



پهنه‌بندی فرونشست دشت سمنان ناشی از برداشت بی‌رویه آبهای زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و تصاویر Sentinel-1A

رضا دهقانی بیدگلی^{۱*}، حمیدرضا کوهبنانی^۲، محمدرضا یزدانی^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۱۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۰

مقاله پژوهشی

چکیده

نشست زمین یکی از مخاطرات طبیعی با عواقب فاجعه‌بار است. به دلیل استخراج بیش از حد منابع آب زیرزمینی و افت سطح پیژومتری در بسیاری از آبخوان‌های کشورمان، نشست زمین با سرعت‌های مختلف در حال رخ دادن است. فن تداخل‌سنجی راداری با دریچه مصنوعی در مناطقی که اطلاعات ژئودتیک زمینی کافی موجود نیست، روشی است که جابجایی در راستای قائم را به خوبی و در گستره وسیع نمایش می‌دهد. در تحقیق حاضر از دو تصویر جدید Sentinel-1A با فاصله زمانی ۱۱ ماه برای بررسی نرخ فرونشست در دشت سمنان استفاده گردید. پس از اطمینان از همبستگی بالای دو تصویر، تداخل‌نگار اولیه تهیه گردید و پس از حذف فازهای غیرضروری، فاز جابجایی محاسبه و سپس به مؤلفه قائم تبدیل گردید. نتایج این تحقیق نشان داد بیشینه مقدار فرونشست دشت سمنان برابر ۱۰ سانتی‌متر در سال بود. در مناطق با نرخ بالای فرونشست عموماً در حوالی شهر سمنان در سمت شرق و جنوب با فاصله حداکثر ۱۰ کیلومتری از شهر واقع شده‌اند. به دلیل متمرکز بودن پدیده نشست زمین در سمنان می‌توان با مدیریت صحیح منابع آبی سرعت این پدیده را در منطقه مورد مطالعه کاهش داد.

واژه‌های کلیدی کلیدی: آب زیرزمینی، تداخل سنجی، سنتینل، فرونشست، سمنان

^۱استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران ۰۹۱۳۳۶۴۰۲۶، dehghanir@kashanu.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۲دانشجوی دکتری، گروه بیابانزدایی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، h_kohbanani@gmail.com

^۳دانشیار، گروه بیابانزدایی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، m_yazdani@semnan.ac.ir

مقدمه

آب‌های زیرزمینی به‌عنوان بخش مهمی از آب‌های تجدید پذیر جهان محسوب می‌گردد. نزدیک به یک‌چهارم منابع آب تجدید پذیر کره زمین مربوط به منابع آب زیرزمینی است که حدود ۱۰۰۰۰ کیلومتر مکعب در سال برآورد می‌شود. ۲۰ درصد از این رقم، حاصل نفوذ مستقیم بارش و ۸۰ درصد دارای منشأ نفوذ جریان‌ات آب سطحی است. دهه‌ها برداشت مداوم از منابع آب زیرزمینی در چند دهه اخیر، منجر به فرونشست قابل توجه دشت‌ها شده به‌طوری‌که گزارش‌ها حاکی از آن است که در برخی مناطق نرخ فرونشست از ۲۰ الی ۳۰ سانتی‌متر در سال نیز فراتر رفته است (داودی جم و همکاران، ۲۰۱۵). اگرچه همبستگی بالای موجود میان فرونشست زمین از یک‌سو و کاهش تراز سطح آب زیرزمینی و تغییر در ویژگی‌های مکانیکی لایه‌های زیرسطحی از سوی دیگر تا حد زیادی شناخته‌شده و تلاش‌های زیادی برای شناخت کامل این پدیده صورت گرفته است، ولی تاکنون مدل جامع و دقیقی از پیش‌بینی فرونشست ارائه نشده است. با کاهش تراز آب زیرزمینی، افزایش تنش مؤثر ناشی از کاهش فشار آب منفذی سبب ایجاد فرونشست می‌شود. معمولاً کاهش فشار آب منفذی و افزایش تنش مؤثر زمان‌بر است. بنابراین به دنبال کاهش سطح پی‌زومتری، فرونشست با یک تأخیر زمانی رخ خواهد داد (انگورانی و همکاران، ۲۰۱۴). فرونشست زمین ناشی از افت سطح سیال عمدتاً در رسوبات تحکیم نیافته یا نیمه تحکیم یافته که در مجاورت لایه‌های شن و ماسه قرار دارد صورت می‌گیرد (صالحی و همکاران، ۲۰۱۲). در چنین شرایطی یک تراکم غیر الاستیک ناشی از افزایش تنش مؤثر در خاک رخ داده و چینش دانه‌های خاک به‌هم‌خورده و ضخامت لایه عمودی لایه‌ها کم می‌شود (بل، ۱۹۹۹). افت ناموزون سطح آب زیرزمینی و ناهمگنی بافت آبخوان موجب فرونشست ناهمسان می‌گردد و به تبع آن خطواره‌ها و

شکاف‌ها در سطح اراضی مخصوصاً اراضی کشاورزی مشاهده می‌گردد (حقیقت‌مهر و همکاران، ۱۳۹۱). ترک و شکاف‌های زمین همچون سرطان، آرام و بی‌صدا گسترش می‌یابد. از سوی دیگر این پدیده می‌تواند با ایجاد تغییر در وضعیت آب‌شناختی منطقه از قبیل جهت و سرعت جریان آب زیرزمینی، بیلان آب زیرزمینی و غیره نتایج ناهنجار بیشتری را در پی داشته باشد (هولزر و گالوی، ۲۰۰۵). نرخ بالای فرونشست موجب تخریب سازه‌هایی از قبیل ساختمان‌ها، جاده‌های مواصلاتی، پل-ها، لوله‌های انتقال، سدهای خاکی می‌گردد (هافمن و همکاران، ۲۰۰۱).

در سال‌های اخیر تلاش گسترده‌ای برای اندازه‌گیری تغییرات پوسته زمین با استفاده از فن‌هایی همچون ترازبایی دقیق صورت گرفته است. در دو دهه اخیر دو فناوری پیشرفته GPS و سامانه تصویربرداری راداری با درجه مصنوعی (SAR) باعث افزایش دقت اندازه‌گیری دگرشکلی سطح زمین شده است. در این میان سامانه‌های GPS با دو ویژگی قدرت تفکیک مکانی افقی اندک و قدرت تفکیک زمانی بالا ابزار مفیدی برای بررسی تغییرات اندک جابجایی سطح زمین محسوب می‌شوند. از سوی دیگر به دلیل پوشش وسیع و قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا، تصاویر راداری ماهواره‌ای به‌عنوان یکی از ابزارهای نیرومند برای محققان در زمینه تغییرات پوسته زمین تبدیل شده است. تحقیقاتی همچون مدل‌سازی سیکل زلزله (کیو و کیوا ۲۰۱۷)، پهنه‌بندی زمین‌لغزش (تنگ و اسچمیت ۲۰۱۶)، اندازه‌گیری فرونشست عمودی زمین ناشی از بهره‌برداری بی‌رویه آب زیرزمینی (زو و همکاران ۲۰۱۵)، مدل‌سازی حرکات تکتونیک گسل‌ها (هو و همکاران ۲۰۱۶) و آتشفشان-ها (دونولیس و همکاران ۲۰۱۷). از جمله کاربردهای تصاویر راداری است.

³ Synthetic Aperture Radar

داد که در بسیاری از جاه‌ها افت سطح پیژومتری با نشست زمین همبستگی بالایی دارد. اما در عین حال در برخی جاه‌ها علیرغم افت سطح پیژومتری، سیگنال فرونشست مشاهده نگردید.

مناق و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای در دشت رفسنجان از داده‌های ALOS و Sentinel-1A مربوط به سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ در پهنه‌ای به وسعت ۱۰۰۰ کیلومترمربع به منظور مطالعه فرونشست زمین بهره بردند. در این تحقیق آن‌ها چنین نتیجه گرفتند که نرخ فرونشست دشت از ۵ سانتی‌متر در سال به بیش از ۳۰ سانتی‌متر در سال در سال‌های اخیر تغییر یافته است که عمدتاً ناشی از بهره‌برداری شدید از منابع آب زیرزمینی بوده و تا حدودی از رفتار گسل‌های کوترنری منطقه تبعیت می‌کنند.

سوتر و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیق خود به روش تداخل‌سنجی، تصاویر Sentinel سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵ شهر مکزیکوسیتی را بررسی نموده و پی بردند نرخ فرونشست این منطقه سالیانه بیش از ۴۰ سانتیمتر در سال است.

سو و همکاران (۲۰۱۵) نیز در پژوهش خود در دشت پکن شمالی، نرخ فرونشست را بیش از ۵۲ میلی‌متر در سال تخمین زدند. آن‌ها رابطه معنی‌داری بین توسعه شهرنشینی و نرخ فرونشست پیدا نکردند.

پژوهش حاضر در زمره نخستین تحقیقات صورت گرفته در کشور به منظور استفاده از قابلیت‌های تصاویر راداری سری سنتینل آژانس فضایی اروپاست که با هدف اندازه‌گیری میزان و گستره رخداد فرونشست با استفاده از فن تداخل‌سنجی راداری انجام می‌پذیرد. در این مطالعه از دو تصویر Sentinel-1A از نوع SLC⁵ مربوط به تاریخ ۵ آبان ۱۳۹۳ و ۶ مهر ۱۳۹۴ به فاصله ۱۱ ماه استفاده گردید. تصاویر Sentinel-1A به وسیله آژانس فضایی اروپا توسعه یافته و تصویربرداری آن از ۱۴ فرودین ۱۳۹۳

تداخل سنجی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای راداری با دریچه مصنوعی روش دقیق مبتنی بر استفاده از حداقل دو تصویر راداری از یک منطقه است و قادر است با دقت قابل توجهی تغییرات جابجایی ارتفاعی در سطوح وسیع و در طی بازه‌های زمانی مختلف را با دقتی در حد میلی‌متر اندازه‌گیری نماید (تونگ و همکاران ۲۰۱۶). این روش برای برآورد جابجایی‌های عمودی در مقیاس وسیع امکان‌پذیر است. اساس این روش به این صورت است که اگر دو تصویر راداری از یک منطقه در دو زمان مختلف اخذ شود، اینترفروگرام یا تداخل نگار مربوط به ترکیب این دو تصویر تغییرات اندک سطح زمین در مقیاس میلی‌متر را نشان خواهد داد. در خصوص سطح زمین موجود در یک منطقه که دو بار و با یک هندسه مشابه تصویربرداری شوند، چنانچه مسافت رادار-زمین-رادار در هر دو تصویر یکسان باشد، فازهای برگشتی^۴ یکسان خواهد بود و این بدین معناست که اختلاف ارتفاعی صورت نگرفته است. اما چنانچه سطح موردنظر در پوسته زمین جابجایی (افقی یا عمودی) داشته باشد. مسافت رادار-زمین-رادار تغییر کرده و فاز تصویر دوم اصطلاحاً شیفیت خواهد داشت. این شیفیت فاز دلالت بر جابجایی سطح دارد. میزان حرکت متناظر با نصف طول موج است (واجیدیان و همکاران ۲۰۱۰).

به منظور اندازه‌گیری جابجایی عمودی سطح زمین، روش تداخل سنجی راداری با دریچه مصنوعی (InSAR) در سال‌های اخیر به عنوان یکی از روش‌های غیر ژئودتیک مورد توجه بسیار قرار گرفته است. به عنوان مثال دهقانی (۱۳۹۳) با استفاده از فن تداخل سنجی راداری و تصاویر ENVISAT فرونشست دشت مشهد را در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ مطالعه نمود. نتایج بررسی‌های این محقق نشان داد فرونشست دشت مشهد در بیشترین حالت، ۲۳ سانتیمتر در سال بوده است. این محقق همچنین با بررسی جاه‌های پیژومتری دشت مشهد نشان

⁵ Single Look Complex

⁴ Backscatter

روش تحقیق

یک سیگنال راداری در سنجنده‌های راداری با دریچه مصنوعی (SAR) از دو بخش دامنه^۶ و فاز^۷ تشکیل شده است. دامنه، قدرت سیگنال برگشتی است و فاز کسری از یک سیکل کامل موج سینوسی است. اساساً فاز در تصویر راداری از طریق فاصله بین آنتن سنجنده و عارضه زمینی مشخص می‌گردد. اگرچه فاز یک تصویر منفرد به‌سختی اطلاعات مفیدی در اختیار قرار می‌دهد اما تفاوت فاز یک زوج تصویر هم‌مرجع^۸ و هم‌دوس^۹ اطلاعات ذی‌قیمتی در اختیار محققان قرار می‌دهد. در تداخل سنجی راداری تفاوت فاز دو تصویر از یک منطقه بافاصله زمانی و خط مبنای مشخص تعیین می‌گردد. شکل (۲) به‌اختصار هندسه فن تداخل سنجی راداری نشان می‌دهد.

شروع شده و مأموریت آن هفت ساله در نظر گرفته شده است. این ماهواره از نوع خورشید آهنگ با ارتفاع مداری ۶۹۳ کیلومتری بوده و در باند C با طول موج ۵/۵ میلی‌متر و با قدرت تفکیک زمانی ۱۲ روز تصویربرداری می‌کند. مهم‌ترین محصول Sentinel-1A داده SLC با قدرت تفکیک مکانی ۵×۲۰ متر بوده و برای مطالعات تداخل‌سنجی قادر است تا دقتی در حد میلی‌متر جابجایی‌ها را نشان دهد (روسی و همکاران، ۲۰۱۲).

مواد روش‌ها

محدوده مطالعاتی

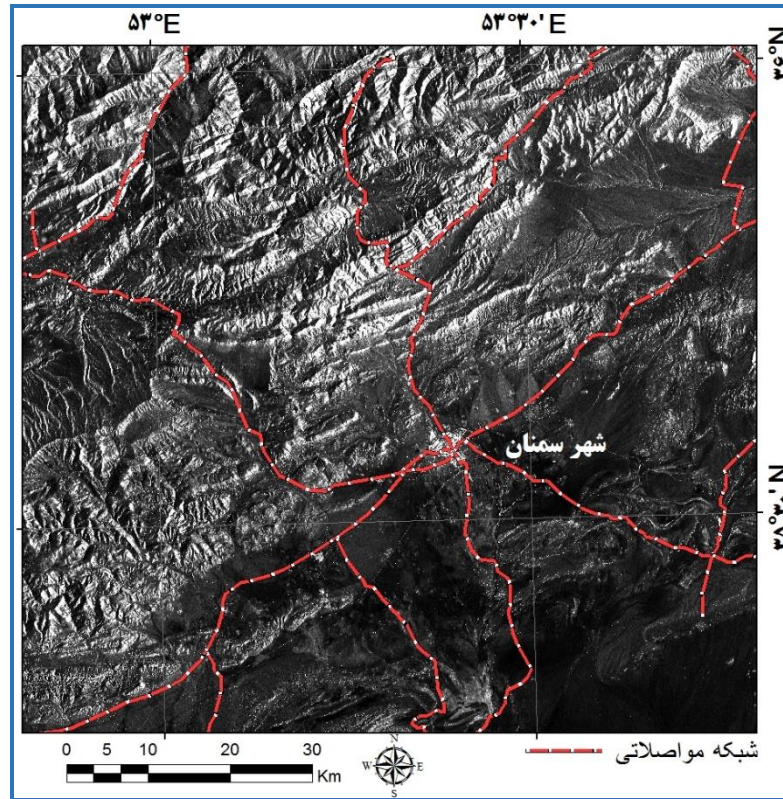
منطقه مورد مطالعه در این مقاله دشت سمنان شامل شهر سمنان و حومه آن است (شکل شماره ۱). دشت سمنان در مختصات جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی و از ۳۵ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی قرار دارد و ۷۰۳ کیلومترمربع مساحت دارد. این دشت از شمال به پیغمبران و چغندرون، از شرق به کوه‌های سه‌برادران، از غرب به ارتفاعات حاجی‌آباد خوریان و دشت بیابانک منتهی می‌گردد و شهر سمنان تقریباً در مرکز آن واقع شده است. این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک تا خشک است. به‌دلیل هم‌جواری با تهران و موقعیت خاص جغرافیایی، شهر سمنان از چشم‌انداز ویژه اقتصادی و صنعتی برخوردار است. در دو دهه اخیر، توسعه سریع صنعتی و کشاورزی این منطقه همراه با رشد سریع جمعیتی و به‌تبع آن افزایش نیاز آبی منجر به افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی و افت سالانه ۰/۶۶ متری سطح سفره‌های آب زیرزمینی همراه با کسری مخزن به میزان یک‌میلیون مترمکعب شده است (بازن و همکاران، ۲۰۱۳).

⁶ Amplitude

⁷ Phase

⁸ Coregister

⁹ Coherent



شکل (۱): تصویر راداری Sentinel-1A منطقه مورد مطالعه

تداخل سنجی به مطالعه مفهوم تداخل بین جفت سیگنال‌ها به منظور به دست آوردن اطلاعات از تفاضل آن‌ها گفته می‌شود. اساس روش تداخل سنجی بر مبنای اختلاف فاز دو تصویر از یک منطقه است. دامنه‌های امواج دو تصویر در هم ضرب می‌شود. تداخل نگار شکل گرفته اختلاف فازی نسبت به تصویر اولیه دارد که در رابطه (۴) نشان داده شده است:

$$\begin{aligned} \Delta\phi = & 2\pi\alpha + \Delta\phi_{flat} + \Delta\phi_{elevation} + \Delta\phi_{displacement} \\ & + \Delta\phi_{atm} + \Delta\phi_{org} + \Delta\phi_{noise} \end{aligned} \quad (4)$$

روابط (۱) تا (۳) نحوه محاسبه فاز جفت تصویر راداری و رابطه اختلاف فاز بین این دو را نشان می‌دهد.

$$\phi_1 = \frac{4\pi R}{\lambda} \quad (1)$$

$$\phi_2 = \frac{4\pi(R+\Delta R)}{\lambda} \quad (2)$$

$$\Delta\phi = \frac{4\pi\Delta R}{\lambda} \quad (3)$$

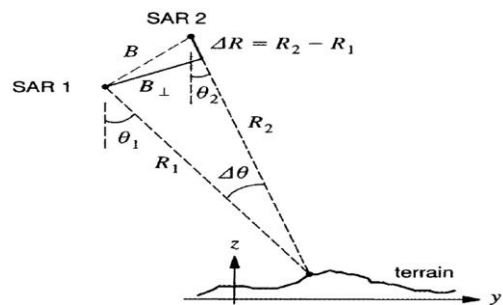
در روابط (۱) تا (۳) R : فاصله سنجنده تا سطح زمین و λ : طول موج سیگنال ارسالی می‌باشد. به‌طور کلی کلمه

روند مراحل تحقیق به صورت خلاصه در شکل ۳ مشاهده می‌گردد. در سیستم‌های پلاریمتری راداری با ارسال و دریافت سیگنال در دو حالت عمودی (V) و افقی (H) چهار ترکیب VV، VH، HV و HH حاصل می‌آید. معمولاً برای محاسبه در این تحقیق از دو تصویر جدید از منطقه از نوع SLC با بالاترین میزان همدوسی با پلاریزاسیون VV و از نوع عبور پایین‌رو استفاده شد. قبل از تشکیل تداخل نگار یا اینترفروگرام باید از همدوسی^۱ از دو تصویر اطمینان حاصل نمود. برای اطمینان بیشتر از نتایج حاصله مناطقی با نرخ همدوسی پایین‌تر از نیم از اینترفروگرام نهایی حذف گردیدند (شکل ۴). این مناطق فاقد همبستگی کافی برای تشکیل تداخل نگار محسوب می‌شوند و عموماً تغییرات زیادی از خود نشان می‌دهند. عموماً مناطق دارای پوشش گیاهی، سطوح برفی و یا مناطقی با تغییرات رطوبتی بالا همدوسی پایینی دارند و در مقابل مناطق شهری و سطوح بیابانی و سنگی همدوسی بالایی از خود نشان می‌دهند. همدوسی دو تصویر منطقه مورد مطالعه به دلیل بیابانی بودن و پوشش گیاهی تنک و از طرف دیگر فاصله زمانی کوتاه در سطح خوبی قرار دارد. در نخستین گام باید دو تصویر هم‌مرجع شوند. برای انجام این مرحله بسیار مهم از پارامترهای مداری هر دو تصویر به همراه DEM منطقه و استفاده از نقاط پراکنش‌گر دائمی استفاده گردید. مرحله تناظریابی به این صورت است که تصویر جدیدتر به‌عنوان تصویر اصلی^۲ و تصویر قدیمی‌تر به‌عنوان تصویر تابع^۳ انتخاب می‌شود. سپس با توجه به نقاط نمونه‌برداری تصویر تابع نسبت به تصویر مرجع نمونه‌برداری مجدد می‌گردد. پس از تناظریابی و هم‌مرجع کردن دو تصویر، فاز دو تصویر با هم ترکیب شدند (شکل شماره ۵). فاز ترکیب‌شده همبستگی بالایی با توپوگرافی منطقه و جابجایی سطحی

در رابطه فوق $\Delta\varphi_{orb}$: اثر مؤلفه مداری، $\Delta\varphi_{flat}$: اختلاف فاز ناشی از کرویت زمین، $\Delta\varphi_{atm}$: اثر مؤلفه جو ناشی از رطوبت، دما و تغییرات فشار هوا در دو زمان تصویربرداری، $\Delta\varphi_{noise}$: اختلاف فاز ناشی حرارت آنتن‌های سنجنده ماهواره‌ای، پراکنش حجمی اشیا و در کل اثر مؤلفه نوفه است. معمولاً اختلاف فاز ناشی از شرایط اتمسفری و حرارت آنتن‌ها و اختلاف مداری دو تصویر توسط شرکت‌های ارائه‌دهنده تصاویر محاسبه می‌شوند. $\Delta\varphi_{atm}$: اثر مؤلفه اتمسفری و $\Delta\varphi_{elevation}$: اختلاف فاز ناشی از توپوگرافی منطقه است و جزء مهم تداخل نگار محسوب می‌گردد و به خط مبنای مکانی بین دو تصویر راداری مرتبط است (خط B در شکل شماره ۲). با توجه به شکل (۲) فاز توپوگرافی با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌گردد:

$$\phi_{topo} \approx \frac{4\pi}{\lambda} \frac{hB_{\perp}}{R_1 \sin \theta_1} \quad (5)$$

$\Delta\varphi_{displacement}$ اختلاف فاز ناشی از جابجایی و تغییر شکل زمین است و مجهول این معادله است. در روابط (۱) تا (۳) و رابطه (۵) مقدار λ یا طول موج در تصاویر سنتینل ۱ برابر با ۵۵/۶ میلی‌متر است. در واقع هدف اصلی تداخل سنجی، استخراج میزان فاز جابجایی با حذف یا کمینه کردن اثر دیگر مؤلفه‌هاست.



شکل (۲): هندسه تداخل سنجی راداری
(Bamler and Hartl., 1998)

⁵- Coherence

² Master

³ Slave

گلدشتین سطح نویز اینترفروگرام کاهش یافته و دقت افزایش می‌یابد (Goldenstein and Werner., 1998)

تبدیل فاز به جابجایی عمودی

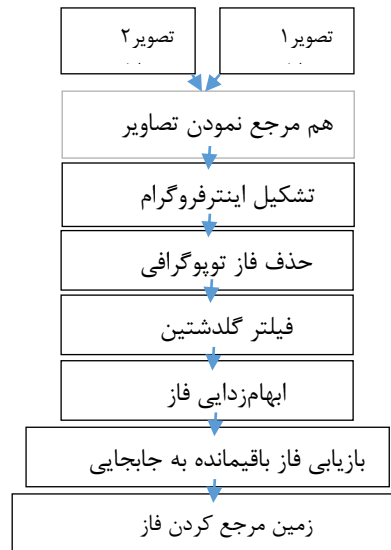
جهت تبدیل فاز تداخل سنجی ناشی از جابجایی عمودی به فاصله عمودی به واحد متر از رابطه (۶) استفاده می‌شود:

$$d = \frac{-\lambda \times \Delta \phi}{4\pi \times \cos(\text{inc angle})} \quad (۶)$$

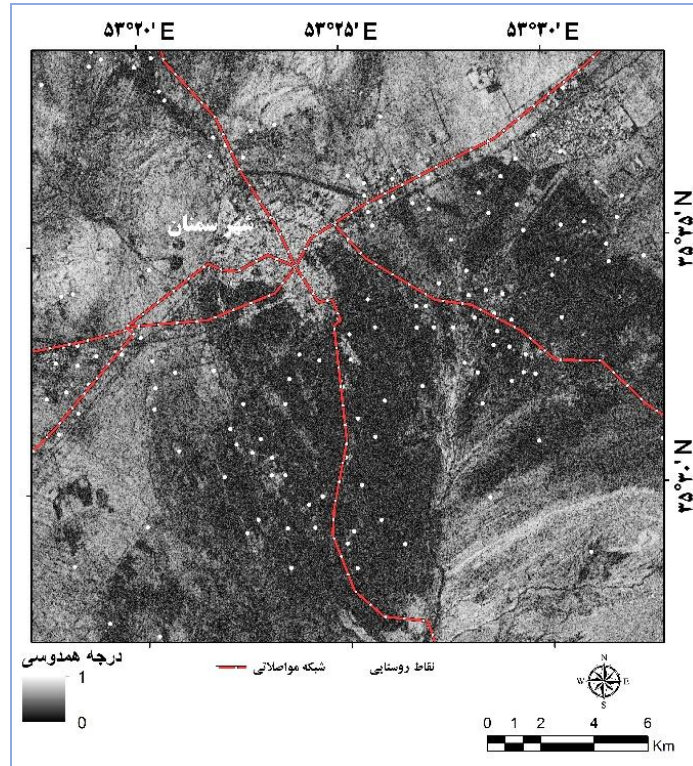
به دست می‌آید. در نهایت اعوجاجات موجود در هندسه تصویربرداری راداری با استفاده از روش Range-doppler تصحیح شده و به مختصات جغرافیایی تبدیل می‌گردد.

زمین دارد. بعد از تشکیل اینترفروگرام اولیه با استفاده از DEM از نوع SRTM با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر فاز مربوط به توپوگرافی حذف شد. با استفاده از فیلتر در رابطه (۴) مقدار باقیمانده معادله اختلاف فاز است و با استفاده از فن Unwrapping این مقدار از فاز نهایی حذف می‌شود.

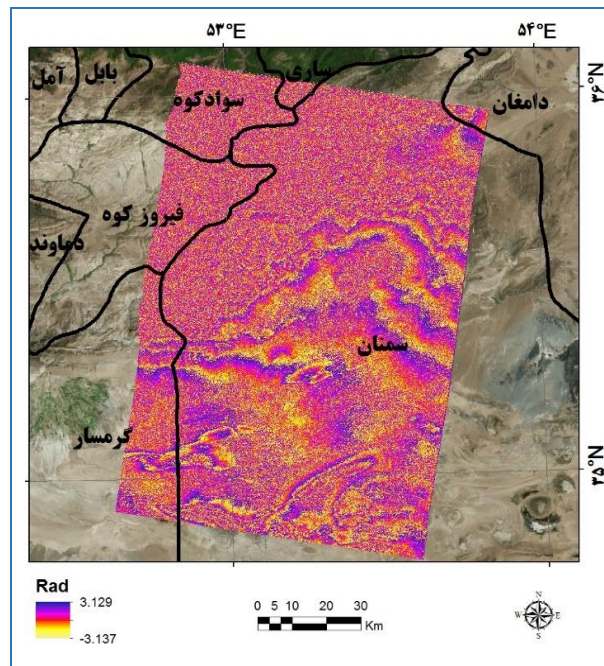
در این رابطه d میزان جابجایی عمودی صورت گرفته در بازه زمانی دو تصویر به متر، λ طول موج راداری، inc_angle هم زاویه فرودی موج راداری و $\Delta \phi$ فاز باقیمانده ناشی از جابجایی عمودی است که از رابطه (۴)



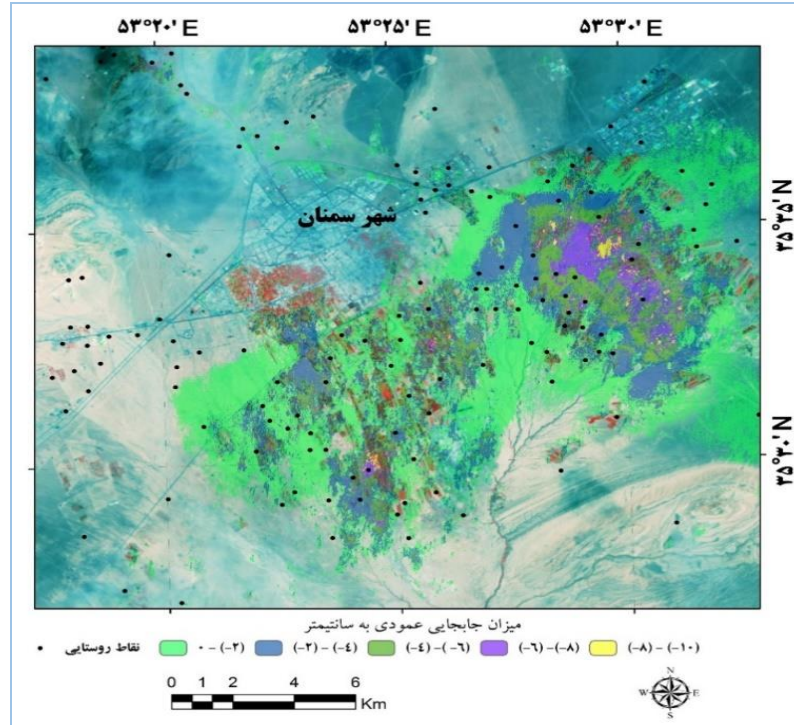
شکل (۳): روند تداخل سنجی راداری



شکل (۴): درجه هم‌دوسی (Coherence) دو تصویر راداری



شکل (۵): تداخل نگار (Interferogram) حاصل از دو تصویر رادار شامل فریب‌های ناشی از فرونشست



شکل (۶): نقشه نهایی فرونشست سطح زمین شهر سمنان و حومه در بازه زمانی ۹۳/۸/۵ الی ۹۴/۷/۶

تحت تأثیر فرونشست شهر سمنان و حومه به تصویر کشیده شد. همان‌طور که در شکل شماره ۶ مشهود است کانون نشست دشت سمنان با نرخ نشست بیش از ۱۰ سانتی‌متر در سال در حوالی خطوط ریلی واقع شده است. فاصله نقطه بحرانی از ایستگاه راه‌آهن سمنان به سمت شاهرود ۸/۵ کیلومتر است. لازم است مسئولان امر هرچه سریع‌تر با کنترل برداشت آب‌های زیرزمینی این منطقه از بروز خسارات ناگهانی به خطوط ریلی و قطارهای سریع‌السیر در این منطقه جلوگیری به عمل آورند.

دو مکانیسم اعتبارسنجی برای نتایج تداخل‌سنجی راداری می‌توان متصور بود. مورد نخست استفاده از ایستگاههای GPS سازمان نقشه برداری است که متاسفانه توزیع مناسبی در سطح کشور ندارند و عموماً در هر شهرستان یک ایستگاه نصب شده است. نتایج جابه‌جایی عمودی نقطه‌ای تجمعی اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه GPS سازمان نقشه‌برداری واقع در شهر سمنان

نتایج و بحث

اطلاعات به روز، دقیق و در سطح وسیع یکی از ملزومات مدیریت اراضی به منظور جلوگیری از رشد پدیده فرونشست محسوب می‌گردد. سنجش از دور ماهواره‌ای به دلیل پوشش گسترده و توان تفکیک زمانی و مکانی مناسب روش مناسبی برای تهیه اطلاعات بهنگام از فرونشست دشت‌های بحرانی ایران است. سنجش‌از‌دور ماهواره‌ای به دلیل پوشش گسترده و توان تفکیک زمانی و مکانی مناسب روش مناسبی برای تهیه اطلاعات بهنگام از فرونشست دشت‌های بحرانی ایران است. در این تحقیق تمامی فرآیندهای پردازشی از قبیل انتخاب زوج تصویر تا بازیابی فاز جابجایی عمودی سطح دشت سمنان صورت گرفت و قابلیت‌های تصاویر جدید و به‌روز Sentinel-1A آژانس فضایی اتحادیه اروپا در تهیه پهنه و گستره مناطق

یکی از مهمترین مشکلات استفاده از تصاویر راداری جهت انجام پردازش‌های تداخل‌سنجی، کمبود داده مناسب با بالاترین درجه همدوسی و دسترسی ناکافی به اینگونه تصاویر است. البته با توجه به توسعه روزافزون اینگونه ماهواره‌ها و سرمایه‌گذاری وسیع اتحادیه اروپا در این زمینه و اهمیت بالای تصاویر SAR، بیش از گذشته شاهد سهولت در دسترسی به اینگونه داده‌ها و توسعه کاربردهای آن خواهیم بود. پیشنهاد می‌گردد در دشتهای بحرانی کشورمان در فواصل کوتاه زمانی از این تکنیک جهت تعیین رفتار دشتهای در قبال طرح‌های مدیریتی و منابع آب و عکس‌العمل آنها استفاده گردد. استفاده از این تصاویر به همراه اطلاعات ایستگاههای GPS می‌تواند بهترین و دقیق‌ترین اطلاعات پایش از پدیده فرونشست دشت سمنان و سایر دشتهای بحرانی محسوب شوند. مدیریت منابع آبی به‌منظور جبران کسری مخزن آب زیرزمینی، جلوگیری از اضافه برداشت، انسداد چاه‌های غیرمجاز، اعمال سیاست‌های حمایتی و تشویقی، حمایت از روش‌های نوین آبیاری بر اساس الگوی کشت، نصب کنتورهای هوشمند و حجمی برخی از راهکارهایی است تا از فرونشست بیشتر این دشت مهم کشور جلوگیری کنیم.

حاکمی از فرونشست سالیانه به میزان ۷۵ میلی‌متر در بازه زمانی تحقیق حاضر است. حال اینکه این مقدار اختلاف اندکی با مقدار محاسبه‌شده به روش تداخل‌سنجی (۸۲ میلی‌متر) را نشان می‌دهد. مورد دوم استفاده از تصویر همدوسی به‌دست آمده حاصل از تداخل‌سنجی دو تصویر است (شکل ۴). بدین منظور در نتایج نهایی (شکل ۶)، نواحی با همدوسی کمتر از نیم به دلیل خطای بالا حذف گردید.

مزیت روش‌های مبتنی بر تصاویر راداری با درجه مصنوعی نسبت به دیگر روش‌ها از قبیل سامانه‌های GPS و یا ترازبایی دقیق، پوشش مکانی وسیع و شناسایی کانون‌ها و نقاط بحرانی دشتهاست. دگرشکلی مستخرج از تصاویر راداری به دلیل قدرت تفکیک زمانی و مکانی مناسب روش مناسبی برای پایش پیوسته در طول زمان است. هزینه پایین این روش نسبت به سایر روش‌ها و عدم نیاز به عملیات زمینی باعث می‌شود این فن در این زمینه بی‌رقیب محسوب شود. پیشنهاد می‌گردد در دشتهای بحرانی کشورمان در فواصل کوتاه زمانی از این فن جهت تعیین رفتار دشتهای در قبال طرح‌های مدیریتی و منابع آب و عکس‌العمل آنها استفاده گردد.

منابع

- انصاریان ح، و نادریان فر م، ۱۳۹۱. بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از شاخص فازی بارندگی و تبخیر و تعرق استاندارد شده (SEPI)، مدیریت آب و آبیاری، ۲(۱): ۵۴-۴۱
- انگورانی س، معماریان ح، شریعت پناهی م، و بلورچی، م. ۱۳۹۴. مدل‌سازی پویای فرونشست دشت تهران، علوم زمین، ۹۷: ۲۱۱-۲۲۰.
- بزان ع، حسینی ع، و موسوی س‌ف، ۱۳۹۳. بررسی پدیده نشست زمین تحت تأثیر افت سطح آب‌های زیرزمینی مطالعه موردی: دشتهای مهم استان سمنان، همایش ملی راهکارهای پایش روی بحران آب در ایران و خاورمیانه، شیراز، ۲۰ لغایت ۲۱ آبان.

حقیقت مهر پ، ولدان زوج مج، تاجیک ر، جباری س، صاحبی مر، اسلامی ر، گنجیان م، و دهقانی م، ۱۳۹۱. تحلیل سری زمانی فرونشست هشتگرد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و سامانه موقعیت‌یابی جهانی، علوم زمین، ۸۵: ۱۱۴-۱۰۵ دهقانی م. ۱۳۹۳. ارائه الگوریتمی جدید بر مبنای تکنیک تداخل سنجی راداری به منظور پایش فرونشست سطح زمین ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی، مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، ۲(۲): ۶۱-۷۳ صالحی ر، غفوری م، لشکری‌پور، غ و دهقانی م. ۱۳۹۲. بررسی فرونشست دشت مهیار جنوبی با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، مهندسی آبیاری و آب، ۳(۱۱): ۴۷-۵۷ میثاقی ع، داوری ک، قهرمان ب، و هاشمی‌نیا س.ج. ۱۳۹۵. مدل‌سازی منابع آب در حوضه آبریز با استفاده از روش پویایی سیستم (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور)، علوم و مهندسی آبیاری، ۳۷(۳): ۸۳-۹۴ واجدیان س، سراجیان م، و منصوری ا. ۱۳۹۰. استخراج میدان جابه‌جایی سه‌بعدی با استفاده از فن تداخل سنجی رادار با درجه مصنوعی (بررسی موردی گسل بم)، فیزیک زمان و فضا، ۳۷(۲): ۸۳-۹۶ یعقوب‌زاده م، ایزدپناه ا، برومندنسب س، و سیدکابلی ح. ۱۳۹۵. مقایسه الگوریتم سبال با مدل SWAP و روش محاسباتی جهت تعیین تبخیر و تعرق، علوم و مهندسی آبیاری، ۳۹(۳): ۳۹-۴۹

- Bamler, R. and Hartl, P., 1998, Synthetic aperture radar interferometry: Inverse Problems, 14: 1-54.
- Bell, F.G. 1999. Geological Hazards. Their Assessment, Avoidance and Mitigation, Department of Geology and Applied Geology, University of Natal, Durban, South Africa, 648 p.
- Davoodijam, M., Motagh, M. and Momeni, M. 2015. Land subsidence in Mahyar Plain, Central Iran, investigated using Envisat SAR Data. Proceedings the 1st International Workshop on the Quality of Geodetic Observation and Monitoring Systems (QuGOMS'11). Springer: pp. 127-130 http://dx.doi.org/10.1007/1978-1003-1319-10828-10825_10818.
- De Novellis, V., Castaldo, R., De Luca, C., Pepe, S., Zinno, I., Casu, F., Lanari, R., and Solaro, G. (2017). Source modelling of the 2015 Wolf volcano (Galápagos) eruption inferred from Sentinel 1-A DInSAR deformation maps and pre-eruptive ENVISAT time series. *Volcanology and Geothermal Research*, 344, 246-256.
- Goldstein, R.M and Werner, C.L. 1998. Radar interferogram filtering for geophysical applications. *Geophys. Res. Lett.* 25:4035-4038.
- Hoffmann J, Zebker HA, Galloway DL, Amelung F. 2001. Seasonal subsidence and rebound in Las Vegas Valley, Nevada, observed by synthetic aperture radar interferometry. *Water Resources Research*, 37(6): 1551-1566.
- Holzer, T.L. and D.L. Galloway. 2005. Impacts of land subsidence caused by withdrawal of underground fluids in the United States. Geological Society of America, *Reviews in Engineering Geology*, 16: 87-99.
- Hu, J., Ding, X.L., Li, Z.W., Zhang, L., Zhu, J.J., Sun, Q and Gao, G.J. (2016). Vertical and horizontal displacements of Los Angeles from InSAR and GPS time series analysis: Resolving tectonic and anthropogenic motions, *Geodynamics*, 99, 27-38.
- Motagh, M., Shamshiri, R., Haghshenas Haghghi, M., Wetzel, H., Akbari, B., Nahavandchi, H., Roessner, S. and Arabi, S. 2017. Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanjan plain, southeastern Iran, using InSAR time-series and in situ measurements. *Engineering Geology*, 218: 134-151
- Qiu, J., and Qiao, X. (2017). A study on the seismogenic structure of the 2016 Zaduo, Qinghai Ms6.2 earthquake using InSAR technology. *Geodesy and Geodynamics*, 8(5), 342-346.



Rucci, A., Ferretti, A., Monti Guarnieri, A and Rocca, F. 2012. Sentinel 1 SAR interferometry applications: The outlook for sub millimeter measurements, *Remote Sensing of Environment*, 120: 156-163

Sowter, A., Bin Che Amat, M., Cigna, F., Marsh, S., Athab, A. and Ashammari, L. 2016. Mexico City land subsidence in 2014–2015 with Sentinel-1 IW TOPS: Results using the Intermittent SBAS (ISBAS) technique. *Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52: 230–242

Tong, X., and Schmidt, D. (2016). Active movement of the Cascade landslide complex in Washington from a coherence-based InSAR time series method. *Remote Sensing of Environment*, 186, 405–415.

Tung, H., Chen, H.-Y., Hu, J.-C., Ching, K.-E., Chen, H. and Yang, K.-H. 2016. Transient deformation induced by groundwater change in Taipei metropolitan area revealed by high resolution X-band SAR interferometry. *Tectonophysics* <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2016.03.030>.

Zhu, L., Gong, H., LI, X., Wang, R., Chen, B., Dai, Z. and Teatini, P. 2015. Land subsidence due to groundwater withdrawal in the northern Beijing plain, China. *Engineering Geology*, 193: 243–255



Subsidence Mapping caused by over exploitation of Underground Water in Semnan Plain Using Sentinel-1A IW TOPS Interferometry

Reza Dehghani Bidgoli^{1*}, Hamidreza Koohbanani², Mohammadreza Yazdani³

Abstract

Gradual or sudden subsidence of Earth's surface is one of the natural hazards with catastrophic consequences. Due to excessive extraction of underground water resources and the drop in piezometric levels in many of aquifers, ground subsidence is occurring at different speeds. InSAR techniques in areas where sufficient land is not available geodetic data, the way they move vertically as well as a wide range of displays. In this study of one coherent pair image of Sentinel 1 with an interval of 11 months was used to check the rate of subsidence in the plain of Semnan. After securing the high correlation between the two images, the original interferogram were prepared and the removal of unnecessary phases, phase shift is calculated and then became vertical component. The results show Semnan plain in most cases is more than 10 cm of subsidence. Generally, areas with high rates of subsidence near the city of Semnan in the East and South are up to 10 kilometers away from the city have been located. Because of this phenomenon centered in Semnan, it would be proper management of water resources in the region quickly reduce this phenomenon.

Keywords: Groundwater, Interferometry, Sentinel-1A, Subsidence, Semnan

¹ Assistant professor, Dept of Rangeland and Watershed Management, university of Kashan, Kashan, Iran, 09133640263, (dehghanir@kashanu.ac.ir) (*Corresponding Author)

²- Ph.D. Student of Combating Desertification, University of Semnan, Iran, (h_koohbanani@gmail.com)

³- Associate Professor, Faculty of Desert studies, University of Semnan, Iran, (m_yazdani@semnan.ac.ir)