آشکارسازی و تعیین میزان فرونشست با استفاده از روش تداخل‌سنج راداری (D-InSAR) در محدودهٔ دشت هریس

میراسدالله حجازی*: *دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز*
محمدحسین رضایی‌مقدم: *استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز*
خلیل ولیزاده کامران: *دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز*
ندا موسوی کجاباد: *دانشجوی دکتری تخصصی ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز*

نوع مقاله: پژوهشی
مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۲۷)
20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0

چکیده

فرونشست، پدیده‌ای مورفولوژیکی است که تحت‌تأثیر عوامل محیطی و انسانی صورت می‌گیرد و به افت سطح آب‌های زیرزمینی و در نتیجه فرونشست منجر می‌شود. در این تحقیق به‌منظور تعیین محدودهٔ تحت‌تأثیر و برآورد میزان فرونشست، از روش تداخل‌سنج و تصاویر ماهوارهٔ Envisat و Sentinel1 استفاده شد. دشت هریس از جمله مناطقی است که با پدیدهٔ فرونشست زمین روبرو شده‌است و تعیین مکان و میزان فرونشست آن، می‌تواند به مسئولان مربوطه در جلوگیری از تشدید این پدیده در آینده کمک کند. به نظر می‌رسد افت سطح ایستابی و به دنبال آن افزایش تنش مؤثر، دلیل اصلی فرونشست این محدوده (دشت هریس) است که این تحقیق نیز در پی اثبات این فرضیه می‌باشد. با توجه به اینکه تصاویر ENVISAT از سال ۲۰۱۲ وجود ندارد، ادامهٔ محاسبه‌ی فرونشست در سال‌های آتی از طریق تصاویر Sentinel۱ انجام می‌شود. برای بررسی میزان فرونشست در منطقه، پردازش‌های اولیه در نرم‌افزارهای (GIS) سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام و از دو فیلتر Goldstein و Adaptive برای بررسی نتایج به دست‌آمده استفاده شد. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که در فیلتر Goldstein، مقادیر فرونشست در محدودهٔ مورد نظر تا سال ۲۰۱۹، در حدود ۹ سانتی‌متر و میزان آپلیفت (بالا آمدگی) ۸/۵ سانتی‌متر و در فیلتر adaptive، مقادیر فرونشست ۹/۵ سانتی‌متر و میزان آپلیفت ۸ سانتی‌متر بوده‌است. میزان فرونشست با عوامل لیتولوژی و زمین-شناسی انطباق داده و مشخص شد که میزان فرونشست در رسوبات سست و منفصل بیش از سایر سازندها بود. در مقایسهٔ فرونشست با کاربری اراضی نیز مشخص شد که بیشترین فرونشست در مراتع اتفاق افتاده‌است. همچنین برای اعتبارسنجی تحقیق نیز ارتباط بین فرونشست و عمق چاه‌های منطقه مطالعه شد که همبستگی مثبت ۸۷ درصد به دست آمد و نشان داد در مناطقی که فرونشست اتفاق افتاده، عمق چاه‌ها هم عمیق‌تر است.

واژگان کلیدی: فیلتر، افت سطح ایستابی، دشت هریس، تصاویر راداری، فرونشست.

* نویسنده مسئول: S.hejazi@tabrizu.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

۱ـ مقدمه

فرونشست زمین مسئله‌ای جهانی و پدیده‌ای مورفولوژیکی است. این پدیده متأثر از فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی است که ممکن است به خطر و تهدیدی برای انسان و دستاوردهای انسانی تبدیل شود. این موضوع نتایج محققان دیگر بوده که در ادامه با ذکر منبع بدان پرداخته می‌شود.

برداشت نامناسب آب زیرزمینی، عوامل زمین‌شناسی و آب زیرزمینی نیز در ایجاد پدیدهٔ فرونشست بسیار مؤثرند. تخلخل مصالح تشکیل‌دهندهٔ لایه‌های خاک، تراکم، نوع، جنس و ترکیب لایه‌ها، نحوهٔ پمپاژ، ساختار زمین‌شناسی منطقه، هدایت هیدرولوژیکی لایه‌های آبدار، بارندگی و دما، همگی از عوامل مؤثر در فرونشست زمین به شمار می‌رود. استخراج بی‌رویهٔ آب زیرزمینی به افت سطح این آب و کاهش فشار سیال و در نتیجه، افزایش فشار میان ذره‌ای منجر می‌شود که ایجاد تراکم و پدیدهٔ فرونشست زمین را در پی دارد (Haghighat joo et al, 2012). افت سطح آب زیرزمینی و ناهمگنی بافت، ستبرا و ویژگی آبرفت‌های منطقه نیز به فرونشست سطح زمین منجر می‌شود و شکاف‌هایی در پوستهٔ زمین به وجود می‌آورد. پیامدهای محیطی پدیدهٔ فرونشست، اساساً شامل آسیب‌رساندن به سازه‌های دست‌ساز بشر مانند ساختمان‌ها، خیابان‌ها، پل‌ها، خطوط انتقال نیرو و ایجاد شکاف‌هایی بر روی سطح زمین است. در دو دههٔ گذشته، استفاده از داده‌های سنجش از دور برای درک پدیده‌های اساسی مخاطرات طبیعی افزایش یافته‌است؛ به گونه‌ای که سیستم‌های سنجش از دور ماهواره‌ای با پایش تغییرات صورت گرفته در مناطق مختلف سطح زمین، اطلاعات فضایی مداوم را در زمینهٔ این تغییرات (زلزله، حرکت گسل‌ها، رانش زمین و ...) در اختیار دانشمندان علوم زمین قرار می‌دهد؛ به طوری که تکنیک تداخل‌سنجی راداری به‌منزلهٔ تکنیک بهتر و کاربردی سنجش از دور، در سال‌های اخیر به سرعت توسعه یافته‌است. سیستم‌های دهانهٔ ترکیبی راداری فضایی، سطح زمین را برای سال‌ها مشاهده کرده‌اند و داده‌های مشاهدات زمینی چند زمانه به دست آورده‌اند. بسیاری از مطالعات سنجش از دور انجام شده، برای توسعهٔ فناوری‌هایی بوده‌است که به خوبی از اطلاعات به دست آمدهٔ سیستم‌های دهانه ترکیبی راداری استفاده کنند. این اطلاعات شامل استخراج و طبقه‌بندی شکستگی‌ها و گسل‌ها و شناسایی تغییرات سطح زمین و ... با استفاده از تصاویر راداری است؛ به طوری که تمام این اطلاعات، از طریق شناسایی تغییرات تصویر بر اساس تجزیه و تحلیل نسبی چندین تصویر به دست آمده در زمان‌های متفاوت است.

در ایران فرونشست زمین، پیشینه‌ای سی و چند ساله دارد و اینک استان‌های اصفهان، خراسان، تهران، آذربایجان شرقی و غربی و غیره نیز دچار فرونشست است. این مشکل به طور روزافزون در استان‌های بیشتری خودنمایی می‌کند (Maleki et al, 2014). در همهٔ فرونشست‌هایی که در ایران رخ می‌دهد، استخراج بی‌رویهٔ آب‌های زیرزمینی تنها عامل یا مهم‌ترین عامل ایجاد فرونشست است. برای اندازه‌گیری فرونشست زمین روش‌های مختلف ژئودتیک و غیرژئودتیک مانند استفاده ازتوتال استیشن، لیزر اسکنر و غیره وجود دارد[1]. با توجه به اینکه مشاهدات و پردازش شبکهٔ ژئودینامیک توسط گیرنده‌ها به صورت ۲۴ ساعته در شهرهای محدود، به ردیابی و ثبت سیگنال‌های دریافتی از ماهواره می‌پردازد، اطلاعات جمع‌آوری شده در هر ایستگاه به صورت مشاهداتی و ناوبری در مراکز پردازش می‌شود. در این مراکز پس از کنترل کیفیت و تبدیل فرمت، این اطلاعات به نرم‌افزار پردازش وارد می‌شود. ایستگاه‌های GPS، اندازه‌گیری‌های

[1] Global Positioning System GPS

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

دقیق و پیوست‌هایی را در نقاط محدودی از نواحی فرونشست نشان می‌دهند. روش تداخل‌سنجی راداری (InSAR)[1] نیز در سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از روش‌های غیرژئودتیک ــ با توجه به مزایایی که نسبت به دیگر روش‌ها دارد ــ بسیار قابل توجه بوده‌است. این روش در میان روش‌های زمینی و فضایی به‌عنوان کارآمدترین روش، برای اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین با دقت و قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا به شمار می‌رود. از جمله مزایای این روش می‌توان به دقت بسیار بالا، پوشش وسیع، قدرت تفکیک مکانی بالا و بی‌نیازی به کار میدانی در سطح وسیع، مقرون به صرفه بودن و امکان دستیابی به اطلاعات در هر شرایط آب و هوایی اشاره کرد.

مسأله اصلی در این رساله، اندازه‌گیری میزان جابه‌جایی ناشی از فرونشست در محدودهٔ دشت هریس است. باتوجه به توان بالای منطقهٔ آذربایجان در وقوع هر دو نوع مخاطرهٔ طبیعی (فرونشست و زمین‌لغزش) و وارد ساختن خسارت به ویژه به شاهرگ‌های حیاتی، می‌توان هدف اصلی پژوهش حاضر را استخراج میزان فرونشست منطقهٔ مورد مطالعه در بازهٔ زمانی (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲) توسط سنجندهٔ Envisat و (۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹) توسط سنجندهٔSentinel1 و از داده‌های اپتیکی Sentinel۲ برای استخراج نقشهٔ کاربری زمین دانست که می‌تواند در امر اندازه‌گیری جابه‌جایی ناشی از پدیدهٔ فرونشت کمک شایانی داشته باشد.

در ایران نیز در چند سال اخیر از این روش در پایش تغییر شکل‌های سطح زمین استفاده شده‌است. یکی از دلایل آن را می‌توان محدود بودن تعداد ایستگاه‌های GPS دائم مربوط به شبکه ژئودینامیک ایران (Iranian Permanent Network for Geodynamic [2](IPGN [3]دانست. بررسی توانایی و دقت این روش در اندازه‌گیری جابه‌جایی‌های سطح زمین ضروری به نظر می‌رسد.

محدودیت قدرت تفکیک مکانی و زمانی برای تصاویر چند طیفی و محدودیت داده‌های SAR برای کاربردهای شهری و طبقه‌بندی و تلفیق این تصاویر، به بهبود ضعف‌های آنها منجر می‌شود (Alizadeh, Mohamad 2019).

در این فناوری با استفاده از تلفیق داده‌های به دست آمده از سامانه‌های تصویربرداری رادار نصب شده بر سکوهای ماهواره‌ای یا هواپیمایی، حرکت، ارتفاع و تغییرات سطح زمین نقشه‌برداری می‌شود Nedaei و همکاران (2016). .Keshavarz و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی فرونشست منطقه صنعتی فاریاب با استفاده از تصاویر Sentinel۱، برای سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که میانگین میزان فرونشست زمین در سال ۲۰۱۵ هفت سانتی‌متر، در ۲۰۱۶ نُه سانتی‌متر و ۲۰۱۷ هفت سانتی‌متر بوده‌است. Bayati و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی مقایسه‌ای روش‌های سنجش چگونگی مورفوتکتونیسم، با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای در مناطق زاینده‌رود و آبدوغی به بررسی وضعیت تکتونیکی و مورفوتکتونیکی پرداختند و مقایسه‌ای میان شاخص‌های مورفیک و نتایج داده‌های راداری این مناطق انجام دادند. نتایج نشان داد در هر دو منطقه، مقادیر جابه‌جایی با نتایج حاصل از شاخص‌های مورفیک (چند شکلی) همبستگی و هماهنگی بسیار بالایی را نمایش می‌دهد. Emam bakhsh و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهشی فرونشست زمین در دشت ارزوئیه کرمان را با استفاده از روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (DINSAR) و

[2]Permanent Network for Geodynamic
3 Iranian Permanent Network for Geodynamic
4interferometric synthetic Aperture Radar
5Differential interferometry Synthetic Aperture Radar

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

با به‌کارگیری تصاویرسنجنده‌های Asar و Sentinel 1 بررسی کردند. نتایج تحلیل سری‌های زمانی به‌دست‌آمده نشان داد که این منطقه به‌طور پیوسته در حال فرونشست است؛ میزان فرونشست در سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹ برابر با پانزده سانتی-متر بود که بیشترین آن در قسمت شمال غربی و مرکزی دشت مشاهده شد، سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ به میزان ۱۱/۹ سانتی‌متر که باز هم بیشترین مقدار فرونشست در قسمت شمال غربی و مرکزی دشت و برای سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵ برابر با ۱۲/۸ سانتی‌متر و بیشترین مقدار آن در قسمت جنوب شرقی دشت ارزوئیه بود.

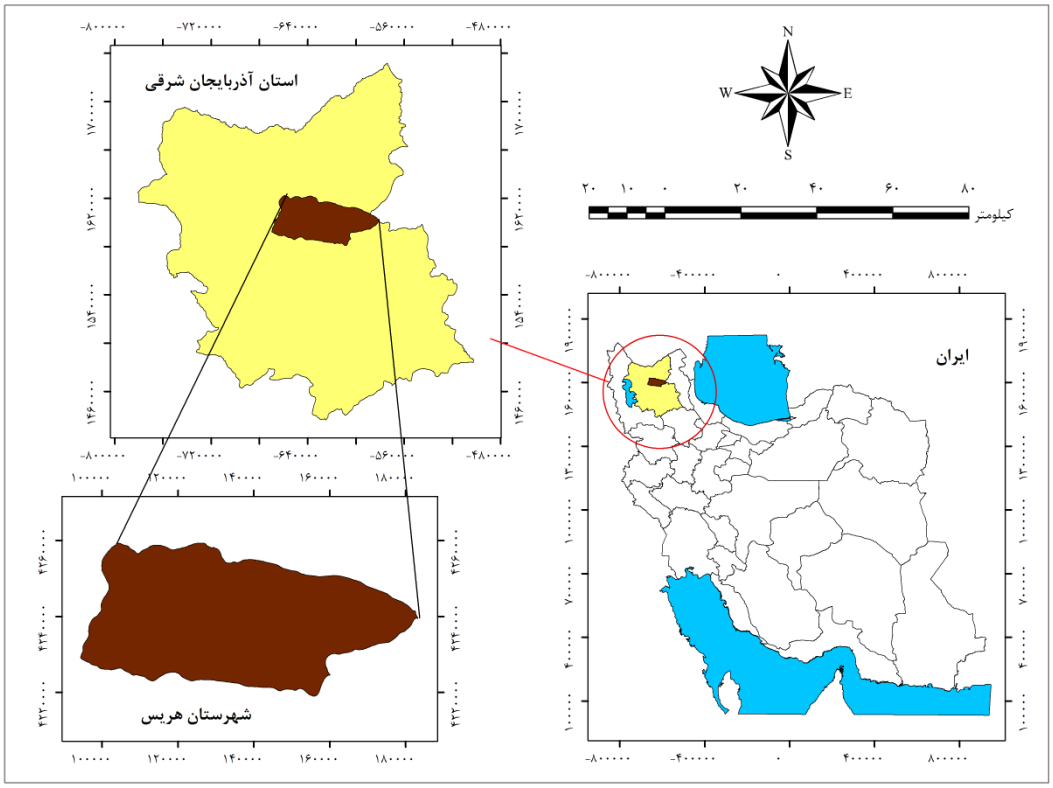
در این پژوهش سعی شده‌است با روش‌های جدید برآورد میزان فرونشست، میزان آن در دشت هریس برآورد و با عوامل زمین‌شناسی و کاربری به عنوان نمونه‌ای از عوامل محیطی و انسانی مقایسه شد.

الف-موقعیت دشت هریس

شهرستان هریس حدود ۲۳۷۷/۶ کیلومترمربع مساحت دارد و در استان آذربایجان شرقی واقع شده‌است. از جنوب به شهرستان بستان‌آباد، از مشرق به شهرستان‌های سراب و مشکین‌شهر، از غرب به شهرستان تبریز و از شمال به شهرستان اهر محدود است (شکل ۱). وسعت این شهرستان حدود ۳/۲ درصد کل وسعت استان آذربایجان شرقی است و در موقعیت ۳۸ درجه و ۲۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی واقع شده‌است. حدود هفتاد درصد از وسعت این شهرستان را اراضی جلگه‌ای و سی درصد آن را مناطق کوهستانی تشکیل می‌دهد. پست‌ترین نقاط آن ۱۵۰۰ متر و مرتفع‌ترین آن ۳۱۴۳ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. مهم‌ترین کوه‌ها و ارتفاعات منطقه بدین شرح است: رشته کوه‌های بزغوش، سابلاغ داغ، آق‌داغ و قوشاداغ با قله‌ای به ارتفاع ۳۱۴۳ متر در شمال هریس و در حد فاصل دو شهرستان اهر و هریس در امتداد شرق به غرب واقع شده و مرز مشترک حوضه آبریز ارس و تلخه‌رود است. کوه آیناخلی از شمال شرقی به جنوب غربی در بخش خواجه کشیده شده و حداکثر ارتفاع آن ۲۸۷۳ متر است. کوه پیرداغ با ارتفاع ۲۸۵۲ متر در منتهی‌الیه غرب شهرستان هریس واقع شده و از ارتفاعات مشرف به روستای نهند در بخش خواجه است.

شهرستان هریس در ارتفاعات دارای آب و هوای استپی سرد و در نقاط پست یعنی کنارهٔ تلخه‌رود دارای کلیمای مدیترانه‌ای است که به طور کلی، زمستان‌های سرد و یخبندان و تابستان‌های ملایم دارد. متوسط درجه حرارت حداقل ۲۵- در زمستان و حداکثر ۳۵ درجه در تابستان است. متوسط بارندگی سالانهٔ شهرستان ۳۵۰ میلی‌متر بود که غالباً ۸۷ میلی‌متر آن در پاییز، ۹۰ میلی‌متر در زمستان، ۱۷۲ میلی‌متر در بهار و یک میلی‌متر در تابستان نازل می‌شود.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]



شکل ۱: موقعیت مورد مطالعه

ب-مشخصات زمین‌شناختی منطقهٔ مورد نظر

این منطقه بیشتر شامل نهشته‌های کواترنری و نئوژن است. در بالا دست رودخانه‌ها نهشته‌های کهن‌تر (پرکامبرین، مزوزوئیک و نئوژن) را فرسایش داده و در پایین دست، مخروط افکنه‌ها را تشکیل داده‌است.

در یک نگاه کلی، منطقه از دو واحد تشکیل شده که شامل واحدهای کوهستان و دشت است. از نظر ژئومورفولوژی، این واحد جزء مناطق معمولاً مرتفع محسوب می‌شود و ارتفاعات و فعالیت هوازدگی شدید دارد. بسته به اینکه کوهستان در چه منطقهٔ آب و هوایی قرار گرفته‌است، دچار هوازدگی فیزیکی و شیمیایی می‌شود که ممکن است به علت ارتفاع زیاد هوازدگی صرفاً فیزیکی، در این صورت دامنه‌ها دارای شیب زیاد و در نتیجه درّه‌های عمیق خواهند بود. این واحد شامل آبراهه‌های اصلی و فرعی و دارای یک سلسله قله‌های منفرد است. وجود گنبدهای گدازه به همراه جریان‌های ستبر گدازه، برش و لایه‌های ایگنمبریتی، بیانگر یک مرکز فوران مهم در این منطقه است. بر اساس تحقیقات سازمان زمین‌شناسی، عملکرد گسل گوشه‌داغی در محدودهٔ مورد نظر به فعالیت گسل تبریز منجر می‌شود. جهت شیب در واحد کوهستانی جنوبی است و اکثر قسمت‌های واحد کوهستان از سازند دورهٔ ائوسن تشکیل شده‌است. ارتفاع این دشت از سطح دریا بین ۱۸۰۰ تا ۱۸۵۰ متر است و از این جهت به عنوان بام آذربایجان، شناخته و واحد دشت نواحی با ارتفاع کمتر از ۱۶۰۰ متر را شامل می‌شود. این واحد در پایین‌دست به زمین‌های پست جلگه‌ای و پلایای دریاچه منتهی می‌شود. وسعت دشت بیش از ۲۷۰ کیلومتر مربع است. این واحد شامل باغ‌ها، مراتع مناطق زراعی و در پایین‌دست مناطق مسکونی است. در زمینهٔ وضعیت فرسایش در این واحد ژئومورفولوژیکی باید گفت با توجه به اینکه این واحد از مخروط افکنه‌ها و نهشته‌های آبرفتی درشت‌دانه تشکیل شده‌است، اغلب در مسیر خود در جهت شیب فرسایش‌های آبراهه‌ای و شیاری را به نمایش می‌گذارد. درشت دانه بودن و ضخامت زیاد (متوسط صد متر) از خصوصیات این واحد

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

است. نفوذپذیری زیاد، مانع از فرسایش عمقی رسوبات می‌شود و در نتیجه، رسوبات دانه درشت تخریبی که در اثر سیلاب از واحد کوهستان آورده شده‌است، در این ناحیه رسوب می‌کند.

۲-مواد و روش تحقیق

اساس کار در اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین، استفاده از تصاویر تکراری رادار است. تصویری که از یک منطقه در یک زمان مشخص برداشت می‌شود با تصویری که در زمان دیگر توسط همان سنجندهٔ رادار برداشت شده‌است، تلفیق می‌شود. روش تداخل‌سنجی راداری، شناسایی مناطق در حال نشست و تعیین وسعت آنها را ممکن می‌سازد. روش‌های تداخل‌سنجی راداری سنتی، به طور گسترده‌ای به منظور مشخص کردن فشردگی سفرهٔ آب زیرزمینی در مقیاس زمانی زیاد استفاده شده‌است. اگرچه تحلیل سری زمانی، به تازگی به عنوان فنی برای توصیف رفتار مکانی و زمانی کوتاه مدت و بلندمدت فرونشست توسعه یافته‌است.

سنجنده‌های راداری متفاوتی، آرشیو بسیار وسیعی را به مدت پانزده سال از اطلاعات مورد نیاز در اختیار قرار می‌دهند. سنجنده‌هایی که تاکنون مورد استفاده قرار می‌گرفتند، عبارتند از: ماهواره‌های سنجش از دوری اروپایی Envisat Asar، ERS-1,ERS-2 ماهواره‌های کانادایی Radarsat-1 و Radarsat-2 و ماهواره‌های ژاپنی JERS و ALOS. در میان این ماهواره‌ها، Envisat و ERS کشور ایران را به طور مطلوبی پوشش می‌دهند. این دو ماهواره در هر برداشت، منطقه‌ای به وسعت ۱۰۰ × ۱۰۰ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد و میزان تکرار تصویربرداری آنها ۳۵ روز یک‌بار است. حد تفکیک مکانی این سنجنده‌ها در حدود سی متر است که آنها را در دستهٔ سنجنده‌های با حد تفکیک متوسط قرار می‌دهد. در سال ۲۰۰۷ سنجنده‌ای جدید با همکاری بخش خصوصی و دولتی در کشور آلمان ساخته و به فضا ارسال شد. این سنجنده، TerraSAR-X نام دارد که در باند X به منظور تحقق اهداف تداخل‌سنجی به فضا پرتاب شد. در این داده‌ها حد تفکیک مکانی تا حد قابل توجهی نسبت به سایر داده‌های موجود بهبود یافته‌است؛ قابلیت تصویربرداری با رزولوشن ۱/۶ × ۱/۹ متر در منطقه‌ای به وسعت ۳۰ × ۳۰ کیلومتر مربع برای هر تصویر. همچنین درصد تکرار تصویربرداری در آن به هر یازده روز یک‌بار کاهش یافته‌است که در بهبود نتایج تأثیر به‌سزایی دارد (Vajedian et al, 2011).

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

مراحل کار تحقیق به شرح زیر است:

۱ـ مطالعات اسنادی

(بررسی مقالات، پایان‌نامه‌ها و کتاب‌ها)

۲ـ داده‌های RS

(Sentinel، پردازش تصویر، بررسی کاربری، بازدید منطقه و تعیین فرونشست)

۳ـ داده‌های محیطی

(دادهٔ زمین‌شناسی، کاربری اراضی، داده‌های ژئومورفیک و DEM)

۴ـ مطالعات میدانی

بررسی میدانی نتایج



شکل ۲: فرایند کلی تحقیق

تکنیک تداخل‌سنجی راداری

۲-۱داده‌ها و مواد مورد استفاده

نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مربوط به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، نقشهٔ توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ مربوط به سازمان نقشه‌برداری کشور، نقشهٔ کاربری اراضی تولید شده از تصاویر Sentinel2 (۲۰۱۹-۲۰۱۴) با قدرت تفکیک سی متری و تصاویر ماهوارهٔ landsat5-8 (گرفته شده از سایت USGS)، تصاویر راداری Envisat –sentinel و داده‌های چاه‌های پیزومتری منطقهٔ مورد مطالعه از نرم‌افزار Envi4. 8 , SARscape5. 2, SNAP6. 0 استفاده شده‌است.

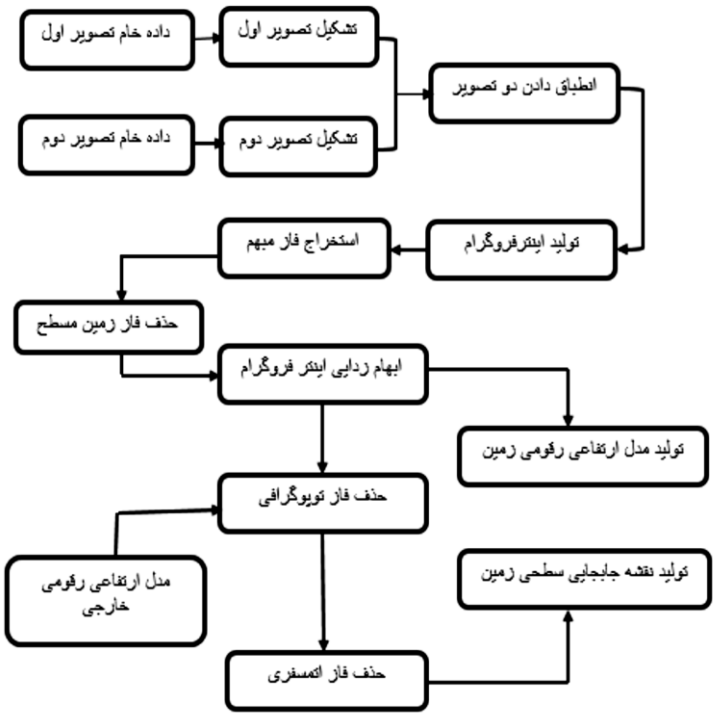
۲-۲روش‌های مورد استفاده

پردازش تصویر و استخراج فرونشست‌ها و نقشه‌برداری، به طور معمول از داده‌های سنجش از دور چند زمانه برای تحلیل اثرات زمانی پدیده‌ها و تغییرات کمی آنها استفاده می‌شود (ژائو و همکاران، ۲۰۱۷).

اعتبارسنجی

اعتبارسنجی با استفاده از تصاویر گوگل ارث و داده‌های اصلی لندست ۸ انجام شد.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]



شکل۳: پردازش بر روی زوج تصاویر راداری ماهوارهٔ Sentinel

روش تحقیق

۱ـ روش‌های تولید تداخل‌سنجی

۱ـ۱ـ استفاده از سه دسته داده یا بیشتر که به اختصار 3Pass نامیده می‌شود

یک تداخل‌نما با استفاده از اختلاف فاز دو تصویر اول و دوم، و تداخل نمای دوم نیز از اختلاف فاز دو تصویر دوم و سوم ایجاد می‌شوند. سپس دو تداخل‌نمای حاصل از هم تفریق می‌شوند تا تداخل‌نمای تفریقی حاصل شود.

۲ـ۱ـ استفاده از دو دسته داده به همراه یک مدل ارتفاعی

یکی از ابزارهای توانمند برای پایش پدیدهٔ فرونشست، روش تداخل‌سنجی راداری است. این روش با مقایسهٔ فازهای دو تصویر راداری که از یک منطقه در دو زمان مختلف اخذ شده‌اند، قادر به تعیین تغییرات سطح زمین در آن بازهٔ زمانی است. فاز اخذ شده از یک عارضه بر روی سطح زمین، متناسب با فاصلهٔ آن تا سنجندهٔ راداری است. بنابراین، ایجاد تغییر در این فاصله بر روی فاز اندازه‌گیری شده اثر می‌گذارد. به کمک تکنیک تداخل‌سنجی راداری، تصویری به نام اینترفروگرام ساخته می‌شود. یک اینترفروگرام، تصویری است که حاوی اختلاف فاز دو تصویر راداری است که با دقت نسبت به هم ثبت هندسی شده‌اند (Daniyel et al, 2003). فاز اینترفروگرام حاوی اثر توپوگرافی، خطاهای مداری و اثرات اتمسفر است. برای به دست آوردن جابه‌جایی سطح زمین در یک بازهٔ زمانی، می‌بایست خطاهای مداری، اثرات توپوگرافی و نویز اتمسفر از اینترفروگرام‌ها حذف شود. برای حذف اثر توپوگرافی، از مدل ارتفاعی رقومی SRTM با قدرت تفکیک مکانی نود متر استفاده شده‌است. خطاهای مداری نیز با پردازش یک رویه به مناطقی که فاقد جابه‌جایی است، مدل‌سازی و از اینترفروگرام مورد نظر کم می‌شود. خطای اتمسفر را می‌توان به کمک اطلاعات جوی و مدل

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

اتمسفری تعدیل کرد.(Finnegan et al, 1998) . استفاده از تصاویر رادار با روزنهٔ مصنوعی SAR برای تشخیص جابه-جایی‌های موجود در سطح زمین، در حد زیر سانتی‌متر در اواخر دههٔ ۱۹۸۰ شروع شد که فن تداخل‌سنجی راداری (InSAR)را معرفی کرد. این فن با توجه به توانایی اندازه‌گیری دقیق جابه‌جایی سطح زمین در یک محدودهٔ گسترده، قدرت تفکیک مکانی بالا و صرف هزینه و زمان کمتر، به ابزاری قدرتمند برای تحلیل حرکات تکتونیکی پوستهٔ زمین تبدیل شد. تکنیک تداخل‌سنجی، از ضرب مختلط یک تصویر SAR در مزدوج مختلط تصویر دوم تولید می‌شود و به ایجاد تصویر تداخل‌سنج منجر می‌شود و فاز این تصویر، اختلاف فاز بین تصاویر است.

از جمله محدودیت‌هایی که در تکنیک تداخل‌سنجی متداول وجود دارد، می‌توان به فاز نویز ناشی از تغییر در خصوصیات پراکنشی تحت‌تأثیر خط مبنای مکانی یا زمانی بلند و تغییر در تأخیر سیگنال در حین انتشار در اتمسفر ــ که به تغییر و ایجاد فاز[1] اضافی در کل تصویر منجر می‌شود ــ اشاره کرد. این محدودیت‌ها، استفاده از روش‌های متداول تداخل‌سنجی راداری را با مشکل مواجه می‌کند.

دامنهٔ تصویر SAR بیانگر خصوصیات پراکنشی از سطح زمین است. از سوی دیگر، تصویر فاز[2] اصولاً به شکل تصادفی است که میانگین وزن‌دار تأخیر فاز بین ارسال و دریافت همهٔ پراکنش‌ها بر روی زمین در یک پیکسل است. اما اختلاف در فاز بین دو تصویر می‌تواند به عنوان تغییر فاصله از ماهواره تا زمین، به شرطی که خصوصیات پراکنشی زمین تقریباً ثابت بماند، در تداخل‌سنجی راداری فاز تصاویر اخذ شده از موقعیت‌های تصویربرداری یا زمان‌های تصویربرداری مختلف، پیکسل به پیکسل مقایسه می‌شود. از تفاضل‌گیری بین این مقادیر، تصویر جدیدی حاصل می‌شود که تداخل‌سنج نام دارد. فاز نهایی ایجاد شده در تداخل‌سنج که شامل ترم‌های اضافی است به صورت رابطهٔ زیر می‌باشد:

$$\Phi int=W\{\Phi def+\Phi atm+\Phi orb+\Phi\theta+\theta N\}$$ رابطهٔ ۱

به طوری که Φdef فاز ناشی از حرکت پیکسل در جهت مسیر دید ماهواره، atm line of sight اختلاف در تأخیر فاز اتمسفری بین دو تصویر، Φorb فاز باقی‌ماندهٔ ناشی از خطای مداری، Φθ فاز باقی‌ماندهٔ ناشی از خطای دید زاویهٔ دید ــ که معمولاً از آن به عنوان خطای DEM نام برده می‌شود ــ و ΦN فاز نویز ناشی از تنوع در پراکنش‌گرها و نویز حرارتی است. اپراتور w نشان‌دهندهٔ این امر است. یکی از مهم‌ترین و در عین حال مشکل‌ترین مراحل در تداخل‌سنجی راداری برآورد تعداد سیکل‌های صحیح است که به این عمل، بازیابی فاز می‌گویند. در تداخل‌سنجی راداری، فاز حاصل از دو تصویر گرفته شده از یک منطقهٔ معین برای تولید تداخل‌نگار تداخل داده می‌شود. در واقع تداخل‌نگار، حاصل ضرب مختلط دو تصویر راداری است. این دو تصویر ممکن است توسط یک سکوی هوایی یا فضایی ــ که دو آنتن با فاصلهٔ معین (خط مبنا) دارد ــ اخذ شده باشد (تداخل‌سنجی با عبور منفرد)، یا دو تصویر با فواصل زمانی مختلف و از یک سکوی مشابه گرفته شوند (روش تداخل‌سنجی با عبور مکرر). اختلاف فاز موجود در دو تصویر، به صورت لبه یا حاشیه در تداخل‌نگار نمایش داده شده که هر حاشیه یا لبهٔ مشاهده شده به اختلاف فازی مربوط است. تداخل‌نگار فراهم شده به روش InSAR، می‌تواند تغییرات ارتفاعی و ناهمواری‌ها را نمایش دهد. روش تداخل‌سنجی

[1] Massonnet etal
[2] Phase image

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

راداری (InSAR[1])[2]، امکان تولید مدل‌های رقومی ناهمواری‌های زمین را فراهم می‌سازد که دقت ارتفاعی بهینهٔ آن برای دادهٔ C باند با طول موج ۶/۵ سانتی حدود پنج متر است. روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (D-InSAR[3]) را اولین بار Goldastuon , Zebker (1989) ارائه کردند. این اصطلاح به روش اندازه‌گیری پارامترها از قبیل توپوگرافی، تغییرات و جابه‌جایی سطحی زمین از طریق تداخل فاز دو یا چند تصویر راداری با روزنهٔ مجازی (SAR) اخذ شده از منطقهٔ مشابه اطلاق شده‌است. این روش می‌تواند با استفاده از حداقل سه (دو تصویر) DEM + یا تعداد بیشتری از تصاویر راداری، تغییرات سطحی رخ داده در زمین را در بازه‌های متفاوت با دقت‌های میلی‌متری آشکار کند؛ در عین حال، این دقت تابع طول موج دادهٔ مورد استفاده و معادل نصف آن (1 1 / 2 λ) خواهد بود.

حذف اثر فاز توپوگرافی

با استفاده از مدل رقومی زمین می‌توان اثر فاز توپوگرافی را از تداخل‌نگار حذف کرد. هر قدر دقت DEM و فایل تصحیحات مداری (اربیت فایل) بیشتر باشد، فرایند حذف با دقت بیشتری انجام می‌شود. نتایج این مرحله این است که power را از phase جدا می‌کند و به تولید فایل‌های int، dint و srdem می‌پردازد. تفاوت int و dint در این است که در فایل int اثر توپوگرافی وجود دارد، ولی در فایل dint حذف شده‌است. علاوه بر تفاوت int و dint، تفاوت‌های اطلاعات به‌دست‌آمده از فیلترهای Goldstein و Adaptive نیز مشاهده خواهند شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تصویر dint و int قبل از اعمال فیلتر، تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند.

اعمال فیلتر

تداخل‌نگار تفاضلی حاصل، دربرگیرندهٔ مقداری نویز است. عامل به وجود آورندهٔ این نویزها می‌تواند مختلف باشد که دو عامل اصلی در به وجود آمدن آنها تأثیرگذار است؛ عامل اول مربوط به تفاوت زمانی بین دو تصویر اصلی و وابسته است. عامل اصلی دوم در به وجود آمدن نویزهای تأثیرگذار، خط مبنای مکانی است که میزان نویزها در تصاویر با خط مبنای مکانی ارتباط مستقیمی دارد؛ هرچه این میزان بیشتر باشد، نویزهای بیشتری در تداخل نگار دیده می‌شود. برای حذف و کاهش نویزها از عمل فیلترینگ استفاده شده‌است (Heshmati, 2014). الگوهای فرینج در تصویر فیلتر شده یا Fint به‌صورت واضح‌تری نمایان است.

Goldstain Filter: این فیلتر قدرتمند زمانی مورداستفاده قرار می‌گیرد که تغییرات بر روی فازها، مشکلی در نتایج مسئله ایجاد نکند؛ زیرا این فیلتر در برطرف کردن خطاها بسیار قدرتمند عمل کرده‌است (Rafiee, 2016).

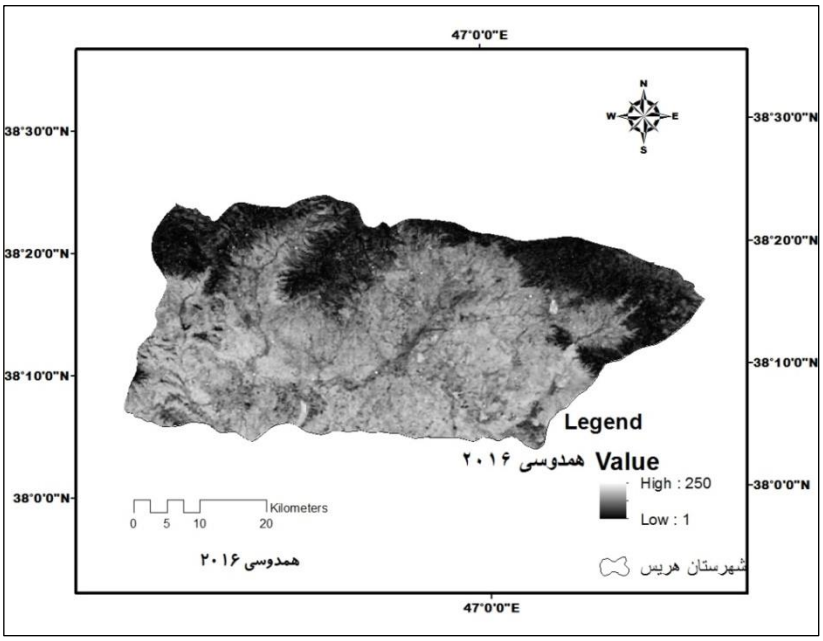
Adaptive Window Filter: این فیلتر تطبیقی بر روی ماهیت فازها تغییر ایجاد نمی‌کند و فقط با استفاده از درون‌یابی، به برطرف کردن خطاها می‌پردازد (Rafiee, 2016).[4]

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

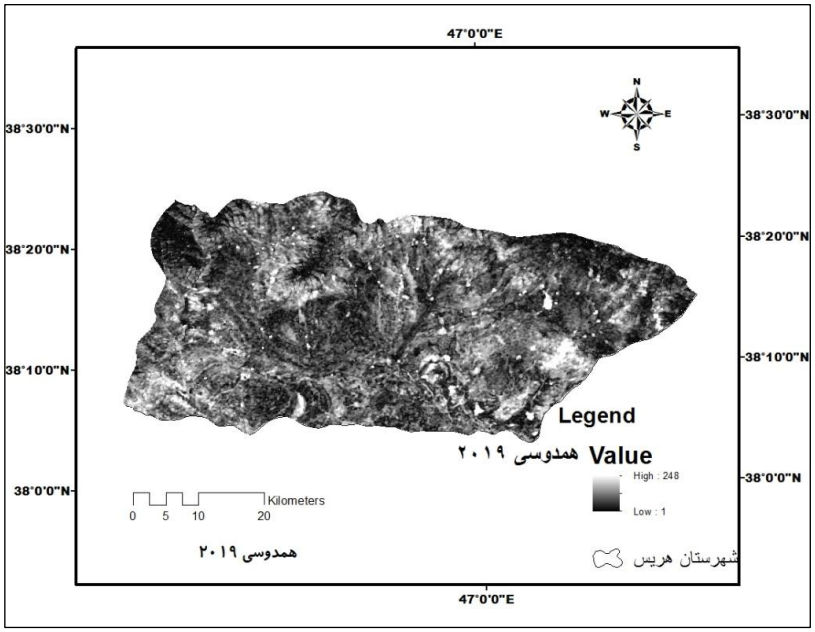
تصاویر همدوسی[1]

تصویر همدوس، تصویری است که از همبستگی توانی دو تصویر هم مختصات شده به دست می‌آید. این تصویر بیانگر شاخص همبستگی مقادیر توان سیگنالی در دو تصویر اخذ شده در دو زمان متفاوت است. مقدار همبستگی از ۰ تا ۱ متغیر است که در میزان کیفیت فرایند تداخل‌سنجی مؤثر می‌باشد. در شکل ۲ و ۳، تصویر همدوسی از مراحل اعمال فیلتر Goldstein و فیلتر Adaptive مشاهده می‌شود.

هر چه مقادیر به سمت یک برود، روشن‌تر بوده که به معنای همدوسی قوی‌تر و تصاویر مناسب‌تر است.



شکل ۳: تصویرهمدوسی در دشت هریس سال ۲۰۱۶



شکل ۴: تصویرهمدوسی در دشت هریس سال ۲۰۱۹

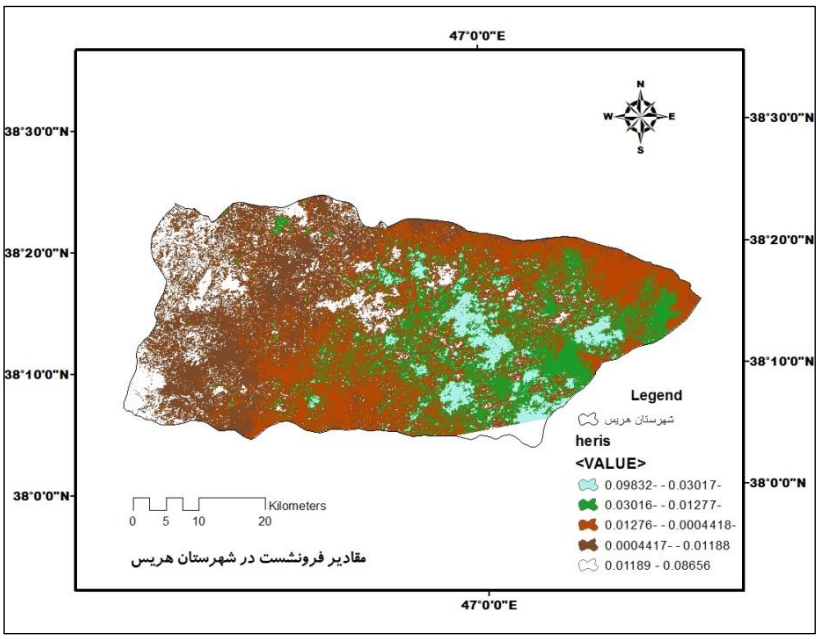
[1] Coherence

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

هر چه مقادیر به سمت یک برود، روشن‌تر بوده که به معنای همدوسی قوی‌تر و تصاویر مناسب‌تر است. آنچه در شکل مشاهده می‌شود، مقایسهٔ میان دو نقشهٔ جابه‌جایی با اعمال هر دو فیلتر مورداستفاده است.

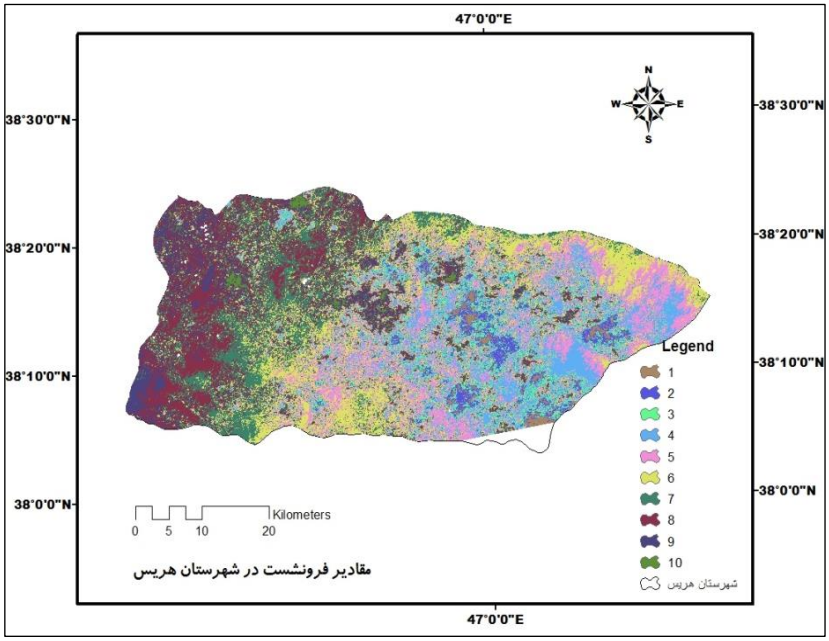
محاسبهٔ فرونشت

باتوجه به محاسبات به دست آمده، میزان فرونشست دشت هریس نشان داده شده‌است. در شکل ۴، میزان فرونشست دشت هریس بر حسب سانتی‌متر بیان شده‌است. همان گونه که مشاهد می‌شود، بیشترین فرونشست در مناطق داخلی دشت و منطبق بر زمین‌های زراعی است و این انطباق، تأثیر استخراج آب‌های زیرزمینی و فرونشست در این منطقه را نشان می‌دهد. در شکل ۵ نیز همان موارد در سال ۲۰۱۹ آورده شده و در جدول ۱ نیز مساحت مقدار فرونشست در هرکدام از بازه‌ها ذکر شده‌است.



شکل۵: میزان فرونشست دشت هریس در سال ۲۰۱۶

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]



شکل۶: میزان فرونشست دشت هریس در سال ۲۰۱۹

جدول ۱: میران فرونشست در منطقهٔ مورد مطالعه در بازه‌های تقسیم شده در شکل ۵

میزان فرونشست بر حسب سانتی‌متر	وسعت منطقه km
۰/۰-۰۵۲/۰۹۸	۲۸/۹۵۷
۰/۰-۰۴۸/۰۵۲	۷۷/۷۸۴
۰/۰-۰۳۴/۰۴۸	۱۲۶/۴۱۸
۰/۰-۰۲۲/۰۳۴	۲۹۴/۸۹۶
۰/۰-۰۱۴/۰۲۲	۳۸۷/۱۴۶
۰/۰-۰۰۷۶/۰۱۴	۴۶۰/۶۸۶
۰/۰-۰۰۰۴۴/۰۰۷۶	۴۱۲/۱۶۵
۰/۰-۰۰۵۸/۰۰۰۴۴	۳۷۸/۰۹۱
۰/۰-۰۰۶۸/۰۰۵۸	۱۴۵/۸۸۸
۰/۰-۰۱۴/۰۰۶۸	۲۶/۳۴۸

یافته‌ها

ارتباط بین سازندهای زمین‌شناسی و فرونشست

با توجه به جدول رده‌بندی مشخص می‌شود که بین سازند زمین‌شناسی و فرونشست، ارتباط تنگاتنگی وجود دارد؛ هر قدر سازند سست‌تر باشد، فرونشست در منطقه نیز محسوس‌تر است. همان طور که ملاحظه می‌شود، فرونشست در سازند آبرفتی بیش از سازند کنگلومرای آتشفشانی است و دلیل آن، سختی سنگ کنگلومرا می‌باشد. در نتیجه، سنگ-های آبرفتی، آندزیت و مارنی بیشترین و لاتیت (آتشفشانی)کمترین فرونشست را دارند.

در جدول ۲ ــ که از تحلیل روابط مکانی بین فرونشست و کاربری منطقه حاصل شده‌است ــ مشخص می‌شود که سنگ‌های سست و منفصل در مقابل سنگ‌های سخت و آذرین، فرونشست بیشتری داشته‌اند و بین نوع سازند و

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

فرونشست، ارتباط قوی مشاهده می‌شود. توضیح این امر لازم است که اعداد منفی، فرونشست قوی‌تری را نشان می‌دهد و مجموع فرونشست، به معنای مجموع سطح نسبت به همان سازند است؛ یعنی هر قدر سازندی، مساحتی بیشتر در منطقهٔ فرونشست شدیدتر داشته باشد، امتیاز بالاتری به خود اختصاص می‌دهد.

جدول۲: ارتباط بین نوع سازند و فرونشست در منطقهٔ مورد مطالعه

لیتولوژی	مجموع فرونشستcm	لیتولوژی	مجموع فرونشست	لیتولوژی	مجموع فرونشستcm
سی نیت	-۱۰/۱۶۰۶۳۸	ریولیت	۱۶/۶۴۶۵۱	مارن ماسه ستگ	۳۵۷۲/۶۱۵
لاتیت_ ایگنیمبرت	-۱۰۰۲/۸۵۹۴۰۸	مارن گچی- سیلیستون	-۹۵۲۱/۵۷۰۴۰۷	رسوبات لاکچری	.۳۶۹۴ -۴۵۵۸۲۳
تراس جوان ومتوسط و قدیمی	۰۳۴/۱۰۸	لاتیت-آندزیت	-۰۴۳۸۲۶ .۱۶۲	کنگلومرای اتشفشانی	۵۱۳/۹۵۶۸
سیلت- کنگلومرا	۱۱۶۸/۷۱	داسیت	۱۷/۶۰۷۱۵	یولیتگ تراس	۳۹۰/۰۲۵۲
لاتیت	-۱۱۷۶/۷۹۱۳۳۳	آندزیت تراکی- داسیت	۱۸۹/۲۹۱۵	کنگلومرا-ماسه سنگ	۴۴/۵۰۴۸
ماسه سنگ	۱۲۱/۵۰۹۶	آذر اواری	۲۱/۸۸۷۰۶	مارن-ماسه سنگ	۴۴۵۸/۶۰۳
مارن - لیمیستون	-۱۲۲/۷۰۷۵۶۱	لمیستون	۲۱۲/۰۹۹۸	آندبیت تراشی- داسیت	۴۵/۹۶۰۶۶
نمکی	-۱۴۳۴/۶۴۱۸۰۵	آبرفت اخیر- روسوب رودخانه	-۹۰۱۰/۴۲۲۰۵۱	لاتیت-بازالت	-۴۵۱/۲۸۶۴۸۶
آندزیت	-۱۵۰/۳۱۵۷۳۵	گابرو(سنگ سیاه آتشفشانی)	۲۴/۷۱۵۹۳	لیمیستون مارنی	-۴۷/۱۶۶۱۸۵
ایگنیمبرت	۱۵۹/۲۲۰۶	داسیت- ایگنیمبرت	-۳۴/۷۴۰۲۶۰	مانیتور سنگ گرانیت	۴۹۲/۶۲۰۳

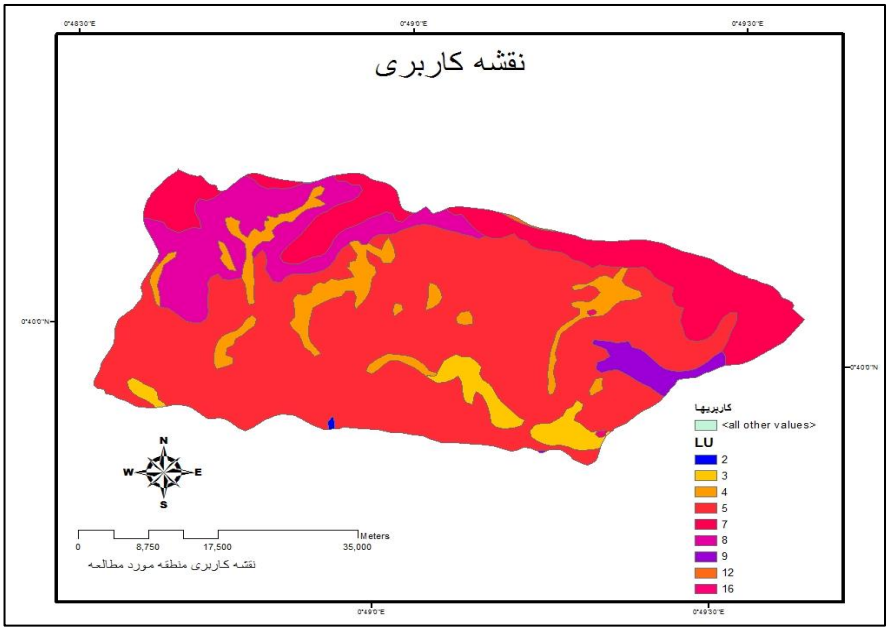
ارتباط بین کاربری‌های اراضی و فرونشست

تولید نقشهٔ کاربری اراضی

به منظور اجرای این پژوهش با استفاده از تصویر Sentinel۲ با قدرت تفکیک ده متر، ابتدا به تولید یک تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا برای تفکیک بهتر کاربری‌ها از طریق تصاویر پرداخته شد. سپس با استفاده از روش سگمنت‌سازی چندگانه به سگمنت تصاویر با مقدار ۰. ۶ و فشردگی ۰. ۴ پرداخته شد که این مرحله از مهم‌ترمین مراحل اجرای طبقه‌بندی تصاویر به روش شئ‌گراست. برای کاربری‌های پهنه آبی، کشاورزی، جنگل، باغ، مسکونی، بایر و مرتع نیز به ترتیب ۹۰، ۳۸۰، ۵۰۰، ۵۹، ۲۰۰، ۸۵ و ۷۰ نمونهٔ آموزشی توسط بازدید میدانی، استفاده از نقشه‌های موجود و -

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

ایجاد تصاویر رنگی کاذب انتخاب شدند. تصاویر پس از اجرای پیش‌پردازش‌های لازم، با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه و روش شیء پایه در نرم‌افزار اکوگنیشن طبقه‌بندی و نتایج در شکل ۸ ارائه شد.



شکل ۸: نقشهٔ کاربری منطقهٔ مورد مطالعه

جدول ۳: کاربری های موجود در منطقه

	۲	۳	۴	۵	۷	۸	۹	۱۲	۱۶
زراعت	اراضی زراعت آبی	مجتمع	اراضی	مراتع	مراتع	مراتع	جنگل	اراضی
آبی	مخلوط زراعت و باغ	درختی	زراعی دیم	خوب	متوسط	ضعیف	نیمه انبوه	شهری

مناطق مسکونی به دلیل ساخت و ساز و ایجاد وزن سنگین، به همراه عوامل دیگری همچون تخلیهٔ آب زیرزمینی می‌تواند عامل اصلی فرونشست زمین باشد.

جدول ۴: مجموع فرونشست در هرکدام از کاربری‌های موجود در منطقه

کد*	لایه	مجموع
۱	مرتع	-۶۸۳۷/۹۱۳۸۷۱
۲	مرتع- دیم	-۴۱۱۶/۷۱۷۰۲۱
۳	کشاورزی آبی	-۲۷۵۰/۹۶۶۰۳۶
۴	مرتع ۲	-۴۷۵/۷۸۳۱۴۹
۵	کشاورزی- باغ	-۱۹/۱۹۲۴۶۸
۶	بایر	-۴۷۱۷/۹۶۸۲۴۱4
۷	مرتع ۱	-۵۵۹۶/۴۱۸۴۰۷
۸	بایر- شور	-۸۲/۰۷۰۶۸۹

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

۹	شور	-۲۰/۴۴۸۴۲۵
۱۰	باغ - کشاورزی	-۳۲/۲۷۱۷۹۸
۱۱	مسکونی	-۸۸/۶۹۹۸۴۸
۱۲	آب	-۴۳/۸۷۴۹۶۳

اعمال یک عامل نرم‌کنندگی بهینه تحقق یافت، سپس آهنگ میانگین فرونشست دراین بازه زمانی محاسبه شد. بیشترین مقدار فرونشست دراین بازهٔ زمانی، ۳۲- میلی‌متر در سال است. می‌توان نتیجه گرفت که روش تداخل‌سنج راداری در اندازه‌گیری تغییر شکل‌های سطح زمین دقت بسیار بالایی دارد؛ در عین حال، پوشش وسیع پیوسته‌ای را از منطقه فراهم می‌کند که این امر تعیین پهنهٔ منطقهٔ تحت‌تأثیر فرونشست را ممکن می‌سازد.

نتایج طبقه‌بندی شیء پایه به روش نزدیک‌ترین همسایه نشان داد که تصاویر Sentinel۲ با صحت کل ۸۹٪ و ضریب کاپا ۰/۸۶، عملکرد خوبی برای تولید نقشه‌های کاربری اراضی دارد.

همچنین نتایج فرونشست نشان داد که بخش مرکزی و جنوب غربی دشت هریس، نشست بیشتری دارد. از انطباق نتایج فرونشست و نقشهٔ کاربری اراضی نیز به این مهم دست یافتیم که کاربری‌های انسان‌ساز بیشتر تحت‌تأثیر نشست زمین است که می‌تواند خود عامل نشست زمین در دشت هریس باشد.

با توجه به جدول شمارهٔ ۵ و رده‌بندی مشخص می‌شود که بین کاربری اراضی و فرونشست ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. همان طور که ملاحظه می‌کنید در مناطق مرتعی فرونشست بیشتر است؛ در مرتع بیشترین و در کشاورزی و باغ کمترین فرونشست وجود دارد.

مطالعات تداخل‌سنجی راداری در این تحقیق توسط دو تصویر ENVISAT با هندسهٔ تصویربرداری پایین گذر ۳۳۵ به منظور پردازش اینترفروگرام به کمک نرم‌افزار Sarscape و اطلاعات مداری آژانس فضایی اروپا انجام شد. جدول ۱، مشخصات اینترفروگرام پردازش شده در منطقهٔ مورد مطالعه را با توجه به خط مبنای مکانی نشان می‌دهد. به منظور کاهش نویز و افزایش همبستگی زمانی اینترفروگرام‌ها تا جای ممکن سعی شده است از زوج تصویر راداری با بازهٔ زمانی کوتاه استفاده شود.

پس از تولید اینترفروگرام‌ها با اعمال ضریب تبدیل فاز به فاصله، نقشه‌های میزان جابه‌جایی در بازهٔ زمانی تهیه شد.

جدول ۵: تحلیل ارتباط بین کاربری و فرونشست منطقه

ردیف	لایه	مجموع	ردیف	لایه	مجموع
۱	مرتع	-۶۸۳۷/۹۱۳۸۷۱	۷	مرتع ۱	-۵۵۹۶/۴۱۸۴۰۷
۲	مرتع- دیم	-۴۱۱۶/۷۱۷۰۲۱	۸	بایر- شور	-۸۲/۰۷۰۶۸۹
۳	کشاورزی آبی	-۲۷۵۰/۹۶۶۰۳۶	۹	شور	-۲۰/۴۴۸۴۲۵
۴	مرتع ۲	-۴۷۵/۷۸۳۱۴۹	۱۰	باغ - کشاورزی	-۳۲/۲۷۱۷۹۸
۵	کشاورزی- باغ	-۱۹/۱۹۲۴۶۸	۱۱	مسکونی	-۸۸/۶۹۹۸۴۸
۶	بایر	-۴۷۱۷/۹۶۸۲۴۱4	۱۲	آب	-۴۳/۸۷۴۹۶۳

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

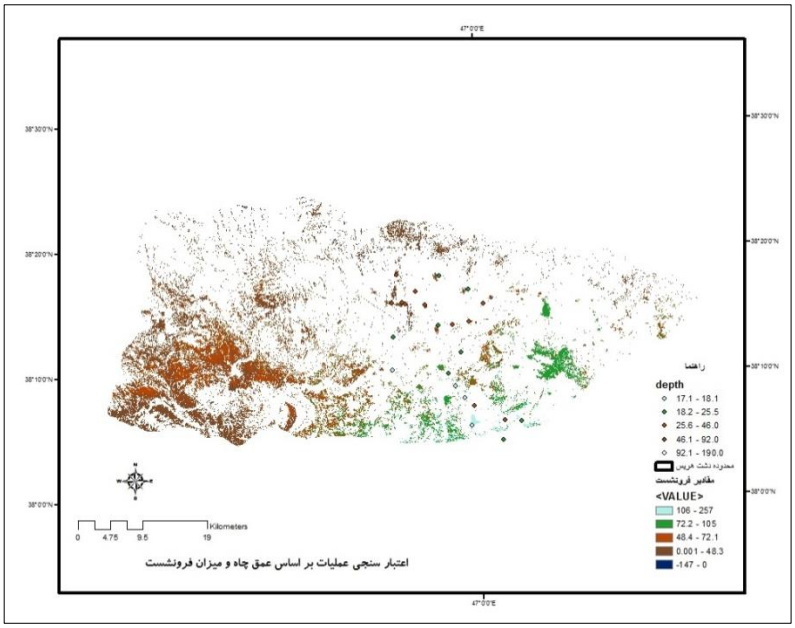
عمق چاه‌های پیزومتری اعتبارسنجی عملیات

نظر به اینکه فرضیهٔ این تحقیق بر این اصل استوار است که افزایش میزان استخراج آب‌های زیرزمینی باعث و عامل فرونشست در منطقه می‌باشد؛ بنابراین، ارتباط بین عمق چاه‌های منطقه و میزان فرونشست در آن می‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی صحت عملیات باشد. بنابراین، آمار چاه‌های پیزومتری منطقه از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی دریافت شده و پس از تبدیل آن به فرمت پایگاه دادهٔ نرم‌افزار Arc Gis، با استفاده از توابع تحلیل فضایی زونال بین مقادیر فرونشست و عمق چاه‌های پیزومتری ارتباط برقرار شد (شکل شمارهٔ ۷). با تحلیل همبستگی رگرسیون بین این دو عامل، مقدار همبستگی مثبت ۸۷ درصد بین آنها مشاهده شد و بدان مفهوم است که هر مکانی که فرونشست زیادی دارد، در آن مکان عمق چاه‌های پیزومتری نیز بیشتر است. این یافته صحت فرضیهٔ این تحقیق مبنی بر وجود ارتباط مستقیم و قوی بین فرونشست و میزان برداشت آب‌های زیرزمینی را اثبات می‌کند.

جدول ۶: عمق چاه پیزومتری

ایستگاه	میانگین تغییرات سطح آب	Yutm	Xutm
بیلوردی	1.27	4234010	684182
گوراوان	3.86	4236313	687310
هریس	16.65	4236696	685472
شمال هریس	7.66	4237720	686491
شیخ رجب	2.2	4226527	662365
احمدآباد	2.6	4231413	662547
ینگجه	6.57	4240601	662920
کشاورزی بیلوردی	15.25	4236603	664259
داخل بیلوردی	16.62	4236603	663822
گلدیر	10.31	4236191	667102
سارای	14.4	4233203	669157
نمرور	2.66	4240545	669225
اربطان	6.25	4226094	670683
پارام	24.82	4233287	671265
بخشایش	2.62	4224206	671675

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]



شکل ۷: نقشهٔ اعتبارسنجی

نتیجه‌گیری

به‌کارگیری روش تداخل‌سنجی راداری در این تحقیق، به معرفی ظرفیت مناسبی از قابلیت‌های آن در تعیین میزان فرونشست در سطح محدودهٔ مورد مطالعه می‌پردازد. یافته‌های حاصل شده از به‌کارگیری این روش، میزان فرونشست نسبتاً بالایی را در طی حدود یک ساله نشان می‌دهد.

بر اساس نقشه‌های مورد نظر، بیشینه و کمینه فرونشست در بازهٔ زمانی مذکور به ترتیب ۹/۸ و ۰/۶ سانتی‌متر است.

پس از پردازش اینتروفرگرام برای تعیین میزان متوسط فرونشست در بازهٔ زمانی تصاویر موردنظر، از روش آنالیز سری زمانی به روش کمترین مربعات استفاده شد. این روش به کمک الگوریتمی صورت گرفت که به برآورد فاز تجمعی در زمان‌های اخذ تصاویر می‌پردازد و با استفاده از کد موجود در نرم‌افزار Sarscape انجام شده‌است.

بر این اساس، متوسط میزان فرونشست برابر با ۱/۲ سانتی‌متر است. از علل فرونشست در این منطقه می‌توان به استفادهٔ بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی و کاهش بارندگی ـ که به افت سطح آب‌های زی زمینی منجرشده‌است ـ اشاره کرد؛ البته در این بین، نوع کشت در منطقه و فشار وزن ناشی از سازه‌های انسانی در این ناحیه از دیگر علل فرونشست می‌تواند باشد.

در پژوهش حاضر پس از پردازش‌های اولیه بر روی داده‌های ماهواره‌ای Sentinel-۱ در نرم‌افزارهای سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، میزان نشست در این دشت محاسبه شد. همچنین در این پژوهش از هر دو فیلتر Goldstein و Adaptive برای بررسی استفاده شد که نتایج به دست‌آمده حاکی از آن است که فیلتر Goldstein مقادیر فرونشست را تا عدد ۹ سانتی‌متر در محدوده‌هایی مشخص و مقادیر بالا آمدگی را نیز تا حدود ۸/۵ سانتی‌متر و فیلتر Adaptive، مقادیر فرونشست را تا عدد ۹/۵ سانتی‌متر در محدوده‌هایی و مقادیر آپلیفت را نیز تا حدود ۸ سانتی‌متر نشان داده‌اند. دلیل تفاوت مقادیر در نتایج این دو فیلتر این است که فیلتر Goldstein با دست‌کاری در فازها میزان کوهرنس بالا می‌رود و میزان روشنایی بخش‌های مختلف بیشتر است و تصویر روشن‌تر است؛ بنابراین، وضعیت در این فیلتر بهتر می‌شود. اما در زمینهٔ فیلتر Adaptive این‌چنین نیست و فازها دست‌کاری نشده و در بعضی مناطق

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

Coherence باقی‌مانده است و میزان تیرگی در بخش‌های مختلف تصویر بیشتر است. اما در هر دو تصویر، میزان فرونشست به‌طوری قابل‌توجه در سمت شرق محدوده مشاهده می‌شود که این امر به دلیل تمرکز بیشتر فعالیت کشاورزی و میزان استفاده از آب‌های زیرزمینی است. ارتباط بین عمق چاه‌های منطقه و میزان فرونشست در دشت هریس می‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی صحت عملیات باشد. در نتیجه با تحلیل همبستگی رگرسیون بین این دو عامل، مقدار همبستگی مثبت ۸۷ درصد بین آنها مشاهده شد و این بدین مفهوم است که هر مکانی فرونشست زیادی دارد، در آن مکان عمق چاه‌های پیزومتری نیز بیشتر است. در نتیجه، ارتباط مستقیم و قوی بین فرونشست و میزان برداشت آب‌های زیرزمینی را اثبات می‌کند. این پژوهش مانند پژوهش‌های مشابهی است که Mokhtary و همکاران (۲۰۱۹)، Goli و همکاران (۲۰۱۹)، Keshavarz و همکاران (۲۰۱۸)، Salehi motahed و همکاران (۲۰۱۹)، Xi-cunHe (2019)، صداقت و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری انجام دادند و نشان داد که استفاده از این تکنیک و استفاده از داده‌های ماهواره‌ای راداری، بهترین و کم‌هزینه‌ترین راه برای به دست آوردن میزان فرونشست است. در این تحقیق علاوه بر این، از دو فیلتر هم‌زمان استفاده شده‌است.

منابع

1. Afifi, M. E. 2016. Assessment of land subsidence potential And factors affecting it (Case study: Seydan Farooq Marvdasht plain), *Quantitative Geomorphological Research*, 5(3), 132-121.
2. Akbari. , E.; Ebrahimi, M.; Nezhadsoleimani, H.; & B. Feizizadeh, 2016. Evaluating land surface temperature related to the land use chang detection by satellite image (case study:taleghan basin).
3. Alizadeh, M.; Mousivand, A.; & S. Sima, 2019. on the spatial and Tepporal performance of ES TARFM downscaling method for generating landsat –like imagery, *journal of spatial planning*, 23(4), 123-145. (in Persian)
4. Behboodi, S, H.; HajiAbulHassan, H.; & K. Borna, 2017. Combining Categories using dempster schaffer combination theory, Master thesis of shahid beheshti university (in persion).
5. Djamour, Y.; Philippe, V.; Nankali, H.; & F. Tavakoli, 2011, NW Iran-eastern Turkey present-day kinematics: Results from the Iranian permanent GPS network, *Earth and Planetary Science Letters*, 307, 27-34.
6. Emam bakhsh, M.; Almodaresi, S. A.; & K. Naghdi, 2014. Investigation of land subsidence in Kerman Arzooei plain Using a radar differential interferometer(D-inSAR, ASAR and SENTINEL-1 images), Third National Symposium on Advanced Remote Sensing and GIS Models) In Land Preparation, Yazd, Yazd Islamic Azad University - Yazd Municipality.
7. Ferretti, A.; Fumagalli, A.; Novali, F.; Prati, C.; Rocca, F.; & A. Rucci, 2011. A new algorithm for processing interferometric data-stacks: SqueeSAR, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(9), 3460-347.
8. Finnegan, N.; Pritchard, M.; Lohman, R.; & P. Lundgren, 2008. Constraints on surface deformation in the Seattle, WA urban corridor from satellite radar interferometry time eries analysis, *Geophysical Journal International*, 174, 29-41.
9. Ghahrodi tali, M.; Afshari, A.; Sadogh, H.; & M. Ehteshami moein abadi, 2016. Evaluation of slope instability in Lorestan railway area using radar differential interferometry (DINSAR) method, *Quantitative geomorphological research*, 44 / 5000 Eighth year, 3, 220-183.
10. Gholi Mokhtari, L.; Safiei, N.; Amirahmadi, A. Gh.; & R. Zandi, 2016. Investigation of subsidence of Nurabad plain aquifer using radar interferometry method, *Quantitative geomorphological researches*, 8th year, 4, 111-93.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

11. Habib zade, A., PhD Thesis, 2014. Hydrogeomofological analyzes, Northern Quaternary deposits
12. Feizizadeh, Bakhtiar; Hilali, Hussein (1389). Comparison of basic, object-oriented pixel methods and effective parameters in land cover / land use classification of West Azerbaijan province. Natural Geography Research (Geographical Research). 42 (71), 84-73.
13. –Dideban, Khalil, Feizizadeh, Bakhtiar (2020). Investigating the effect of ground displacement on demolished buildings in Bam city using fuzzy techniques and radar interferometry. Natural Geography Research (Geographical Research). 42 (71), 84-73.
14. Vajdian, Sanaz, Serajian, Mohammad Reza (1397). Analysis and evaluation of earthquake damage using radar imaging technology with artificial aperture.). Watershed Management Research, 23 (2), 32-19
15. Keshavarz, Ahmad, Rafiei, Ali, Shahbazi, Azam (2018). Detection of changes in star radar images using the coordination ratio method. Watershed Management Research, 42 (2), 32-17
16. Haghighat joo, P.; Deldanzoj, J.; Tajik, R.; Jabari, S.; Sahebi, M.; Salami, R.; Ghanjian, M.; & M. Dehgan, 2012. Hashtgerd subsidence time series analysis Using radar interference method and global positioning system, *Earth Sciences*, 85, 114-105.
17. Heshmati, Sh, 2014. Master Thesis, Neishabour plain subsidence modeling using time series And DINSAR technique 1393, Islamic Azad University, Yazd Branch, Iran.
18. Maleki, R.; Mokhtarzade, M.; Abkar, GH.; Voldanzoj, Mj.; & Gh. Ghafouri, 2014. Preparation of geological map of fractures. Lines using Combined Aperture Radar Imaging (SAR) Case study - image of Kalat Naderi region, *Journal of Radar Research*, Second Year 1, 28-19.
19. Masoud, A. A., & K. Koike., (2011), Morphotectonics inferred from the analysis of topographic lineaments auto-detected from DEMs: Application and validation for the Sinai Peninsula, Egypt. *Elsevier Tectonophysics*. 510, 291-308.
20. Miles, S. B., 2010, Participatory model assessment of earthquake-induced andslide hazard models, Natural Hazards Center (2010).
21. Nedaei, A., 2016. Modeling Abarkooh Cave Dynamics Using Radar Interferometry (D-INSAR) Technique, Master Thesis, Islamic Azad University, Yazd Branch, Iran.
22. Rafeei, J., & M. Sadighi., (2016). Determining the amount of subsidence on Radar Interference Basis (InSAR) In Naftshahr oil field, National Geomatics Conference, Volume 23.
23. Saadat far, A.; Dehghani, M.; Esmaeili, Zamani, & B. Gharachaman, 2014. Investigation of pre-shifting displacements of Ahar Varzeqan fault Using radar interference time series No. 2, 20-11.
24. Salehi, R.; Ghafouri, M.; Lashghari poor, G.; & M. Dehghan, 2013. Investigation of subsidence of South Mahyar plain- Using the interferometry method, *Journal of Irrigation and Water*, Third year number 11.
25. Sedaghat, M.; Ghazifard, A.; Ajalloeian, R.; & K. Shirani, 2020. Evaluation of the subsidence hazard due to groundwater withdrawal in Isfahan Metropolis Geotechnical and Geological Engineering, volume 38, pages 297-318.
26. Sharifi kia, M., 2012. Determining the extent and extent of land subsidence using radar interferometry (D-insar) method In Nogh Bahraman plain, Institute of Humanities and Cultural Studies.
27. Xi-Cun, He.; Tian-Liang, Yang.; Shui-Long, Shen.; Ye-Shuang, Xu.; & A. Arul, 2019. Land Subsidence Control Zone and Policy for the Environmental Protection of Shanghai, *Int J Environ Res Public Health*, 16(15), 2729.
28. Yanbo, C.; Ya-ni, W.; I Wen, F.; Min, P.; & B. Liangliang, 2020. Experimental study of land subsidence in response to groundwater withdrawal and recharge in Changping District of Beijing, *PLOS ONE*, 15(5), 1-17.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

29. Zebker, H. A., & P. Rosen., (1994). On the derivation of coseismic displacement fields using differential radar interferometry: The Landers earthquake,« Proceedings of IGARSS '94 - 1994 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Pasadena. CA. USA. 1994, vol 1.

30. Zhao et al. (2017). Provide a method for detecting road areas in radar images with a high-resolution combined star aperture. *Int J Environ Res Public Health*, 16(15).

31.Chio , H., 2011. Evaluation of the effect of different filters on the reduction of spectral noise in radar images with different wavelengths. . Pasadena. CA. USA., vol 6.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

Detection and Determination of Subsidence Using Radar Interferometer (D-InSAR) Method (Harris Plain)

Asadollah Hejazi [1] : *Associate Professor, Department of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Iran*
Mohammad Hossein Rezaei Moghadam**:** *Professor of Geomorphology, Department of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Iran*
Khalil Valizadeh Kamran: *Associate Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Iran*
Neda Musavi Kojabad: *Ph.D Student in Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz*

Article History (Received: 2021/06/21 **Accepted:** 2021/11/18**)**

Extended abstract

1-Introduction

Subsidence is a morphological phenomenon that occurs under the influence of land subsidence motion. The cause of this phenomenon may be due to human and natural factors. The phenomenon of subsidence in recent decades has created many problems for agricultural lands, residential areas, roads and water supply canals in some parts of the country. In recent years, the decrease in rainfall and the increase in uncontrolled groundwater harvesting by exploitation wells have caused a large drop in groundwater level, which has resulted in subsidence and cracks and fissures in parts of the Harris plain. In this research, in order to determine the affected area and finally estimate the amount of subsidence, the radar interferometer method has been used. The advantages of this method include very high accuracy, wide coverage, high spatial resolution and no need for field work, cost-effectiveness and the possibility of accessing information in any weather conditions. ENVISAT and Sentinel radar satellite images were used for this purpose. Also, two Goldstein and Adaptive filters were used to evaluate the obtained results. Also, to validate the research, the relationship between subsidence and the depth of wells in the region was studied, which showed a positive correlation of 87%; this indicates that the depth of wells is also deeper in the areas where subsidence has occurred.

2-Method

Software of SARscape5. 2 and SNAP6. 0 used in this research are among the powerful tools for monitoring subsidence. The radar interference method by comparing the phases of two radar images taken from an area in two different times is able to determine changes in the earth's surface in that time period.

The phase obtained from a complication on the ground is proportional to its distance from the radar sensor. Therefore, changing this distance affects the measured phase. An image called an interferogram is created using a radar interferometry technique. To eliminate the topographic effect, the digital elevation model SRTM has been used with a spatial resolution of 90 meters. Orbital errors were modeled by a procedure that have no displacement. Atmospheric error can be adjusted with the help of atmospheric information and atmospheric model. Interferometry is produced by the complex multiplication of one SAR image in the mixed conjugate of the second image. The resulting differential interferometer contains some noise. The cause of these noises can be different, but there are two main factors influencing their occurrence. The first factor is related to the time difference between the two main and

[1] Corresponding Author: S.hejazi@tabrizu.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

dependent images. The second main factor influencing the occurrence of noise is the spatial baseline where the amount of noise in the images is directly related to the spatial baseline. Goldstein and Adaptive Window Filters have been used to remove and reduce noise.
As mentioned earlier, Goldstein and Adaptive filters were used in this study, and you will see the main results of these filters below. In principle, the differences between the results of these two widely used filters in the field of radar are discussed. The images have been used in the new 2017 to 2019 returns.
Coherent image is an image that is resulted from the power correlation of two coordinated images. This image shows the correlation index of signal strength values in two images taken at two different times. The value of correlation varies from 0 to 1, which affects the quality of the interferometry process. After interfrogram processing, to determine the average subsidence rate in the time period of the images, the time series analysis method was used with the least squares method. Based on this, the average subsidence rate is equal to 1. 2 cm. Due to subsidence in this area, it is possible to use groundwater resources indiscriminately and reduce rainfall, which has led to a drop in groundwater levels. Of course, the type of cultivation in the region and the weight pressure caused by human structures in this area can be other causes of subsidence. The obtained results showed that the Goldstein filter has subsidence values up to 9 cm in certain ranges and the uplift values up to about 8. 5 cm and the Adaptive filter subsidence has values up to 9. 5 cm in the range and the values of the uplift up to about 8 cm. The reason for the difference in values is the results of these two filters. The Goldstein filter, by manipulating the phases, increases the coherence and the brightness of different parts and is higher and brighter, so the situation is better in this filter. In Adaptive filter, phases are not manipulated, coherence zones remain and the amount of blur is greater in different parts of the image. However, in each picture, the amount of subsidence is significantly observed in the east of the area, which is due to the greater concentration of agricultural activity and the use of groundwater.

3-Results:

There is a close relationship between geological formation and subsidence: the weaker the formation, the more noticeable the subsidence in the area. As can be seen, the subsidence in the alluvial formation is more than the volcanic conglomerate formation and the reason is the hardness of the conglomerate stone. As a result, alluvial rocks, andesite and marl have the most subsidence and latite (volcanic) have the least subsidence. Given that the hypothesis of this research was based on the principle that increasing the amount of groundwater extraction causes subsidence in the region, the relationship between the depth of wells in the area and the amount of subsidence in that area can be a good indicator to assess the accuracy of operations. Therefore, the statistics of piezometric wells in the region have been received from the Regional Water Organization of East Azerbaijan Province. After converting it to Arch GJS software database format, the relationship between subsidence values and piezometric well depths was established using zonal spatial analysis functions. Regression correlation analysis between these two factors showed a positive correlation of 87% between them and the implication is that any place that has a lot of subsidence in it is deeper piezometric wells. This finding confirms the hypothesis of this research that there is a direct and strong relationship between subsidence and groundwater abstraction.

4-Discussion & conclusions

The use of radar interference method in this study introduces a good capacity for its capabilities in determining the amount of subsidence in the study area. Findings from the use of this method showed a relatively high rate of subsidence for about a year. According to the maps, the maximum and minimum subsidence in the mentioned periods are 9.8, 0.6 cm, respectively**.** After entrophagram processing, time series analysis method with least squares method was used to determine the average

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]

subsidence rate in the time period of the images. Based on this analysis, the average subsidence rate is equal to 1.2 cm. One of the causes of subsidence in this area is the indiscriminate use of groundwater resources and reduced rainfall, which has led to a drop in groundwater levels. In the present study, after initial processing on Sentinel-1 satellite data in remote sensing software and GIS, the amount of subsidence in this plain was estimated. Also in this study, both Goldstein and Adaptive filters were used for conducting further investigation. The obtained results indicated that the Goldstein filter has subsidence values up to 9 cm in certain ranges and the uplift values up to about 8.5 cm and the Adaptive filter has the subsidence values up to 9.5 cm in some ranges and uplift values are also shown up to about 8 cm. The reason for the difference in values in the results of these two filters is that the Goldstein filter, by manipulating the phases, increases the coherence rate and the brightness of different parts and the image is brighter, so the situation in this filter improves**.** But this is not the case with the Adaptive filter, and the phases are not manipulated, and in some areas the coherence remains, and the amount of blur is greater in different parts of the image. However, in both images, the amount of subsidence can be seen significantly to the east of the area, which is due to the greater concentration of agricultural activity and the use of groundwater**.**

Key Word: Filter, Water table drop, Harris Plain, Radar images, Subsidence

[DOR: 20.1001.1.22517812.1401.12.1.5.0]