

پایش فرونشست دشت‌های قروه و چهاردولی استان‌های همدان و کردستان با استفاده از فن پراکنش گرهای
دائمی

سامان احمدی و رضا سودمندافشار

دوره ۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، صفحات ۲۳۳ - ۲۱۹

Vol. 6(3), Autumn 2020, 219 – 233

DOI: 10.22034/jewe.2020.236939.1375

Monitoring of Land Subsidence in Qorveh and
Chahardoli Plains of Hamadan and Kurdistan
Provinces using PS-InSAR Technique

Ahmadi S. and Soudmand Afshar R.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

احمدی س. و سودمندافشار ر. (۱۳۹۹). پایش فرونشست دشت‌های قروه و چهاردولی استان‌های همدان و کردستان با استفاده از فن پراکنش گرهای
دائمی. محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۳، صفحات: ۲۳۳-۲۱۹.

Citing this paper: Ahmadi S. and Soudmand Afshar R. (2020). Monitoring of land subsidence in Qorveh and Chahardoli Plains of Hamadan and Kurdistan Provinces using PS-InSAR technique. Environ. Water Eng., 6(3), 219–233. DOI: 10.22034/jewe.2020.236939.1375.

پایش فرونشست دشت‌های قروه و چهاردولی استان‌های همدان و کردستان با استفاده از فن پراکنش گرهای دائمی

سلمان احمدی^{۱*} و رضا سودمندافشار^۲

^۱استادیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

^۲کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

*نویسنده مسئول: s.ahmadi@uok.ac.ir

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۴/۰۷]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۵/۲۶]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۰۶/۰۱]

چکیده

فرونشست زمین در مقایسه با مخاطرات طبیعی دیگر مانند سیل و زلزله در مدت‌زمان طولانی و به‌صورت تدریجی اتفاق می‌افتد و در گذر زمان خسارات جبران‌ناپذیری به ساختار سفره‌های زیرزمینی، زیرساخت‌های حیاتی مانند راه‌ها، خطوط انتقال انرژی و نیز سازه‌های شهری وارد می‌سازد. در پژوهش حاضر در راستای پایش فرونشست زمین در دشت چهاردولی استان همدان و استان کردستان و دشت قروه استان کردستان واقع در غرب ایران از روش پراکنش گرهای دائمی با استفاده از ۵۹ تصویر ماهواره سنتینل در گذر صعودی و ۵۸ تصویر در گذر نزولی استفاده شد. جابجایی‌های صورت گرفته در منطقه مطالعاتی، به‌عنوان بیش‌ترین فرونشست در منطقه میانی روستای آهوتپه و روستای حسن‌آباد امام و شهرستان اسدآباد واقع در دشت چهاردولی استان همدان به ترتیب در حدود ۱۷۰- و ۱۶۶ mm- در بازه زمانی دوساله ۲۰۱۷-۲۰۱۸ میلادی صورت گرفته است. همچنین با توجه به نتایج می‌توان عنوان داشت که فرونشست صورت گرفته در بخش شمالی دشت چهاردولی استان همدان به‌مراتب بیشتر از فرونشست صورت گرفته در بخش جنوبی دشت چهاردولی در استان کردستان می‌باشد. در ادامه جهت یافتن علت فرونشست، از رویکرد بررسی اطلاعات چاه‌های پیژومتری موجود در منطقه و تغییرات آن‌ها در طول زمان استفاده شد. در این خصوص می‌توان اظهار داشت که یکی از دلایل عمده و اصلی فرونشست زمین در دشت چهاردولی و دشت قروه با توجه به رفتار افزایشی عمق چاه‌های پیژومتری موجود در منطقه در بازه زمانی مطالعاتی را می‌توان به برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی نسبت داد.

واژه‌های کلیدی: پراکنش گر دائمی؛ تداخل سنجی راداری؛ فرونشست زمین؛ چاه‌های پیژومتری.

۱- مقدمه

ریزدانه عنوان نموده‌اند. در تحقیقی دیگر نیز نتایج حاکی از آن است که تخلیه بیش از حد منابع آب‌های زیرزمینی طی دهه‌های گذشته یکی از عوامل اصلی تغییر شکل زمین به صورت فرونشست در تهران می‌باشد (Alipour et al. 2008).

در پژوهش دیگری در منطقه ساحلی سمرنگ اندونزی با استفاده از روش خط مبنای مکانی کوتاه و روش تداخل-سنجی اختلافی^۳ فرونشست ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی در بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۳ را شناسایی نمودند (Yastika et al. 2019). در فن تداخل-سنجی راداری خطای عدم همبستگی زمانی در صورت عدم وجود پراکنش غالب در بازه زمانی مطالعاتی ناشی از تغییرات پدیده از قبیل رشد گیاهان در پوشش گیاهی و خطای عدم همبستگی مکانی در صورت افزایش بی‌رویه خط مبنای مکانی در راستای دستیابی به دقت‌های بالاتر در اندازه‌گیرهای ارتفاعی ایجاد می‌شوند (Zebker and Villasenor 1992). همچنین نتایج پژوهش صورت گرفته توسط Sun et al. (2017) نشان‌دهنده این اصل می‌باشد که استخراج نفت از میدان‌های نفتی و تولید نمک که به مقدار بالای آب نیاز دارد عوامل اصلی فرونشست صورت گرفته در دشت لیاونینگ چین در بازه زمانی ۲۰۱۱-۲۰۰۷ میلادی می‌باشد. در فن پراکنش‌گرهای دائمی شناسایی نقاط پراکنش‌گر بسیار وابسته به نوع جابجایی از قبیل جابجایی فصلی و خطی می‌باشد. به‌نوعی شناسایی برخی اهداف به‌عنوان نقطه پراکنش‌گر دائمی در طول زمان به دلیل وجود پیچیدگی در رفتار جابجایی می‌تواند با مشکل مواجه شود (Hanssen 2003). روند فرونشست زمین در برخی مناطق به دلیل ماهیت زمین‌شناسی منطقه، روندی کاهشی را در برمی‌گیرد. از طرفی عواملی از قبیل فعالیت‌های گرمایشی زمین، برداشت نامناسب از منابع آب‌های زیرزمینی و توسعه شهری می‌توانند بسیار مؤثر در تسریع روند افزایشی فرونشست در منطقه باشند (Solari et al. 2018).

بر این اساس هدف و نوآوری اصلی پژوهش حاضر استفاده از فن پراکنش‌گرهای دائمی برای اولین بار در منطقه دشت

فرونشست زمین به یکی از مسائل و مشکلات اساسی جوامع بشری به دلیل ایجاد خسارات جبران‌ناپذیر نسبت به دیگر مخاطرات طبیعی تبدیل شده است (Yastika et al. 2019). فرونشست زمین به دلایل متفاوتی از قبیل برداشت بی‌رویه از منابع زیرزمینی از قبیل آب‌های زیرزمینی (Declercq et al. 2017a; Dehghani et al. 2013b; Karimzadeh et al. 2013)، فرونشست ناشی از استخراج نفت در میدان‌های نفتی (Mirzaii et al. 2017; Sun et al. 2019)، جابجایی‌های ناشی از زمین‌لغزش (Ciampalini et al. 2014) و ریزش دیواره‌های داخلی معادن (Akcın et al. 2010) صورت می‌پذیرد.

در تحقیق انجام‌شده توسط دهقانی و همکاران به منظور بررسی فرونشست صورت گرفته در حوضه جنوب غرب از روش بهبودیافته^۱ همراه با روش‌های قراردادی^۲ استفاده شده است (Dehghani et al. 2013b). همچنین نتایج پژوهش صورت گرفته توسط فروغ‌نیا و همکاران در منطقه جنوب غربی تهران، نشان داد که در منطقه موردنظر فرونشست زمین از نظر توزیع مکانی در کنار افزایش عمق چاه‌های پیرومتری در سال‌های اخیر، روندی افزایشی را طی کرده است (Foroughnia et al. 2019). نتایج پژوهشی دیگر در امتداد گسل شمالی تبریز در شمال غربی ایران نشان‌دهنده این است که رفتار جابجایی صورت گرفته در منطقه به شکل فرونشست، همبستگی بالایی را با نوسانات عمق چاه‌های پیرومتریک ناشی از تغییرات آب و هوایی و برداشت بیش از حد تصور از منابع آبی دارد (Karimzadeh et al. 2013). پژوهش Mirzaii et al. (2019) نشان داد که فرونشست صورت گرفته در میدان نفتی آذر در شهر مهران استان ایلام در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۱۴ میلادی به دلیل استخراج بیش از اندازه مایعات نفتی با استفاده از چاه‌های موجود در منطقه بوده است. همچنین Dehghani et al. (2013a) به کمک تداخل سنجی راداری و روش پراکنش‌گرهای دائمی یک فرونشست را در منطقه جنوب غربی تهران شناسایی نمودند. آن‌ها عوامل اصلی فرونشست را افت سطح آب و ضخامت رسوبات

³ Differential synthetic aperture radar interferometry (D-InSAR)

¹ Improved StaMPS methods
² conventional

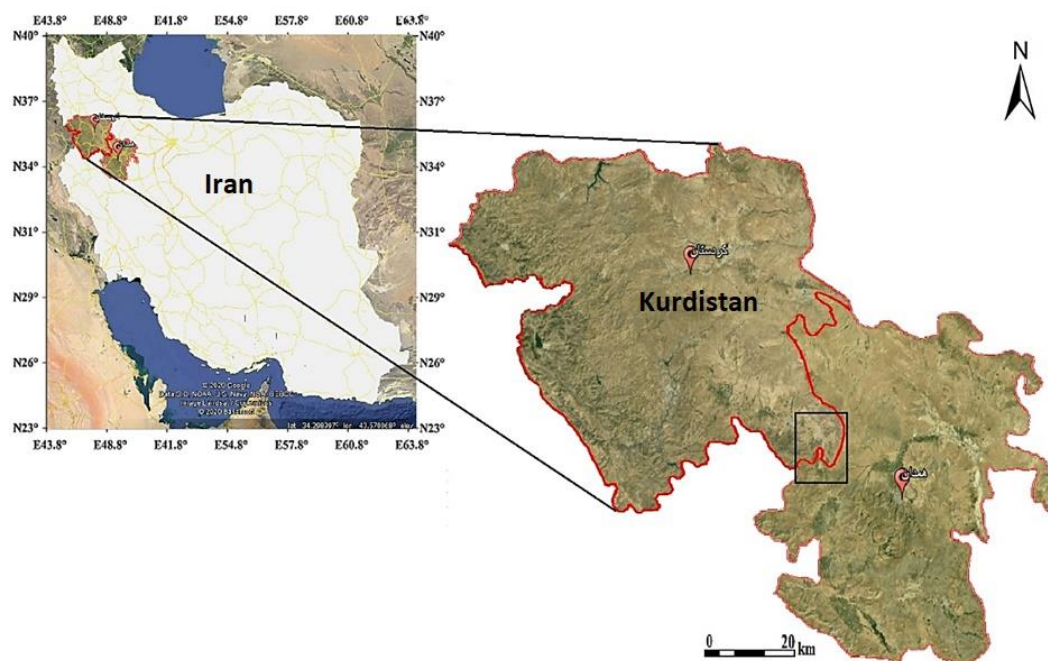
شرقی قرار دارد. دشت چهاردولی از نظر موقعیتی در شمال غرب استان همدان و جنوب شرقی استان کردستان قرار گرفته است. حجم آب‌های زیرزمینی استان کردستان حدود $1.490.000.000 \text{ m}^3$ است که بخش عمده آن در قسمت شرقی و آبخوان دشت-های قروه-دهگلان و چهاردولی قرار گرفته است. مساحت سه دشت ممنوعه قروه، دهگلان و چهاردولی در شرق استان کردستان برابر با 1270 km^2 است (Fazel Tawassul and Manshouri 2009).

چهاردولی و دشت قروه استان کردستان و دشت چهاردولی استان کردستان در بازه زمانی ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ و بررسی رابطه آن با عمق چاه‌های پیژومتری می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی این تحقیق شامل دشت چهاردولی استان همدان، دشت چهاردولی استان کردستان و دشت قروه استان کردستان است که بین مدار $34/87^\circ$ تا $35/17^\circ$ عرض شمالی و از $47/68^\circ$ درجه تا $48/11^\circ$ طول



شکل ۱- موقعیت دشت قروه و دشت چهاردولی استان همدان و استان کردستان

Fig. 1 The location of Qorveh and Chahardoli plains of the Kurdistan and Hamadan provinces

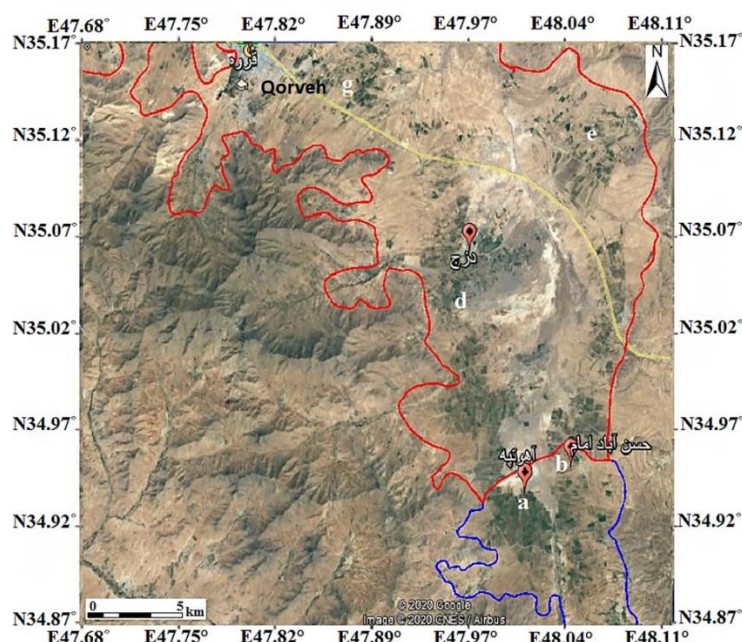
دشت قروه نیز با رنگ قرمز نشان داده شده است.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ای سنتینل ۱ استفاده شده است. در این ماهواره جهت برداشت از باند C طیف امواج الکترومغناطیس استفاده می‌گردد. همچنین این ماهواره دارای پلاریزاسیون‌های HH، VH، HV و می‌باشد و قدرت تفکیک زمانی آن ۱۲ روز می‌باشد. در پژوهش حاضر از داده‌های راداری ماهواره سنتینل ۱ در گذرهای صعودی و نزولی به ترتیب به تعداد ۵۹ و ۵۸

در پژوهش حاضر به منظور بررسی میزان و رفتار فرونشست صورت گرفته در بازه زمانی ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ میلادی در منطقه مطالعاتی از گزینش مناطق مختلف با عناوین "a"، "b"، "d"، "e"، "g" در منطقه مطالعاتی با ابعاد متفاوت استفاده شده است (شکل ۲). ابعاد مناطق "a" و "b" برابر با $1 \times 1 \text{ km}$ و "g"، "e" و "d" برابر با $2 \times 2 \text{ km}$ انتخاب شده است. همچنین در شکل (۲) محدوده دشت چهاردولی استان همدان با رنگ آبی و محدوده دشت چهاردولی استان کردستان و

تصویر همراه با پلاریزاسیون^۱ VV در بازه زمانی ۲۰۱۷ و گسترده‌ای^۳ و پلتفرم ماهواره‌ای^۴ می‌باشد. به همین منظور ۲۰۱۸ میلادی استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه از نوع تک کاناله^۲ و حالت تداخل‌سنج



شکل ۲- محدوده مربوط به منطقه مطالعاتی

Fig. 2 The boundary of the study area

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

Table 1 The characteristics of the used images

Orbital status	Number of images	Master image	Year
Ascending	30	20170610	2017
Descending	29	20170622	
Ascending	29	20180617	2018
Descending	29	20180810	

۲-۳- روش پژوهش

مدل ارتفاعی رقومی زمین^۶ برآورد می‌شود (Sousa et al. 2010). روند کلی فن پراکنش گرهای دائمی در شکل (۳) ارائه شده است. در مطالعه حاضر به منظور بررسی رفتار فرونشست در منطقه مطالعاتی، از نرم‌افزار سارپروز^۷ (Perissin et al. 2011) استفاده شده است.

در فن پراکنش گرهای دائمی ایده اصلی شناسایی نقاط همبسته^۵ با رفتاری ثابت و پایدار در طول زمان با استفاده از سیگنال استخراج شده از داده‌های راداری می‌باشد. در واقع بر روی هر پراکنش گر دائمی اطلاعاتی از قبیل نرخ سرعت جابجایی و خطای باقیمانده

⁵ Coherent

⁶ Digital elevation model

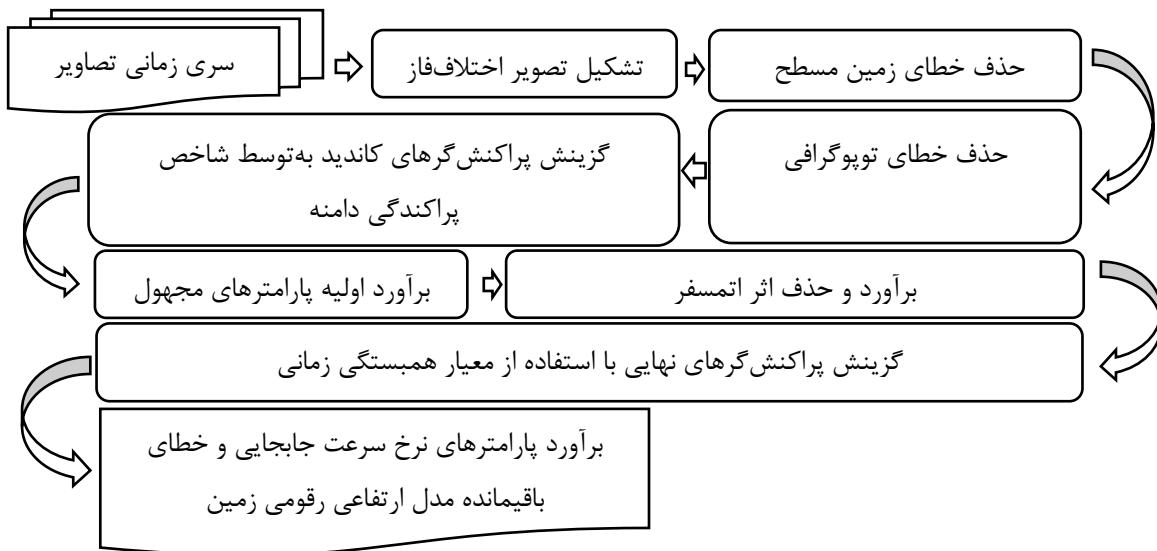
⁷ SARPROZ

¹ Polarization

² Single Look Complex (SLC)

³ Interferometric Wide (IW)

⁴ Sentinel-1A



شکل ۳- فلوچارت فن پراکنش گرهای دائمی

Fig.3 The diagram of the persistent Scatterer technique

۲-۳-۱- فن پراکنش گرهای دائمی

وجود دارد. در فن تداخل سنجی راداری نیز جهت پایش فرونشست تنها از فاز ناشی از جابجایی استفاده می شود. به عبارت دیگر اختلاف فاز برآورد شده در تصویر اختلاف فاز تشکیل شده از چند عامل فاز می باشد (Ferretti et al. 2001). در رابطه (۱) اختلاف فاز برآوردی از تصویر اختلاف فاز به صورت کامل با استفاده از دو تصویر راداری ارائه شده است.

$$\phi_{diff} = \phi_{flat-earth} + \phi_{topography} + \phi_{displacement} + \phi_{atm} + \phi_{noise} \quad (1)$$

از ترم مربوط به خطاهای مداری نیز صرف نظر کرد. در انتها تنها فاز ناشی از جابجایی باقی مانده و باید تمام فازهای تأثیرگذار به عنوان منبع خطا از فاز برآورد شده کسر شوند (Declercq et al. 2017b). در این پژوهش به منظور تشکیل تصویر اختلاف فاز از گراف همراه با خط مبنای مکانی و خط مبنای زمانی مشخص استفاده شده است. در ادامه پس از تشکیل تصویر اختلاف فاز باید

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 عدم همبستگی زمانی و خطای عدم همبستگی مکانی می باشد که در ترم نویز در رابطه (۱) قرار گرفته می شود (Ferretti et al. 2001).

در روش پراکنش گرهای دائمی، در صورت استفاده از اطلاعات مداری با دقت بالا می توان

⁵ Flat-Earth phase⁶ Topographic Phase⁷ Atmospheric Phase⁸ Noise Phase¹ Interferogram² Master³ Slave⁴ Displacement phase

ایجادشده برآورد می‌گردد. در واقع در این فن مقدار مطلق^۶ بیشینه پریودوگرام، همبستگی زمانی^۷ نامیده می‌شود که به‌عنوان پارامتر درصد اطمینان‌پذیری^۸ برای برآوردهای صورت‌گرفته بر روی نقاط پراکنش‌گر کاندید در نظر گرفته می‌شود.

پس از گزینش پراکنش‌گرهای کاندید با استفاده از رویکرد شاخص پایداری دامنه در مرحله برآورد اثر اتمسفر بر روی کل تصویر^۹، 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 (Ferretti et al. 2001; Sousa et al. 2010).

۳- یافته‌ها و بحث

در این پژوهش جهت برآورد فرونشست زمین تصاویر پایه در گذرهای صعودی و نزولی برای بازه زمانی ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ میلادی با توجه به تصاویر اصلی به‌دست‌آمده به‌ترتیب ۲۰۱۷/۱۰/۶، ۲۰۱۷/۷/۲۲، ۲۰۱۸/۶/۱۷ و ۲۰۱۸/۸/۱۰ در نظر گرفته شده‌اند. در مجموع ۵۸ و ۵۹ تصویر اختلاف‌فاز از مجموعه داده‌های صعودی و نزولی ماهواره سنتینل با استفاده از نمودار تصویر ستاره‌ای ایجادشده است (شکل ۴). به‌همین منظور از حالت تصویر پایه یگانه^{۱۰} جهت کورجیستر^{۱۱} و تشکیل تصاویر اختلاف‌فاز استفاده شده است. در فن تداخل‌سنجی از راداری گراف ستاره‌ای به‌عنوان متداول‌ترین گراف جهت تشکیل تصویر اختلاف‌فاز استفاده می‌گردد.

اثرات ناخواسته از فاز برآورد شده حذف می‌شود. یکی از اثرات نامطلوب، فاز ناشی از زمین مسطح می‌باشد. با توجه به ماهیت تصویربرداری راداری همراه با گشودگی مصنوعی^۱ و وجود فاصله افقی بین دو نقطه، ترمی سامانمند موجود می‌باشد که با استفاده از روش‌های مثلثاتی قابل مدل کردن و در نهایت قابل کسر از اختلاف‌فاز کل می‌باشد. به‌منظور دستیابی به فاز جابجایی با دقت بالاتر اثر این فاز باید قبل از عمل واپیچش^۲ از اثر فاز برآورد شده اولیه حذف گردد (Ai et al. 2008; Desai et al. 2018).

در ادامه پس از حذف اثر خطای زمین مسطح از روی تصویر اختلاف‌فاز، جهت حذف اثر خطای توپوگرافی از فاز برآورد شده کلی از مدل ارتفاعی رقومی زمین استفاده می‌شود. در نهایت در گام بعدی مطابق با فلوچارت ارائه‌شده در شکل (۳) جهت برآورد و حذف اثر اتمسفر از اختلاف‌فاز برآورد شده با استفاده از شاخص پراکنش‌گر دامنه، نقاطی را به‌عنوان پراکنش‌گر دائمی شناسایی و پارامتر سرعت جابجایی و خطای باقیمانده مدل رقومی^۳ بر روی این نقاط برآورد می‌گردد (Ferretti et al. 2001).

در فن پراکنش‌گرهای دائمی نخست از تصویر دامنه جهت شناسایی نقاط پراکنش‌گر کاندیدا استفاده می‌شود. حال در این مرحله با استفاده از گزینش نقطه رفرنس^۴ مناسب پارامترهای مجهول سرعت جابجایی و خطای مدل ارتفاعی رقومی را با استفاده از روش بیشینه‌سازی پریودوگرام^۵ (Perissin et al. 2012) بر روی اتصالات شبکه مکانی

⁷ Temporal Coherence (TC)

⁸ reliability parameter

⁹ Atmospheric Phase Screen (APS)

¹⁰ Single Master

¹¹ Coregistration

¹ Synthetic Aperture Radar

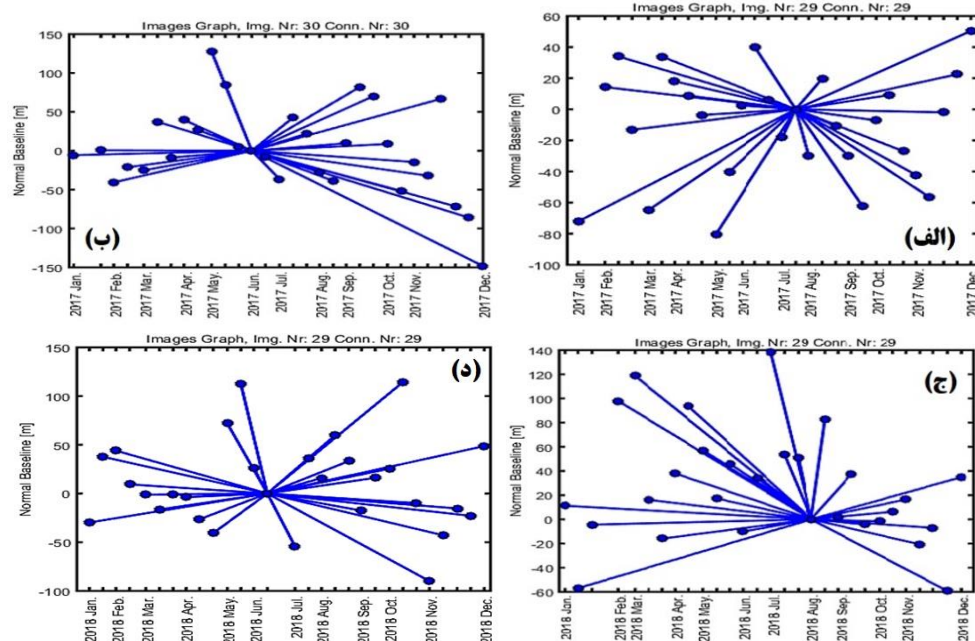
² Unwrapping

³ DEM Error

⁴ Reference point

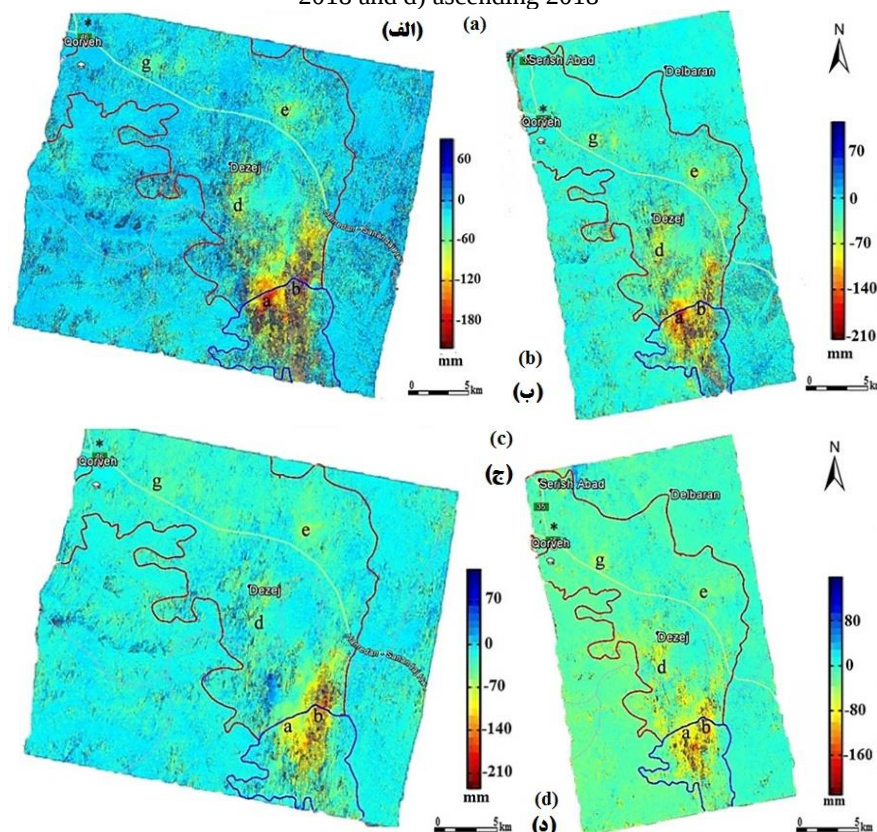
⁵ Periodogram

⁶ Absolute value



شکل ۴- گراف‌های مورد استفاده جهت ایجاد اینترفروگرام الف- ۲۰۱۷ نزولی، ب- ۲۰۱۷ صعودی، ج- ۲۰۱۸ نزولی و د- ۲۰۱۸ صعودی

Fig. 4 The used graphs to build interferograms in a) descending 2017, b) ascending 2017, c) descending 2018 and d) ascending 2018



شکل ۵- نقشه ریسیم پل شده جابجایی در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ برای دو گذر نزولی و صعودی: الف- ۲۰۱۷ نزولی، ب- ۲۰۱۷ صعودی، پ- ۲۰۱۸ نزولی و ت- ۲۰۱۸ صعودی

Fig. 5 The resampled map of land subsidence in 2017 and 2018 years and for descending and ascending passes: a) descending 2017, b) ascending 2017, c) descending 2018 and d) ascending 2018

جدول ۲- اطلاعات مربوط به جابجایی در مناطق انتخابی “a”, “b”, “d”, “e”, “g”

Table 2 The information about land subsidence in the selected regions, “a”, “b”, “d”, “e”, “g”

Region	Year	Pass	Average Def. Vel (mm/year)	Number of PS	σ_v (mm)
a	2017	Ascending	-116.7	3391	4.9
		Descending	-129.0	295	2.7
	2018	Ascending	-54.8	88	3.0
		Descending	-51.0	203	2.7
b	2017	Ascending	-83.6	133	5.0
		Descending	-89.05	184	2.8
	2018	Ascending	-83.5	41	5.1
		Descending	-93.4	61	3.5
d	2017	Ascending	-7.2	25355	4.4
		Descending	-4.7	104762	4.6
	2018	Ascending	-15.4	1738	2.2
		Descending	-10.1	64535	4.7
e	2017	Ascending	-34.9	99	3.48
		Descending	-34.1	3946	4.6
	2018	Ascending	-20.6	48	2.9
		Descending	-28.2	13618	4.8
g	2017	Ascending	-29.0	198	2.6
		Descending	-28.1	6231	4.8
	2018	Ascending	-23.6	203	2.3
		Descending	-22.8	12047	5.0

۳-۱- بررسی رفتار فرونشست

بنابراین مطابق با نمودارهای ارائه شده در شکل (۶)، می-توان اظهار داشت که در بین مناطق مشخص شده به عنوان نواحی مطالعاتی، منطقه a با میانگین نرخ فرونشستی در میان گذر صعودی و نزولی معادل با $-122/85\text{mm}$ در سال، در سال 2017 میلادی و منطقه “b” نیز با نرخ فرونشستی به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی معادل با $-88/45\text{mm}$ در سال، برای سال 2018 میلادی به عنوان مناطقی با وضعیت بحرانی از نظر فرونشست نسبت به سایر مناطق موجود و به دلیل قرارگیری در دشت چهاردولی استان همدان متحمل بیشترین میزان فرونشست شده اند.

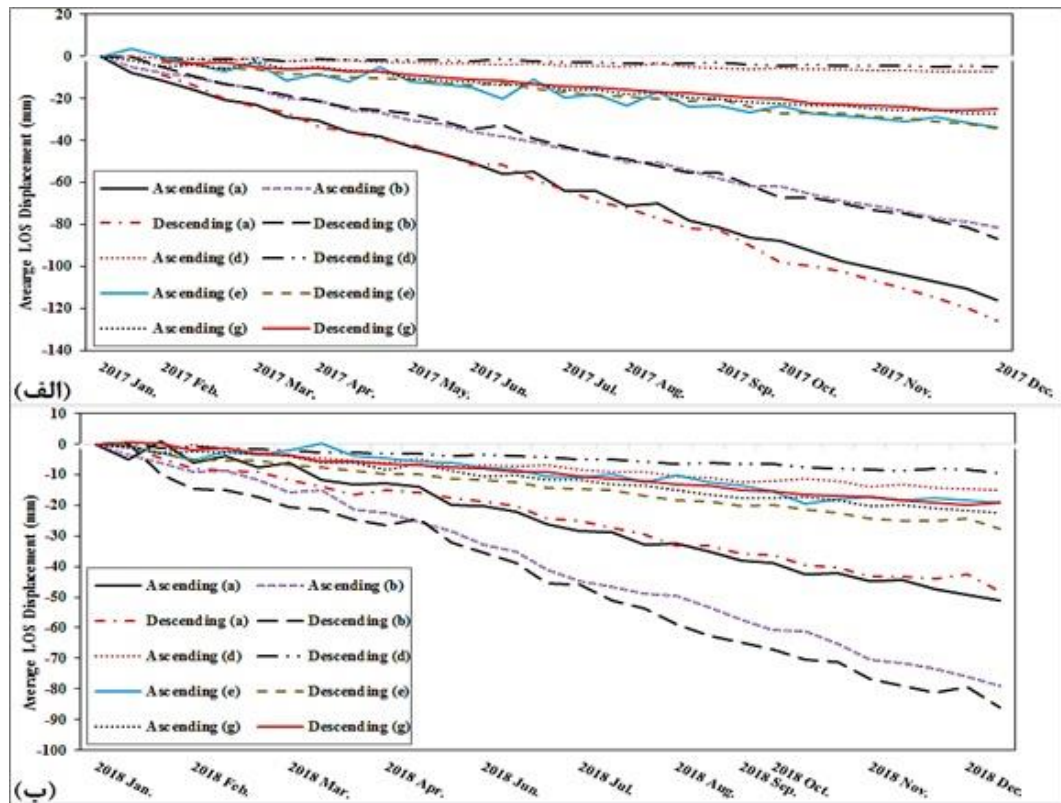
در واقع منطقه “a” در روستای آهوتپه شهرستان اسدآباد و منطقه “b” در روستای حسن آباد امام شهرستان اسدآباد واقع در استان همدان قرار گرفته اند. مطابق با نتایج ارائه شده می-توان اظهار داشت که غالب فرونشست صورت-گرفته در منطقه مطالعاتی در منطقه میانی روستای آهوتپه و روستای حسن آباد امام شهرستان اسدآباد به دلیل اثرات ناشی از برداشت بی-رویه از منابع آب های زیرزمینی اطراف این منطقه می-باشد. یکی دیگر از مناطقی که از نظر میزان فرونشست نسبت به مناطق “a” و “b” در درجه بعدی قرار می-گیرد منطقه میانی روستای دوسر و روستای

در مطالعه حاضر به منظور بررسی رفتار فرونشست در منطقه مطالعاتی در بازه زمانی 2017 و 2018 میلادی از رویکرد بررسی میزان فرونشست در مناطق انتخابی “a”, “b”, “d”, “e”, “g” استفاده شده است. نمودارهای ارائه شده در شکل (۶) برای هر منطقه در گذر صعودی و نزولی به صورت مجزا نشان دهنده میانگین جابجایی در مناطق انتخابی می-باشند.

نمودارهای ارائه شده در شکل (۶) برای هر منطقه در هر گذر ماهواره ای از قبیل گذر صعودی و نزولی به صورت مجزا نشان دهنده میانگین جابجایی در مناطق انتخابی می-باشند. به عبارت دیگر مقادیر ارائه شده در نمودارهای شکل (۶) میانگین جابجایی نقاط پراکنش گر دائمی انتخاب شده در مناطق انتخابی “a”, “b”, “d”, “e”, “g” می-باشد. نمودارهای ارائه شده در شکل موردنظر نمایش دهنده رفتار جابجایی در منطقه موردنظر در بازه زمانی مطالعاتی می-باشد. حال جابجایی صورت گرفته می-تواند به شکل فرونشست و یا بالا آمدگی باشد. در شکل (۶) فرونشست صورت گرفته در مناطق انتخابی به شکل میانگین جابجایی در گذر صعودی و نزولی به صورت جداگانه ارائه شده است؛

نارنجک یک منطقه با کاربری کشاورزی می باشد که در سال های اخیر از نظر مدیریت اداره آب منطقه ای استان کردستان، در برداشت آب از منابع آب های زیرزمینی توسط کشاورزان همانند دشت چهاردولی استان کردستان و استان همدان کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

نارنجک با عنوان منطقه "e" واقع در دشت چهاردولی استان کردستان با میانگین نرخ فرونشستی در گذر صعودی و نزولی معادل با $34/5 \text{ mm}$ در سال، در سال ۲۰۱۷ میلادی و $24/4 \text{ mm}$ در سال، در سال ۲۰۱۸ میلادی می باشد. منطقه میانی روستای دوسر و روستای



شکل ۶- میانگین جابجایی در جهت دید ماهواره در سال های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸: الف- ۲۰۱۷ و ب- ۲۰۱۸ میلادی

Fig. 6 Average displacement in the Line of Sight in 2017 and 2018: a) 2017 and b) 2018

۲۰۱۸ میلادی می باشد. دلیل ارائه جابجایی مربوط به روستای دزج استان کردستان با فرونشستی ناچیز در اثبات این اصل می باشد که با اینکه هر سه روستای دزج، حسن-آبادامام و آهوتپه در دشت های چهاردولی استان کردستان و همدان قرار گرفته اند اما میزان فرونشست در این منطقه بسیار کمتر از منطقه میانی روستای حسن آبادامام و روستای آهوتپه شهرستان اسدآباد می باشد. از دلایل اصلی این اختلاف کشت محصولات کشاورزی با نیاز آبی کمتر نسبت به سایر محصولات همراه با نیاز آبی بالا در این منطقه به دلیل کمبود آب و خشک شدن بیشتر چاه های آبی موجود در منطقه می باشد.

از طرفی بر اساس نتایج ارائه شده در شکل (۶) و جدول (۲) می توان گفت که میزان فرونشست صورت گرفته در منطقه

در منطقه میانی روستای قاسم آباد و شهرستان قروه واقع در دشت قروه استان کردستان منطقه ای با عنوان "g" نیز به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی فرونشستی همراه با نرخ $28/55 \text{ mm}$ در سال، در سال ۲۰۱۷ و $23/2$ در سال، در سال ۲۰۱۸ میلادی صورت پذیرفته است. در واقع غالب پوشش منطقه موردنظر از زمین های کشاورزی متعلق به اهالی روستا می باشد که این امر بیان کننده این اصل می باشد که فرونشست صورت گرفته در منطقه موردنظر نیز به دلیل برداشت نادرست از منابع آب های زیرزمینی توسط مردم محلی می باشد. منطقه روستای دزج استان کردستان واقع در دشت چهاردولی استان کردستان با عنوان منطقه "d" نیز دارای فرونشستی با نرخ حدودی 10 mm در سال، در سال های ۲۰۱۷ و

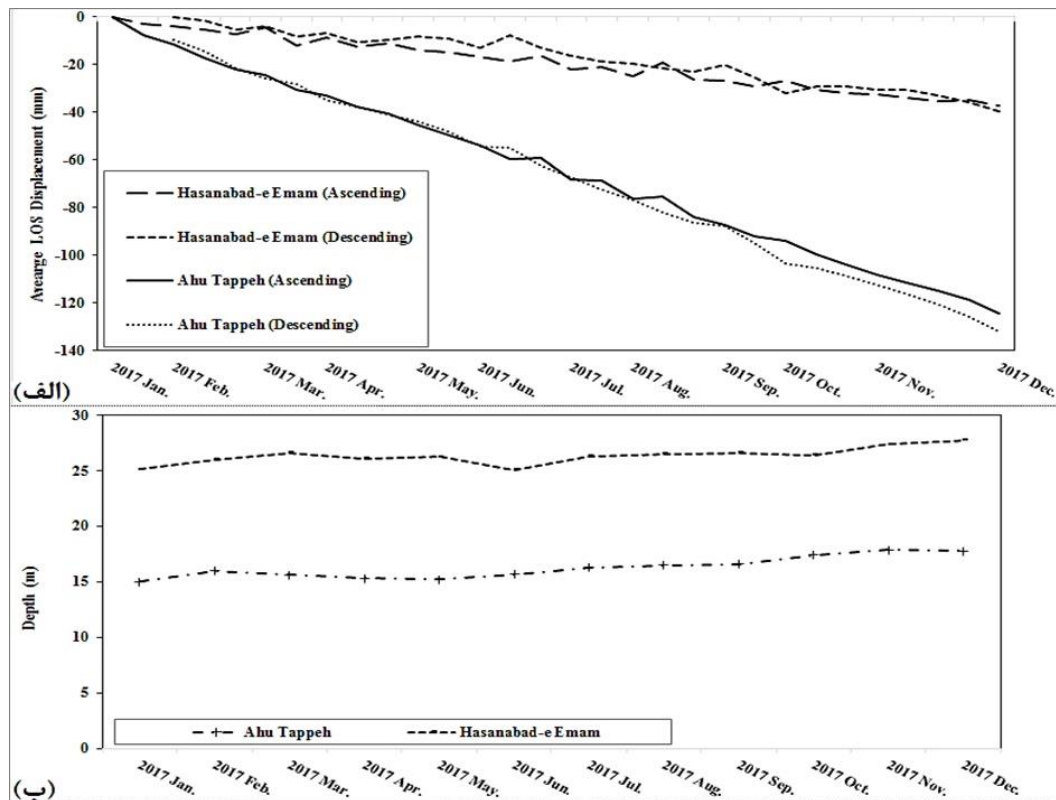
چاه آهوتپه ابعادی در حدود 2×3 کیلومتر مربعی و اطراف چاه حسن آبادامام نیز محدوده‌ای در حدود 1×2 کیلومتر مربعی می‌باشد. لازم به توضیح است که در منطقه دشت چهاردولی چندین چاه پیزومتری وجود دارد؛ اما به دلیل اینکه رفتار دو چاه فوق‌الذکر در منطقه مطالعاتی در بازه زمانی مطالعاتی به صورت مستمر بوده و نیز دیگر چاه‌های پیزومتری علاوه بر عدم قرارگیری در محدوده اصلی فرونشست دارای داده‌های مناسب و مستمر نبوده و حتی برخی خشک‌شده بودند لذا از اطلاعات این چاه‌ها برای ارزیابی روش پیشنهادی استفاده نگردید. همچنین در این تحقیق از رویکرد ارائه نمودارهای مربوط به تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری و جابجایی مربوط به نقاط پراکنش گر اطراف چاه‌های پیزومتری، صرفاً جهت نمایش همبستگی میان رفتار افزایشی فرونشست همراه با رفتار افزایشی تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه در بازه زمانی مطالعاتی استفاده شده است.

با توجه به نمودارهای ارائه شده در شکل (۷) میزان جابجایی به شکل فرونشست زمین در بازه زمانی ۲۰۱۷ میلادی در منطقه روستای آهوتپه و روستای حسن آبادامام شهرستان اسدآباد با توجه به رفتار صعودی عمق چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه می‌توان گفت که عامل اصلی فرونشست زمین را با توجه به کاربری کشاورزی غالب زمین‌های منطقه موردنظر، برداشت غیراصولی و بیش از حد طبیعی از منابع آب‌های زیرزمینی در نظر گرفت. مطابق با نمودار میانگین جابجایی در جهت دید ماهواره میزان فرونشست صورت گرفته در اطراف چاه آهوتپه بیشتر از میزان فرونشست صورت گرفته در اطراف چاه حسن-آبادامام می‌باشد. در بازه زمانی ۲۰۱۸ میلادی در چاه حسن آبادامام افت سطح آبی در حدود ۳ m و در چاه آهوتپه نیز افتی در حدود ۲ m به وقوع پیوسته است.

میانی روستای حسن آبادامام و آهوتپه واقع در دشت چهاردولی استان همدان در بازه زمانی دوساله ۲۰۱۸-۲۰۱۷ میلادی به صورت میانگین در بین گذر صعودی و نزولی به ترتیب برای دو منطقه a و b به مقدار ۱۷۰- و ۱۶۶ mm می‌باشد. با توجه به رویکرد افزایشی فرونشست زمین در منطقه مطالعاتی بیشترین جابجایی در قسمت شمالی دشت چهاردولی استان همدان منتهی به قسمت جنوبی دشت چهاردولی استان کردستان صورت گرفته است. از عواملی تأثیرگذار در فرونشست انجام شده در این منطقه در بازه زمانی ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ میلادی می‌توان به قرارگیری غالب منابع آبی استان در قسمت غربی استان که منجر به آسیب پذیری دشت‌های شرقی استان از جمله دشت چهاردولی و دشت قروه، برداشت ناصحیح از منابع آب‌های زیرزمینی، کشت محصولات همراه با نیاز آبی به مراتب بالا در مقایسه با دیگر محصولات و کمبود میزان بارندگی در قسمت شرقی استان با وجود اراضی زیر کشت بیشتر در مقایسه با میزان بارندگی در قسمت غربی استان می‌شود.

۳-۲- مقایسه رفتار فرونشست با رفتار تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری

در پژوهش حاضر به منظور بررسی رفتار فرونشست با عمق چاه‌های پیزومتری از بررسی و مقایسه رفتار فرونشست با رفتار تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری استفاده شده است. به دلیل اینکه اثرات ناشی از برداشت از چاه‌ها، میزان بارندگی و نفوذ آن به مخازن سفره‌های آب‌های زیرزمینی به صورت غیرمستقیم بر روی عمق این چاه‌ها تأثیرگذار است به همین جهت در پژوهش حاضر تنها از اطلاعات مربوط به عمق چاه‌های پیزومتری جهت تأیید فرونشست برآورد شده در منطقه استفاده شده است. به همین منظور اطلاعات میانگین جابجایی نقاط اطراف چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه و اطلاعات تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری در قالب نمودار ارائه شده است. منطقه انتخابی اطراف



شکل ۷- نمودار میانگین جابجایی در جهت دید ماهواره و تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری در سال ۲۰۱۷ میلادی: الف- میانگین جابجایی ب- تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری

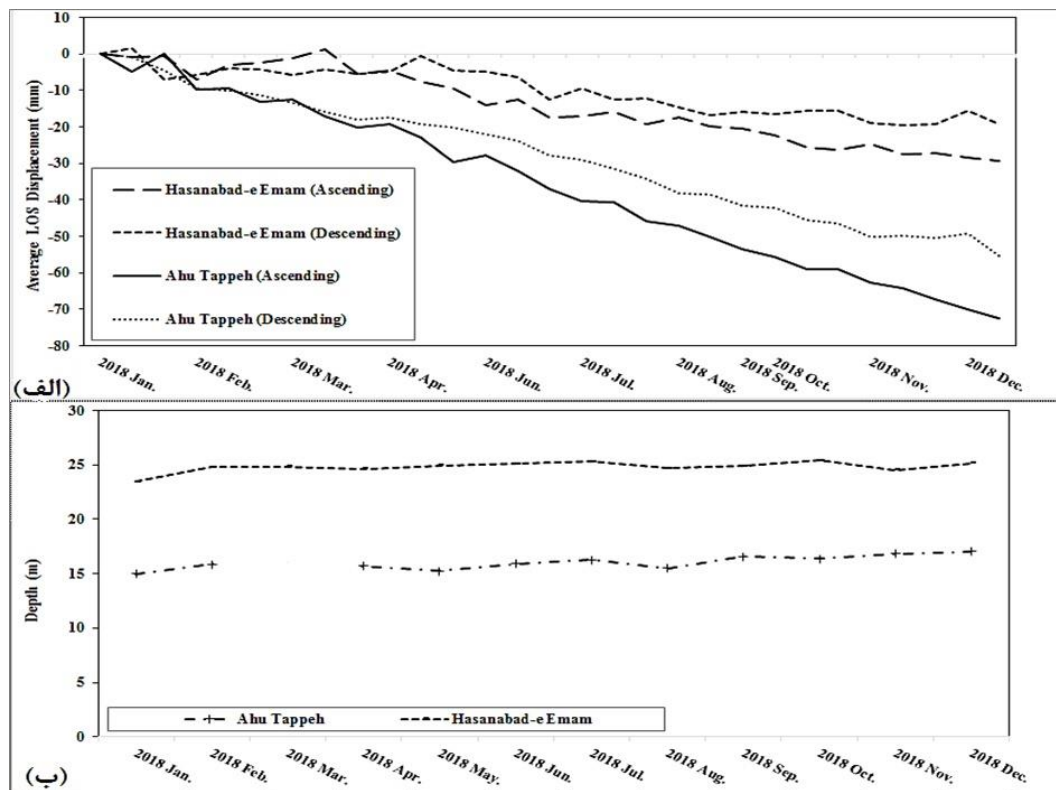
Fig. 7 The diagram of average displacement in the Line of Sight variation of piezometric wells in 2017: a) average displacement and b) variation of piezometric wells

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 دشت‌های مورد مطالعه افزایش بی‌رویه برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی به دلیل تراکم سطوح زیرین زمین به‌خصوص در بخش مصارف کشاورزی می‌باشد.

در حالت کلی نیز میزان فرونشست از سال ۲۰۱۷ به ۲۰۱۸ میلادی که به‌خصوص در منطقه روستای آهوتپه شهرستان اسدآباد استان همدان کاملاً محسوس می‌باشد، کاهش قابل‌توجهی داشته است. این در حالی است که عامل این کاهش فرونشست را می‌توان به عواملی از قبیل کشت به‌ناچار و اجباری محصولات کشاورزی با نیاز آبی کم و محصولات دیم توسط مردم محلی در جهت کاهش خسارت‌های ناشی از کمبود آب، اشاره کرد. مطابق با نمودارهای جابجایی و تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری ارائه‌شده در شکل‌های (۷) و (۸) می‌توان اظهار داشت که

از طرفی طبق نمودارهای ارائه‌شده در شکل (۸) میزان فرونشست با توجه به اطلاعات میانگین جابجایی در سال ۲۰۱۸ میلادی، روندی کاهشی را طی کرده است. برای مثال در اطراف چاه آهوتپه میانگین نرخ فرونشست از ۱۳۰ در سال، در سال ۲۰۱۷ میلادی به ۶۶ mm در سال، در سال ۲۰۱۸ میلادی دارای روند کاهشی بوده است. در چاه حسن‌آبادامام نیز میانگین نرخ فرونشست از ۳۹ mm در سال، در سال ۲۰۱۷ میلادی به ۲۶ mm در سال، در سال ۲۰۱۸ میلادی روندی نزولی را طی کرده است. از طرفی در بازه زمانی ۲۰۱۷ میلادی در چاه حسن‌آبادامام افت سطح آبی در حدود ۳m و در چاه آهوتپه نیز افت سطح آبی در حدود ۲m صورت پذیرفته است. در واقع به‌دلیل مجاورت دو روستای حسن‌آبادامام و آهوتپه اثرات سوءبرداشت ناصحیح از منابع آب‌های زیرزمینی در هرکدام از این مناطق می‌توان به‌صورت غیرمستقیم بر رفتار و میزان فرونشست در زمین‌های مجاور اعم از کاربری کشاورزی و مسکونی، به دلیل مجاورت تأثیرگذار باشد.

در حالت کلی رفتار فرونشست با توجه به میانگین جابجایی پراکنش گر اطراف چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه، به صورت گرفته در جهت دید ماهواره مربوط به نقاط شکل جابجایی خطی می‌باشد.



شکل ۸- نمودار میانگین جابجایی در جهت دید ماهواره و تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری در سال ۲۰۱۸ میلادی: الف- میانگین جابجایی ب- تغییرات عمق چاه‌های پیزومتری

Fig. 8 The diagram of average displacement in the Line of Sight variation of piezometric wells in 2018: a) average displacement and b) variation of piezometric wells

دشت چهاردولی استان همدان ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی در بازه زمانی مطالعاتی می‌باشد. ۲- جهت پیشروی فرونشست زمین در بازه زمانی ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ میلادی از جهت شمال دشت چهاردولی استان همدان به سمت جنوب و قسمت مرکزی دشت چهاردولی استان کردستان صورت گرفته است. ۳- در منطقه میانی روستای حسن‌آبادامام و آهوتپه شهرستان اسدآباد واقع در دشت چهاردولی استان همدان جابجایی به شکل فرونشست به ترتیب برای مناطق a و b در حدود -170 mm و -166 mm در بازه زمانی دوساله ۲۰۱۷-۲۰۱۸ میلادی اتفاق افتاده است.

۴- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر در جهت پایش جابجایی‌های صورت گرفته در دشت چهاردولی استان همدان و کردستان و دشت قروه استان کردستان، با استفاده از روش پراکنش گرهای دائمی صورت پذیرفته است. مهم‌ترین نتایج این تحقیق عبارت‌اند از:

۱- مطابق با اطلاعات عمق چاه‌های پیزومتری موجود در منطقه و جابجایی صورت گرفته در محدوده اطراف چاه‌های پیزومتری می‌توان گفت که فرونشست صورت گرفته در

References

- Ai B., Liu K., Li X. and Li D. H. (2008). Flat-earth phase removal algorithm improved with frequency information of interferogram. Geoinformatics 2008 and Joint Conference on GIS and Built

- Environment: Classification of Remote Sensing Images, 7147, 71471A.
- Akcin H., Kutoglu H. S., Deguchi T. and Koksall E. (2010). Monitoring subsidence effects in the urban area of Zonguldak Hardcoal Basin of Turkey by InSAR-GIS integration. *Nat. Hazard. Earth Sys. Sci.*, 10(9), 1807.
- Alipour S., Motgah M., Sharifi M. A. and Walter T. R. (2008). InSAR time series investigation of land subsidence due to groundwater overexploitation in Tehran, Iran. 2008 Second Workshop on Use of Remote Sensing Techniques for Monitoring Volcanoes and Seismogenic Areas, 1-5.
- Ciampalini A., Bardi F., Bianchini S., Frodella W., Del Ventisette C., Moretti S. and Casagli N. (2014). Analysis of building deformation in landslide area using multisensor PSInSAR™ technique. *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinform.*, 33, 166-180.
- Declercq P.-Y., Gerard P., Pirard E., Perissin D., Walstra J. and Devleeschouwer X. (2017a). Subsidence related to groundwater pumping for breweries in Merchtem area (Belgium), highlighted by Persistent Scatterer Interferometry. *International J. Appl. Earth Observ. Geoinform.*, 63, 178-185.
- Declercq P.-Y., Gerard P., Pirard E., Perissin D., Walstra J. and Devleeschouwer X. (2017b). Subsidence related to groundwater pumping for breweries in Merchtem area (Belgium), highlighted by Persistent Scatterer Interferometry. *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinform.*, 63, 178-185.
- Dehghani M., Zoj M. J. V. and Entezam I. (2013a). Neural network modelling of Tehran land subsidence measured by persistent scatterer interferometry. *Photogramm. Fernerkundung Geoinform.*, 1, 5-17.
- Dehghani M., Zoj M. J. V., Hooper A., Hanssen R. F., Entezam I. and Saatchi S. (2013b). Hybrid conventional and persistent scatterer SAR interferometry for land subsidence monitoring in the Tehran Basin, Iran. *ISPRS J. Photogram. Remote Sens.*, 79, 157-170.
- Desai K., Joshi P., Chirakkal S., Putrevu D. and Ghosh R. (2018). Analysis of Performance of Flat Earth Phase Removal Methods. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 42, 5, 207-209.
- Ferretti A., Prati C. and Rocca F. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 39(1), 8-20.
- Foroughnia F., Nemati S., Maghsoudi Y. and Perissin D. (2019). An iterative PS-InSAR method for the analysis of large spatio-temporal baseline data stacks for land subsidence estimation. *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinform.*, 74, 248-258.
- Fazel Tawassul S. and Manshouri M. (2009). Qualitative classification of Chardoly plain (Hamadan and Kurdistan) water resources for various applications using hydro geochemical data. *J. New Findings Appl. Geol.*, 6(3), 24-32 [in Persian].
- Hanssen R. F. (2003). Subsidence monitoring using contiguous and PS-InSAR: Quality assessment based on precision and reliability. *Proc. 11th FIG Sym. Def. Measur.*, Santorini, Grecia.
- Karimzadeh S., Cakir Z., Osmanoglu B., Schmalzle G., Miyajima M., Amiraslanzadeh R. and Djamour Y. (2013). Interseismic strain accumulation across the North Tabriz Fault (NW Iran) deduced from InSAR time series. *J. Geodyn.*, 66, 53-58.
- Mirzaii Z., Hasanlou M., Samieie-Esfahany S., Rojhani M. and Ajournalou P. (2019). Land Subsidence Monitoring in Azar Oil Field Based on Time Series Analysis. Presented at the 3rd International Electronic Conference on Remote Sensing.
- Perissin D., Wang Z. and Wang T. (2011). The SARPROZ InSAR tool for urban subsidence/manmade structure stability monitoring in China. *Proceedings of the ISRSE*, Sidney, Australia, 1015.

- Solari L., Del Soldato M., Bianchini S., Ciampalini A., Ezquerro P., Montalti R., Raspini F. and Moretti S. (2018). From ERS 1/2 to Sentinel-1: Subsidence monitoring in Italy in the last two decades. *Front. Earth Sci.*, 6, 149.
- Sousa J. J., Ruiz A. M., Hanssen R. F., Bastos L., Gil A. J., Galindo-Zaldivar J., and de Galdeano C. S. (2010). PS-InSAR processing methodologies in the detection of field surface deformation—Study of the Granada basin (Central Betic Cordilleras, southern Spain). *J. Geodynam.*, 49(3–4), 181–189.
- Sun H., Zhang Q., Zhao C., Yang C., Sun Q. and Chen W. (2017). Monitoring land subsidence in the southern part of the lower Liaohe plain, China with a multi-track PS-InSAR technique. *Remote Sens. Environ.*, 188, 73–84.
- Yastika P. E., Shimizu N. and Abidin H. Z. (2019). Monitoring of long-term land subsidence from 2003 to 2017 in coastal area of Semarang, Indonesia by SBAS DInSAR analyses using Envisat-ASAR, ALOS-PALSAR, and Sentinel-1A SAR data. *Adv. Space Res.*, 63(5), 1719–1736.
- Zebker H. A. and Villasenor J. (1992). Decorrelation in interferometric radar echoes. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 30(5), 950–959.

Monitoring of Land Subsidence in Qorveh and Chahardoli Plains of Hamadan and Kurdistan Provinces using PS-InSAR Technique

Salman Ahmadi^{1*} and Reza Soodmand Afshar²

¹Assist. Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

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

*Corresponding author: s.ahmadi@uok.ac.ir

Original Paper

Received: June 27, 2020

Revised: August 16, 2020

Accepted: August 22, 2020

Abstract

Land subsidence occurs more slowly and gradually in comparison with other natural hazards, such as floods and earthquakes; therefore, it has received much less attention from human communities. However, the subsidence over time causes irreparable damage to the structure of underground aquifers, vital infrastructure such as roads, power lines, and urban structures. In this study, in order to monitor land subsidence in Chahardoli and Qorveh plains located in Hamadan and Kurdistan Provinces, the method of Permanent Scatterer (PS) was used using 59 images of Sentinel satellite in ascending passage and 58 images in descending passage. According to the average displacement of PSs in the region between Hassan Abad Emam and Ahutapeh villages of Asadabad city located in Chahardoli plain of Hamadan Province, displacement in the form of subsidence for Ahutapeh and Hassan Abad Emam villages respectively about -170 and -166 mm was happened in the time period of 2017-2018. Moreover, the research found that the subsidence in the northern part of Chahardoli plain in Hamadan Province is much more than the subsidence in the southern part of Chahardoli plain in Kurdistan Province. In order to find the cause of subsidence, the approach of examining the information of piezometric wells in the region and their changes over time was used. In this regard, it can be concluded that the land subsidence in Qorveh plain and Chahardoli plain of Hamadan and Kurdistan provinces can be attributed to the uncontrolled extraction of groundwater resources.

Keywords: Land Subsidence; Radar Interferometry; Permanent Scatterer; Piezometric Wells.