



## استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری (InSAR) جهت بررسی فرونشست زمین در محدوده‌ی سازه‌های مهم دشت جوین کوثر عربی<sup>1</sup>، غلامرضا لشکری پور (نویسنده مسئول)<sup>2</sup>، فهیمه صالحی‌متعهد<sup>3</sup>

1 گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی، مشهد kousar.arabi23@gmail.com

2 گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی، مشهد lashkaripour@um.ac.ir

3 گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی، مشهد fahimehsalehi.m@gmail.com

### چکیده

فرونشست زمین یکی از مخاطرات زمین‌شناختی است که می‌تواند خسارت‌های زیادی به دنبال داشته باشد و به بسیاری از زیرساخت‌ها و سازه‌ها آسیب برساند. مهمترین علت فرونشست زمین برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و افت سطح آب می‌باشد. دشت جوین بزرگترین دشت حاصلخیز غرب خراسان رضوی می‌باشد که وجود 1140 حلقه چاه و برداشت‌های بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و افت سطح آب‌های زیرزمینی این دشت را به یکی از دشت‌های بحرانی استان خراسان رضوی تبدیل کرده است. به دنبال این امر، فرونشست زمین و ایجاد شکاف‌های کششی مرتبط با فرونشست در این دشت مشاهده شده است. برای بررسی فرونشست در این دشت از تکنیک تداخل‌سنجی راداری (InSAR) استفاده شده است. تکنیک تداخل‌سنجی راداری با پوشش وسیع و دقت قابل قبول و قدرت تفکیک بالای تصاویر ماهواره‌ای یکی از مناسبترین روش‌ها برای شناسایی پدیده‌ی فرونشست است. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی Sentinel-1 منتهی به سال 2022 و با استفاده از نرم‌افزار GMTSAR جابجایی سطح زمین در منطقه بررسی گردید و در نرم‌افزار ArcGIS نقشه‌های فرونشست تولید شد. نتایج این پژوهش نشان داد که نرخ سالانه فرونشست در محدوده‌ی مطالعاتی رو به افزایش است و در بخش‌هایی از منطقه به 18 سانتی‌متر در سال رسیده است. بیشتر محدوده‌های پرخطر فرونشست در دشت جوین در مرکز و غرب دشت قرار گرفته است.

### واژه‌های کلیدی

فرونشست، دشت جوین، افت سطح آب، تداخل‌سنجی راداری (InSAR)، تصاویر ماهواره‌ای.

### 1. مقدمه

فرونشست زمین (land subsidence) یکی از پدیده‌های مخرب زمین‌شناختی است که می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیر مالی و جانی به دنبال داشته باشد و به بسیاری از زیرساخت‌ها و سازه‌ها آسیب برساند. علت رخداد این پدیده ممکن است متأثر از عوامل طبیعی و انسانی باشد (فرزین‌کیا و همکاران، 1398). فرونشست به معنی نشست تدریجی و یا پایین رفتن ناگهانی سطح زمین به دلیل تراکم مواد زیرسطحی است که به علت‌های گوناگون رخ می‌دهد. این پدیده در بسیاری از مناطق جهان به دلیل مشکلاتی که ایجاد کرده مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. در دهه‌های اخیر، پدیده فرونشست در بخش وسیعی از دشت‌های ایران به علت خشکسالی اقلیمی و به دنبال آن برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی اتفاق افتاده است. فرونشست سبب بروز خسارت‌های زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی فراوانی شده است (چترسیماب و همکاران، 1399). مهمترین عوامل موثر بر فرونشست زمین شامل افت سطح آب‌های زیرزمینی، انحلال سنگ‌ها و رسوبات، استخراج نفت و گاز و همچنین مواد جامد در طی معدنکاری و تونل‌سازی است (آقایی و توسلی، 1396). با وجود اینکه فرونشست به آرامی و تدریجی گسترش



می‌یابد و مانند مخاطراتی همچون سیل و زلزله خطر ناگهانی و فاجعه باری ندارد اما به طور معمول خسارت‌های ناشی از فرونشست‌ها و شکاف‌های زمین می‌تواند بسیار گسترده و مخرب باشد. فرونشست در عین خسارت‌بار بودن، در مواردی نمود خارجی چندان مشخصی ندارد و بررسی و استخراج آن نیازمند ابزار دقیق است (آتشی، 1396). برای بررسی پدیده‌ی فرونشست از روش‌های گوناگونی مثل شناسایی ویژگی‌های زیر سطحی از طریق مطالعات زمین‌شناسی، هیدرولوژی و ژئوتکنیک و بررسی فرونشست با ابزارهای نقشه برداری و تصاویر ماهواره‌ای که به طور عمده شامل چهار روش ترازبایی دقیق، سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS)، انبساط سنج‌ها و تداخل‌سنجی راداری می‌باشد، استفاده می‌شود (صالحی معتمد، 1398). تکنیک تداخل‌سنجی راداری به عنوان روشی کارآمد در اندازه‌گیری جابه‌جایی سطح زمین می‌باشد. با استفاده از این روش امکان پایش حرکات کوچک سطح زمین به صورت پیوسته، با دقت بالا و در طیف وسیعی امکان‌پذیر است. از این رو در بررسی مخاطرات طبیعی زمین همچون حرکات توده‌های دامنه‌ها، فرونشست، زمین‌لرزه و فعالیت‌های آتشفشانی بسیار متداول شده است. این روش فاز گرفته شده از دو تصویر رادار در دو زمان مختلف را مقایسه و با ایجاد تداخل‌نگار یا اینترفروگرام، قادر به اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین در دوره‌ی زمانی است (عابدینی و محمدزاده شیشه‌گران، 1401). به عبارتی در این روش فازهای دو تصویر راداری که از یک منطقه در دو زمان مختلف اخذ شده‌اند، با یکدیگر مقایسه می‌شوند و تغییرات سطح زمین در آن بازه‌ی زمانی تعیین می‌شود. فاز اخذ شده از یک عارضه بر روی سطح زمین متناسب با فاصله آن تا سنجنده راداری است. بنابراین ایجاد تغییر در این فاصله بر روی فاز اندازه‌گیری شده اثر می‌گذارد (صالحی و همکاران، 1390). استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری INSAR این امکان را فراهم می‌آورد با دقت بالا، در مناطق وسیع و در تمام ساعات شبانه روز تغییرات در حد میلی‌متر بررسی و شناسایی شوند. از محدودیت‌های این روش این است که مدار و شرایط هندسی اخذ تصاویر ثابت است که این امر سبب کاهش انسجام در اخذ تصاویر می‌شود (امینی و مستوفی، 1401).

مطالعات متعددی در زمینه‌ی پدیده‌ی فرونشست و استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری در بررسی فرونشست انجام شده است که از جمله جدیدترین آن‌ها می‌توان به مطالعات فاضل مجتهدی (1395)، آقایی و توسلی (1396)، فتح الهی و همکاران (1397)، موسوی و همکاران (1398)، کوهبنانی و همکاران (1398)، حاجب و همکاران (1398)، قذمی (1399)، پورابراهیم (1400)، مسلمزاده و همکاران (1400)، محمدی فتح‌آباد (1400) و جعفری (1400) امینی و مستوفی (1401) و ملکی و همکاران (1402) در ایران اشاره کرد.

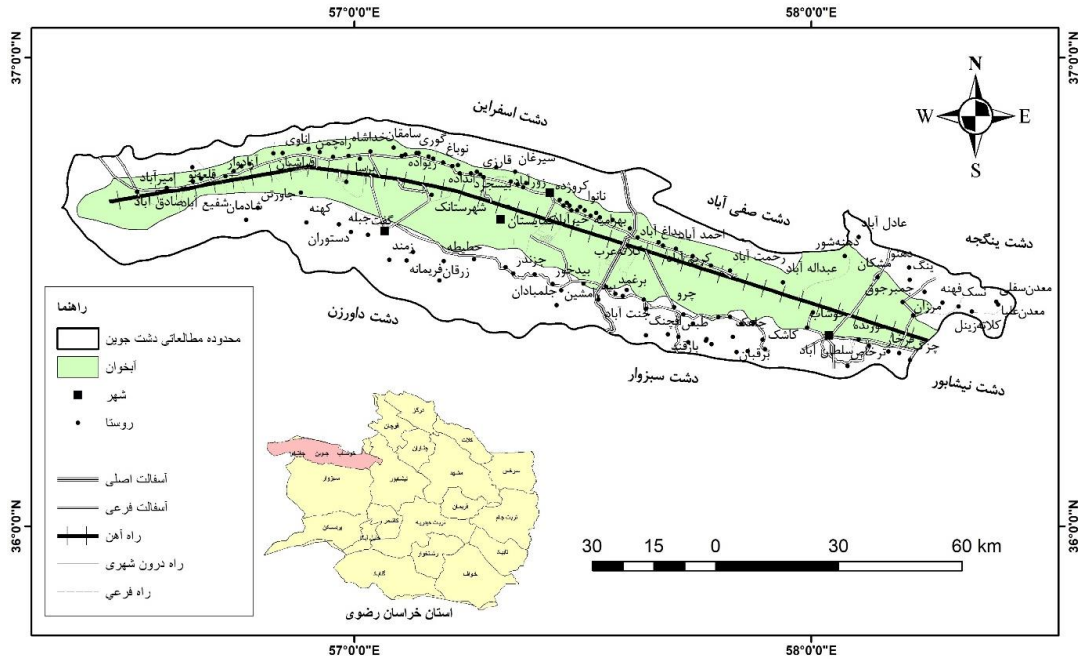
مطالعات (Fernandez- Herrera et al., (2020)، Khorami et al., (2019)، Liiosis et al., (2018)، Lin et al., (2016)، Wang et al., (2021)، Akbari, (2021)، Bagheri et al., (2021)، Dehghani Bidgoli (2020)، Torres et al., (2020) نمونه‌هایی از مطالعات پدیده‌ی فرونشست در جهان می‌باشند.

## 2. روش پژوهش

منابع موجود مرتبط با پژوهش شامل گزارشات، مقالات و نقشه‌های مرتبط با فرونشست زمین در دشت جوبین و خصوصیات زمین‌شناسی منطقه جمع‌آوری، بررسی و مطالعه شده است. سپس تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از اطلاعات ماهواره Sentinel\_A1 جمع‌آوری گردید. برای تهیه نقشه فرونشست از روش تداخل‌سنجی راداری (InSAR) و نرم‌افزار GMTSAR استفاده شده است. پس از تهیه تداخل‌نگار یا اینترفروگرام (Interferogram) و به منظور تعیین جابه‌جایی سطح زمین در زمان‌های مختلف از تحلیل سری زمانی (SBAS) داده‌های تداخل‌سنجی راداری استفاده می‌شود. در آخر با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS نقشه پهنه‌بندی فرونشست تهیه و مناطق با ریسک بالا شناسایی شد و علت نشست مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

## 3. موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

دشت جوبین در شمال شهرستان سبزوار و غرب خراسان رضوی در طول  $30^{\circ} 56'$  تا  $30^{\circ} 58'$  طول شرقی و  $36^{\circ} 15'$  تا  $36^{\circ} 45'$  عرض شمالی واقع گردیده است. این دشت از شمال به کوه‌های ساتیل میش، هرده جوبین، رشته اسفراین، کوه مراد و شهرستان اسفراین (خراسان شمالی) از شمال شرق به ارتفاعات بزغاله‌کش، از شرق به کوه گرماب و شهرستان خوشاب، از جنوب به ارتفاعات جغتای و شهرستان سبزوار، از غرب و شمال غرب به شهرستان جاجرم (خراسان شمالی) محدود می‌شود. وسعت کل حوضه آبریز دشت بالغ بر  $6120$  کیلومتر مربع که  $3500$  کیلومتر مربع آن دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهند (فرزین‌کیا، 1398). چینه‌شناسی دشت جوبین به صورت کلی با رخنمون واحدهای زمین‌شناسی همچون آهک، دولومیت، شیل و مارن‌های دوران اول آغاز و با آبرفت‌های جوان کواترنری و پهنه‌های رسی و شنی خاتمه پیدا می‌کند. این منطقه از نظر ساختمانی یک گرابن می‌باشد که توسط دو رشته ارتفاعات واقع در شمال و جنوب آن احاطه شده است. ارتفاعات جنوبی از اندزیت بازالت، افیولیت، توف و در حاشیه دشت از کنگلومرا و مارن تشکیل شده‌اند. ناحیه شمالی نیز از ارتفاعات تشکیل شده است اما نسبت به بخش جنوبی کم ارتفاع‌تر هستند. در هر دو بخش روند ارتفاعات و ساختمان‌ها شرقی غربی است. بخش میانی دشت جوبین را جلگه آبرفتی با وسعت  $3657$  کیلومتر مربع تشکیل داده که در حد فاصل دو بخش شمالی و جنوبی قرار دارد و سطح منطقه توسط سازندهای نرم آبرفتی کواترنری پوشیده می‌شود (متولی‌زاده‌کاخکی، 1391). در شکل 1 موقعیت جغرافیایی دشت جوبین در استان خراسان رضوی نشان داده شده است.

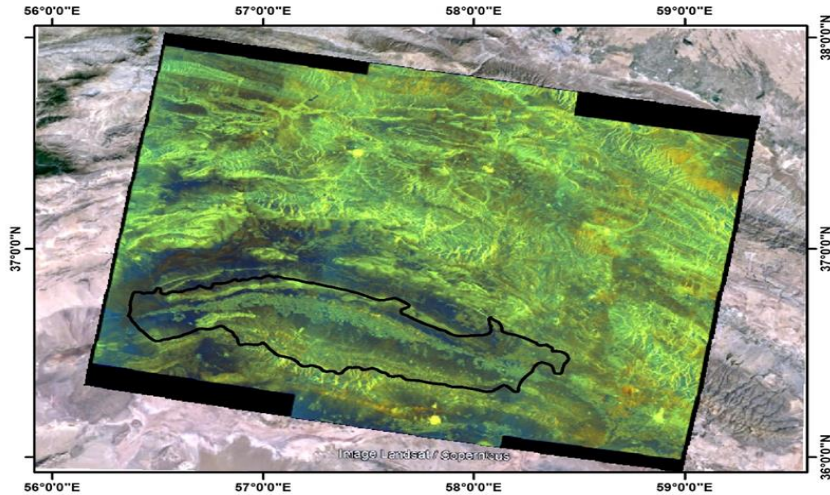


شکل 1. موقعیت جغرافیایی محدوده دشت جوبین

#### 4. بررسی فرونشست با استفاده از روش تداخل سنجی راداری

در سال‌های اخیر تکنیک تداخل سنجی راداری به عنوان یکی از کارآمدترین و اقتصادی‌ترین روش‌ها برای نمایش، شناسایی و اندازه‌گیری تغییرات زمین مورد توجه قرار گرفته است. این روش با پوشش وسیع و دقت قابل قبول و قدرت تفکیک بالای تصاویر رادار در مطالعه پدیده‌هایی همچون فرونشست، زلزله، زمین لغزش و جابجایی سایت‌های زمین‌گرایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرکانس بالای مشاهدات مکانی و زمانی روش تداخل سنجی راداری، دید جامعی از فرآیند تغییر شکل را در اختیار قرار می‌دهد. همچنین این روش باعث صرفه جویی در زمان و هزینه نیز می‌گردد (مقصودی و همکاران، 1398). با استفاده از فناوری تداخل سنجی راداری، امکان بررسی حرکات کوچک سطح زمین به صورت پیوسته، با دقت بالا و در گستره وسیع امکان پذیر شده است (محمدی فتح‌آباد، 1400). یک سیگنال راداری با دریچه مصنوعی از دو قسمت دامنه و فاز تشکیل شده است. دامنه، قدرت سیگنال برگشتی و فاز کسری از یک سیگنال کامل موج سینوسی می‌باشد. فاز در تصاویر راداری از طریق فاصله بین آنتن‌های سنجنده و عارضه زمین مشخص می‌شود. فاز یک تصویر منفرد آنچنان اطلاعات مفیدی ندارد اما تفاوت فاز در یک زوج تصویر هم مرجع و همدوس اطلاعات دقیق و با ارزشی در اختیار می‌گذارد (Dehghani Bidgoli et al., 2020). نرم‌افزار GMTSAR تحت سیستم عامل لینوکس می‌باشد و داده‌های ماهواره‌ای SAR را با کیفیت بالا و به صورت کاملاً رایگان پردازش می‌کند. در ابتدا تصاویر از سایت کوپرنیکوس دانلود می‌شود و از آنجا که این نرم‌افزار با عملکرد داخلی تصاویر سازگاری دارد، پردازش بر طبق فرمت تصاویر ورودی به نرم‌افزار صورت می‌گیرد. مرحله‌ی بعد با استفاده از shell script کدهای کامپایل شده تحت زبان C مدیریت می‌شود. این کار برای تنظیم شدن دو یا تعداد بیشتری تصویر با یکدیگر ضروری است. بنابراین تاخیر فاز هر تصویر slave (تصویر دوم یا پیرو) با تصویر master (تصویر اول یا پایه) قابل مقایسه است. در مرحله بعد نرم‌افزار یک مدل ارتفاعی زمین (DEM) از منطقه ایجاد کرده (برای حذف فاز ناشی از توپوگرافی به کار برده می‌شود) تا با داده‌های به دست آمده از مرحله‌ی قبل مقایسه کند. برای ایجاد تداخل‌نگار از فیلترهایی، بسته به نیاز تداخل‌نگار استفاده می‌شود. و در نهایت با تبدیل تمام داده‌های محاسبه شده به داده‌های قابل فهم، کار پردازش با این نرم‌افزار به پایان می‌رسد (Uys, 2016).

برای بررسی میزان فرونشست دشت جوبین از تصاویر راداری سنجنده Sentinel-1 با مدار تصویربرداری پایین‌گذر یا Descending و نوع IW از تاریخ 2021/12/27 (6 دی 1400) تا تاریخ 2022/12/10 (19 آذر 1401) استفاده شده است. شکل 2 موقعیت دشت جوبین را در یک تصویر ماهواره‌ای Sentinel-1A نشان می‌دهد.



شکل 2. موقعیت دشت جویین در تصویر ماهواره ای Sentinel-1A مربوط به تاریخ 2022/07/31

با انجام روش تداخل سنجی راداری بر روی 15 تصویر ماهواره‌ای، 23 تداخل‌نگار در نرم‌افزار GMTSAR ایجاد شد. هر تداخل‌نگار به صورت جدا تغییرات سطح در یک بازه‌ی زمانی را نشان می‌دهد. با استفاده از تعدادی تداخل‌نگار و با روش SBAS (تحلیل سری زمانی) می‌توان تغییرات سطح زمین را در زمان مورد نظر به دست آورد. بعد از این مرحله‌ی نقشه‌ی نرخ متوسط فرونشست تولید می‌شود که نشان دهنده‌ی محدوده‌های فرونشست و محدوده‌های دارای بیشترین و کمترین میزان فرونشست می‌باشد.

## 5. نتایج و بحث

دشت جویین دارای سازه‌های مهمی می‌باشد که با خطر فرونشست روبه‌رو هستند. راه آهن سراسری مشهد-تهران که 170 کیلومتر آن در کل دشت کشیده شده است یکی از مهمترین سازه‌های خطی دشت محسوب می‌شود. جاده‌ی اصلی که در این دشت قرار دارد و باعث مرتبط کردن شهرها و روستاها در دشت جویین می‌باشد، از غرب به شرق جاده جویین جاجرم، جاده جویین و جاده جویین‌کریم آباد نام دارد، که از سازه‌های خطی مهم دیگر واقع در دشت می‌باشد. سازه‌های خطی به صورت جدی در معرض فرونشست هستند و ایجاد فرونشست نامتقارن به این معنی که قسمتی از سازه که در محدوده‌های با مقدار بالای فرونشست است بیشتر فرو می‌نشیند و قسمت‌های دیگر کمتر فرو می‌نشیند و باعث ترک و شکاف می‌شود. سازه‌های مهم دیگر دشت شامل کارخانجاتی همچون شرکت کشت و صنعت جویین، کارخانه قند جویین، کارخانه موتورهای الکتریکی جویین (جمکو)، کارخانه پارس فولاد سبزواری می‌باشد. بیمارستان قمر بنی هاشم و سازه‌های تاریخی واقع در دشت جویین مثل مسجد تاریخی آق قلعه، مسجد خسرو شیر جغتای، آرامگاه خواجه نجم الدین کبری، آرامگاه سعد الدین حموی جوینی، آرامگاه معین الدین جوینی، بقعه هفت معصوم کروژده، بقعه امام زاده قاسم جویین و امام زاده سید احمد بیدخور نیز از جمله سازه‌هایی هستند که در معرض خطر فرونشست قرار دارند.

### 1.5. بررسی فرونشست در مسیر خط راه آهن در دشت جویین

ایستگاه‌های راه آهن در دشت جویین از غرب به شرق شامل ایستگاه جاجرم، آزادوار، سنخواست، جویین، نقاب، امام رضا و اسفراین می‌باشد. در شکل 3 فرونشست و محدوده‌های آن و قرار گرفتن راه آهن در مناطق فرونشست نشان داده شده است. ایستگاه‌های واقع در دشت که در نقشه مشخص شدند در چند محدوده‌ی فرونشستی به صورت زیر تقسیم‌بندی شدند.

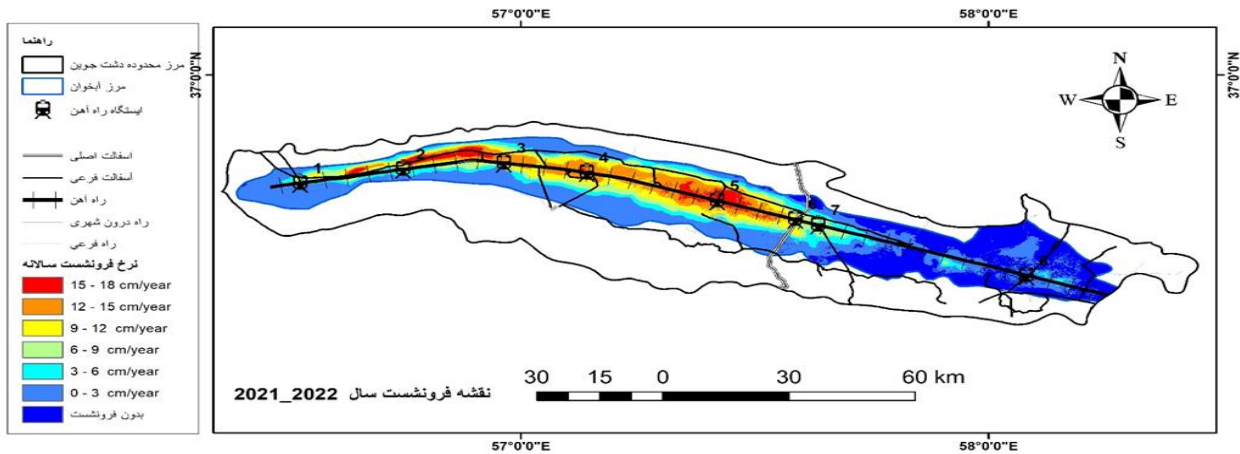
بدون فرونشست: ایستگاه سبزواری در شرق دشت در محدوده‌ی فرونشست قرار نگرفته است.

فرونشست 0 تا 3: ایستگاهی در این محدوده‌ی فرونشستی قرار نگرفته است.

فرونشست 3 تا 6 سانتی‌متر: ایستگاه‌های جاجرم، آزادوار و اسفراین در محدوده‌ی فرونشستی 3 تا 6 سانتی‌متری قرار گرفته‌اند.

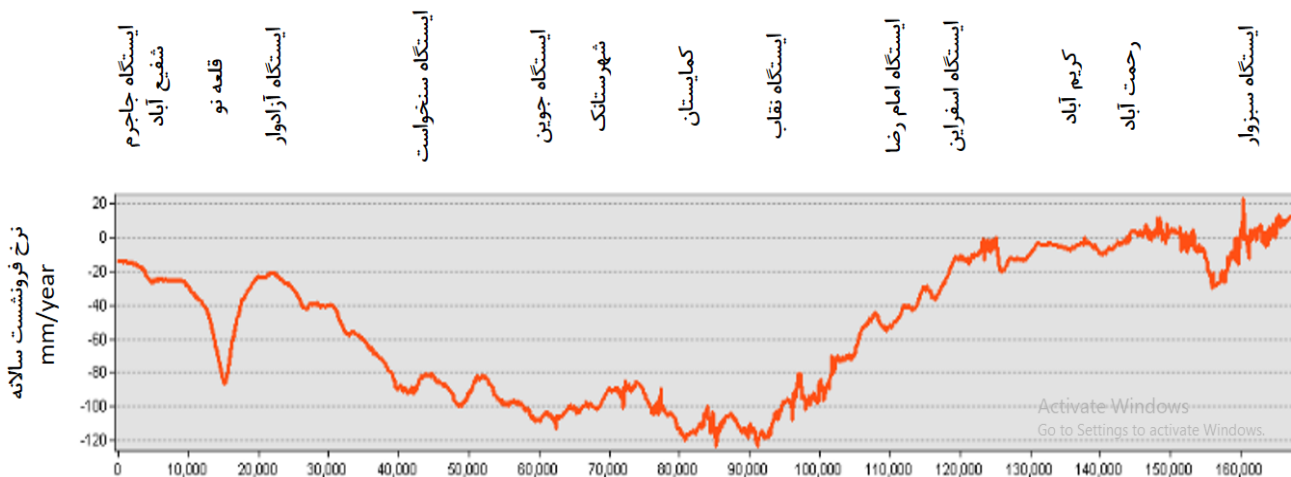


فرونشست 6 تا 9 سانتی‌متر: ایستگاه‌های سنخواست و امام رضا در محدوده‌ی فرونشستی 6 تا 9 سانتی‌متری قرار گرفته‌اند.  
 فرونشست 9 تا 12 سانتی‌متر: ایستگاه‌های جوین و نقاب در در محدوده‌ی فرونشستی 9 تا 12 سانتی‌متری قرار دارند.



شکل 3. نقشه فرونشست و راه آهن در سال 1400-01

شکل 4 پروفیل طولی فرونشست در راستای راه آهن را نشان می‌دهد که نرخ فرونشست در محل ایستگاه‌های راه آهن و بعضی از روستاهای نزدیک به راه آهن مشخص می‌باشد. ایستگاه نقاب دقیقاً در مرکز محدوده‌ی فرونشستی واقع شده است و بیشترین فرونشست را در میان ایستگاه‌ها دارد. راه آهن سراسری مشهد- تهران که 170 کیلومتر آن در کل دشت کشیده شده است با خطر جدی فرونشست روبه رو می‌باشد. به ویژه در محدوده‌هایی که کاهش فرونشست و مجدد افزایش ناگهانی فرونشست مشاهده می‌شود احتمال ایجاد ترک و شکاف در مسیر بیشتر است.

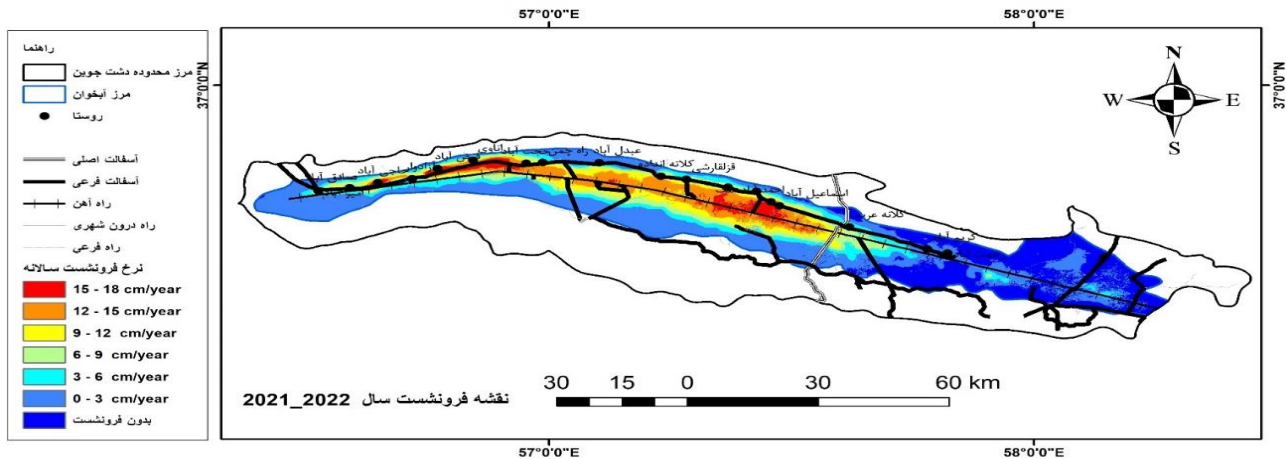


شکل 4. پروفیل طولی فرونشست در مسیر راه آهن دشت جوین در سال 1400-01

2.5. بررسی فرونشست در مسیر جاده‌ی اصلی در دشت جوین

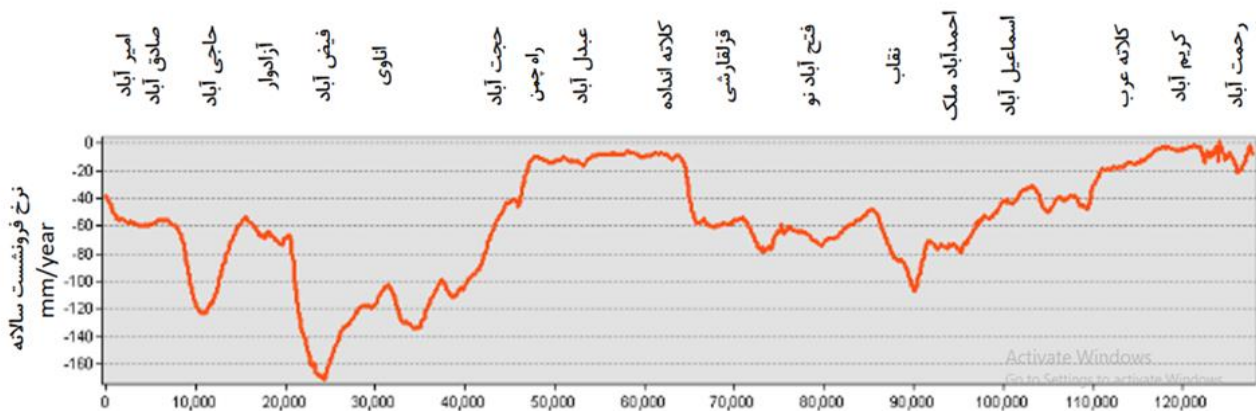


جاده‌ها نیز سازه‌های خطی مهم در دشت هستند. جاده‌ی اصلی که در این دشت قرار دارد و باعث مرتبط کردن شهرها و روستاها در دشت جوین می‌باشد، از غرب به شرق جاده جوین جاجرم، جاده جوین و جاده جوین کریم آباد نام دارد. این جاده‌ها نیز در محدوده‌ی فرونشست قرار گرفته اند. در شکل 5 نقشه فرونشست و راه‌های مواصلاتی دشت جوین همراه با روستاهای مهم مسیر جاده که در معرض فرونشست قرار دارند نشان داده شده است.



شکل 5. نقشه فرونشست و راه‌های دشت جوین در سال 1400-01

شکل 6 پروفیل طولی در مسیر جاده‌ی اصلی دشت جوین را نشان می‌دهد. این پروفیل به صورت واضح و دقیق فرونشست نامتقارن که آسیب بسیار زیادی به سازه‌های خطی وارد می‌کند را نشان می‌دهد. با توجه به پروفیل تمام جاده در محدوده‌ی فرونشستی قرار گرفته که از آن بین محدوده‌ی عبدالآباد خیلی کم در معرض فرونشست می‌باشد. در محدوده‌هایی که کاهش فرونشست و مجدد افزایش ناگهانی فرونشست مشاهده می‌شود احتمال ایجاد ترک و شکاف در جاده بیشتر است. به طور مثال در محدوده‌ی بین روستاهای حاجی‌آباد و آزادوار و محدوده‌ی بین روستاهای فیض‌آباد و اناوی احتمال ترک در جاده افزایش پیدا می‌کند.



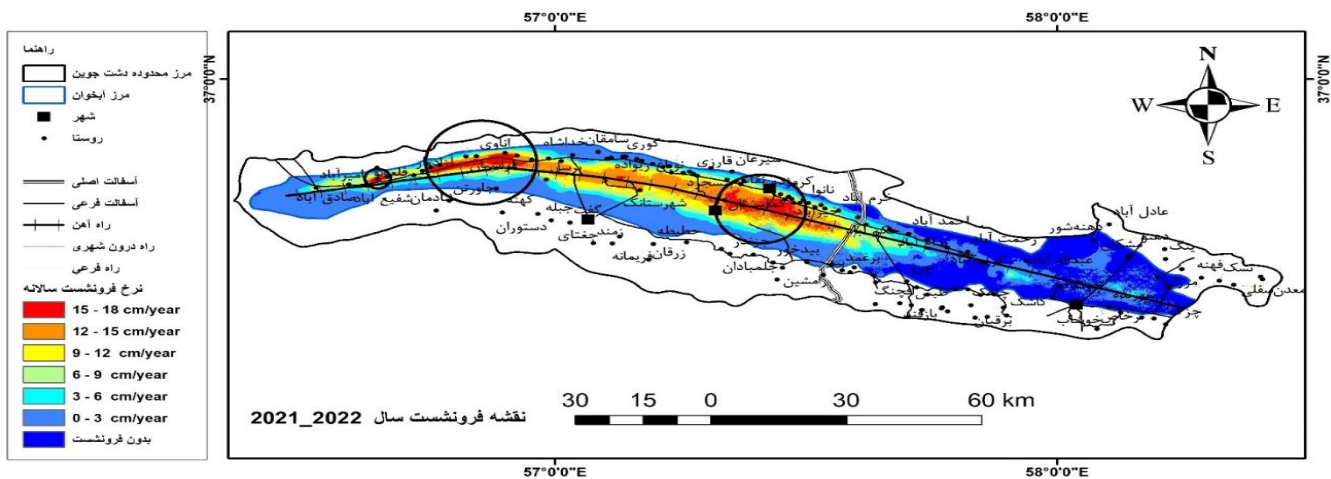
شکل 6 پروفیل طولی فرونشست در مسیر جاده اصلی دشت جوین در سال 1400-01

### 3.5. بررسی فرونشست در محدوده‌های جمعیتی شهر و روستا در دشت جوین

فرونشست و محدوده‌های آن و قرار گرفتن شهرها و روستاها در مناطق پر خطر فرونشست بررسی و تحلیل شده است. در شکل



7 نقشه‌ی فرونشست دشت جوین همراه با سه محدوده که بیشترین خطر فرونشست را دارند مشخص شده است. از غرب به شرق اولین محدوده شامل روستاهای قلعه نو، حاجی‌آباد و عبدالآباد می‌باشد که بیشترین نرخ فرونشست سالانه در این محدوده در سال 2021-2022 (01-00) به 13 سانتی‌متر رسیده است. محدوده‌ی بعدی روستاهای خلیل‌آباد، حسین‌آباد، فیض‌آباد، فراشیان، اناوی، گلشن‌آباد، محمدآباد گغت و حجت‌آباد را شامل می‌شود که بیشترین نرخ فرونشست سالانه در این محدوده نیز 13 سانتی‌متر را نشان می‌دهد؛ و محدوده‌ی بعدی فرونشست که تعداد بیشتری شهر و روستا را در مرکز دشت در خود جای داده شامل شهرهای نقاب و جوین و روستاهای کامیستان، فتح‌آباد نو، کلانه میمری، حاجی‌آباد حاج صف، کروژده، احمدآباد ملک، اسماعیل‌آباد، عباس‌آباد ملک، خیرآباد و عباس‌آباد عرب می‌باشد که بیشترین نرخ فرونشست سالانه در این محدوده 11 سانتی‌متر نشان داده شده است.



شکل 7. نقشه فرونشست و قرار گرفتن شهرها و روستاها در محدوده در سال 1400-01

#### 4.5. بررسی فرونشست در محدوده‌ی سازه‌های مهم دشت جوین

سازه‌های مهم دشت به ترتیبی که در نقشه مشخص شده است شامل شرکت کشت و صنعت جوین، کارخانه قند جوین، کارخانه موتورهای الکتریکی جوین (جمکو)، کارخانه پارس فولاد سبزواری، بیمارستان قمر بنی هاشم، مسجد تاریخی آق قلعه، مسجد خسرو شیر جغتای، آرامگاه خواجه نجم الدین کبری، آرامگاه سعد الدین حموی جوینی، آرامگاه معین الدین جوینی، بقعه هفت معصوم کروژده، بقعه امام زاده قاسم جوین و امام زاده سید احمد بیدخور می‌باشند که فرونشست و قرار گرفتن سازه‌های مهم دشت در مناطق فرونشست در شکل 8 نشان داده شده است. سازه‌های واقع در دشت، در چند محدوده‌ی فرونشستی به صورت زیر تقسیم‌بندی شدند.

بدون فرونشست: امام زاده سید احمد بیدخور و آرامگاه خواجه نجم الدین کبری تنها سازه‌هایی هستند که هنوز در محدوده‌ی فرونشستی قرار ندارند.

فرونشست 0 تا 3: سازه‌های آرامگاه معین الدین جوینی و مسجد خسرو شیر جغتای در محدوده‌ی فرونشست 0 تا 3 سانتی‌متر مشاهده می‌شوند.

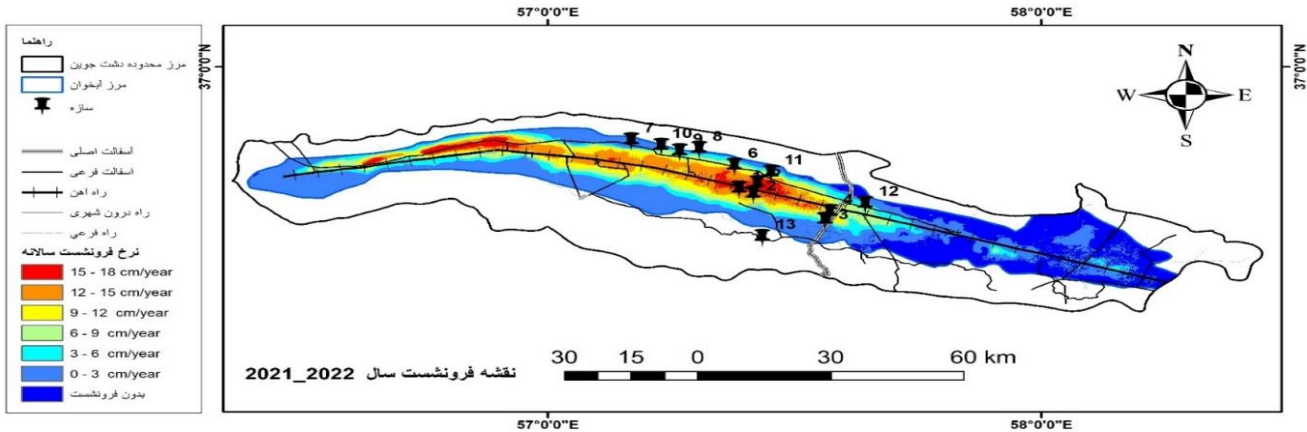
فرونشست 3 تا 6 سانتی‌متر: آرامگاه سعد الدین حموی جوینی، کارخانه موتورهای الکتریکی جوین (جمکو) و بقعه امام زاده قاسم جوین در محدوده‌ی فرونشست 3 تا 6 سانتی‌متر مشاهده می‌شوند.

فرونشست 6 تا 9 سانتی‌متر: سازه‌های بقعه هفت معصوم کروژده، کارخانه پارس فولاد سبزواری و مسجد تاریخی آق قلعه در محدوده‌ی فرونشست 6 تا 9 سانتی‌متر مشاهده می‌شوند.

فرونشست 9 تا 12 سانتی‌متر: کارخانه قند جوین سازه‌ای است که در محدوده‌ی فرونشست 9 تا 12 سانتی‌متر مشاهده می‌شود.



فرونشست 12 تا 14 سانتی‌متر: شرکت کشت و صنعت جوین و بیمارستان قمر بنی هاشم در مرکز دشت و در محدوده فرونشست 12 تا 14 سانتی‌متر مشاهده می‌شوند.



شکل 9. نقشه فرونشست و سازه‌های مهم دشت در سال 1400-01

#### 6. نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ی Sentinel-1 با تکنیک تداخل سنجی راداری در نرم‌افزار GMTSAR فرونشست در منطقه مورد مطالعه بررسی شده است. تکنیک تداخل‌سنجی راداری (InSAR) با پوشش وسیع و دقت قابل قبول و قدرت تفکیک بالای تصاویر ماهواره‌ای یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای شناسایی پدیده‌ی فرونشست است. با انجام روش تداخل‌سنجی راداری نقشه تغییرات ارتفاعی دشت جوین ترسیم گردید. این نقشه نشان محدوده‌های دارای بیشترین و کمترین میزان فرونشست در دشت را مشخص نموده است. با استفاده از تصاویر موجود منتهی به سال 2022 بررسی شده بیشترین فرونشست در محدوده‌ی مطالعاتی حدود 18 سانتی‌متر در سال می‌باشد. بیشترین مقدار فرونشست در غرب دشت و همچنین در مرکز دشت جوین دیده می‌شود. سازه‌های مهم در دشت جوین در معرض خطر فرونشست قرار دارند که از میان آن‌ها راه آهن سراسری با عبور در کل دشت بیشتر در معرض خطر می‌باشد.

#### منابع

آنتشی، ب.، (۱۳۹۶)، "مطالعه شواهد و تاثیرات موفقولوژیکی مخاطره فرونشست بر تاسیسات و ساختمان های مسکونی (مطالعه موردی: منطقه ۱۹ تهران)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته ژئومورفولوژی گرایش هیدروژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد.

آقایی، س.ع.، توسلی، س.، (1396)، "فرونشست زمین، عوامل مؤثر بر ایجاد آن، چالشها و روشهای ارزیابی(با تاکید بر فرونشست دشت نیشابور)"، دومین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست شهر مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، صص 41 تا 48.

امینی، آ.، مستوفی، ن.، (1401)، "پایش فروچاله‌های شهر کبودرآهنگ همدان با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری" جغرافیا و روابط انسانی، دوره 5، شماره 1، صص 139-157.

پورابراهیم، س.، (1400)، "مدلسازی GIS پایه آسیب پذیری شبکه‌های آب و فاضلاب شهری از نظر خطر فرونشست زمین در شهر تبریز"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.

جعفری، م.، (1400)، "بررسی فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی راداری مطالعه موردی: دشت اشتهارد کرج"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.

چترسیماب، ز.، آل شیخ، ع.ا.، وثوقی، ب.، بهزادی، س.، مدیری، م.، (1399)، "بررسی تاثیر جنس آبخوان و افت تراز آب زیرزمینی در میزان فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و داده‌های صحرایی (مطالعه موردی: حوزه آبخوان





- تهران-کرج-شهریار)، " مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، دوره 95، شماره 3، صص 683 تا 689.
- حاجب، ز.، موسوی، ز.، معصومی، ز.، رضایی، ا.، (1398)، " مطالعه فرونشست دشت قم با استفاده از تداخل سنجی راداری و ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان"، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و هشتم، شماره 114، صص 251-258.
- صالحی، ر.، لشکری پور، غ.ر.، غفوری، م.، دهقانی، م.، (1390)، " بررسی فرونشست دشت مہیار جنوبی و تأثیر شکاف‌های ناشی از آن بر زمین‌های کشاورزی"، هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شاهرود، صص 95\_125.
- صالحی متعهد، ف.، (1398)، " ارزیابی و پیش‌بینی فرونشست زمین در شهر مشهد ناشی از نوسانات سطح آب زیرزمینی"، رساله دکتری، رشته زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد.
- عابدینی، م.، محمدزاده شیشه‌گران، م.، (1401)، " ارزیابی زمین لغزش با استفاده از تصاویر راداری و تداخل سنجی راداری منطقه موردی: حوضه نیرچای"، مطالعات علوم محیط زیست، دوره هفتم، شماره سوم، صص 5161-5171.
- فاضل‌مجتهدی، س. ف.، (1395)، " بررسی فرونشست دشت اردبیل با توجه به تغییرات سطح آب زیرزمینی و نوسانات جوی"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.
- فتح الهی، ن.، آخوندزاده هنزائی، م.، بحرودی، ع.، (1397)، " بررسی فرونشست زمین در اثر استخراج مواد نفتی با استفاده از روش تداخل سنجی رادار"، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره 27، شماره 105 - شماره پیاپی 105، صص 23-34.
- فرزین‌کیا، ر.، (1398)، " تحلیل و ارزیابی فرونشست زمین و ارتباط آن با دوالیتی در دشت جوین"، رساله دکتری، رشته ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری.
- فرزین‌کیا، ر.، زنگنه‌اسدی، م.ع.، امیراحمدی، ا.، زندی، ر.، (1398)، " ارتباط فعالیت‌های تکتونیکی و تأثیر آن در فرونشست زمین در حوضه ی آبریز دشت جوین"، دوره 5، شماره 20، صص 165.
- قدمی، ا.، (1399)، " تعیین نرخ فرونشست زمین با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای در دشت دامغان"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان.
- کوه‌بنانی، ح.ر.، یزدانی، م.ر.، حسینی، ک.، (1398)، " پهنه بندی گستره خطر فرونشست زمین با بهره‌گیری از تداخل‌سنجی راداری (مطالعه موردی: دشت کاشمر و خلیل‌آباد)"، نشریه علمی-پژوهشی مدیریت بیابان، شماره 13، صص 65-76.
- متولی‌زاده کاخکی، م.، (1391)، " شبیه‌سازی نفوذ با استفاده از مدل HYDRUS-1D مطالعه موردی: دشت جوین سبزوار"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- محمدی فتح‌آباد، ا.، (1400)، " ارزیابی داده‌های راداری سنتینل-1 در برآورد نرخ فرونشست زمین مبتنی بر فن پراکنش‌کننده-های دائمی بر اساس الگوریتم SNAP2 StaMPS (منطقه موردی آبخوان هرات)"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد.
- مسلم‌زاده، ا.، معماریان خلیل‌آباد، ه.، تاجبخش فخرآبادی، م.، اکبری، م.، (1400)، " استفاده از تداخل سنجی راداری داده‌های ماهواره سنتینل-1 در ارزیابی فرونشست زمین در دشت کاشمر"، دومین همایش بین‌المللی علم اطلاعات جغرافیایی بنیادها و کاربردهای بین‌رشته‌ای، صص 1-12.
- مقصودی، ی.، امانی، ر.، احمدی، ح.، (1398)، " بررسی رفتار فرونشست زمین در منطقه غرب تهران با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل-1 و تکنیک تداخل سنجی راداری مبتنی بر پراکنشگرهای دائمی"، انجمن علوم و مهندسی منابع آب، سال پانزدهم، شماره 1، صص 313 تا 788.
- ملکی، ر.، خاوریان نهزک، ح.، اصغری سراسکانرود، ص.، (1402)، " اندازه‌گیری مقدار فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی: مناطق زلزله زده غرب کرمانشاه)"، مجله مخاطرات طبیعی، دوره 12، شماره 38، شماره پیاپی 4، صص 1-1.
- موسوی، م.، جعفری، ه.، مؤمنی، ع.، ا.، سپهری، ج.، (1398)، " بررسی فرونشست زمین ناشی از برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی در دشت کردی شیرازی، استان هرمزگان"، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره 22، صص 95 تا 110.



- Akbari, M., (2021), "Monitoring land subsidence due to geological and water resources factors using Differential Radar Interferometry method (Case Study: Arak city) ", Journal of water and soil resources conservation, Volume 10, Issue 3, Pages 115-132.
- Bagheri-Gavkosh, M., Hosseini, M., Ataie-Ashtiani, B., Sohani, Y., Ebrahimian, H., Morovat, F., Ashrafi, Sh., (2021), " Land subsidence: A global challenge", Volume 778, pages 146\_193.
- Dehghani Bidgoli, R., Koohbanani, H., & Yazdani, M.. (2020), "Subsidence Mapping caused by over exploitation of Underground Water in Semnan Plain Using Sentinel-1A .IW TOPS Interferometry", Irrigation and Water Engineering, 10(3): pages 175-187.
- Fernández-Torres, E., Cabral-Cano, E., , Solano-Rojas, D., Havazli, E., Salazar-Tlaczani, L., (2020), "Land Subsidence risk maps and InSAR based angular distortion structural vulnerability assessment: an example in Mexico City ", Proceedings of IAHS ,Volume 382, PIAHS, 382, 583–587.
- Herrera-García, G., Ezquerro, P., Tomás, R., Béjar-Pizarro, M., López-Vinielles, J., Rossi, M., M.Mateos, R., Carreón-Freyre, D., Lambert, J., Teatini, P., Cabral-Cano, E., Erkens, G., Galloway, D., Hung, W., Kakar, N., Sneed, M., Tosi, L., Wang, H., Ye, Sh., (2020), " Mapping the global threat of land subsidence ", volume 371, Issue 6524.
- Khorrami, M., Alizadeh, B., Ghasemi Tousi, E., Shakerian, M., Maghsoudi, M., Rahgozar, P., (2019), " How Groundwater Level Fluctuations and Geotechnical Properties Lead to Asymmetric Subsidence: A PSInSAR Analysis of Land Deformation over a Transit Corridor in the Los Angeles Metropolitan Area", Journals Remote Sensing, Volume 11, Issue 4.
- Lin, B., Liming, J., Hansheng, W., Qishi, S., (2016), "Spatiotemporal Characterization of Land Subsidence and Uplift (2009–2010) over Wuhan in Central China Revealed by TerraSAR-X InSAR Analysis", Journals Remote Sensing, Volume 8, Issue 4.
- Liosis, N., Marpu, P.R., Pavlopoulos, K., Ouarda, T. B., (2018), "Ground subsidence monitoring with SAR interferometry techniques in the rural area of Al Wagan", UAE. Remote Sensing of Environment, Volume 216, pages 276-288.
- Wang GY, You G, Shi B, Yu J and Tuck M, (2008)," Long-term land subsidence and strata compression in changzhou, China", Engineering Geology, Volume 104, page 109-118.
- Uys D, (2016)"InSAR: an introduction," Preview, vol. 2016, no. 182, pp. 43-48.

### **Utilizing radar interferometric technique (InSAR) to examine ground subsidence in the vicinity of significant infrastructure in Jovein Plain**

**Kousar Arabi, Gholam Reza Lashkaripour<sup>\*2</sup>, Fahimeh Salehi Moteahd<sup>3</sup>**

- 1- Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, kousar.arabi23@gmail.com.
- 2- Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, lashkaripour@um.ac.ir.
- 3- Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, fahimehsalehi.m@gmail.com.

### **Abstract**



Land subsidence poses a significant geological hazard, leading to extensive damage to infrastructure and buildings. The excessive extraction of groundwater and subsequent decline in water levels stands as the primary cause of this phenomenon. The Jovein Plain, situated in the western region of Razavi Khorasan, is notably affected by this issue due to the presence of 1140 wells and the substantial depletion of underground water resources. Consequently, the plain has become a critical area within the Khorasan Razavi province. This has resulted in land subsidence and the emergence of tensile cracks associated with the escarpment in the plain. To investigate this subsidence, the InSAR technique, which utilizes radar interferometry, has been employed. This method, leveraging wide coverage, high accuracy, and the high resolution of satellite imagery, stands as one of the most suitable approaches for identifying and monitoring land subsidence phenomena. By utilizing Sentinel-1 satellite images up to 2022 and leveraging GMTSAR software, researchers conducted an investigation into the displacement of the earth's surface within the region. Subsequently, subsidence maps were generated using ArcGIS software. The findings of this study revealed that the annual rate of subsidence in the area is on the rise, reaching up to 18 cm per year in certain parts of the region. Furthermore, it was observed that the majority of high-risk subsidence areas in the Jovein Plain are situated in the central and western sectors of the plain.

**Key words:** subsidence, Jovein Plain, Water level drop, Radar interferometry (InSAR), Satellite images.