

## تعیین میزان فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری

### (مطالعه موردی: شریان‌های حمل و نقلی منطقه غرب شهر کرمان)

#### مقاله پژوهشی

محمد محمدحسینی\*، استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

بهناز شیخ شریعتی کرمانی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان،

کرمان، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: M.Mohammadhasani@bhrc.ac.ir

دریافت: ۹۹/۰۹/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۵

صفحه ۹۰-۷۵

#### چکیده

فرونشست ناشی از ازدیاد بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی نسبت به توان ترمیمی آن در برخی نواحی داخلی ایران. سابقه طولانی دارد. در سال‌های اخیر، فرونشست زمین باعث بروز مخاطره جدی محیطی در دشت‌ها و مناطق مختلف ایران شده است. فرونشینی سطح زمین از جمله مخاطرات محیطی است که بشر در دهه‌های اخیر به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی با آن مواجه شده است. این پدیده همانند سایر مخاطرات مانند زلزله، خشک‌سالی، سیل، طوفان، لغزش و غیره... از جمله موانع توسعه اقتصادی-اجتماعی و عمرانی به شمار می‌رود. پدیده فرونشست به طور معمول با مخاطرات فراوانی همراه است. این پدیده می‌تواند سبب آسیب‌های زیربنایی، طبیعی و در نهایت منجر به افزایش خطرپذیری جامعه و اقتصاد گردد. در سال‌های اخیر با افزایش میزان فرونشست به پی ساختمان‌ها، باند فرودگاه‌ها، پل‌ها، تونل‌ها، خیابان‌ها، خطوط حمل و نقل ریلی و جاده‌های آسیب زیادی وارد شده است. بدین منظور در این پژوهش، میزان فرونشست زمین در منطقه صنعتی غرب شهر کرمان با استفاده از تصاویر راداری ماهواره Sentinel-1 از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰ در نرم‌افزار Snap با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج نشان داد میزان فرونشست این محدوده از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ حداقل ۳/۳ سانتی‌متر و حداکثر ۶ سانتی‌متر، از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰ حداقل ۳/۶ سانتی‌متر و حداکثر ۲/۱۳ سانتی‌متر و از ژانویه سال ۲۰۲۰ تا آوریل سال ۲۰۲۰ حداقل ۰۳/۱ سانتی‌متر و حداکثر ۱۳/۲ سانتی‌متر بوده است که افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد. ازدیاد بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، فشردگی به علت زهکشی زمین و فشردگی به علت تحمیل بارهای سنگین (بار گذاری سازه‌ها و غیره...) را می‌توان از عوامل فرونشست در این محدوده نام برد. که می‌تواند منجر به ایجاد خسارات هنگفتی در این محدوده گردد.

واژه‌های کلیدی: تکنیک تداخل سنجی راداری، فرونشست زمین، فرودگاه شهر کرمان، SNAP، SENTINEL\_1

#### ۱-مقدمه

بی‌رویه آب و غیره... که ناشی از عوامل طبیعی و انسانی است در سال‌های اخیر باعث تشدید پدیده فرونشست در کره زمین شده است. ایران جز ۱۰ کشور بلاخیز جهان است که از ۴۰ نوع حادثه‌ای که برای جهان تعریف شده، ۳۰ نوع آن در کشور ما وجود دارد و اکنون فرونشست زمین که توسط انسان پدید آمده، به این حادثه‌ها اضافه شده است (بشیرگندی و نوری‌قیداری، ۱۳۹۳). به دلیل تغییر اقلیم و

یکی از مشکلات روزافزون به وجود آمده در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران، پدیده فرونشست می‌باشد. در سال‌های اخیر، مناطق مختلفی از دنیا به خصوص نقاط خشک و کم‌باران با این پدیده روبه‌رو شده‌اند (پاچکو، ۲۰۰۶: ۱۵۱، لارسون و همکاران، ۲۰۰۱، ترن و فردلان، ۲۰۰۰). فرونشست یکی از بحران‌های جهانی است که زمین را مانند بیماری در بر می‌گیرد، در واقع خشکسالی، برداشت

بازتابی از عوارض سطح زمین است، به نحوی که تغییرات ایجاد شده در سطح زمین باعث اختلاف فاز در دو تصویر رادار اخذ شده در دو زمان مختلف از یک منطقه می‌شود (Massonnet et al, 1998). با استفاده از اختلاف فاز به دست آمده تداخل‌سنج‌ها ایجاد می‌شوند که شامل مولفه‌های ناشی از توپوگرافی، اثر کرویت زمین، تغییر شکل سطح زمین و خطاهای موجود هستند (Hanssen et al, 2001; Massonnet et al, 1998).

## ۲-۱- تاریخچه بررسی فرونشست در جهان و ایران

بر اساس اطلاعات کارگروه فرونشست در سازمان یونسکو (IHP) قدیمی‌ترین فرونشست شناخته شده در ایالت آلابامای ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۰۰ میلادی به وقوع پیوسته است. اولین فرونشست ثبت شده در ایران مربوط به دشت رفسنجان در سال ۱۳۴۶ بوده است. کشور ایران از نظر میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی پنجمین کشور دنیا و از نظر سهم سرانه هر فرد از آب‌های زیرزمینی اولین کشور دنیاست (مرگات، ۲۰۰۸). در سال‌های اخیر پدیده فرونشست زمین در دشت‌های زیادی از نقاط خشک و نیمه‌خشک ایران مرکزی و شرق ایران همراه با افت ممتد سطح آب زیرزمینی گزارش شده است، و در حال حاضر آمار دشت‌های کشور که با این پدیده روبه‌رو هستند، به ۲۰۹ دشت می‌رسد. علل فرونشست، طبقه‌بندی علل فرونشست زمین: (روستایی، ۱۳۸۵، به نقل از کوک و دورنکمپ، ۱۹۹۰)

کاهش بارندگی، رشد روزافزون جمعیت و افزایش نیازهای آبی، هجوم انسان به سفره‌های آب زیرزمینی برای رفع نیازهای آبی بیشتر شده است که نتیجه این هجوم، به هم خوردن تعادل بین طبیعت و خواسته‌های انسان است. مدتی است که کارشناسان نسبت به پدیده فرونشست زمین در ایران هشدار می‌دهند و در برخی موارد این پدیده را از زلزله خطرناک‌تر می‌دانند، وقتی در کشور زلزله رخ می‌دهد بعد از مدتی خسارات وارد شده جبران می‌شود اما اگر زمینی دچار فرونشست شود با ادامه این روند سفره‌های آب زیرزمینی منطقه دچار آسیب جدی شده و در صورت نبود منابع آب سطحی کارآیی زمین برای فعالیت‌های انسانی برای همیشه از دست خواهد رفت. در دو دهه اخیر، تکنیک تداخل‌سنجی راداری به عنوان ابزاری کارآمد در مطالعه پدیده‌هایی که سبب تغییر شکل سطح زمین می‌شود، به صورت قابل ملاحظه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (جنت و همکاران، ۱۳۸۸؛ حقیقت‌مهر و همکاران، ۱۳۸۹؛ شریفی‌کیا، ۱۳۹۱؛ معق و همکاران، ۱۳۹۱؛ Motagh et al, 2007; Qu et al, 2014; Osmanoglu et al, 2011). از اوایل دهه ۱۹۹۰، تداخل‌سنجی راداری به عنوان ابزاری کارآمد در مطالعه پدیده‌هایی که سبب تغییر سطح زمین می‌شوند معرفی شده است (Massonnet et al, 1998). پوشش مکانی مناسب و قدرت تفکیک بالای تصاویر راداری، این تکنیک را در بین روش‌های موجود برای مطالعه پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی مطرح کرده است (Ferretti et al, 2001). اساس کار این روش، استفاده از اطلاعات فاز امواج راداری

## ۲- پیشینه تحقیق

### فرونشست

جدول ۱. تعاریف مختلف فرونشست

(هیو و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۶۹)	فرونشست زمین یک پدیده زمین‌شناسی است که موجب پایین رفتن آرام و افقی سطح زمین می‌شود.
(کوک و دورنکمپ، ۱۹۹۰)	بنا به تعریف یونسکو فرونشست عبارت است از فروریزش یا نشست سطح زمین که به علت‌های متفاوتی در مقیاس بزرگ و کوچک رخ می‌دهد. فرونشست زمین نتیجه به هم خوردن تعادل بین فشارهای هدایت شده به سوی پایین در جهت قائم و یا کاهش مقاومت درونی مواد (استحکام) و یا ترکیبی از هر دو حالت می‌باشد.
(باتس و جکسون، ۱۹۸۰: ۷۸)	طبق تعریف سازمان زمین‌شناسی ایالت آمریکا، پدیده فرونشست زمین شامل فروریزش یا نشست رو به پایین سطح زمین است که می‌تواند دارای بردار جابه‌جایی اندکی باشد.

جدول ۲. علل فرونشست

عوامل طبیعی فرونشست	عوامل انسانی فرونشست
۱. تغییر شکل‌های تکتونیکی و آتشفشانی	۱. برداشت مایعات (آب، گاز و نفت)
۲. تحمیل بارهای سنگین (از قبیل دریاچه و غیره...)	۲. فشردگی به علت مرطوب ساختن رسوبات آبرفتی خشک (فشردگی آب)
۳. به هم خوردن ایزوستازی	۳. فشردگی به علت تحمیل بارهای سنگین (برای مثال سدها و ساختمان‌ها)
۴. فشردگی (تراکم) حاصل از ارتعاش در اثنای زلزله	۴. فشردگی به علت زهکشی زمین
۵. خشک شدن رسوبات ریزدانه	۵. فشردگی به علت ارتعاشات توسط زمین
۶. اکسیداسیون خاک‌های عالی	۶. برداشت مواد معدنی زیرین
۷. ذوب پرمافروست	۷. انحلال مواد و عناصر قابل حل (فرونشست انحلالی توسط انسان با آبیاری و غیره...)
۸. فشردگی به علت ارتعاشات زمین‌لرزه	۸. تغییرات کاربری اراضی
۹. انحلال مواد و عناصر قابل حل (فرونشست انحلالی)	۹. طرح‌های انتقال آب
۱۰. طبقات ارتفاعی، درصد شیب	
۱۱. میزان بارش و پوشش گیاهی	
۱۲. عوارض ژئومورفولوژی و خاک	
۱۳. لیتولوژی و دوری و نزدیکی به آبراهه‌ها	
۱۴. میزان انرژی دریافتی از خورشید (ظرفیت گرمایی)	

### تکنیک تداخل‌سنجی راداری

نگاره رادار در مقطع زمانی موردنظر تداخل‌نگاشت تولید می‌شود. در این نگاشت‌ها مناطقی که دچار جابه‌جایی شده باشند با ایجاد باندهای طیف رنگی از آبی به سفید نسبت به مناطق با ثبات تفکیک می‌گردند.

روش تداخل‌سنجی راداری، با مقایسه سیگنال‌های فاز برگشتی دو دسته داده‌های رادار دریاچه مصنوعی که از یک منطقه در دو زمان مختلف اخذ شده‌اند، قادر به اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین در آن بازه زمانی می‌باشد (ماسونت و فیگل، ۱۹۹۸). در شیوه تداخل‌سنجی راداری با پردازش دو

### تصاویر ماهواره Sentinel-1

تصاویر ماهواره Sentinel-1 دارای فرمت، مد و پولاریزاسیون‌های مختلفی هستند؛ که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌گردد:

فرمت: (۳ مورد) SLC, GRD, OCN.

مد: (۴ مورد) IW, EW, WV, SM.

پولاریزاسیون: (۶ مورد) VV, HH, VH, HV, VV+VH, HH+HV.

### نرم‌افزار SNAP

SNAP مخفف Sentinel Application Platform

می‌باشد. طراحی این نرم‌افزار متن‌باز توسط آژانس فضایی اروپا صورت گرفته است. نرم‌افزاری قوی به منظور پردازش داده‌های ماهواره‌های سری Sentinel و دیگر ماهواره‌های اپتیک و راداری می‌باشد. این نرم‌افزار کاربرد وسیعی در پردازش انواع تصاویر اخذ شده در زمینه‌های گوناگونی هم‌چون: تغییرات پوشش و یا کاربری زمین، خاک‌شناسی و فرسایش خاک، مطالعات آب، کشاورزی، جنگل‌داری، سیل، زلزله، فرونشست، خشکسالی، گرد و غبار، مطالعات شهری و غیره... دارا می‌باشد.

هر تصویر ماهواره‌ای در فرمت، مد و پولاریزاسیون مختلف می‌تواند دارای خصوصیات و به تبع، کاربردهای متفاوتی باشد. طبق این خصوصیات و کاربردها، به منظور برآورد میزان جابه‌جایی و فرونشست، SLC مناسب‌ترین فرمت، IW مناسب‌ترین مد و VV مناسب‌ترین پولاریزاسیون ذکر شده‌اند.

### ۳-پیشینه پژوهش

در باب موضوع فرونشست، پژوهش‌های فراوانی صورت گرفته است که در این پژوهش به مواردی چند، اشاره می‌گردد.

### ۳-۱-پیشینه داخلی پژوهش

۱- صالحی و همکاران (۱۳۹۷)، به ارزیابی فرونشست زمین به کمک تلفیق روش تداخل سنجی راداری و اندازه‌گیریهای میدانی و مطالعه دلایل و اثرات آن بر شهر مشهد پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که دو کاسه فرونشستی یکی از شمال غرب و دیگری از جنوب شرق وارد حریم شهر مشهد شده است و در دشت مشهد در سال ۲۰۱۰ محدوده‌ای به وسعت ۱۳/۲۷ کیلومتر با نرخ بیش از ۲۰ سانتی‌متر در سال در حال فرونشست بوده است. مقاطع زمین‌شناسی که به صورت طولی و عرضی دشت را قطع کرده‌اند، نشان می‌دهند که بیش‌ترین نرخ فرونشست در مناطقی ایجاد شده است که به غیر از افت شدید سطح آب زیرزمینی، بافت خاک ریزدانه و ضخامت آبرفت زیادی دارند. پیش‌بینی می‌شود در بخش‌هایی از شهر مشهد که در آینده به علت تکمیل شبکه فاضلاب شهری و قطع تغذیه آبخوان از فاضلاب شهری، با افت بیش از ۲۰ متری سطح آب زیرزمینی مواجه خواهند شد، فرونشست قابل توجهی ایجاد می‌شود.

۲- آتشی و همکاران (۱۳۹۶)، با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و از طریق سنجنده TerraSAR-X طی دوره شش ماهه به مطالعه شواهد و تاثیرات مورفولوژیکی مخاطره فرونشست بر تاسیسات و ساختمان‌های مسکونی منطقه ۱۹ شهری تهران پرداختند. نتایج حاصل از آن فرونشستی به میزان ۵ سانتی‌متر در دوره زمانی ۶ ماهه بوده است. سپس به منظور تایید یافته‌ها اقدام به بازدیدهای میدانی و پی‌جویی روی زمین گردید و نتایج حاصل از این پیمایش شناسایی و ثبت عوارضی چون شکستگی‌های سطحی و عمقی، تخریب چاه‌های آب و فرونشینی کف و آسیب‌هایی به تاسیساتی چون پل، بزرگراه‌ها، تیر برق، تاسیسات آبی و گازی، خطوط مترو و مساکن در پهنه‌های فرونشست بوده است. این تغییرات پس از رویت ثبت گردیده است.

### ۳-۲-پیشینه خارجی پژوهش

۱- اسمیت و همکاران (۲۰۱۷)، در تحقیق خود به ارزیابی برآورد از دست دادن دائمی ذخایر آب زیرزمینی در دره سن‌ژواکون کالیفرنیا پرداختند و نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که اگر آب بیش از حد از آبخوان‌ها استخراج شود، مخصوصاً در نواحی که لایه‌های خاک رس دارند، متراکم شدن لایه‌های خاک به دلیل افت فشار آب باعث ایجاد حالت غیرقابل برگشت می‌شود و توانایی خاک برای حفظ و نفوذ آب از دست می‌رود، از این رو آبخوان ظرفیت دریافت آب خود را به طور دائم از دست می‌دهد. اسمیت و همکاران در تحقیقات خود کاهش حجم آبخوان را ۴۱۴ تا ۷۴۷ میلیون مترمکعب برآورد کردند.

۲- فونت و همکاران (۲۰۱۵)، در مقاله خود تحت عنوان دستیابی به آب و فرونشست زمین در دره سنترال کالیفرنیا، به نقش افزایش برداشت آب زیرزمینی در اثر کشاورزی پرداخته است. در این منطقه که یکی از قطب‌های کشاورزی آمریکا است کشاورزان برای آبیاری زمین‌های خود تا قبل از خشکسالی ۲۰۰۷ بیشتر از آب‌های سطحی استفاده می‌کرده اما بعد از آن پمپاژ بیشتری از آب‌های زیرزمینی به عمل آورده‌اند. به طوری که ۳/۲ دره کلا با آب زیرزمینی آبیاری می‌شد، این پمپاژ بیش از حد موجب افت سطح آب شده و در نتیجه بیلان سیستم آبخوان به هم خورده و موجب فرونشینی شده است. مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده شده در ارزیابی مدیریت سطح آب زیرزمینی در این منطقه نیمه خشک نشان داد که تداوم خشکسالی بعد از سال ۲۰۰۷ می‌توانست موجب فرونشینی در حد ۳-۵/۱ سانتی‌متر در سمت جنوب دره شود.

### ۳-۳-موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

#### پژوهش

منطقه مورد مطالعه ما در این پژوهش، منطقه صنعتی غرب شهر کرمان به مختصات ۳۰ درجه و ۱۶ دقیقه و ۲۸ ثانیه شمالی و ۵۶ درجه و ۵۷ دقیقه و ۴ ثانیه شرقی و در ارتفاع ۵۷۴۱ پا / ۱۷۵۰ متر در شهر کرمان و استان کرمان در کشور ایران واقع شده است و یکی از مناطق صنعتی مهم شرق ایران به حساب می‌آید که در برگیرنده شهرک‌های صنعتی، فرودگاه، ریل راه آهن و مسیر حمل و نقل جاده‌ای است.



شکل ۱. موقعیت منطقه صنعتی غرب شهر کرمان

#### ۴- مواد و روش‌ها: (روش پژوهش) (مواد)

ماهواره Sentinel-1 اخذ کرده و در نرم‌افزارها و مراحل ذکر شده مورد تجزیه و تحلیل ویژه قرار داده‌ایم.

در پروژه حاضر، هدف برآورد میزان فرونشست است، که بدین منظور تصاویر راداری با فرمت SLC، مد IW و پولاریزاسیون VV در سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۰ را از نرم‌افزارهای مورد استفاده:

Snap 7.0, sentinel-1 toolbox  
Snap-v 1.4.2 win 64  
Sar mint

#### (روش‌ها)

انجام مراحل ذیل در نرم‌افزار Snap به منظور محاسبه میزان جابه‌جایی و فرونشست:

1. Split (بررسی هر burst به عنوان product جداگانه).
2. aplay orbit (دانلود اطلاعات مربوط به موقعیت و سرعت ماهواره در زمان تصویربرداری و زمان حرکت سنجنده).
3. coregistration (ترکیب یا stack کردن دو تصویر مورد نظر).
4. interferogram (مرجع کردن دو تصویر در دو مولفه‌ی فاز و دامنه ثابت، تصحیحات هندسی).
5. tops deburst (جوین کردن بخش‌های مختلف و یکپارچه‌سازی تصویر interferogram).
6. topographic phase removal (حذف سیگنال‌های مربوط به توپوگرافی، حذف اثر استریوسکوپی، تصحیحات اتمسفری).
7. goldstein phase filtering (حذف نویزهای ناشی از اختلاف زمانی یا بازه زمانی دریافت دو تصویر و همچنین وجود خط مبنای مکانی).
8. phase unwrapping (اصلاح فاز، محاسبه‌ی مقادیر واقعی فاز interferogram رفع پیچیدگی).
9. snaphu import (تغییر فرمت برای محاسبه میزان displacement).
10. phase to displacement (تعیین هر گونه جابه‌جایی از منظر راداری، به صورت یک اختلاف فاز میان دو تصویر قبل و بعد از تغییر شکل سطحی زمین).
11. geometric (زمین مرجع کردن و تعیین سیستم مختصات واقعی بر روی زمین).
12. export (view as google earth kmz) (خروجی نهایی در google earth).

۷۷ اخذ نمودیم، به صورت دوبه‌دو (۲۰۱۴ با ۲۰۱۷، ۲۰۱۷ با ۲۰۲۰ و ۲۰۲۰ با ۲۰۲۰) در مراحل ۱۲ گانه بالا مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و خروجی نهایی را کسب کرده‌ایم.

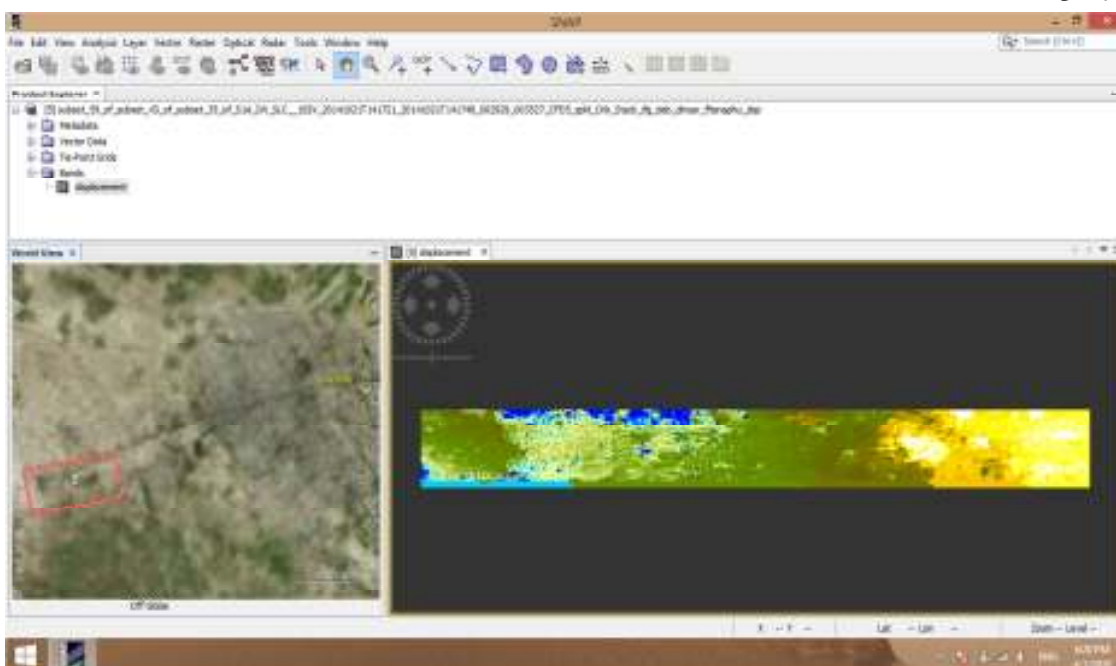
**بحث و یافته‌ها: (نتایج حاصل از پردازش تصاویر راداری)**

در پژوهش مورد نظر که تصاویرمان را از سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۰ در فرمت SLC، مد IW و پولاریزاسیون

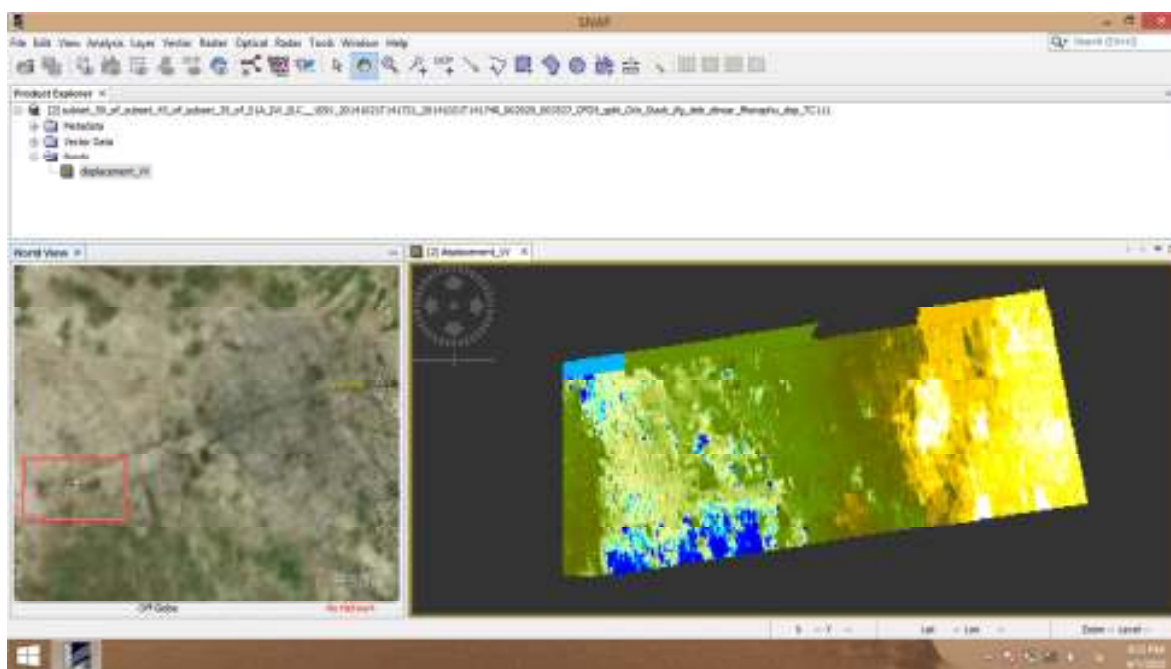
جدول ۳. مشخصات تصاویر اخذ شده.

تصاویر	فرمت	مد	پولاریزاسیون	تاریخ تصویربرداری	ماهواره	Track	Pass
2014	SLC	IW	VV	21 October	Sentinel-1A	57	Ascending
2017	SLC	IW	VV	2 January	Sentinel-1A	57	Ascending
2020	SLC	IW	VV	11 January	Sentinel-1A	57	Ascending
2020	SLC	IW	VV	4 April	Sentinel-1A	57	Ascending

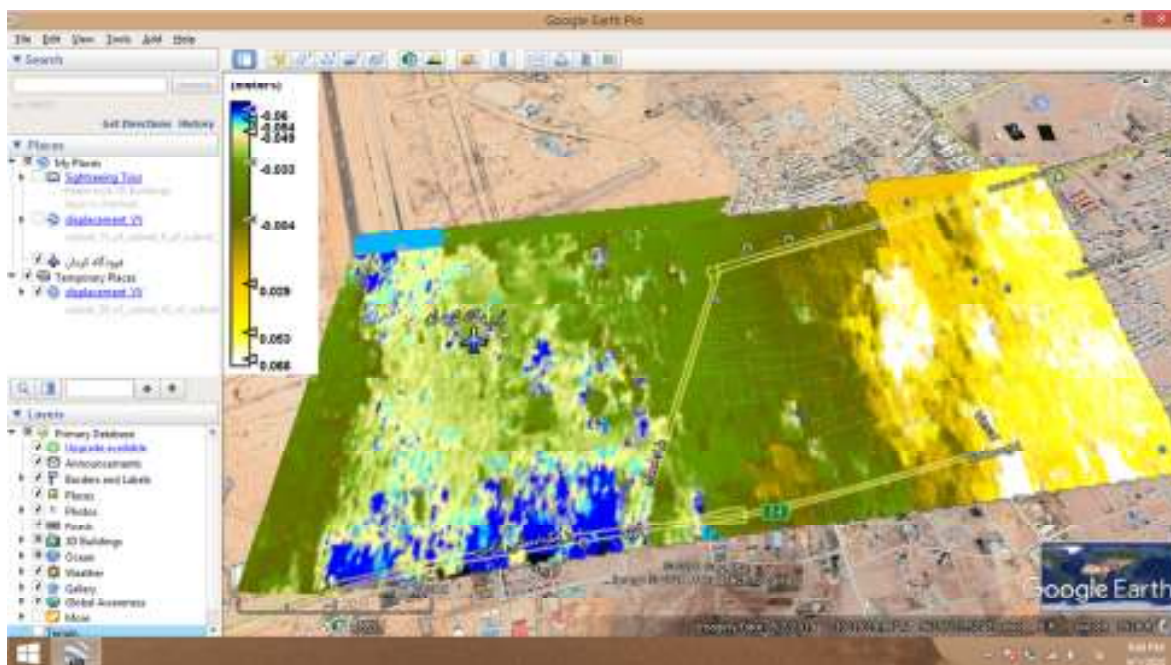
خروجی‌های سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷



شکل ۲. خروجی حاصل از Displacement



شکل ۳. خروجی حاصل از Geometric.

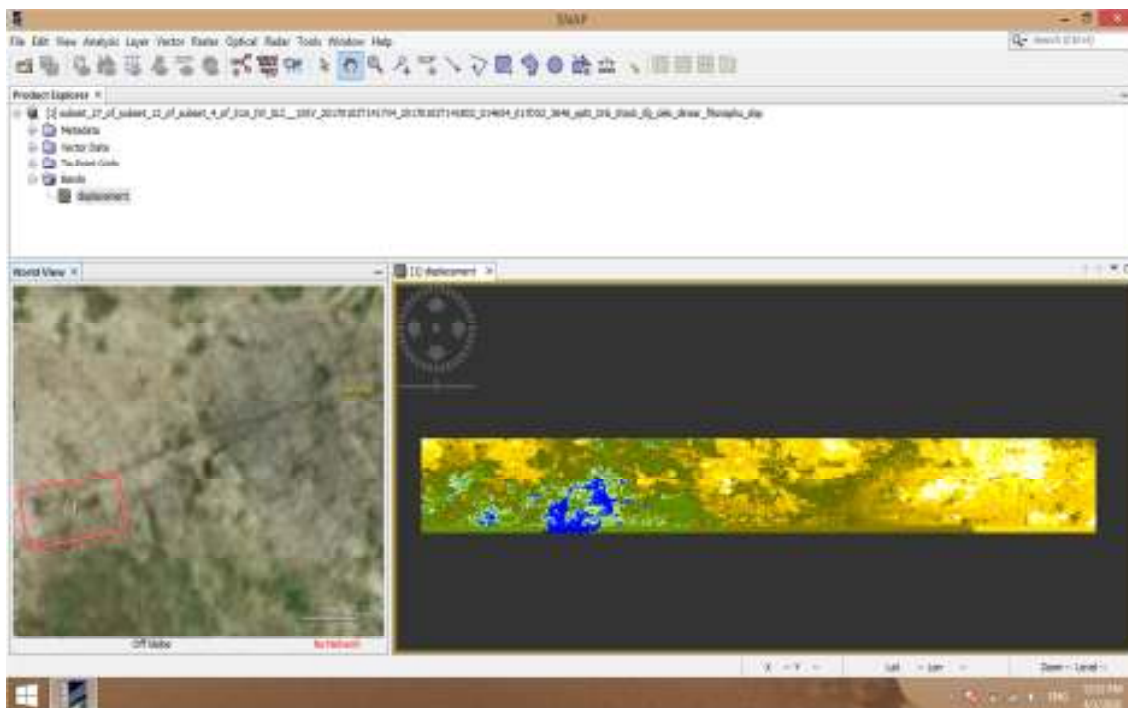


شکل ۴. خروجی حاصل از Google earth.

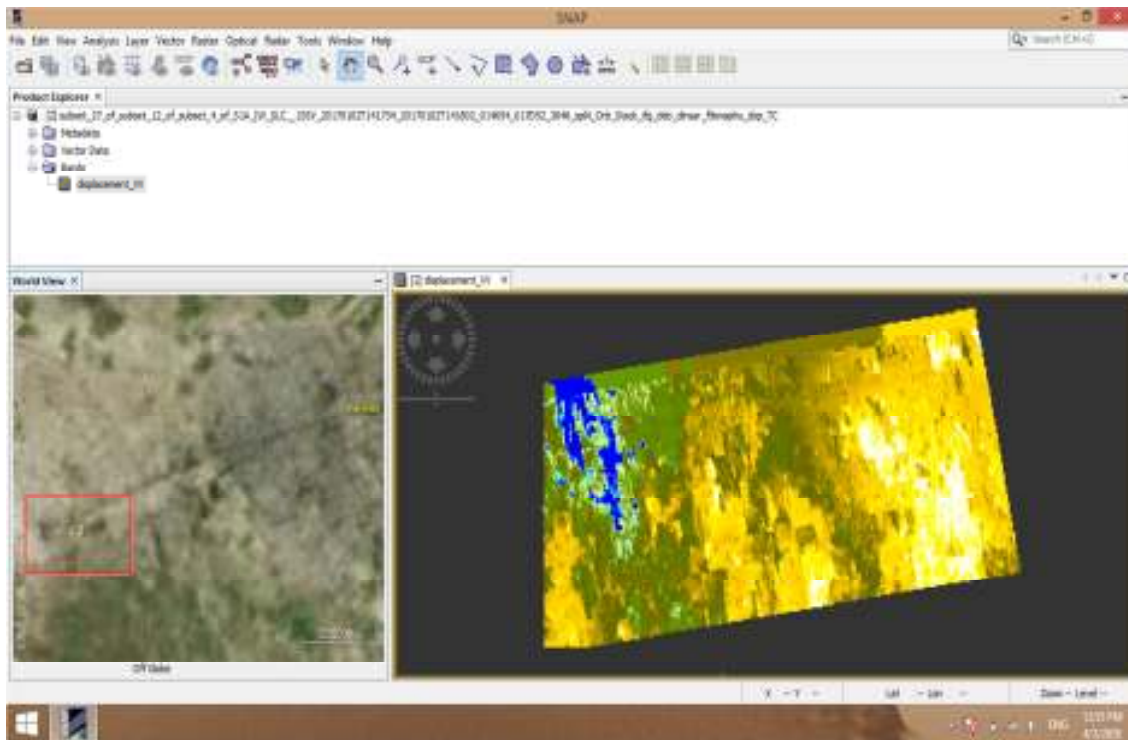
اکتبر ۲۰۱۴ تا ۲ ژانویه ۲۰۱۷ به میزان ۴/۰ تا ۶ سانتی‌متر فرونشست داشته است. که می‌توان محدوده فرودگاه را در بازه ۰-۰۳۳/۰ تا ۰-۰۶۷/۰ متر یعنی ۳/۳ تا ۶ سانتی‌متر فرونشست قرار داد.

طبق خروجی نهایی از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷، مناطق از طیف رنگی سفید به آبی، دارای فرونشست بیش‌تری می‌شود. عدد مثبت نشان برآمدگی و عدد منفی نشان فرورفتگی (فرونشست) می‌باشد. که میزان فرونشست این محدوده از ۰-۰۰۴/۰ تا ۰-۰۶۷/۰ متر می‌باشد، یعنی طی بازه زمانی ۲۱



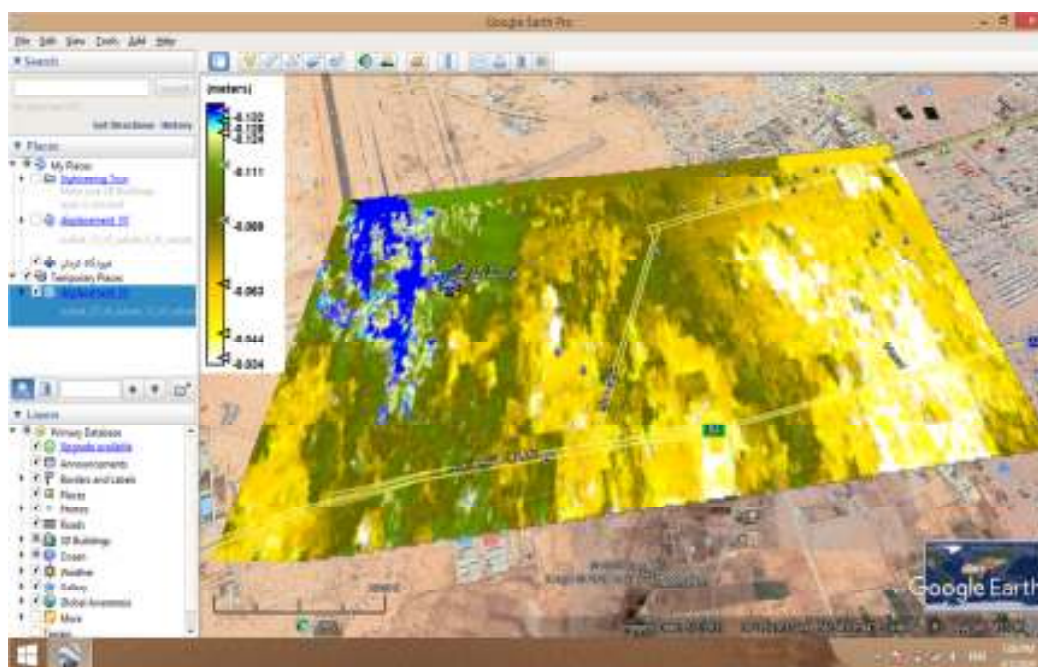


شکل ۵. خروجی حاصل از Displacement.



شکل ۶. خروجی حاصل از Geometric.



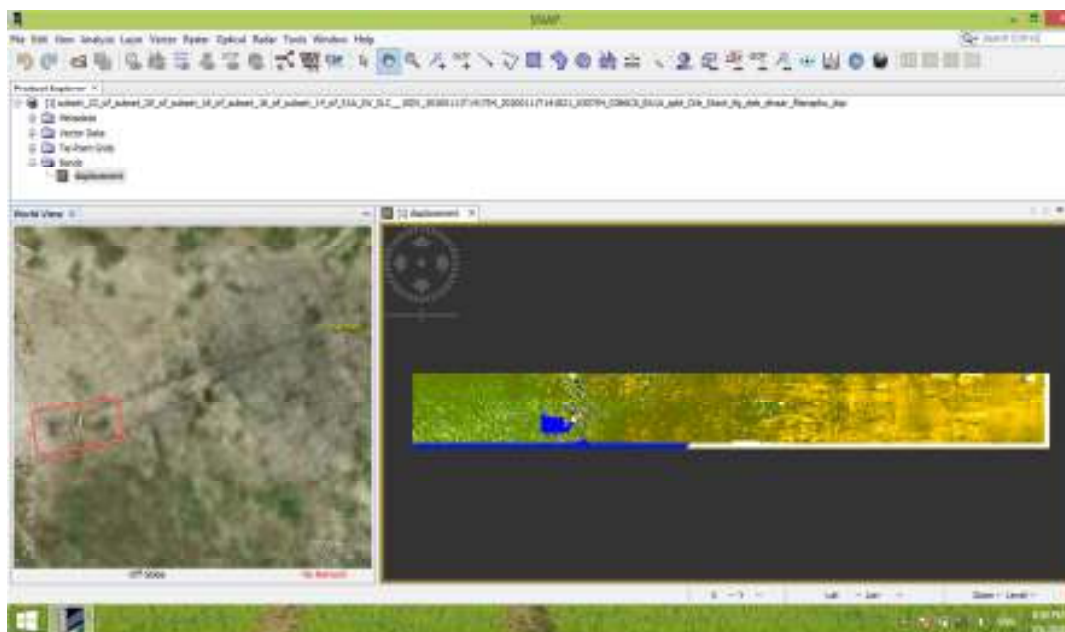


شکل ۷. خروجی حاصل از Google earth.

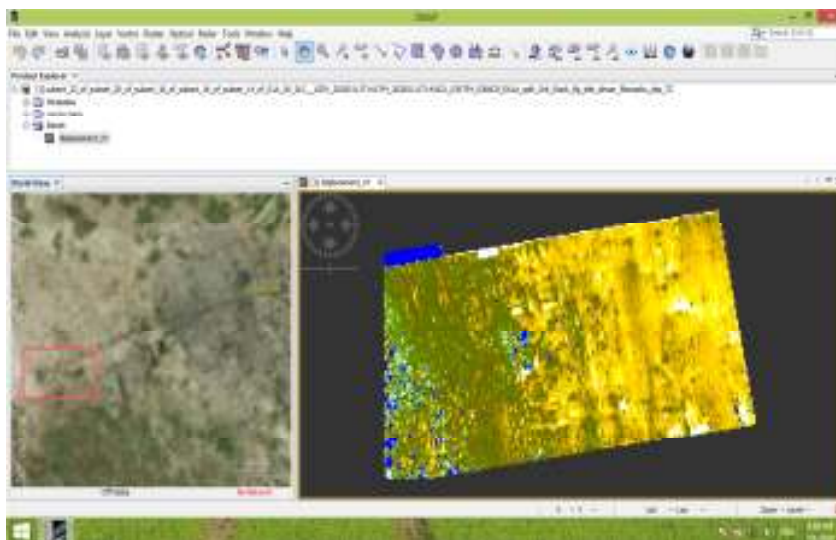
ژانویه ۲۰۱۷ تا ۱۱ ژانویه ۲۰۲۰ به میزان  $\frac{4}{3}$  تا  $\frac{2}{13}$  سانتی متر فرونشست داشته است، که می توان محدوده فرودگاه را در بازه  $\frac{63}{100}$  - تا  $\frac{132}{100}$  - متر یعنی  $\frac{3}{6}$  تا  $\frac{2}{13}$  سانتی متر فرونشست قرار داد.

طبق خروجی نهایی از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰، مناطق از طیف رنگی سفید به آبی، دارای فرونشست بیش تری می شود. عدد مثبت نشان برآمدگی و عدد منفی نشان فرورفتگی (فرونشست) می باشد. که میزان فرونشست این محدوده از  $\frac{34}{100}$  - تا  $\frac{132}{100}$  - متر می باشد، یعنی طی بازه زمانی ۲

خروجی های ژانویه سال ۲۰۲۰ تا آوریل سال ۲۰۲۰



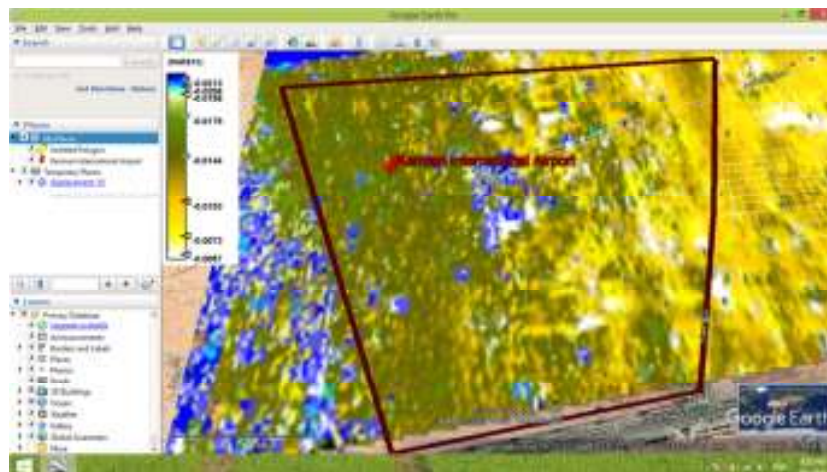
شکل ۸. خروجی حاصل از Displacement



شکل های ۹. خروجی حاصل از Geometric



شکل ۱۰. خروجی حاصل از Google earth



برخلاف تخریب‌های طبیعی این پدیده محسوس‌تر هستند. یکی دیگر از خسارت‌های مربوط به فرونشست، خسارت به محیط اجتماعی است که شامل جامعه انسانی و سطح توسعه اقتصادی است و خسارت‌های فیزیکی ایجاد شده می‌تواند محیط اجتماعی را به طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تاثیر قرار دهد. خسارت‌های برجسته اقتصادی ایجاد شده توسط فرونشست در سراسر دنیا گزارش شده است (فانت و همکاران، ۲۰۱۵)، (لیو و همکاران، ۲۰۱۵)، (هولزر و گالووی، ۲۰۰۵)، (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۳). در سال‌های اخیر در ایران هم با افزایش میزان فرونشست به پی ساختمان‌ها، باند فرودگاه‌ها، پل‌ها، تونل‌ها، خیابان‌ها، خطوط حمل و نقل ریلی و جاده‌های آسیب زیادی وارد شده است. منطقه صنعتی غرب شهر کرمان نیز از جمله این مکان‌هاست که دچار پدیده فرونشست شده است که پیش‌روی و افزایش فرونشست می‌تواند در این محدوده، خساراتی به بار آورد. همان‌گونه در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ ملاحظه می‌گردد، ترک، شکاف و شکستگی در باند Taxi Way مشاهده می‌گردد که در بعضی از سطوح خطر افتادن در شکاف‌ها وجود دارد و در بعضی از سطوح دیگر به دلیل شکستگی سطح آسفالت عبور وسایل نقلیه عملاً امکان‌پذیر نیست.

طبق خروجی نهایی از ژانویه سال ۲۰۲۰ تا آوریل سال ۲۰۲۰، مناطق از طیف رنگی سفید به آبی، دارای فرونشست بیش‌تری می‌شود. عدد مثبت نشان برآمدگی و عدد منفی نشان فرورفتگی (فرونشست) می‌باشد. که میزان فرونشست این محدوده از ۰۰۵۷/۰ تا ۰۲۱۳/۰- متر می‌باشد، یعنی طی بازه زمانی ۱۱ ژانویه ۲۰۲۰ تا ۴ آوریل ۲۰۲۰ به میزان ۵۷/۰ تا ۱۳/۲ سانتی‌متر فرونشست داشته است. که می‌توان محدوده فرودگاه را در بازه ۰۱۰۳/۰- تا ۰۲۱۳/۰- متر یعنی ۰۳/۱ تا ۱۳/۲ سانتی‌متر فرونشست قرار داد.

### تبیین مخاطره فرونشست

فرونشست پدیده‌ای زمین‌شناختی است که عوارض ژئومورفولوژیکی جدیدی ایجاد می‌کند. رویداد آن در بسیاری از نواحی برخوردار از زیرساخت‌های ایجابی طبیعی و یا بشرآفرین امکان‌پذیر است. در مواقعی این پدیده به سبب تاثیرات و تهدیدات آن برای سکونتگاه‌ها و تاسیسات به عنوان یک مخاطره‌ی زمینی مطرح است (Goudie, 2010; Hunt, 2005). گزارشات دیگر در مورد خسارت‌های این پدیده مربوط به ایجاد مشکلاتی در ساختمان‌ها و تجهیزات حمل و نقل (نظیر جاده‌ها، پل‌ها و خطوط ریلی) هستند. تخریب‌های مربوط به زیرساخت‌ها



شکل ۱۱. شکاف در باند Taxi Way با احتمال جابه‌جایی مسیر حمل و نقلی از وسط





شکل ۱۲. ترک و شکاف و شکستگی در باند Taxi Way



شکل ۱۳. ایجاد گودال‌های ناشی از فرونشست در محدوده مورد مطالعه

## گزارش تراز آب چاه‌های در حال بهره‌برداری در نزدیکی

### منطقه صنعتی غرب شهر کرمان

در نزدیکی اراضی منطقه صنعتی غرب شهر کرمان، ۶ اصله چاه وجود دارد. چاه حسین‌آباد، چاه فرح‌آباد، چاه سعادت‌آباد، چاه‌های مومن‌آباد و چاهی در اراضی فرودگاه که ازدیاد بهره‌برداری از آن‌ها، فرونشست قابل توجهی را در این محدوده و اطراف آن به بار آورده است و یکی از دلایل اصلی ایجاد فرونشست در این محدوده می‌باشد. این فرونشست در عواقب بعدی، خود موجب ایجاد اختلال در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، کاهش برگشت‌ناپذیر تمام یا بخشی از منابع مخازن آب زیرزمینی و در نتیجه از بین رفتن یا کاهش تخلخل مفید نهشته‌ها، کاهش میزان نفوذپذیری سطحی و پیرو آن گسترش پهنه‌های بیابانی و سیلابی شده و در نهایت تخریب شریان‌های حیاتی، زیرساخت‌ها و سازه‌های مهم را موجب می‌شود. مسلماً شناسایی محدوده‌ها و الگوی فرونشست و برآورد نرخ آن نقش به‌سزایی در مدیریت و کنترل این پدیده خواهد داشت.

### گزارش از چاه‌های اکتشافی در نزدیکی اراضی منطقه

#### صنعتی غرب شهر کرمان

بیش از ۵۰ چاه اکتشافی در محدوده دشت کرمان حفر شده است که ۴ مورد از این چاه‌ها در نزدیکی اراضی منطقه مورد مطالعه حفر شده‌اند، اغلب این چاه‌ها تا سنگ کف نرسیده‌اند و برخی تا عمق ۱۷۵ متر متوقف شده‌اند.

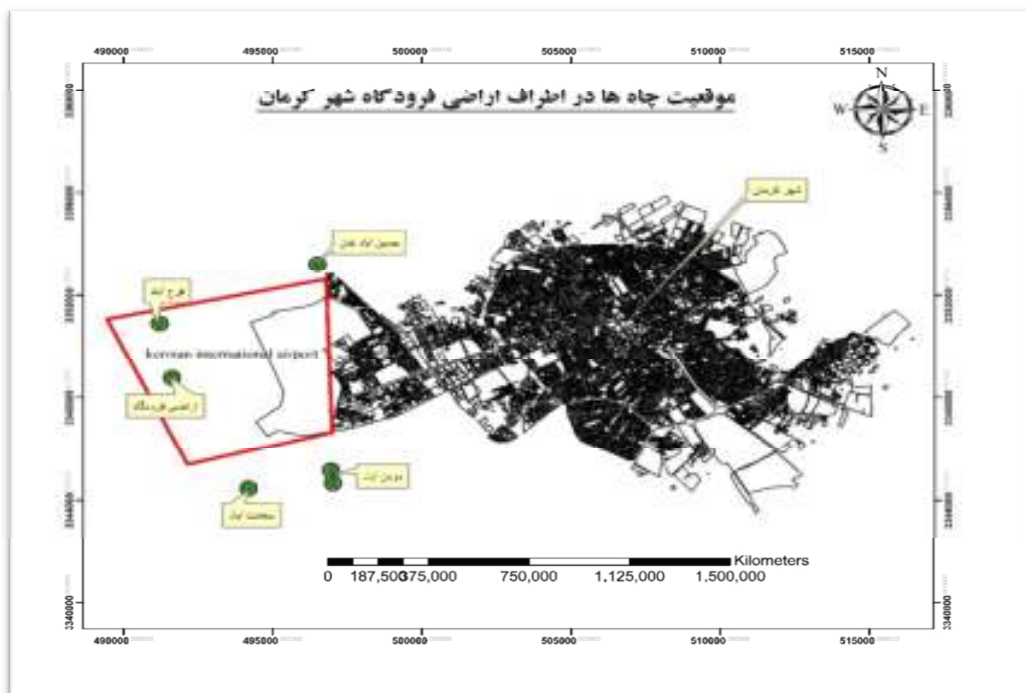
### ۵- نتیجه‌گیری

یکی از مخاطراتی که به خصوص در سال‌های اخیر در مناطق مختلف دنیا و ایران خودنمایی می‌کند، پدیده فرونشست است. در این پژوهش نیز، پدیده فرونشست در محدوده غربی شهر کرمان شامل شهرک صنعتی، فرودگاه و مسیر ریلی با استفاده از تصاویر راداری ماهواره Sentinel-1 و تحلیل در نرم‌افزار Snap با استفاده از تکنیک تداخل

سنجی راداری، مورد بررسی قرار گرفت که یافته‌های این پژوهش مؤید افزایش میزان فرونشست در این محدوده می‌باشد که طبق جدول بالا، میزان فرونشست در بازه سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷، حداقل ۳/۳ سانتی‌متر و حداکثر ۶ سانتی‌متر بوده است، در بازه سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰، حداقل ۳/۶ سانتی‌متر و حداکثر ۲/۱۳ سانتی‌متر بوده است که بازه دوم (۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰) نسبت به بازه اول (۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷) افزایش قابل توجهی داشته است و در بازه ژانویه سال ۲۰۲۰ تا آوریل سال ۲۰۲۰، حداقل ۰۳/۱ سانتی‌متر و حداکثر ۱۳/۲ سانتی‌متر بوده است. ازدیاد بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، فشردگی به علت زهکشی زمین و فشردگی به علت تحمیل بارهای سنگین (بار سازه‌ها و غیره...) را می‌توان از عوامل فرونشست در این محدوده نام برد. به طور کلی اِلمان‌ها و تاسیسات متعدد آسیب‌پذیری در این محدوده قرار دارند، که باید اقدامات پیش‌گیرانه در مورد آن‌ها صورت پذیرد و در نهایت نتایج پژوهش نشان داد تصاویر راداری ماهواره Sentinel-1 و تحلیل در نرم‌افزار Snap با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری، برای شناسایی پدیده فرونشست و محاسبه میزان جابه‌جایی، دقت و پتانسیل بسیار خوبی دارد.

### پیشنهادات پژوهش

در راستای این پژوهش پیشنهاد می‌شود با استفاده از مدل‌سازی سری زمانی تصاویر راداری، نرخ فرونشست در دوره زمانی طولانی‌تری رصد شود تا بتوان نرخ متوسط فرونشست در منطقه را به دست آورد. (عدم به کارگیری پیشنهاد مذکور در پژوهش موردنظر این بود که در این پژوهش از تصاویر راداری ماهواره Sentinel استفاده شد که زمان پرتاب آن در تاریخ ۳ آوریل ۲۰۱۴ رخ داده است و ما نیز از این بازه تا سال ۲۰۲۰ تحلیل را انجام داده‌ایم)، می‌توان از تصاویر راداری ماهواره‌های دیگر نیز استفاده نمود.



شکل ۱۴. موقعیت چاه‌های در حال بهره‌برداری در مجاورت منطقه مورد مطالعه شهر کرمان

جدول ۴. نتایج به دست آمده از پژوهش

تصاویر	فرمت	مد	پولاریزاسیون	تاریخ تصویربرداری	ماهواره	Track	Pass
2014	SLC	IW	VV	21 October	Sentinel-1A	57	Ascending
2017	SLC	IW	VV	2 January	Sentinel-1A	57	Ascending
2020	SLC	IW	VV	11 January	Sentinel-1A	57	Ascending
2020	SLC	IW	VV	4 April	Sentinel-1A	57	Ascending
تحلیل بازه‌ها		۲۰۱۷-۲۰۱۴		۲۰۲۰-۲۰۱۷		۲۰۲۰-۲۰۲۰	
حداقل و حداکثر فرونشست		حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
فرودگاه شهر کرمان		3.3 cm	6 cm	6.3 cm	13.2 cm	1.03 cm	2.13 cm

## ۶-مراجع

ساختمان‌های مسکونی (مطالعه موردی: منطقه ۱۹ شهر تهران)."

بشیرگنبدی، م.، و نوری‌قیداری، ر.، (۱۳۹۳)، "بررسی پدیده فرونشست زمین و پیش‌بینی آن در دشت قزوین".

صالحی‌متعهد، ف.، حافظی‌مقدس، ن.، لشکری‌پور، غ.ر.،

دهقانی، م.، (۱۳۹۷)، "ارزیابی فرونشست زمین به کمک

تلفیق روش تداخل سنجی راداری و اندازه‌گیری‌های

میدانی و مطالعه دلایل و اثرات آن بر شهر مشهد".

منبع تصاویر راداری، ماهواره Sentinel-1A از سایت [Scihub.copernicus.eu](https://scihub.copernicus.eu)

منبع عکس‌های باندهای فرودگاه، نگارندگان.

انگورانی، س.، معماریان، ح.، شریعت‌پناهی، م.، بلورچی،

م.ج.، (۱۳۹۴)، "مدل‌سازی پویای فرونشست دشت

تهران".

آتشی، ب.، (۱۳۹۶)، "مطالعه شواهد و تاثیرات

مورفولوژیکی مخاطره فرونشست بر تاسیسات و



- calibrated numerical simulation model, journal Hydrology, Vol. 242, pp.79-102.
- Putra, D.P.E. Setianto, A., Keokhampui, K. and Fukuoka, H., (2011), "Land Subsidence Risk Assessment Case Study: Rongkop, Gunung Kidul, Yogyakarta-Indonesia", The 4th AUN/SEED-Net Regional Conference on Geo-Disaster Mitigation in ASEAN, "Past tragedies are the lessons for future mitigation", The Royal Paradise Hotel & Spa, Phuket, Thailand.
- Raspinia, Federico; Loupasakis, Constantinos; Rozosb, Dimitrios; Adamc, Nico; Moretti, Sandro, (2014), "Ground subsidence phenomena in the Delta municipality region (Northern Greece): Geotechnical modeling and validation with Persistent Scatter Interferometry, Elsevier International Journal, Vol.28, pp.78-89.
- Smith, R. G, Knight R, Chen J, Reeves J.A, Zebker H.A, Farr T and Liu Z., (2017), "Estimating the permanent loss of groundwater storage in the southern San Joaquin Valley", California, Water Resources Research journal, Vol. 53, pp. 2133-2148.
- Abidin, H.Z, H.Aas, I. Gumilar, T.P. Sidiq, M. Gamal FIG Working Week, (2015), "Environmental Impact of Land Subsidence in Urban Areas of Indonesia (7568) From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World Sofia", Bulgaria, pp.17-21.
- An, Karen, (2015), "Investing the Relationship between Land Subsidence and Groundwater Depletion in the North Plain Using GRACE and ICE Sat Master's Thesis", University of California, Los Angeles, pp.44.
- Bates, R. L., and Jackson, J. A., (1980), "Glossary of Geology." American.
- Faunt, C., C. Sneed, M. Traum, J. Brandt, J., T., (2015), "Water availability and Land Subsidence in the Central Valley", California, USA, hydrogeol journal, spring.
- Hu, B. Zhou, jun. Wang, j. Chen, Z and Dongqi Wang, (2009), "Risk assessment of land subsidence at Tianjin coastal area in China", Environmental Earth Sciences, Vol. 59, Issue 2, pp.269-276.
- Larson,K.J., Basaglu,H., Marino, M.A., (2001), "Predication of optimal safe ground water yield and -Land subsidence in Los Banos Kettleman city area, using a

# **Determining the Rate of Land Subsidence using Radar Interferometry Technique (Case Study: Industrial Area West of Kerman)**

*Mohammad Mohammadhassani, Assistant Professor, Housing & Urban Development Research Center, Tehran, Iran.*

*Behnaz Shikh Shariate Kermani, M.Sc., Grad., Faculty of Literature and Humanities, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.*

*E-mail: M.Mohammadhasani@bhrc.ac.ir*

Received: March 2021-Accepted: July 2021

## **ABSTRACT**

Subsidence has a long history due to increased exploitation of groundwater resources compared to its restorative capacity in the world. In recent years, land subsidence has caused serious environmental hazards in the plains and different regions of Iran. Land subsidence is one of the environmental hazards that humans have faced in recent decades due to improper abstraction of groundwater resources. This phenomenon, like other hazards such as earthquakes, droughts, floods, hurricanes, landslides, etc., are among the obstacles to socio-economic and civil development. The phenomenon is usually associated with many risks and can cause infrastructure damage, natural and ultimately leading increased risk to society and the economy. Recently in Iran, with the increasing of subsidence rate, buildings, runways, bridges, tunnels, streets, railways and roads have been severely damaged. In this study, the rate of land subsidence in the industrial zone in west of Kerman city was analyzed using radar interferometry technique and radar images of Sentinel-1 satellite from 2014 to 2020 in Snap software. The subsidence rate of this range from 2014 to 2017 is at least 3.3 cm and at most 6 cm, from 2017 to 2020 at least 3.6 cm and at most 2.13 cm and from January 2020 to April 2020 were a minimum of 0.03 cm and a maximum of 13.2 cm, which shows a significant increase. Increased utilization of groundwater resources, compaction due to ground drainage and compaction due to the imposition of heavy loads (aircraft, loads on structures, etc.) can be named as effective factors on subsidence, which can lead to huge damages in this area.

**Keywords:** Radar Interferometry Technique, Land Subsidence, Kerman Airport, SENTINEL\_1, SNAP