

بررسی فرونشست دشت قم با استفاده از تداخل سنجی راداری

زهره حاجب^۱، زهرا موسوی^۲، زهره معصومی^۲، ابوالفضل رضایی^۲

کارشناس ارشد ژئوفیزیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان (hajeb.z@yahoo.com)

استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان (z.mousavi@iasbs.ac.ir)

چکیده

برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی و افت شدید تراز آب در برخی از آبخوان‌ها در سال‌های اخیر موجب فرونشست زمین در برخی از مناطق دنیا شده است. از عوارض این پدیده می‌توان به تخریب بافت آبخوان و مختل شدن خطوط آبرسانی، راه‌آهن، گاز و تخریب پی ساختمان‌ها اشاره کرد. در این مطالعه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی ENVISAT و به کمک تکنیک تداخل سنجی رادار دهانه مصنوعی (InSAR) و با استفاده از آنالیز سری زمانی SBAS، نرخ فرونشست سالانه زمین در دشت‌های جعفرآباد و قنات استان قم برای بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ برآورد شده است. سپس با استفاده از تغییرات تراز آب پیژومترهای منطقه و مشاهده نمودارهای هیدروگراف واحد دشت‌ها، ارتباط تغییرات مکانی نرخ فرونشست در نقاط مختلف آبخوان با برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنالیز سری زمانی تصاویر تداخل‌سنجی نشان می‌دهند که نرخ متوسط فرونشست در دشت‌های جعفرآباد و قنات به ترتیب ۳۵ و ۲۸ میلیمتر در سال در راستای خط دید ماهواره است. هیدروگراف واحد این دو دشت نیز افت سطح آبخوان را نشان می‌دهد که حاصل این افت تحکیم لایه‌های مناطق فرونشست را سبب شده است.

واژه‌های کلیدی: تداخل سنجی راداری، آنالیز سری زمانی، دشت قم، فرونشست، آب‌های زیرزمینی، آبخوان

Investigation of subsidence of Qom plain using radar interferometry

Zahra Hajeb¹, Zahra Mousavi¹, Zohreh Masoumi^{1,2}, Abolfazl Rezaei¹

¹Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran

²Center for Research in Climate Change and Global Warming (CRCC), Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan 45137-66731, Iran

Abstract

The arid and semi-arid climate with a low rainfall along with the population growth has been lead to overexertion from groundwater resources over recent two decades in Iran. This over-extraction has been led to the significant groundwater depletion and water level decline in most parts of Iran as well as to the significant land subsidence in many aquifers throughout Iran. In this study, we investigated the subsidence occurred over the Jafarabad and Qanavat in Qom plain using the radar interferometry technique in conjunction with hydrogeological measurements. We used ENVISAT ASAR images from 2003 to 2010, in descending orbits to produce interferograms. Once all interferograms are corrected from topographic and flatten phase, we obtain the mean velocity map of the plains based on SBAS time series analysis method. The mean velocity map reveals 35 and 28 mm/yr of going away deformation in the line of sight direction in the Jafarabad and Qanavat plains, respectively. The unit hydrograph of these two plains also shows the decline in aquifers, which resulted in a decrease in the consolidation of the layers of subsidence regions.

Keywords: InSAR, interferogram, subsidence, groundwater over-extraction, aquifer, Qom Plain

۱ مقدمه

رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای آب در سال‌های اخیر، سبب برداشت بی‌رویه از منابع آب سطحی و زیرزمینی شده است. برداشت بی‌رویه با کاهش فشار آب منفذی آبخوان، در صورت وجود لایه‌های با قابلیت فشردگی غیر قابل بازگشت (رس و سیلت) می‌تواند منجر به فرونشست زمین شود (کلدرهید، ۲۰۱۱).

فرونشست در واقع نشست رو به پایین و غیرقابل بازگشت سطح زمین است که می‌تواند خسارات اقتصادی جبران ناپذیری را به بار آورد (اسنید و همکاران، ۲۰۰۳). در مناطقی که فرونشست رخ می‌دهد یک یا چند عامل مانند حرکت گسل‌ها و برداشت بی‌رویه منابع آبی و نفتی نقش اساسی دارند. در مطالعات مربوط به فرونشست مهمترین مراحل عبارتند از: (۱) شناسایی محدوده و نرخ فرونشست در نقاط مختلف یک منطقه، (۲) شناسایی عواملی که سبب فرونشست شده‌اند و (۳) ارائه راهکار مناسب به منظور کاهش نرخ فرونشست و سپس مدیریت و جلوگیری از خسارات ناشی از آن.

تکنیک تداخل‌سنجی راداری با داشتن ویژگی‌هایی همچون پوشش زمینی پیوسته و قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب به عنوان یکی از بهترین روش‌های سنجش از دور، برای بررسی تغییرات سطحی زمین شناخته شده است (گابریل و همکاران، ۱۹۸۹؛ رت و ناگلر، ۲۰۰۶). در تداخل‌سنجی راداری، فاز تصاویری که در زمان‌های مختلف از یک منطقه برداشت شده است، پیکسل به پیکسل مقایسه و سپس از هم کم می‌شود (فرتی و همکاران، ۲۰۰۷). از تفریق مقادیر فاز دو تصویر، تصویر جدیدی بدست می‌آید که تداخل‌نگار نامیده می‌شود (هوپر، ۲۰۱۲). با استفاده از آنالیز سری زمانی این تصاویر در طول زمان نقشه جابجایی منطقه در راستای قزمان تغییرات زمانی حقیقت مهر و همکاران فرونشست دشت هشتگرد را با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری حدود ۳۵ میلیمتر در ماه محاسبه کردند (حقیقت مهر و همکاران، ۱۳۸۹). در سال ۱۳۹۱، معتق و همکاران با استفاده از تصاویر ماهواره ENVISAT و با روش تداخل‌سنجی راداری طول باز کوتاه، فرونشست دشت مهیار جنوبی اصفهان را ۸/۶ سانتیمتر در سال محاسبه کردند (معتق و همکاران، ۱۳۹۱). نرخ فرونشست شهر مکزیکوسیتی در کشور مکزیک با استفاده از تصاویر ماهواره ENVISAT با روش پراکنشگرهای پایدار، به میزان ۳۰۰ میلیمتر در سال محاسبه شده است (اسمانوگلو و دیکسون، ۲۰۱۱).

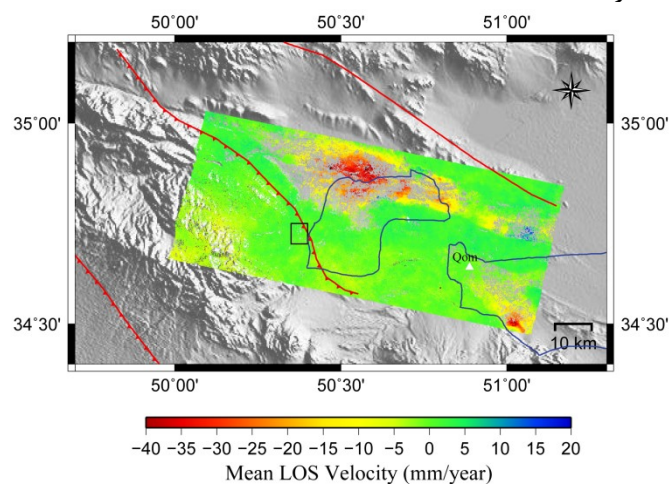
تغییرات تراز هیدرولیکی (افت سطح آب زیرزمینی) نمایانگر تغییرات انرژی یا بار فشارشی آب منفذی است که با کاهش تراز آب، بار فشارشی نیز کاهش یافته که موجب افزایش تنش موثر و رخداد فرونشست می‌شود. در صورت یکسان (هموزن) بودن آبخوان بصورت تئوریک انتظار می‌رود جاهایی که متحمل حداکثر افت شده‌اند، مطابق با مناطق دارای بیشینه نرخ فرونشست باشد (رحیمی، ۱۳۸۴). اما در شرایط طبیعی آبخوان‌ها ناهمگن هستند و دانه بندی خاک در همه جا یکسان نیست. در این مطالعه سعی در تهیه نقشه پهنه‌بندی نرخ فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری در دشت‌های شمالی (جعفرآباد و قنوت) استان قم را دارد که برای انجام آن تصاویر ماهواره ENVISAT از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ مورد آنالیز و پردازش قرار گرفته است.

۲ روش تحقیق

تکنیک تداخل‌سنجی رادار با دریچه مصنوعی (Synthetic Aperture Radar Interferometry) یک فناوری دورسنجی است که با استفاده از تصاویر راداری از یک منطقه در زمان‌های متفاوت، این امکان را فراهم می‌کند که بتوان به بررسی پدیده‌های ژئوفیزیک مانند زلزله، آتشفشان و فرونشست پرداخت (میسونت، ۱۹۹۸). تغییرات ایجاد شده در سطح زمین باعث ایجاد اختلاف فاز در دو تصویر رادار در دو زمان مختلف می‌گردد. اختلاف فاز بدست آمده از تصاویر نشان دهنده میزان تغییر شکل در فاصله زمانی دو گذر ماهواره بر فراز منطقه است. اساس کار این روش استفاده از اطلاعات فاز امواج راداری بازتابی از عوارض سطح زمین است به نحوی که تغییرات ایجاد شده در سطح زمین، سبب اختلاف فاز در دو تصویر رادار اخذ شده در دو زمان مختلف از یک منطقه می‌شود. با استفاده از اختلاف فاز بدست آمده، تداخل‌نگارها ایجاد می‌شوند که شامل مؤلفه‌های ناشی از توپوگرافی، اثر کرویت زمین، تغییر شکل سطح زمین و خطاهای موجود هستند. برای تعیین فاز تغییر شکل باید اثر سهم مؤلفه دیگر در فاز تداخل‌نگار حذف گردد. فاز زمین مسطح با استفاده از فایل‌های مداری و فاز توپوگرافی با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی (Digital Elevation Model) تصحیح می‌شوند. پس از حذف مؤلفه‌های دیگر فاز تداخل‌نگار، روش خط مبنای کوتاه (براردینو و همکاران، ۲۰۰۲) به منظور تحلیل آنالیز سری زمانی جابجایی در روش تداخل‌سنجی راداری مورد

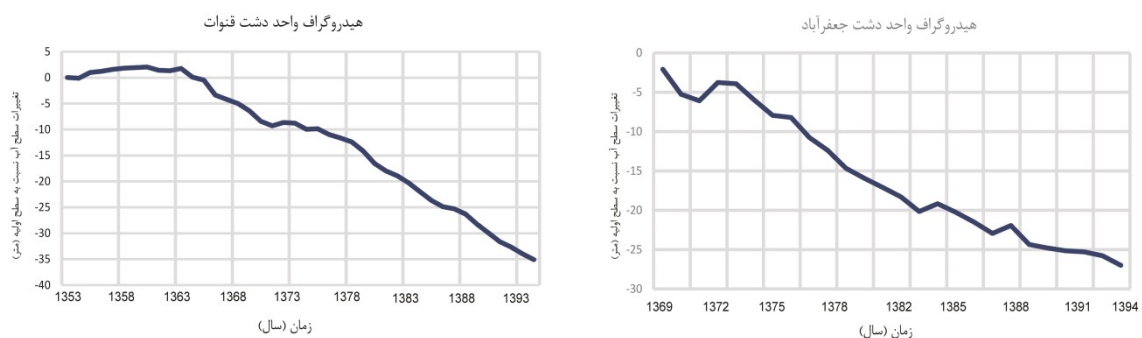
استفاده قرار می‌گیرد. در این روش تنها زوج تصاویری مورد استفاده قرار می‌گیرند که مؤلفه‌ی قائم خط مبنای آنها کمتر از مقدار بحرانی خط مبنا باشد. همچنین خط مبنای زمانی آنها نیز همزمان کمینه باشد. به این ترتیب، فقط تداخل‌نگارهایی تشکیل می‌شوند که همبستگی مناسبی داشته باشند. پس از تشکیل این تداخل‌نگارها، یک شبکه از تصاویر ایجاد می‌شود و با استفاده از روش کمترین مربعات، مقدار جابه‌جایی هر پیکسل تخمین زده می‌شود.

برای برآورد فرونشست در دشت‌های استان قم از ۲۰ تصویر راداری درجه مصنوعی SAR سنجنده Envisat ASAR استفاده شده است. فاز ناشی از توپوگرافی زمین با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی SRTM با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر و اثر کرویت زمین با استفاده از پارامترهای مداری دقیق حذف می‌گردند (رولند و همکاران، ۲۰۰۰). برای کاهش اثر خطای اتمسفر از تصاویر MERIS-FR که با سنجنده ASAR روی یک ماهواره نصب شده، استفاده می‌شود. زیرا این تصاویر دارای اطلاعاتی از رفتار اتمسفر است و می‌تواند اثر آن بر فاز امواج راداری را کاهش دهد. نقشه میانگین سرعت در جهت خط دید ماهواره با استفاده از آنالیز سری زمانی طول پایه کوتاه تداخل‌نگارهای بدست آمده از پردازش تصاویر پس از حذف مولفه‌های توپوگرافی، زمین مسطح و اتمسفر محاسبه گردید



شکل ۱. میدان سرعت متوسط مربوط به دشت‌های جعفرآباد (در سمت چپ تصویر) و قنوات (در سمت راست تصویر) بعد از حذف خطاها. کادر سیاه رنگ معرف منطقه‌ای است که بعنوان مرجع در نظر گرفته شده است. مثلاً سفید رنگ موقعیت شهر قم را نشان می‌دهد. محدوده‌هایی که با رنگ آبی مشخص شده‌اند محدوده دست‌ها در استان قم هستند.

برای مشاهده ارتباط فرونشست با برداشت آب زیرزمینی در منطقه هیدروگراف‌های معرف آب زیرزمینی دشت‌های جعفرآباد و قنوات ارائه شده است که میزان افت تراز آب در دشت جعفرآباد حدود ۳۰ متر در طول ۲۴ سال و در دشت قنوات حدود ۴۰ متر در طول ۴۰ سال بوده است.



شکل ۴. هیدروگراف واحد دشت جعفرآباد در سمت راست از فروردین ۶۹ تا شهریور ۹۴ و دشت قنوات در چپ از مهر ۵۳ تا شهریور ۹۳

۳ نتیجه‌گیری

در این مطالعه با تلفیق داده‌های تراز سطح زمین که حاصل تکنیک تداخل سنجی راداری است با داده‌های هیدروژئولوژی (هیدروگراف واحد)، فرونشست دشت‌های جعفرآباد و قنوات در استان قم مورد بررسی قرار گرفته شده است. روند نزولی

هیدروگراف واحد دشت‌ها حاکی از برداشت بی رویه آب و در نتیجه‌ی آن تحکیم لایه‌های زیرین است. با تحکیم لایه‌ها شاهد فرونشست در این مناطق خواهیم بود که نتایج تداخل سنجی شاهدهی بر این موضوع است. نتایج حاکی از این است که دشت‌های جعفرآباد و قنوتات متحمل بیشینه نشست‌ی معادل حدود ۳۵ و ۲۸ میلیمتر در سال در راستای خط دید ماهواره شده‌اند. به منظور کنترل و جلوگیری از خسارت‌های وارده از پدیده فرونشست، پیشنهاد می‌گردد که برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی محدود شده و سعی شود که با جلوگیری از کشت محصولات نیازمند به آب فراوان، جلوگیری از حفر چاه‌های غیرمجاز، آموزش کشاورزان، افزایش راندمان آبیاری، تغذیه مصنوعی به آبخوان، به سمت مدیریت بهینه منابع آبی منطقه گام برداشت.

منابع

- حقیقت‌مهر پ.، ولدان‌زوج م.ج.، صاحبی.م.ر.، دهقانی.م.، ۱۳۸۹ "اندازه‌گیری فرونشست دشت هشتگرد ناشی از استخراج آبهای زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری"، همایش ژئوماتیک، تهران، سازمان نقشه برداری کشور
- رحیمی، ح.، (۱۳۸۴)، "مکانیک خاک"، (ص ۳۸۳)، انتشارات دانش و فن
- معتق م.، داودی جم م.، مومنی م.، هاشمی م.، ۱۳۹۱ "کشف و نمایش فرونشست دشت مهبیار اصفهان به کمک تداخل سنجی راداری"، نشریه علمی ترویجی مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی دوره سوم، شماره ۲
- Berardino, P., et al., A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 2002. 40(11): p. 2375-2383. (<https://doi.org/10.1109/TGRS.2002.803792>)
- Calderhead, A.I., Therrien, R., Rivera, A., Martel, R., Garfias, j., 2011, Simulating pumping-induced regional land subsidence with the use of InSAR and field data in the Toluca Valley, Mexico. *Advanced in Water Resources* 34: 83-97. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2010.09.017>)
- Ferretti, A., Savio, G., Barzaghi, R., Borghi, A., Musazzi, S., Novali, F., Prati, C. and Rocca, F., (2007), "Submillimeter Accuracy of InSAR Time Series: Experimental Validation," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 45, pp. 1142-1153 (<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4156314/>)
- Gabriel, A. K., R. M. Goldstein, and H. A. Zebker (1989), Mapping small elevation changes over large areas: Differential radar interferometry, *J. Geophys. Res.*, 94(B7), 9183–9191, doi:10.1029/JB094iB07p09183. (<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/JB094iB07p09183>)
- Hooper, Bekaert, D., Spaans, K., Arikan, M., (2012), Recent series analysis for measuring crustal deformation, *Tectonophysics* pp. 514 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2011.10.013>)
- Massonnet, D. and K.L. Feigl, Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. *REVIEWS OF GEOPHYSICS-RICHMOND VIRGINIA THEN WASHINGTON-*, 1998. 36: p. 441-500
- Osmanoğlu, Batuhan; Dixon, Timothy H.; Wdowinski, Shimon; Cabral-Cano, Enrique; and Jiang, Yan, "Mexico City Subsidence Observed with Persistent Scatterer InSAR" (2011). *School of Geosciences Faculty and Staff Publications*. 428. (http://scholarcommons.usf.edu/geo_facpub/428)
- Roland, B., Paul, A., Rosen, and Eric, J., Fielding (2000) "Synthetic Aperture Radar Interferometry To Measure Earth S Surface Topography And Its Deformation" *Annu. Rev. Earth Planet.* 28:169–209. (<https://doi.org/10.1146/annurev.earth.28.1.169>)
- Rott, H. and T. Nagler. 2006. The contribution of radar interferometry to the assessment of landslide hazards. *Advances in Space Research*, 37(4): 710–719. (<https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.06.059>)
- Sneed, Michelle, Ikehara, M.E., Stork, S.V., Amelung, Falk, and Galloway, D.L., 2003, Detection and measurement of land subsidence using interferometric synthetic aperture radar and global positioning system, San Bernardino County, Mojave Desert, California: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 03-4015, 60 p. (<http://pubs.usgs.gov/wri/wri034015/>)