نشربه علمي مهندسي فناوري اطلاعات مكاني

سال هشتم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۹ Vol.8, No.1, Spring 2020 ۷۹ – ۹۹

مقاله پژوهشی DOR: <u>20.1001.1.20089635.1399.8.1.5.5</u>



# 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<sup>۱</sup>، سلمان احمدی<sup>۲\*</sup>

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

### چکیدہ

فرونشست زمین از معدود مخاطرات زیست محیطی 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 جبران ناپذیر را به پیکره مناطق شهری و دشتهای مجاور در طول زمان وارد می سازد. در پژوهش حاضر جهت پایش فرونشست زمین در شهرستان اسدآباد و دشتهای مجاور واقع در غرب استان همدان از روش پراکنش گرهای 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 ۲۰۰ گفت که نرخ فرونشست از مناطق شهری به سمت دشتهای 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. همچنین با توجه به نتایج حاصل از تحقیق می توان پراکنش گر 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 می توان گفت که یکی از دلایل اصلی فرونشست زمین در شهرستان اسدآباد و دشتهای مجاور با توجه به رفتار هیاری گرده است. در ادامه جهت موان علت فرونشست از مناطق شهری به سمت در موجود در منطقه اخذ و تغییرات آنها در طول زمان بررسی گردید. در این خصوص می توان موجود در منطقه در بازه زمانی مطالعاتی را می توان به برداشت بی رویه از منابع آبهای ریزرمینی نسبت داد.

کلید واژهها : فرونشست، تداخلسنجی راداری، تکنیک پراکنش گرهای دائمی.

سال هشتم • شماره نخست • بهار ۱۳۹۹

۱– مقدمه

در حال حاضر فرونشست زمین یکی از مهمترین مخاطرات زمینشناسی است که به علت تلفات کمتر انسانی نسبت به سایر پدیدههای مخاطره آمیز ازجمله سیل، زمین لغزش و زلزله در جوامع امروزی کمتر موردتوجه قرار گرفته است، که همین امر خود به تنهایی یکی از عوامل اصلی پیشرفت هر چه بیشتر این پدیده مخاطره آمیز است. این پدیده مخاطره آمیز تغییراتی در توپو گرافی سطح زمین ایجاد می کند که در بیشتر موارد آسیبهای وارده توسط این پدیده غیر قابل جبران آسیبهای وارده توسط این پدیده زماط مختلف جهان به دلایل متفاوتی از جمله برداشت بی رویه از منابع آب-های زیرزمینی، لغزش زمین، انقباض خاک و سقوط دیواره داخلی معادن صورت می گیرد [۳ و ۴].

در مطالعه حاضر جهت پایش فرونشست زمین در شهرستان اسدآباد و دشتهای مجاور از روش پراکنش-گرهای دائمی 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 شكل فرونشست بعنوان يک روش بسيار 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 می شوند [۱۵، ۱۶و۱۷]. نتايج مربوط به مطالعه صورت گرفته 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<sup>۲</sup> به منظور تخمين سرعت و محدوده تغييرات جابجايي 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 نشان دهنده این اصل بود که طبق رفتار افزایشی عمق چاههای پیزومتری برداشت بیرویه از منابع آبهای زيرزميني عامل اصلى فرونشست صورت گرفته مىباشد ۱۳]. حق شناس و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی و مطالعه فرونشست منطقه جنوب غربى تهران با استفاده از تصاوير ماهواره انويست، الوس و تراسار⊣يكس<sup>۳</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR)

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> ENVISAT

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> TerraSAR-X

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<sup>۱</sup>، 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 تاثیر گذار 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 صورت گرفته برداشت بیرویه از منابع آبهای زیرزمینی را عامل اصلی فرونشست صورت گرفته در منطقه عنوان کرد [۲۳].

نتایج مطالعه صورت گرفته 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 بی رویه خط مبنای مکانی در جهت دستیابی به دقت بالاتر در اندازه گیری ارتفاع بوجود می آید [ ۱۵]. مطالعه صورت-گرفته توسط دکلرک و همکاران (۲۰۱۷) توسط تصاویر ماهواره انویست و تراسار ایکس در بازه زمانی ۱۹۹۲-ماهواره انویست و تراسار ایکس در بازه زمانی صورت-گرفت. نتایج مطالعه صورت گرفته برداشت بی رویه از منابع آب های 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⊣یکس 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 پراکنش گرهای دائمی در بررسی جابجاییهای صورت گرفته در مناطق زمین لغزش، برداشت بیرویه از منابع آبهای زیرزمینی، حرکتهای تکتونیکی و مطالعات مربوط به جابجایی-های صورت گرفته ناشی از آتش فشان صورت گرفته است [۲، ۷، ۲۳، ۲۴، ۲۵ و ۲۶]. در اقصی نقاط جهان و به خصوص در ایران، برداشت بیرویه از منابع آبهای زیرزمینی را می توان 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 پراکنش گرهای دائمی در بازه زمانی ۲۰۱۸–۲۰۱۸ 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 نتیجه گیری ارائه شده است.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شهرستان اسدآباد واقع شده است. شهرستان اسدآباد بین مدار ۳۴ درجه و ۲۵ 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 مشرق به شهرستان بهار استان همدان، از جنوب شرقی به شهرستان کنگاور استان همدان، از جنوب به شهرستان کنگاور استان کرمانشاه و از غرب به شهرستان سنقر استان کرمانشاه منتهی می شود.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Small Baseline Subset (SBAS)

نشریه علمی پژوهشی – مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هشتم • شماره نخست • بهار ۱۳۹۹

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 می شوند 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.



شَکل ۱: شهرستان اسداباد و دشتهای مجاور

### ۳- دادههای ماهوارهای

در پژوهش حاضر در مجموع از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۱۸ میلادی از تصاویر ماهواره سنتینل<sup>۱</sup> در حالت صعودی و نزولی همراه با قطبش<sup>۲</sup> ۷۷ استفاده شده است. مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده و تصویر پایه انتخابی برای هر بازه زمانی در جدول(۱) ارائه شده است.

# ۴- روش تحقيق

در پژوهش حاضر از روش پراکنش گرهای 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 پراکنش گرهای دائمی<sup>۳</sup> شناسایی نقاط همبسته<sup>۴</sup> با

رفتاری ثابت و پایدار در طول زمان با استفاده از دادههای راداری است. در واقع بر روی هر پراکنش گر دائمی اطلاعاتی از قبیل نرخ سرعت جابجایی و خطای باقیمانده مدل ارتفاعی رقومی زمین<sup>۵</sup> 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 موفق تر نسبت به سایر مناطق موجود بوده است[۲۹]. در شکل(۲) نمودار مراحل مختلف روش پراکنش گرهای دائمی ارائه شده است.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Sentinel-1A

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Polarization

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Permanent Scatterer Interferometric Synthetic

Aperture Radar (PS-InSAR)

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Coherent

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Digital Elevation Model (DEM)

پایش فرونشسـت زمـین مـرتبط بـا برداشـت بـیرویـه...

رضا سودمند افشار، سلمان احمدی

حالتمدارى	تعداد تصاوير	تصويرپايه	سال
صعودى	٣٠	20101021	
نزولى	۲۷	2180200	1 • 17-1 • 10
صعودى	٣٠	۲۰۱۷۰۶۱۰	U
نزولى	۲۹	7.11.121	1 • 1 ¥
صعودى	۲۹	T • ۱ ۸ • ۶ ۱ ۷	
نزولى	۲۹	7 • 1 \ • \ \ •	1 • 1 ×
صعودى	٨١	2.11.922	
نزولى	Y٨	20120429	1.14-2.10







دو تصویر رادار، جهت دستیابی به تصویر اختلاففاز<sup>۲</sup>، تصویرپایه<sup>۳</sup> در تصویر پیرو<sup>۴</sup> ضرب می گردد. در تصویر اختلاففاز، در هر پیکسل علاوه بر فاز ناشی از جابجایی، فاز ناشی از خطای زمین مسطح، فاز ناشی از توپو گرافی، فاز ناشی از اثر اتمسفر و در نهایت فاز ناشی از عوامل دیگر (نویز) نیز وجود دارد. در تکنیک تداخل سنجی جهت پایش فرونشست تنها فاز ناشی از

<sup>2</sup> interferogram

در روش پراکنش گرهای دائمی جهت شناسایی نقاط پراکنش گر دائمی می توان از شاخصهای متفاوتی استفاده کرد و در پژوهش حاضر از شاخص پراکندگی دامنه ۱ 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

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Master

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Slave

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Amplitude Dispersion Index (ADI)

نشریه علمی پژوهشی – مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

### سال هشتم • شماره نخست • بهار ۱۳۹۹

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)

-در رابطه (۱) ترم  $\phi_{\mathit{flat-earth}}$  فاز مربوط به زمین ، مسطح،  $\phi_{topography}$  فاز ناشی از توپوگرافی زمین فاز ناشی از جابجایی،  $\phi_{displacement}$  فاز ناشی از  $\phi_{displacement}$ اثر اتمسفر و در نهایت  $\phi_{noise}$  فاز ناشی از عوامل مزاحم همانند خطای عدمهمبستگی زمانی و خطای عدم-همبستگی مکانی میباشد که در ترم نویز در رابطه (۱) قرار گرفته میشود[۶]. در واقع سطوح پوشش گیاهی در طول زمان موجب ايجاد خطاى عدمهمبستكى زمانى می شوند 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 پراکنش گرهای دائمی تلقی می شود [۱۵]. طبق تحقيقات صورت گرفته توسط پژوهشگران حوزه تداخلسنجی بهتر است در مناطق پوشش گیاهی متراکم از سنسور ماهوارههای L باند استفاده کرد[۳۱]. برای یک پراکنش گر مطلوب با شاخص پراکندگی دامنه مناسب، می توان از ترم نویز صرفنظر کرد. در صورتی که از اطلاعات مداری با دقت بالا استفاده شود می توان از ترم مربوط به خطاهای مداری نیز صرفنظر كرد. در انتها تنها فاز ناشى از جابجايى باقى مانده و تمام فازهای تاثیر گذار به عنوان منبع خطا از فاز برآورد شده حذف می شوند [۲۴]. در پژوهش حاضر به منظور

برآورد میشود. در واقع اختلاففاز برآورد شده در تصویر، اختلاففاز تشکیل شده از چند عامل فاز میباشد[8].

 $\phi_{_{Diff}} = \phi_{flat-earth} + \phi_{topography} + \phi_{displacement} + \phi_{atm} + \phi_{noise}$ 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) 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 كل است. در اصل این مقدار از فاز به منظور دستیابی به فاز جابجایی با دقت بالاتر، باید قبل از عمل واپیچش<sup>۲</sup> فاز از روی فاز برآورد شده اولیه حذف گردد .[٣٣ • ٣٢].

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

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Synthetic Aperture Radar

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Unwrapping

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

در گام بعدی به منظور برآورد و حذف اثر اتمسفر از اختلاف فاز برآورد شده با استفاده از شاخص پراکندگی دامنه نقاطی را به عنوان پراکنشگر دائمی شناسایی و پارامتر سرعت جابجایی و خطای باقیمانده مدل رقومی<sup>۱</sup> بر روی این نقاط برآورد میگردد [۶].

$$D_{dispersion} \cong rac{\sigma_A}{m_A} \prec 0.25$$
 (۲) رابطه (۲)

در رابطه (۲)  $\sigma_A$  انحراف از معیار و  $m_A$  میانگین مقادیر پیکسل موردنظر در تصویر ضرب دامنه ها در بازه زمانی میباشد. در روش پراکنش گرهای دائمی نخست از تصویر دامنه جهت شناسایی نقاط پراکنش گر کاندید استفاده می شود. به عبارت دیگر نقاطی در این مرحله از پردازش، به عنوان پراکنش گر 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 پراکنش گرهای کاندید در مرحله برآورد و حذف اثر اتمسفر استفاده می کنیم. در اصل در مرحله برآورد اثر اتمسفر، اهدافی که دارای کمترین مقدار شاخص پراکندگی دامنه باشند به عنوان پراکنش گر کاندید گزینش می شوند [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<sup>۲</sup> برروی اتصالات شبکه مکانی ایجاد شده بین نقاط پراکنش گر دائمی برآورد میکنیم، که معادلات ریاضی در رابطه(۳) ارائه شده است [۳۵] .

در این رابطه،  $p_{ij}$  نشان دهنده ارتباط میان نقطه پراکنش گر کاندید  $p_i$  و  $p_i$  محاد اینترفروگرام،  $\lambda$ طول موج رادار،  $\theta$  زاویه برخورد<sup>۳</sup> و R نیز فاصله هدف تا سنسور میباشد. ترم  $\Delta \varphi_{s.k}$  مربوط به اختلاف فاز اینترفرومتریک میان دو تصویر s و  $\lambda$ ، R و  $B_{n.s}$  خط مبنای مکانی و اینترفرومتریک نرمال میباشد. در نهایت جهت حل معادله مورنظر از بیشینهسازی مقادیر مطلق پریدو گرام با استفاده از  $\tilde{v}(p_{ij})$  و  $\Delta \tilde{v}(p_{ij})$ 

در واقع در این تکنیک مقدار مطلق<sup>۴</sup> بیشینه پریودوگرام، همبستگی زمانی<sup>۵</sup> نامیده می شود که به عنوان پارامتر درصد اطمینان پذیری<sup>2</sup> برای برآوردهای صورت گرفته بر روی نقاط پراکنش گر کاندید در نظر گرفته می شود (رابطه(۵)).

در اصل پس از گزینش پراکنش گرهای کاندید با استفاده از شاخص پایداری دامنه در مرحله برآورد اثر اتمسفر بر روی کل تصویر<sup>۷</sup>، اثر اتمسفر بر روی هر تصویر اختلاففاز با استفاده از روشهای درونیابی برآورد و در نهایت اثر برآورد شده از روی برآوردهای صورت گرفته بر روی پراکنش گرهای کاندید منتخب حذف میشود[۶ و ۲۹]. اتمسفر پدیدهای همبسته در مکان است. بنابراین اثر این پدیده با استفاده از روش مکان است. بنابراین اثر این پدیده با استفاده از روش می شود. در مرحله بعد اثر اتمسفر بر روی هر پراکنش-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 پراکنش گر کاندید محاسبه و پراکنش گرهای نهایی را با استفاده از اعمال مقدار مناسب برای پارامتر همبستگی زمانی و محاسبه این پارامتر برای هر پراکنش گر گزینش می کنیم[۲۸].

- <sup>3</sup> incidence angle
- <sup>4</sup> Absolute value
- <sup>5</sup> Temporal Coherence (TC)
- <sup>6</sup> reliability parameter
- <sup>7</sup> Atmospheric Phase Screen (APS)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> DEM Error

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Periodogram

سال هشتم • شماره نخست • بهار ۱۳۹۹

رابطه(۵)

در مرحله پایانی با استفاده از روش ادغام<sup>۱</sup> پارامترهای مجهول از قبیل نرخ سرعت جابجایی در جهت دید ماهواره<sup>۲</sup> و خطای مدل ارتفاعی رقومی با استفاده از مقادیر برآورد شده بر روی اتصالات میان نقاط، بر روی نقاط پراکنش گر کاندید برآورد می شود. در پایان نقاط پراکنش گر نهایی همراه با مقادیر بالا معیار همبستگی زمانی به منظور تشکیل نقشه جابجایی گزینش می شوند [۶].

## ۵- نتایج

در پژوهش حاضر جهت مقایسه رفتار فرونشست در مناطق شهری و غیر شهری از نظر میزان آسیب پذیری و همخوانی مدل انتخابی جهت پایش فرونشست در منطقه موردنظر، مناطق مستعد جابجایی به سه منطقه a، d و 2 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، d و 2 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 ۲ 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.

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

 $\Delta \tilde{v}(p_{ij}), \Delta h(p_{ij}) = \arg \max \left\{ \left| \xi \left\lceil \Delta v(p_{ij}), \Delta h(p_{ij}) \right\rceil \right| \right\}$ 

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 اتفاق افتاده 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 میلادی در گذر

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 بنابراین میزان جابجایی صورتگرفته در بازه زمانی نرخ سرعت جابجایی برای هر نقطه پراکنشگر دائمی نرخ سرعت جابجایی برای هر نقطه پراکنشگر دائمی انتخاب بازه دو ساله ۲۰۱۶–۲۰۱۵ در کمبود تعداد میباشد. مطابق با بدول (۱) در بازه زمانی دو ساله میباشد. مطابق با جدول (۱) در بازه زمانی دو ساله میباشد. مطابق با جدول (۱) در بازه زمانی دو ساله حدود تعداد تصاویر موجود در سالهای ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Integration

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Line of Sight (LOS)

رضا سودمند افشار، سلمان احمدی





شکل ۳: موقعیت مناطق انتخابی در منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتي	موجود در	ييزومترى	چاەھاى	۲: موقعیت	جدول
----------------	----------	----------	--------	-----------	------

عرض جغرافيايي	طول جغرافيايي	چاه پيزومتري
34°44'22"N	48°4′19″E	بادخوره
34°46'59"N	48°5'35″E	خاكريز
34°45'32"N	48°6′10″E	ماهواره



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

۸٧

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

نشریه علمی پژوهشی – مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

#### سال هشتم • شماره نخست • بهار ۱۳۹۹

در حالت کلی مطابق با نقشههای جابجایی ارائه شده در شکلهای (۴)، (۵) و (۶) میتوان اظهار داشت که بیشترین فرونشست صورت گرفته مطابق با برآورد میانگین جابجایی نقاط پراکنش گر موجود در مناطق

اطراف روستای جنتآباد و بادخوره (محدوده منطقه c) در سه بازه زمانی مطالعاتی ۲۰۱۶–۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸



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)

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

در پژوهش حاضر به منظور بررسی رابطه میان رفتار فرونشست صورت گرفته در منطقه و عمق چاههای پیزومتری موجود، از تحلیل رابطه میان عمق چاههای پیزومتری و میانگین جابجایی برآورد شده بر روی نقاط

پراکنش گر 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 (۲) نشان داده شده است.



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 پراکنش گر 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 می-باشد. نمودار جابجای نشاندهنده افزایش میزان جابجایی در جهت دید ماهواره به صورت فرونشست می باشد. در نمودار سمت راست نیز محور افقی نشان-دهنده زمان و محور عمودی نشان دهنده تغییرات عمق چاههای پیزومتری در بازه زمانی مطالعاتی میباشد. در نمودارهای مربوطه رفتار نقاط پراکنش گر دائمی اطراف چاههای پیزومتری موجود در منطقه و رفتار عمق چاه-های 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 اندازه گیری 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 چاه-های پیزومتری، فرونشست صورت گرفته در بازه های پیزومتری، فرونشست صورت گرفته در بازه 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 پراکنش گر 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

نشریہ علمی پژوهشی – مہندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هشتم • شماره نخست • بهار ۱۳۹۹

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 پراکنش گر 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 صورت گرفته

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 صورت گرفته مربوط به نقاط پراکنش گر اطراف چاههای پیزومتری موجود در منطقه، همراه با تغییرات

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 پراکنش گر 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 بی رویه برداشت از منابع آبهای زیرزمینی به خصوص در بخش مصارف كشاورزى مىباشد. بنابر نتايج فوق مىتوان اظهار داشت که برداشت بیرویه از منابع آبهای زیرزمینی موجب تراکم سطوح زیرین زمین و درنهایت وقوع پدیده فرونشست در بازه زمانی می شود. در حال حاضر روش كوتاه مدتى جهت كاهش اثرات ناشى 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- بررسـی سـازگاری روش پـراکنشگرهـای دائمی در مناطق شهری و غیرشهری

در مطالعه حاضر جهت بررسی سازگاری روش پراکنش گرهای دائمی در مناطق شهری و مناطق مختلط شامل مناطق شهری و غیرشهری از مناطق منتخب a، d و c و در این مناطق از تحلیل میان پرامتر میانگین همبستگی زمانی و تعداد نقاط پراکنش گر در مناطق منتخب استفاده شده است. در جدول(T) اطلاعات مربوط به میانگین جابجایی، تعداد نقاط پراکنش گر 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 پراکنش گر و تعداد نقاط انتخابی در محدودههای انتخابی، جهت بررسی همخوانی مدل انتخابی با منطقه مطالعاتی از تحلیل پارامترهای موردنظر در قالب هیستو گرام از اطلاعات ارائه شده در جدول (۳) استفاده شده است. در هیستو گرامهای ارائه شده در شکل (۱۰) تعداد نقاط پراکنش گر موجود در مناطق انتخابی همراه با میانگین همبستگی زمانی نقاط موردنظر ارائه شده است.

از طرفی مطابق با هیستوگرامهای ارائه شده در شکل (۱۰) می توان اظهار داشت که منطقه a با مساحتی در حدود ۱ کیلومترمربع دارای تعداد نقاط پراکنش گر 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 می باشند 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 پراکنش گر 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 می توان اظهار داشت که روش پراکنش گرهای دائمی در منطقه a به دلیل تراکم بالای منطقه شهری، تعداد نقاط پراکنش گر دائمی بیشتری را همراه با میانگین همبستگی زمانی بالا نسبت به منطقه c در نظر گرفته است. در حالت کلی مطابق با تحلیلهای صورت گرفته می توان اظهار داشت که روش پراکنش-گرهای دائمی در مناطق شهری به دلیل وجود ثبات

نشریه علمی پژوهشی – مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

### سال هشتم • شماره نخست • بهار ۱۳۹۹

۲۸۰۰۰ پراکنش گر همراه با متوسط همبستگی زمانی A۲۰ پراکنش گر همراه با متوسط همبستگی زمانی گذر A۳ میانگین در بین گذر صعودی و نزولی تعداد ۲۴۵۰۰ پراکنش گر با متوسط همبستگی زمانی A۲۰ و در منطقه c نیز به صورت میانگین تعداد ۲۷۰۰۰ پراکنش گر با متوسط همبستگی زمانی میان دو گذر صعودی و نزولی P۹/۰ در سال ۲۰۱۸ میلادی موجود می باشد.

اهداف موجود در منطقه در طول زمان، به منظور مدلسازی رفتار سیگنال رادار برای اهداف موردنظر به عنوان نقاط پراکنش گر 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 هیستو گرامهای ارائه شده در شکل (۱۰–ث) و (۱۰–ج) در منطقه انتخابی *a* به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی تعداد

میانگین	تعداد نقاط	میانگین جابجایی	حالت میانگین جابج		
همبستگی زمانی	پراکنشگر دائمی	(میلی متر)	مدارى	سال	منطقة
. 1 4	Y . A . A	۱. <b>۹ ۳</b> ۷		-2.10	
• / \ \	1+077	$-1 \cdot \chi_{1} $		5.18	
٠٫٨۴	24220	$- \mathbf{F} \mathbf{v}_{\prime} \mathbf{\lambda} \Delta$	صعودى	۲۰۱۷	
٠٫٨۴	32417	- <b>%</b> ۵/۹۷		۲۰۱۸	– a
	76V.V	4.4		-2.10	
• / • /	174.4	$-\chi\omega_{l}$	1	5.18	
• ٫٨٢	22491	- <b>\\</b> , <b>99</b>	ىزولى	2.12	
٠,٨٣	21122	$-\mathbf{V}\mathbf{\tilde{v}}_{\prime}\mathbf{V}\mathbf{A}$		2018	
	1.717			-2.10	
	1•111	- 1777/71		5.18	
٠, <b>٢</b> ٩	18886	– <i>۱۳۳</i> ٬۹۶	صغودى	2012	- b
• ,/ •	2224	- <i>۱ ۲ ۳</i> / • ۹		۲۰۱۸	
	11.09	140.5		-2.10	
	11-01	$-1\lambda\omega_{l}$	1	5.18	
• ,/ ·	1914.	- <i>\۴۶</i> /۷۲	ىزولى	2.15	
• , <b>/                                   </b>	١٩١٨٨	- <b>\ •</b> ٩, <i>\</i> <b>۴</b>		2018	
	V . <b>T</b>	***1 . 1		-2.10	
• , • ω	****	-111/+1		5.18	
٠, <b>٢</b> ٩	14.1.	-19 <i>۶</i> /۷۶	صعودی	2.11	- с
• /YA	20205	- I 9 ٣/9 I		2018	
4	Y EAVE	~~ \ <del>~</del>		-2.10	
• / <b>^</b> •	ιτωντ	- ۲٦•/١١	1.	5.18	
• ,YA	21982	-77A,80	نزولى	2.11	
• , <b>A</b> •	29866	$-\mathbf{r} \boldsymbol{\cdot} \boldsymbol{\Delta}_{/} \mathbf{i} \boldsymbol{\kappa}$		2018	

جدول ۳: مقادیر مربوط به زیر مناطق انتخابی  $b \,\, a$ و c در سالهای ۲۰۱۶–۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ میلادی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]



رضا سودمند افشار، سلمان احمدی



شکل ۱۰: هیستوگرامهای مربوط به تعداد نقاط پراکنش گر (ب، ت و ج) و میانگین همبستگی زمانی (الف، پ و ث) در مناطق

ه طو c

۵-۳- بررســی میــزان فرونشســت در منــاطق 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 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 پراکنش گر 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 *d* 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 ۲۵ میلی متر

نشریہ علمی پژوهشی – مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هشتم • شماره نخست • بهار ۱۳۹۹

صورت گرفته در منطقه c که ترکیبی از منطقه شهری و دشت میباشد به مراتب بیشتر از فرونشست صورت گرفته در مناطق شهری است.

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



شکل ۱۱: نمودار میانگین جابجایی نقاط پراکنش گر موجود در مناطق منتخب  $b \, a \, e$  و c در بازه ۲۰۱۵–۲۰۱۶ میلادی



شکل ۱۲: نمودار میانگین جابجایی نقاط پراکنش گر موجود در مناطق منتخب  $b \,\, a$  و c در بازه ۲۰۱۷ میلادی



شکل ۱۳: نمودار میانگین جابجایی نقاط پراکنشگر موجود در مناطق منتخب  $b \,\, a$  و c در بازه ۲۰۱۸ میلادی

بعلاوه همان طور که در شکل (۱۳) ملاحظه می شود در بازه زمانی سال ۲۰۱۸ میلادی در منطقه a به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی فرونشستی معادل با ۲۰ میلی متر و برای منطقه d 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 ۲۰۱ میلی متر را در بازه یک ساله اتفاق افتاده است. در واقع طبق نمودارهای موجود در شکلهای (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) می توان عنوان کرد که فرونشست صورت گرفته در بازههای زمانی ۲۰۱۶– می افرونشد.

بنابراین مطابق با نمودارههای ارائه شده در شکلهای (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) می توان اظهار داشت که در بین مناطق مشخص شده، منطقه c به دلیل قرارگیری در دشت بیشترین میزان فرونشست را نسبت به مناطق d و a دارا است. در واقع اثرات نامطلوب برداشت بیرویه از منابع آبهای زیرزمینی به صورت

فرونشست بیشتر گریبان گیر مناطق محصور و یا منتهی به دشتهای آسیب دیده میباشد. مطابق با تحلیلهای صورت گرفته میتوان اظهار داشت که در بخش آسیب-پذیری، مناطق محصور در دشت خسارات بسیار بیشتری را از اثرات نامطلوب پدیده فرونشست متحمل میشوند.

# 4-۴- بررسیی میسزان فرونشسست در منساطق 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.

#### سال هشتم • شماره نخست • بهار ۱۳۹۹



شکل ۱۴: میانگین جابجایی مربوط به نقاط پراکنشگر موجود در مناطق منتخب  $b \; a \; e$  و c در بازه ۲۰۱۸–۲۰۱۵ میلادی

در شکل (۱۴) نمودارهای مربوط به جابجایی در بازه زمانی ابتدای ماه ژانویه ۲۰۱۵ تا انتهای ماه سیتامبر ۲۰۱۸ میلادی برای مناطق منتخب *a* 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 b نزولی فرونشستی معادل با  $\rho$ ۵ میلی متر و در منطقه 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 نیز فرونشستی معادل با ۴۵۰ میلی متر به صورت cمیانگین در میان گذر صعودی و نزولی در بازه زمانی ۲۰۱۶–۲۰۱۵ می باشد.

در نهایت، در حالت کلی مطابق با نتایج ارائه شده

می توان اظهار داشت که فرض مدل خطی با پایش فرونشست در بازه زمانی چند ساله مطابقت نداشته و فرونشست بر آورد 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 صورت گرفته در شهرستان اسداباد و دشتهای مجاور را با استفاده از روش پراکنش گرهای دائمی داشته است. مطابق با نتایج ارائه شده میتوان اظهار داشت که فرض مدل خطی با پایش فرونشست صورت گرفته 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 مى توان اظهار داشت كه فرونشست صورت گرفته در شهرستان اسدآباد و دشتهای مجاور ناشی از برداشت بیرویه از منابع آبهای زیرزمینی در بازه زمانی مطالعاتی میباشد. مطابق با نقشههای جابجایی مى توان اظهار داشت كه جهت پيشروى فرونشست

99

زمین در بازه زمانی مورد مطالعه از جهت غرب شهرستان اسدآباد به سمت منطقه شهری صورت گرفته است. از طرفی میتوان اظهار داشت که میزان فرونشست صورت گرفته در دشت به مراتب بیشتر از مونشست صورت گرفته در مناطق شهری میباشد. مطابق با نتایج ارائه شده میتوان عنوان کرد که روش پراکنش گرهای دائمی در مناطق شهری به دلیل وجود ثبات اهداف موجود در منطقه در طول زمان، به منظور مدل سازی رفتار سیگنال رادار برای اهداف موردنظر به عنوان نقاط پراکنش گر دائمی همراه با میانگین موجود در مناطق غیر شهری، خروجی مطلوبی را ارائه میکند. جابجاییهای صورت گرفته در منطقه موردنظر نیز حاکی از آن است که با توجه به میانگین جابجایی

- مراجع
- [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,

نقاط پراکنش گر موجود در منطقه روستای بادخوره و جنت آباد (مطابق با شکل (۳) محدوده منطقه *c*)، فرونشستی در حدود ۸۴۰ میلیمتر در بازه زمانی چهار-ساله ۲۰۱۸–۲۰۱۵ میلادی (نرخ فرونشستی درحدود حداث ۲۲۰–۲۰۰ میلیمتر درسال) صورت گرفته 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 می کنند. پیشنهاد می شود فرونشست صورت گرفته 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 پراکنش گرهای دائمی مقایسه و تحلیل شود.

- [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 excavationinduced 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.

سال هشتم • شماره نخست • بهار ۱۳۹۹

"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 pumpinginduced 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

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.

رضا سودمند افشار، سلمان احمدی

Casagli, "Analysis of building deformation in landslide area using multisensor  $PSInSAR^{TM}$  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 FLAT EARTH OFPHASE REMOVAL METHODS," Archives International 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.



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<sup>1</sup>, Salman Ahmadi<sup>2\*</sup>

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