

برآورد میزان فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و پارامترهای آب‌های زیرزمینی و کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت شهریار)

صیاد اصغری سراسکانرود* - دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
مریم محمدزاده شیشه‌گران - دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه محقق اردبیلی.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۱۱/۱۸

چکیده

یکی از مخاطراتی که در طی سال‌های اخیر در بسیاری از مناطق رخ داده است مخاطرات ناشی از فرونشست است. شناسایی مناطق در معرض فرونشست زمین و برآورد نرخ آن نقش مهمی در مدیریت و کنترل این پدیده دارد. تکنیک تداخل‌سنجی راداری با دقت بالا از مناسب‌ترین روش‌های شناسایی و اندازه‌گیری میزان فرونشست می‌باشد. این تکنیک فاز گرفته شده از دو مجموعه داده رادار در دو زمان مختلف را مقایسه و با ایجاد اینترفروگرام، قادر به اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین در دوره زمانی است. در این پژوهش، به منظور شناسایی و اندازه‌گیری فرونشست در دشت شهریار از تصاویر راداری سنتینل ۱ سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ استفاده شده است. به منظور پردازش اطلاعات نیز از نرم افزار SARSCAPE استفاده شده است. به منظور پایش سطح آب زیرزمینی از داده‌های چاه‌های پیژومتری زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای هر شش سال با روش درون یابی مدل‌های کریجینگ استفاده گردید. نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از تصویر لندست ۸ با استفاده از طبقه بندی شی گرا در دشت شهریار استفاده شد. هم‌نهادسازی نقشه‌های فرونشست با لایه‌های کاربری اراضی نیز موید رخداد بیشینه عرصه نشست که بالاترین میزان فرونشست به ترتیب به کاربری باغات با مقدار ۱۱/۵۴ سانتی‌متر، مرتع با مقدار ۱۱/۳۴ سانتی‌متر و کاربری‌های منطقه مسکونی با مقدار به ۱۰/۷۵ سانتی‌متر در رده‌های بعدی قرار دارند. فرونشست ۱۱ سانتی‌متری برای کاربری مناطق مسکونی می‌تواند شرایط زیستی ناامنی را برای ساکنین فراهم آورده و خطرپذیری آنها را از مخاطرات زمین افزایش دهد. همچنین رابطه بین فرونشست و تغییرات مقدار سطح آب‌های زیرزمینی نشان داد که در سال ۲۰۱۵ سطح آب ۷۵/۸۵ متر بوده است که در طی ۶ سال در سال ۲۰۲۰ به ۶۸/۵۲ متر کاهش یافته است. که نشان می‌دهد در طی شش سال ۷ متر افت آب زیرزمینی را شاهد بودیم.

واژگان کلیدی: آب‌های زیرزمینی، تداخل‌سنجی رادار، فرونشست، سنتینل ۱، دشت شهریار.

مقدمه

از اوایل دهه ۱۹۹۰، با عملیاتی شدن ماهواره‌های راداری، تداخل‌سنجی راداری نیز به صورت گسترده مورد استفاده متخصصان علوم زمین قرار گرفت (موتق و شیرانی، ۲۰۱۷، ۱۳۶). تداخل‌سنجی داده‌های راداری در بین روش‌های متنوع و گوناگون آشکارسازی تغییرات پوسته زمین به عنوان بهترین روش اندازه‌گیری پوسته این تغییرات از حیث هزینه، مقیاس و سرعت مطرح می‌باشد (رکورس^۱ و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۹۰). اصول این تکنیک برای اولین بار به وسیله گراهام در سال ۱۹۷۴ بیان شد بدین صورت که تداخل‌سنجی تفاضلی راداری تغییرات فاز را از دو زوج تصویر راداری که در زمان‌های مختلف و به صورت پیوسته اخذ شده اند محاسبه کرده، مبتنی بر آن، تغییرات به وجود آمده در پوسته زمین را به صورت کمی و کیفی آشکار می‌کند (پارچکو^۲ و همکاران، ۲۰۱۵، ۱۴۵؛ صالحی و همکاران، ۲۰۱۳، ۴۹). این فن برای اندازه‌گیری جا به جایی‌های حاصل شده از زمین لرزه، جا به جایی یخچال‌ها و پدیده فرونشست و بالا آمدگی با موفقیت به کار گرفته شده است. فرونشست زمین به عنوان پدیده مورفولوژیکی، نوعی از تغییر شکل سطح زمین است که با دگرشکلی عمودی و یا حرکت رو به پایین سطح زمین و همچنین نشست تدریجی و یا ناگهانی مواد سطحی همراه است (شریفی کیا، ۲۰۱۱: ۵۸). رخداد این پدیده از هر نوع (تدریجی یا ناگهانی) می‌تواند با دخالت عوامل طبیعی و یا عوامل انسانی همچون تغییرات نوع کاربری زمین همراه باشد (زبکر^۳ و همکاران، ۱۹۹۴، ۱۹۶۳۶؛ شریفی کیا و همکاران، ۲۰۱۳، ۲۶۸). مهمترین علت فرونشست منطقه ای سطح زمین در مناطق خشک و نیمه خشک، تراکم سفره‌های آب زیرزمینی در اثر پمپاژ بی‌رویه از منابع است (چانگ^۴ و همکاران، ۲۰۰۵، ۱۱۸۶). این وضعیت به ویژه در جایی که پمپاژ بی‌رویه از سفره‌های آبدار ماسه‌ای متخلخل که به صورت بین لایه ای با لایه‌های آبدار رسی نفوذناپذیر قرار دارد، بسیار حاد بوده، موجب فرونشست گسترده می‌شود (عالمی، ۲۰۰۲، ۲۳۰). تغییر در روند و میزان فرونشست، می‌تواند موجبات وارد آوردن خسارات جدی به تاسیسات و همچنین، ساختمان‌های مستقر بر روی آن‌ها شود که از این رو به عنوان یک مخاطره طبیعی تهدید کننده مناطق مسکونی و کشاورزی به شمار آید (داوودی جم، ۲۰۱۰، ۵۸). امروزه نشست زمین در اثر برداشت بی‌رویه از لایه‌های آبدار زیرزمینی به عنوان یک مخاطره، جوامع ساکن بر آن را در سطوح بین‌المللی تهدید می‌کند. این پدیده در سطح زمین به صورت جابه‌جایی‌های عمودی نمود دارد که از مقیاس میلی‌متر تا متر و در محدوده‌ای وسیع حادث می‌شود. بر طبق گزارش کارشناسان، نزدیک به ۱۵۰ شهر از شهرهای بزرگ دنیا در معرض این مخاطره قرار دارند. از جمله این مناطق دره پو (ایتالیا)، مکزیکوسی (مکزیک)، لاس و گاس، آنتلپ و سانتاکلارا (ایالات متحده)، بانکوک (تایلند) و شانگهای (چین) نام برد. از لحاظ اقتصادی وارده نیز به عنوان مثال می‌توان به خسارت ۵۰ میلیون یورویی وارد به مادرشهر ماریا در اسپانیا اشاره کرد که به تبع آن، هزینه‌های سنگین اجتماعی را در دوره خشکسالی ۱۹۹۵ - ۱۹۹۲ بر جامعه تحمیل کرده است (توماس و همکاران، ۲۰۰۹، ۱۰۱۶).

شریفی کیا (۲۰۱۱) میزان فرونشست به دست آمده از روش تداخل‌سنجی راداری در دشت نومق - بهرمان واقع در استان کرمان را با تغییرات تراز آبی مستخرج از چاه‌های پیژومتری مقایسه نموده و پی به ارتباط عددی بین آنها برده است. نرخ و محدوده فرونشست در دشت رفسنجان با پردازش تصاویر از ماهواره‌های ALOS, ENVISAT, Sentinel 1 در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ محاسبه شده است. پرهیزکار و همکاران (۲۰۱۵)، اقدام به بررسی پیش‌بینی افت سطح آب و ارزیابی فرونشست زمین در آبخوان دامغان با ترکیب مدل‌های جی ام اس و جی ای پی نمودند نتایج این بخش از تحقیق نشان داد که با افت سطح آب زیرزمینی به میزان ۲۹۵ سانتی متر و ۳۴۳ سانتیمتر، نشست زمین به ترتیب به میزان ۴/۳۵ و ۴۵،۳۹ سانتیمتر خواهد بود. این تحقیق نشان داد که در دشت دامغان سطح آب زیرزمینی به طور مداوم در حال پایین

1. Raucooules

2. Pacheco

3. Zebker,

4. Chung

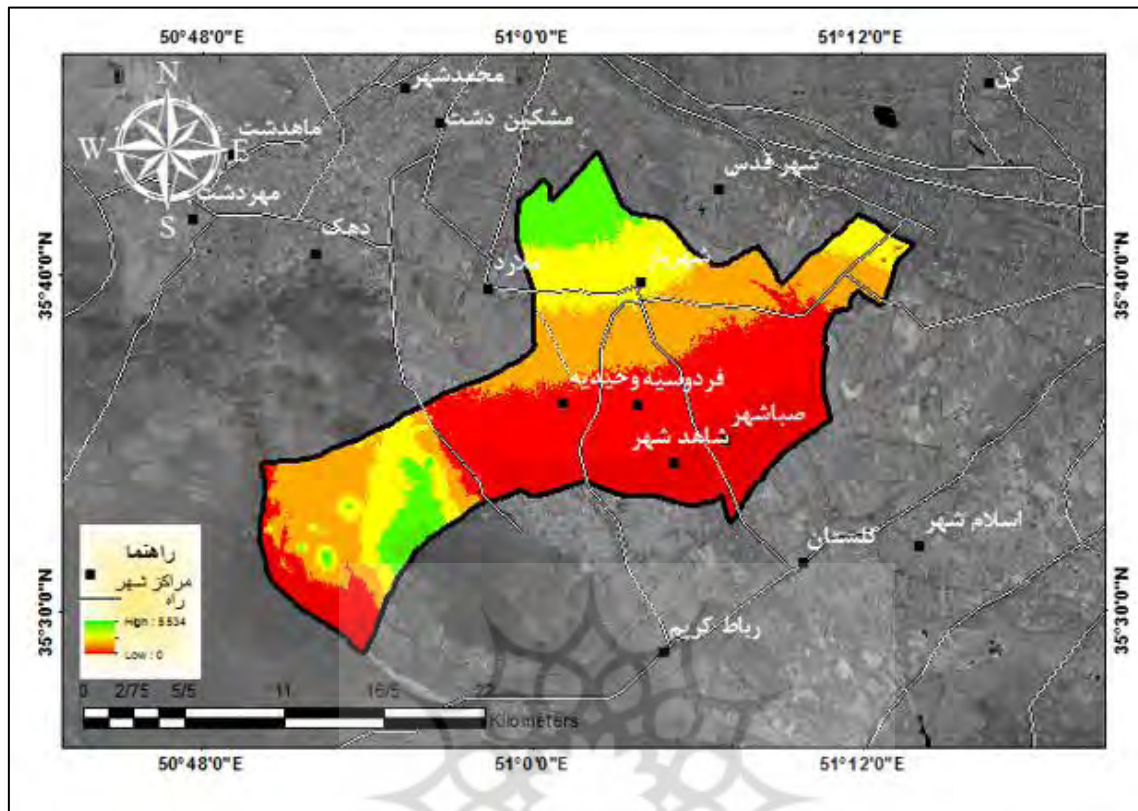
آمدن و مقدار نشست زمین در حال افزایش می‌باشد. لذا پمپاژ از چاه‌های در واقع در نواحی با ریسک بالا باید کاهش یابد. زو و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی پدیده فرونشست در آبخوان شهر پکن پرداخته‌اند. هدف از این مطالعه برای تعیین کمیت فرونشست زمین در طول دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار گرفت نتایج نشان می‌دهد که فرونشست زمین به طور یکنواخت و به طور مداوم در دوره‌های زمانی ۹۲ میلی‌متری در سال ارزیابی کرده است. موتق و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه ای در دشت رفسنجان از داده های Alos و Sentinel1A مربوط به سال های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ در پهنای به وسعت ۱۰۰۰ کیلومتر مربع به منظور مطالعه زمین بهره بردند. در این تحقیق آن ها به این نتیجه رسیدند که نرخ فرونشست دشت از ۵ سانتی متر در سال به بیش از ۳۰ سانتی متر در سال در سال های اخیر تغییر یافته است که عمدتاً ناشی از بهره برداری شدید از منابع آب زیرزمینی بوده و تا حدودی از رفتار گسل کواترنری منطقه تبعیت می کنند. مقصودی و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ و تکنیک تداخل سنجی راداری، میزان فرونشست غرب تهران را ۱۵ سانتی متر بر آورد کرده‌اند.

هدف از تحقیق حاضر بررسی میزان فرونشست دشت شهریار با استفاده روش تداخل سنجی راداری و تصاویر سنتینل ۱ برای تاریخ‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ و همچنین بررسی تأثیر و ارتباط افت سطح آب‌های زیرزمینی مورد مطالعه می باشد. و همچنین میزان فرونشست بر کاربری های مختلف در دشت شهریار مورد مطالعه قرار گرفت.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

دشت شهریار بین ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده‌است. کرج در ۴۰ کیلومتری شمال شهریار، شهر قدس در ۲۰ کیلومتری شمال شرق، اسلامشهر در ۳۵ کیلومتری جنوب شرق، رباط کریم در ۲۰ کیلومتری جنوب، پرنده در ۴۰ کیلومتری جنوب غرب، ملارد در ۱۵ کیلومتری غرب و اندیشه در ۱۵ کیلومتری شمال غرب شهریار قرار دارند. شهریار، اندیشه، باغستان، فردوسی، شاهدشهر، صباشهر و وحیدیه از شهرهای شهرستان شهریار به شمار می‌روند. شهرستان شهریار مساحتی حدود ۳۴۰ کیلومتر مربع و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۱۴۰ متر می باشد. این شهرستان از دشت های حاصل خیز در ناحیه شرق، مرکز، شمال شرق برخوردار است. کوه های منفرد و گاه پیوسته ای، قسمت های جنوب و غرب اراضی یکدست آن را تغییر داده اند.



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

در راستای انجام این پژوهش از داده و تصاویر ماهواره ای و نرم افزارهای متعددی استفاده شده است که عمده از مشتمل بر موارد زیر خواهد بود:

تصاویر ماهواره ای راداری: در این پژوهش از تصاویر سنتینل ۱ که در محدوده باند C امواج مایکروویو اخذ تصویر می کند، استفاده شده است. سپس پردازش های لازم از طریق افزونه SARSCAPE 5.2 در نرم افزار ENVI 5.3 انجام شد و تکنیک مورد استفاده در این پژوهش به منظور تعیین میزان فروروشست، روش تداخل سنجی تفاضلی با گشودگی ترکیبی دو عبور مکرر و یا غیر مکرر می باشد. از اساسی ترین مراحل در پردازش تداخل سنجی راداری انتخاب مناسب زوج تصویر مناسب است که چند عامل همچون فرکانس سنجنده، خط مبنای مکانی، خط مبنای زمانی و همچنین همپوشانی فضایی در راستای حرکت سنجنده در انتخاب زوج تصاویر موثر می باشند. در پژوهش حاضر از دو تصویر Sentinel-1-A از نوع SLC مربوط به سال ۲۰۱۵ و سال ۲۰۲۰ استفاده گردید. مشخصات تصاویر راداری در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات تصاویر مورد استفاده

Year	Sensor	Sub-image	Original image	Numbe
2015	Sentinel1	S1A_OPER_AUX_20160703	S1A_IW_SLC_1SDV_20150702	1
2020	Sentinel1	S1A_OPER_AUX_20200419	S1A_IW_SLC_1SDV_20200905	2

یک سیگنال راداری با درجه مصنوعی از دو بخش دامنه و فاز تشکیل شده است. دامنه، قدرت سیگنال برگشتی است و فاز کسری از یک سیگنال کامل موج سینوسی است. فاز در تصویر راداری از طریق فاصله بین آنتن سنجنده و عارضه زمینی مشخص می گردد. اگر چه فاز یک تصویر منفرد به سختی اطلاعات مفیدی در اختیار قرار می دهد اما تفاوت فاز یک زوج تصویر هم مرجع و هم دوس اطلاعات ذی قیمتی در اختیار محققان قرار می دهد. در تداخل سنجی راداری تفاوت

فاز دو تصویر از یک منطقه زمانی و خط مبنای مشخص تعیین می‌گردد (دهقانی بیدگلی و همکاران، ۱۳۹۹، ۱۷۸). روش تداخل‌سنجی راداری (InSAR) امکان تولید مدل رقومی ناهمواری‌های زمین را فراهم می‌آورد که دقت ارتفاع بهینه آن برای داده‌های نوار C با طول موج ۵/۶ سانتیمتر حدود پنج متر است (چاترجی^۱ و همکاران، ۲۰۰۶، ۱۷۹). این روش را برای اولین بار توسط گولدشتاین^۲ و زبکر^۳ در سال ۱۹۸۹ ارائه شد. این اصطلاح به روش اندازه‌گیری پاره‌ای از پارامترها از قبیل توپوگرافی، تغییرات و جابجایی سطح زمین از طریق تداخل فاز دو یا چند تصاویر راداری با روزه مجازی (SAR) اخذ شده از منطقه مشابه اطلاق شده است. این روش قادر است با استفاده از دست کم دو تصویر DEM یا تعداد بیشتری از تصاویر راداری تغییرات سطحی رخ داده در زمین را در بازه‌های متفاوت با دقت‌های میلی‌متری آشکارسازی می‌کند. اصول بنیادین نحوه اندازه‌گیری تغییرات سطحی پوسته زمین با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، P معرف فضایی مشخص در سطح است که در قالب یک پیکسل تصویر شده است. سنجنده تصویر نخست (تصویر اصلی) TO^۴ ثبت و مقدار فاز را (m) آن را اندازه‌گیری می‌کند. مقدار نشست عبارت‌اند از فاصله P تا P1 که طی زمان مشخصی صورت گرفته است (Dt). برای اندازه‌گیری این مقدار، سنجنده تصویر دومی (تصویر فرعی)^۵ در زمان t و با هندسه‌ای کاملاً شبیه به تصویر نخست اخذ کرده، مقدار فاز (m) را برای آن اندازه‌گیری می‌کند. روش تداخل‌سنجی تفاضلی، تفاضل فاز Φ_s و m را در فرم تداخل نگار فازی نمایش می‌دهد (Δint). در صورت ثابت و پایدار بودن سطح، تفاضل فاز این دو تصویر ناشی از تغییر موقعیت این دو سنجنده و مقدار آن به کمک رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$\Delta \Phi_{int} = 4\pi \frac{SP-MP}{\lambda} \quad (1)$$

که در آن SP فاز تصویر اول، MP فاز تصویر دوم، عدد پی با مقدار ثابت ۳/۱۴ و λ طول موج می‌باشد. در اندازه‌گیری مقدار فرونشست در این روش، سطح ناپایدار تصور شده، به طوری که سطح از P به P1 تنزل یافته است. تعیین مقدار نشست در فاصله زمانی دو تصویر (Dt) تابع اختلاف فاز دو تصویر ($\Delta \Phi_{int}$) به همراه فاز ناشی از توپوگرافی (Φ_{Top}) و فاز ناشی از اتمسفر خواهد بود (دینگ^۶ و همکاران، ۲۰۰۴، ۱۱۵۴).

$$\Delta \Phi_{int} = 4\pi \frac{SP-MP}{\lambda} = \Phi_{Top} + \Phi_{Mov} + \Phi_{Atm} \quad (2)$$

در نهایت، با نادیده انگاشتن اثر اتمسفر در جابجایی‌هایی به میزان بالا (چند سانتی‌متر) و یا حذف آن به کمک تصاویر اپتیکی اختلاف فاز دو تداخل نگار فقط بیان کننده مقادیر جابجایی سطح (فرونشست) خواهد بود. تداخل نگار تفاضلی حاصل در برگیرنده مقداری نویز است. عامل به وجود آورنده این نویزها می‌تواند مختلف باشد، دو عامل اصلی در به وجود آمدن آنها تاثیر گذار است (حبیب زاده و علی المدرسی، ۱۳۹۲، ۶۳). عامل اول مربوط به تفاوت زمانی بین دو تصویر اصلی و وابسته است. گاهی اوقات برخی از تغییرات در منطقه که در بین فاصله زمانی بین دو تصویر اتفاق می‌افتد جز عوامل به وجود آورنده نویز می‌باشند که می‌توان به ساخت و سازهای مربوط به فعالیت‌های عمرانی و یا فعالیت‌های کشاورزی در منطقه اشاره کرد. عامل دوم که در به وجود آوردن نویزها تاثیرگذار است خط مبنای مکانی می‌باشد که میزان نویزها در تصاویر ارتباط مستقیمی با خط مبنای مکانی دارد، هر چه این میزان بیشتر باشد ما شاهد وجود نویزهای بیشتری در تداخل نگار هستیم. در منطقه مورد مطالعه به دلیل مهاجر پذیر بودن دشت شهریار و نرخ بالای رشد ساکنین آن شاهد ساخت و ساز و فعالیت

1. Chatterjee

2. Goldstein

3. Zebeker

4. Master

5. Slave

6. Ding

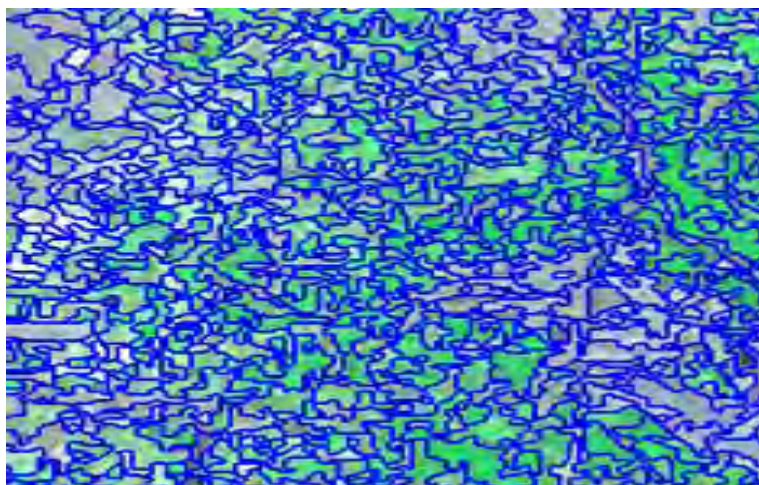
های عمرانی زیادی هستیم. علاوه بر این عامل، وجود زمین‌های کشاورزی و باغات جز عوامل ایجاد نویز در تصاویر است و برای حذف و کاهش نویزها از عمل فیلترینگ استفاده شده است. به دلیل کارایی بالای فیلتر Goldstein در انجام این تحقیق از آن استفاده شده است، نتیجه اعمال فیلتر تولید تداخل نگار فیلتر شده است که این تداخل نگار از لحاظ بصری حاشیه‌های مرتب‌تری نسبت به تداخل نگار فیلتر نشده دارد و میزان نویز در آنها کاهش چشمگیری داشته است. ویژگی این فیلتر این است که به صورت انتخابی عمل می‌کند و عمل فیلتر گذاری به صورت محلی انجام می‌شود، نوع عملکرد این فیلتر تحت تاثیر همبستگی تداخل نگار است، در مواردی که شاهد همبستگی پایین است مقدار پیکسل‌های بیشتری را تحت تاثیر قرار می‌دهد و در مواردی که شاهد همبستگی بالا است تعداد پیکسل‌های محدودی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (حبیب زاده و علی‌المدرسی، ۱۳۹۲، ۶۴).

مدل رقومی ارتفاعی: SRTM فاز اینترفروگرام حاوی اثر توپوگرافی، خطای مداری و اثرات اتمسفر می‌باشد. برای به دست آوردن جابه‌جایی سطح زمین در یک بازه زمانی، می‌بایست خطاهای مداری، اثرات توپوگرافی و نویز اتمسفر از اینترفروگرام‌ها حذف گردند. برای حذف اثر توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاعی SRTM با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر مورد استفاده قرار گرفته است. خطاهای مداری نیز با برازش یک رویه به مناطقی که فاقد جابه‌جایی هستند مدل سازی شد و از اینترفروگرام مورد نظر کم گردید. خطای اتمسفر را می‌توان به کمک اطلاعات جوی و مدل اتمسفری تعدیل نمود (ماسونت و فیگل، ۱۹۹۸، ۴۶۰).

تصویر ماهواره ای اپتیکال: در این تحقیق به منظور استخراج نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره لندست ۸ که از سنجنده OLI آن به منظور استخراج نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۰ استفاده شد مشخصات تصاویر لندست در جدول ۲ ارائه شده است. به منظور تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی از نرم‌افزار ENVI 5.3 و به منظور استخراج نقشه‌های مربوطه از نرم‌افزار ARCGIS 10.5 استفاده شد. برای طبقه‌بندی کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی شی‌گرا در نرم‌افزار Google Earth 64 eCognition استفاده شد. همچنین به منظور به دست آوردن صحت طبقه‌بندی از نرم‌افزار Google Earth استفاده شد. در روش طبقه‌بندی شی‌گرا، اطلاعات طیفی با اطلاعات مکانی ادغام گردیده و پیکسل‌ها بر اساس شکل، بافت و تن خاکستری در سطح تصویر با مقیاس مشخص، قطعه‌بندی شده و طبقه‌بندی تصویر بر اساس این قطعه‌ها انجام می‌شود. در قطعه‌بندی پیکسل‌ها توسط الگوریتم‌های مختلف، با نسبت‌های مختلف طیفی و شکلی قطعه‌بندی و بر اساس ویژگی‌های طیفی و فضایی در قالب اشیا گوناگون دسته‌بندی شده‌اند. طی این فرآیند شی‌های تصویری متناسب با همگن بودن یا ناهمگن بودن بر اساس پارامترهای مقیاس، رنگ، شکل، ضریب نرمی و شکل فشردگی ایجاد شد (فیضی زاده و هیلالی، ۲۰۱۰، ۷۶). با آزمون و خطا بهترین اندازه که نشان دهنده اشیا با ابعاد مختلف می‌باشند تعیین شد. در این پژوهش تصویر قطعه‌بندی شده دارای مقیاس ۴۵، شکل ۰/۵، ضریب فشردگی ۰/۵ انجام گردید. بعد از مشخص کردن تعداد کلاس‌های مورد نیاز در طبقه‌بندی تعیین شی‌های نمونه‌های آموزشی انجام و در نرم‌افزار بر سطح تصویر اعمال گردید. سپس طبقه‌بندی با استفاده از نزدیک‌ترین همسایه و روش درخت تصمیم‌گیری صورت گرفت. لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از میزان صحت و درستی آن است. دقت طبقه‌بندی در سال ۲۰۲۰ با صحت کلی ۹۸ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۶ است.

جدول ۲. اطلاعات تصاویر سنجنده لندست ۸

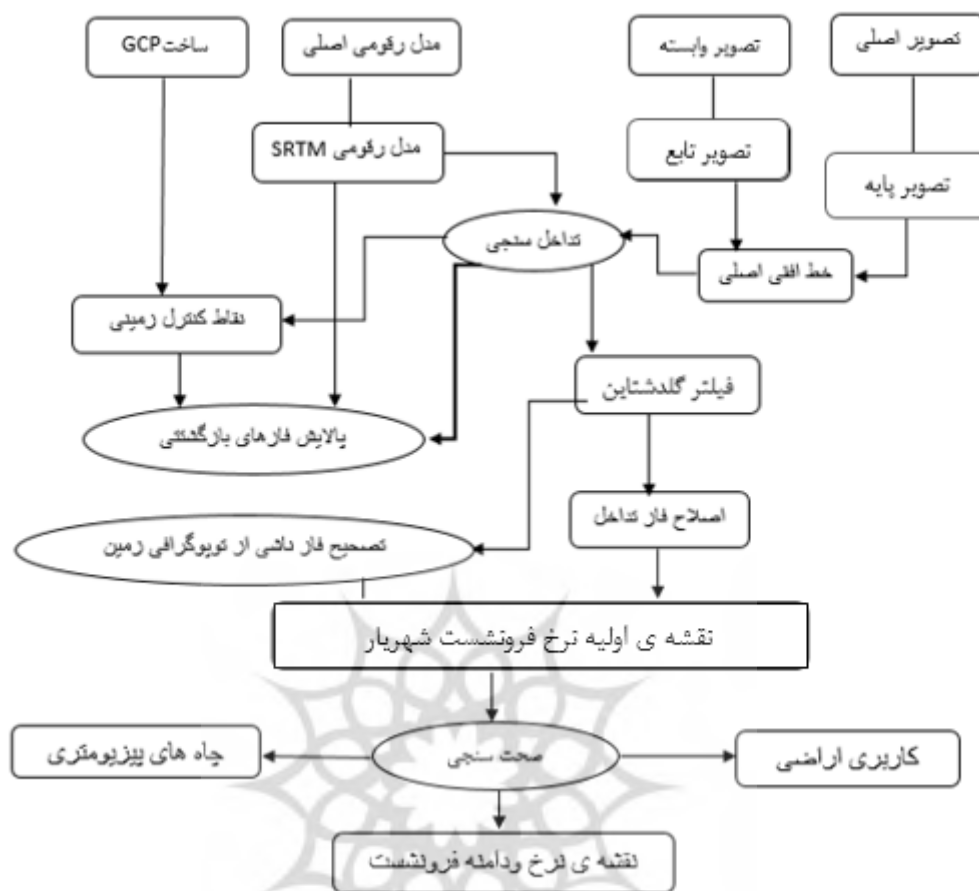
SCENE_CENTER_TIME	SUN_AZIMUTH	ROW	PATH	Sensor name	Year
07:14:15	129.96034027	35	165	LANDSAT_8	2020-08-09



شکل ۳: نمونه تصویر قطعه‌بندی شده (مقیاس: ۴۵، شکل ۵، ضریب فشردگی ۰/۵)

داده‌های چاه‌های پیژومتری:

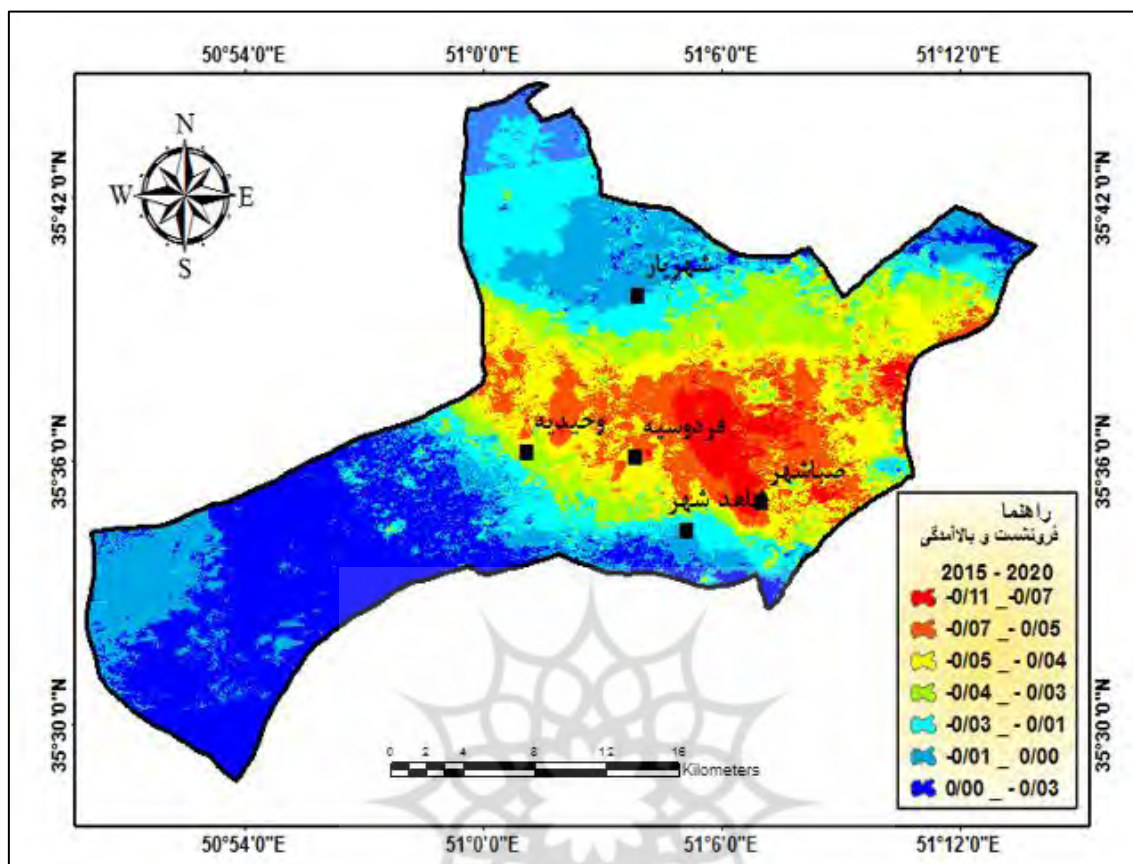
در مطالعات مربوط به علل فرونشست زمین بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی نقش بسیار مهمی دارد. به همین دلیل اطلاعات مربوط به تغییرات سطح آب زیرزمینی در طی سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ که از چاه پیژومتری واقع در دشت شهریار برداشت شده و مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور انتخاب بهترین مدل درون‌یابی از بین مدل‌های مختلف، تمامی مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند و تنها مدل‌هایی انتخاب شدند که دارای دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها بودند. به منظور پایش سطح آب‌های زیرزمینی نقشه سطح آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای هر دو سال با روش مدل‌های کریجینگ نتایج از دقت بالایی را نشان می‌دهد. روش K-Bessel با مقدار RMS ۰/۱۳۴، و روش Gaussian با مقدار RMS ۰/۱۳۵، که دقیق‌ترین روش شناخته شدند، استخراج شد.



شکل ۲: فلوجارت مراحل تحقیق

بحث و یافته‌ها

در این پژوهش با روش تداخل‌سنجی راداری، میزان و دامنه فرورنشست را تبیین کردیم. به منظور تولید نقشه‌های معرف الگوی فضایی میزان و دامنه نشست در دو بازه زمانی متفاوت به همراه مدل رقومی زمین SRTM جهت عملیات تداخل‌سنجی استفاده شد. نقشه خروجی حاصل از مقادیر مثبت و به رنگ آبی جابجایی مربوط به حرکت زمین به سمت دید راداری (بالا آمدگی) را رو مقادیر منفی و به رنگ قرمز بیانگر دور شدن سطح زمین از سنجنده در راستای دید راداری (فرورنشست) است. نتایج حاصله در شکل ۷ نمایش داده شده است. بر اساس نقشه تهیه شده، محدوده مطالعاتی در طی ۶ سال اخیر از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ میزان فرورنشست ۱۱ سانتیمتر و بالا آمدگی ۳ سانتیمتر را نشان می‌دهد. که با توجه به نقشه مزبور بیشترین میزان فرورنشست در مرکز و شرق دشت و کمترین میزان در غرب و شمال دشت بوده است. بیشترین میزان فرورنشست در شهر فردوسیه و صباشهر با مقدار ۱۱ سانتی‌متر می‌باشد. کمترین میزان فرورنشست در شهر وحیدیه و شاهدشهر با مقدار ۲ تا ۴ سانتی‌متر بوده است. رویداد مخاطره فرورنشست در سکونتگاه‌ها علاوه بر ایجاد خسارت فراوان به ساختمان‌ها و تاسیسات، جمعیت انسانی را نیز تهدید می‌کند. این خسارات در مکان‌های مثل شهرستان شهربار که دارای تراکم جمعیت بالایی است می‌تواند فاجعه آفرین باشد.



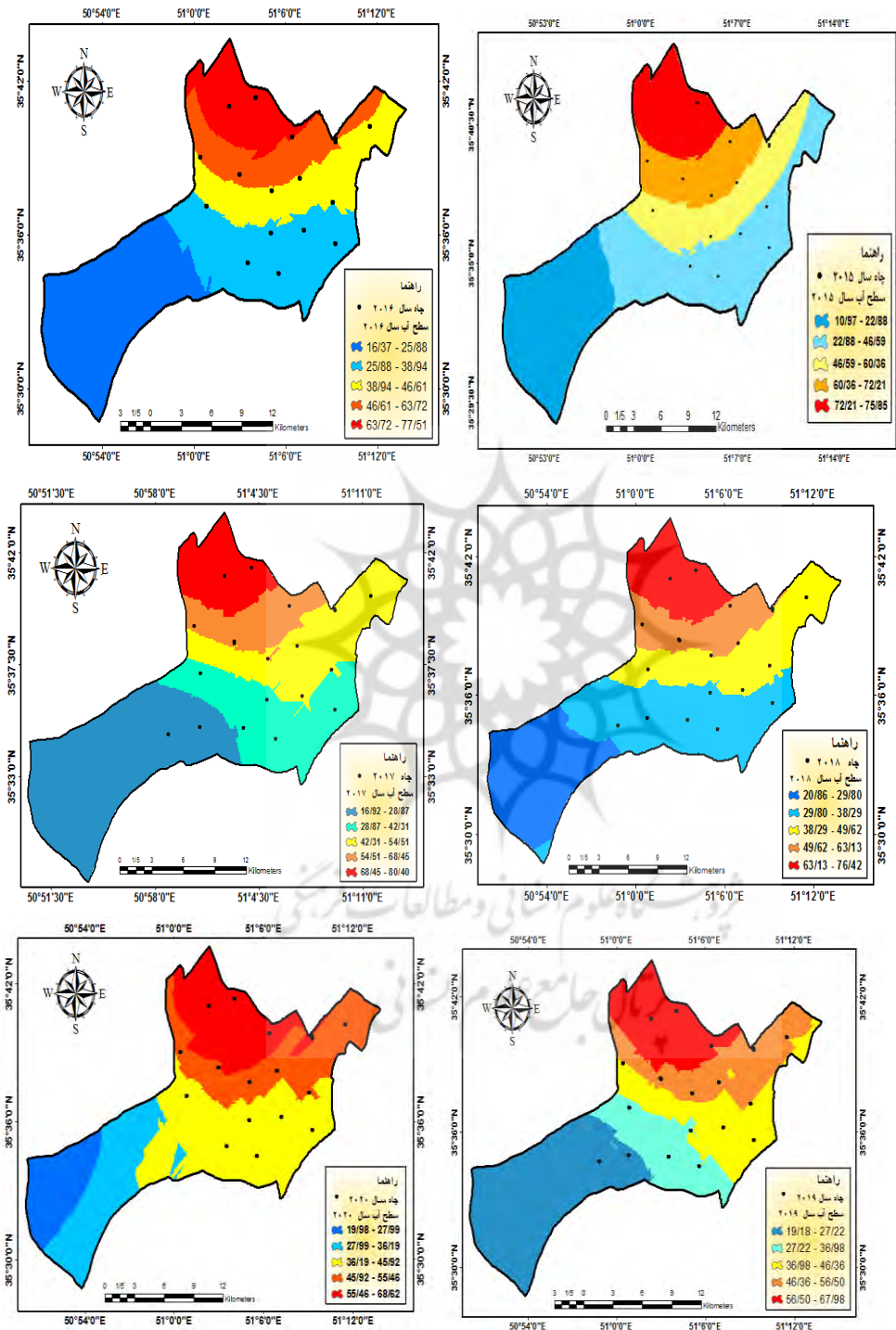
شکل ۷: میزان بالآمدگی و میزان فرونشست دشت شهریار

تحلیل رابطه فرونشست و آب‌های زیرزمینی

به منظور انتخاب بهترین مدل درون‌یابی از بین مدل‌های مختلف، تمامی مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند و تنها مدل‌هایی انتخاب شدند که دارای دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها بودند. به منظور پایش سطح تراز آب‌های زیرزمینی نقشه سطح آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای هر ۶ سال با روش مدل‌های کریجینگ نتایج از دقت بالایی را نشان می‌دهد. روش K-Bessel با مقدار $RMS = 0.134$ و روش Gaussian با مقدار $RMS = 0.135$ ، برای سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ که دقیق‌ترین روش شناخته شدند، استخراج شد.

در این پژوهش، نرخ و دامنه فرونشست استخراج شده به وسیله تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی از طریق اطلاعات چاه‌های پیزومتری مورد اعتبارسنجی قرار گرفته است. به این ترتیب یافته‌های تحقیق به کمک داده‌های چاه‌های پیزومتری و کاربری اراضی مورد کنترل و ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به نقشه درون‌یابی شکل ۸ و ۹ با توجه به سطح آب زیرزمینی دشت علی‌رغم نوسانات فصلی دارای روند نزولی است. نتایج نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۵ سطح آب ۷۵/۸۵ متر بوده است که در طی ۶ سال در سال ۲۰۲۰ به ۶۸/۵۲ متر کاهش یافته است. که نشان می‌دهد در طی شش سال ۷ متر افت آب زیرزمینی را شاهد بودیم. این در حالی است که بررسی سطح آب زیرزمینی طی ۶ سال محاسبه شد حاکی از افت تدریجی سطح آب زیرزمینی می‌تواند به طور عمده به موضوع استحصال آب زیرزمینی به منظور کشاورزی و شرب و یا مصارف صنعتی باشد. با توجه به نقشه مدل رقومی زمین که در (شکل ۱: منطقه مورد مطالعه) آمده است، احتمالاً شمال دشت شهریار شیب بسیار زیادی دارد و مرتفع‌ترین نقطه دشت مورد مطالعه می‌باشد. این در حالی است که پست‌ترین نقطه در مرکز دشت می‌باشد. معمولاً در دشت‌ها جریان آب از کوهپایه به سمت دشت می‌باشد و چون میزان تغذیه بسیار

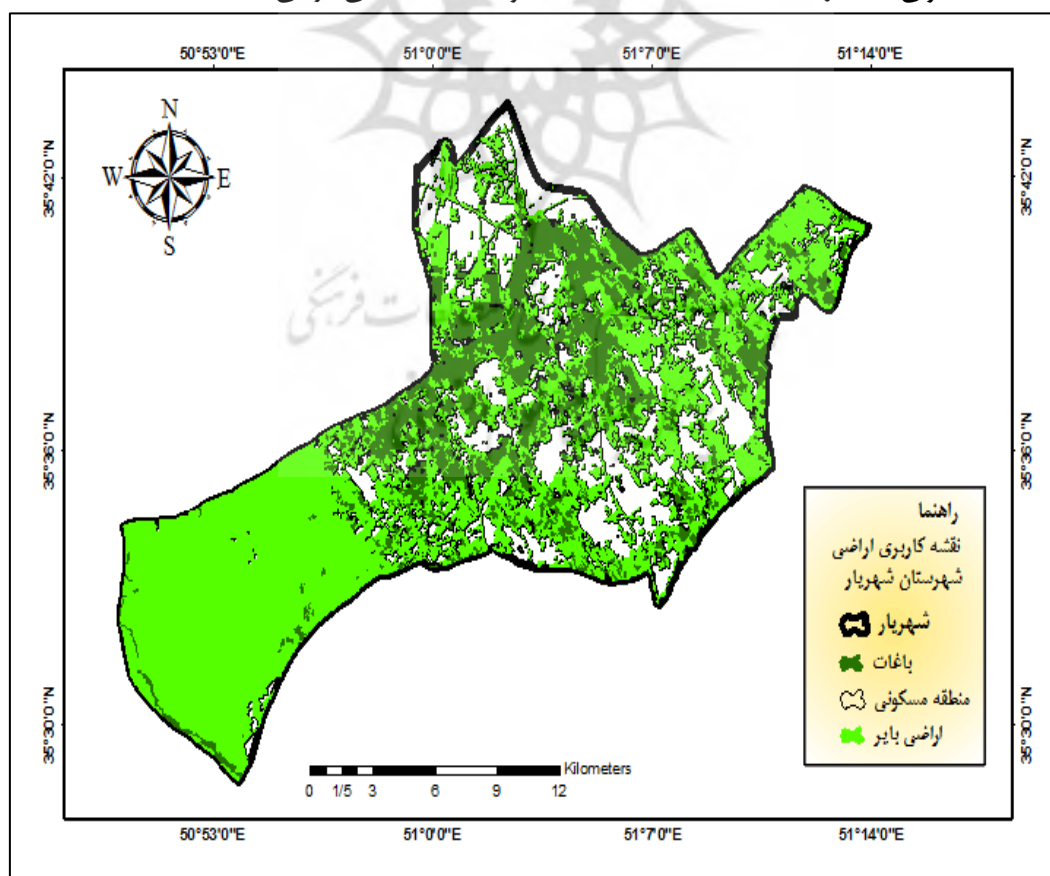
زیاد می‌باشد و برداشت زیاد همراه با فرورنشست زیاد همراه نمی‌شود، ولی در مرکز دشت هم چاه وجود دارد و هم برداشت بسیار زیادی وجود دارد برای همین احتمالا شمال دشت فرورنشست کمتری را نشان می‌دهد.



شکل ۸: نقشه درونیابی سطح آب سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰

تحلیل رابطه فرونشست و کاربری اراضی

نتایج حاصل از انطباق نقشه کاربری اراضی و نقشه فرونشست در جدول ۳ نشان داد که بالاترین میزان فرونشست ترتیب به کاربری‌های باغات و اراضی با مقدار ۱۱/۵۴ سانتی‌متر، مرتع با مقدار ۱۱/۳۴ سانتی‌متر و کاربری‌های منطقه مسکونی با مقدار به ۱۰/۷۵ سانتی‌متر در رده‌های بعدی قرار دارند. فرونشست ۱۱ سانتی‌متری برای کاربری مناطق مسکونی می‌تواند ناشی از تخریب و ساخت و سازهای ساختمان‌های بزرگ باشد که به عنوان بالآمدگی یا فرونشست در نظر گرفته شده باشد رویداد مخاطره فرونشست در سکونتگاه‌ها علاوه بر ایجاد خسارت فراوان به ابنیه و تأسیسات، جمعیت‌های انسانی ساکن را تهدید می‌کند. به نحوی که رویداد آن می‌تواند با تلفات انسانی از طریق تخریب ابنیه‌ها منجر به فاجعه شود. فروریزش ناگهانی زمین و تخریب و ریزش سازه‌های آسیب‌پذیر از سوانح محتمل ناشی از عوارض فرونشست است که در نواحی شهری با تلفات انسانی رو به رو می‌باشد. این سوانح در موارد خاصی به سبب تراکم جمعیت زیاد و یا گسترش شعاع اراضی فروریخته می‌تواند تلفات سنگین و جبران‌ناپذیری داشته باشد. این در حالی است که با هم نهاد سازی شکل ۷ و ۱۰ می‌توان به این نتیجه رسید که بالاترین میزان فرونشست در مناطق مسکونی و دارای جمعیت زیاد رخ داده و همچنین در کاربری باغات و زراعی نیز دارای بیشترین میزان فرونشست است که می‌تواند به علت استحصال آب زیرزمینی به منظور کشاورزی و شرب و یا مصارف صنعتی در این دو کاربری باشد. نتایج حاصل از برداشت‌های میدانی نیز حاکی از کج شدگی تیر برق‌ها به دلیل فرونشست و همچنین ترک خوردن و آسیب دیدن مناطق انسان ساخت را شاهد بودیم. (شکل ۱۱) از سوی دیگر میانگین بیشترین نرخ فرونشست به ترتیب برای کاربری‌های باغات و اراضی، مرتع، و کاربری منطقه مسکونی با مقدار ۰/۰۳۶۳-، ۰/۰۲۰۸-، ۴/۷۰ و ۰/۰۳۴۸- سانتی‌متر می‌باشد.



شکل ۱۰: نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۹

جدول ۳: مشخصات آماری فرونشست کاربری‌ها

کاربری	فرونشست	بالآمدگی	میانگین	انحراف معیار
باغات و اراضی	-۰/۱۱۵۴	۰/۰۳۱۳	-۰/۰۳۶۳	۰/۰۲۲۰
منطقه مسکونی	-۰/۱۰۷۵	۰/۰۳۹۴	-۰/۰۳۴۸	۰/۰۲۲۷
مرتع	-۰/۱۱۳۴	-۰/۰۳۷۴	-۰/۰۲۰۸	۰/۰۲۲۴



شکل ۱۱: ایجاد ترک و کج شدگی خطوط انتقال برق (حبیب زاده و همکاران، ۱۳۹۲، ۶۴)

نتیجه گیری

بررسی وضعیت فرونشست در ۶ سال اخیر از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۲۰ در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین میزان فرونشست ۱۱ سانتی‌متر می‌باشد. به منظور سازگاری نتایج حاصل از تداخل سنجی راداری با دیگر داده‌های تکمیلی از کاربری اراضی و همچنین چاه‌های پیژومتری در سطح دشت شهریار استفاده شد. هم نهادسازی نقشه‌های فرونشست با لایه‌های کاربری اراضی نیز موید رخداد بیشینه عرصه نشست که بالاترین میزان فرونشست در به ترتیب به کاربری‌های باغات و اراضی با مقدار ۱۱/۵۴ سانتی‌متر، مرتع با مقدار ۱۱/۳۴ سانتی‌متر و کاربری‌های منطقه مسکونی با مقدار به ۱۰/۷۵ سانتی‌متر در رده‌های بعدی قرار دارند. مقدار بالآمدگی در هر سه کاربری مقدار سه سانتی متر فرونشست را نشان می‌دهد (جدول ۳). فرونشست ۱۱ سانتی‌متری برای کاربری مناطق مسکونی می‌تواند شرایط زیستی نامنی را برای ساکنین فراهم آورده و خطرپذیری آنها را از مخاطرات زمین افزایش دهد. رویداد مخاطره فرونشست در سکونتگاه‌ها علاوه بر ایجاد

خسارت فراوان به ابنیه و تأسیسات، جمعیت‌های انسانی ساکن را تهدید می‌کند. نشست زمین پدیده‌ای فراگیر در سطح جهان است که عمدتاً در اثر بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و شدت یافتن افت سطح آن، نمود کمی و کیفی قابل توجهی در چند دهه اخیر داشته است. برداشت بیش از حد و عدم وجود تعادل بین تغذیه لایه‌های آبدار و تخلیه آنها باعث شده که سطح ایستابی در منطقه روند نزولی مداومی را دنبال کند. با خالی شدن آب موجود در حفره‌های لایه آبدار و جابجایی آب این حفره‌ها با هوا، باعث کاهش میزان فشار تعادل بین لایه‌ها به هم می‌خورد. به دلیل برهم خوردن تعادل بین فشار و وزن لایه‌های فوقانی، در اثر نیروی وزن لایه‌های فوقانی لایه‌های آبدار فشرده شده و کاهش سطح ایستابی افزایش پیدا کند و چون این کاهش سطح با فرونشست رابطه‌ای مستقیم دارد، شاهد افزایش میزان فرونشست در منطقه هستیم. کاهش میزان استخراج آب از سفره‌های آب زیرزمینی باعث تعدیل در فرونشست منطقه می‌شود. عمده مصرف چاه‌ها در منطقه مربوط به فعالیت‌های کشاورزی است. تغییر در الگوی آبیاری باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی از الگوی سنتی به الگوی مدرن نظیر آبیاری قطره‌ای و بارانی می‌تواند باعث کاهش میزان آب مصرفی می‌شود و نتیجه آن کاهش استخراج چاه‌ها است و همچنین جلوگیری از حفر چاه‌های جدید در منطقه مانع از افزایش برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی می‌شود و این دو عامل باعث می‌شود که روند کاهشی سطح ایستابی کند شود که به طور مستقیم بر روی روند فرونشست منطقه تأثیرگذار است و می‌تواند از سرعت آن کم کند و حتی در بهترین حالت روند آن را متوقف کند. در سال‌های اخیر، مخاطره فرونشست به عنوان یکی از چالش‌های پیش روی برنامه‌ریزان مطرح شده است. موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده که تا بیشتر دشت‌های آن، مستعد وقوع فرونشست باشد. با توجه به سطح آب زیرزمینی دشت علیرغم نوسانات فصلی دارای روند نزولی است. همانگونه مشاهده می‌شود در سال ۲۰۱۵ سطح آب ۷۵/۸۵ متر بوده است که در طی ۶ سال در سال ۲۰۲۰ به ۶۸/۵۲ متر کاهش یافته است. که نشان می‌دهد در طی شش سال ۷ متر افت آب زیرزمینی را شاهد بودیم. (شکل ۸). ایجاد چنین شرایط و وضعیتی در رویداد پدیده فرونشست و پیامدهای مخاطره‌آمیز و فاجعه‌بار آن برای کشور، قبل از هر چیز عزم ملی برای پذیرش و مقابله با این پدیده به عنوان یک معضل و مخاطره منتهی به یک فاجعه را طلب می‌نماید. موضوعی که درک آن از یک سوی مستلزم افزایش مطالعات برای شناسایی کامل نواحی مستعد به صورت یک طرح ملی است. از طرفی لازم است زیرساخت لازم برای آگاهی رسانی و همگانی بودن اطلاع از نتایج و معضلات ناشی از این مسئله برای مردم در جهت مشارکت آنها در جهت جلب مشارکت مردم و مسئولان در تعدیل زیرساخت‌های ایجابی فراهم گردد. و نهایتاً برای پیشگیری و کاهش و تعدیل حجم و دامنه فاجعه محتمل از این مخاطره، دستگاه‌های ذیربط تمامی مقررات و استانداردهای لازم ساخت و ساز را برای نواحی در معرض فرونشست، مورد بازنگری قرار داده و اساس را بر شرایط نوین تعریف نمایند.

در تحقیقی مشابه پرهیزکار و همکاران (۱۳۹۴)، اقدام به بررسی پیش‌بینی افت سطح آب و ارزیابی فرونشست زمین در آبخوان دامغان با ترکیب مدل‌های جی ام اس و جی ای پی نمودند. نتایج این بخش از تحقیق نشان داد که با افت سطح آب زیرزمینی به میزان ۲۹۵ سانتیمتر و ۳۴۳ سانتیمتر، نشست زمین به ترتیب به میزان ۴/۳۵ و ۴۵،۳۹ سانتیمتر خواهد بود. این تحقیق نشان داد که در دشت دامغان سطح آب زیرزمینی به طور مداوم در حال پایین آمدن و مقدار نشست زمین در حال افزایش می‌باشد. لذا پمپاژ از چاه‌های در واقع در نواحی با ریسک بالا باید کاهش یابد. در پژوهشی دیگر صفاری و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی پایش فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب‌های زیرزمینی مطالعه موردی: دشت کرج - شهریار به این نتیجه رسیدند که روند تغییرات ناشی از برداشت آب حدود ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد. میزان افت ۲۲ متر طی ۱۲ سال می‌باشد.

منابع

- حبیب زاده هریس، م ص.، المدرسی، ع و سرکارگر اردکانی، ع.، ۱۳۹۲. بررسی فرونشست در شهریار با استفاده از تکنیک *D-In SAR*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، صص ۶۴-۶۳.
- دهقانی بیدگلی، ر.، کوهبنانی، ح ر و یزدانی، م ر.، ۱۳۹۹. پهنه‌بندی فرونشست دشت سمنان ناشی از برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و تصاویر سنتینل ۱، نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۱۰، شماره ۳۹، صص ۱۷۵-۱۸۷.
- Alemi, A., 2002. *The causes of subsidence in the plain of Yazd-Ardakan. Conference papers (in Persian)*.
- Avallone, A., Zollo, P., Briole, C., Delacourt & F. Beauducel. 1999. *Subsidence of Campi Flegrei (Italy) detected by SAR interferometry. Geophysical Research Letters, 26(15): 2303-2306.*
- Chatterjee, R.S., Fruneau, B., Rudan, J.P., Roy, P.S., Frison, P., Lakhera, R.C., Dadhlwal, V.K & Saha R. 2006. *Subsidence of Kolkata (Calcutta) City, India during the 1990 as observed from space by Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry (D-InSAR) technique. Remote Sensing of Environment 102: 176-185.*
- Chung, Y., R. Chen, G. Yue & J. Angelier. 2005. *Estimation of subsidence using GPS measurements and related hazard: the Pingtung Plain. Southwestern Taiwan, 337: 1184-1193.*
- Lashkaripoor, Gh.R., M. Ghafouri & H., Rostamibarani. 2008. *The causes of the formation of fissures and land subsidence in West Plains Kashmar. Journal of Sedimentary Facies, 1: 95-113.*
- Davoudijam, M., 201. . *Determine the scope of the meeting and the time variations using InSAR in plain Mahyar. MSc Thesis, Isfahan University, 125 pages (in Persian)*.
- Dehghani, M., M.J. ValadanZoej, I., Entezam, S., Saatchi & Shemshaki, A. 2011. *Interferometric measurements of ground surface subsidence induced by overexploitation of groundwater. Journal of Applied Remote Sensing, 4(2010): 56-73.*
- Ding, X.L., Liu, G.X., Li, Z.W., Li, Z.L., & Chen, Q.Y., 2004. *Ground subsidence monitoring in Hong Kong with satellite SAR interferometry. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 70(10). 1151-1156*
- Faizizadeh, B., & Hilali, H. 2010. *Comparison of base pixel, object-oriented and effective parameters in land use coverage classification in West Azarbaijan Province. Geographical Research Journal 71. 73-84.*
- Gadirzadeh, A. 2002. *Geological map and mineral exploration of the country and mineral geological exploration of the country.*
- Raucoules, D., Colesanti, C., & C. Carnec. 2007. *Use of SAR interferometry for detecting and assessing ground subsidence. Elsevier . Comptes Rendus Geoscience, 339: 289-302.*
- Massonnet, D. & Feigl, K.L. 1998. *Radar interferometry and its application to changes in the earths surface. Reviews of Geophysics, 36(4):441-500.*
- Maghsoudi, Y., Amani, R., & Ahmadi, H. (2019). *A Study of land Subsidence in West of Tehran Using Sentinel-1 Images and Permanent Scatterers Interferometry. Iran Water Resources Research, 15(1), 299-313.*
- Motagh, M., Shamshiri R., Haghshenase Haghigi, M., Wetzel H., Akbari B., Nahavandchi, H., Roessner, S., & Arabi, S. 2017. *Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanjan plain southestern Iran, using InSAR time – series and in situ measurements. Engineering Geology. 218: 134-151.*

- Motaghi, M., Y. Djamour, T.R., Walter, H.U., Wetzal, J., Zschau & Arabi. S. 2006. Land subsidence in Mashhad Valley, north-east Iran: results from InSAR, levelling and GPS. *Geophysical Journal International*, 168, doi: 10.1111/j.1365-246X.2006.03246.x.
- Pacheco, J., J. Arzate, E., Rojas, M., Arroyo, V., & Yutis G. Ochoa. 2006. Delimitation of ground failure zones due to land subsidence using gravity data. *Engineering Geology*, 84(40636): 143-160.
- Parhizgar S., Agadir KH., Karzai G., & EmamGolizadeh S. 2015. Water level prediction and land subsidence assessment in Damghan aquifer with a combination of models GMS ,GIP, *Journal of Science, University of Tehran, Volume 5, Number 1, pp. 80-36.*
- Rahgoshia, M., & Pourqazi, G. 2008. Water hardness and its possible role on the spread of kidney stones in the Azarshahr region of northwestern Iran. *Nasam Bamdad* 2. 91-106.
- Rajabpour, H. 20.3. *Hydrogeochemistry of groundwater in Azarshahr plain. Master Thesis, University of Tabriz, 120 p.*
- Sharifikia, M. 2009. *D-InSAR data processing and analysis for mapping land subsidence phenomenon in Rafsanjan area, Iran. MSc Thesis, Andra University, India.*
- Sharifikia, M. 2011. *Check consequence of subsidence in land and residential. Plains Country, 3: 43-58.*
- Sharifikia, M. 2011. *Determining the extent and scope of land subsidence using InSAR (D-InSAR) in plain Noogh-Bahreman. Spatial Planning, 3: 56-73 (in Persian).*
- Shirani, K. 2013. *Detection, monitoring and landslide risk assessment using RADAR satellite images, case study: Dena Mountains. PhD Thesis, University of Isfahan, 268 pages (in Persian).*
- Salehi, R., M., Ghafouri, Gh.R., Lashkar poor & Dhegihan, M. 2013. *South Mahyar check subsidence using Ins AR. Irrigation and Water, 11: 47-57.*
- Tomas, R., G. Herrera, J., Delgado, J.M., Lopez-Sanchez, J.J., Mallorqu, 'I., & Mulas, J.A. 2009. *Ground subsidence study based on DInSAR data: calibration of soil parameters and subsidence prediction in Murcia City (Spain). Engineering Geology, doi: 10.1016/j .enggeo 2009.11.004.*
- Zebker, H.A., Rosen, P.A., Goldstein, A., Gabriel & Werner, C.L. 1994. *On the derivation of coseismic displacement fields using differential radar interferometry: the landers earthquake. Journal of Geophysical Research, 99: 19617-19634.*
- Zhu, L., Gong, H., Li, X., Wang. R. 2015. *Land subsidence due to groundwater Withdrawal in the northern Beijing plain China Engineering Geology.*