

بررسی فرونشست زمین به دلیل برداشت بی رویه از منابع آب‌های زیرزمینی با تکنیک تداخل‌سنجی راداری در دشت فسا

سمیه عمادالدین^{۱*}، مسعود محمد قاسمی^۲، دانیال قریشی^۲

۱. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

۲. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

* نویسنده مسئول، Email: s.emadodin@gu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۰۷ شهریور ۱۴۰۰

تاریخ پذیرش: ۲۹ فروردین ۱۴۰۱

چکیده

مقدمه: فرونشست زمین یک پدیده زمین‌شناسی زیست‌محیطی است که باعث آسیب‌رسانی به نقاط جمعیتی و سکونتگاه‌های انسانی و خسارت‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی می‌شود. تکنیک تداخل‌سنجی راداری یک ابزار قوی در برآورد فرونشست با دقتی در محدوده میلی‌متر با استفاده از مشاهدات فاز را دارا هستند.

هدف: یکی از مناطقی که با مخاطره فرونشست مواجه است، دشت فسا در استان فارس است که با توجه به اهمیت موضوع در این تحقیق به بررسی میزان فرونشست، مطالعه سطح آب زیرزمینی و بررسی کشت آبی و دیم منطقه مورد مطالعه پرداخته شد.

روش‌شناسی: به منظور محاسبه فرونشست از تصاویر سنتینل رادار با فرمت (SLC) تک منظر با پوراریزاسیون (VV) جهت محاسبه میران نرخ جابجایی استفاده می‌شوند. روش تداخل‌سنجی راداری روشی برای ترکیب تصاویر SAR گرفته شده از سنجنده‌های راداری ماهواره Sentinel 1A سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ و همچنین اطلاعات چاه‌های پیژومتری موجود در منطقه اخذ و تغییرات آن‌ها در طول دوره ۱۳۹۹-۱۳۷۲ در نرم‌افزار GIS با استفاده از مدل درون‌یابی IDW نقشه سطح آب زیرزمینی تهیه و مورد استفاده قرار گرفته است.

قلمرو جغرافیایی پژوهش: دشت فسا یکی از وسیع‌ترین و مهم‌ترین دشت‌های استان فارس است که چه از نظر جمعیت انسانی ساکن و همچنین سطح زیر کشت دارای اهمیت می‌باشد.

یافته‌ها و بحث: سطح آب زیرزمینی در محدوده‌های دارای فرونشست زمین با افت همراه بوده است. به خصوص در روستاهای دستجه، صحرآورد و قاضی کوچک که بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی را دارا می‌باشد و در پهنه خطر فرونشست زیاد هم قرار دارند. زمین‌های منطقه بیشتر شامل باغات و کشت آبی است. و با توجه به امضا طیف بدست آمده از پوشش‌های گیاهی منطقه مورد مطالعه نوع کشت زمین‌ها بر اساس دیم کاری یا کشت آبی، شناسایی شد.

نتیجه‌گیری: طبق نتیجه بدست آمده یکی از دلایل اصلی فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه، برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی است و در نهایت با استفاده از نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست مشخص شد که به طور کلی ۱۱۴۰۱ نفر در محدوده خطر فرونشست زندگی می‌کنند. ضروری است سازمان‌ها و نهادهای متولی با اتخاذ سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌های مناسب، پیش از وقوع بحران درصدد کاهش هر گونه آسیب به سکونتگاه‌های انسانی، جمعیت و زیرساخت‌های موجود در این مناطق باشند.

کلیدواژه‌ها: تداخل‌سنجی راداری، فرونشست، سنتینل ۱، سنتینل ۲، دشت فسا.

مقدمه

فرونشست زمین یک پدیده زمین‌شناسی زیست محیطی است که ناشی از عواملی مانند بهره‌برداری بیش از حد از منابع زیرزمینی منجمله آب زیرزمینی است (گومیلار و همکاران، ۲۰۱۵) که باعث آسیب‌رسانی به نقاط جمعیتی و سکونتگاه‌های انسانی و خسارت‌های زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی می‌شود (گلی و همکاران، ۲۰۱۹). پدیده فرونشست که ممکن است به صورت نشست تدریجی یا ناگهانی در سطح زمین ایجاد شود، بطور کلی ناشی از عوامل عمده‌ایی همچون انحلال تشکیلات زیرسطحی، تراکم رسوبات و یا افت سطح سیالات زیرزمینی و همچنین عوامل تکتونیکی باشد (فتح الهی و همکاران، ۱۳۹۶؛ چن و همکاران، ۲۰۱۶). سفره‌های آب زیرزمینی یکی از مهمترین و حیاتی‌ترین منابع آبی برای کشاورزی، آشامیدن و صنعت است. در دهه‌های اخیر عواملی مانند رشد جمعیت، توسعه فعالیت‌های صنعتی منجر به استخراج بیش از حد از آب زیرزمینی و کاهش آبخوان‌ها شده است. این امر به معنای استخراج و استفاده از آبی است که در طول هزاران سال در لایه‌های آبدار زمین ذخیره شده و با انجام این کار، سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه روز به روز افت کرده و سرانجام به جایی خواهد رسید که آبی برای استخراج وجود نخواهد داشت. پایین افتادن سطح آب‌های زیرزمینی به معنای خشک شدن مناطق پایین دست (مناطق با ارتفاع کمتر که آب جاری در لایه‌های آبدار تحت اثر جاذبه به سمت آن‌ها جریان می‌یابد) از بین رفتن چاه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌های آن است (د. گراف و همکاران، ۲۰۱۷) که منجر به فرونشست زمین می‌شود. علت رخداد این پدیده می‌تواند عوامل طبیعی و یا انسانی باشد (گالووی و باربی، ۲۰۱۱، شریفی کیا، ۱۳۹۱). اثرات فرونشست را می‌توان در چهار بعد دید: ۱- آسیب به زیرساخت‌ها، خطوط لوله، ساختمان‌ها و سدها، ۲- کاهش عملکرد جاده‌ها و راه آهن به دلیل تغییر شکل سطح جاده و پایه ریلی، ۳- قرار گرفتن در معرض سیل را افزایش می‌دهد (دو و همکاران، ۲۰۱۸) و ۴- ممکن است یک کانالی برای منابع آلودگی زمینی شود و آب‌های زیرزمینی را آلوده کند (ما و همکاران، ۲۰۱۹ و ژانگ، ۲۰۱۹). امروزه تکنیک تداخل سنجی راداری به عنوان یک ابزار قوی برای اندازه‌گیری تغییر شکل سطحی پوسته زمین در طول زمان شده است و می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد پایش فرونشست دهد (عمادلی، ۲۰۱۷ و نوتی، ۲۰۱۶).

تداخل سنجی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای راداری با درجه مصنوعی روش دقیق مبتنی بر استفاده از حداقل دو تصویر راداری از یک منطقه است و قادر است با دقت قابل توجهی تغییرات جابجایی ارتفاعی در سطوح وسیع و در طی بازه‌های زمانی مختلف را با دقتی در حد میلیمتر اندازه‌گیری نماید (تونگ^۱ و همکاران ۲۰۱۶). این روش برای برآورد جابه‌جایی‌های عمودی در مقیاس وسیع امکان‌پذیر است. اساس این روش به این صورت است که اگر دو تصویر راداری از یک منطقه در دو زمان مختلف اخذ شود، اینترفروگرام یا تداخل نگار مربوط به ترکیب این دو تصویر تغییرات اندک سطح زمین در مقیاس میلیمتر را نشان خواهد داد. در خصوص سطح زمین موجود در یک منطقه که دو بار و با یک هندسه مشابه تصویربرداری شوند، چنانچه مسافت رادار-زمین-رادار در هر دو تصویر یکسان باشد، فازهای برگشتی یکسان خواهد بود و این بدین معناست که اختلاف ارتفاعی صورت نگرفته است. اما چنانچه سطح موردنظر در پوسته زمین جابجایی (افقی یا عمودی) داشته باشد. مسافت رادار-زمین-رادار تغییر کرده و فاز تصویر دوم اصطلاحاً شیفت خواهد داشت. این شیفت فاز دلالت بر جابجایی سطح دارد. میزان حرکت متناظر با نصف طول موج است (واجیدیان و همکاران ۱۳۹۰). به منظور پایش و اندازه‌گیری فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری، نیز مطالعات گسترده‌ایی در سطح جهانی صورت گرفته است. محمد پور (۲۰۱۶) به مدل‌سازی عددی و تخمین فرونشست زمین در

¹ Gumilar

² Goli

³ Chen

⁴ De Graaf

⁵ Galloway&Burbey

⁶ Emadali

⁷ Notti

⁸ Tong

اثر استخراج آب‌های زیرزمینی در دشت‌های جنوب غربی تهران پرداخته و با کاربرد مدل پیشنهادی خود، میزان فرونشست نهایی در سال ۲۰۱۸ و نرخ فرونشست برای منطقه مورد مطالعه را پیش‌بینی کرده‌اند. جیمینگ گوو^۱ و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی رابطه بین فرونشست زمین و تغییرات آب‌های زیرزمینی پرداختند. در این مطالعه نرخ فرونشست با تکنیک تداخل‌سنجی راداری و با استفاده از ۱۸ تصویر ENVISAT ASAR بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ مشخص شد. میزان نرخ فرونشست حاصل از این مطالعات با دقت کمتر از ۵ میلی‌متر تایید شد. طبق نتایج در پکن، فرونشست به صورت ناهموار و به طور بارز مشخص شده است. بیشترین نرخ فرونشست در محدوده مرکزی شهر و در حدود ۱۰ میلی‌متر در سال است که مقدار آن در محدوده تانژو^۲ به بیش از ۱۴۰ میلی‌متر در سال رسیده است. بررسی‌هایی که در این مطالعه بر روی آب‌های زیرزمینی انجام شد، ارتباط بالای میزان فرونشست زمین و افت سطح آب‌های زیرزمینی را نشان داد. طوری که شکل فرونشست و افت سطح آب‌های زیرزمینی به شکل قیف و منطبق بر هم بدست آمده است.

جین^۳ و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی نقش فعالیت‌های کشاورزی در فرونشست زمین در دره سان خواکین در کالیفرنیا پرداختند. خشکسالی‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ موجب افزایش شدید استفاده از آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه و در نتیجه باعث فرونشست گردید. یافته‌های اصلی آن‌ها نشان داد در مناطقی که تقاضای استفاده از آب زیرزمینی بیشتر باشد فرونشست زمین هم در منطقه زیاد می‌باشد. آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی مکان‌هایی که در آینده بیشتر در معرض تخریب قرار دارند را شناسایی و مدیریت منابع آب زیرزمینی را پیشنهاد دادند. گورابی و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی فرونشست زمین در کلان‌شهر اصفهان با تصاویر Sentinel-1 میزان فرونشست زمین را به میزان ۵- تا ۱۰۰- میلی‌متر در سال برآورد کردند که از جنوب به بخش‌های شمالی، شمال شرقی و شرقی کلان‌شهر اصفهان افزایش می‌یابد، در حالی که بخش‌های جنوبی شهر تقریباً یک منطقه پایدار هستند و میزان فرونشست قابل توجه در آن مشاهده نمی‌شود. مرادی و همکاران (۱۳۹۹) در تحلیل فرونشست با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری، اطلاعات چاه‌های ژئوتکتونیک و پیرومتری در منطقه ۱۸ شهر تهران به این نتیجه رسیدند که منطقه ۱۸ شهری بر روی مخروط افکنه جوان کن که توزیع بالای گراول و متخلخل را در عمق‌های تحتانی دارا می‌باشد قرار گرفته است. با توجه به عمق چاه‌های موجود در منطقه که ضخامت بالای آبرفت را نشان می‌دهد، به همراه افت سطح ایستابی و خالی شدن خلل و فرج بین دانه‌بندی‌ها که منجر به افزایش وزن آبرفت در جهت نیروی گرانشی می‌شود وجود پدیده فرونشست را موجه نشان می‌دهد. حداکثر میزان فرونشست بدست آمده از مطالعه تداخل‌سنجی راداری در حدود ۴۳۰ میلی‌متر و در محدوده محله یافت‌آباد می‌باشد. نرخ فرونشست از غرب به شرق و از شمال به جنوب با افزایش همراه است. به طوری که قسمت شرقی و جنوبی منطقه مورد مطالعه در پهنه کامل فرونشست قرار گرفته است. با توجه به نتایج بدست آمده از مطالعه تداخل‌سنجی راداری بخش شرقی منطقه ۱۸ شهری بیشترین تاثیر را از پدیده فرونشست دارد. شفیع‌ی و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی فرونشست آبخوان دشت نور-آباد با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری به این نتیجه رسیدند که در محدوده دشت در بازه زمانی ۱۲ ساله بیشترین میزان افت آب زیرزمینی حدود (۲۲-) متر در بخش‌های شرقی، جنوبی و مرکزی آبخوان واقع در چاه‌های پیرومتری اسکان عشایر، خومه‌زار، شهرک صنعتی، تل مشککی و شور می‌باشد. نقشه‌های حاصل از فرونشست نشان داد که نرخ نشست در هر سال میانگین ۴ سانتی‌متر و طی بازه زمانی ۴ ساله حدود ۱۶ سانتی‌متر می‌باشد. بسیاری از دشت‌های ایران با فرونشست مواجه هستند. در این میان، یکی از مناطقی که با مخاطره فرونشست مواجه است، دشت فسا در استان فارس است که با توجه به اهمیت موضوع در این تحقیق به بررسی میزان فرونشست، مطالعه سطح آب زیرزمینی و بررسی کشت آبی و دیم منطقه مورد مطالعه پرداخته شد.

¹Jiming Guo

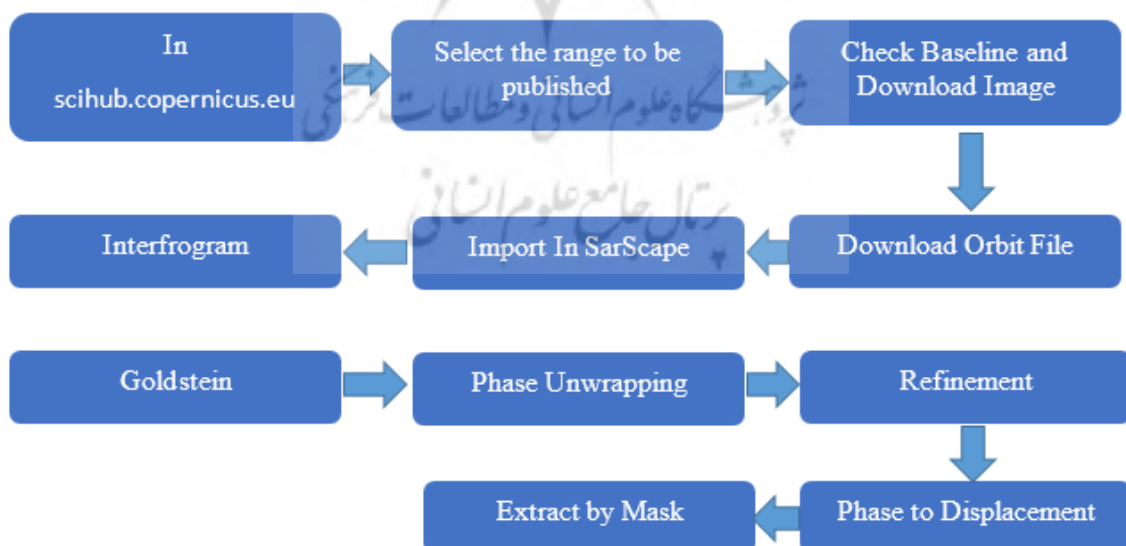
² Tangzhou

³ Jeanne

روش شناسی

برای بررسی فرونشست از روش تداخل سنجی راداری استفاده شد. در این روش با مقایسه فازهای دو تصویر راداری از یک منطقه در دو زمان مختلف می‌توانیم تغییرات سطح زمین را در آن بازه زمانی محاسبه کنیم. ابتدا می‌بایست تصاویر مورد نظر را دریافت کرده و سپس در نرم‌افزارهای مربوطه آن‌ها را مورد پردازش قرار دهیم. در مرحله اول با استفاده از سایت "scihub.copernicus.eu" تصاویر محدوده مورد مطالعه را دانلود کرده و آن‌ها در نرم‌افزار 5.1 ENVI مورد پردازش قرار دادیم. در این پژوهش سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ میلادی مورد بررسی قرار گرفته و میزان فرونشست آن‌ها محاسبه شده است. مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده در جدول شماره ۱ آورده شده است و شکل ۱ مراحل انجام تداخل سنجی رادار را نشان می‌دهد.

در این تحقیق به منظور محاسبه فرونشست از تصاویر سنتینل رادار با فرمت (SLC) تک منظر با پوراریزاسیون (VV) جهت محاسبه میزان نرخ جابجایی استفاده می‌شوند. روش تداخل سنجی راداری روشی برای ترکیب تصاویر SAR گرفته شده از سنجنده‌های راداری نصب شده بر روی هواپیما به منظور تهیه نقشه‌های ارتفاعی، جابه‌جایی و تغییرات سطح زمین و نیز تعیین سرعت حرکت هدف است. دو تصویر SAR پیش و پس از ایجاد جابه‌جایی از سطح زمین گرفته می‌شود. هرگونه جابه‌جایی در سطح زمین سبب تغییر در فاصله سنجنده می‌شود. سپس به منظور مطالعه آخرین وضعیت سطح آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، اطلاعات آماری چاه پیژومتری از سازمان آب منطقه‌ای شهرستان فسا اخذ گردید و در نرم‌افزار GIS با استفاده از مدل درون‌یابی IDW نقشه سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه تهیه شد. در ادامه اطلاعات سطح ایستایی چاه‌های پیژومتری برای سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۹ شمسی وارد نرم افزار اکسل کرده و سپس نمودار آن‌ها تهیه شد و میزان تغییرات سطح ایستایی چاه‌ها بررسی شد. در این مطالعه از تصاویر سنتینل ۲ برای استخراج کشت آبی و دیم در منطقه استفاده شد. بدین منظور تصاویر ماه‌های مورد مطالعه از سال ۲۰۲۰، از سایت earthexplorer.usgs.gov اخذ گردید. در این بخش از مطالعه، از نرم‌افزار ENVI 5.3 به عنوان نرم‌افزار مبنا برای پردازش‌ها (تصحیح هندسی، رادیومتریکی، اتمسفری، محاسبه شاخص طیفی NDVI، استخراج چرخه‌فولوژی، اجرای طبقه‌بندی Neural Network) در تولید نقشه نوع محصول و نرم‌افزار ARC GIS 10.5 برای محاسبه مساحت سطح زیر کشت استفاده گردید.



شکل ۱. مراحل انجام کار در تداخل سنجی

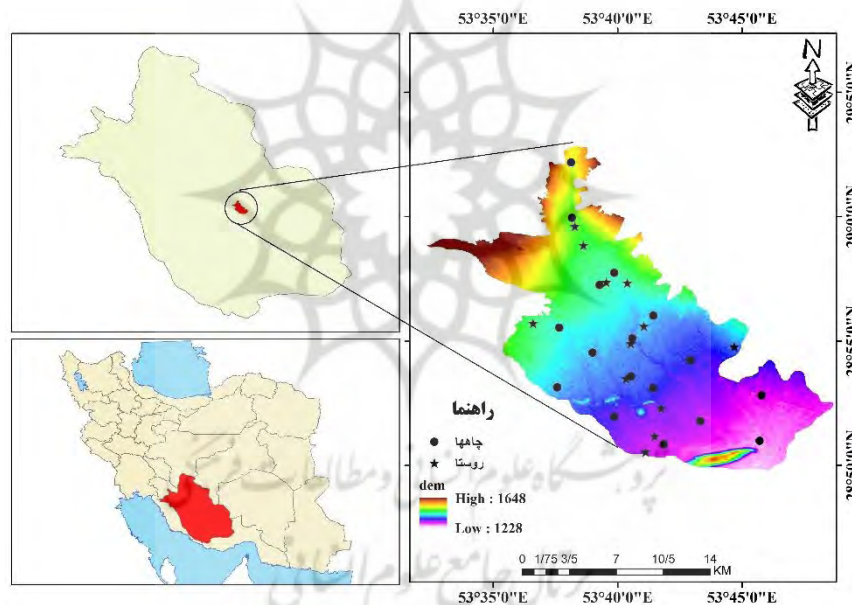
جدول ۱. مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده

| شماره | تاریخ تصویر | فرمت تصویر | حالت تصویربرداری | گذر تصویربرداری | خط مبنا (متر) |
|-------|-------------|------------|------------------|-----------------|---------------|
| ۱ | ۲۰۱۶/۰۲/۱۴ | Slc | Iw | صعودی | -۹۴-۱۵۰ |
| ۲ | ۲۰۱۷/۰۹/۱۶ | Slc | Iw | صعودی | -۷۸ تا ۱۸۲ |
| ۳ | ۲۰۱۸/۰۹/۱۱ | Slc | Iw | صعودی | -۹۸ تا ۱۶۳ |
| ۴ | ۲۰۱۹/۰۹/۰۶ | Slc | Iw | صعودی | -۴۰ تا ۲۲۰ |
| ۵ | ۲۰۲۰/۰۹/۱۲ | Slc | Iw | صعودی | -۳۳ تا ۲۲۸ |
| ۱ | ۲۰۱۶/۰۲/۱۴ | Slc | Iw | صعودی | -۹۴-۱۵۰ |
| ۲ | ۲۰۱۷/۰۹/۱۶ | Slc | Iw | صعودی | -۷۸ تا ۱۸۲ |

برگرفته از: نگارندگان

قلمرو جغرافیایی پژوهش

دشت فسا یکی از وسیع‌ترین و مهم‌ترین دشت‌های استان فارس است که چه از نظر جمعیت انسانی ساکن و همچنین سطح زیر کشت دارای اهمیت می‌باشد. شهرهای فسا، میانشهر، زاهدشهر، از جمله شهرهای اصلی این دشت می‌باشند. بارش در این منطقه اندک و نامنظم (متوسط بارش در سطح دشت ۲۸۷ میلی‌متر در سال) و میزان متوسط تبخیر آن ۲۵۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد.

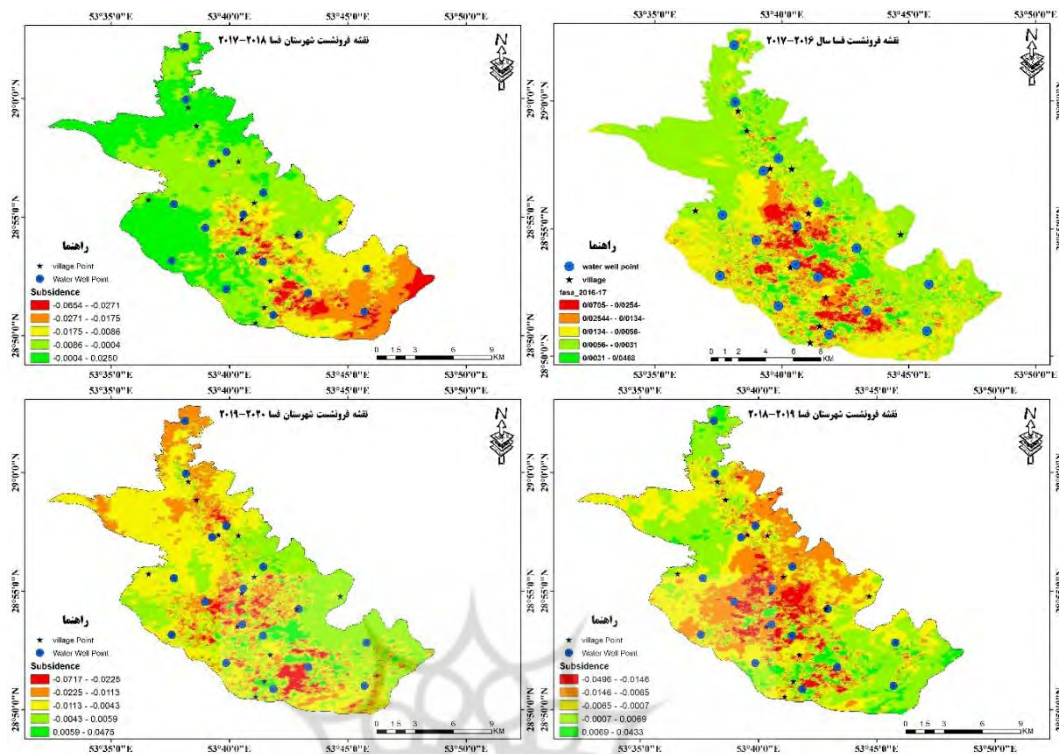


شکل ۲. نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

یافته‌ها و بحث

در بررسی‌های انجام شده با تصاویر راداری SLC ماهواره سنتیل ۱ در رابطه با دشت فسا ۵ تصویر به صورت دو به دو در نرم‌افزار sarscape مورد پردازش قرار گرفت که تصویر سال ۲۰۱۶ با ۲۰۱۷، ۲۰۱۷ با ۲۰۱۸، ۲۰۱۸ با ۲۰۱۹ و تصویر ۲۰۱۹ با ۲۰۲۰ بررسی شد و میزان فرونشست‌های ثبت شده برای هر دوره به ترتیب ۷ سانتی متر برای دوره اول، ۶ سانتی متر برای دوره دوم، ۴ سانتی متر برای دوره سوم و ۷ سانتی متر برای دوره چهارم (شکل ۳) بدست آمد که میزان فرونشست ثبت شده برای هر سال و برای هر یک از روستاهای منطقه مورد مطالعه به صورت جداگانه بررسی

و ثبت شده که در جدول ۲ به آن اشاره شده است. در منطقه مورد مطالعه روستاهای کوشک قاضی، دستجه و صحراورد که بیشترین جمعیت را دارا هستند در پهنه خطر فرونشست قرار دارند.



شکل ۳. تغییرات فرونشست از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰

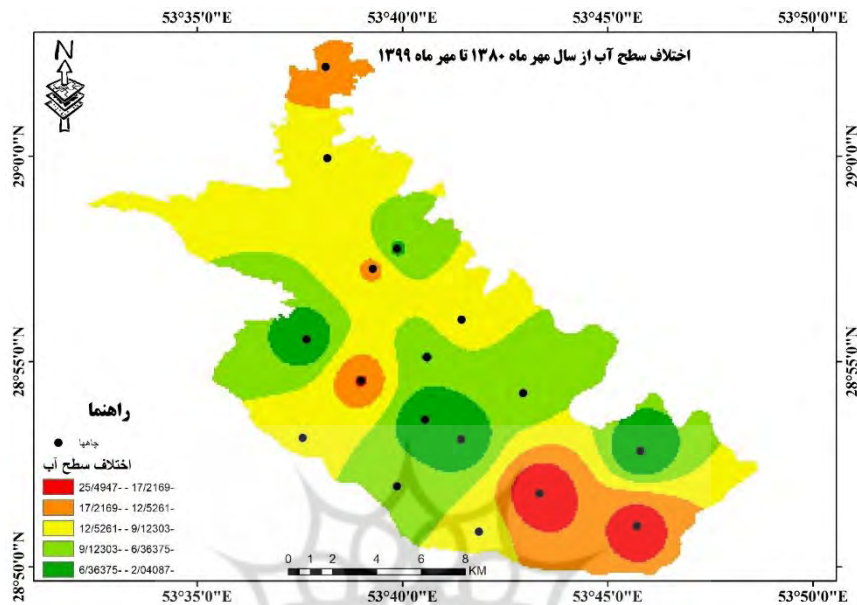
جدول ۲. میزان فرونشست ثبت شده بر اساس متر برای هر یک از روستاهای منطقه با تفکیک سال مورد بررسی

| ردیف | آبادی | جمعیت | 2016-2017 | 2017-2018 | 2018-2019 | 2019-2020 |
|------|-----------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ۱ | اکبر آباد سردشت | 277 | -0.010609 | 0.002648 | -0.00573 | -0.00536 |
| ۲ | محمود آباد سفلی | 725 | -0.000972 | -0.00541 | -0.00394 | -0.00997 |
| ۳ | بانیان | 1158 | -0.010257 | -0.00558 | -0.00658 | -0.00998 |
| ۴ | کهنکویه | 422 | -0.00962 | -0.00849 | -0.00451 | -0.00709 |
| ۵ | کاظم آباد | 630 | -0.005405 | 0.002056 | -0.00054 | -0.00925 |
| ۶ | کوشک قاضی | 3471 | -0.008429 | -0.00352 | -0.00903 | -0.00422 |
| ۷ | خیر آباد | 1480 | -0.025595 | -0.01591 | -0.01252 | -0.01186 |
| ۸ | نور آباد | 194 | -0.002765 | -0.01142 | -0.00425 | -0.00399 |
| ۹ | هارم | 381 | -0.01187 | -0.00844 | -0.0046 | -0.00516 |
| ۱۰ | دستجه | 3376 | -0.013601 | -0.00509 | -0.00775 | -0.01307 |
| ۱۱ | صحرا رود | 4554 | -0.018506 | -0.00689 | -0.005 | -0.00606 |
| ۱۲ | محمد آباد علیا | 369 | 0.000181 | -0.00703 | -0.00262 | 0.021954 |
| ۱۳ | علی آباد کوچک | 437 | -0.008112 | 0.001029 | -0.00462 | -0.00597 |

بر گرفته از: نگارندگان

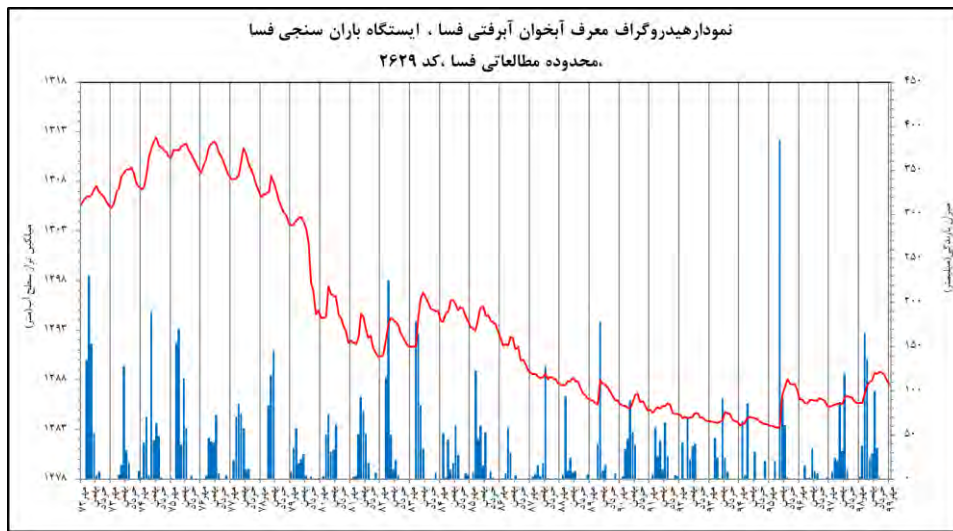
بر اساس شکل ۴ که نقشه تراز آب زیرزمینی دشت فسا را از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۹ نشان می‌دهد می‌توان بیان نمود که طی سال‌های مذکور بیشترین افت سطح آب در بخش جنوب و جنوب شرقی اتفاق افتاده است که مقدار آن بین ۱۷ تا ۲۵ متر می‌رسد که می‌تواند به دلیل افزایش تعداد چاه‌های عمیق و تخلیه از آبخوان نسبت به سایر قسمت‌های

دشت باشد. در بخش شمال غربی نیز بین ۱۲ تا ۹ متر سطح آب زیرزمینی افت را نشان می‌دهد. این میزان افت با توجه به نقشه های بدست آمده از رادار در سال های مورد بررسی مطابقت نشان می‌دهد. که ارتباط افت آب های زیر زمینی را با میزان فرونشست نشان می‌دهد. روستاهای کوشک قاضی، دستجه و صحراورد که بیشترین جمعیت را دارا هستند و در پهنه خطر فرونشست قرار دارند همچنین مطالعه سطح آب زیرزمینی نشان داد که بیشترین افت سطح آب زیرزمینی هم مربوط به مناطقی است که این ۳ روستا پرجمعیت در آن قرار دارند.



شکل ۴. نقشه اختلاف ارتفاع بر اساس متر از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۹

آب نمود ۲۷ ساله آبخوان آبرفتی فسا بر اساس داده های تراز آب پیزومترها از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۹ ترسیم شده است (شکل ۵). همچنین مقادیر بارندگی ماهیانه در آب نمود دشت ارائه شده است. روند سطح آب زیرزمینی همواره به صورت نزولی بوده که از سال ۱۳۷۲ تا سال ۱۳۷۸ از روند نزولی خیلی ملایم و از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۹ از شیب تندتری تبعیت می‌کند به طوری که در سال ۱۳۹۵ تراز آب زیرزمینی در کمترین مقدار در طول دوره زمانی مورد مطالعه قرار دارد. بررسی آب نمود دشت آبرفتی فسا طی دوره ذکر شده حدود ۲۰ متر افت در سطح آب آبخوان را نشان می‌دهد. با توجه به بررسی های به عمل آمده از دلایل عمده و اصلی کاهش سطح آب آبخوان می‌توان به کاهش میزان بارندگی ها، افزایش تعداد چاه های عمیق منطقه و پایین رفتن تراز آب زیرزمینی و استخراج بی‌رویه آب های زیرزمینی خصوصاً طی سال های اخیر و عدم اجرای طرح های تغذیه مصنوعی و هدر رفت آب باران اشاره کرد.



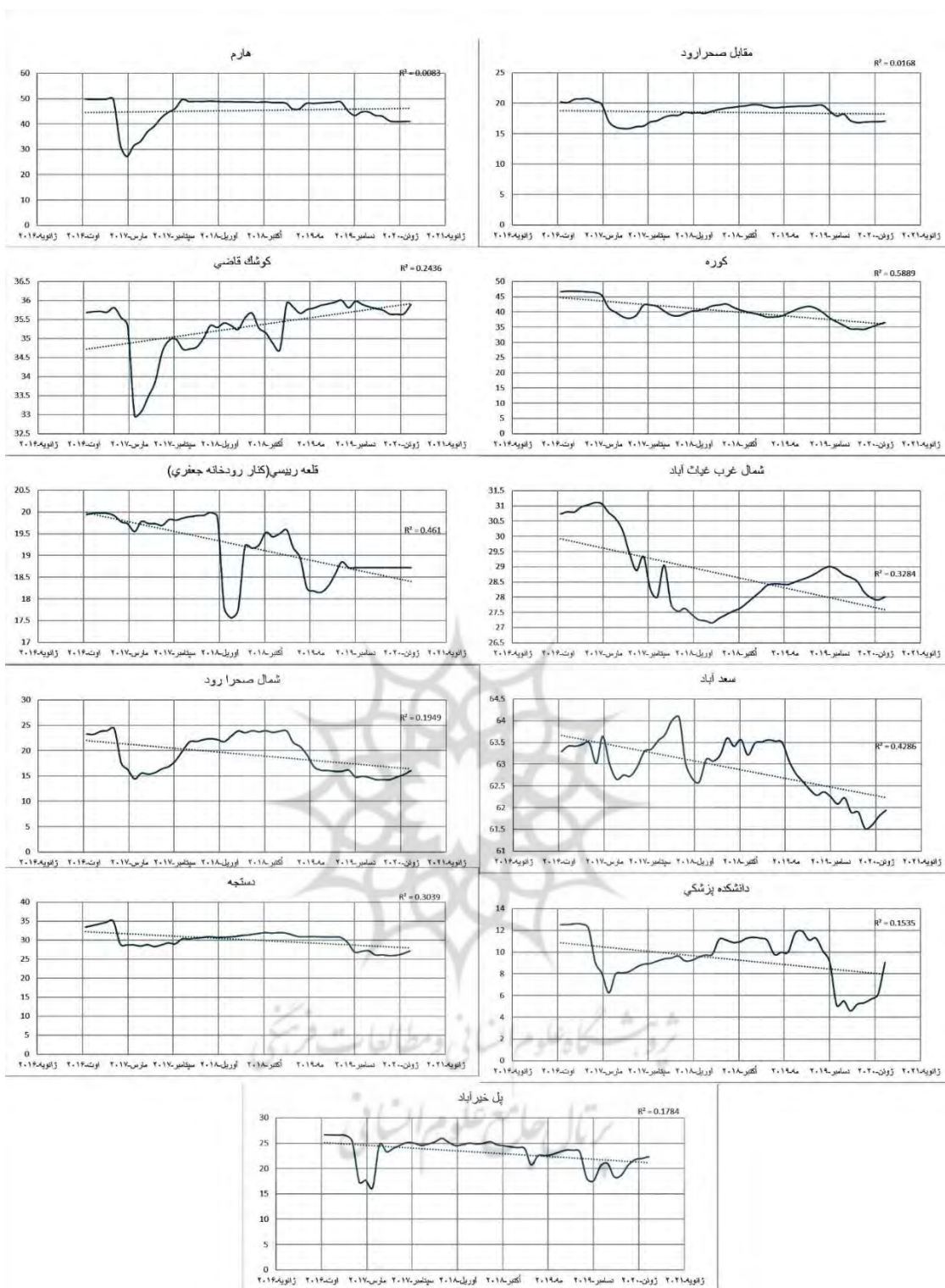
شکل ۵. تغییرات کلی چاه‌های دشت فسا از سال ۹۹-۷۲؛ برگرفته از: سازمان آب منطق ای شهرستان فسا

بعد از بررسی تمام چاه‌ها (شکل ۶) نوبت به بررسی چاه‌ها در سال‌های مورد بررسی با تصاویر راداری می‌باشد که با به دست آوردن نمودارهای افت و خیز تراز آب برای چاه‌های محدوده مورد مطالعه ۶ چاه از ۱۷ چاه مورد نظر هیچ گونه تغییری در تمام دوره ۹۵-۹۹ مشاهده نشد و با بدست آوردن R^2 از روند افت و خیز چاه‌ها و همچنین میزان افت سطح آب زیرزمینی برای مختصات هر کدام از چاه‌های محدوده، رابطه معناداری آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت که تداخل سنجی فرونشست دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۹ رابطه معناداری با میزان افت آب چاه‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۳. رابطه روند افت آب‌های زیر زمینی با میزان فرونشست ثبت شده برای هر یک از چاه‌ها

| شماره | نام ایستگاه | UTM Y | UTM X | R2 | R | 2016-2017 | 2017-2018 | 2018-2019 | 2019-2020 |
|-------|-------------------------|---------|--------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ۱ | پاسگاه زرجان | 3214873 | 756651 | 0 | 0.00 | -0.0043 | -0.0023 | 0.0047 | -0.0093 |
| ۲ | اکبر آباد سردشت | 3210767 | 756816 | 0 | 0.00 | 0.0041 | 0.0008 | -0.0007 | -0.0093 |
| ۳ | کوره | 3206748 | 759667 | 0.5889 | 0.77 | 0.0041 | -0.0084 | -0.0001 | -0.0072 |
| ۴ | بانیان | 3202588 | 756170 | 0 | 0.00 | 0.0031 | -0.0063 | -0.0022 | -0.0167 |
| ۵ | کوشک قاضی | 3200781 | 758374 | 0.2436 | 0.49 | -0.0053 | -0.0033 | -0.0085 | -0.0046 |
| ۶ | دانشکده پزشکی | 3196072 | 759903 | 0.1535 | 0.39 | -0.0042 | -0.0014 | -0.0016 | -0.0089 |
| ۷ | پل خیرآباد | 3198161 | 756120 | 0.1784 | 0.42 | -0.0116 | -0.0144 | -0.0088 | -0.0096 |
| ۸ | امامزاده ابوالفتح | 3201896 | 760955 | 0 | 0.00 | -0.019 | -0.0066 | -0.0105 | -0.0156 |
| ۹ | هارم | 3205824 | 758721 | 0.0083 | 0.09 | -0.0114 | -0.0089 | -0.0039 | -0.0031 |
| ۱۰ | دستچه | 3198238 | 762393 | 0.3039 | 0.55 | -0.0179 | -0.0099 | -0.0114 | -0.0134 |
| ۱۱ | زیر پخش سیلاب مهدی آباد | 3195862 | 765554 | 0 | 0.00 | -0.0064 | 0.0031 | -0.0023 | -0.0157 |
| ۱۲ | شمال صحرا رود | 3199092 | 760945 | 0.1949 | 0.44 | -0.0138 | -0.0121 | -0.0117 | 0.003 |
| ۱۳ | شمال غرب غیاث آباد | 3194096 | 763194 | 0.3284 | 0.57 | -0.0036 | -0.0138 | -0.0028 | -0.0032 |
| ۱۴ | قلعه ریسی | 3203625 | 762295 | 0.461 | 0.68 | -0.0154 | 0.0013 | -0.0014 | 0.0002 |
| ۱۵ | سعد آباد | 3200372 | 764806 | 0.4286 | 0.65 | -0.0113 | -0.0039 | -0.0089 | -0.028 |
| ۱۶ | مقابل صحرا رود | 3197872 | 769513 | 0.0168 | 0.13 | -0.0162 | -0.0092 | 0.0014 | 0.135 |
| ۱۷ | جنوب شرق غیاث آباد | 3194490 | 769448 | 0 | 0.00 | -0.005 | -0.0245 | -0.0002 | -0.007 |
| | | | | | CORREL | -0.1180 | -0.0150 | -0.334 | -0.1225 |

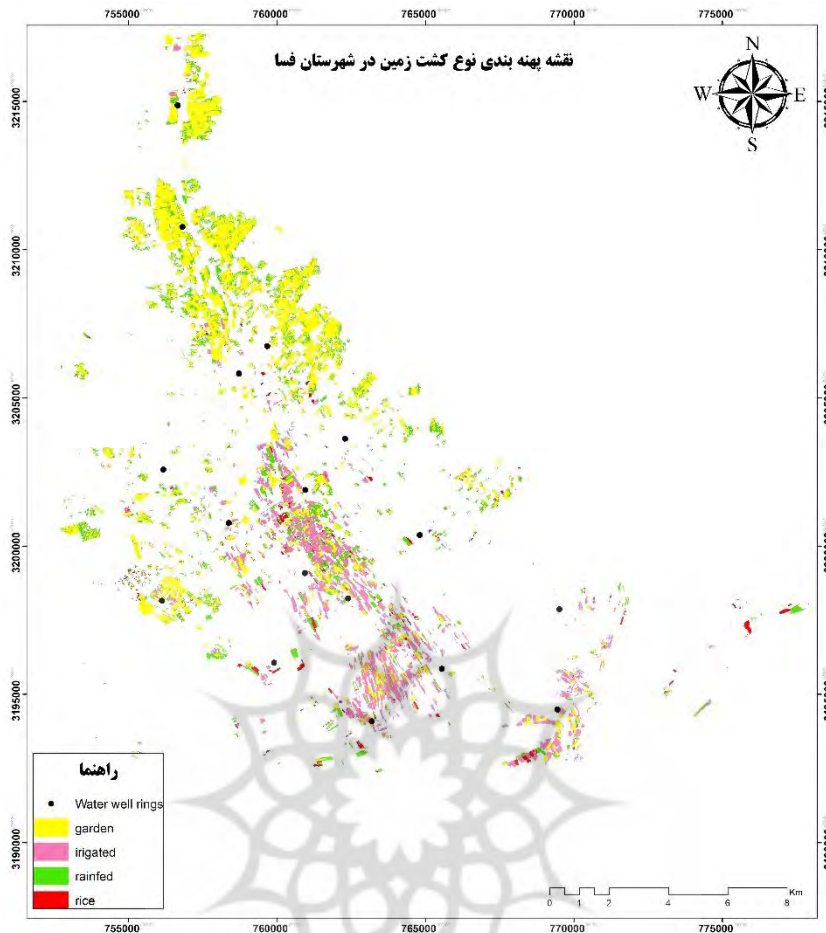
برگرفته از: نگارندگان



شکل ۶. نمودار چاه‌های مورد بررسی از سال ۹۵-۹۹

یکی از دلایل اصلی فرونشست در منطقه استفاده از آب زیرزمینی برای کشت محصولات می‌باشد. با استفاده از تصاویر رادار سنتینل ۲ و با اجرای شاخص NDVI در محیط نرم‌افزار انوی و با توجه به امضا طیف بدست آمده از پوشش‌های گیاهی منطقه مورد مطالعه نوع کشت زمین‌ها بر اساس دیدم کاری یا کشت آبی، شناسایی شد که در جدول ۴ سطح زیر کشت هر کدام از کاربری‌ها مشخص شده و با توجه به آن بیشترین پهنه ثبت شده متعلق به زمین‌های باغی با ۵۰ درصد از کل است و بعد از آن زمین‌های زیر کشت آبی با ۲۴٫۶۳ درصد است و کمترین میزان

سطح زیر کشت زمین‌های برنج با ۳,۰۵ درصد است. شکل ۷ پهنه‌بندی نوع کشت زمین‌های کشاورزی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۷. پهنه‌بندی نوع کشت در دشت فسا

جدول ۴. مساحت زمین‌های زیر کشت در دشت فسا در سال ۲۰۱۹

| نوع کشت | سطح زیر کشت (هکتار) | درصد |
|---------------|---------------------|--------|
| کشت دیم | ۸۳۰,۵۲ | ٪۲۲,۲۷ |
| کشت آبی | ۹۱۸,۹۵ | ٪۲۴,۶۳ |
| زمین‌های باغی | ۱۸۶۷,۱۷ | ٪۵۰,۰۵ |
| زمین‌های برنج | ۱۱۳,۸ | ٪۳,۰۵ |
| جمع کل | ۳۷۳۰,۴۴ | ٪۱۰۰ |

برگرفته از: نگارندگان

نتیجه گیری

در این مقاله فرونشست زمین در دشت فسا در طول دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ با استفاده از تکنیک‌های سری زمانی InSAR بررسی شد. میزان فرونشست در طول دوره آماری در منطقه مورد مطالعه ۲۴ سانتی‌متر به دست آمد. تجزیه و تحلیل جابجایی مشاهده شده همراه با اطلاعات به دست آمده از بازدید میدانی نشان داد که روستاهای صحراورد، دستجه و کوچک قاضی، خیرآباد و محمودآباد با جمعیت ۱۳۶۰۶ نفر بیشترین میزان فرونشست را دارا هستند. سطح آب چاه‌ها در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ به بیشترین حد کاهش خود رسیده‌اند که متاثر از کاهش

بارندگی، خشکسالی و کشت آبی و باغی زیاد در منطقه و فشار بیش از حد به منابع آب‌های زیرزمینی در این سال‌ها می‌باشد. مقایسه بین تحلیل‌های مستخرج از داده‌های نقاط چاه و تصاویر ماهواره‌ای نیز موکد رابطه بین پایین آمدن سطح آب‌های زیرزمینی و فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه است به خصوص در روستاهای دستجه، صحرآورد و قاضی کوچک که بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی را دارا می‌باشد و در پهنه خطر فرونشست زیاد هم قرار دارند. در نهایت با استفاده از نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست مشخص شد که به طور کلی ۱۱۴۰۱ نفر در محدوده خطر فرونشست زندگی می‌کنند. ضروری است سازمان‌ها و نهادهای متولی با اتخاذ سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌های مناسب، پیش از وقوع بحران درصد کاهش هر گونه آسیب به سکونتگاه‌های انسانی، جمعیت و زیرساخت‌های موجود در این مناطق باشند.

منابع

- سازمان آب منطقه‌ای شهرستان فسا، ۱۳۹۹.
- شریفی کیا، محمد (۱۳۹۱). تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل سنجی راداری (D-INSAR) در دشت نوق-بهرمان، مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۶، شماره ۳، صص ۷۷-۵۵.
- شفیعی، نجمه، مختاری، لیلا گلی، امیر احمدی، ابوالقاسم، زندی، رحمان (۱۳۹۹). بررسی فرونشست دشت نور آباد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۴، صص ۹۳-۱۱۱.
- فتح‌اللهی، نرگس، آخوندزاده هنزائی، مهدی، بحرودی، عباس (۱۳۹۶). بررسی فرونشست زمین در اثر استخراج مواد نفتی با استفاده از روش تداخل سنجی رادار، مجله سپهر، دوره ۷۲، شماره ۱۰۵، صص ۴۳-۲۳.
- مرادی، آیدین، عماد الدین، سمیه، آرخی، صالح، رضائی، خلیل (۱۳۹۹). تحلیل زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری، اطلاعات چاه‌های ژئوتکنیکی و پیژمتری، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره ۱، صص ۱۵۳-۱۷۶.
- واجدیان، ساناز، سراجیان، محمدرضا، منصوری، بابک (۱۳۹۰). استخراج میدان جابه‌جایی سه‌بعدی با استفاده از فن تداخل‌سنجی رادار با دریچه مصنوعی (SAR) بررسی موردی گسل بزم، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۷، شماره ۲، صص ۸۳-۹۶.
- Chen, M., Tomás, R., Li, Zh., Motagh, M., Li, T., Hu, L., Gong, H., Li, X., Yu, J., Gong, X. (2016). Imaging Land Subsidence Induced by Groundwater Extraction in Beijing (China) Using Satellite Radar Interferometry, *Remote Sens*, 8(6), 468p.
- de Graaf, I.E., van Beek, R.L., Gleeson, T., Moosdorf, N., Schmitz, O., Sutanudjaja, E.H., and Bierkens, M.F., (2017). A global-scale two-layer transient groundwater model: Development and application to groundwater depletion, *Advances in Water Resources*, 102, pp. 53-67.
- Du, Z., Ge, L., Ng, A., Zhu, Q., Yang, X., Li, L. (2018). Correlating the subsidence pattern and land use in Bandung, Indonesia with both Sentinel -1/2 and ALOS -2 satellite images. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 67, pp.54 -68.
- Emadali, L., Motagh, M., Haghshenas Haghighi, M. (2017). Characterizing post-construction settlement of the Majed-Soleyman embankment dam, Southwest Iran, using TerraSAR-X Spotlight radar imagery, *Engineering Structures*, Vol.143, pp.261-273.
- Galloway, D.L., Burbey, T.J. (2011). Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction, *Hydrogeology Journal*, 19: pp.1459-1486.
- Goli, A., Moradi, M., Dehghani, M. (2019). Land Subsidence Vulnerability Assessment of Rural Settlements in Fars Province, *Journal of Research and Rural Planning*, V.8(4).
- Goorabi, A. Karimi, M. Yamani, M. Perissin, D. (2020) Land subsidence in Isfahan metropolitan and its relationship with geological and geomorphological settings revealed by Sentinel-1A InSAR observations. *Journal of Arid Environments*, 181.
- Gumilar, I., Abidin, H.Z., Hutasoit, L.M., Hakim, D.M., Sidiq, T.P., Andreas, H. (2015). Land Subsidence in Bandung Basin and its Possible Caused Factors, *Procedia Earth and Planetary Science*, V.12, pp. 47-62.
- Guo, J., Lv Zhou; Chaolong Yao; Jiyuan Hu. (2016). Surface Subsidence Analysis by Multi-Temporal InSAR and GRACE: A Case Study in Beijing, *Sensors*. pp.1-18.

- Lashkaripour, G.R., Ghafoori, M. Mossavi Maddah, S.M. (2014). An investigation on the mechanism of land subsidence in the northwest of mashhad city, NE Iran, Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, Volume (5), Number (3), pp. 321-327.
- Jeanne, P., Faar, T. G., Rutqvist, J., Vasco, D. W. (2019). Role of agricultural activity on land subsidence in the Jouquin Valley, California, Journal of Hydrology, Vol. 569, PP.462 -469.
- Ma, P., Wang, W., Zhang, B., Wang, J., Shi, G., Huang, G., Lin, H. (2019). Remotely sensing large- and small- scale ground subsidence: A case study of the Guangdong –Hong Kong – Macao Greater Bay Area of China. Remote Sensing Environment, Vol. 232.
- Mahmoudpour, M., Khamehchian, M., Nikudel, M.R., and Ghassemi, M.R. (2016). Numerical simulation and prediction of regional land subsidence caused by groundwater exploitation in the southwest plain of Tehran, Iran, Engineering Geology, 201, pp. 6-28.
- Notti, D., Mateos, R.M., Monserrate, O., Devanthery, N., Peinado, T., Roldan, F.J., Fernandez-Chacon, F., Galve, J.P., Lamas, F., Azanon, J.M. (2016). Lithological control of land subsidence induced by groundwater withdrawal in new urban AREAS (Granada Basin, SE Spain). Multiband DInSAR monitoring Hydrological Process, Vol. 30, pp. 2317-2331.
- Tong, X., Schmidt, D. (2016). Active movement of the Cascade landslide complex in Washington from a coherence-based InSAR time series method. Remote Sensing of Environment, 186, pp. 405-415.
- Zhang, L. (2019). Big Data, Knowledge Mapping for Sustainable Development: A Water Quality Index Case Study. Emerging Science Journal, VOL. 3(4).

