

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره نهم، شماره سی و ششم، تابستان ۱۳۹۸

تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۰۹/۱۳

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۲۵

صص ۶۲-۷۳

ارزیابی میزان فرونشست دشت همدان-بهار با استفاده از روش سری زمانی SBAS

حمید گنجائیان*، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی-دانشگاه تهران

افشان قاسمی، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی-دانشگاه شهید بهشتی

عطربین ابراهیمی، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی-دانشگاه تبریز

زهرا اسدپور، کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی-دانشگاه خوارزمی

چکیده

دشت همدان-بهار در طی سال‌های اخیر با افت شدید سطح آب زیرزمینی مواجه بوده است که این عامل سبب شده تا این منطقه در معرض وقوع مخاطره فرونشست قرار گیرد. بر این اساس در این تحقیق ابتدا با استفاده از اطلاعات مربوط به ۱۳ چاه پیژومتری در محدوده مطالعاتی، وضعیت افت سطح آب زیرزمینی در منطقه ارزیابی شده است و سپس با استفاده از ۱۶ تصویر ماهواره سنتینل ۱ (از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۱۱ تا ۲۰۱۷/۱۲/۱۹) و روش سری زمانی SBAS به ارزیابی میزان جابجایی عمودی منطقه پرداخته شده است. نتایج ارزیابی وضعیت آب زیرزمینی منطقه بیانگر این است که محدوده مطالعاتی در طی سال‌های اخیر با روند افزایشی افت سطح آب زیرزمینی مواجه بوده است به طوری که میزان افت سطح آب در بعضی از چاه‌ها به ۲ متر در سال رسیده است که این میزان سبب افت شدید سطح آب در آن منطقه شده است. همچنین نتایج حاصله از ارزیابی میزان جابجایی منطقه بیانگر این است که این محدوده در طی دوره زمانی ۲ ساله ۱۳۳/۲ میلی‌متر فرونشست داشته است. به علاوه نتایج حاصله از همبستگی بین میزان افت سالانه سطح آب چاه‌ها با میزان فرونشست منطقه بیانگر این است که بین افت سطح آب چاه‌ها و میزان فرونشست منطقه رابطه مستقیم برقرار است و ضریب همبستگی آن‌ها ۰/۹۴ می‌باشد.

واژگان کلیدی: فرونشست، دشت همدان-بهار، SBAS.

* Email: h.ganjaian@ut.ac.ir

۱- مقدمه

فرورنشست تحت تاثیر عوامل مختلف تکتونیکی و انسانی مانند زمین لرزه و برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی رخ می‌دهد (Chen et al., 2016: 2). در واقع علاوه بر عوامل تکتونیکی، برداشت بی‌رویه با کاهش فشار آب منفذی آبخوان، در صورت وجود لایه‌های با قابلیت فشردگی غیر قابل بازگشت می‌تواند منجر به فرورنشست زمین شود (Calderhead et al., 2011: 84). و بر بسیاری از ساخت و سازها و تاسیسات تاثیر بگذارد و سبب به وجود آمدن مشکلاتی برای صنایع، محیط زیست و ... شود (Ge et al., 2007: 260) که این عوامل باعث شده است تا این پدیده به عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی محسوب شود، ولی از آنجایی که این پدیده تلفات انسانی کم‌تری نسبت به سایر پدیده‌های طبیعی دارد، کم‌تر مورد توجه قرار گرفته شده است (انگورانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۱۲). امروز پدیده فرورنشست معضل و مخاطره-ای است که جوامع ساکن بر آن را در سطوح بین الملل تهدید می‌کند. بر اساس برآورد کارشناسان بیش از ۱۵۰ شهر از شهرهای بزرگ دنیا با گستره‌ای از کشورهای توسعه یافته تا در حال توسعه در معرض این پدیده قرار دارند (Hua et al., 2004: 66).

در چند سال اخیر به دلیل حاکم بودن شرایط اقلیمی خشک (شریفی کیا، ۱۳۹۱: ۵۷) پدیده فرورنشست به عنوان یک بحران جدی در بسیاری از دشت‌های حاصلخیز کشور اتفاق افتاده است (عفیفی، ۱۳۹۵: ۱۲۱) که از جمله مناطق در معرض این پدیده، دشت‌های استان همدان است. بر اساس بررسی سازمان هواشناسی در سال ۱۳۹۴، استان همدان از نظر بارش در رتبه ۲۴ استان‌های کشور قرار دارد که به دلیل نبود ارتفاعات قابل توجه در دشت‌های مرکزی، این استان (دشت‌های رزن، قهاوند، کبودرآهنگ و همدان-بهار) فاقد سیستم‌های بارش‌زا می‌باشد (شایان و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۴۰) و همین عامل سبب شده است تا با کمبود بارش و آب‌های سطحی مواجه باشد. کمبود آب‌های سطحی و استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی سبب افت شدید سطح آب زیرزمینی در دشت‌های استان و در نتیجه بروز مخاطره فرورنشست شده است و از آنجایی که بررسی این مخاطره از اهمیت بالایی برخوردار است در طی سال‌های اخیر با استفاده از روش‌های مختلفی بررسی شده است. در این میان، یکی از روش‌هایی که بسیار مورد توجه قرار دارد و به منظور برآورد فرورنشست دارای دقت بالایی است روش تداخل سنجی راداری می‌باشد (Aslan et al., 2019: 2). به همین دلیل در این تحقیق با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و روش سری زمانی SBAS فرورنشست دشت اسدآباد مورد ارزیابی قرار گرفته شده است.

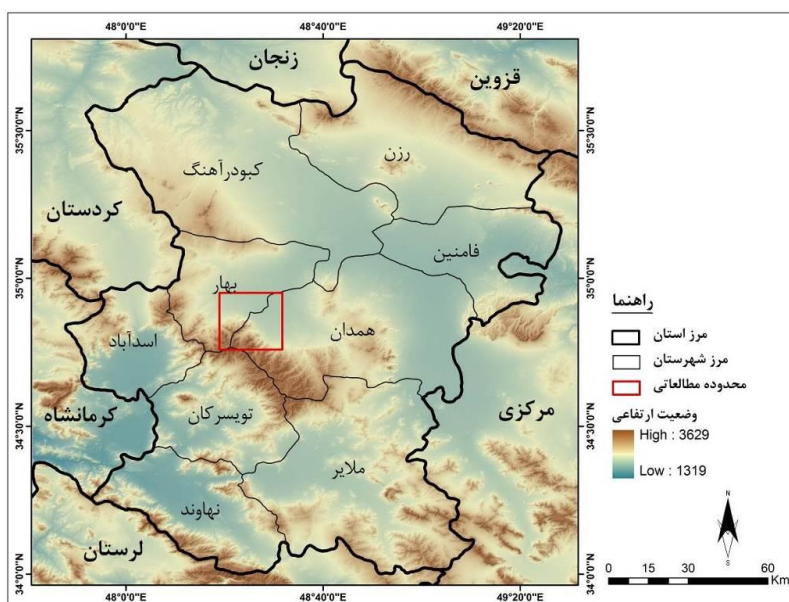
دقت بالایی روش تداخل سنجی راداری سبب شده است تا در بسیاری از مناطق از این روش به منظور برآورد میزان فرورنشست استفاده شود، به طوری که اسمانگلو^۱ و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از این روش میزان فرورنشست شهر مکزیکوسیتی را ۳۰۰ میلی‌متر در سال، کیم^۲ و همکاران (۲۰۱۵) فرورنشست منطقه توسان آریزونا را ۳ سانتی‌متر در سال، ژانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از روش SBAS و PC، فرورنشست منطقه آنهپو چین را ۵ سانتی‌متر در سال، ژانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از همین روش‌ها، میزان فرورنشست زمین در نزدیک سد انگوری^۵ گرجستان را ۲ تا ۹ سانتی‌متر در سال، ژانگ^۶ و همکاران (۲۰۱۹) همچنین میزان فرورنشست در شهر ووهان^۷ چین را بین ۲۷/۸ تا ۵۱/۵۶ میلی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. در ایران نیز با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، پیری و رحمانی (۱۳۹۵) حداقل و حداکثر فرورنشست دشت تسوج را ۳ و ۶ سانتی‌متر محاسبه کرده‌اند. بابایی و همکاران (۱۳۹۵) فرورنشست دشت قزوین

- 1- Osmanoglu
- 2- Kim
- 3- Zhang
- 4- Zhang
- 5- Enguri
- 6- Zhang
- 7- Wuhan

را حدود ۳۰ تا ۳۵ میلی‌متر، صفاری و جعفری (۱۳۹۵) فرونشست دشت کرج -شهریار را ۱۳/۶ سانتی‌متر و تورانی و همکاران (۱۳۹۷) فرونشست غرب گلستان را ۴/۸ سانتی‌متر برای یک دوره ۳۴ ماهه محاسبه کرده‌اند.

۲- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر شامل دشت همدان-بهار است که از نظر تقسیمات سیاسی در استان همدان و بین ۲ شهرستان همدان و بهار قرار دارد. انتخاب چارچوب محدوده بر اساس وضعیت و میزان همپوشانی تصاویر راداری بوده است. این محدوده از نظر ژئومورفولوژی بر روی واحد دشت استقرار یافته است که از سمت جنوب به واحد کوهستان منتهی شده است. میزان ارتفاع محدوده از ۱۷۰۰ متر در واحد دشت تا ۳۴۴۰ در واحد کوهستان متغیر است. میزان تغییر ارتفاع در واحد دشت خیلی کم است و به همین دلیل دارای شیب کمی است و عمدتاً به صورت دشت یکنواخت است. همچنین از نظر آب و هوایی نیز با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه، دارای زمستان‌های سرد و خشک و تابستان‌های گرم است. در شکل ۱ موقعیت محدوده مطالعاتی نشان داده شده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت محدوده مطالعاتی

۳- مواد و روش‌ها

در این تحقیق به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر از اطلاعات آماری و روش‌های نرم‌افزاری استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل اطلاعات مربوط به چاه‌های پیزومتری (چاه‌های محدوده مطالعاتی است که برای این منظور از اطلاعات ۱۳ چاه پیزومتری استفاده شده است که به طور پراکنده در محدوده مطالعاتی واقع شده‌اند)، مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM، ۱۶ تصاویر ماهواره سنتینل ۱ و لایه‌های رقومی اطلاعاتی مختلف می‌باشد. همچنین روش‌های مورد استفاده در این تحقیق نیز شامل روش Spline (به منظور تهیه نقشه میزان افت سالانه آب زیرزمینی منطقه) و روش سری زمانی SBAS (به منظور برآورد میزان فرونشست منطقه) استفاده شده است. در ادامه به تشریح روش SBAS و همچنین مراحل انجام کار تشریح شده است:

روش سری زمانی SBAS: امروزه به منظور اندازه‌گیری جابجایی عمودی سطح زمین از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود، که یکی از این روش‌ها، روش سری زمانی SBAS است. روش SBAS از نتایج بدست آمده از تداخل سنجی راداری استفاده می‌کند. در تداخل سنجی راداری، میزان جابجایی زمین از طریق اختلاف فاز دو تصویر محاسبه می‌شود.

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 (Zhou, 2013: 3). 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^۸ آن‌ها نیز همزمان کمینه باشد. به این ترتیب، فقط تداخل نگارهایی تشکیل می‌شوند که کیفیت مناسبی داشته باشند. پس از تشکیل این تداخل نگارها، یک شبکه از تصاویر ایجاد می‌شود، سپس با استفاده از روش کم‌ترین مربعات، مقدار جابجایی هر پیکسل تخمین زده می‌شود (Dong et al., 2014: 679).

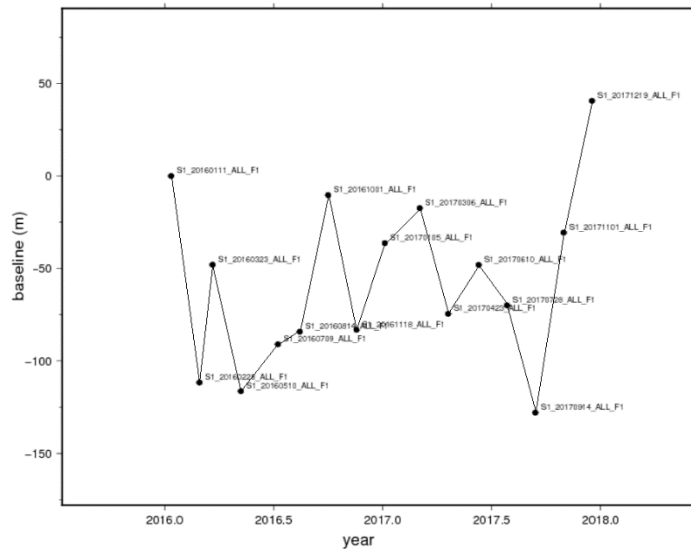
مرحله ۱: به منظور بررسی وضعیت آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی از اطلاعات سازمان آب و منطقه ای استان همدان استفاده شده است و میزان افت سطح آب ۱۳ چاه پیژومتری در محدوده مطالعاتی محاسبه شده است (بازه زمانی ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۴) و سپس با استفاده از روش درونیابی Spline نقشه میزان افت سطح آب منطقه تهیه شده است.

مرحله ۲: در این مرحله تصاویر مورد نظر جهت انجام روش SBAS تهیه شده است که برای این منظور از ۱۶ تصاویر ماهواره سنتینل ۱ استفاده شده است. در جدول ۱ مشخصات تصاویر نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات تصاویر مورد استفاده

ماهواره	تاریخ	Beam	نوع تصویر	حالت مداری	Polarization
سنتینل ۱	۲۰۱۶/۰۱/۱۱	IW	SLC	صعودی	VV
سنتینل ۱	۲۰۱۶/۰۲/۲۸	IW	SLC	صعودی	VV
سنتینل ۱	۲۰۱۶/۰۳/۲۳	IW	SLC	صعودی	VV
سنتینل ۱	۲۰۱۶/۰۵/۱۰	IW	SLC	صعودی	VV
سنتینل ۱	۲۰۱۶/۰۷/۰۹	IW	SLC	صعودی	VV
سنتینل ۱	۲۰۱۶/۰۸/۱۴	IW	SLC	صعودی	VV
سنتینل ۱	۲۰۱۶/۱۰/۰۱	IW	SLC	صعودی	VV
سنتینل ۱	۲۰۱۶/۱۱/۱۸	IW	SLC	صعودی	VV
سنتینل ۱	۲۰۱۷/۰۱/۰۵	IW	SLC	صعودی	VV
سنتینل ۱	۲۰۱۷/۰۳/۰۶	IW	SLC	صعودی	VV
سنتینل ۱	۲۰۱۷/۰۴/۲۳	IW	SLC	صعودی	VV
سنتینل ۱	۲۰۱۷/۰۶/۱۰	IW	SLC	صعودی	VV
سنتینل ۱	۲۰۱۷/۰۷/۲۸	IW	SLC	صعودی	VV
سنتینل ۱	۲۰۱۷/۰۹/۱۴	IW	SLC	صعودی	VV
سنتینل ۱	۲۰۱۷/۱۱/۰۱	IW	SLC	صعودی	VV
سنتینل ۱	۲۰۱۷/۱۲/۱۹	IW	SLC	صعودی	VV

مرحله ۳: پس از تهیه تصاویر مورد نظر، در این مرحله ابتدا پیش پردازش‌های لازم بر روی تصاویر انجام شده است و سپس در نرم افزار GMT نقشه‌های اینترفروگرام منطقه تهیه شده است. به منظور تهیه نقشه‌های اینترفروگرام از بیس‌لاین زمانی و مکانی تصاویر استفاده شده است (شکل ۲) و بر مبنای آن‌ها جفت تصاویر مورد نظر جهت انجام تداخل سنجی راداری انتخاب شده است.



شکل ۲: انتخاب تصاویر بر اساس کمترین خط مبنای زمانی و مکانی

مرحله ۴: پس از تهیه نقشه‌های اینترفروگرام، نقشه میزان جابجایی منطقه با استفاده از روش SBAS تهیه شده است و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS خروجی نهایی تهیه شده است.

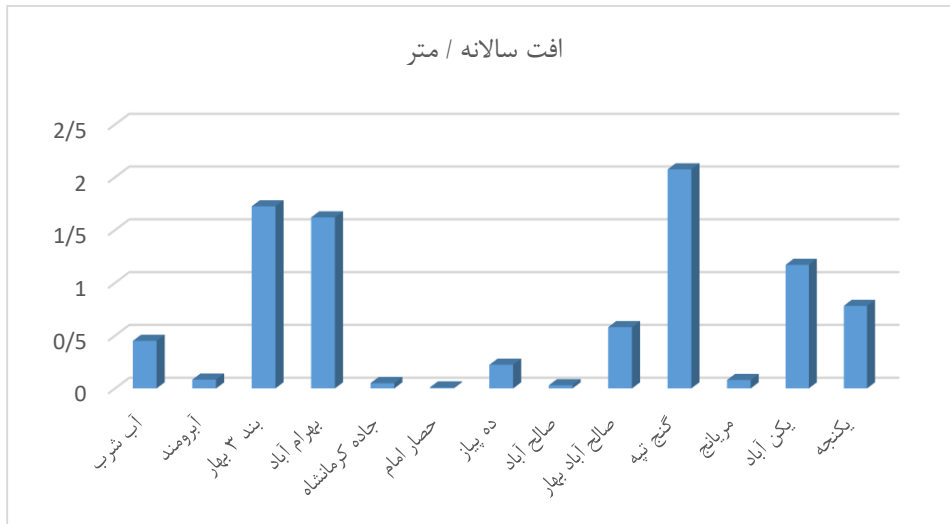
مرحله ۵: پس از تهیه نقشه نهایی، به منظور ارزیابی ارتباط فرونشست منطقه با افت سطح آب‌های زیرزمینی، نتایج حاصله از روش Spline و روش SBAS با هم مقایسه و تحلیل شده است.

۴- بحث و نتایج

-ارزیابی میزان افت سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه: در این تحقیق به منظور ارزیابی وضعیت آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی از اطلاعات مربوط به ۱۳ چاه پیژومتری (بازه زمانی ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۴) استفاده شده است. نتایج حاصل از ارزیابی‌ها بیانگر این است که در بین چاه‌های مذکور، چاه واقع در ایستگاه گنج تپه با میانگین افت سالانه ۲۰۷ سانتی‌متر، دارای بالاترین افت سطح آب است. همچنین ایستگاه بند ۳ بهار و بهرام آباد نیز به ترتیب با میانگین افت سالانه ۱/۷۲۵ و ۱/۶۲ متر دارای بالاترین افت سطح آب هستند. همچنین در بین چاه‌ها مطالعاتی، چاه واقع در ایستگاه حصار امام با میانگین افت سالانه ۱ سانتی‌متر دارای کمترین میزان افت سطح آب است. همچنین ایستگاه صالح آباد و جاده کرمانشاه نیز به ترتیب با میانگین افت سالانه ۳ و ۵ سانتی‌متر دارای کمترین میزان افت سطح آب بوده‌اند. در جدول ۲ و شکل ۳ میانگین افت سالانه چاه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.

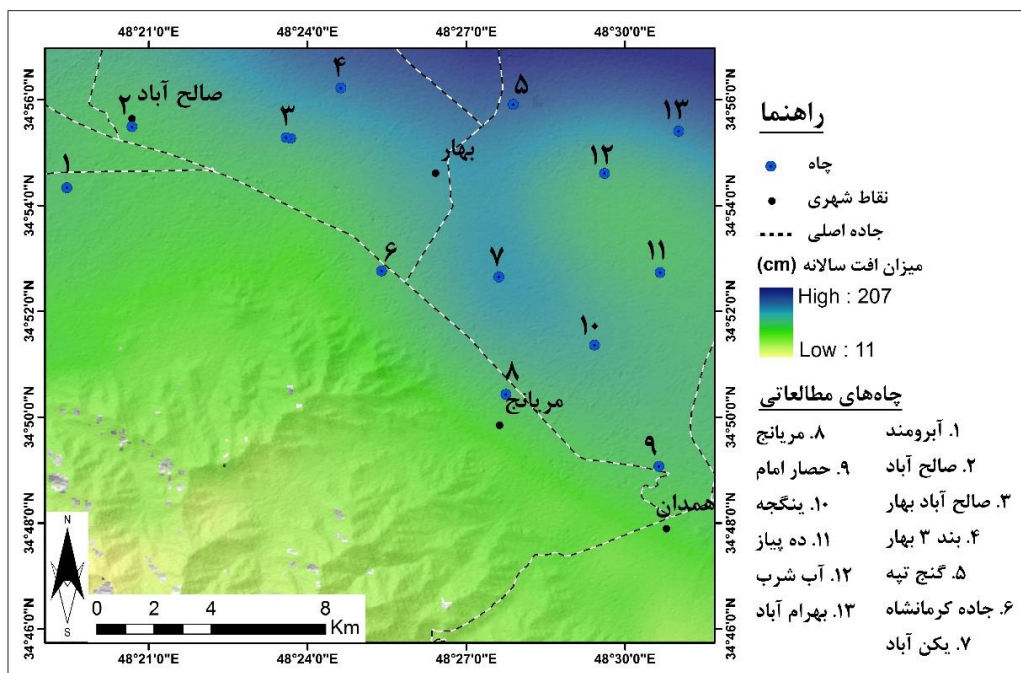
جدول ۲: ارزیابی میزان افت سالانه چاه‌های پیژومتری محدوده مطالعاتی (منبع: سازمان آب منطقه‌ای استان همدان)

ایستگاه	آب شرب	آبرومند	بند ۳ بهار	بهرام آباد	جاده کرمانشاه	حصار امام	ده نیزار	صالح آباد	صالح آباد بهار	گنج تپه	مریانج	یکن آباد	ینگچه
افت سالانه (متر)	۴۵	۸	۱۷۲	۱۶۲	۵	۱	۲۲۴	۳	۵۸	۲۰۷	۸	۱۱۷	۷۸



شکل ۳: ارزیابی میزان افت سالانه چاه‌های پیژومتری محدوده مطالعاتی

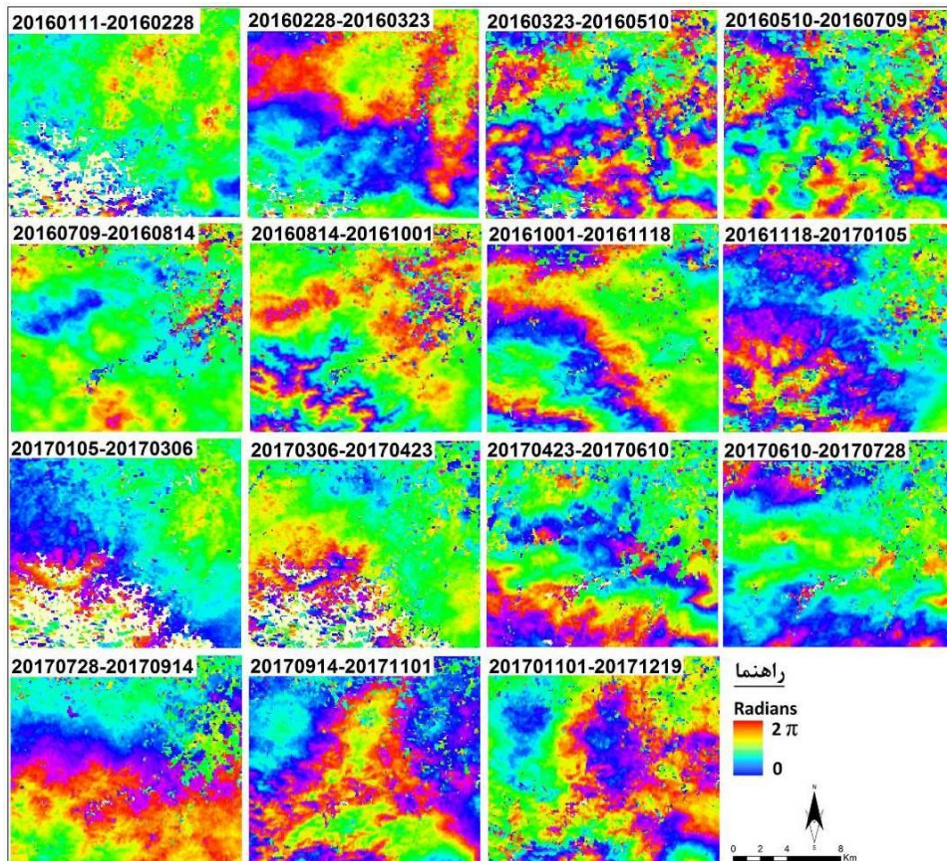
بررسی وضعیت موقعیت مکانی چاه‌ها و میزان افت سطح آب در آن‌ها بیانگر این است که در یک روند کلی میزان افت سطح آب از جنوب محدوده به سمت شمال محدوده و همچنین از غرب به سمت شرق محدوده بیش‌تر می‌شود. در این تحقیق به منظور تهیه نقشه میزان افت سالانه سطح آب در محدوده مطالعاتی، پس از محاسبه میزان افت برای هر کدام از چاه‌ها، با استفاده از روش درونیابی Spline نقشه میزان افت سالانه سطح آب محدوده مطالعاتی تهیه شده است (شکل ۴).



شکل ۴: نقشه میزان افت سالانه سطح آب محدوده مطالعاتی

- ارزیابی میزان فرونشست با استفاده از روش SBAS: با توجه به افت قابل توجه سطح آب چاه‌های منطقه مورد مطالعه، بررسی وضعیت جابجایی سطح زمین با استفاده از روش‌های نوین ضروری به نظر می‌رسد که بر این اساس در تحقیق حاضر با استفاده از ۱۶ تصویر ماهواره سنتینل ۱ و روش سری زمانی SBAS به ارزیابی میزان جابجایی زمین در

محدوده مطالعاتی برای دوره زمانی ۲ ساله پرداخته شده است. به منظور ارزیابی میزان جابجایی منطقه، پس از تهیه تصاویر ابتدا وضعیت بیس لاین زمانی و مکانی تصاویر بررسی شده است و بر اساس آن زوج تصاویر برای تشکیل اینترفروگرام انتخاب شده است که در شکل ۵ و جدول ۳ نشان داده شده است.



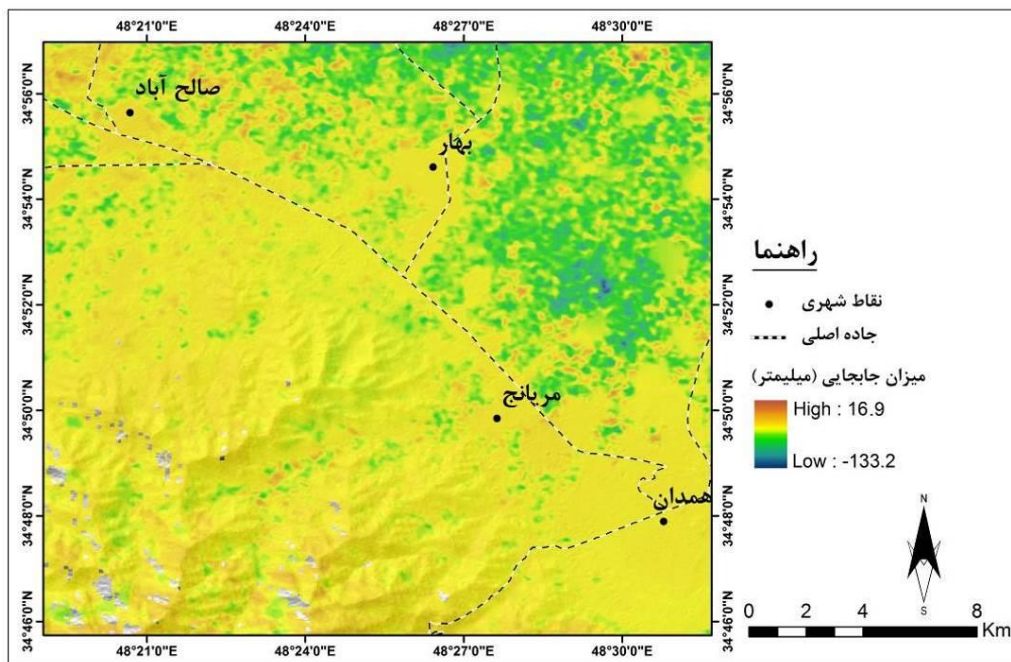
شکل ۶: نقشه اینترفروگرام‌های تهیه شده

جدول ۳: زوج تصاویر انتخابی برای تشکیل اینترفروگرام

ردیف	زوج تصاویر	ردیف	زوج تصاویر
۱	۲۰۱۶۰۲۲۸-۲۰۱۶۰۱۱۱	۹	۲۰۱۷۰۳۰۶-۲۰۱۷۰۱۰۵
۲	۲۰۱۶۰۳۲۳-۲۰۱۶۰۲۲۸	۱۰	۲۰۱۷۰۴۲۳-۲۰۱۷۰۳۰۶
۳	۲۰۱۶۰۵۱۰-۲۰۱۶۰۳۲۳	۱۱	۲۰۱۷۰۶۱۰-۲۰۱۷۰۴۲۳
۴	۲۰۱۶۰۷۰۹-۲۰۱۶۰۵۱۰	۱۲	۲۰۱۷۰۷۲۸-۲۰۱۷۰۶۱۰
۵	۲۰۱۶۰۸۱۴-۲۰۱۶۰۷۰۹	۱۳	۲۰۱۷۰۹۱۴-۲۰۱۷۰۷۲۸
۶	۲۰۱۶۱۰۰۱-۲۰۱۶۰۸۱۴	۱۴	۲۰۱۷۱۱۰۱-۲۰۱۷۰۹۱۴
۷	۲۰۱۶۱۱۱۸-۲۰۱۶۱۰۰۱	۱۵	۲۰۱۷۱۲۱۹-۲۰۱۷۱۱۰۱
۸	۲۰۱۷۰۱۰۵-۲۰۱۶۱۱۱۸	-	-

پس از تهیه نقشه‌های اینترفروگرام و انجام پیش پردازش‌های لازم، با استفاده از روش سری زمانی SBAS، نقشه میزان جابجایی منطقه از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۱۱ تا ۲۰۱۷/۱۲/۱۹ تهیه شده است (شکل ۶). با توجه به نقشه نهایی، محدوده

مطالعاتی در طی دوره زمانی ۲ ساله ۱۳۳۲/۲ میلی‌متر فرونشست و ۱۶/۹ میلی‌متر بالا آمدگی داشته است که بیش‌ترین میزان آن مربوط به مناطق حدفاصل بین شهرهای همدان و بهار و همچنین مناطق شمالی شهر بهار است. همچنین در یک روند کلی، میزان فرونشست از سمت جنوب به شمال، رو به افزایش است و در واقع از واحد کوهستان به سمت واحد دشت روند افزایشی دارد و به علاوه از غرب محدوده به سمت شرق نیز روند افزایشی دارد.



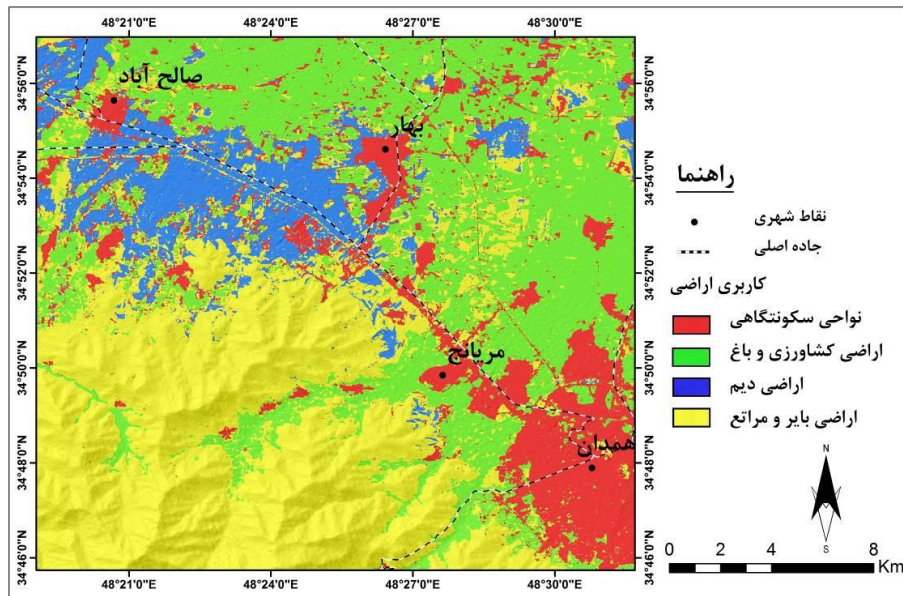
شکل ۶: نقشه میزان جابجایی منطقه از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۱۱ تا ۲۰۱۷/۱۲/۱۹

محدوده مطالعاتی به دلیل وضعیت ژئومورفولوژیکی مناسب، محدودیت کمی جهت توسعه فعالیت‌های کشاورزی دارد. در واقع نداشتن اختلاف ارتفاع، نداشتن شیب زیاد و وجود رسوبات آبرفتی مناسب در کنار عوامل اقتصادی منطقه سبب شده است تا فعالیت‌های کشاورزی این منطقه با گسترش زیادی همراه باشد به طوری که بر اساس نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی (شکل ۷)، بخش عمده‌ای از دشت بهار همدان به اراضی کشاورزی اختصاص داده شده است که همین عامل سبب بهره‌برداری بیش از حد از سفره آب‌های زیرزمینی در طی سال‌های اخیر شده است. به گزارش سازمان آب و منطقه‌ای استان همدان (۱۳۹۸) میزان تخلیه آب‌های زیرزمینی در شهرستان همدان ۲۶۸/۷۹ هزار مترمکعب در سال است که حدود ۸۲ درصد آن مربوط به بخش کشاورزی است (جدول ۴ و شکل ۸).

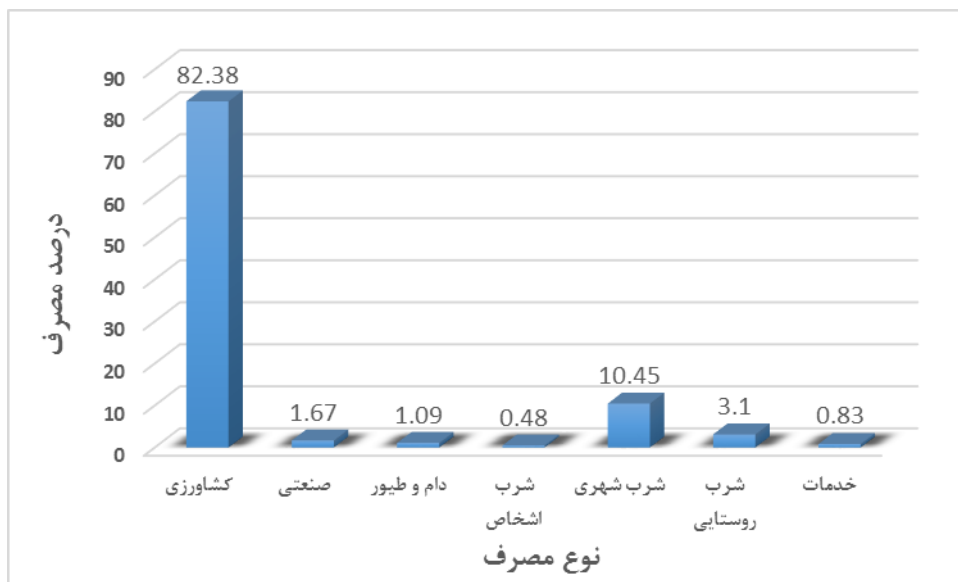
جدول ۴: تخلیه (هزار مترمکعب در سال) و درصد تخلیه چاه‌های مجاز و فعال منابع آب شهرستان همدان بر اساس نوع مصرف

تخلیه	کشاورزی	صنعتی	دام و طیور	شرب اشخاص	شرب شهری	شرب روستایی	خدمات	مجموع
تخلیه از چاه	۲۲۱/۱۲	۴/۸۵	۲/۹۲	۱/۲۸	۲۸/۰۶	۸/۳۳	۲/۲۳	۲۶۸/۷۹
درصد تخلیه	۸۲/۳۸	۱/۶۷	۱/۰۹	۰/۴۸	۱۰/۴۵	۳/۱	۰/۸۳	۱۰۰

منبع (سازمان آب و منطقه‌ای استان همدان)



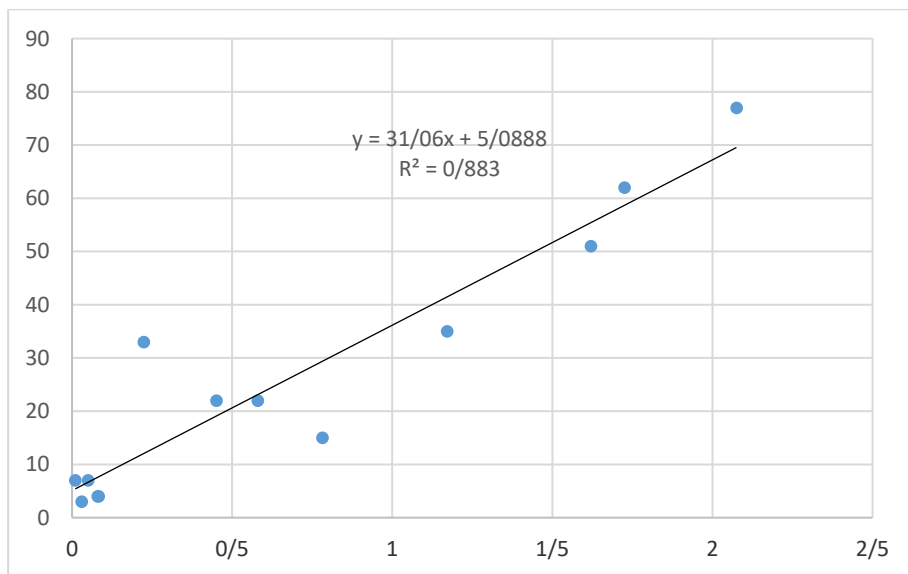
شکل ۷: نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی



شکل ۸: درصد مصرف آب زیرزمینی شهرستان همدان در بخش‌های مختلف

بررسی وضعیت افت سطح آب چاه‌های مورد مطالعه بیانگر این است که چاه‌های واقع در مناطق شمالی شهر همدان و بهار دارای بالاترین میزان افت سطح آب بوده‌اند. به طور کلی روند افزایشی افت سطح آب در محدوده مطالعاتی از سمت جنوب به سمت مناطق شمالی محدوده بوده است. همچنین ارزیابی میزان فرونشست منطقه نیز بیانگر این است که بیشترین میزان فرونشست در مناطق شمالی محدوده بوده است و روند افزایش آن از سمت جنوب به سمت مناطق شمالی محدوده مطالعاتی است. در واقع نتایج حاصله بیانگر انطباق روند افت سطح آب‌های زیرزمینی با میزان فرونشست است و در مناطقی که بیشترین افت سطح آب وجود داشته است، میزان فرونشست نیز بیش‌تر بوده است. در این تحقیق به منظور تعیین ارتباط بین میزان افت سطح آب در چاه‌های مطالعاتی و همچنین میزان فرونشست در مجاور آن‌ها، از ضریب همبستگی استفاده شده است که بر اساس نتایج بدست آمده ضریب همبستگی بین آن‌ها ۰/۹۴ است (شکل ۹)،

بنابراین رابطه مستقیمی بین افت سالانه سطح آب و فرونشست برقرار بوده است و بر این اساس عامل اصلی فرونشست منطقه، افت سطح آب‌های زیرزمینی منطقه است.



شکل ۹: نمودار ضریب همبستگی بین میزان فرونشست زمین و افت سطح آب چاه‌ها

تطبيق نتایج حاصله از روش سری زمانی SBAS با وضعیت افت آب‌های زیرزمینی، مطالعات کتابخانه‌ای و همچنین وضعیت ژئومورفولوژی و کاربری اراضی منطقه، بیانگر دقت قابل قبول نتیجه بدست آمده است. در واقع با توجه به اینکه در روش سری زمانی SBAS با استفاده از روش کم‌ترین مربعات، مقدار جابجایی هر پیکسل تخمین زده می‌شود، این روش از دقت بالایی برخوردار دارد و در این تحقیق نیز نتایج قابل قبولی ارائه داده است. همچنین با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی دارای پستی و بلندی کمی است و نسبت به مناطق کوهستانی دارای خطای کم‌تری است، این روش می‌تواند به عنوان یک روش موثر در ارزیابی میزان فرونشست منطقه باشد، بنابراین با استفاده از این روش می‌توان میزان فرونشست نواحی مجاور و مشابه را محاسبه کرد.

۵- نتیجه‌گیری

پدیده فرونشست به عنوان یکی از مخاطرات پیش‌روی دشت‌های کشور محسوب می‌شود. با توجه به اهمیت موضوع در طی سال‌های اخیر در این مورد تحقیقات مختلفی صورت گرفته است. در بسیاری از تحقیقات صورت گرفته، فقط از اطلاعات آماری و وضعیت افت سطح آب زیرزمینی استفاده شده است. در پاره‌ای از تحقیقات نیز به صورت توصیفی وضعیت فرونشست دشت‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته شده است، اما در این تحقیق با استفاده از اطلاعات آماری و همچنین روش سری زمانی SBAS وضعیت فرونشست محدوده مطالعاتی مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. نتایج ارزیابی‌ها وضعیت آب زیرزمینی منطقه بیانگر این است که محدوده مطالعاتی در طی سال‌های اخیر با روند افزایشی افت سطح آب زیرزمینی مواجه بوده است به طوری که میزان افت سطح آب در بعضی از چاه‌ها به ۲ متر در سال رسیده است که در بین میزان سبب افت شدید سطح آب در آن منطقه شده است. بررسی روند افت سطح آب چاه‌ها بیانگر این است که در بین چاه‌های مورد مطالعه، چاه‌های واقع در ایستگاه گنج‌تپه، بند ۳ بهار و بهرام‌آباد به ترتیب با میانگین افت سالانه ۲/۰۷۵، ۱/۷۲۵ و ۱/۶۲ متر، دارای بالاترین افت سطح آب بوده‌اند. اما در بین چاه‌ها مطالعاتی، چاه‌های واقع در ایستگاه حصار امام، صالح آباد و جاده کرمانشاه با میانگین افت سالانه ۰/۰۱، ۰/۰۳ و ۰/۰۵ متر دارای کم‌ترین میزان افت سطح آب بوده‌اند. ارزیابی روند افت سطح آب در چاه‌ها بیانگر این است که میزان افت آب از سمت مناطق جنوبی به سمت مناطق شمالی

محدوده بیش تر می شود. همچنین در این تحقیق به منظور ارزیابی میزان جابجایی عمودی منطقه از ۱۶ تصویر راداری و روش سری زمانی SBAS استفاده شده است. نتایج حاصله از ارزیابی میزان جابجایی منطقه بیانگر این است که این محدوده در طی دوره زمانی ۲ ساله (از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۱۱ تا ۲۰۱۷/۱۲/۱۹) ۱۳۳/۲ میلی متر فرونشست و همچنین ۱۶/۹ میلی متر بالا آمدگی داشته است که بیش ترین میزان فرونشست در نیمه شمالی محدوده مطالعاتی بوده است. مقایسه نتیجه میزان فرونشست دشت همدان - بهار با تحقیقات پیشین صورت گرفته بیانگر این است که دشت همدان - بهار نسبت به دشت تسوج (۳ تا ۶ سانتی متر در سال) و غرب گلستان (۴/۸ سانتی متر در سال) دارای فرونشست سالانه بیش تری است، همچنین نسبت به دشت کرج - شهریار (۱۳/۶ سانتی متر در سال) میزان فرونشست کم تری دارد. ارزیابی روند فرونشست نیز بیانگر این است که میزان فرونشست از سمت جنوب به سمت مناطق شمالی محدوده مطالعاتی بیش تر می شود که این روند با روند افت سطح آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی انطباق دارد. به علاوه نتایج حاصله از ضریب همبستگی بین میزان افت سالانه سطح آب چاه ها با میزان فرونشست منطقه بیانگر این است که بین افت سطح آب و میزان فرونشست منطقه رابطه مستقیم برقرار است و ضریب همبستگی بین آن ها ۰/۹۴ می باشد. بنابراین می توان گفت که علت اصلی فرونشست منطقه، افت سطح آب های زیرزمینی منطقه است. مجموعه نتایج حاصله بیانگر این است که بهره برداری بیش از حد از آب های زیرزمینی در طی سال های اخیر سبب بروز مخاطره فرونشست در منطقه شده است که در صورت ادامه وضع موجود، این مخاطره می تواند آسیب های جبران ناپذیری به منطقه وارد کند.

۶- منابع

- انگورانی، سعید، معاریان، حسین، شریعت پناهی، مسعود، بلورچی، محمدجواد (۱۳۹۴). مدل سازی پویای فرونشست دشت تهران، مجله علوم زمین، دوره ۲۵ (۹۷)، صص ۲۲۰-۲۱۱.
- بابایی، سیدسازان، موسوی، زهرا، روستایی، مه آسا (۱۳۹۵). آنالیز سری زمانی تصاویر راداری با استفاده از روش های طول خط مبنای کوتاه (SBAS) و پراکنش کننده های دائمی (PS) در تعیین نرخ فرونشست دشت قزوین، نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره ۵ (۴)، صص ۹۵-۱۱۱.
- 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، تبریز، دانشگاه تبریز.
- تورانی، مرجان، آق اتابای، مریم، روستایی، مه آسا (۱۳۹۷). مطالعه فرونشست در غرب استان گلستان با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۸ (۲۷)، صص ۱۲۸-۱۱۷.
- سازمان آب و منطقه ای استان همدان (۱۳۹۸)، گزارش میزان و نوع آب مصرفی چاه های شهرستان همدان
- شایان، سیاوش، یمانی، مجتبی، یادگاری، منیژه (۱۳۹۵). پهنه بندی فرونشست در حوضه آبخیز قره چای همدان، مجله هیدروژئومورفولوژی، دوره ۳ (۹)، صص ۱۵۸-۱۳۹.
- شریفی کیا، محمد (۱۳۹۱). تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل سنجی راداری (D-InSAR) در دشت نوق-بهرمان، مجله برنامه ریزی و آمایش فضا، ۱۶ (۳)، صص ۷۷-۵۵.
- صفاری، امیر، جعفری، فرهاد (۱۳۹۵). سنجش مقدار و پهنه بندی خطر فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی: دشت کرج - شهریار)، فصلنامه علمی - پژوهشی و بین المللی انجمن جغرافیای ایران، ۴ (۴۸)، صص ۱۷۵-۱۸۸.
- عفیفی، محمدابراهیم (۱۳۹۵). ارزیابی پتانسیل فرونشست زمین و عوامل موثر بر آن (مطالعه موردی: دشت سیدان فاروق مرودشت)، مجله پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۵ (۳)، صص ۱۳۲-۱۲۱.
- 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 Sens. 11(1), 1-17. 85; doi:10.3390/rs11010085

11. Calderhead, A.I., Therrien, R., Rivera, A., Martel, R., Garfias, j. (2011). Simulating pumping-induced regional land subsidence with the use of InSAR and field data in the Toluca Valley, Mexico. *Advanced in Water Resources*, 34: 83-97.
12. Chen, M., Tomás, R., Li, Zh., Motagh, M., Li, T., Hu, L., Gong, H., Li, X., Yu, J., Gong, X. (2016). Imaging Land Subsidence Induced by Groundwater Extraction in Beijing (China) Using Satellite Radar Interferometry, *Remote Sens*, 8(6), 468
13. Dong, S., Samsonov, S., Yin, H., Ye, S., & Cao, Y. (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.
14. Ge, L., Chang, H.C., Rizos, C. (2007). Mine subsidence monitoring using multi-source satellite SAR images. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 73, 259–266.
15. Hu, B., Chen, X., Zhang, X. (2019). Using Multisensor SAR Datasets to Monitor Land Subsidence in Los Angeles from 2003 to 2017, *Sensors*, Article ID 9389820, 15 pages
16. Hua, R. L., Yueb, Z. Q., Wanga L. C., Wang, S. J. (2004). Review on Current Status and Challenging Issues of Land Subsidence in China, *Elsevier Science-Engineering Geology*, Vol. 76, Pp. 65-77
17. Kim, J.W., Lu, Z., Jia, Y., Shum, C. (2015). Ground subsidence in Tucson, Arizona, monitored by time-series analysis using multi-sensor InSAR datasets from 1993 to 2011. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 107: 126-141.
18. Osmanoglu, B., Dixon, T., Wdowinski, S., Cabral, E., Jiang, Y. (2011). Mexico City Subsidence Observed with Persistent Scatterer InSAR. *School of Geosciences Faculty and Staff Publications*. 428.
19. Tibaldi, A., Oppizzi, p., Gierke, j., Oommen, T., Tsereteli, N., Gogoladze, Z. (2019). Landslides near Enguri dam (Caucasus, Georgia) and possible seismotectonic effects, *Hazards Earth Syst. Sci.*, 19, 71-91
20. 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, 743; doi:10.3390/s19030743
21. Zhang, Z., Wang, C., Tang, Y., Fu, Q., Zhang, H. (2015). Subsidence monitoring in coal area using time-series InSAR combining persistent scatterers and distributed scatterers. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 39: 49-55.
22. Zhou, Z. (2013), The applications of InSAR time series analysis for monitoring long-term surface change in peatlands, University of Glasgow.