نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هشتم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۹

Vol.8, No.1, Spring 2020

۷۹ -۹۹

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]

[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

پایش فرونشست زمین در اثر برداشت بی‌رویه آب‌های زیر زمینی با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری به روش پراکنش‌گرهای دائمی (مطالعه موردی: شهرستان اسدآباد و دشت‌های مجاور)

رضا سودمند افشار[۱]، سلمان احمدی[۲*]

۱- کارشناسی ارشد سنجش از دور، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲- استادیار فتوگرامتری و سنجش از دور، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷

چکیده

فرونشست زمین از معدود مخاطرات زیست‌محیطی است که به دلیل تلفات انسانی پایین نسبت به دیگر مخاطرات بسیار کمتر مورد توجه جوامع انسانی قرار گرفته است. با این وجود پدیده فرونشست در گذر زمان خساراتی جبران‌ناپذیر را به پیکره مناطق شهری و دشت‌های مجاور در طول زمان وارد می‌سازد. در پژوهش حاضر جهت پایش فرونشست زمین در شهرستان اسدآباد و دشت‌های مجاور واقع در غرب استان همدان از روش پراکنش‌گرهای دائمی با استفاده از ۸۹ تصویر ماهواره سنتینل در گذر صعودی و ۸۵ تصویر در گذر نزولی استفاده شده است. بر اساس خروجی‌های حاصل از این تحقیق در منطقه روستای بادخوره و جنت‌آباد شهرستان اسدآباد، بیشینه میانگین نرخ فرونشست ۲۲۰- ۲۰۰ میلی‌متر در سال نسبت به دیگر مناطق، در بازه زمانی مطالعاتی صورت گرفته است. همچنین با توجه به نتایج حاصل از تحقیق می توان گفت که نرخ فرونشست از مناطق شهری به سمت دشت‌های اطراف صعودی بوده است. بعلاوه مدل مورد استفاده در مناطق شهری تعداد نقاط پراکنش‌گر بیشتر با میانگین همبستگی زمانی بیشتری را نسبت به مناطق مختلط شامل دشت و شهری انتخاب کرده است. در ادامه جهت یافتن علت فرونشست، اطلاعات چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه اخذ و تغییرات آنها در طول زمان بررسی گردید. در این خصوص می‌توان گفت که یکی از دلایل اصلی فرونشست زمین در شهرستان اسدآباد و دشت‌های مجاور با توجه به رفتار افزایشی عمق چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه در بازه زمانی مطالعاتی را می‌توان به برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی نسبت داد.

کلید واژه‌ها : فرونشست، تداخل‌سنجی راداری، تکنیک پراکنش‌گرهای دائمی.

* نویسنده مکاتبه کننده: گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تلفن: ۰۹۱۲۶۷۲۱۷۶۹

Email: s.ahmadi@uok.ac.ir

۱- مقدمه

در حال حاضر فرونشست زمین یکی از مهم‌ترین مخاطرات زمین‌شناسی است که به علت تلفات کم‌تر انسانی نسبت به سایر پدیده‌های مخاطره‌آمیز ازجمله سیل، زمین‌لغزش و زلزله در جوامع امروزی کمتر موردتوجه قرارگرفته است، که همین امر خود به تنهایی یکی از عوامل اصلی پیشرفت هر چه بیشتر این پدیده مخاطره آمیز است. این پدیده مخاطره‌آمیز تغییراتی در توپوگرافی سطح زمین ایجاد می‌کند که در بیشتر موارد آسیب‌های وارده توسط این پدیده غیر قابل جبران است[۱ و ۲]. فرونشست زمین در نقاط مختلف جهان به دلایل متفاوتی از جمله برداشت بی‌رویه از منابع آب-های زیرزمینی، لغزش زمین، انقباض‌خاک و سقوط دیواره داخلی معادن صورت می‌گیرد[۳ و ۴].

در مطالعه حاضر جهت پایش فرونشست زمین در شهرستان اسدآباد و دشت‌های مجاور از روش پراکنش-گرهای دائمی[1] که برای اولین بار توسط فرتی و همکاران مطرح شد، استفاده شده است [۵ و ۶]. با این وجود برای مطالعه و بررسی رفتار فرونشست در یک منطقه باید تکنیکی به کار گرفته شود که رفتار این پدیده مخاطره‌آمیز را در طول زمان همانند روش‌های مبتنی بر سری زمانی مورد بررسی قرار دهد[۷ و ۸]. پایش فرونشست زمین در راستای پیشگیری از اثرات مخرب بلایای طبیعی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. تکنیک‌های تداخل‌سنجی توانایی برآورد فرونشست را با دقتی در محدوده میلی متر با استفاده از مشاهدات فاز را دارا هستند[۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲]. خروجی تکنیک های تداخل سنجی در سنجش جابجایی های صورت گرفته به شکل فرونشست بعنوان یک روش بسیار مؤثر شناخته شده است. همچنین خروجی های مربوطه در مطالعات زمین شناسی و بررسی رفتار و الگوی فرونشست در مناطق مختلف بسیار مورد استفاده قرار می گیرد[۱۳ و ۱۴]. در تکنیک تداخل‌سنجی راداری عواملی همچون عدم‌همبستگی زمانی، عدم‌همبستگی مکانی و مصنوعات اتمسفر به عنوان محدودیت‌های تکنیک موردنظر در نظر گرفته می‌شوند[۱۵، ۱۶و۱۷].

نتایج مربوط به مطالعه صورت‌گرفته توسط مقصودی و همکاران بیان‌کننده این مهم است که به منظور دستیابی به خروجی مطلوب در جهت پایش فرونشست در منطقه مطالعاتی با وجود پوشش گیاهی متراکم به دلیل خطای عدم‌همبستگی زمانی بهتر است از تصاویر ماهواره‌هایی با طول‌موج هایی بلند به منظور کاهش اثر خطای عدم‌همبستگی زمانی استفاده کرد[۱۸]. در ایران نیز بحث فرونشست زمین به یک بحران ملی تبدیل شده که در بیشتر موارد ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی می‌باشد. در این خصوص پژوهشگران مختلفی میزان فرونشست زمین را در مناطق مختلف ایران همانند دشت فامنین، ورامین، تهران، مشهد و رفسنجان به کمک تکنیک تداخل‌سنجی راداری مورد مطالعه و بررسی قرار داده اند[۱۹]. برای اولین بار از تکنیک تداخل‌سنجی راداری در استان تهران در سال ۲۰۰۵ میلادی توسط شمشکی و همکاران با استفاده از ۶ تصویر ماهواره انویست[2] به منظور تخمین سرعت و محدوده تغییرات جابجایی پرداختند[۲۰]. معتق و همکاران (۲۰۰۷) منطقه دره مشهد و منطقه شهری مشهد را در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۰۳ با استفاده از تصاویر ماهواره انویست مورد مطالعه قرار دادند که نتایج تحقیق مورد نظر نشان‌دهنده این اصل بود که طبق رفتار افزایشی عمق چاه‌های پیزومتری برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی عامل اصلی فرونشست صورت‌گرفته می‌باشد[۱۳]. حق شناس و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی و مطالعه فرونشست منطقه جنوب غربی تهران با استفاده از تصاویر ماهواره انویست، الوس و تراسار-ایکس[3]

[1] *Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR)*

[2] *ENVISAT*

[3] *TerraSAR-X*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

پرداختند که نتایج مطالعه موردنظر نشان‌دهنده این مهم است که تصاویر ماهواره هایی با طول‌موج کوتاه تر جهت پایش فرونشست اثرپذیری بیشتری از خطای عدم‌همبستگی زمانی به دلیل وجود پوشش گیاهی را در کنار پایش جابجایی با دقت بالاتر دارا هستند[۲۱]. در مطالعه‌ای دیگر توسط دهقانی و همکاران (۲۰۱۰) در منطقه جنوب غربی تهران با استفاده از ۱۲ تصویر ماهواره‌ای انویست به توسط روش خط مبنای مکانی کوتاه[1]، نشان‌دهنده فرونشستی به صورت میانگین برابر با ۲۴ سانتی‌متر در سال جهت ارزیابی رفتار فرونشست در منطقه انجام گرفت که نتایج مطالعه مورد نظر نشان‌دهنده این اصل بود که یکی از عوامل تاثیرگذار در فرونشست زمین در کنار تراکم سیستم آبخوان، نوع خاک منطقه مطالعاتی می‌باشد[۲۲]. در مطالعه‌ای دیگر که توسط دهقانی و همکاران (۲۰۱۳) بر روی استان تهران صورت گرفت نشان‌دهنده فرونشستی در حدود ۱۴ سانتی‌متر در سال با دقتی در حدود ۱/۴ سانتی‌متر بود، در واقع مطالعه صورت‌گرفته برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی را عامل اصلی فرونشست صورت‌گرفته در منطقه عنوان کرد[۲۳].

نتایج مطالعه صورت‌گرفته توسط زبکر و ویلانسور (۱۹۹۲) نشان‌دهنده این مهم است که خطای عدم-همبستگی زمانی در صورت عدم وجود پراکنش غالب در بازه زمانی مطالعاتی ناشی از تغییرات پدیده و خطای عدم‌همبستگی مکانی در صورت افزایش بی‌رویه خط مبنای مکانی در جهت دستیابی به دقت بالاتر در اندازه‌گیری ارتفاع بوجود می‌آید[۱۵]. مطالعه صورت-گرفته توسط دکلرک و همکاران (۲۰۱۷) توسط تصاویر ماهواره انویست و تراسار-ایکس در بازه زمانی ۱۹۹۲-۲۰۱۴ با استفاده از روش پراکنش‌گرهای دائمی صورت-گرفت. نتایج مطالعه صورت‌گرفته برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی را عامل اصلی فرونشست در منطقه موردنظر در نظر گرفت[۲۴]. مطالعه صورت-گرفته توسط ونگ و همکاران در سال ۲۰۱۸ میلادی با استفاده از تصاویر ماهواره انویست و تراسار-ایکس نشان‌دهنده نرخ فرونشستی بیش از ۱۰ میلی متر در سال در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۳ میلادی می‌باشد[۲].

مطالعات بسیاری در حوزه استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری روش پراکنش‌گرهای دائمی در بررسی جابجایی‌های صورت‌گرفته در مناطق زمین لغزش، برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی، حرکت‌های تکتونیکی و مطالعات مربوط به جابجایی-های صورت‌گرفته ناشی از آتش فشان صورت‌گرفته است [۲، ۷، ۲۳، ۲۴، ۲۵ و ۲۶]. در اقصی نقاط جهان و به خصوص در ایران، برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی را می‌توان یکی از علل اصلی فرونشست زمین در این مناطق عنوان کرد[۲۷ و ۲۸].

در پژوهش حاضر برای اولین بار به بررسی فرونشست شهرستان اسدآباد و دشت‌های مجاور با استفاده از روش پراکنش‌گرهای دائمی در بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۱۵ میلادی پرداخته شده است. پژوهش موردنظر در چند بخش با عناوین: بخش ۲ منطقه مورد مطالعه، بخش ۳ داده‌های ماهواره‌ای، بخش ۴ روش تحقیق، بخش ۵ نتایج و در نهایت بخش ۶ نتیجه‌گیری ارائه شده است.

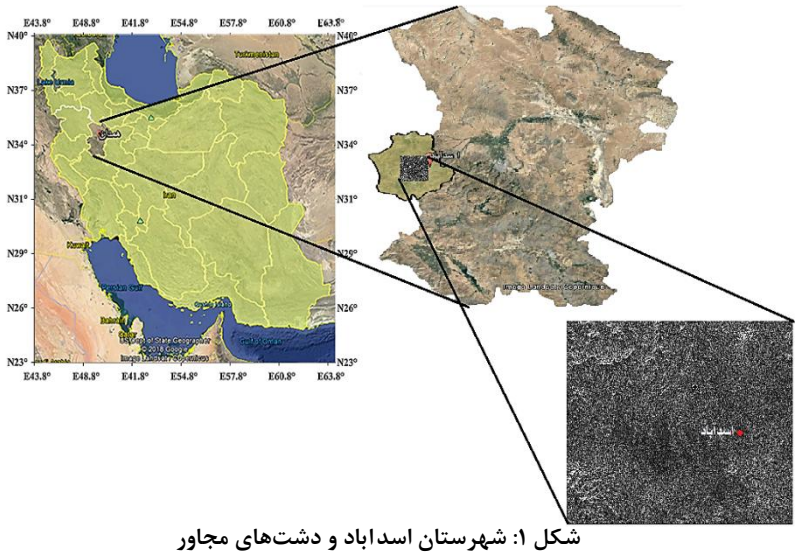
۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شهرستان اسدآباد واقع شده است. شهرستان اسدآباد بین مدار ۳۴ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی قراردارد. این شهرستان با ارتفاع ۱۶۰۷ متر از سطح دریا، آخرین شهرستان غربی استان همدان است. از شمال به شهرستان قروه استان کردستان، از شمال شرقی و مشرق به شهرستان بهار استان همدان، از جنوب شرقی به شهرستان تویسرکان استان همدان، از جنوب به شهرستان کنگاور استان کرمانشاه و از غرب به شهرستان سنقر استان کرمانشاه منتهی می‌شود.

[1] *Small Baseline Subset (SBAS)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

در واقع دشت‌های شهرستان اسدآباد یکی از مهم‌ترین دشت‌های استان همدان محسوب می‌شوند به همین جهت از پیشرفت هرچه بیشتر بلایای طبیعی که به عنوان تهدیدی برای این دشت و دشت‌های اطراف در استان همدان محسوب می‌شوند باید جلوگیری کرد. در این راستا منطقه مطالعاتی شهرستان اسدآباد و دشت مجاور آن انتخاب شده است که در شکل (۱) موقعیت منطقه مطالعاتی نمایش داده شده است.



شکل ۱: شهرستان اسدآباد و دشت‌های مجاور

۳- داده‌های ماهواره‌ای

در پژوهش حاضر در مجموع از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۱۸ میلادی از تصاویر ماهواره سنتینل[1] در حالت صعودی و نزولی همراه با قطبش[2] *VV* استفاده شده است. مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده و تصویر پایه انتخابی برای هر بازه زمانی در جدول(۱) ارائه شده است.

۴- روش تحقیق

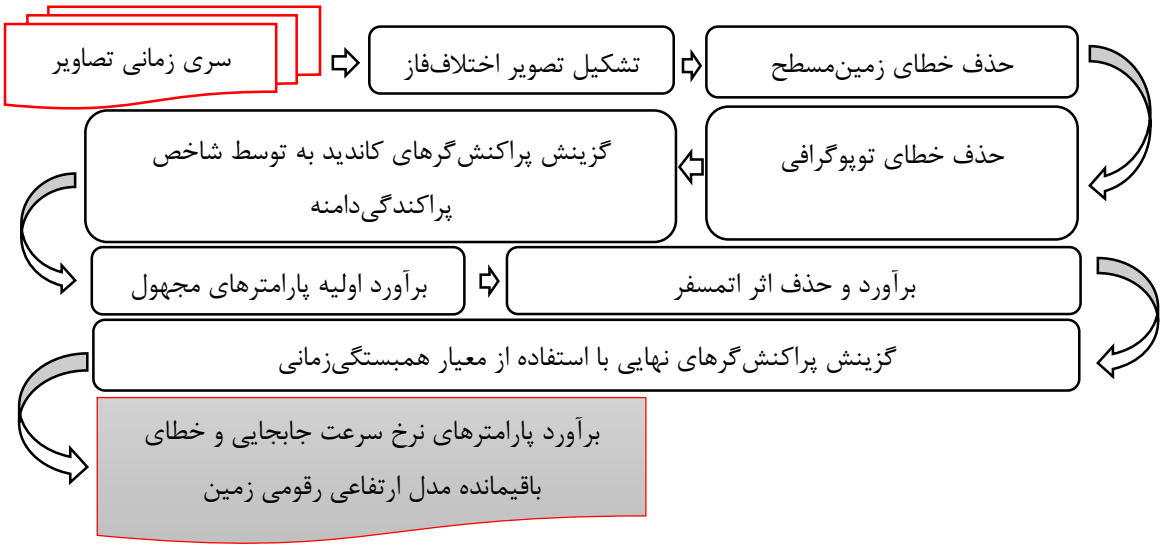
در پژوهش حاضر از روش پراکنش‌گرهای دائمی طبق فلوچارت شکل(۲) به منظور پایش فرونشست در شهرستان اسدآباد و دشت‌های مجاور این شهرستان استفاده شده است. در واقع ایده اصلی تکنیک پراکنش‌گرهای دائمی[3] شناسایی نقاط همبسته[4] با رفتاری ثابت و پایدار در طول زمان با استفاده از داده‌های راداری است. در واقع بر روی هر پراکنش‌گر دائمی اطلاعاتی از قبیل نرخ سرعت جابجایی و خطای باقیمانده مدل ارتفاعی رقومی زمین[5] در یک بازه زمانی مشخص برآورد می‌شود. بر طبق تحقیقات مختلف در گذشته در مناطق مختلف، شناسایی این نقاط در مناطق شهری که عمدتا نشان‌دهنده حالتی پایدار در یک بازه زمانی مشخص هستند، بسیار موفق‌تر نسبت به سایر مناطق موجود بوده است[۲۹]. در شکل(۲) نمودار مراحل مختلف روش پراکنش‌گرهای دائمی ارائه شده است.

[1] *Sentinel-1A*
[2] *Polarization*
[3] *Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR)*
[4] *Coherent*
[5] *Digital Elevation Model (DEM)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

جدول ۱: اطلاعات مربوط به تصاویر مورد استفاده در پژوهش حاضر

سال	تصویرپایه	تعداد تصاویر	حالت‌مداری
۲۰۱۶-۲۰۱۵	۲۰۱۵۱۰۳۱	۳۰	صعودی
	۲۱۶۰۳۰۵	۲۷	نزولی
۲۰۱۷	۲۰۱۷۰۶۱۰	۳۰	صعودی
	۲۰۱۷۰۷۲۲	۲۹	نزولی
۲۰۱۸	۲۰۱۸۰۶۱۷	۲۹	صعودی
	۲۰۱۸۰۸۱۰	۲۹	نزولی
۲۰۱۸-۲۰۱۵	۲۰۱۷۰۵۲۹	۸۱	صعودی
	۲۰۱۷۰۴۲۹	۷۸	نزولی



شکل ۲: فلوچارت روش پراکنش‌گرهای دائمی

در روش پراکنش‌گرهای دائمی جهت شناسایی نقاط پراکنش‌گر دائمی می‌توان از شاخص‌های متفاوتی استفاده کرد و در پژوهش حاضر از شاخص پراکندگی دامنه[1] استفاده شده است[۵ و ۶]. در پژوهش حاضر به منظور بررسی رفتار فرونشست در شهرستان اسدآباد و دشت‌های مجاور، از نرم افزار سارپروز استفاده شده است [۳۰].

۴-۱- روش پراکنش‌گرهای دائمی

در روش پراکنش‌گرهای دائمی در ابتدا با استفاده از دو تصویر رادار، جهت دستیابی به تصویر اختلاف‌فاز[2]، تصویرپایه[3] در تصویر پیرو[4] ضرب می‌گردد. در تصویر اختلاف‌فاز، در هر پیکسل علاوه بر فاز ناشی از جابجایی، فاز ناشی از خطای زمین‌مسطح، فاز ناشی از توپوگرافی، فاز ناشی از اثر اتمسفر و در نهایت فاز ناشی از عوامل دیگر (نویز) نیز وجود دارد. در تکنیک تداخل‌سنجی جهت پایش فرونشست تنها فاز ناشی از

[1] *Amplitude Dispersion Index (ADI)*

[2] *interferogram*
[3] *Master*
[4] *Slave*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

جابجایی مورد نیاز است. به عبارت دیگر مقادیر اختلاف‌فاز به غیر از فاز جابجایی را باید از روی اختلاف‌فاز برآورد شده حذف و در نهایت با استفاده از این مقدار، میزان جابجایی در بازه زمانی مشخص

رابطه (۱)

$$\phi_{Diff} = \phi_{flat-earth} + \phi_{topography} + \phi_{displacement} + \phi_{atm} + \phi_{noise}$$

در رابطه (۱) ترم $\phi_{flat-earth}$ فاز مربوط به زمین-مسطح، $\phi_{topography}$ فاز ناشی از توپوگرافی زمین، $\phi_{displacement}$ فاز ناشی از جابجایی، ϕ_{atm} فاز ناشی از اثر اتمسفر و در نهایت ϕ_{noise} فاز ناشی از عوامل مزاحم همانند خطای عدم‌همبستگی زمانی و خطای عدم-همبستگی مکانی می‌باشد که در ترم نویز در رابطه (۱) قرارگرفته می‌شود[۶]. در واقع سطوح پوشش گیاهی در طول زمان موجب ایجاد خطای عدم‌همبستگی زمانی می‌شوند و دلیل این امر این است که در طول زمان پوشش گیاهی به دلیل رشد گیاه پراکندگی غالبی از خود ندارد و این پراکندگی‌ها در طول زمان رفتار متفاوتی را از خود نشان می‌دهند که این امر موجب ایجاد خطای عدم‌همبستگی زمانی می‌شود. بنابراین خطای عدم‌همبستگی زمانی به عنوان یکی از عوامل کاهش‌دهنده دقت به حساب می‌آید. از طرفی خطای عدم‌همبستگی مکانی نیز در صورتی که خط مبنای مکانی بیش از حد بلند باشد به عنوان یکی دیگر از عوامل اصلی کاهش‌دهنده دقت در روش پراکنش‌گرهای دائمی تلقی می‌شود[۱۵]. طبق تحقیقات صورت‌گرفته توسط پژوهشگران حوزه تداخل‌سنجی بهتر است در مناطق پوشش گیاهی متراکم از سنسور ماهواره‌های L باند استفاده کرد[۳۱].

برای یک پراکنش‌گر مطلوب با شاخص پراکندگی دامنه مناسب، می‌توان از ترم نویز صرف‌نظر کرد. در صورتی که از اطلاعات مداری با دقت بالا استفاده شود می‌توان از ترم مربوط به خطاهای مداری نیز صرف‌نظر کرد. در انتها تنها فاز ناشی از جابجایی باقی مانده و تمام فازهای تاثیرگذار به عنوان منبع خطا از فاز برآورد شده حذف می‌شوند[۲۴]. در پژوهش حاضر به منظور تشکیل تصویر اختلاف‌فاز از گراف همراه با خط مبنای مکانی و خط مبنای زمانی مشخص استفاده شده است. در اصل پس از تشکیل تصویر اختلاف‌فاز باید اثرات ناخواسته از فاز برآورد شده حذف شود. یکی از این اثرات نامطلوب، فاز ناشی از زمین‌مسطح می باشد. در مبحث تداخل‌سنجی انتظار داریم که در صورت وجود زمین مسطح، بین دو نقطه در روی زمین که با یکدیگر اختلاف ارتفاعی وجود ندارد و به عبارت دیگر جابجایی صورت نگرفته است، اختلاف‌فازی نیز شاهد نباشیم، اما به جهت ماهیت تصویربرداری رادار با گشودگی مصنوعی (سار)[1] و وجود فاصله بین دو نقطه، ترمی سیستماتیک وجود دارد که با استفاده از روش‌های مثلثاتی قابل مدل کردن و در نهایت قابل حذف از اختلاف‌فاز کل است. در اصل این مقدار از فاز به منظور دستیابی به فاز جابجایی با دقت بالاتر، باید قبل از عمل واپیچش[2] فاز از روی فاز برآورد شده اولیه حذف گردد [۳۲ و ۳۳].

در نهایت برای حذف اثر خطای توپوگرافی از فاز برآوردشده کلی پس از حذف اثر خطای زمین‌مسطح از تصویر اختلاف‌فاز، از مدل ارتفاعی رقومی زمین استفاده می‌شود. از طرفی هر آنچه طول‌موج ما کوتاه‌تر باشد، برآورد تغییرات ارتفاعی با دقت بهتری انجام می‌شود. در نتیجه می‌توان اظهار داشت که طول‌موج در رادار نقش خط‌کشی مندرج را دارا است و به عبارت دیگر طول‌موج‌های کوتاه بسیار حساس‌تر نسبت به طول-موج‌های بلند در تشخیص جابجایی می‌باشد [۶ و ۳۴]. سنسور ماهواره‌های X باند به دلیل طول‌موج کوتاه برآورد می‌شود. در واقع اختلاف‌فاز برآورد شده در تصویر، اختلاف‌فاز تشکیل شده از چند عامل فاز می‌باشد[۶].

[1] *Synthetic Aperture Radar*
[2] *Unwrapping*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

بسیار حساس به اتمسفر بوده و اثر این پدیده را نسبت به دیگر ماهواره‌ها با طول‌موج بلندتر، با دقت بالاتری برآورد می‌کنند[۳۵].

در گام بعدی به منظور برآورد و حذف اثر اتمسفر از اختلاف‌فاز برآورد شده با استفاده از شاخص پراکندگی دامنه نقاطی را به عنوان پراکنش‌گر دائمی شناسایی و پارامتر سرعت جابجایی و خطای باقیمانده مدل رقومی[1] بر روی این نقاط برآورد می‌گردد [۶].

$$D_{dispersion} \cong \frac{\sigma_A}{m_A} \prec 0.25 \qquad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۲) σ_A انحراف از معیار و m_A میانگین مقادیر پیکسل موردنظر در تصویر ضرب دامنه ها در بازه زمانی می‌باشد. در روش پراکنش‌گرهای دائمی نخست از تصویر دامنه جهت شناسایی نقاط پراکنش‌گر کاندید استفاده می‌شود. به عبارت دیگر نقاطی در این مرحله از پردازش، به عنوان پراکنش‌گر کاندید به منظور برآورد و حذف اثر اتمسفر گزینش می‌شوند که نقاط انتخابی دارای کیفیت سیگنال رادار مربوط به دامنه نسبتا بالایی نسبت به سایر نقاط موجود دارا باشند[۳۶]. حال از شاخص پایداری دامنه به منظور ایجاد شبکه ای از پراکنش‌گرهای کاندید در مرحله برآورد و حذف اثر اتمسفر استفاده می‌کنیم. در اصل در مرحله برآورد اثر اتمسفر، اهدافی که دارای کمترین مقدار شاخص پراکندگی دامنه باشند به عنوان پراکنش‌گر کاندید گزینش می‌شوند[۳۰ و ۳۷]. حال در این مرحله با استفاده از گزینش نقطه رفرنس مناسب به منظور برآورد جابجایی نقاط موجود نسبت به نقطه رفرنس، پارامترهای مجهول سرعت جابجایی و خطای مدل ارتفاعی رقومی را با استفاده از روش بیشینه سازی پریودوگرام[2] برروی اتصالات شبکه مکانی ایجاد شده بین نقاط پراکنش‌گر دائمی برآورد می‌کنیم، که معادلات ریاضی در رابطه(۳) ارائه شده است *[۳۵]* .

در این رابطه، p_{ij} نشان‌دهنده ارتباط میان نقطه پراکنش‌گر کاندید p_i و p_j، N تعداد اینترفروگرام، λ طول موج رادار، θ زاویه برخورد[3] و R نیز فاصله هدف تا سنسور می‌باشد. ترم $\Delta\varphi_{s.k}$ مربوط به اختلاف فاز اینترفرومتریک میان دو تصویر s و k، $B_{t.s}$ و $B_{n.s}$ خط مبنای مکانی و اینترفرومتریک نرمال می‌باشد. در نهایت جهت حل معادله مورنظر از بیشینه‌سازی مقادیر مطلق پریدوگرام با استفاده از $\Delta\tilde{v}(p_{ij})$ و $\Delta\tilde{h}(p_{ij})$ توسط رابطه(۴) استفاده می‌شود.

در واقع در این تکنیک مقدار مطلق[4] بیشینه پریودوگرام، همبستگی زمانی[5] نامیده می شود که به عنوان پارامتر درصد اطمینان پذیری[6] برای برآوردهای صورت گرفته بر روی نقاط پراکنش‌گر کاندید در نظر گرفته می‌شود (رابطه(۵)).

در اصل پس از گزینش پراکنش‌گرهای کاندید با استفاده از شاخص پایداری دامنه در مرحله برآورد اثر اتمسفر بر روی کل تصویر[7]، اثر اتمسفر بر روی هر تصویر اختلاف‌فاز با استفاده از روش‌های درونیابی برآورد و در نهایت اثر برآورد شده از روی برآوردهای صورت‌گرفته بر روی پراکنش‌گرهای کاندید منتخب حذف می‌شود[۶ و ۲۹]. اتمسفر پدیده‌ای همبسته در مکان است. بنابراین اثر این پدیده با استفاده از روش درونیابی بر روی تمام تصاویر اختلاف‌فاز برآورد و حذف می شود. در مرحله بعد اثر اتمسفر بر روی هر پراکنش-گر کاندید برآورد و حذف می‌شود. در نهایت پارامتر همبستگی زمانی را برای هر پراکنش‌گر کاندید محاسبه و پراکنش‌گرهای نهایی را با استفاده از اعمال مقدار مناسب برای پارامتر همبستگی زمانی و محاسبه این پارامتر برای هر پراکنش‌گر گزینش می‌کنیم[۳۸].

[1] *DEM Error*
[2] *Periodogram*
[3] *incidence angle*
[4] *Absolute value*
[5] *Temporal Coherence (TC)*
[6] *reliability parameter*
[7] *Atmospheric Phase Screen (APS)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

$$\xi\left[\Delta v\left(p_{ij}\right),\Delta h\left(p_{ij}\right)\right]=\frac{1}{N}\sum_{s=1}^{N}e^{j\left[\Delta\varphi_{s,k}\left(p_{ij}\right)-\frac{4\pi}{\lambda}\Delta v\left(p_{ij}\right)B_{t,s}-\frac{4\pi}{\lambda R\sin\theta}\Delta h\left(p_{ij}\right)B_{n,s}\right]}$$ (رابطه(۳

$$\Delta\tilde{v}\left(p_{ij}\right),\Delta h\left(p_{ij}\right)=\arg\max\left\{\left|\xi\left[\Delta v\left(p_{ij}\right),\Delta h\left(p_{ij}\right)\right]\right|\right\}$$ رابطه(۴)

$$\xi\left(p_{ij}\right)=\left|\xi\left[\Delta\tilde{v}\left(p_{ij}\right),\Delta h\left(p_{ij}\right)\right]\right|$$ رابطه(۵)

در مرحله پایانی با استفاده از روش ادغام[1] پارامترهای مجهول از قبیل نرخ سرعت جابجایی در جهت دید ماهواره[2] و خطای مدل ارتفاعی رقومی با استفاده از مقادیر برآورد شده بر روی اتصالات میان نقاط، بر روی نقاط پراکنش‌گر کاندید برآورد می‌شود. در پایان نقاط پراکنش‌گر نهایی همراه با مقادیر بالا معیار همبستگی زمانی به منظور تشکیل نقشه جابجایی گزینش می‌شوند *[۶]*.

۵- نتایج

در پژوهش حاضر جهت مقایسه رفتار فرونشست در مناطق شهری و غیر شهری از نظر میزان آسیب‌پذیری و همخوانی مدل انتخابی جهت پایش فرونشست در منطقه موردنظر، مناطق مستعد جابجایی به سه منطقه *a*، *b* و *c* تقسیم و خروجی‌های مربوط به مناطق انتخابی مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۳) موقعیت جغرافیایی محدوده شهرستان اسدآباد و دشت های مجاور و نیز مناطق *a*، *b* و *c* نمایش داده شده است.

مطابق با شکل (۳) منطقه *a* مربوط به منطقه شهری شهرستان اسدآباد منتهی به دشت شمالی شهرستان با مساحتی در حدود ۱ کیلومترمربع، منطقه *b* مربوط به روستای خاکریز واقع در قسمت شمالی دشت اسدآباد که منطقه موردنظر دارای مساحتی در حدود یک کیلومترمربع و منطقه *c* نیز مربوط به قسمت میانی دشت اسدآباد شامل روستای جنت‌آباد و بادخوره با مساحتی در حدود ۹ کیلومترمربع به عنوان مناطق مطالعاتی انتخاب و مورد بررسی و تحلیل در بازه زمانی۲۰۱۸-۲۰۱۵ میلادی قرار گرفته‌اند.

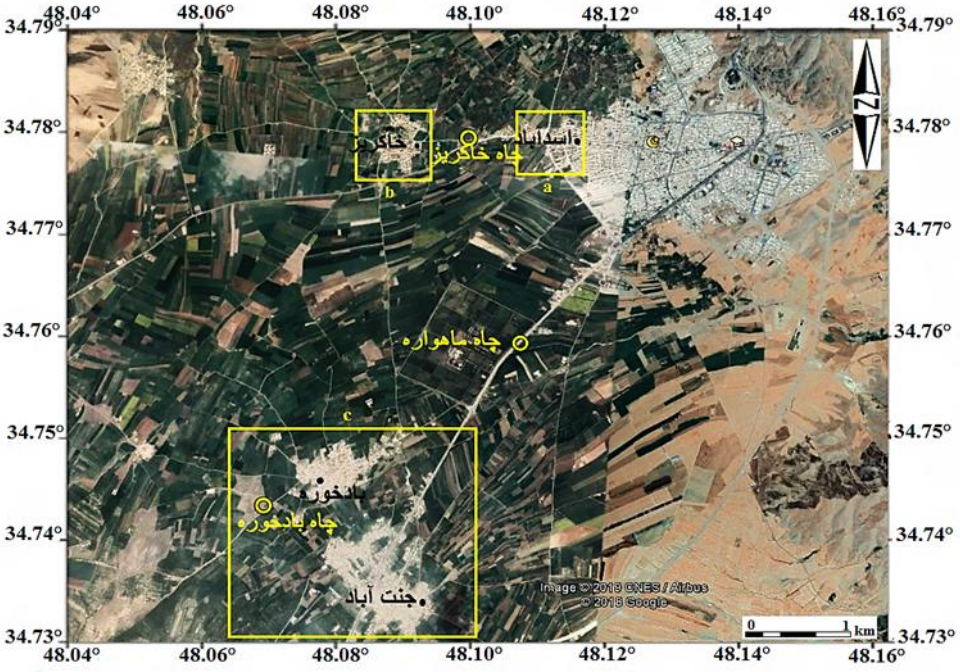
در پژوهش حاضر به عنوان مطالعه‌ای دیگر به منظور بررسی رفتارفرونشست و تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری از اطلاعات مربوط به تغییرات عمق چاه‌ها و فرونشست اتفاق‌افتاده در منطقه استفاده گردید. اطلاعات مربوط به موقعیت مکانی چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه مطالعاتی در جدول (۲) ارائه شده است. در این بخش نتایج سرعت جابجایی و تحلیل‌های مربوطه در سه بازه ۲۰۱۶-۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ در منطقه مطالعاتی شهرستان اسدآباد و دشت‌های مجاور در قالب نقشه نرخ جابجایی در بازه زمانی یک ساله ارائه شده است. شکل (۴) نقشه مربوط به نرخ سرعت جابجایی مربوط به بازه ۲۰۱۶-۲۰۱۵ میلادی در گذر صعودی و نزولی را نشان می دهد.

در شکل (۴) نقشه‌های نرخ سرعت جابجایی در بازه زمانی یک ساله در گذر صعودی و نزولی ارائه شده است. در واقع در نقشه نرخ سرعت جابجایی میزان جابجایی در بازه زمانی یک ساله ارائه شده است. بنابراین میزان جابجایی صورت‌گرفته در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۱۵ دو برابر مقادیر ارائه شده در نقشه‌های نرخ سرعت جابجایی برای هر نقطه پراکنش‌گر دائمی می‌باشد. مطابق با نقشه‌های نرخ سرعت جابجایی، دلیل انتخاب بازه دو ساله ۲۰۱۶-۲۰۱۵ در کمبود تعداد تصاویر در بازه‌های یک ساله ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ به تنهایی می‌باشد. مطابق با جدول (۱) در بازه زمانی دو ساله ۲۰۱۶-۲۰۱۵ میلادی به تنهایی تعداد تصاویری در حدود تعداد تصاویر موجود در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸

[1] *Integration*
[2] *Line of Sight (LOS)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

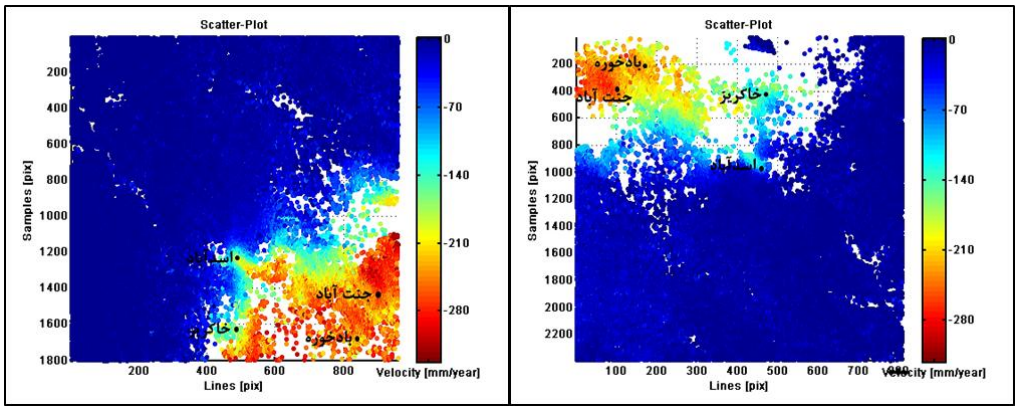
میلادی در دسترس می‌باشد



شکل ۳: موقعیت مناطق انتخابی در منطقه مورد مطالعه

جدول ۲: موقعیت چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه مطالعاتی

چاه پیزومتری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
بادخوره	*48°4'19"E*	*34°44'22"N*
خاکریز	*48°5'35"E*	*34°46'59"N*
ماهواره	*48°6'10"E*	*34°45'32"N*

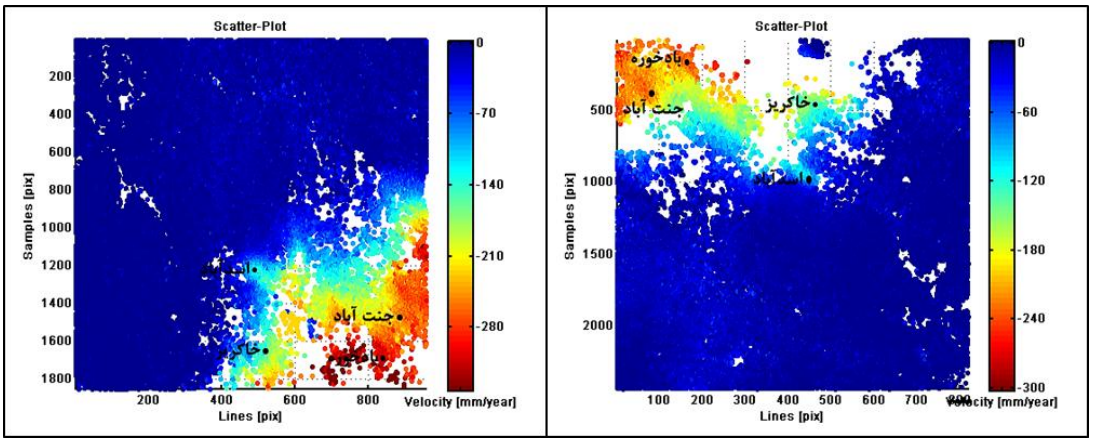


شکل ۴: نقشه نرخ سرعت جابجایی مربوط به بازه ۲۰۱۶-۲۰۱۵ میلادی در گذر صعودی (راست) و نزولی (چپ) در فرمت تصویربرداری راداری (سار)

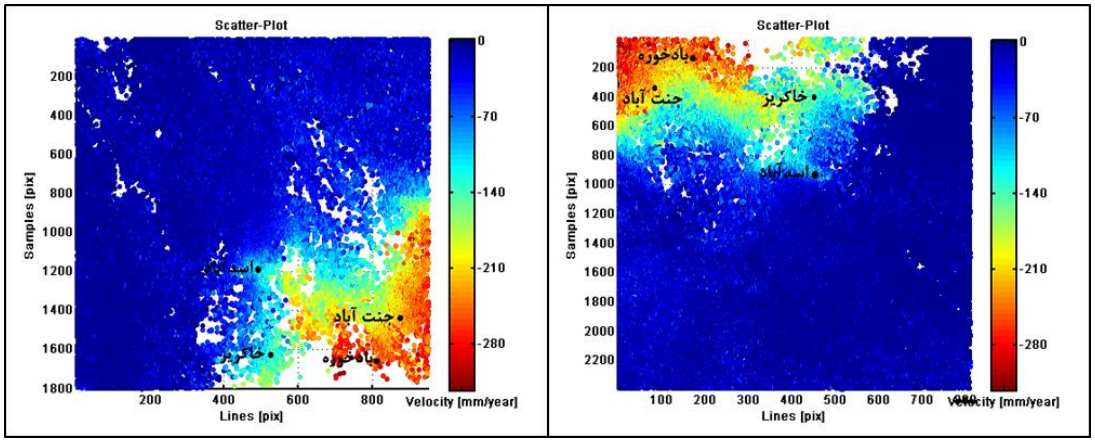
در شکل (۵) و شکل (۶) به ترتیب نقشه مربوط به نرخ سرعت جابجایی مربوط به سال ۲۰۱۷ و سال ۲۰۱۸ میلادی در گذر صعودی و نزولی نمایش داده شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

در حالت کلی مطابق با نقشه‌های جابجایی ارائه شده در شکل‌های (۴)، (۵) و (۶) می‌توان اظهار داشت که بیشترین فرونشست صورت‌گرفته مطابق با برآورد میانگین جابجایی نقاط پراکنش‌گر موجود در مناطق اطراف روستای جنت‌آباد و بادخوره (محدوده منطقه c) در سه بازه زمانی مطالعاتی ۲۰۱۶-۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ میلادی می‌باشد.



شکل ۵: نقشه نرخ سرعت جابجایی در بازه ۲۰۱۷ میلادی در گذر صعودی (راست) و نزولی (چپ) در فرمت تصویربرداری راداری (سار)

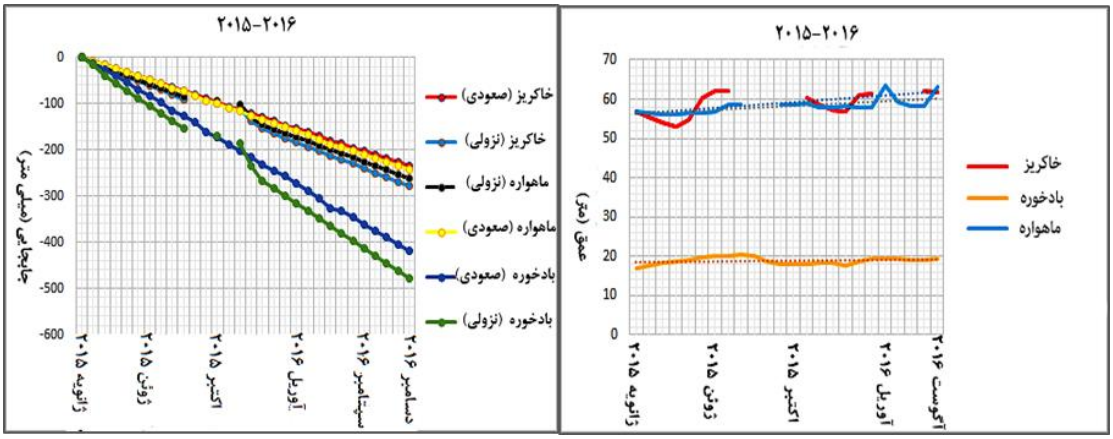


شکل ۶: نقشه نرخ سرعت جابجایی در بازه ۲۰۱۸ میلادی در گذر صعودی (راست) و نزولی (چپ) در فرمت تصویربرداری راداری (سار)

۵-۱- مقایسه رفتار فرونشست در منطقه با رفتار عمق چاه‌های پیزومتری

در پژوهش حاضر به منظور بررسی رابطه میان رفتار فرونشست صورت‌گرفته در منطقه و عمق چاه‌های پیزومتری موجود، از تحلیل رابطه میان عمق چاه‌های پیزومتری و میانگین جابجایی برآورد شده بر روی نقاط پراکنش‌گر موجود در محدوده اطراف چاه‌های پیزومتری در بازه زمانی مطالعاتی، استفاده شده است. نمودار مربوط به عمق چاههای پیزومتری و نیز جابجایی نقاط اطراف چاهها بر اثر فرونشست در بازه ۲۰۱۶-۲۰۱۵ در شکل (۷) نشان داده شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]



شکل ۷: نمودارهای مربوط به عمق چاه‌های پیزومتری و جابجایی در بازه ۲۰۱۶-۲۰۱۵ میلادی

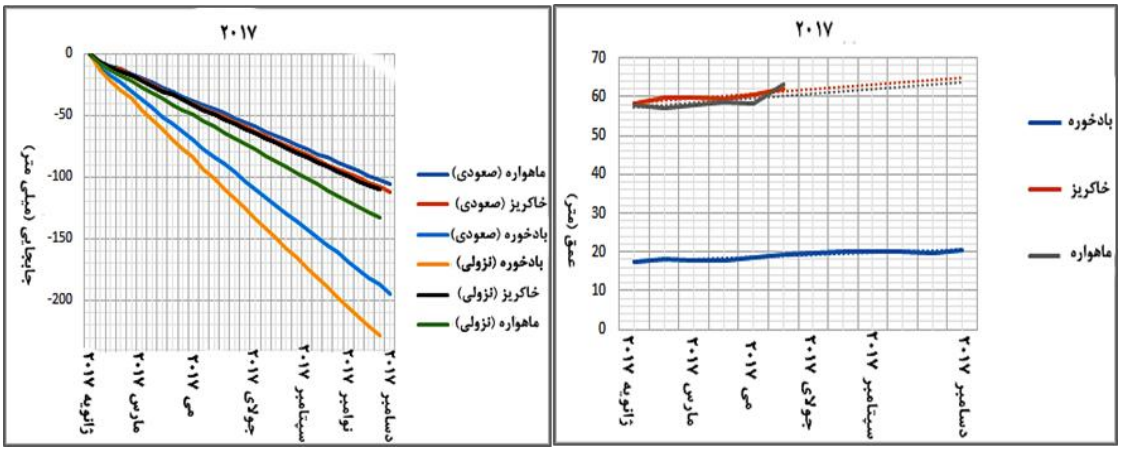
شکل(۷) نشان‌دهنده میزان تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری و جابجایی مربوط به نقاط پراکنش‌گر اطراف چاه‌های موجود در منطقه را در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۱۵ میلادی می‌باشد. در شکل (۷) در نمودار سمت چپ محور افقی نشان‌دهنده زمان و محور عمودی نیز نشان‌دهنده میزان جابجایی در بازه زمانی موردنظر می‌باشد. نمودار جابجای نشان‌دهنده افزایش میزان جابجایی در جهت دید ماهواره به صورت فرونشست می‌باشد. در نمودار سمت راست نیز محور افقی نشان‌دهنده زمان و محور عمودی نشان‌دهنده تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری در بازه زمانی مطالعاتی می‌باشد. در نمودارهای مربوطه رفتار نقاط پراکنش‌گر دائمی اطراف چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه و رفتار عمق چاه‌های موردنظر در بازه زمانی مطالعاتی ارائه شده است. مطابق با داده‌های اخذ شده از اداره آب منطقه‌ای استان همدان در نمودار مربوط به عمق چاه‌های پیزومتری دلیل عدم یکپارچگی نمودار مربوط به عمق چاه‌های پیزومتری در نبود اطلاعات عمق به دلیل خشکی چاه و یا عدم اندازه‌گیری توسط اداره مربوطه در زمان‌های خالی از اطلاعات می‌باشد. مطابق با نمودارهای ارائه شده در شکل (۷) در چاه بادخوره افزایش عمقی در حدود ۲ متر را طبق اطلاعات دریافتی از اداره آب منطقه‌ای استان همدان در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۱۵ میلادی ایجاد شده است. در چاه خاکریز نیز در بازه زمانی دو ساله افزایش عمقی در حدود ۴ متر مشاهده می گردد. از طرفی در چاه ماهواره نیز افزایش عمقی در حدود ۴ متر در بازه موردنظر وجود دارد. از طرفی مطابق با نتایج مربوط به میانگین جابجایی اطراف چاه‌های پیزومتری، فرونشست صورت گرفته در بازه ۲۰۱۶-۲۰۱۵ میلادی به صورت خطی می‌باشد. نمودار مربوط به عمق چاههای پیزومتری و نیز جابجایی نقاط اطراف چاهها بر اثر فرونشست در سال ۲۰۱۷ میلادی در شکل (۸) نمایش داده شده است.

نمودارهای موجود در شکل (۸) نشان‌دهنده تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه و رفتار نقاط پراکنش‌گر موجود در اطراف چاه‌های موجود در منطقه در بازه زمانی سال ۲۰۱۷ میلادی می‌باشند. در واقع نمودارهای مربوط به عمق چاه‌های پیزومتری در شکل (۸) در بازه زمانی یک ساله ۲۰۱۷ میلادی برای چاه بادخوره نشان‌دهنده افزایش عمقی در حدود ۲ متر است. از طرفی در چاه خاکریز نیز در بازه زمانی شش ماهه از ابتدای ژانویه ۲۰۱۷ تا انتهای ژوئن ۲۰۱۷ میلادی افزایش عمقی در حدود ۴ متر اتفاق افتاده است. اطلاعات مربوط به تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری در چاه ماهواره نشان‌دهنده افزایش عمقی در حدود ۵ متر در بازه زمانی شش ماهه می‌باشد. نتایج

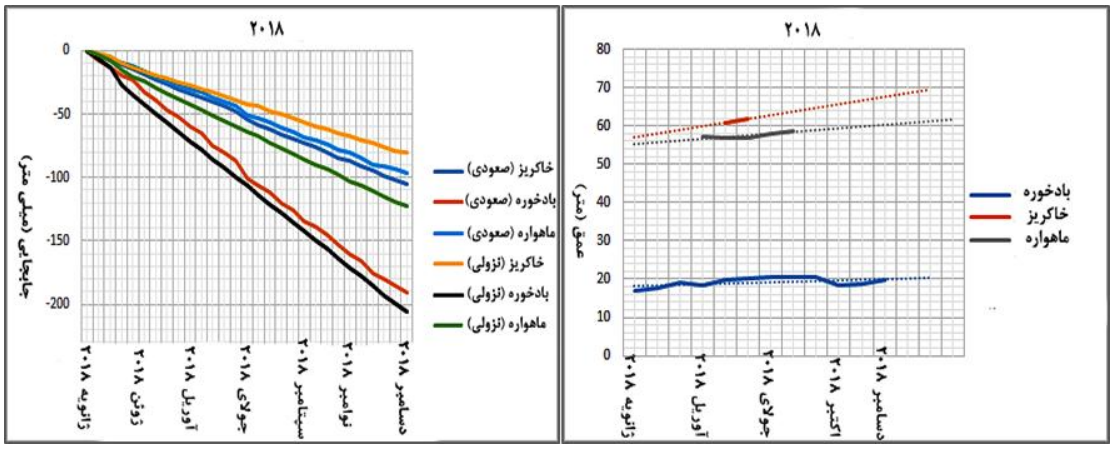
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

مربوط به میانگین جابجایی مربوط به سال ۲۰۱۷ میلادی نیز نشان‌دهنده فرونشستی خطی در هر دو گذر صعودی و نزولی می‌باشد.

شکل (۹) نمودار مربوط به عمق چاههای پیزومتری و نیز جابجایی نقاط اطراف چاهها بر اثر فرونشست در سال ۲۰۱۸ میلادی را نشان می دهد.



شکل ۸: نمودارهای مربوط به عمق چاه‌های پیزومتری و جابجایی در بازه ۲۰۱۷ میلادی



شکل ۹: نمودارهای مربوط به عمق چاه‌های پیزومتری و جابجایی در بازه ۲۰۱۸ میلادی

نمودارهای موجود در شکل(۹) نشان‌دهنده تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه و رفتار نقاط پراکنش‌گر موجود در اطراف چاه‌ها در بازه زمانی مطالعاتی می‌باشند. در اصل بر طبق نمودارهای ارائه شده در شکل(۹) در بازه زمانی یک ساله در چاه بادخوره افزایش عمقی در حدود ۳ متر مشاهده می شود. از طرفی در چاه خاکریز نیز در بازه زمانی دو ماهه از ابتدای می ۲۰۱۸ میلادی تا انتهای ژوئن ۲۰۱۸ میلادی افزایش عمقی در حدود ۲ متر صورت‌گرفته است. اطلاعات مربوط به تغییرات عمق چاه ماهواره نیز در بازه زمانی پنج ماهه ابتدای آوریل ۲۰۱۸ میلادی تا انتهای آگوست ۲۰۱۸ میلادی نشان‌دهنده افزایش عمقی در حدود ۱/۵ متر می‌باشد.

مطابق با نمودارهای جابجایی ارائه شده در شکل‌های (۷)، (۸) و (۹) می‌توان اظهار داشت که در حالت کلی رفتار فرونشست با توجه به میانگین جابجایی صورت‌گرفته مربوط به نقاط پراکنش‌گر اطراف چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه، همراه با تغییرات

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

افزایشی عمق چاه های موردنظر در بازه زمانی مطالعاتی، به صورت خطی می‌باشد.

در مطالعه انجام شده هدف از ارائه نمودارهای مربوط به تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری و جابجایی مربوط به نقاط پراکنش‌گر اطراف چاه های موردنظر، صرفاً جهت نمایش همبستگی میان رفتار افزایشی فرونشست همراه با رفتار افزایشی تغییرات عمق چاه-های پیزومتری موجود در منطقه در بازه زمانی مطالعاتی می‌باشد. بنابراین از رابطه مستقیم میان افزایش فرونشست و افزایش عمق چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه می‌توان نتیجه گرفت که یکی از عوامل اصلی فرونشست زمین در شهرستان اسدآباد و دشت‌های مجاور افزایش بی‌رویه برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی به خصوص در بخش مصارف کشاورزی می‌باشد. بنابر نتایج فوق می‌توان اظهار داشت که برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی موجب تراکم سطوح زیرین زمین و درنهایت وقوع پدیده فرونشست در بازه زمانی می‌شود. در حال حاضر روش کوتاه مدتی جهت کاهش اثرات ناشی از فرونشست زمین وجود ندارد و عملا روش‌های بلندمدتی از جمله اصلاح الگوی مصرف در نظارت بر برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی نسبت به روش‌های کوتاه‌مدت کارایی بیشتری را دارا هستند.

۵-۲- بررسی سازگاری روش پراکنش‌گرهای دائمی در مناطق شهری و غیرشهری

در مطالعه حاضر جهت بررسی سازگاری روش پراکنش‌گرهای دائمی در مناطق شهری و مناطق مختلط شامل مناطق شهری و غیرشهری از مناطق منتخب a، b و c و در این مناطق از تحلیل میان پارامتر میانگین همبستگی زمانی و تعداد نقاط پراکنش‌گر در مناطق منتخب استفاده شده است. در جدول(۳) اطلاعات مربوط به میانگین جابجایی، تعداد نقاط پراکنش‌گر دائمی و میانگین همبستگی زمانی برای مناطق انتخابی در بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۱۵ ارائه شده است.

در مطالعه حاضر از بررسی رابطه میان پارامتر میانگین همبستگی زمانی نقاط پراکنش‌گر و تعداد نقاط انتخابی در محدوده‌های انتخابی، جهت بررسی همخوانی مدل انتخابی با منطقه مطالعاتی از تحلیل پارامترهای موردنظر در قالب هیستوگرام از اطلاعات ارائه شده در جدول (۳) استفاده شده است. در هیستوگرام‌های ارائه شده در شکل (۱۰) تعداد نقاط پراکنش‌گر موجود در مناطق انتخابی همراه با میانگین همبستگی زمانی نقاط موردنظر ارائه شده است.

از طرفی مطابق با هیستوگرام‌های ارائه شده در شکل (۱۰) می‌توان اظهار داشت که منطقه a با مساحتی در حدود ۱ کیلومترمربع دارای تعداد نقاط پراکنش‌گر بیشتر همراه با متوسط میانگین همبستگی زمانی ۰/۸۳ در هر سه بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ میلادی نسبت به مناطق b وc می‌باشد. از طرفی مناطق b و c که به ترتیب دارای مساحتی در حدود ۱ و ۹ کیلومتر مربع می‌باشند و این در حالی است که در منطقه b همراه با مساحتی یکسان با منطقه a و منطقه c با مساحت ۹ برابر منطقه a، تعداد نقاط پراکنش‌گر کمتری نسبت به منطقه a دارا هستند. در منطقه a نیز پوشش غالب، منطقه متراکم شهری می‌باشد. این در حالی است که منطقه b نسبت به منطقه a با مساحتی مشابه درصد کمتری از پوشش منطقه شهری را دارا می‌باشد و منطقه c نیز حتی با داشتن مساحتی بالغ بر ۹ کیلومتر مربع تنها در حدود نیمی از منطقه متراکم شهری و نیمی دیگر از دشت پوشیده است. در واقع طبق مقادیر ارائه شده در بخش فوق می‌توان اظهار داشت که روش پراکنش‌گرهای دائمی در منطقه a به دلیل تراکم بالای منطقه شهری، تعداد نقاط پراکنش‌گر دائمی بیشتری را همراه با میانگین همبستگی زمانی بالا نسبت به منطقه c در نظر گرفته است. در حالت کلی مطابق با تحلیل‌های صورت‌گرفته می‌توان اظهار داشت که روش پراکنش-گرهای دائمی در مناطق شهری به دلیل وجود ثبات

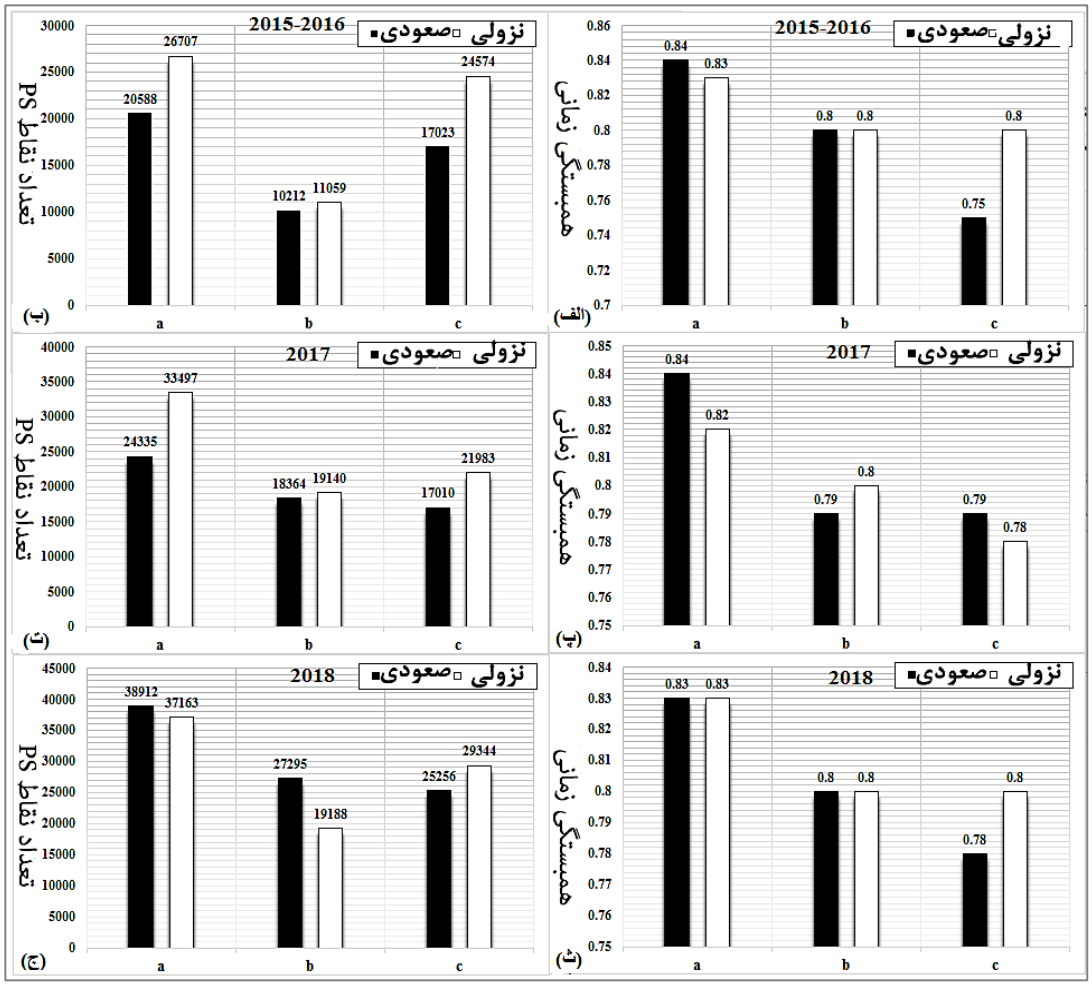
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

اهداف موجود در منطقه در طول زمان، به منظور مدلسازی رفتار سیگنال رادار برای اهداف موردنظر به عنوان نقاط پراکنش‌گر دائمی همراه با میانگین همبستگی زمانی به مراتب بالاتر نسبت به اهداف موجود در مناطق غیر شهری، خروجی مطلوبی را به همراه دارد. برای مثال مطابق با هیستوگرام‌های ارائه شده در شکل (۱۰-ث) و (۱۰-ج) در منطقه انتخابی a به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی تعداد ۳۸۰۰۰ پراکنش‌گر همراه با متوسط همبستگی زمانی ۰٫۸۳و در منطقه b نیز به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی تعداد ۲۴۵۰۰ پراکنش‌گر با متوسط همبستگی زمانی ۰٫۸ و در منطقه c نیز به صورت میانگین تعداد ۲۷۰۰۰ پراکنش‌گر با متوسط همبستگی زمانی میان دو گذر صعودی و نزولی ۰٫۷۹ در سال ۲۰۱۸ میلادی موجود می باشد.

جدول ۳: مقادیر مربوط به زیر مناطق انتخابی *a*، *b* و *c* در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ میلادی

منطقه	سال	حالت مداری	میانگین جابجایی (میلی متر)	تعداد نقاط پراکنش‌گر دائمی	میانگین همبستگی زمانی
a	۲۰۱۵-۲۰۱۶	صعودی	-۱۰۹٫۳۷	۲۰۵۸۸	۰٫۸۴
	۲۰۱۷		-۶۳٫۸۵	۲۴۳۳۵	۰٫۸۴
	۲۰۱۸		-۶۵٫۹۷	۳۸۹۱۲	۰٫۸۴
	۲۰۱۵-۲۰۱۶	نزولی	-۸۵٫۰۳	۲۶۷۰۷	۰٫۸۳
	۲۰۱۷		-۸۲٫۹۹	۳۳۴۹۷	۰٫۸۲
	۲۰۱۸		-۷۳٫۷۸	۳۷۱۶۳	۰٫۸۳
b	۲۰۱۵-۲۰۱۶	صعودی	-۱۸۸٫۸۳	۱۰۲۱۲	۰٫۸۰
	۲۰۱۷		-۱۳۳٫۹۶	۱۸۳۶۴	۰٫۷۹
	۲۰۱۸		-۱۲۳٫۰۹	۲۷۲۹۵	۰٫۸۰
	۲۰۱۵-۲۰۱۶	نزولی	-۱۸۵٫۰۶	۱۱۰۵۹	۰٫۸۰
	۲۰۱۷		-۱۴۶٫۷۲	۱۹۱۴۰	۰٫۸۰
	۲۰۱۸		-۱۰۹٫۱۴	۱۹۱۸۸	۰٫۸۰
c	۲۰۱۵-۲۰۱۶	صعودی	-۴۳۱٫۰۱	۷۰۲۳	۰٫۷۵
	۲۰۱۷		-۱۹۶٫۷۶	۱۷۰۱۰	۰٫۷۹
	۲۰۱۸		-۱۹۳٫۹۱	۲۵۲۵۶	۰٫۷۸
	۲۰۱۵-۲۰۱۶	نزولی	-۴۹۰٫۱۳	۲۴۵۷۴	۰٫۸۰
	۲۰۱۷		-۲۲۸٫۶۵	۲۱۹۸۳	۰٫۷۸
	۲۰۱۸		-۲۰۵٫۱۳	۲۹۳۴۴	۰٫۸۰

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]



شکل ۱۰: هیستوگرام‌های مربوط به تعداد نقاط پراکنش‌گر (ب، ت و ج) و میانگین همبستگی زمانی (الف، پ و ث) در مناطق *a*، *b* و *c*

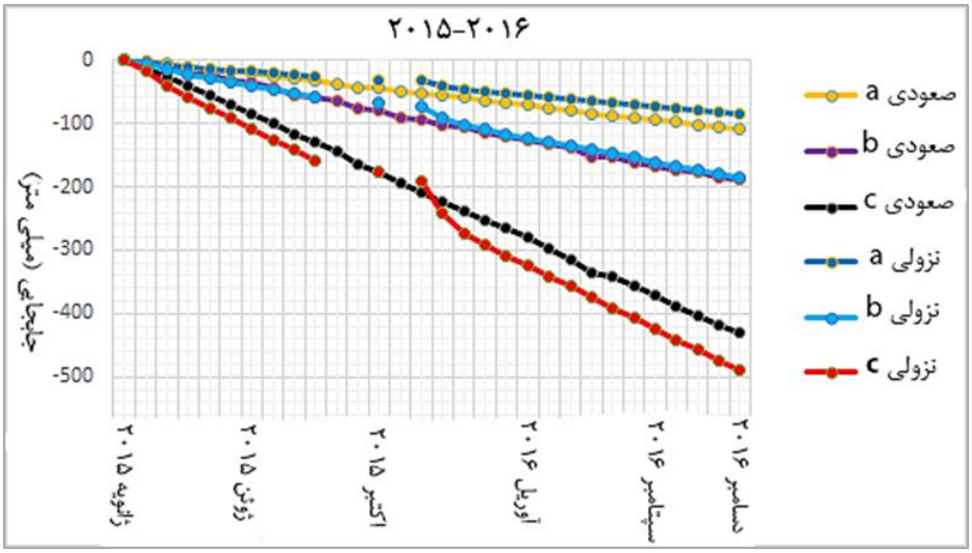
۵-۳- بررسی میزان فرونشست در مناطق مختلف برای بازه‌های زمانی متفاوت

در پژوهش حاضر جهت بررسی رفتار پیشروی فرونشست از منطقه متراکم شهری به طرف مناطق شهری محصور در دشت، از تحلیل و بررسی فرونشست در قالب نمودار در سه زیر منطقه انتخابی *a*، *b* و *c* در بازه زمانی مطالعاتی و مقایسه میانگین جابجایی در گذر صعودی و نزولی برای مناطق انتخابی استفاده شده است. در ضمن در نمودارهای ارائه شده در شکل (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) میزان جابجایی به صورت میانگین برای نقاط پراکنش‌گر موجود در محدوده مناطق انتخابی در قالب نمودار ارائه شده است. مطابق با شکل (۱۱) در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۱۵ میلادی در منطقه *a* به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی فرونشستی معادل با ۹۵ میلی متر و در منطقه *b* نیز به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی فرونشستی معادل با ۱۸۵ میلی متر و در منطقه *c* در بازه زمانی موردنظر فرونشستی به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی معادل با ۴۵۰ میلی متر اتفاق افتاده است.

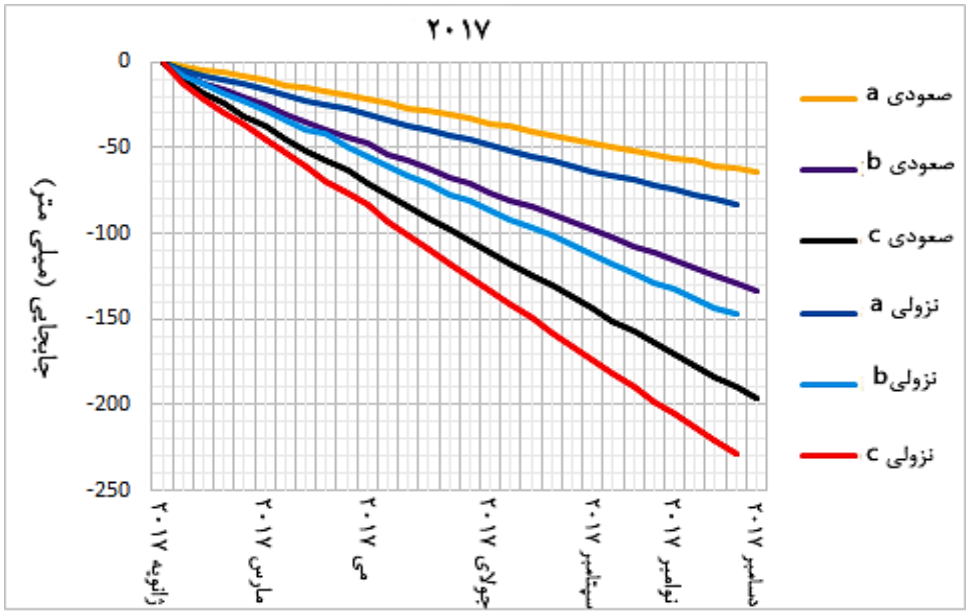
با توجه به شکل (۱۲) در بازه زمانی سال ۲۰۱۷ میلادی نیز منطقه *a* به صورت میانگین برای گذر صعودی و نزولی نیز فرونشستی معادل با ۷۵ میلی متر

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

و برای منطقه b نیز به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی فرونشستی معادل با ۱۴۰ میلی متر و منطقه c نیز فرونشستی به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی معادل با ۲۱۰ میلی متر را در بازه یک ساله اتفاق افتاده است. طبق شکل(۱۲) فرونشست صورت‌گرفته در منطقه c که ترکیبی از منطقه شهری و دشت می‌باشد به مراتب بیشتر از فرونشست صورت گرفته در مناطق شهری است.

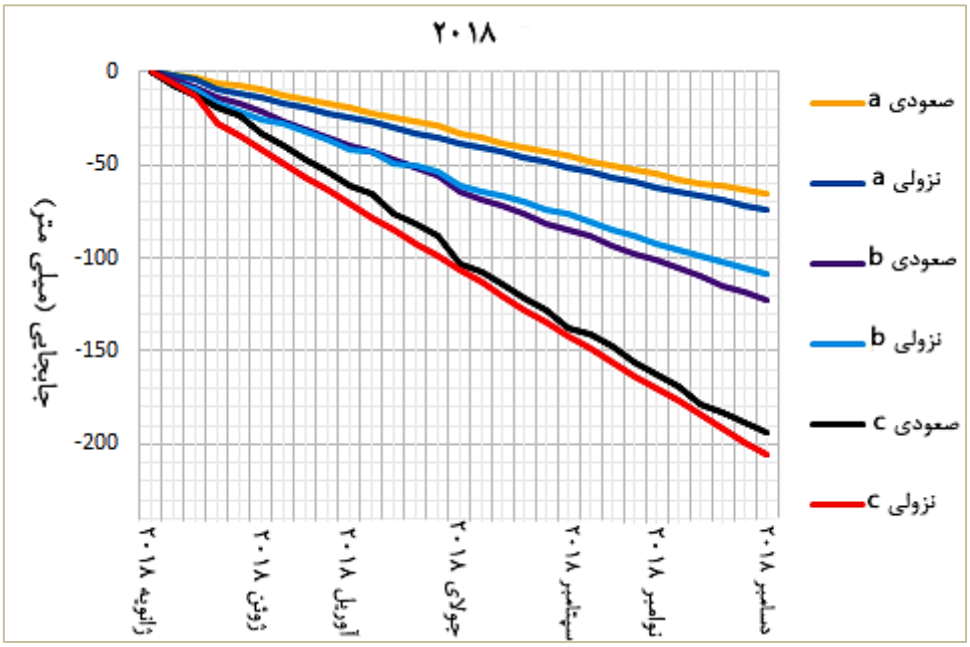


شکل ۱۱: نمودار میانگین جابجایی نقاط پراکنش‌گر موجود در مناطق منتخب *a*، *b* و *c* در بازه ۲۰۱۵-۲۰۱۶ میلادی



شکل ۱۲: نمودار میانگین جابجایی نقاط پراکنش‌گر موجود در مناطق منتخب *a*، *b* و *c* در بازه ۲۰۱۷ میلادی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]



شکل ۱۳: نمودار میانگین جابجایی نقاط پراکنش‌گر موجود در مناطق منتخب *a*، *b* و *c* در بازه ۲۰۱۸ میلادی

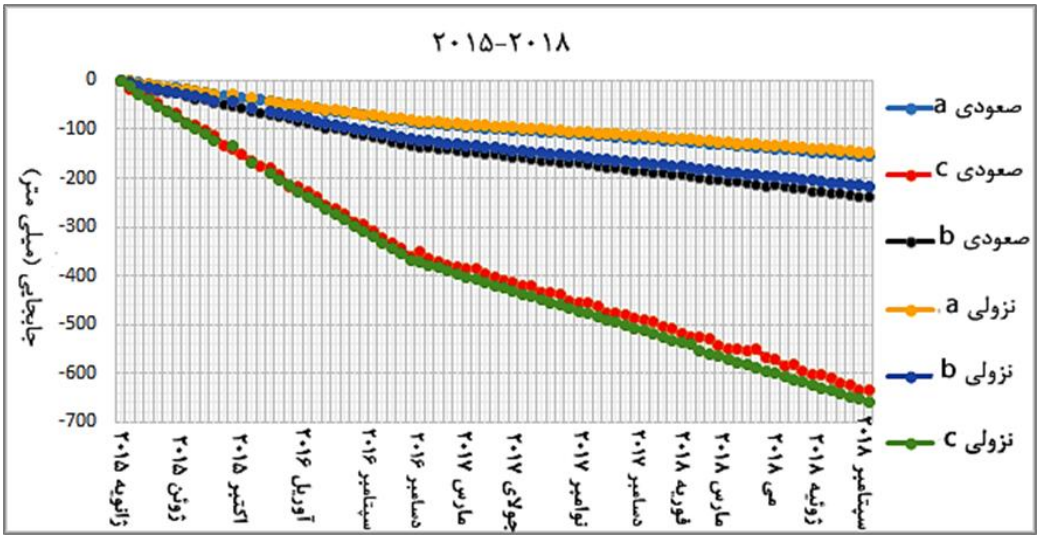
بعلاوه همان‌طور که در شکل (۱۳) ملاحظه می‌شود در بازه زمانی سال ۲۰۱۸ میلادی در منطقه *a* به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی فرونشستی معادل با ۷۰ میلی متر و برای منطقه *b* به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی فرونشستی معادل با ۱۱۵ میلی متر و منطقه *c* نیز به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی فرونشستی معادل با ۲۰۰ میلی متر را در بازه یک ساله اتفاق افتاده است. در واقع طبق نمودارهای موجود در شکل‌های (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) می‌توان عنوان کرد که فرونشست صورت‌گرفته در بازه‌های زمانی ۲۰۱۶-۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ دارای رفتاری خطی می‌باشد.

بنابراین مطابق با نموداره‌های ارائه شده در شکل‌های (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) می‌توان اظهار داشت که در بین مناطق مشخص شده، منطقه *c* به دلیل قرارگیری در دشت بیشترین میزان فرونشست را نسبت به مناطق *b* و *a* دارا است. در واقع اثرات نامطلوب برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی به صورت فرونشست بیشتر گریبان‌گیر مناطق محصور و یا منتهی به دشت‌های آسیب دیده می‌باشد. مطابق با تحلیل‌های صورت‌گرفته می‌توان اظهار داشت که در بخش آسیب-پذیری، مناطق محصور در دشت خسارات بسیار بیشتری را از اثرات نامطلوب پدیده فرونشست متحمل می‌شوند.

۵-۴- بررسی میزان فرونشست در مناطق مختلف برای بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۱۵

در پژوهش حاضر جهت تمایز بهتر مدل‌سازی رفتار خطی فرونشست در بازه‌های زمانی متفاوت، از بررسی رفتار خطی فرونشست در بازه‌های زمانی یک ساله و دو ساله با رفتار فرونشست در بازه زمانی چهار ساله استفاده شده است. در شکل (۱۴) نمودار مربوط به میانگین جابجایی نقاط پراکنش گر موجود در مناطق منتخب a, b, c در بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۱۵ میلادی ارائه شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]



شکل ۱۴: میانگین جابجایی مربوط به نقاط پراکنش‌گر موجود در مناطق منتخب *a*، *b* و *c* در بازه ۲۰۱۸-۲۰۱۵ میلادی

در شکل (۱۴) نمودارهای مربوط به جابجایی در بازه زمانی ابتدای ماه ژانویه ۲۰۱۵ تا انتهای ماه سپتامبر ۲۰۱۸ میلادی برای مناطق منتخب *a*، *b* و *c* ارائه شده است. مطابق با نمودارهای ارائه شده در شکل(۱۴) در بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۱۵ میلادی در منطقه *a* به صورت میانگین در میان گذر صعودی و نزولی فرونشستی معادل با ۶۵ میلی متر و در منطقه *b* نیز به صورت میانگین در میان گذر صعودی و نزولی فرونشستی معادل با ۱۱۰ میلی متر و در منطقه *c* در بازه زمانی موردنظر فرونشستی به صورت میانگین در میان گذر صعودی و نزولی معادل با ۳۸۵ میلی متر اتفاق افتاده است. برای مثال در مدل‌سازی رفتار فرونشست در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۱۵ میلادی طبق نمودار موجود در شکل (۱۱) در منطقه *a* به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی فرونشستی، نشان‌دهنده فرونشستی معادل با ۹۵ میلی متر، در منطقه *b* نیز به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی فرونشستی معادل با ۱۸۵ میلی متر و در منطقه *c* نیز فرونشستی معادل با ۴۵۰ میلی متر به صورت میانگین در میان گذر صعودی و نزولی در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۱۵ می‌باشد.

در نهایت، در حالت کلی مطابق با نتایج ارائه شده می‌توان اظهار داشت که فرض مدل خطی با پایش فرونشست در بازه زمانی چند ساله مطابقت نداشته و فرونشست برآورد شده در بازه زمانی چند ساله بسیار کمتر از مقدار واقعی فرونشست با فرض مدل خطی می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

فعالیت‌های پژوهش حاضر سعی در پایش جابجایی‌های صورت‌گرفته در شهرستان اسدآباد و دشت‌های مجاور را با استفاده از روش پراکنش‌گرهای دائمی داشته است. مطابق با نتایج ارائه شده می‌توان اظهار داشت که فرض مدل خطی با پایش فرونشست صورت‌گرفته در بازه زمانی چند ساله مطابقت نداشته و فرونشست برآورد شده در بازه چند ساله بسیار کمتر از مقدار واقعی فرونشست برآورد شده در بازه‌های زمانی کوتاه تر با فرض مدل خطی می‌باشد. داده‌های مورد استفاده تصاویر ماهواره سنتینل می‌باشد. در اصل مطابق با اطلاعات عمق چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه می‌توان اظهار داشت که فرونشست صورت‌گرفته در شهرستان اسدآباد و دشت‌های مجاور ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی در بازه زمانی مطالعاتی می‌باشد. مطابق با نقشه‌های جابجایی می‌توان اظهار داشت که جهت پیشروی فرونشست

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

زمین در بازه زمانی مورد مطالعه از جهت غرب شهرستان اسدآباد به سمت منطقه شهری صورت‌گرفته است. از طرفی می‌توان اظهار داشت که میزان فرونشست صورت‌گرفته در دشت به مراتب بیشتر از فرونشست صورت‌گرفته در مناطق شهری می‌باشد. مطابق با نتایج ارائه شده می‌توان عنوان کرد که روش پراکنش‌گرهای دائمی در مناطق شهری به دلیل وجود ثبات اهداف موجود در منطقه در طول زمان، به منظور مدل‌سازی رفتار سیگنال رادار برای اهداف موردنظر به عنوان نقاط پراکنش‌گر دائمی همراه با میانگین همبستگی زمانی به مراتب بالاتر نسبت به اهداف موجود در مناطق غیر شهری، خروجی مطلوبی را ارائه می‌کند. جابجایی‌های صورت‌گرفته در منطقه موردنظر نیز حاکی از آن است که با توجه به میانگین جابجایی نقاط پراکنش‌گر موجود در منطقه روستای بادخوره و جنت‌آباد (مطابق با شکل (۳) محدوده منطقه *c*)، فرونشستی در حدود ۸۴۰ میلی‌متر در بازه زمانی چهار-ساله ۲۰۱۸-۲۰۱۵ میلادی (نرخ فرونشستی درحدود ۲۰۰-۲۲۰ میلی‌متر درسال) صورت‌گرفته است. در حالت کلی نیز باید اظهار داشت که داده‌های رادار در سنجش از دور خروجی‌های مطلوبی را از نظر رفتار و وسعت مکانی فرونشست در بازه زمانی مشخص به ما ارائه می‌کنند. پیشنهاد می‌شود فرونشست صورت‌گرفته در شهرستان اسدآباد و دشت‌های مجاور با استفاده از روش خط مبنای مکانی کوتاه نیز مورد بررسی قرار گرفته و نتایج روش موردنظر با روش پراکنش‌گرهای دائمی مقایسه و تحلیل شود.

مراجع

[1] H. Yue, R. Hanssen, F. Van Leijen, P. Marinkovic, and G. Ketelaar, "Land subsidence monitoring in city area by time series interferometric SAR data" Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'05. Proceedings,Vol. 7, pp. 4590-4592, 2005.

[2] T. Wang, D. Kimberly, L. Zhong, T. F Jeffrey. "Complex surface deformation of Akutan volcano, Alaska revealed from InSAR time series", International journal of applied earth observation and geoinformation", Vol. 64, pp. 171-180, 2018.

[3] C. Yoo, L. Dongyeob, "Deep excavation-induced ground surface movement characteristics–A numerical investigation." Computers and Geotechnics, Vol. 35(2), pp. 231-252, 2008

[4] H. Akcin, H. Kutoglu, T. Deguchi, E. Koksal, "Monitoring subsidence effects in the urban area of Zonguldak Hardcoal Basin of Turkey by InSAR-GIS integration", Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 10(9), pp. 1807, 2010.

[5] A. Ferretti, C. Prati, F. Rocca, "Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry", IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, Vol. 38. 5, pp. 2202-2212, 2000.

[6] A. Ferretti, C. Prati, F. Rocca, " Permanent scatterers in SAR interferometry ", IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, Vol. 39(1), pp. 8-20, 2001.

[7] M.L. Velez, P. Euillades, A. Caselli, M. Blanco, J.M. Díaz, "Deformation of Copahue volcano: Inversion of InSAR data using a genetic algorithm", Journal of Volcanology and geothermal research, Vol. 202(1-2), pp. 117-26, 2011.

[8] L.M Wallace, P. Barnes, J. Beavan, R. Van Dissen, N. Litchfield, J. Mountjoy, R. Langridge, G. Lamarche, N. Pondard. "The kinematics of a transition from subduction to strike-slip: An example from the central New Zealand plate boundary", Journal of Geophysical Research: Solid Earth, Vol. 117, B2 , 2012.

[9] M. Crosetto, J.A. Gili, O. Monserrat, M. Cuevas-González, J. Corominas, D. Serral,

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

of geophysical research: solid earth, Vol. 102(B4), pp.7547-7563, 1997.

[18] Y. Maghsoudi, F. van der Meer, C. Hecker, D. Perissin, A. Saepuloh, "Using PS-InSAR to detect surface deformation in geothermal areas of West Java in Indonesia," International journal of applied earth observation and geoinformation, Vol 64, pp. 386-396, 2018.

[19] M. Sharifikia, "Evaluation of land subsidence related disasters in plains and residential areas of Iran," Iranian Association of Engineering Geology Vol 3 (3), pp. 43-58, 2010.

[20] A. Shemshaki, M. Blourchi, F. Ansari, "Earth subsidence review at Tehran plain-Shahriar first report," , 2005.

[21] M. Haghshenas-Haghighi, M. Motagh, and M. Esmaeili, "continuous compaction of aquifer system in Tehran ,Iran, as evidenced by C-band, L-band and X-band radar measurements," in The 5th TerraSAR-X Science Team Meeting, 2013.

[22] M. Dehghani, M.J.V. Zoej, I. Entezam, S. Saatchi, A. Shemshaki, "Interferometric measurements of ground surface subsidence induced by overexploitation of groundwater," Journal of Applied Remote Sensing, Vol. 4(1), 041864, 2010.

[23] M. Dehghani, M.J.V. Zoej, A. Hooper, R.F. Hanssen, I. Entezam, S. Saatchi, "Hybrid conventional and persistent scatterer SAR interferometry for land subsidence monitoring in the Tehran Basin, Iran," ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, Vol. 79, pp. 157-170, 2013.

[24] P.Y. Declercq, P. Gerard, E. Pirard, D. Perissin, J. Walstra, X. Devleeschouwer, "Subsidence related to groundwater pumping for breweries in Merchtem area (Belgium), highlighted by Persistent Scaterrer Interferometry," International journal of applied earth observation and geoinformation, Vol. 63, pp. 178-185, 2017.

[25] A. Ciampalini, F. Bardi, S. Bianchini, W. Frodella, C. Del Ventisette, S. Moretti, N.

"Interferometric SAR monitoring of the Vallcebre landslide (Spain) using corner reflectors", Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 13(4), pp. 923-33, 2013.

[10] C. Colesanti, and J. Wasowski, " Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry.," Engineering geology, Vol. 88 (3-4), pp. 173-199, 2006.

[11] D. Perissin, F. Rocca " High-accuracy urban DEM using permanent scatterers," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol 44 (11), pp. 3338-3347, 2006.

[12] A. Monti-Guarnieri, F. Parizzi, P. Pasquali, C.L. Prati, F. Rocca, "SAR interferometry experiments with ERS-1," Proceedings of IGARSS'93-IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 991-993, 1993.

[13] M. Motagh, Y. Djamour, T.R. Walter, H.U. Wetzel, J. Zschau,S. Arabi. "Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran: results from InSAR, levelling and GPS," Geophysical Journal International, Vol. 168 (2), pp. 518-526, 2007.

[14] A.I. Calderhead, R. Therrien, A. Rivera, R. Martel, J. Garfias "Simulating pumping-induced regional land subsidence with the use of InSAR and field data in the Toluca Valley, Mexico" Advances in Water Resources, Vol. 34 (1), pp. 83-97, 2011.

[15] H.A. Zebker,J. Villasenor, "Decorrelation in interferometric radar echoes," IEEE Transactions on geoscience and remote sensing Vol. 30(5), pp. 950-959, 1992.

[16] R. Goldstein, "Atmospheric limitations to repeat-track radar interferometry., Geophysical research letters, Vol. 22(18), pp.2517-2520, 1995.

[17] H.A. Zebker, P.A. Rosen, S. Hensley, "Atmospheric effects in interferometric synthetic aperture radar surface deformation and topographic maps"Journal

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

Casagli, "Analysis of building deformation in landslide area using multisensor PSInSAR™ technique," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 33, pp. 166-180, 2014.

[26] C. Yang, Z. Lu, Q. Zhang, C. Zhao, J. Peng, L. Ji, "Deformation at Longyao ground fissure and its surroundings, north China plain, revealed by ALOS PALSAR PS-InSAR," International journal of applied earth observation and geoinformation, Vol. 67, pp. 1-9, 2018.

[27] M. Motagh, R. Shamshiri, M.H. Haghighi, H.U. Wetzel, B. Akbari, H. Nahavandchi, S. Roessner, S. Arabi, "Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanjan plain, southeastern Iran, using InSAR time-series and in situ measurements," Engineering geology, Vol. 218, pp. 134-151, 2017.

[28] F. Foroughnia, S. Nemati, Y. Maghsoudi, D. Perissin, "An iterative PS-InSAR method for the analysis of large spatio-temporal baseline data stacks for land subsidence estimation," International Journal Of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 74, pp. 248-258, 2019.

[29] J.J. Sousa, A.M. Ruiz, R.F. Hanssen, L. Bastos, A.J. Gil, J. Galindo-Zaldívar, C.S. de Galdeano, "PS-InSAR processing methodologies in the detection of field surface deformation—Study of the Granada basin (Central Betic Cordilleras, southern Spain)," Journal of Geodynamics, Vol. 49(3-4), pp. 181-189, 2010.

[30] D. Perissin, Z. Wang, T. Wang, "The SARPROZ InSAR tool for urban subsidence/manmade structure stability monitoring in China," Proceedings of the ISRSE, Sidney, Australia, Vol. 1015, 2011.

[31] H. Sun, Q. Zhang, C. Zhao, C. Yang, Q. Sun, W. Chen, "Monitoring land subsidence in the southern part of the lower Liaohe plain, China with a multi-track PS-InSAR technique," Remote Sensing of Environment, Vol. 188, pp. 73-84, 2017.

[32] K. Desai, P. Joshi, S. Chirakkal, D. Putrevu, R. Ghosh, "ANALYSIS OF PERFORMANCE OF FLAT EARTH PHASE REMOVAL METHODS," International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 42, pp. 5, 2018.

[33] B. Ai ,K. Liu, X. Li, D.H. Li, "Flat-earth phase removal algorithm improved with frequency information of interferogram," In Geoinformatics 2008 and Joint Conference on GIS and Built Environment: Classification of Remote Sensing Images, Vol. 7147, pp. 71471A. International Society for Optics and Photonics, 2008.

[34] M. Liao, T. Wang, L. Lu, W. Zhou, D. Li, "Reconstruction of DEMs from ERS-1/2 tandem data in mountainous area facilitated by SRTM data," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 45(7), pp.2325-2335, 2007.

[35] D. Perissin, Z. Wang, H. Lin, "Shanghai subway tunnels and highways monitoring through Cosmo-SkyMed Persistent Scatterers," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 73, pp. 58-67, 2012.

[36] M. Bakon, J. Papco, D. Perissin, J.J. Sousa, and M. Lazecky, "Multi-sensor InSAR deformation monitoring over urban area of Bratislava (Slovakia)," Procedia Computer Science, Vol. 100, pp. 1127-1134, 2016.

[37] D. Perissin, T. Wang , "Repeat-pass SAR interferometry with partially coherent targets," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 50, no. 1, pp. 271-280, 2011.

[38] S. Cheng, D. Perissin, H. Lin, F. Chen, "Atmospheric delay analysis from GPS meteorology and InSAR APS," Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics vol. 86, pp. 71-82, 2012.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.8 No.1, Spring 2020

Research Paper

Monitoring of land subsidence due to overexploitation of groundwater using PS-InSAR in the region in hamadan proviance, Iran

Reza Soodmand Afshar[1], Salman Ahmadi [2]*

1- M.Sc. in Remote Sensing, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kurdistan University, Sanandaj, Iran.
2- Assistant professor in Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

Abstract

Land subsidence is one of the environmental hazards that has been less well-regarded by human societies due to lower human casualties. However, the earth subsidence causes irreparable damage to the urban areas and adjacent plains over time. In this study, Permanent Scatterer (PS) method has been used to monitor land subsidence in the region in hamadan proviance and its adjacent plains in west of Hamadan province using 89 Sentinel-1A satellite images in ascending pass and 85 descending pass images. Based on the results of our study, the Badkhora and Jannatabad villages in the region in hamadan proviance compared to the other regions have the maximum of average subsidence rate of PSs, with subsidence rate of 200-220 mm/year. Furthermore, according to the results, it can be conducted that the rate of subsidence from urban areas towards the plains have been raised. In addition, in urban areas the model has chosen more PSs with higher mean temporal coherence than mixed areas including plain and urban. In order to find the cause of subsidence, the information of piezometric wells in the study area and its temporal changes were investigated. In this regard, one of the main causes of land subsidence in the region in hamadan proviance and adjoining plains due to the increasing depth of piezometric wells in the study period can be attributed to the high pumping of groundwater resources.

Key words: *Land subsidence, Interferometry, PS-InSAR technique.*

Correspondence Address *: Civil Group, Department of Civil Engineering, College of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.*
Tel*: +98 9126721769*
Email*: salman.ahmady@gmail.com*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5]
[DOI: 10.29252/jgit.8.1.79]