پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال دوازدهم، شماره ۱، تابستان ۱۴۰۲
صص. ۱۳-۱

ارزیابی میزان جابجایی سطح زمین در دشت کرمانشاه و تاثیر زلزله ازگله بر روند جابجایی با استفاده از روش SBAS

حمید گنجائیان – دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
مجتبی یمانی* – استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
ابوالقاسم گورابی– دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
مهران مقصودی– دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۲۹ تائید نهایی: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱

چکیده

امروزه مخاطرات ناشی از جابجایی زمین نقش اساسی در مدیریت محیط طبیعی و جوامع انسانی دارد. تحقیق حاضر با استفاده از روش تداخل سنجی راداری به ارزیابی میزان جابجایی عمودی زمین در یکی از مهم‌ترین دشت‌های ایران (کرمانشاه) و تاثیر زلزله بزرگ ۱۳۹۶/۰۸/۲۱ ازگله پرداخته است. در این راستا از تصاویر سنتینل-۱ مربوط به سه بازه زمانی ۲۰۱۶/۱۱/۲۴ تا ۲۰۱۷/۱۱/۰۷ (قبل از زلزله) و ۲۰۱۷/۱۱/۰۷ تا ۲۰۱۷/۱۱/۱۹ (قبل و بعد از زلزله) و همچنین ۲۰۱۶/۱۱/۲۴ تا ۲۰۱۷/۱۱/۱۹ (بعد از زلزله) استفاده شده‌اند. در این تحقیق ابتدا میزان جابجایی بازه زمانی اول با استفاده از روش سری زمانی SBAS (۱۳ تصویر) محاسبه شده است. سپس با استفاده از ۲ تصویر قبل و بعد از زلزله، میزان تغییرات ناشی از زلزله ارزیابی شده است و در نهایت با استفاده از روش سری زمانی SBAS (۱۴ تصویر) میزان تغییرات بازه زمانی سوم محاسبه شده است. نتایج ارزیابی‌ها بیانگر است که محدوده مطالعاتی در بازه زمانی اول بین ۱۰۷+ تا ۴۰- میلی‌متر، در بازه زمانی دوم (قبل و بعد از زلزله) بین ۲۲+ تا ۴۶- میلی‌متر و در بازه زمانی سوم بین ۱۰۲+ تا ۳۳- جابجایی داشته است. با توجه به میزان بالاآمدگی قابل توجه محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی مورد مطالعه، پیشنهاد می‌گردد که در بررسی میزان جابجایی عمودی هر منطقه باید نقش عوامل تکتونیکی، از جمله زلزله‌ها را مورد توجه قرار دارد.

واژگان کلیدی: دشت کرمانشاه، تداخل سنجی راداری، نوزمینساخت، زلزله ازگله، SBAS.

* نویسنده مسئول: E-mail: myamani @ut.ac.ir

مقدمه

شکل زمین در گذر زمان تغییر می‌کند و این تغییرات می‌تواند به صورت دوره‌ای و یا غیر دوره‌ای باشد. تغییر شکل زمین ممکن است مربوط به فرآیندهای تکتونیکی مانند زمین‌لرزه، گسل، آتشفشان، زمین‌لغزش و فرآیندهای انسانی مانند فعالیت معادن و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی باشد (آگوستان و همکاران[۱]، ۲۰۱۶: ۲). فرونشست و بالاآمدگی یکی از مهمترین تغییرات شکل زمین است (دکلارک و همکاران[۲]، ۲۰۱۷ : ۲) که ارتباط مستقیمی با وضعیت زمین ساختی مناطق دارد. سرزمین ایران به عنوان بخشی از زون فعال زمین ساختی آلپ – هیمالیا در طول زمان تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی زیادی قرارگرفته است که پیدایش رشته کوه‌های زاگرس -مکران و البرز -کپه داغ در فلات ایران در اثر زیر راندگی صفحات عربستان -اقیانوس هند از لندفرم‌های منتج از این همگرایی است (گورابی و امامی، ۱۳۹۶: ۷۵). با توجه به وضعیت تکتونیکی فلات ایران، این فلات با ناآرامی‌های زیادی مواجه است، که از جمله مناطق ناآرام، واحد زاگرس شمال غرب است که در طی سال‌های اخیر شاهد وقوع زلزله‌های زیادی بوده است. بر این اساس می‌توان گفت که مخاطرات محیطی از جمله جابجایی عمودی مناطق به طور مستقیم با وضعیت تکتونیکی و ژئومورفولوژیکی مناطق در ارتباط است (گودی[۳]، ۲۰۰۴: ۴۲۳).

با توجه به اهمیت تغییرات عمودی سطح زمین، در این زمینه تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که از جمله تحقیقات صورت گرفته می‌توان به لی و همکاران[۴] (۲۰۱۴) اشاره کرد که به بررسی میزان جابجایی عمودی زمین در نزدیکی خطوط مترو از بوستون تا شانگ‌های با استفاده از تصاویر چند زمانه راداری پرداختند. در این تحقیق از تصاویر راداری تاریخ‌های ۲۱ آوریل ۲۰۰۸ و ۳۰ اکتبر ۲۰۱۰ استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که میزان جابجایی عمودی در محدوده مورد مطالعه ۱۲/۹– تا ۱۴– میلی‌متر در سال است. تانگ مین و همکاران[۵] (۲۰۱۵) به ارزیابی میزان جابجایی عمودی در شهر چی مین پرداختند. برای این منظور از روش تداخل سنجی راداری و داده‌های ALOS PALSAR استفاده شده است. در این تحقیق میزان جابجایی عمودی در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ مورد ارزیابی قرارگرفته شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که پس از چهار سال، در مناطق ساحلی رودخانه سای گون و در جنوب غربی شهر، زمین تا ۱۲– سانتی‌متر جابجایی داشته است. نادودواری[۶](۲۰۱۶)، با استفاده از تداخل سنجی راداری و استفاده از روش SBAS به بررسی میزان جابجایی عمودی در سیلسیا در بین سال‌های ۱۹۹۳–۲۰۰۰ و ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ پرداخته است. نتایج تحقیق بیانگر این است که در منطقه مورد مطالعه بهره‌برداری‌های معدن ذغال سنگ سبب شده است تا شهرهای بایتوم، کاتویس و پیکاری حدود ۵ تا ۷ سانتی‌متر فرونشست در سال مواجه باشد. دیو و همکاران[۷] (۲۰۱۷) به ارزیابی میزان جابجایی عمودی در شبه جزیزه لیژاوو در چین با استفاده از تصاویر راداری پرداختند. در این تحقیق از روش تداخل سنجی راداری و تصاویر سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۰ استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که بیش‌ترین میزان جابجایی عمودی در نوار خط ساحلی بوده است به طوری که این محدوده دارای ۳۲ میلی‌متر فرونشست در سال بوده است در حالی که میزان فرونشست در زمین‌ها داخلی بین ۱۰ تا ۱۹ میلی‌متر در سال بوده است. ژاو و همکاران[۸] (۲۰۱۷) به تجزیه وتحلیل میزان جابجایی زمین در دشت شرقی پکن پرداختند. در این تحقیق بر اساس ۴۷ تصویر TerraSAR-X SAR از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۱۵ میزان جابجایی عمودی منطقه مورد ارزیابی قرار گرفته شده است.

---

1. Agustan et al
2. Declercq et al
3. Goudie
4. Li et al
5. Tong Minh et al
6. Nádudvari
7. Du et al
8. Zhou et al

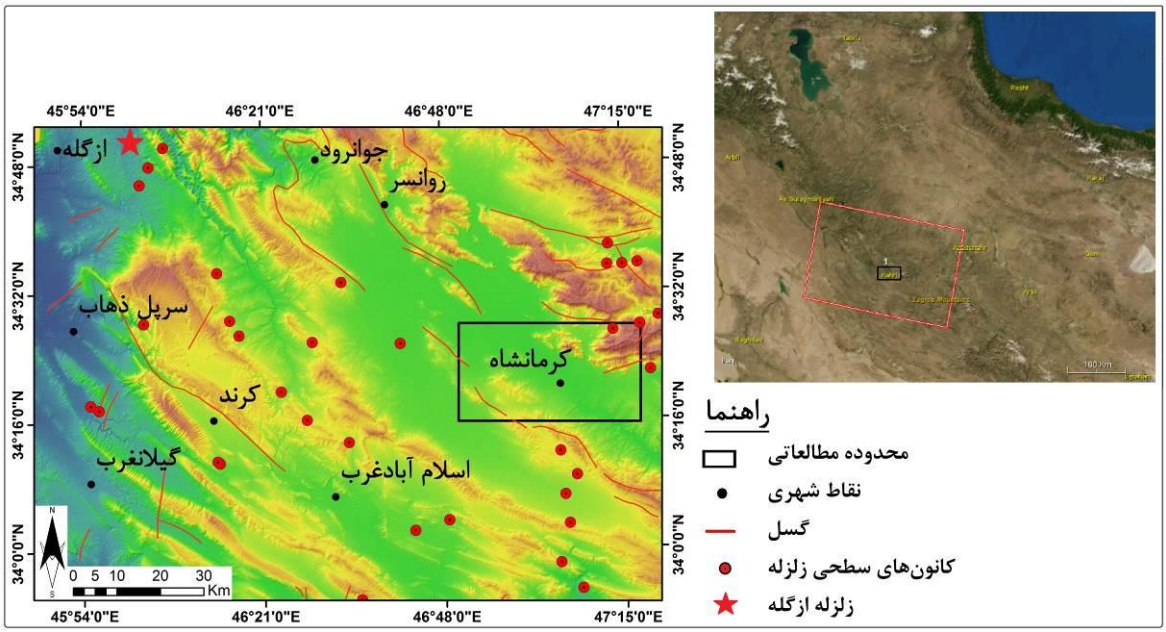
نتایج این تحقیق بیانگر این است که حداکثر میزان جابجایی عمودی منطقه از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ برابر با ۱۴۶- (فرونشست) میلی‌متر در سال است. در ایران نیز صالحی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی میزان جابجایی دشت مهیار جنوبی پرداختند. در این تحقیق از روش تداخل سنجی راداری استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که بیشینه نرخ جابجایی با استفاده از تصاویر راداری ماهواره ENVISAT در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶، ۸/۲- سانتی‌متر در سال بوده است. میرشاهی و همکاران (۱۳۹۲) به اندازه‌گیری جابجایی عمودی سطح زمین در جنوب غربی تهران به کمک تکنیک تداخل سنجی راداری با استفاده از تصاویر TerraSAR-X پرداختند. در این تحقیق از دو روش تداخل سنجی متداول و بازپراکنش کننده دائمی استفاده شده است. در نتیجه استفاده از این مجموعه داده، نرخ فرونشست بیشینه برآورد شده و چگالی بازپراکنش کننده‌های شناسایی شده در مقایسه با داده‌های پیشین به میزان قابل توجهی افزایش یافته‌اند. همچنین نتایج حاصل از دو روش انطباق خوبی با یکدیگر نشان می‌دهند. پیری و رحمانی (۱۳۹۵) به بررسی میزان جابجایی زمین در شمال دریاچه ارومیه پرداختند. برای این منظور جهت تعیین محدوده تحت تاثیر و نهایتا برآورد میزان جابجایی از روش تداخل سنجی راداری به عنوان روشی مطمئن برای اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین با دقت بسیار، پوشش وسیع و قدرت تفکیک مکانی بالا استفاده شده است. در این تحقیق از تصاویر راداری ماهواره ENVISAT در بازه زمانی ۲۰۰۹-۲۰۱۰ استفاده شده است که نتایج حاصل از آن میزان ۶ سانتی‌متر حداکثر فرونشست را در دشت تسوج و ۳ سانتی‌متر حداقل فرونشست در بازه زمانی یک سال را نشان می‌دهد. صفاری و جعفری (۱۳۹۵) به سنجش مقدار و پهنه بندی خطر فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی راداری در دشت کرج –شهریار پرداختند. در این تحقیق از داده‌های راداری ماهواره Envisat به‌منظور پایش جابجایی سطح زمین ناشی از فرونشست در دشت کرج – شهریار استفاده شده است. جهت پردازش تصاویر رادار بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ از روش Stamps و نیز جهت کاهش خطاهای ناشی از خط مبنای زمانی و مکانی از تحلیل سری زمانی با روش SBAS استفاده شده است. نتایج حاصل از فرایند تداخل سنجی راداری انجام شده بیانگر نرخ نشست متوسط سالانه حداکثر ۱۳۶ میلی‌متر در بازه زمانی مورد اشاره است. مطابق موارد مذکور در تحقیق حاضر به ارزیابی میزان جابجایی زمین در محدوده مطالعاتی پرداخته شده است. در این تحقیق بر خلاف بسیاری از تحقیقات قبلی میزان جابجایی زمین در بازه‌های زمانی متفاوت و تحت تاثیر عوامل مختلف ارزیابی شده است. با توجه به موارد مذکور در این تحقیق به ارزیابی میزان جابجایی زمین در دشت کرمانشاه تحت تاثیر زلزله ازگله پرداخته شده است.

دشت کرمانشاه به دلیل قرارگرفتن در زاگرس چین‌خورده از نظر تکتونیکی فعال می‌باشد، بنابراین پتانسیل زیادی در میزان جابجایی سطح زمین دارد. با توجه به اینکه ارزیابی و بررسی فرآیندهای تکتونیکی فعال و ارزیای میزان جابجایی‌های صورت گرفته در مقیاس ملی، ناحیه‌ای و منطقه‌ای در ایران جهت مدیریت مخاطرات ناشی از آن‌ها مثل زلزله‌ها و لغزش‌های بزرگ و ... برای بسیاری از فعالیت‌های انسانی همچون طراحی و احداث شهرها، نیروگاه‌ها، بندرها و اسکله‌ها، فرودگاه‌ها، تأسیسات نظامی–امنیتی، سدها و مراکز صنعتی از اهمیت بالایی برخوردار است (گورابی و امامی، ۱۳۹۶: ۷۵)، در تحقیق حاضر سعی بر آن شده است تا به ارزیابی میزان جابجایی عمودی دشت کرمانشاه در طی سال‌های اخیر و عوامل تاثیرگذار بر آن پرداخته شود.

محدوده مطالعاتی

محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر شامل محدوده شهری کرمانشاه و نواحی مجاور آن است. چارچوب محدوده بر اساس اهداف تحقیق در نظر گرفته شده است (شکل ۱). دشت کرمانشاه از اطراف به ارتفاعات پراو، بیستون و کوه سفید منتهی می‌شود. این دشت از نظر تقسیمات ژئومورفولوژیکی در محدوده زاگرس چین خورده قرار دارد (علایی طالقانی، ۱۳۸۳) و از نظر تکتونیکی جزء مناطق فعال محسوب می‌شود که در طی سال‌های گذشته کانون زلزله‌های زیادی بوده است (پاینده

و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۰۵). همچنین از نظر آب و هوایی نیز با توجه به قرارگیری در مسیر بادهای غربی، دارای بارش قابل توجهی است.



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

امروزه محاسبه جابه‌جایی‌های رخ دادها در سطح زمین با استفاده از فناوری تداخل‌سنجی رادار، قابلیت‌های منحصر بفردی از نظر ابعاد، هزینه، زمان و دقت نسبت به دیگر تکنیک‌های سنجش دارد (بابایی و همکاران، ۱۳۹۵). بر همین اساس در تحقیق حاضر با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و استفاده از سری زمانی SBAS به ارزیابی میزان جابجایی عمودی دشت کرمانشاه و ارتباط میزان این جابجایی با زلزله ۷٫۳ ازگله کرمانشاه (تاریخ ۱۳۹۶/۰۸/۲۱) پرداخته شده است. در این پژوهش میزان جابجایی برای ۳ بازه زمانی محاسبه شده است:

(۱) بازه زمانی اول از تاریخ ۲۰۱۶/۱۱/۲۴ تا ۲۰۱۷/۱۱/۷ است و شامل ۱۳ تصویر سنتینل ۱ می‌باشد.

(۲) بازه زمانی دوم از تاریخ ۲۰۱۷/۱۱/۰۷ تا ۲۰۱۷/۱۱/۱۹ (قبل و بعد از زلزله) می‌باشد

(۳) و بازه زمانی سوم نیز که به منظور ارزیابی تاثیر زلزله بر روند تغییرات و محاسبات به منظور اهداف مختلف انتخاب شده است از تاریخ ۲۰۱۶/۱۱/۲۴ تا ۲۰۱۷/۱۱/۱۹ (شامل ۱۴ تصویر) می‌باشد.

تکنیک تداخل سنجی راداری: یکی از روش‌هایی که در اندازه‌گیری فرونشست زمین به کار می‌رود، روش تداخل سنجی راداری است. 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. تداخل نگاشت تصویری است که از اختلاف فاز دو تصویر بدست آمده در دو زمان مختلف که از نظر هندسی به طور دقیق بر روی هم منطبق شده‌اند، حاصل می‌شود (دنیل و همکاران[۱]، ۲۰۰۳). لازم به ذکر است که ثبت هندسی دو تصویر طی

۱. Daniel et al

دو مرحله به صورت تقریبی و دقیق انجام می‌شود (هانسن[۱]، ۲۰۰۱). در یک تداخل نگاشت اطلاعات اختلاف فاز دو تصویر که گویای اختلاف فاصله عارضه تا سنجنده در دو زمان تصویربرداری است، وجود دارد. به کمک مقدار اختلاف فاز می‌توان متغیرهای مختلف از جمله میزان جابجایی سطح زمین تا کسری از سانتی‌متر و اطلاعات توپوگرافی سطح زمین را با دقت بیش‌تر از متر استخراج کرد.

روش سری زمانی SBAS

پس از تهیه تداخل نگارها و انجام تصحیحات مختلف بر روی آن‌ها، با توجه به اینکه هر تداخل نگار شامل منطقه بزرگی با همبستگی متفاوت است، بنابراین نتایج آن قابل اعتماد نیست به همین دلیل روش تداخل سنجی یک جفت تصویر راداری به تنهایی نمی‌تواند تغییرات صورت گرفته را نشان دهد. در این راستا برای حل مشکل، روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که یکی از آن‌ها روش سری زمانی SBAS است (ژائو[۲]، ۲۰۱۳). در این روش تنها زوج تصاویری مورد استفاده قرار می‌گیرند که مؤلفه قائم خط مبنای آن‌ها کمتر از مقدار بحرانی خط مبنا باشد، همچنین خط مبنا زمانی[۳] آن‌ها نیز همزمان کمینه باشد. به این ترتیب، فقط تداخل نگارهایی تشکیل می‌شوند که کیفیت مناسبی داشته باشند. پس از تشکیل این تداخل‌نگارها، یک شبکه از تصاویر ایجاد می‌شود، سپس با استفاده از روش کم‌ترین مربعات، مقدار جابجایی هر پیکسل تخمین زده می‌شود (دونگ و همکاران[۴]، ۲۰۱۴).

مراحل انجام کار

در این تحقیق به منظور ارزیابی میزان جابجایی عمودی دشت کرمانشاه در طی سه دوره زمانی، از تصاویر ماهواره سنتینل[۵] ۱ استفاده شده است. در جدول ۱ مشخصات تصاویر مورد استفاده نشان داده شده است. انتخاب تصاویر بر مبنای هدف تحقیق بوده است. جهت حرکت ماهواره در هر دو تصویر نزولی و از قطب شمال به طرف قطب جنوب تصویر برداری شده است. از قطبش VV استفاده گردیده، زیرا قطبش‌های هم‌سان داری پراکنش قوی‌تری هستند.

جدول ۱: مشخصات تصاویر مورد استفاده

Polarization	حالت مداری	نوع تصویر	Beam	تاریخ	ماهواره
VV	نزولی	SLC	IW	۲۰۱۶/۱۱/۲۴	سنتینل ۱
VV	نزولی	SLC	IW	۲۰۱۶/۱۲/۱۸	سنتینل ۱
VV	نزولی	SLC	IW	۲۰۱۷/۰۱/۱۱	سنتینل ۱
VV	نزولی	SLC	IW	۲۰۱۷/۰۲/۱۶	سنتینل ۱
VV	نزولی	SLC	IW	۲۰۱۷/۰۳/۱۲	سنتینل ۱
VV	نزولی	SLC	IW	۲۰۱۷/۰۴/۱۷	سنتینل ۱
VV	نزولی	SLC	IW	۲۰۱۷/۰۵/۱۱	سنتینل ۱
VV	نزولی	SLC	IW	۲۰۱۷/۰۶/۱۶	سنتینل ۱

۱. Hanssen

۲. Zhou

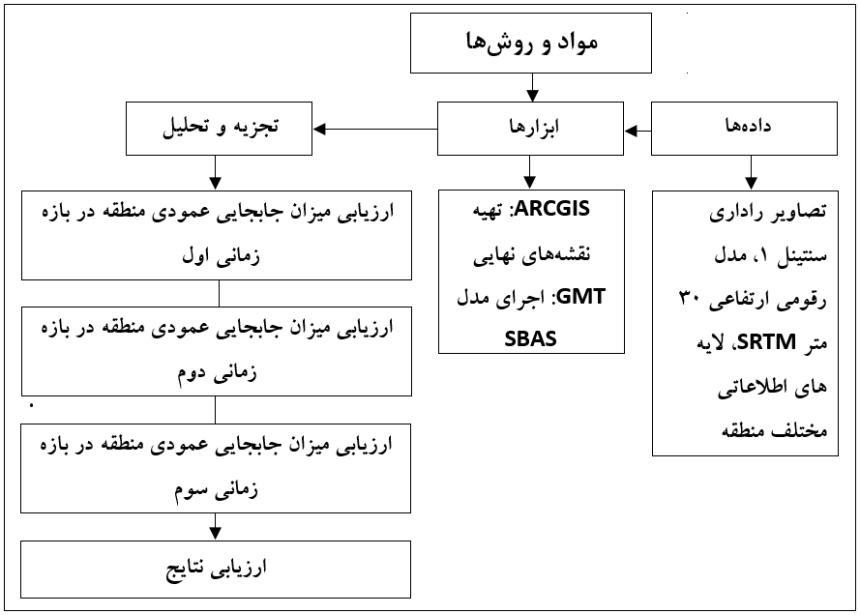
۳. Temporal baseline

۴. Dong et al

۵. Sentinel

VV	نزولی	SLC	IW	۲۰۱۷/۰۷/۱۰	سنتینل ۱
VV	نزولی	SLC	IW	۲۰۱۷/۰۸/۱۵	سنتینل ۱
VV	نزولی	SLC	IW	۲۰۱۷/۰۹/۲۰	سنتینل ۱
VV	نزولی	SLC	IW	۲۰۱۷/۱۰/۱۴	سنتینل ۱
VV	نزولی	SLC	IW	۲۰۱۷/۱۱/۰۷	سنتینل ۱
VV	نزولی	SLC	IW	۲۰۱۷/۱۱/۱۹	سنتینل ۱

پس از تهیه تصاویر مورد نیاز، ابتدا با استفاده از روش سری زمانی SBAS، میزان جابجایی زمین از تاریخ ۲۰۱۶/۱۱/۲۴ تا ۲۰۱۷/۱۱/۰۷ (بازه زمانی اول) با استفاده از ۱۳ تصویر محاسبه شده است. سپس به منظور ارزیابی میزان تغییرات در بازه زمانی دوم (۲۰۱۷/۱۱/۰۷ تا ۲۰۱۷/۱۱/۱۹) از روش تداخل سنجی راداری و ۲ تصویر قبل و بعد از زلزله استفاده شده است که در واقع در این بازه، تغییرات ناشی از زلزله بدست آمده است. همچنین به منظور ارزیابی تغییرات در بازه زمانی سوم از روش سری زمانی و ۱۴ تصویر از تاریخ (۲۰۱۶/۱۱/۲۴ تا ۲۰۱۷/۱۱/۱۹) استفاده شده است. در شکل ۲ فلوچارت مواد و روش‌های نشان داده شده است.



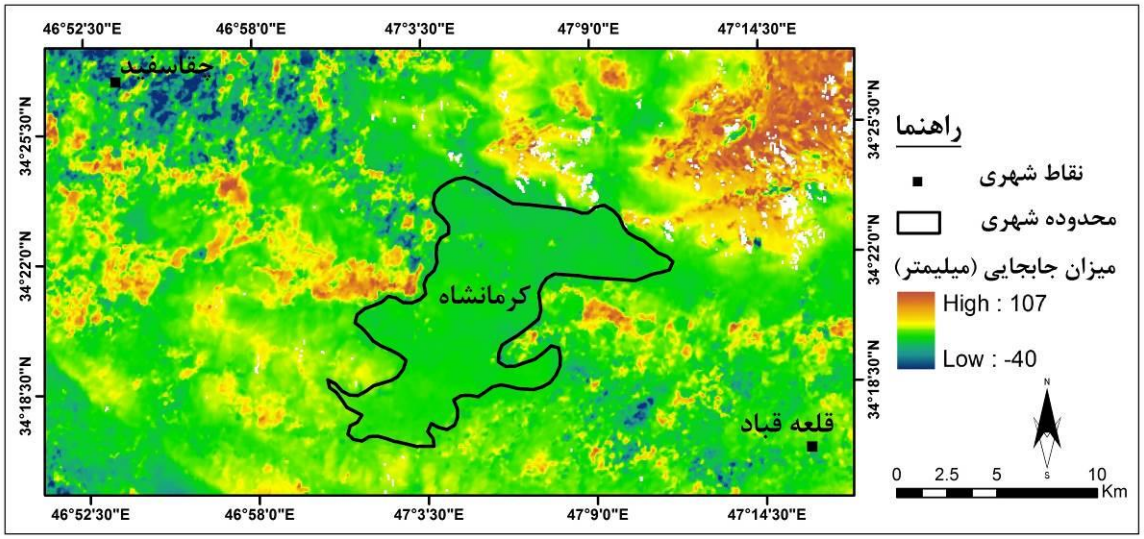
شکل ۲: فلوچارت مواد و روش‌ها

بحث و نتایج

ارزیابی میزان جابجایی عمودی منطقه از تاریخ ۲۰۱۶/۱۱/۲۴ تا ۲۰۱۷/۱۱/۰۷ (قبل از وقوع زلزله)

با توجه به نقش و اهمیتی که میزان جابجایی سطح زمین و عوامل موثر بر آن دارد، در تحقیق حاضر ابتدا به ارزیابی میزان جابجایی دشت کرمانشاه از تاریخ ۲۰۱۶/۱۱/۲۴ تا ۲۰۱۷/۱۱/۰۷ پرداخته شده است. در واقع با توجه به اینکه هدف تحقیق حاضر ارزیابی تاثیر زلزله ازگله بر میزان جابجایی دشت کرمانشاه است، در این بازه زمانی میزان جابجایی دشت کرمانشاه بدون تاثیر زلزله ازگله مورد ارزیابی قرار گرفته شده است که برای این منظور با استفاده از ۱۳ تصویر راداری سنتینل ۱ و روش سری زمانی SBAS، نقشه میزان جابجایی عمودی در بازه زمانی مورد نظر تهیه شده است (شکل ۳). بر اساس نقشه مذکور، محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی یک ساله بین ۱۰۷+ تا ۴۰- میلی‌متر جابجایی داشته است. نتیجه بدست آمده بیانگر این است که عوامل تکتونیکی در این منطقه نقش مهمی در میزان جابجایی عمودی منطقه دارند، چرا

که وجود ۱۰۷ میلی‌متر بالاآمدگی در منطقه می‌تواند به طور مستقیم متاثر از عوامل تکتونیکی باشد. همچنین در این بازه زمانی محدوده مطالعاتی ۴۰ میلی‌متر فرونشست داشته است که در مناطق شمال غرب و جنوب شرق محدوده شهری کرمانشاه بوده است که این میزان می‌تواند متاثر از عوامل مختلف تکتونیکی و همچنین افت سطح زمین ناشی از برداشت-های بی رویه از آب‌های زیرزمینی باشد.

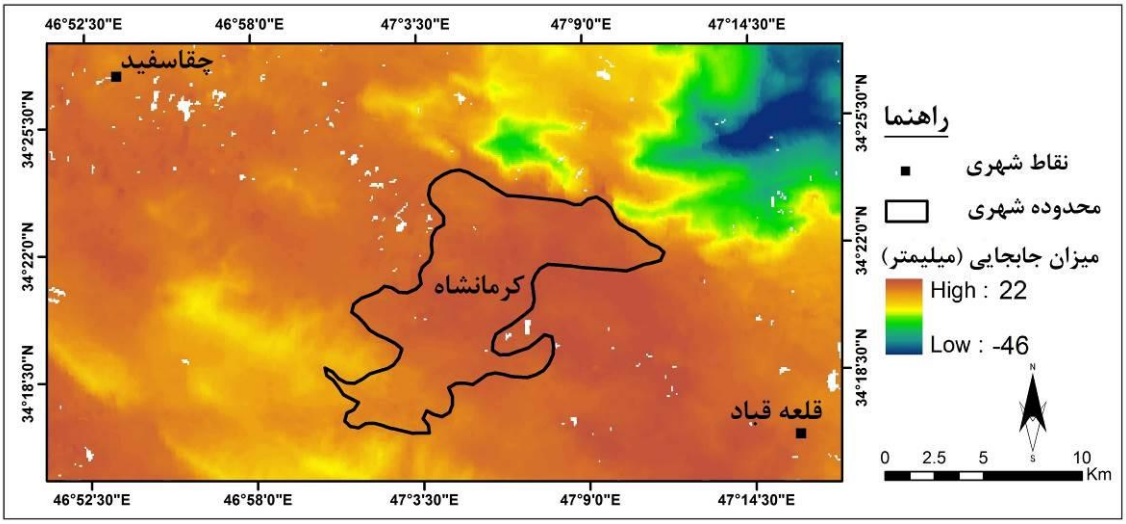


شکل ۳: نقشه میزان جابجایی عمودی منطقه در بازه زمانی اول (از تاریخ ۲۰۱۶/۱۱/۲۴ تا ۲۰۱۷/۱۱/۰۷)

ارزیابی میزان جابجایی عمودی منطقه (تاثیر زلزله ازگله) از تاریخ ۲۰۱۷/۱۱/۰۷ تا ۲۰۱۷/۱۱/۱۹

زمین لرزه ازگله در تاریخ ۱۲ نوامبر ۲۰۱۷ رخ داده است. مطابق هدف تحقیق حاضر، به منظور ارزیابی تاثیر زلزله ازگله، و مقایسه آن با جابجایی طبیعی (بالاآمدگی و فرنشست) دشت کرمانشاه از تصاویر قبل (۲۰۱۷/۱۱/۰۷) و بعد از زلزله (۲۰۱۷/۱۱/۱۹) استفاده شده است. برای محاسبه میزان جابجایی عمودی زمین در این بازه زمانی، از روش تداخل سنجی راداری استفاده شده است که پس از تهیه نقشه اینترفروگرام، نقشه میزان جابجایی منطقه تهیه شده است (شکل ۴). بر اساس نتیجه بدست آمده، محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۱۲ روزه قبل و بعد از زلزله بین ۲۲+ و ۴۶ـ میلی‌متر جابجایی عمودی داشته است که با توجه به دوره زمانی کوتاه مدت، می‌توان آن را به طور مستقیم به زلزله ازگله نسبت داد. چرا که تحت تاثیر زلزله ازگله، مناطق مجاور کانون اصلی بین ۹۰+ تا ۳۰ـ سانتیمتر جابجایی داشته است (یانگ[۱] و همکاران، ۲۰۱۹: ۵) و این جابجایی به سمت مناطق اطراف از جمله دشت کرمانشاه کم‌تر شده است. با توجه به موارد مذکور می‌توان گفت که زلزله ازگله کرمانشاه سبب ایجاد تغییرات قابل توجهی در وضعیت جابجایی عمودی محدوده مطالعاتی شده است.

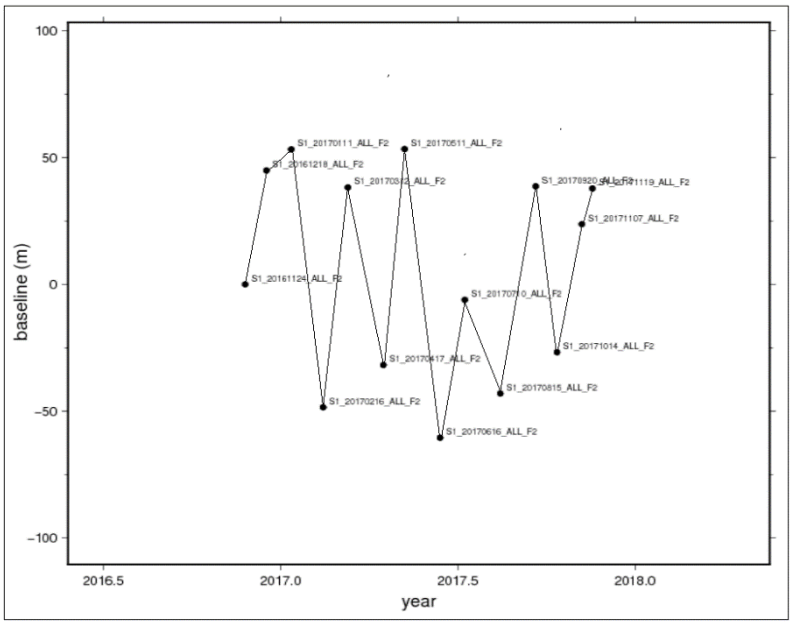
۱. Yang



شکل ۴: تاثیر زلزله ازگله بر جابجایی عمودی منطقه مورد مطالعه (از تاریخ ۲۰۱۷/۱۱/۰۷ تا ۲۰۱۷/۱۱/۱۹)

ارزیابی میزان جابجایی عمودی منطقه از تاریخ ۲۰۱۶/۱۱/۲۴ تا ۲۰۱۷/۱۱/۱۹

بازه زمانی سوم که در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفته شده است از تاریخ ۲۰۱۶/۱۱/۲۴ تا ۲۰۱۷/۱۱/۱۹ بعد از وقوع زلزله می‌باشد. هدف از انتخاب این بازه زمانی ارزیابی تاثیر زلزله در میزان جابجایی و نقش آن در میزان محاسبات صورت گرفته است. در این تحقیق به منظور انجام مراحل تداخل سنجی راداری و انجام روش سری زمانی SBAS برای بازه‌های زمانی مورد مطالعه در مجموع از ۱۴ تصویر راداری سنتینل ۱ استفاده شده است که بر اساس بیس‌لاین‌های زمانی، اینترفروگرام‌های مورد نظر تهیه شده است. در شکل ۵ نقشه وضعیت بیس لاین زمانی و مکانی تصاویر نشان داده شده است و در جدول ۲ نیز نحوه انتخاب تصاویر برای تهیه اینترفروگرام نشان داده شده است.

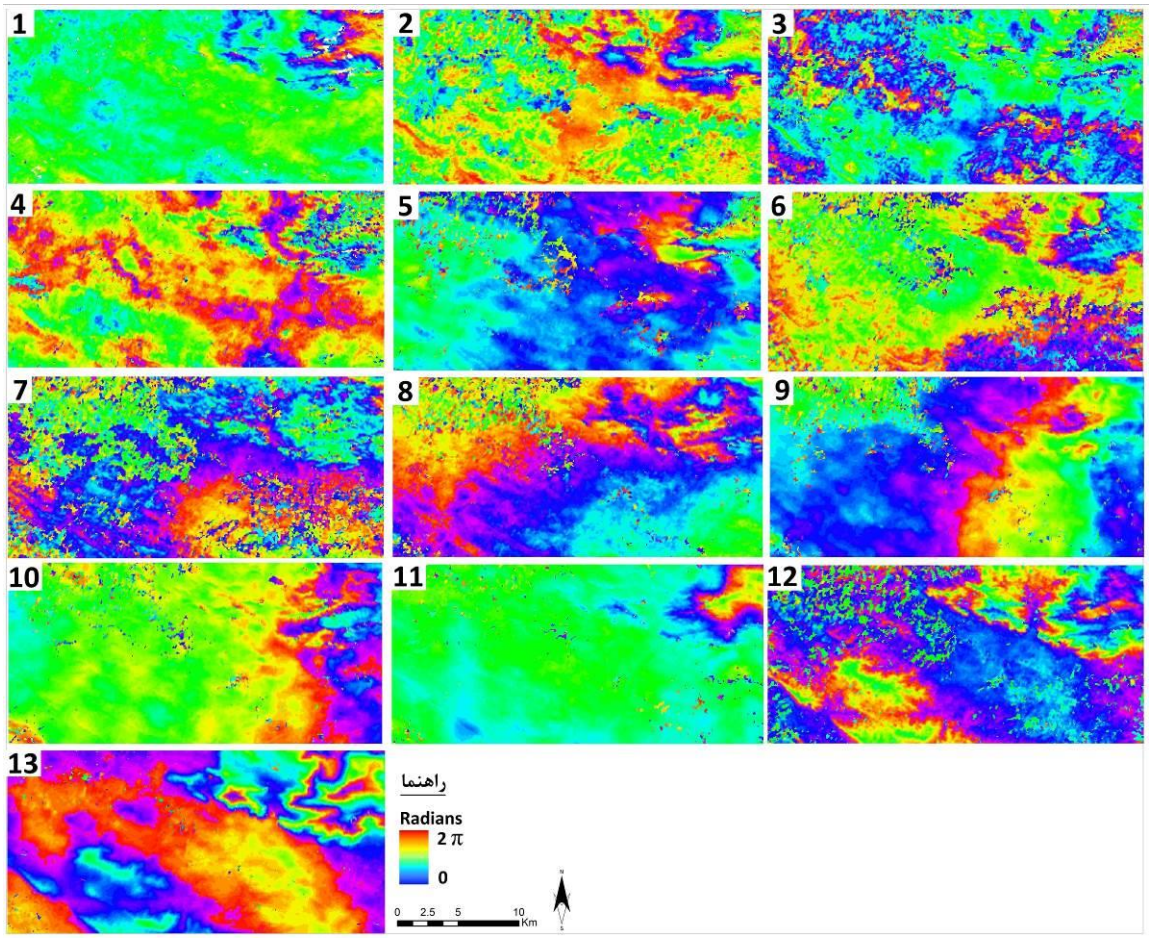


شکل ۵: نحوه انتخاب بیس لاین زمانی و مکانی تصاویر (نقاط تصاویر و خطوط ممتد اینترفروگرام ها را نشان می دهند)

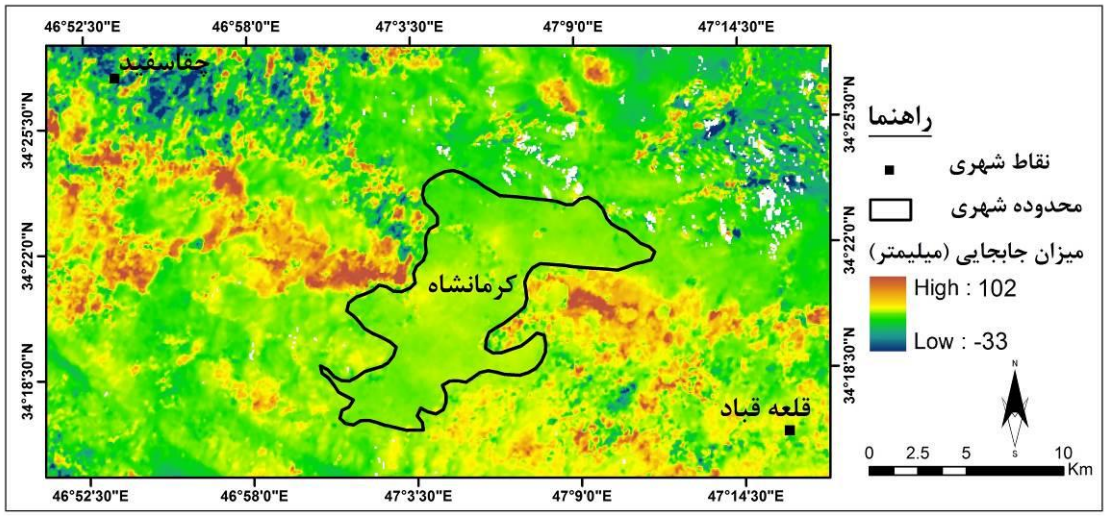
جدول ۲: زوج تصاویر انتخابی جهت تشکیل اینترفروگرام

ردیف	بازه اول	بازه دوم	بازه سوم	زوج تصاویر
۱	*		*	۲۰۱۶/۱۱/۲۴–۲۰۱۶/۱۲/۱۸
۲	*		*	۲۰۱۶/۱۲/۱۸–۲۰۱۷/۰۱/۱۱
۳	*		*	۲۰۱۷/۰۱/۱۱–۲۰۱۷/۰۲/۱۶
۴	*		*	۲۰۱۷/۰۲/۱۶–۲۰۱۷/۰۳/۱۲
۵	*		*	۲۰۱۷/۰۳/۱۲–۲۰۱۷/۰۴/۱۷
۶	*		*	۲۰۱۷/۰۴/۱۷–۲۰۱۷/۰۵/۱۱
۷	*		*	۲۰۱۷/۰۵/۱۱–۲۰۱۷/۰۶/۱۶
۸	*		*	۲۰۱۷/۰۶/۱۶–۲۰۱۷/۰۷/۱۰
۹	*		*	۲۰۱۷/۰۷/۱۰–۲۰۱۷/۰۸/۱۵
۱۰	*		*	۲۰۱۷/۰۸/۱۵–۲۰۱۷/۰۹/۲۰
۱۱	*		*	۲۰۱۷/۰۹/۲۰–۲۰۱۷/۱۰/۱۴
۱۲	*		*	۲۰۱۷/۱۰/۱۴–۲۰۱۷/۱۱/۰۷
۱۳		*	*	۲۰۱۷/۱۱/۰۷–۲۰۱۷/۱۱/۱۹

در این بازه زمانی نیز پس از تهیه تصاویر و انتخاب زوج تصاویر به منظور تشکیل اینترفروگرام، نقشه‌های اینترفروگرام مورد نظر تهیه شده است (شکل ۶). پس از تهیه اینترفروگرام با استفاده از روش سری زمانی SBAS، نقشه میزان جابجایی عمودی محدوده مطالعاتی در بازه زمانی سوم تهیه شده است (شکل ۷). بر اساس نتیجه بدست آمده، در این بازه زمانی محدوده مطالعاتی بین ۱۰۲+ تا ۳۳ـ میلی‌متر جابجایی داشته است که جابجایی مثبت آن (بالاآمدگی) عمدتا مربوط به مناطق جنوبی محدوده مطالعاتی است و جابجایی منفی (فرونشست) آن نیز شامل مناطق شمالی محدوده است که این روند جابجایی کاملا منطبق بر جابجایی صورت گرفته ناشی از زلزله ازگله است. بنابراین زلزله ازگله در میزان جابجایی بدست آمده در بازه زمانی سوم، نقش مستقیم داشته است.



شکل ۶: نقشه‌های اینترفروگرام تهیه شده برای زوج تصاویر انتخابی (بر اساس جدول ۱)



شکل ۷: نقشه میزان جابجایی عمودی منطقه در بازه زمانی سوم (از تاریخ ۲۰۱۶/۱۱/۲۴ تا ۲۰۱۷/۱۱/۱۹)

تحلیل نتایج

ارزیابی نتایج بیانگر این است که زلزله ازگله کرمانشاه در میزان جابجایی عمودی دشت کرمانشاه نقش مستقیمی داشته است. نتیجه حاصله از محاسبه جابجایی عمودی در بازه زمانی اول بیانگر این است که مناطق شمال غرب و جنوب شرق محدوده شهری کرمانشاه دارای فرونشست و ارتفاعات شمال شرق و جنوب غرب دارای بالاآمدگی بوده است اما این روند تحت تاثیر زلزله ازگله دچار تغییر شده است، به طوری که زلزله ازگله سبب بالاآمدگی بخش‌های زیادی از محدوده مطالعاتی بخصوص نواحی جنوبی آن شده است و همچنین سبب فرونشست در مناطق شمال شرق محدوده مطالعاتی شده است، بنابراین نتیجه بدست آمده در بازه زمانی سوم، با تغییزات زیادی همراه بوده است، به این صورت گرفته که ارتفاعات شمال شرق کرمانشاه که در بازه زمانی اول دارای بالاآمدگی بوده است، در این بازه با فرونشست همراه بوده است که دلیل آن زلزله ازگله کرمانشاه بوده است. همچنین مناطق جنوب شرقی محدوده شهری کرمانشاه که در بازه زمانی اول دارای فرونشست بوده است، به دلیل تاثیر مستقیم زلزله ازگله، در بازه زمانی سوم با بالاآمدگی مواجه شده است. بنابراین می‌توان گفت که زلزله ازگله ضمن تغییر در روند جابجایی عمودی دشت کرمانشاه، می‌تواند نتایج محاسبات مختلف در این زمینه را تحت تاثیر قرار دهد.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیتی که میزان جابجایی سطح زمین در تمامی برنامه‌ریزی‌ها دارد در تحقیق حاضر وضعیت جابجایی دشت کرمانشاه مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. برای این منظور از قابلیت روش تداخل سنجی راداری در تعیین پهنه و گستره منطقه استفاده شده است. بر خلاف بسیاری از مطالعات قبلی که فقط به بررسی فرونشست ناشی از بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی پرداخته شده است، در این تحقیق در کنار تاثیر این عامل، تاثیر عوامل تکتونیک نیز بر میزان فرونشست و بالاآمدگی منطقه مورد ارزیابی قرارگرفته شده است. نتایج حاصل از محاسبات بیانگر این است که دشت کرمانشاه در طی یک دوره زمانی یک ساله بین ۱۰۲+ تا ۳۳ـ میلی‌متر جابجایی عمودی داشته است که در این جابجایی عوامل مختلفی موثر بوده است. در این تحقیق به منظور بررسی عوامل موثر در این جابجایی، از ۳ بازه زمانی جهت ارزیابی میزان جابجایی عمودی منطقه استفاده شده است. در بازه زمانی اول به ارزیابی میزان جابجایی عمودی منطقه از تاریخ ۲۰۱۶/۱۱/۲۴ تا ۲۰۱۷/۱۱/۰۷ (قبل از زلزله) پرداخته شده است. نتایج بدست آمده بیانگر این است که محدوده مطالعاتی در این بازه زمانی بین ۱۰۷+ تا ۴۰– میلی‌متر جابجایی داشته است. با توجه به اینکه میزان جابجایی مثبت (بالاآمدگی) بیش‌تر از جابجایی منفی (فرونشست) بوده است و همچنین با توجه به وضعیت تکتونیکی منطقه، می‌توان عامل اصلی جابجایی صورت گرفته را به عوامل تکتونیکی نسبت داد، هر چند که در میزان فرونشست مناطق شمال غرب و جنوب شرق محدوده شهری کرمانشاه عواملی دیگر مانند افت آب‌های زیرزمینی می‌تواند تاثیر داشته باشد. در بازه زمانی دوم به ارزیابی میزان جابجایی عمودی زمین از تاریخ ۲۰۱۷/۱۱/۰۷ تا ۲۰۱۷/۱۱/۱۹ (قبل و بعد از زلزله) پرداخته شده است که نتایج بدست آمده بیانگر این است که محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۱۲ روزه قبل و بعد از زلزله بین ۲۲+ و ۴۶ـ میلی‌متر جابجایی عمودی داشته است که با توجه به دوره زمانی کوتاه مدت، می‌توان آن را به طور مستقیم به زلزله ازگله نسبت داد. همچنین در بازه زمانی سوم نیز میزان جابجایی عمودی منطقه از تاریخ ۲۰۱۶/۱۱/۲۴ تا ۲۰۱۷/۱۱/۱۹ (بعد از زلزله) محاسبه شده است. نتایج بدست آمده بیانگر این است که در این بازه زمانی نیز محدوده مطالعاتی بین ۱۰۲+ تا ۳۳ـ میلی‌متر جابجایی داشته است، اما نکته مهم و قابل توجه در این بازه زمانی، تاثیر زلزله ازگله در میزان و روند جابجایی در محدوده مطالعاتی است. در واقع، نتایج ارزیابی‌ها بیانگر این است که در بازه زمانی اول، مناطق شمال غرب و جنوب شرق محدوده شهری کرمانشاه دارای فرونشست و مناطق شمال شرق و جنوب غربی دارای بالاآمدگی بوده است، این در حالی است که ارتفاعات شمال شرق کرمانشاه که در بازه زمانی اول دارای بالاآمدگی بوده است، در این بازه با فرونشست همراه بوده است که دلیل آن

زلزله ازگله کرمانشاه بوده است. همچنین مناطق جنوب شرقی محدوده شهری کرمانشاه که در بازه زمانی اول دارای فرونشست بوده است، به دلیل تاثیر مستقیم زلزله ازگله، در بازه زمانی سوم با بالاآمدگی مواجه شده است. بنابراین می‌توان گفت که زلزله ازگله ضمن تغییر در روند جابجایی عمودی دشت کرمانشاه، می‌تواند نتایج محاسبات مختلف در این زمینه را تحت تاثیر قرار دهد.

یکی از دستاوردهای تحقیق حاضر این است که در مطالعات مربوط به میزان فرونشست و بالامدگی باید تمامی شرایط حاکم بر منطقه از جمله افت آب‌های زیرزمینی و تکتونیک منطقه در نظر گرفته شود چرا که میزان جابجایی عمودی یک منطقه تحت تاثیر مجموعه‌ای از عوامل مختلف قرار دارد. در واقع تحقیق حاضر نشان داده است که اگر فقط از بازه زمانی سوم جهت بررسی وضعیت جابجایی منطقه استفاده می‌شد، مناطق شمال شرق محدوده کرمانشاه که در طول یک دوره زمانی یک ساله دارای بالاآمدگی بوده است، به عنوان مناطق دارای فرونشست تشخیص داده می‌شد. همچنین بخش‌هایی از مناطق شرقی دشت کرمانشاه که دارای فرونشستی حدود ۱۰ میلی‌متر بوده است، به عنوان مناطق دارای بالاآمدگی تشخیص داده می‌شد. با توجه به موارد مذکور می‌توان گفت که در روند جابجایی عمودی منطقه علاوه بر روند تدریجی و پیوسته ناشی از عوامل تکتونیکی و انسانی، یک عامل ناگهانی همانند زلزله می‌تواند تغییرات زیادی را ایجاد کند. بنابراین در انجام محاسبات مختلف از جمله محاسبات مربوط به محاسبه افت سطح آب‌های زیرزمینی باید عوامل تاثیر عوامل تکتونیکی و میزان جابجایی عمودی ناشی از آن نیز در نظر گرفته شود،

منابع

- بابایی، سیدساسان؛ موسوی، زهرا؛ روستایی، مه آسا (۱۳۹۵)، آنالیز سری زمانی تصاویر راداری با استفاده از روش‌های طول خط مبنای کوتاه (SBAS) و پراکنش کننده‌های دائمی (PS) در تعیین نرخ فرونشست دشت قزوین، نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره پنجم ، شماره ۴
- پاینده، زینب؛ ثروتی، محمدرضا؛ شفیغی، فاطمه (۱۳۹۵)، ارزیابی فعالیت‌های نوزمین ساختی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک (مطالعه موردی: شمال غرب طاقدیس کبیرکوه)، مجله پژوش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۴، شماره ۴، صص ۱۱۸-۱۰۴
- پیری، حامد؛ رحمانی، ابوالفضل (۱۳۹۵)، بررسی میزان فرونشست شمال دریاچه ارومیه با استفاده از روش تداخل سنجی راداری اینترفرومتری –InSAR–، (مطالعه موردی: دشت تسوج)، کنفرانس بین المللی پیامدهای جغرافیایی و اثرات زیست محیطی شرایط دریاچه ارومیه
- صالحی، رضا؛ غفوری، محمد؛ لشکری پور، غلامرضا؛ دهقانی، مریم (۱۳۹۱)، بررسی فرونشست دشت مهیار جنوبی با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال ۳، شماره ۱۱
- صفاری، امیر؛ جعفری، فرهاد (۱۳۹۵)، سنجش مقدار و پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی: دشت کرج –شهریار)، فصلنامه علمی ـ پژوهشی و بینالمللی انجمن جغرافیای ایران، سال ۴، شماره ۴۸
- علایی‌طالقانی، محمود (۱۳۸۳)، ژئومورفوفوژی ایران، انتشارات قومس، چاپ سوم، تعداد صفحات ۳۸۸
- گورابی، ابوالقاسم؛ امامی، کامیار (۱۳۹۶)، تأثیرات نوزمینساخت بر تغییرات مورفولوژیک حوضه‌های زهکشی سواحل مکران، جنوب شرق ایران، مجله پژوش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۶، شماره ۱، صص ۸۹-۷۴
- میرشاهی، فاطمه السادات؛ ولدان زوج، محمدجواد؛ دهقانی، مریم؛ هاشمی امین آبادی، سیدجواد (۱۳۹۲)، اندازه گیری فرونشست سطح زمین به کمک تکنیک تداخل سنجی راداری با استفاده از تصاویر TerraSAR-X، بیستمین همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری، تهران

- *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)*
- *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: 468-478.*
- *Declercq, P., Walstra, J., Gérard, P., PirardM 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 7040115*
- *Dong, S. C., Samsonov, S., Yin, H. W., et al., (2014), Time–Series Analysis of Subsidence Associated with Rapid Urbanization in Shanghai, China Measured with SBAS InSAR Method. Environmental Earth Sciences, 72(3): 677–691.*
- *Du, Y., Feng, G., Peng, X., 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*
- *Goudie, A. S. 2004. Encyclopedia of Geomorphology, First published by Routledge, Volume 1*
- *Hanssen, R. F (2001), Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers.*
- *Li, T., Liu, G., Lin, H., Zhang, R., Jia, H., Yu, B (2014), Detecting land subsidence near metro lines in the Baoshan district of Shanghai with multi-temporal interferometric synthetic aperture radar J. Mod. Transport. 22(3):137–147*
- *Mellors,R., Lindsey, E., Xiaohua, X., Feigl, K (2017), Theory and prac-ce of phase unwrapping, GMTSAR Short Course, UCSD, Aug. 16-18*
- *Nádudvari, Á (2016), Using radar interferometry and SBAS technique to detect surface subsidence relating to coal mining in Upper Silesia from 1993-2000 and 2003-2010, Environmental & Socio-economic Studies, 4, 1: 24-34*
- *Tong Minh D, H., Trung, L, V., Toan, T, L (2015), Mapping Ground Subsidence Phenomena in Ho Chi Minh City through the Radar Interferometry Technique Using ALOS PALSAR Data, Remote Sens, 7(7), 8543-8562; doi:10.3390/rs70708543*
- *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*
- *Zhou, CH., Gong, H., Chen, B Li, J., Gao, M., Zhu, F., Chen, W (2017), InSAR Time-Series Analysis of Land Subsidence under Different Land Use Types in the Eastern Beijing Plain, China, Remote Sens, 9(4), 380*
- *Zhou, Z. (2013), The applications of InSAR time series analysis for monitoring long-term surface change in peatlands, University of Glasgow.*