دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ دی ماه ۱۳۹۵

The 2nd National Conference on Geospatial Information Technology (NCGIT)
K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering
18 January 2017

بررسی فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (DInSAR) و با به‌کارگیری تصاویر سجنده SENTINEL

علی روزبان[1*]، علی اسماعیلی[2]، مهدی معتق[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سنجش از دور، دانشگاه تصیلات تکمیلی صنعتی وفناوری پیشرفته،کرمان
۲- استادیار گروه مهندسی سنجش از دور، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان
۳- استادیار دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه تهران

چکیده :

در این مقاله با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (DInSAR) و داده‌های راداری سنجنده جدید سنتینل-۱ مربوط به دشت رفسنجان پدیده فرونشست در مدت یک سال مورد بررسی قرار گرفته شده است. برای تحلیل سری زمانی جابجایی سطح زمین از روش خط‌مبنای کوتاه (SBAS) برای پردازش ۱۵ تصویر و ۵۰ تداخل‌نگاشت ایجاد شده از تصاویر راداری سنجنده سنتینل در حالت تصویر برداری IW در محدوده زمانی اکتبر سال ۲۰۱۵ تا اکتبر سال ۲۰۱۶ استفاده شده است. برای پردازش تصاویر و روش خط‌مبنای کوتاه از نرم افزار GMTSAR در محیط لینوکس استفاده شده است. نتایج تحلیل سری زمانی نشان می‌دهد که منطقه به طور پیوسته در حال نشست است. نقشه سرعت میانگین تغییر شکل در راستای خط دید ماهواره که از تحلیل سری زمانی به‌دست آمده، آهنگ قابل توجه فرونشست را حداکثر ۲۸سانتی‌متر در سال نشان داده است. با توجه به مطالعاتی که در گذشته برروی دشت رفسنجان صورت گرفته عامل اصلی فرونشست برداشت بی‌رویه آب از سفره‌های آب زیرزمینی است.

واژه‌های کلیدی : تداخل‌سنجی تفاضلی راداری، سنتینل، SBAS، فرونشست، دشت رفسنجان

نویسنده مکاتبه کننده : علی روزبان
آدرس پستی :
تلفن : ۰۹۱۲۹۴۱۹۵۸۲
آدرس پست الکترونیک : ali.roozban91@gmail.com

۱- مقدمه

استخراج بی رویه آب زیرزمینی باعث افت سطح آب زیرزمینی و کاهش فشار سیال و در نتیجه افزایش فشار ذره‌ای می‌شود که منجر به ایجاد تراکم و پدیده فرونشست می شود. فرونشست و شکاف های زمین که به آهستگی و به تدریج گسترش می یابند شاید همان تاثیر خطرهای ناگهانی و فاجعه بار مانند سیل و زلزله را نداشته باشد. با این وجود به طور معمول خسارت های ناشی از فرونشست و شکاف‌های زمین، همچون تخریب سیستم های آبیاری و خاک های حاصل‌خیز کشاورزی، رشد چاه ها، آسیب به سازه ها و ایجاد اختلال در خطوط آبرسانی، گاز و فاضلاب، ترمیم ناپذیر و پرهزینه و مخرب هستند. در ایران نیز به دلیل توسعه نادرست و سریع کشاورزی همراه با رشد سریع جمعیت و افزایش نیاز آبی، باعث استخراج بی‌رویه و افت سطح آب زیرزمینی در دشت‌ها شده است، و این امر سبب گشته تا اکثر دشت‌های ایران در زمره‌ی دشت‌های بحرانی از لحاظ افت سطح آب زیرزمینی شناخته شوند. مطالب فوق بیانگر اهمیت بررسی تاثیر برداشت آبهای زیرزمینی است. و ما برآنیم تا فرونشست منطقه مورد نظر که بدلیل برداشت آب-های زیرزمینی است را با استفاده از تصاویر سنجنده جدید سنتینل بررسی کنیم.

تداخل‌سنجی راداری (InSAR[1]) یک تکنیک ارزشمند برای اندازه گیری تغییر شکل زمین است به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالا و توانایی بدست آوردن اطلاعات از راه دور. تداخل سنجی تفاضلی از اختلاف فاز میان دو تصویر که از یک منطقه در دو زمان متفاوت گرفته شده اند بمنظور برآورد تغییر شکل منطقه استفاده می‌کند، برای رفتار سنجی پدیده تغییر شکل نیازمند بررسی زمانی یک پدیده در یک منطقه مطالعاتی هستیم. بنابراین می بایست چندین تصویر در بازه های زمانی متفاوت از آن منطقه در دسترس بوده و چندین تداخل‌نگاشت بین بازه های زمانی متفاوت برای محاسبه نرخ تغییر شکل در محاسبات وارد گردد.

در سال۲۰۰۷ معتق و همکاران میزان فرونشست دشت مشهد ناشی از برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی واقع در استان خراسان ایران را به کمک InSAR مورد بررسی قرار دادند. به منظور اعتبارسنجی نتایج حاصل از InSAR را با داده‌های ترازیابی و هم‌چنین داده‌های GPS موجود در منطقه مقایسه کرده و نشان دادند که نتایج هر سه روش کاملا با هم مطابقت دارد[۱]. در سال ۲۰۰۸ معتق و همکاران فرونشست را در چندین دشت ایران از جمله دشت رفسنجان و ورامین مورد مطالعه قرار دادند و با مقایسه داده‌های تراز آب زیرزمینی با روند فرونشست منطقه نشان دادند که دلیل اصلی فرونشست خالی شدن بسترهای آب زیرزمینی بوده است[۲]. ووگ و همکاران در سال ۲۰۱۲ با استفاده از روش SBAS جابجایی یک سد خاکی در جنوب غربی نروژ را پایش کردند. آنها از تصاویرERS در دو مسیر پایین گذر[2] و بالا گذر[3] استفاده کردند[۳].در سال ۲۰۰۹ میلادی پریسین و همکاران به مطالعه و کنترل جابجایی و نرخ فرونشست در مناطق شهری و سازه‌های بزرگ ساخت بشر پرداخته‌اند. مناطق مورد مطالعه آنها شانگهای، تیانچین و تری‌گرجس بوده و از روشPSI استفاده کرده اند[۴].

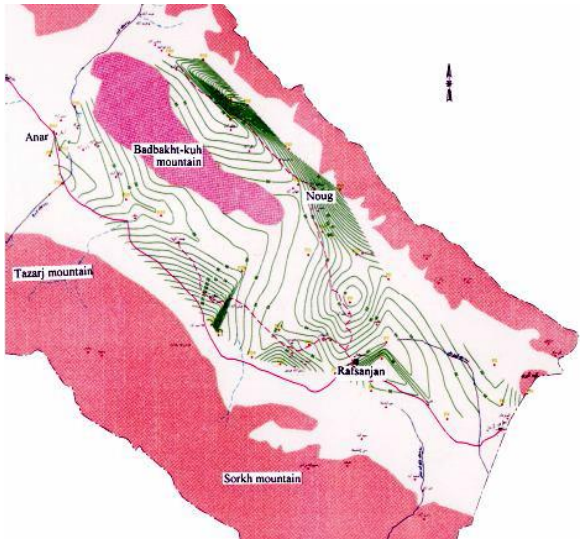
در حال حاضر GPS کاربرد زیادی در نمایش جابجایی پوسته زمین در مقیاس بزرگ دارد. به کمک آن می‌توان جابجایی نسبی صفحات زمین و تغییر شکلهای بزرگ در صفحات زمین را محاسبه نمود. بنابراین اگر در یک منطقه شبکه‌ای از نقاط کنترل در مقیاس بزرگ با دقت بالا موجود باشد می توان جابجایی پوسته زمین را در اثر نشست، زلزله، رانش و ... نمایش داد. اما باید توجه داشت که به دلیل محدودیت در ایستگاه های گیرنده زمینی این روش فقط در مورد مناطقی که به تعداد کافی دارای این ایستگاهها باشند، کاربرد دارد.

[1] Interferometric Synthetic Aperture Radar
[2] Descending
[3] Ascending

تکنیک تداخل سنجی راداری (InSAR) مزایای زیادی در اندازه گیری و نمایش جابجایی پوسته زمین دارد. از جمله حساسیت بالا به تغییرات دینامیکی، قدرت تفکیک مکانی بالا و پوشش وسیع از مزایای این روش است. با استفاده از چند تصویر SAR از تغییرات دینامیک یک منطقه ما می توانیم تداخل نگاشت تغییرات را با دقتی در حدود میلیمتر بدست آوریم. علاوه براینکه به کمک این روش می توان جابجاییهای قائم و افقی بعد از نشست زمین را محاسبه نمود، امکان نمایش تغییر شکلهای آهسته در طول نشست نیز تحت شرایط خاص وجود دارد.

۲- منطقه مورد مطالعه

شهر رفسنجان دارای آب و هوای نیمه کویری است. تابستان‌های نسبتاً گرم و زمستان‌های سردی دارد. البته در اطراف این شهر مناطق کوهستانی زیادی نیز وجود دارد. میانگین بارش سالانه شهر رفسنجان ۱۰۰ میلی‌متر است. ارتفاع شهر رفسنجان از سطح دریا تقریباً زیاد و حدود ۱۴۶۹ متر از سطح دریاست. البته مناطقی با ارتفاع حدود ۲۳۰۰ متر و بیشتر نیز در اطراف شهر رفسنجان قرار گرفته‌اند. بارندگی‌های رفسنجان عموماً از سیستم‌های بارشی که از سمت جنوب غرب و غرب کشور در فصول پاییز و زمستان به کشور نفوذ می‌کنند، می‌باشد و در فصول بهار و تابستان تحت تأثیر سیستم هوای جنوب شرقی که مونسون نام دارد، قرار می‌گیرد. در زمستان بارش‌ها به صورت باران و برف و در تابستان نیز باران می‌بارد. البته در فصل سرد سال جبهه هوای سرد سیبری که از شمال شرق نفوذ می‌کند هم رفسنجان را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد که هیچ بارندگی از خود ندارد. کمترین دمای ثبت شده از رفسنجان ۱۷- درجه سانتیگراد بوده و بیشترین دمای ثبت شده۴۳+ درجه سانتیگراد می‌باشد. ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین بیشترین بارش را در رفسنجان از آن خود کرده‌اند. محدوده مورد مطالعه بین طول‌های جغرافیایی ۵۵.۴۶ درجه تا ۵۶.۶۵درجه و عرض جغرافیایی ۳۰.۱۴ تا ۳۱.۴۶ درجه واقع شده است.در شکل(۱) دشت رفسنجان نمایش داده شده است.



شکل ۱: نقشه دشت رفسنجان

۲-۱- زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک

به طور کلی روند عمومی عناصر ساختاری از روند کمربند آتشفشانی ارومیه – دختر یعنی شمال غرب – جنوب شرق تبعیت می کند. چین خوردگی های منطقه به صورت مجموعه ای از طاقدیس ها و ناودیس ها با همین روند در ساختار منطقه تأثیر گذاشته اند که در بسیاری موارد با گسله های راندگی ناحیه در ارتباط نزدیک می باشند. گسله های ناحیه‌ای اهمیت زیادی در جایگیری توده های نفوذی و تمرکز کانسارها داشته اند. گسله های راندگی نقش مهمی در ساختار منطقه داشته اند. غالب گسله های اصلی منطقه دارای ساز و کار راندگی و اریب لغز هستند که نقش مهمی در

جای گیری کانسارها داشته اند .گسل های نرمال دارای فراوانی کمتری نسبت به گسل هـای دیگـر هسـتند و راسـتای عمومی آنها شمال شرق و هم جهت با دایک های منطقه است.

۲-۲-کانی زایی و منابع معدنی منطقه

رخداد فلززایی در راستای کمربند آتشفشانی ارومیه – دختر به صورت ذخائر متعـدد و اقتصـادی بسـیار فراگیـر اسـت. وجود معادن فعال و متروکه متعدد مس به همراه اندیس های مختلف مس که شناخته اند، اهمیت منطقـه را مشـخص می سازد. منطقه رفسنجان بخشی از کمربند مس سراسری ایران مرکزی است که این کمربند از قفقاز تا مرکز پاکستان در خاک ایران کشیده شده و به دلیل داشتن کانیزایی مس و به طور فرعی سرب و روی با ویژگـی هـای متـالوژنیکی و ژئوتکنیکی مشابه با کانسارهای مس پورفیری کوه های غـرب آمریکـای مرکـزی بـه عنـوان یـک نـوار مـس پـورفیری شناخته شده است

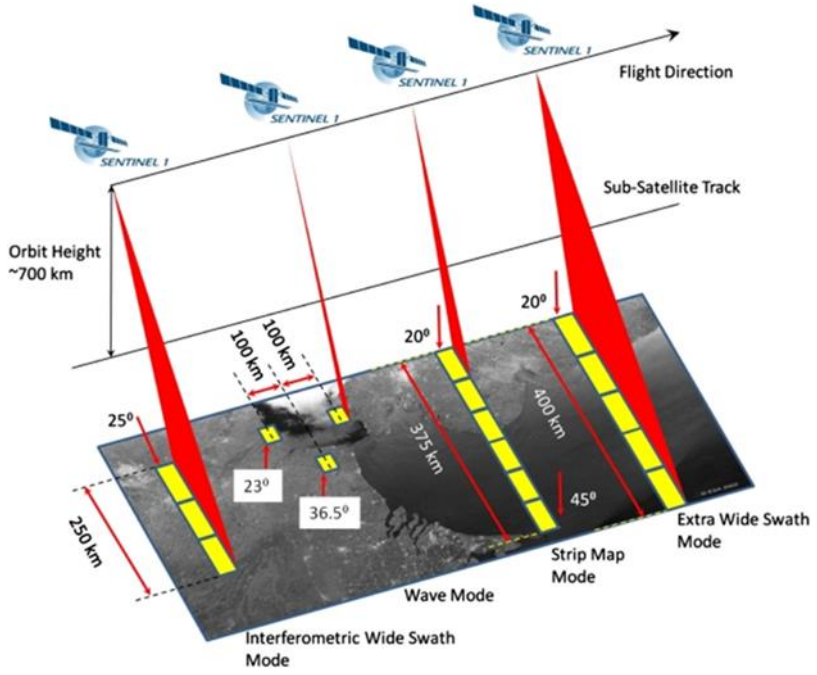
۳- داده و نرم‌افزارهای مورد استفاده

در این پروژه از تصاویر سنجنده جدید سنتینل[1] استفاده شده است. ماموریت سنتینل شـامل مجموعـه ای از مـدارهای دوقطبی ماهواره‌ها است. تصویر برداری SAR در باند C در روز و شب آنرا را قادر به تصویر برداری بدون در نظر گـرفتن شرایط آب‌و هوایی می کند. سنتینل در یک حالت از پیش برنامه ریـزی شـده بـرای جلـوگیری از تضـاد و تولیـد یـک آرشیو بلند مدت پایدار برای کاربردهای سری زمانی طولانی، کار خواهد کرد.

سنتینل۱ اولین ماموریت از پنج ماموریتی است که ESA[2] در حال توسـعه دادن آن بـرای نـوآوری Copernicus اسـت. ماموریت سنتینل۱ شامل تصویر برداری در باند C در چهار حالت تصویر بـرداری منحصـر بـه فـرد بـا رزولوشـن هـای مختلف (کمتر از ۵ متر) و پوشش تا ۴۰۰ کیلومتر است. سنتینل۱ توانایی تصویر برداری قطبش دوگانـه، زمـان تصـویر برداری دوباره کوتاه و تحویل سریع محصول را دارد. محصولات سنتینل در چهار حالت منحصر به فـرد بـرای برداشـت اطلاعات کار می کند که در شکل زیر نمایش داده شده است.

- Strip map (SM)
- Interferometric Wide swath (IW)
- Extra Wide swath (EW)
- Wave(WV)

[1] SENTINEL
[2] European Space Agency



شکل ۲ :هندسه پرواز و محصولات مختلف سنتینل-۱

که در این پروژه از پانزده تصویر سنتینل در حالت IW استفاده شده است. روش IW حالت اصلی اکتساب بر روی زمین است و اکثر خدمات مورد نیاز را برآورد می کند. داده ها را در نوار ۲۵۰کیلومتر و با رزولوشن ۵*۲۰متر بدست می‌آورد. روش IW سه زیر نوار را با استفاده از مشاهده عوارض زمین با روش ScanSAR متوالی (TOPSAR) ایجاد می‌کند. با تکنیک TOPSAR، علاوه بر هدایت پرتو در جهت برد[1] در روش ScanSAR، پرتو معمولا از عقب به جلو در جهت سمت[2] نیز در هر شلیک به صورت الکترونیکی هدایت می شود. از حلزونی شدن (scalloping) اجتناب می‌کند و در نتیجه کیفیت تصویر در سراسر نوار همگن خواهد شد. پوشش و رزولوشن یکسان با ScanSAR به‌دست می‌آورد، اما با یک نسبت سیگنال به نویز(SNR) و نسبت توزیع ابهام هدف(DTAR) تقریبا یکنواخت.

رزولوشن سمت در مقایسه با StripMAP بدلیل کاهش زمان روشنایی تارگت کاهش یافته است. با استفاده از الگوی آزیموت گسترده، مستقل از موقعیت آزیموت در تصویر، هر هدف تحت الگوی یکسان آنتن دیده می شود. از طریق کاهش الگوی سمت آنتن، به عنوان یک هدف دیده شده برروی زمین، اثرات اسکالپ بر روی تصویر می تواند کاهش یابد. Burstها برای حصول اطمینان از هم ترازی جفت های اینترفرامتری از یک عبور به عبور دیگر هماهنگ می شوند. محصولات IW SLC حاوی یک تصویر در هر زیر نوار و در هر زیر کانال پلاریزاسیون هستند، در مجموع سه تصویر برای تک قطبش و شش تصویر برای دو قطبش هستند. هر تصویر زیرنوار شامل یکسری از burst هاست.

تعداد تصاویر مورد استفاده پانزده تصویر است که مشخصات تصاویر در جدول (۱) آورده شده است. و برای پردازش تصاویر سنتینل از نرم‌افزار GMTSAR استفاده شده است.

[1] Range
[2] Azimuth

جدول ۱: مشخصات تصاویر مورد استفاده

شماره تصویر	تاریخ تصویر	فرمت تصویر	حالت تصویربرداری	گذر تصویربرداری
۱	۲۰۱۵/۱۰/۰۴	SLC	IW	بالاگذر
۲	۲۰۱۵/۱۰/۲۸	SLC	IW	بالاگذر
۳	۲۰۱۵/۱۱/۲۱	SLC	IW	بالاگذر
۴	۲۰۱۵/۱۲/۱۵	SLC	IW	بالاگذر
۵	۲۰۱۶/۰۱/۰۸	SLC	IW	بالاگذر
۶	۲۰۱۶/۰۲/۰۱	SLC	IW	بالاگذر
۷	۲۰۱۶/۰۲/۲۵	SLC	IW	بالاگذر
۸	۲۰۱۶/۰۳/۲۰	SLC	IW	بالاگذر
۹	۲۰۱۶/۰۴/۱۳	SLC	IW	بالاگذر
۱۰	۲۰۱۶/۰۵/۳۱	SLC	IW	بالاگذر
۱۱	۲۰۱۶/۰۷/۱۸	SLC	IW	بالاگذر
۱۲	۲۰۱۶/۰۸/۱۱	SLC	IW	بالاگذر
۱۳	۲۰۱۶/۰۹/۰۴	SLC	IW	بالاگذر
۱۴	۲۰۱۶/۰۹/۲۸	SLC	IW	بالاگذر
۱۵	۲۰۱۶/۱۰/۲۲	SLC	IW	بالاگذر

۴- متد و روش‌ها

پس از انتخاب داده ابتدا باید خط مبناها را برای هر تداخل نگاشت محاسبه کنیم در واقع خط مبنامکانی، فاصله بین موقعیت دو سنسور در مدار است. خط مبنا عمودی باید چک شود چون تاثیر خط مبنا عمودی بر روی فاز حاصل از توپوگرافی (φtopo) مستقیم است و طبق معادله زیر با افزایش خطمبنا عمودی مقدار فاز توپوگرافی نیز افزایش خواهد یافت. بنابراین خط مبنا مکانی یکی از فاکتورهای مهم در انتخاب جفت تصویر مناسب است. همچنین باید به خط مبنا زمانی نیز توجه کرد چون اگر فاصله زمانی دو تصویر زیاد باشد ناهمبستگی زمانی اتفاق می افتد.

رابطه (۱)
$$\phi_{topo} = \frac{4\pi}{\lambda}\frac{B\cos(\theta-\alpha)}{R\sin(\theta)}H_p$$

مرحله بعدی ثبت هندسی تصویر[1] است در این مرحله خطای هندسی که مربوط به اختلاف موقعیت آنتن سنجنده در هنگام تصویر برداری از یک منطقه است، حذف می گردد. در این مرحله تصویر Slave روی تصویر Master نمونه‌برداری می شود. و عوامل تاثیر گذار بر روی آن خطمبنا عمودی(که باعث کشیدگی در راستای رنج بدلیل زمین مسطح و توپوگرافی است)، بیس لاین افقی(شیفت نسبی تصویر) و اختلاف مداری(دوران تصویر) هستند.

حال با توجه به اینکه تصویر Slave و Master، ثبت هندسی شده‌اند می توان تداخل‌نگاشت[2] را تولید کرد، تداخل نگاشت همان تصویر حاصل از اختلاف فاز دو تصویر رادار است که بیانگر تغییرات می باشد. باید توجه داشت که تداخل نگاشت تولید شده تنها خطای ژئومتری از روی آن حذف شده است و باید در مراحل بعدی خطای توپوگرافی از روی آن حذف شود و فیلتر های مناسب بر روی آن اعمال شود.

[1] Coregistration
[2] Interferogram

از روی تصویر ثبت هندسی شده ضریب همبستگی مرکب دو تصویر را محاسبه می کنیم در واقع هم‌دوسی بیانگر میزان همبستگی فاز بین دو تصویر می باشد. مقدار آن بین ۰و۱ تغییر می کند و فاصله بین ۰.۷-۱ بهترین مقدار برای آن است، همچنین به عنوان پارامتر برای تشخیص عوارض نیز می تواند به کار رود.

با توجه به رابطه اساسی اینترفرامتری:

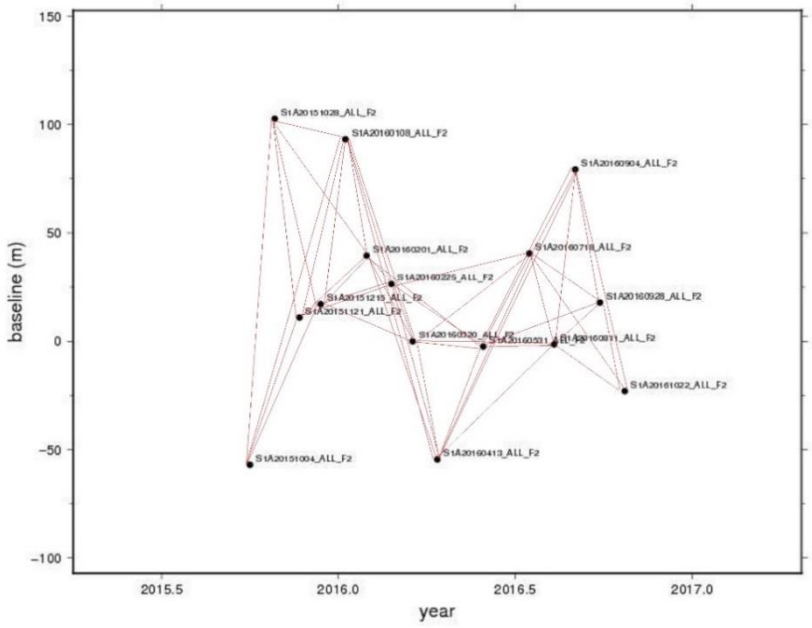
$$\Delta\varphi = 4\pi/\lambda(B.\sin(\theta-\alpha) - Dp - (B.\cos(\theta-\alpha))/(\rho.\sin\theta)Hp) \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن جمله اول داخل پرانتز بیانگر اثر ژئومتری جمله دوم بیانگر اثر تغییر شکل و جمله سوم بیانگر اثر توپوگرافی بر روی فاز اینترفرامتری است. اثر ژئومتری در مرحله ثبت هندسی حذف شد و تداخل نگاشت حاصل از آن به اصطلاح مسطح (flattened Interferogram) شده است ولی هنوز اثر توپوگرافی از روی اختلاف فاز حذف نشده است برای این کار ما از مدل رقومی SRTM 90 متری استفاده کرده ایم .

بعد از حذف خطای توپوگرافی ممکن است هنوز اختلاف فاز در اطراف منطقه فرونشست وجود داشته باشد که به دلیل DEM انتخاب شده، بیس لاین عمودی، اختلالات جوی و الگوی فرونشست های دیگر است. همچنین برای بهبود کیفیت تصویر و کاهش نویز از فیلتر گوسین استفاده می کنیم.

۵- نتایج و تحلیل‌ها

برای بررسی سری زمانی تصویرها از روش SBAS[1] استفاده کرده‌ایم. برای این کار از پانزده تصویر موجود پنجاه تداخل نگاشت تشکیل داده‌ایم که در شکل(۳) نحوه انتخاب تصاویر برای تشکیل تداخل‌نگاشت‌ها مشخص شده است. برای پردازش به روش SBAS از پیکسل‌ها با همدوسی بیشتر از ۰.۲ استفاده شده است.

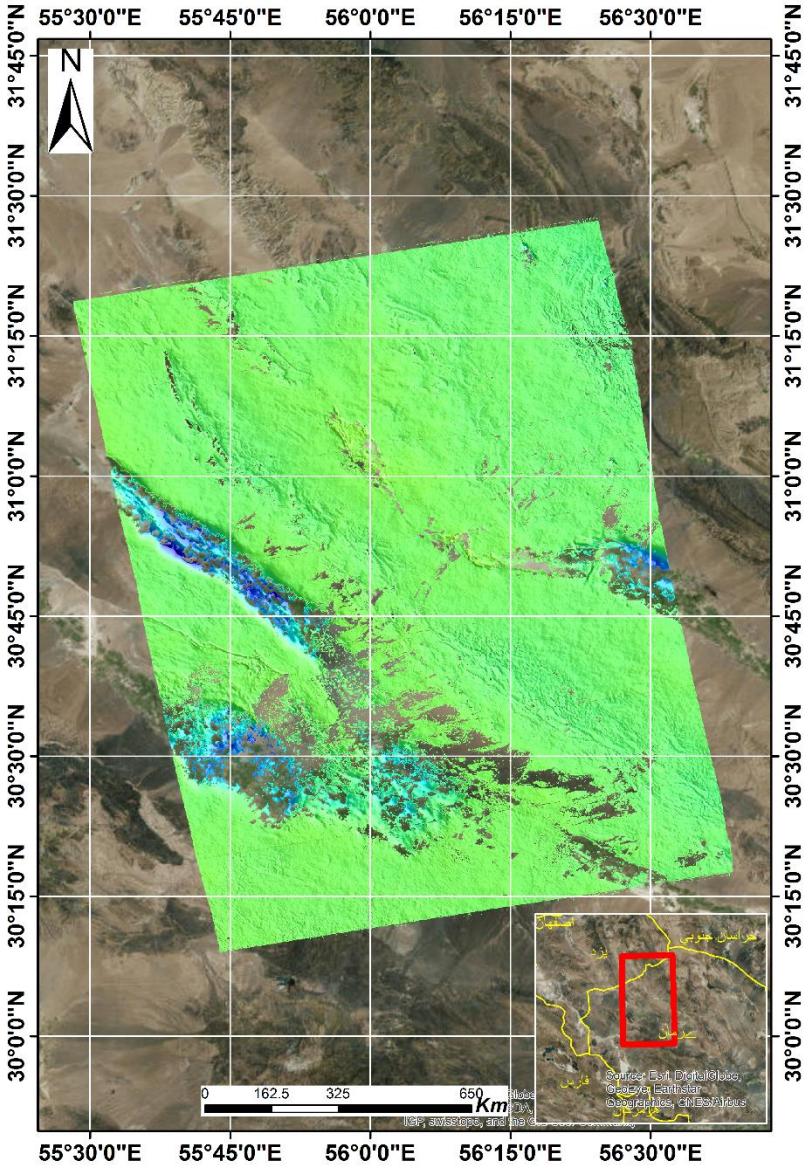


شکل ۳: نمایش خط‌مبنای مکانی و زمانی تداخل‌نگاشت‌ها

[1] Small BAseline Subset

درواقع این روش بر پایه انتخاب تداخل‌نگاشت‌های مناسب بین تصاویر دریافتی رادار جهت اجرای تداخل‌سنجی راداری و تعیین میزان جابجایی سطح زمین می‌باشد. معیار مورد استفاده در این روش انتخاب جفت تصاویری است که طول خط مبنای مکانی آنها کوچک باشد. به عبارت دیگر تنها تداخل‌نگاشت‌هایی تشکیل می‌شوند که جفت تصویر آنها مربوط به مسیرهای نزدیک به هم هستند و اختلاف مکانی بین مدارهایشان کوچک است[۵].در این روش سری زمانی از روش کمترین مربعات برای تحلیل سری زمانی استفاده شده است.

نتایج حاصل از روش SBAS بیانگر حداکثر ۲۸سانتی‌متر فرونشست در محدوده زمانی مورد نظر در راستای LOS[1] برای دشت رفسنجان است که در شکل(۴) نشان داده شده است. برای بدست آوردن جابجایی در راستای قائم، شرقی-غربی و شمال-جنوب نیاز به پردازش تصاویر در حالت گذر دیگر و یا تصاویر دیگری در همین محدوده زمانی است.



شکل ۴: نمایش نرخ فرونشست سالانه

[1] Line Of Sight

در شکل (۴) مناطق به رنگ آبی بیانگر فرونشست و مناطق سبز رنگ مناطق بدون جابجایی هستند. در منطقه انار دشت رفسنجان بیش‌ترین نرخ فرونشست برابر ۲۸سانتی‌متر مشاهده می‌شود. در محدوده دشت رفسنجان فرونشست بیش از ۲۰سانتی‌متر درسال مشاهده می‌شود.

۶- پیشنهاد

با توجه به نتایج بدست آمده و ویژگی‌های تصاویر راداری سنتینل، تداخل نگاشت‌ها از هم دوسی بهتری نسبت به سنجنده‌های راداری قبلی برخوردار هستند و همچنین امکان بدست‌آوردن تصاویر با فاصله زمانی ۱۲ روزه وجود دارد. بنابراین استفاده از تصاویر راداری سنتینل برای بررسی جابجایی‌های سطح زمین توصیه می‌شود.

همچنین با توجه به نتیجه نرخ فرونشست سالیانه و مطالعات قبلی بر روی دشت رفسنجان دلیل اصلی فرونشست برداشت‌های بی‌رویه آب زیرزمینی است و نرخ فرونشست در سال‌های اخیر در حال افزایش است. بنابراین هرچه زودتر باید برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی متوقف شود.

مراجع

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

[2] M. Motagh, T. R. Walter, M. A. Sharifi, E. Fielding, A. Schenk, J. Anderssohn, et al., "Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation," Geophysical Research Letters, vol. 35, 2008.

[3] M. Voege, R. Frauenfelder, and Y. Larsen, "Displacement monitoring at Svartevatn dam with interferometric SAR," in 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2012, pp. 3895-3898.

[4] D. Perissin, C. Prati, F. Rocca, and T. Wang, "PSInSAR analysis over the Three Gorges Dam and urban areas in China," in 2009 Joint Urban Remote Sensing Event, 2009, pp. 1-5.

[5] P. Berardino, G. Fornaro, R. Lanari, and E. Sansosti, "A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 40, pp. 2375-2383, 2002.