. ارزیابی جابه‌جایی صورت گرفته ناشی از زمین لرزه ازگله در دشت‌های منطقه بیانگر این است که تحت تأثیر این رخداد، دشت‌های منطقه بین ۹۱۷+ تا ۴۴۵- میلی‌متر جابه‌جایی داشته‌اند (شکل ۴). با توجه به اینکه کانون زمین لرزه در غرب محدوده مورد مطالعه بوده، بیشترین میزان تأثیر آن نیز در دشت‌های این منطقه بوده است. ارزیابی محاسبات صورت گرفته بیانگر این است که بیشترین میزان جابه‌جایی در دشت ذهاب رخ داده است، به طوری که این دشت تحت تأثیر زمین لرزه ازگله بین ۳۸۲ تا ۹۱۷ میلی‌متر بالآمدگی داشته است (جدول ۲).



شکل ۴. نقشه جابه‌جایی عمودی دشت‌های محدوده مورد مطالعه

جدول ۲. محاسبه میزان جابه‌جایی عمودی (بر حسب میلی‌متر) دشت‌ها محدوده مورد مطالعه بر اثر زمین لرزه ازگله

موقعیت در نقشه	نام دشت	حداکثر جابه‌جایی	حداقل جابه‌جایی	موقعیت در نقشه	نام دشت	حداکثر جابه‌جایی	حداقل جابه‌جایی
۱	سرقلعه	+۴۱۶	+۱۴۷	۷	کرند	+۷۶	+۸
۲	حر	-۴۳۸	-۲۹۴	۸	کامیاران	-۲۳	-۳
۳	ذهاب	+۹۱۷	+۳۸۲	۹	کرمانشاه	+۴۳	-۶
۴	دیره	+۵۸۲	+۱۲۰	۱۰	روانسر	-۴۳	+۶
۵	قصر شیرین	+۳۰۶	-۹۶	۱۱	سنجایی	+۲۹	-۱۰
۶	بیونج	+۶۱	+۴	۱۲	ماهیدشت	+۴۱	+۱۲

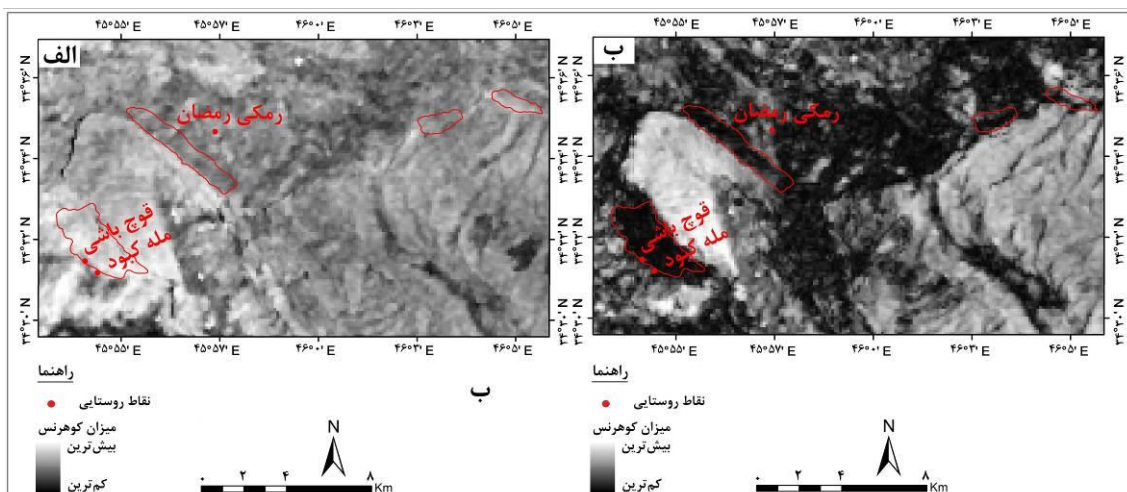
ارزیابی تأثیر زمین‌لرزه ازگله بر دامنه‌ها

یکی دیگر از اثرات زمین‌لرزه ازگله، تأثیر مستقیم بر وقوع حرکات دامنه‌ای بوده است. این زمین‌لرزه با توجه به قدرتی که داشته است، سبب تحریک دامنه‌های مستعد لغزش و ریزش شده و در نتیجه منجر به وقوع زمین‌لغزش و ریزش در آن دامنه‌ها شده است. اثر این زمین‌لرزه بر دامنه‌های منطقه به صورت محسوس و نامحسوس بوده است، به طوری که زمین‌لرزه ازگله در بسیاری از دامنه‌ها، سبب جابه‌جایی عمودی شده است؛ ولی لغزش و حرکات دامنه‌ای محسوسی مشاهده نشده است، همچنین در بعضی از نواحی همانند دامنه‌های روستای مله‌کبود، زمین‌لرزه سبب وقوع حرکات دامنه‌ای شده است که کاملاً محسوس است. در ادامه به تشریح حرکات دامنه‌ای رخ داده در منطقه تحت تأثیر زمین‌لرزه ازگله پرداخته شده است.

تأثیر زمین‌لرزه ازگله بر وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه

یکی از تأثیرات زمین‌لرزه، وقوع حرکات دامنه‌ای از نوع لغزش بوده است. زمین‌لرزه ازگله در ایجاد لغزش در مناطق مختلفی از محدوده مورد مطالعه تأثیر داشته است؛ از جمله مناطقی که با لغزش قابل توجهی روبه‌رو بوده، دامنه‌های ارتفاعات ریجاب و همچنین دامنه‌های شمالی دالاهو بوده است. در نوشتار پیش رو به منظور بررسی مناطقی که با لغزش مواجه شده است، از تصاویر راداری و بازدیدهای میدانی استفاده شده است. روش کار به این صورت است که ابتدا نقشه میزان پیوستگی منطقه، پیش از وقوع زمین‌لرزه تهیه شده؛ برای این منظور از تصاویر مربوط به تاریخ‌های ۲۰۱۷/۱۰/۲۶ و ۲۰۱۷/۱۱/۰۷ استفاده شده است. در واقع، به این صورت مناطقی که دارای پیوستگی پایین هستند (بدون تأثیر زمین‌لرزه) شناسایی شده است (شکل ۵ الف). سپس نقشه پیوستگی منطقه مربوط به پیش و پس از زمین‌لرزه (۲۰۱۷/۱۱/۰۷ و ۲۰۱۷/۱۱/۱۹) تهیه شده است (شکل ۵ ب). با استفاده از این روش، مناطقی که بدون تأثیر زمین‌لرزه دارای پیوستگی پایینی بوده‌اند، شناسایی شده‌اند.

بررسی نقشه میزان پیوستگی منطقه پس از وقوع زمین‌لرزه، بیانگر این است که میزان پیوستگی بسیاری از مناطق تحت تأثیر وقوع زمین‌لرزه پایین آمده که این به دلیل تأثیر مستقیم زلزله و ایجاد آشفستگی و حرکات زمین از جمله زمین‌لغزش در منطقه بوده است. پس از تهیه نقشه پیوستگی تصاویر، نقشه اینترفروگرام تصاویر نیز تهیه شده است. به منظور تهیه اینترفروگرام، ابتدا نقشه اینترفروگرام با ضریب پیوستگی ۰/۱۲ (شکل ۶ الف) تهیه شده است که در این اینترفروگرام، مناطقی که با لغزش روبه‌رو شده‌اند، به دلیل اینکه پیوستگی خیلی پایینی دارند، ماسک شده‌اند و دارای پیکسل‌های بدون ارزش هستند.



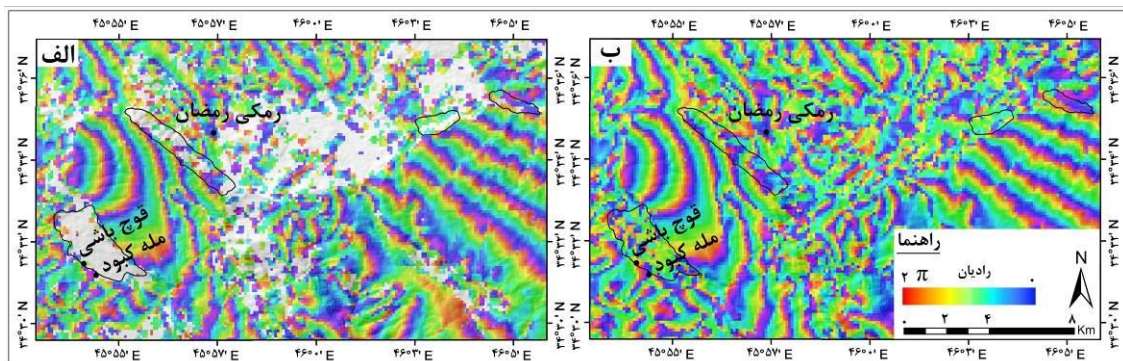
شکل ۵. نقشه پیوستگی تصاویر در دامنه‌های ریجاب: الف: پیش از وقوع زمین‌لرزه؛ ب: پس از وقوع زمین‌لرزه

در مرحله بعد، نقشه اینترفروگرام با ضریب پیوستگی $0/00001$ تهیه شده است (شکل ۶ ب). پس از تهیه نقشه اینترفروگرام، نقشه میزان جابه‌جایی عمودی منطقه نیز تهیه شد (شکل ۷) که براساس آن، دامنه‌های ریجاب تحت تأثیر زمین لرزه ازگله با بالآمدگی روبه‌رو شده است، این بالآمدگی تحت تأثیر زمین لغزش قرار گرفته و روند بالآمدگی را تغییر داده است.

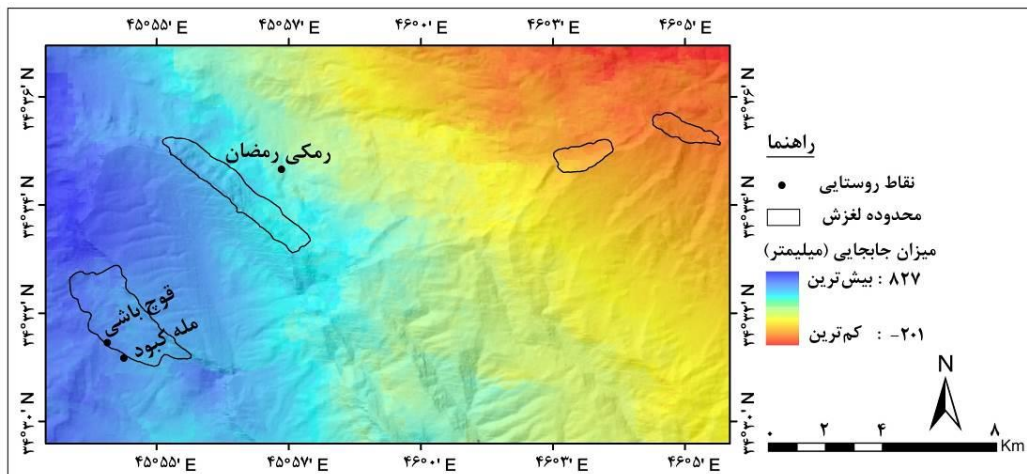
تأثیر زمین لرزه ازگله در وقوع ریزش‌های منطقه

زمین لرزه ازگله افزون بر ایجاد لغزش در منطقه، سبب وقوع ریزش‌های زیادی نیز شده که بیشتر آن‌ها در نزدیکی کانون زمین لرزه و در دامنه‌های مجاور راه‌های ارتباطی بوده است. علت این مسئله وجود مناطق پوشیده شده از مصالح منفصل لغزش‌های قدیمی، خردشدگی تکتونیکی شدید، شیب تند دامنه‌ها به‌علت تفاوت شدت فرسایش بین لایه‌های سخت رویی و لایه‌های نرم‌تر زیرین و غیره بوده است. با توجه به اهمیت موضوع، در پژوهش حاضر به سه مورد از مهم‌ترین ریزش‌های رخ داده ناشی از زمین لرزه ازگله پرداخته شده است. با توجه به اینکه ریزش‌ها به‌صورت پراکنده و در ابعاد کوچک‌تری نسبت به لغزش‌ها رخ داده است، نقشه پیوستگی منطقه مربوط به پیش و پس از زمین لرزه نشان داده شده است (شکل ۸).

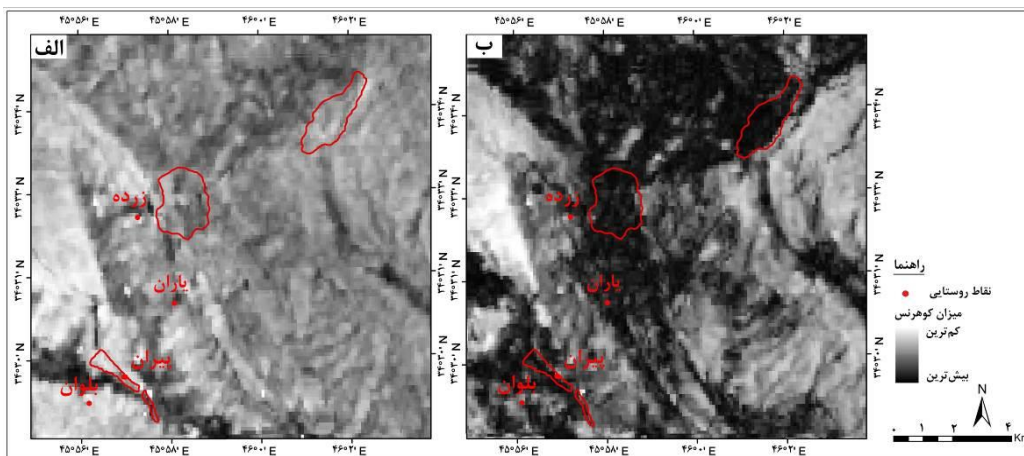
پس از تهیه نقشه پیوستگی تصاویر، نقشه اینترفروگرام تصاویر با ضریب پیوستگی $0/12$ و $0/00001$ تهیه شده است (شکل ۹). پس از تهیه نقشه اینترفروگرام، نقشه میزان جابه‌جایی عمودی منطقه نیز تهیه شده است (شکل ۱۰) که بر اساس آن، منطقه دارای ریزش حدود 664 میلی‌متر بالآمدگی و 106 میلی‌متر فرونشست داشته است.



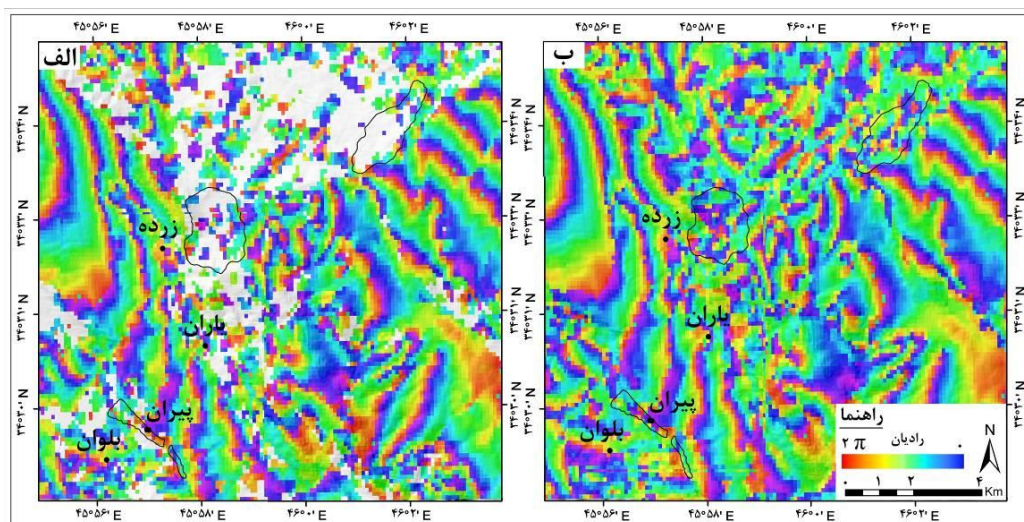
شکل ۶. نقشه اینترفروگرام دامنه‌های ریجاب: الف: ضریب پیوستگی $0/12$ ؛ ب: ضریب پیوستگی $0/00001$



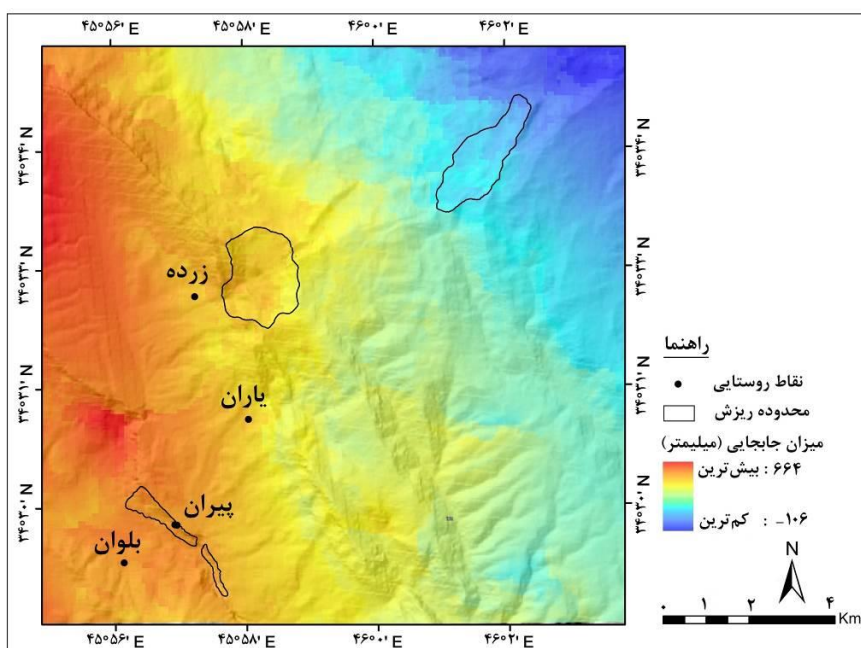
شکل ۷. نقشه میزان جابه‌جایی عمودی منطقه از تاریخ $2017/11/07$ تا $2017/11/19$



شکل ۸. نقشه پیوستگی مناطقی که دارای ریزش بوده است؛ الف: پیش از وقوع زمین‌لرزه؛ ب: پس از وقوع زمین‌لرزه



شکل ۹. نقشه اینترفروگرام مناطقی که دارای ریزش بوده است؛ الف: ضریب پیوستگی ۰/۱۲؛ ب: ضریب پیوستگی ۰/۰۰۰۰



شکل ۱۰. نقشه میزان جابه‌جایی عمودی منطقه از تاریخ ۲۰۱۷/۱۱/۰۷ تا ۲۰۱۷/۱۱/۱۹

بحث

زمین‌لرزه مخاطره طبیعی ناگهانی است که بخشی‌های زیادی از ایران در معرض آن قرار دارند. یکی از زمین‌لرزه‌هایی که در طی سال‌های اخیر در ایران رخ داد و سبب وارد شدن خسارات جانی و مالی زیادی شد، زمین‌لرزه ۷/۳ ریشتری ازگله کرمانشاه در تاریخ ۱۳۹۶/۰۸/۲۱ بوده است. این زمین‌لرزه با عوارض محسوس و نامحسوس زیادی همراه بوده است (گورابی، ۱۳۹۹)؛ از جمله عوارض محسوس آن می‌توان به تخریب نواحی سکونت‌گاهی، راه‌ها، پل‌ها و سایر تأسیسات و همچنین حرکات دامنه‌ای اشاره کرد که سبب کشته و زخمی شدن هزاران نفر در غرب استان کرمانشاه شد؛ اما این زمین‌لرزه، در کنار آثار محسوسی که برجای گذاشته است، آثار نامحسوسی نیز داشته است که توجه به آن‌ها بسیار مهم خواهد بود. از آثار نامحسوس زمین‌لرزه ازگله می‌توان به جابه‌جایی عمودی منطقه اشاره کرد (یانگ و همکاران، ۲۰۱۹) که سبب جابه‌جایی عمودی نواحی سکونت‌گاهی از جمله مناطق شهری شده است؛ همچنین این جابه‌جایی بر لندفرم‌های ژئومورفولوژی از جمله دشت‌ها و دامنه‌های واقع در محدوده مورد مطالعه نیز تأثیرات زیادی داشته است که این تأثیرات می‌تواند در بلندمدت آثار زیان‌باری در منطقه داشته باشد.

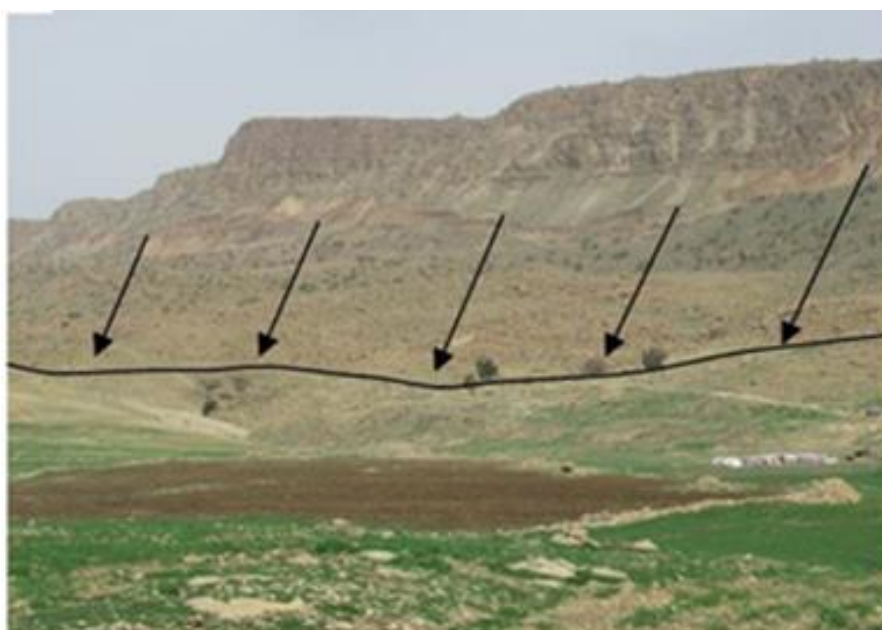
نتایج بررسی اثرات نامحسوس زمین‌لرزه ازگله بیانگر این است که این زمین‌لرزه نسبت به بسیاری از زمین‌لرزه‌های رخ داده در ایران از جمله زمین‌لرزه بم (سال ۱۳۸۲) که بین ۲۶- تا ۲۷+ میلی‌متر جابه‌جایی عمودی داشته است (واجیدیان و همکاران، ۱۳۹۰)، با جابه‌جایی عمودی بیشتری روبه‌رو شده است؛ به‌طوری که نتایج حاصل از تداخل‌سنجی راداری نشان داده است که محدوده مورد مطالعه بین ۶۱۳- تا ۹۱۷+ میلی‌متر جابه‌جایی عمودی داشته است (یانگ و همکاران، ۲۰۱۹). بررسی جابه‌جایی عمودی منطقه بیانگر این است که شهرهای واقع در منطقه نیز از زمین‌لرزه ازگله متأثر بوده‌اند، به‌طوری که شهر سرپل‌ذهاب با بالاآمدگی بین ۳۱۹ تا ۶۷۶ میلی‌متر روبه‌رو شده که همین مسئله سبب تخریب گسترده این شهر شده است.

زمین‌لرزه ازگله اثرات زیادی بر لندفرم‌های منطقه داشته است. یکی از اثرات مهم آن، جابه‌جایی عمودی دشت‌های واقع در منطقه است. در واقع تحت تأثیر زمین‌لرزه ازگله، دشت‌های واقع در منطقه با جابه‌جایی عمودی قابل توجهی روبه‌رو شده‌اند؛ به‌طوری که دشت‌های نزدیک به کانون زمین‌لرزه از جمله دشت ذهاب بین ۳۸۲ تا ۹۱۷ میلی‌متر بالاآمدگی داشته است. جابه‌جایی عمودی دشت‌ها افزون بر آثار زیان‌باری که در بلندمدت دارند، در کوتاه‌مدت نیز می‌تواند در بسیاری از محاسبات همچون محاسبه سطح آب زیرزمینی، میزان افت سطح آب و غیره اثرگذار باشد.

زمین‌لرزه‌ها افزون بر اثرات نامحسوسی که بر لندفرم‌ها دارند، با اثرات محسوس زیادی نیز همراه هستند. همانند زمین‌لرزه بم در سال ۱۳۸۲ (مهرابی و زعفرانی، ۱۳۹۸) و زمین‌لرزه ورزقان در سال ۱۳۹۱ (کرمی و همکاران، ۱۳۹۶) که زمین‌لرزه باعث تأثیر بر لندفرم‌ها از جمله دامنه‌ها شد، زمین‌لرزه ازگله نیز اثرات زیادی بر دامنه‌های منطقه برجای گذاشته است. در واقع، یکی دیگر از اثرات مهم زمین‌لرزه ازگله، ایجاد ناپایداری در دامنه‌ها و وقوع زمین‌لغزش و ریزش در دامنه‌های منطقه بوده است (گورابی، ۱۳۹۹). زمین‌لرزه ازگله با توجه به قدرتی که داشته است، نسبت به زمین‌لرزه‌های بم و ورزقان با تخریب و اثرگذاری بیشتری بر دامنه‌ها همراه بوده و همچنین میزان اثرگذاری آن در گستره بیشتری بوده است. در واقع، قدرت زیاد این زمین‌لرزه سبب تحریک دامنه‌های مستعد لغزش و ریزش شده و در نتیجه منجر به وقوع زمین‌لغزش و ریزش در آن دامنه‌ها شده است. اثر این زمین‌لرزه بر دامنه‌های منطقه به‌صورت محسوس و نامحسوس بوده است، به‌طوری که زمین‌لرزه ازگله در بسیاری از دامنه‌ها، سبب جابه‌جایی عمودی شده، ولی لغزش و حرکات دامنه‌ای محسوسی مشاهده نشده است؛ همچنین در

برخی از نواحی همانند از جمله دامنه‌های روستای رمکی رمضان، مله کبود و قوچ‌باشی، زمین‌لرزه سبب وقوع حرکات دامنه‌ای شده است که بسیار محسوس است (شکل ۱۱).

زمین‌لرزه از گله افزون بر ایجاد لغزش در منطقه، سبب وقوع ریزش‌های زیادی نیز شده است که بیشتر آن‌ها در نزدیکی کانون زمین‌لرزه و در دامنه‌های مجاور راه‌های ارتباطی از جمله مناطق نزدیک آبشار پیران بوده است (شکل ۱۲). علت این مسئله وجود مناطق پوشیده شده از مصالح منفصل لغزش‌های قدیمی، خردشدگی تکتونیک شیب تند دامنه‌ها به علت تفاوت شدت فرسایش بین لایه‌های سخت رویی و لایه‌های نرم‌تر زیرین و غیره بوده است.



شکل ۱۱. تصویری از زمین‌لغزش روستای مله کبود بر اثر زمین‌لرزه از گله



شکل ۱۲. تصویری از ریزش رخ داده در مناطق نزدیک آبشار پیران بر اثر زمین‌لرزه از گله

نتیجه گیری

یکی از اثرات مهم زمین لرزه‌ها، تأثیر بر لندفرمهای منطقه است. با توجه به بزرگای زمین لرزه، لندفرمها با تغییرات محسوس و نامحسوسی روبه‌رو می‌شوند که می‌توانند سبب بروز خسارت‌های زیادی شوند. در مورد اثرات زمین لرزه، پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته که بیشتر این مطالعات، اثرات محسوس زمین لرزه و میزان خسارات وارد شده را بررسی کرده‌اند؛ اما در نوشتار پیش رو اثرات محسوس و نامحسوس زمین لرزه بر لندفرمهای منطقه ارزیابی شده است. نتایج پژوهش حاضر بیانگر این است که تحت تأثیر زمین لرزه ازگله، نیمه شمالی منطقه دچار فرونشست و نیمه جنوبی نیز با بالآمدگی روبه‌رو شده است که بر اساس نتایج به‌دست آمده، ماکزیمم میزان فرونشست ۶۱۳ میلی‌متر بوده است که بیشترین میزان آن در کانون زمین لرزه بوده است و به سمت اطراف از میزان آن کاسته شده و همچنین ماکزیمم میزان بالآمدگی نیز ۹۱۷ میلی‌متر بوده است که بیشترین میزان آن نزدیک به کانون زمین لرزه بوده و به سمت اطراف از میزان آن کاسته شده است.

با توجه به جابه‌جایی عمودی رخ داده در منطقه، لندفرمهای منطقه نیز با جابه‌جایی زیادی مواجه شده‌اند؛ به طوری که دشت‌های واقع در منطقه نیز تحت تأثیر این جابه‌جایی بوده‌اند که بیشترین میزان جابه‌جایی با ۳۸۲ تا ۹۱۷ میلی‌متر بالآمدگی مربوط به دشت ذهاب بوده است. برخلاف دشت‌های منطقه که جابه‌جایی و تغییرات صورت گرفته در آنها به‌طور عمده به‌صورت نامحسوس بوده است، دامنه‌های واقع در منطقه افزون بر اثرات نامحسوس با اثرات محسوس زیادی نیز روبه‌رو شده‌اند. نتایج به‌دست آمده از روش تداخل‌سنجی راداری و همچنین بازدیدهای میدانی بیانگر این است که بسیاری از دامنه‌های منطقه از جمله دامنه‌های واقع در نزدیک روستاهای رمکی رمضان، مله کبود و قوچ‌باشی با زمین لغزش مواجه شده‌اند و همچنین بسیاری از دامنه‌ها، همچون دامنه‌های نزدیک به آبشار پیران و دره بابایادگار با ریزش روبه‌رو شده‌اند. مجموع نتایج حاصله از پژوهش بیانگر این است که زمین لرزه ازگله اثرات محسوس و نامحسوس زیادی بر منطقه داشته است که در بسیاری از مناطق از جمله دامنه‌های مله کبود این اثرات به‌صورت محسوس بوده است و در بسیاری از مناطق نیز مانند دشت‌های منطقه، این اثرات به‌صورت نامحسوس (فقط با جابه‌جایی عمودی) بوده است. اثرات نامحسوس زمین لرزه در دشت‌ها افزون بر آثار زیان‌باری که در بلندمدت دارند، در کوتاه‌مدت نیز می‌تواند در بسیاری از محاسبات از جمله محاسبه سطح آب زیرزمینی، میزان افت سطح آب و غیره اثرگذار باشد؛ همچنین این اثرات در دامنه‌ها نیز می‌تواند سبب گسیختگی و ناپایداری دامنه‌ها شود و زمینه را برای وقوع حرکات دامنه‌ای بعدی فراهم آورد.

منابع

- آقانباتی، سیدعلی (۱۳۸۵). زمین‌شناسی ایران. تهران: انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- زارع، مهدی؛ کامران‌زاد، فرناز (۱۳۹۳). پراکندگی لرزه‌خیزی در ایران، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۱ (۴)، ۳۹-۵۸.
- کریمی، فریبا؛ بیاتی‌خطیبی، مریم؛ ملکی، شهرام (۱۳۹۶). بررسی مخاطرات ناشی از زلزله اهر ورزقان در حوضه سرندچای و پیرامون آن. مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۶ (۱۴)، ۱۵۳-۱۶۸.
- گورابی، ابوالقاسم (۱۳۹۹). کمی‌سازی زمین لغزش بزرگ مله کبود ناشی زمین لرزه ۷/۳ سال ۱۳۹۶ کرمانشاه با استفاده از اینترفرومتری. مجله تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۱ (۶۰)، ۱-۲۰.
- مقصودی، یاسر؛ امانی، رضا؛ احمدی، حسن (۱۳۹۸). بررسی رفتار فرونشست زمین در منطقه غرب تهران با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل ۱ و تکنیک تداخل‌سنجی راداری مبتنی بر پراکنش‌گرهای دائمی. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵ (۱)، ۲۹۹-۳۱۳.

مهرابی، حمید؛ زعفرانیه، سعید (۱۳۹۸). تخمین وسعت تخریب ناشی از زلزله با استفاده از تداخل‌سنجی راداری و تصاویر نوری (مطالعه موردی: زلزله ۱۳۸۲ بم). *نشریه مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*، ۷ (۴)، ۱۵۷-۱۷۳.

مهرابی، علی؛ پورخسروانی، محسن (۱۳۹۷). اندازه‌گیری میزان جابه‌جایی سطح زمین ناشی از زلزله ۱۳۸۳ داهوئیه (زرند) استان کرمان و شناسایی گسل عامل آن با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری. *مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۷ (۱)، ۶۱-۷۳.

واجدیان، ساناز؛ سراجیان، محمدرضا؛ منصوری، بابک (۱۳۹۰). استخراج میدان جابه‌جایی سه‌بعدی با استفاده از فن تداخل‌سنجی رادار با دریچه مصنوعی (SAR)؛ بررسی موردی گسل بم. *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۷ (۲)، ۸۳-۹۶.

References

- Abir, I. A., Khan, S. D., Ghulam, A., Tariq, S. & 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 (1), 265-275.
- Aghanbati, S. A. (1385). Geology of Iran. *Publications of the Geological Survey and Mineral Exploration of Iran*. (In Persian)
- Agustan, A., Sulaiman, A. & Ito, A. (2016). Measuring Deformation in Jakarta through Long Term Synthetic Aperture Radar (SAR) Data Analysis. *2nd International Conference of Indonesian Society for Remote Sensing (ICOIRS)*.
- Al-Taie A. J. & Albusoda, B. S. (2019). Earthquake hazard on Iraqi soil: Halabjah earthquake as a case study. *Geodesy and Geodynamics*, 10 (3), 196-204.
- Aslan, G., Cakir, Z., Lasserre, C. & Renard, F. (2019). Investigating Subsidence in the Bursa Plain, Turkey, Using Ascending and Descending Sentinel-1 Satellite Data. *Remote Sensing*, 11 (1), 1-17.
- Bartels, S. A. & Van Rooyen, M. J. (2012). Medical complications associated with earthquakes. *Lancet*, 379 (9817), 748-757.
- Bateson, L., Cigna, F., Boon, D. & 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 (1), 249-257.
- Bozzano, F., Esposito, C., Franchi, S., Mazzanti, P., Perissin, D. & 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 Sensing of Environment*, 168 (1), 219-238.
- Cigna, F., Novellino, A., Colm, J. Sowter, A. (2015). 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. & 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 (4), 468-478.
- Declercq, P., Walstra, J., Gérard, P., Pirard M. E., Perissin, D., Meyvis, B. & Devleeschouwer, X. (2017). A Study of Ground Movements in Brussels (Belgium) Monitored by Persistent Scatterer Interferometry over a 25-Year Period. *Geosciences*, 7 (4), 1-17.
- Du, Y., Feng, G., Peng, X. & Li, Z. (2017). Subsidence Evolution of the Leizhou Peninsula, China, Based on InSAR Observation from 1992 to 2010. *Applied Sciences*, 7 (5), 1-18
- Farfel, A., Assa, A., Amir, I., Bader, I., Bartal, C. & Kreiss, Y. (2011). Haiti earthquake 2010: a field hospital pediatric perspective, *Eur J Pediatr*, 170 (4), 519-525.
- Gorabi, A. (1399). Quantification of the Great Landslide caused by the Kermanshah earthquake on 7/3/2017 using interferometry. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 21 (60), 1-20 (In Persian).
- 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. & Le, T. T. (2016). Measuring ground subsidence in Hanoi city by radar interferometry. *Science and Technology Development Journal*, 19 (2), 122-129.
- Hu, B., Chen, X. & Zhang, X. (2019). Using Multisensor SAR Datasets to Monitor Land Subsidence in Los Angeles from 2003 to 2017. *Sensors*, 1 (1), 1-15.
- Karami, F., Bayati Khatibi, M. & Maleki, S. (2017). Investigation of hazards caused by Ahar Varzeqan earthquake in and around Sarand Chay basin, *Journal of Natural Environment Hazard*, 6 (14), 168-153. (In Persian)
- Maghsoudi, Y., Amani, R. & Ahmadi, H. (1398). Investigation of land subsidence behavior in the western region of Tehran using Sentinel 1 sensor images and radar interferometry technique based on permanent dispersants. *Journal of Research in Water Resources Iran*, 15 (1), 313-299. (In Persian)
- Mehrabi, A. & Pourkhosravani, M. (1397). Measuring the amount of surface displacement caused by the 2004 Dahouieh (Zarand) earthquake in Kerman province and identifying its fault using radar interferometry method. *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 7 (1), 63-71. (In Persian)
- Mehrabi, H. & Zaefaranieh, S. (2009). Estimating the extent of earthquake damage using radar interferometry and optical images (Case study: 2003 Bam earthquake). *Journal of Spatial Information Technology Engineering*, 7 (4), 157-173. (In Persian)
- Nguyen Hao, Q. & Takewaka, S. (2019). Detection of Land Subsidence in Nam Dinh Coast by Dinsar Analyses, *International Conference on Asian and Pacific Coasts*, pp: 1287-1294.
- Pan, S. T., Cheng, Y.Y. & 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.
- Roy, T. & Matsagar, V. (2020). Probabilistic assessment of steel buildings installed with passive control devices under multi-hazard scenario of earthquake and wind. *Structure and Infrastructure Engineering*, 85 (1), 1-17
- Sawada, Y., Nakazawa, H., Take, W. A. & Kawabata, T. (2019). Full scale investigation of GCL damage mechanisms in small earth dam retrofit applications under earthquake loading. *Geotextiles and Geomembranes*, 47 (4), 502-513.
- Vajdian, S., Serajian, M. R. & Mansoori, B. (2011). Extraction of three-dimensional displacement field using artificial radar interferometer (SAR) technique; Case study of Bam fault. *Journal of Earth and Space Physics*, 37 (2), 83-96. (In Persian)
- Xu, Z., Lu, X., Cheng, Q., Guan, H., Deng, L. & Zhang, Z. (2018). A smart phone-based system for post-earthquake investigations of building damage. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 27 (1), 214-222.
- Yang, C., Han, B., Zhao, C., Du, J., Zhang, D. & Zhu, S. (2019). Co- and post-seismic Deformation Mechanisms of the MW 7.3 Iran Earthquake (2017) Revealed by Sentinel-1 InSAR Observations, *Remote sensing*, 11 (418), 1-17.
- Yazdanian, M., Ingham, J. M., Lomax, W., Wood, R. & Dizhur, D. (2020). Damage observations and remedial options for approximately 1500 legged and flat-based liquid storage tanks following the 2016 Kaikōura earthquake. *Structures*, 24 (1), 357-376.
- Yousuf, M., Bukhari, S. K., Bhat, G. R., Ali, A. (2020). Understanding and managing earthquake hazard visa viz disaster mitigation strategies in Kashmir valley, NW Himalaya. *Progress in Disaster Science*, 5 (1), 1-11.
- Zare, M. & Kamranzade, F. (2014). Seismic scattering in Iran. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 1 (4), 39-58. (In Persian)
- Zhang, Y., Liu, Y., Jin, M., Jing, Y., Liu, Y., Liu, Y., Sun, W., Wei, J. & Chen, Y. (2019). Monitoring Land Subsidence in Wuhan City (China) using the SBAS-InSAR Method with Radarsat-2 Imagery Data. *Sensors*, 19 (3), 1-16
- Zhao, Q., Ma, G., Wang, Q., Yang, T., Liu, M., Gao, W., Falabella, F., Mastro, P. & 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. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 154 (1), 10-27.

