



ارزیابی ارتباط بین عوامل طبیعی و میزان فرونشست در دشت ایوانکی با استفاده از تصاویر رادار

معصومه اسدی^۱، حمید گنجانیان^{۲*}، مهناز جاودانی^۳، مهدیه قادری حسب^۴

۱- عضو هیات علمی، گروه علوم اجتماعی (جغرافیا)، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

۴- کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

* نویسنده مسئول: h.ganjaian@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۰۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۱۶

چکیده

فرونشست زمین به عنوان یکی از مخاطرات پیش‌روی بسیاری از دشت‌های ایران محسوب می‌شود. در این میان، دشت‌های استان سمنان و از جمله دشت ایوانکی در معرض این مخاطره قرار دارند. با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق به ارزیابی میزان فرونشست دشت ایوانکی و تحلیل عوامل موثر در آن پرداخته شده است. در این تحقیق از روش توصیفی-تحلیلی استفاده شده است. داده‌های تحقیق شامل تصاویر راداری و ماهواره‌ای، اطلاعات آماری، و مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر است. روش کار به این صورت است که ابتدا وضعیت ژئومورفولوژی، کاربری اراضی و وضعیت افت آب‌های زیرزمینی دشت ایوانکی ارزیابی شده است و سپس با استفاده از ۲۷ تصویر راداری سنتینل ۱ و روش سری زمانی SBAS میزان فرونشست منطقه محاسبه شده است. بررسی‌های صورت گرفته بیانگر این است که عوامل طبیعی شامل روند و جهت ناهمواری‌ها در شکل‌گیری وضعیت اقلیمی و محدودیت منابع آبی نقش اصلی را داشته است و محدودیت دسترسی به منابع آبی سبب بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی و افت شدید سطح آن شده است. نتایج محاسبه میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی منطقه بیانگر این است که میانگین افت چاه‌های مطالعاتی در حدفاصل سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۴ بین ۰/۸۵ تا ۲/۰۱ سانتی‌متر در سال بوده است. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی میزان فرونشست منطقه نیز بیانگر این است که محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۳ ساله (از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۰۶ تا ۲۰۱۸/۱۲/۲۱) بین ۰/۹- تا ۳۳/۲- سانتی‌متر افت داشته است که بیشترین میزان فرونشست در مرکز دشت ایوانکی در نزدیکی روستای چشمه نادی بوده است.

واژه‌های کلیدی: ایوانکی، آب زیرزمینی، فرونشست، SBAS.

مقدمه

(۲۰۱۶) و در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تراکم سفره‌های آب زیرزمینی و بهره‌برداری بیش از حد از آن‌ها، عامل اصلی فرونشست محسوب می‌شود (پاچکو و همکاران، ۲۰۰۶). فرونشست با مخاطرات زیادی همراه است که از جمله آن‌ها می‌توان به ایجاد فروچاله‌ها، شکست و ترک ساختمان‌ها، کج‌شدگی تأسیسات مرتفع، آسیب‌دیدگی تأسیسات کشاورزی، شکستگی و انهدام پل‌ها و راه‌ها و شبکه معابر شهری و ... اشاره کرد (شرفی‌کیا، ۱۳۹۱). این پدیده به همراه پیامدهای زیست محیطی آن در

مخاطرات طبیعی هر سال موجب بروز خسارات جانی و مالی زیادی در سراسر دنیا از جمله ایران می‌شود (کریمی و همکاران، ۱۳۹۲). یکی از انواع مخاطرات محیطی، مخاطرات ناشی از فرونشست است (استفان، ۲۰۱۱). فرونشست زمین پدیده‌ای کند و نامحسوس و یا نشست ناگهانی سطح زمین بر اثر جابجایی ذرات خاک است (ژاو و همکاران، ۲۰۱۵). این پدیده می‌تواند تحت تأثیر عوامل تکتونیکی و یا انسانی رخ دهد (چن و همکاران،

میلی‌متر در سال محاسبه کرده‌اند. مقصودی و همکاران (۱۳۹۸) فرونشست زمین در غرب تهران در منطقه شهریار را ۱۵ سانتی-متر در سال برآورد کرده‌اند. صالحی متعهد و همکاران (۱۳۹۸) میزان فرونشست شهر مشهد را ۲۰ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. کوهبنانی و همکاران (۱۳۹۸) میزان فرونشست دشت انار در کاشمر را حداکثر ۱۷ سانتی‌متر در سال محاسبه کرده‌اند. همچنین در مورد عوامل مؤثر در ایجاد فرونشست نیز تحقیقات مختلفی صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به شریفی-کیا و همکاران (۱۳۹۴) اشاره کرد که اثرات عوامل ژئومورفولوژیک در فرونشست دشت مغان را ارزیابی کردند. شایان و همکاران (۱۳۹۵) عوامل طبیعی مؤثر در فرونشست حوضه آبریز قره‌چای را بررسی کرده‌اند. صفاری و همکاران (۱۳۹۵) نیز نقش افت منابع آب زیرزمینی در فرونشست دشت کرج-شهریار را ارزیابی کرده‌اند. بررسی مطالعات صورت گرفته بیانگر این است که تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی، دشت‌های زیادی با خطر فرونشست مواجه هستند. با توجه به اینکه مخاطره فرونشست در بلندمدت با خسارات جبران‌ناپذیری همراه است، بنابراین توجه به این مسئله بسیار حائز اهمیت است. اهمیت مخاطره فرونشست، خصوصاً در دشت‌های مناطق خشک سبب شده است تا در این پژوهش به بررسی فرونشست دشت ایوانکی پرداخته شود. در این پژوهش بر خلاف بسیاری از تحقیقات پیشین، علاوه بر استفاده از روش‌های تداخل‌سنجی راداری، نقش عوامل طبیعی و انسانی در ایجاد فرونشست نیز ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

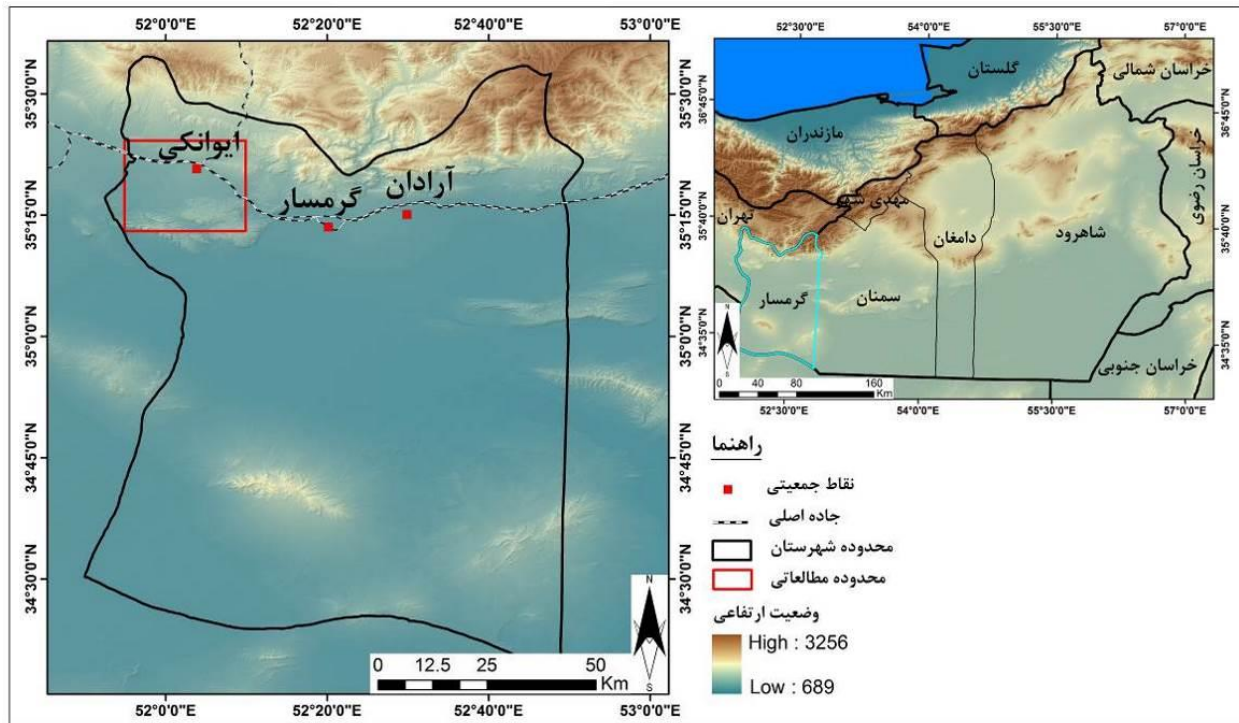
محدوده مطالعاتی از نظر تقسیمات سیاسی در غرب استان سمنان و شهرستان گرمسار قرار دارد. این محدوده شامل دشت ایوانکی است که حدود ۴۰۰ کیلومترمربع وسعت دارد (شکل ۱). دشت ایوانکی از سمت شمال به واحد کوهستان و از سمت جنوب به واحد تپه‌ماهور منتهی می‌شود. از نظر زمین‌شناسی از ساختار زمین‌شناسی ایران مرکزی و البرز پیروی می‌کند. حاشیه شمالی دشت را سازند قرمز رنگ بالایی در بر گرفته است و از سمت جنوب نیز به گنبد‌های نمکی و سازندهای تبخیری منتهی می‌شود

اکثر دشت‌های دنیا به چشم می‌خورد (گالوی و همکاران، ۱۹۹۸؛ پولند و دیویس، ۱۹۶۹). در ایران نیز در طی سال‌های اخیر، به دلیل بهره‌برداری بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی این پدیده بسیار مورد توجه قرار گرفته شده است (زمانی و همکاران، ۱۳۹۶). یکی از مناطقی که در طی سال‌های اخیر با افت شدید سطح آب زیرزمینی مواجه بوده است، دشت ایوانکی در غرب استان سمنان است. در واقع، بارش کم و نبود آب‌های سطحی کافی در این منطقه سبب استفاده بیش‌ازحد از سفره آب‌های زیرزمینی شده است که این مسئله سبب افت سطح آب در دشت ایوانکی و متعاقب آن فرونشست منطقه شده است. با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق به ارزیابی میزان فرونشست زمین در دشت ایوانکی از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۰۶ تا ۲۰۱۸/۱۲/۲۱ پرداخته شده است.

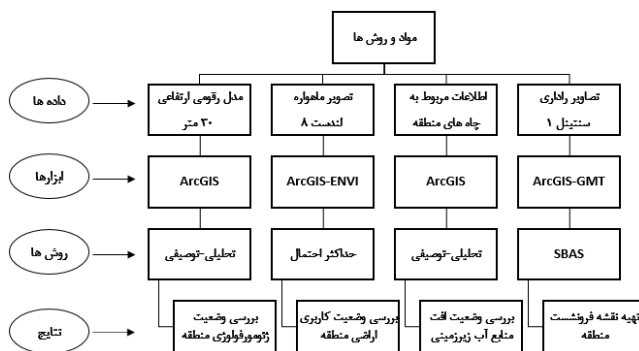
به‌منظور بررسی میزان فرونشست زمین، از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که از جمله مهم‌ترین این روش‌ها، روش تداخل-سنجی راداری است (چن و همکاران، ۲۰۱۷). با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، میزان فرونشست در مناطق مختلفی محاسبه شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به جی و همکاران (۲۰۱۴) اشاره کرد که میزان فرونشست در حوضه آبخیز باندانگ اندونزی را بین ۴۰ تا ۲۴۰ میلی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. کیم و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از روش سری زمانی SBAS فرونشست منطقه توسان آریزونا را ۳ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. برونی و همکاران (۲۰۱۵) میزان فرونشست منطقه جالیسکو در مکزیک را ۲۰ میلی‌متر در سال محاسبه کرده‌اند. ژانگ همکاران (۲۰۱۹) فرونشست شهر ووهان در چین را بین ۲۷/۸ تا ۵۱/۵۶ میلی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. ژئو و همکاران (۲۰۱۹) میزان فرونشست سالانه زمین در فرودگاه پکن را ۱۵۲/۹ میلی‌متر در سال محاسبه کرده‌اند. چن و همکاران (۲۰۱۹) میزان فرونشست سالانه دشت پکن را ۱۴۱ میلی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. تورانی و همکاران (۱۳۹۷) میزان فرونشست در شمال شهر گرگان را از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۸۵ حدود ۴/۸ سانتی-متر برآورد کرده‌اند. احمدی و همکاران (۱۳۹۷) میزان فرونشست دشت خرمدره را در طی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ حدود ۶۹

که بخش زیادی از نیازهای آبی خود از منابع آب زیرزمینی تهیه می‌کند. بهره‌برداری بیش از حد منابع آب زیرزمینی در این دشت سبب شده تا مسئله فرونشست به‌عنوان یکی از چالش‌های پیشروی آن باشد، بر این اساس در این پژوهش به بررسی این مسئله پرداخته شده است.

(ناصری و نظری، ۱۳۹۰). همچنین این منطقه در طبقه‌بندی‌های مختلف اقلیمی غالباً جزو مناطق خشک تا نیمه‌خشک محسوب می‌شود (کریمی و همکاران، ۱۳۹۶) به طوری که متوسط بارندگی ایستگاه باران‌سنجی ایوانکی در طی دوره ۲۳ ساله، ۱۴۵ میلی‌متر بوده است (عبادتی، ۱۳۹۴). با توجه به موارد مذکور، دشت ایوانکی از دشت‌های مناطق خشک کشور محسوب می‌شود



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- فلوجارت مواد و روش‌های تحقیق

در این تحقیق به منظور ارزیابی میزان فرونشست دشت ایوانکی و تحلیل نقش عوامل موثر در آن از اطلاعات آماری (اطلاعات مربوط به میزان افت سطح آب ۷ چاه مشاهده‌ای در دشت ایوانکی)، تصاویر راداری (۲۷ تصویر راداری سنیتل ۱ با پلاریزاسیون ۷۷)، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و همچنین مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متر استفاده شده است که پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز، تحقیق حاضر در چند مرحله انجام شده است (شکل ۲) که در ادامه به تشریح مراحل پرداخته شده است:

۱. بررسی وضعیت ژئومورفولوژی منطقه:

قابل قبول این روش، این تکنیک را به عنوان ابزار نیرومند برای مطالعه پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی همچون زلزله، نشست، زمین‌لغزش و غیره مطرح کرده است (بابایی و همکاران، ۱۳۹۶). بعد از تولید تداخل‌نگارها و تصحیح آن‌ها نسبت به خطاهای موجود در تداخل‌سنجی، یک مجموعه از تداخل‌نگارها از یک منطقه حاصل می‌شود که در بازه‌های زمانی مختلف می‌باشند. عدم همبستگی زمانی و مکانی بین تصاویر سبب می‌شود تا تقریباً هر تداخل‌نگار شامل مناطق بزرگی باشد که در آن‌ها همبستگی پایین است و اندازه‌گیری انجام شده در این مناطق قابل اطمینان نیست و یا اصلاً قابل انجام نیست. این محدودیت‌ها سبب می‌شود تا روش تداخل‌سنجی، به تنهایی ابزاری کامل جهت نظارت و اندازه‌گیری اعوجاجات سطح زمین و تغییرات توپوگرافی نباشد. تحلیل سری زمانی تداخل‌سنجی تا حدود زیادی باعث غلبه بر این محدودیت‌ها در تداخل‌سنجی می‌شود (هانسن، ۲۰۰۱). در این تحقیق به منظور ارزیابی میزان فرونشست دشت ایوانکی از ۲۷ تصویر راداری سنتینل ۱ (تصاویر از نوع SLC با پلاریزاسیون ۷۷ می‌باشد) استفاده شده است که در جدول ۱ تاریخ تصاویر نشان داده شده است. پس از تهیه تصاویر و انجام پیش پردازش‌های لازم، زوج تصاویر مورد نظر بر اساس بیس‌لاین ۱ زمانی به منظور انجام تداخل‌سنجی راداری انتخاب شده است (شکل ۳). پس از انتخاب زوج تصاویر، با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، اینترفروگرام‌های موردنظر تهیه شده و در نهایت با استفاده از روش سری زمانی SBAS، میزان فرونشست منطقه بدست آمده است.

به منظور بررسی وضعیت ژئومورفولوژی منطقه از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر استفاده شده است که با استفاده از آن شبکه زهکشی منطقه نیز استخراج شده است. هدف از بررسی وضعیت ژئومورفولوژی منطقه، ارزیابی نقش عوامل ژئومورفولوژی در نوع کاربری اراضی است، چرا که عامل کاربری اراضی در میزان افت آب‌های زیرزمینی و همچنین میزان افت آب‌های زیرزمینی در میزان فرونشست موثر است.

۲. بررسی وضعیت کاربری اراضی منطقه:

در این تحقیق به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی از تصویر ماهواره لندست مربوط به تاریخ ۲۰۱۸/۰۷/۲۸ استفاده شده است. پس از تهیه تصویر مورد نظر و انجام پیش پردازش‌های لازم بر روی آن (تصحیحات رادیومتریک و هندسی)، با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال و بر مبنای ۴ نمونه تعلیمی (مناطق سکونتگاهی، کشاورزی، بدون پوشش و مراتع ضعیف)، نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه شده است.

۳. بررسی وضعیت افت سطح آب‌های زیرزمینی:

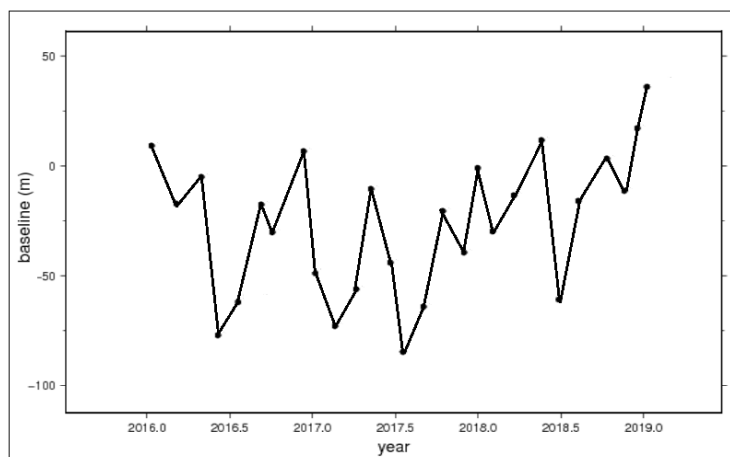
در این تحقیق به منظور ارزیابی میزان افت آب‌های زیرزمینی از اطلاعات آماری وزارت نیرو استفاده شده است و با استفاده از اطلاعات ۷ چاه مشاهده‌ای، میزان افت آب زیرزمینی منطقه ارزیابی شده است.

۴. ارزیابی میزان فرونشست منطقه:

به منظور ارزیابی میزان فرونشست منطقه از روش تداخل‌سنجی راداری و روش سری زمانی SBAS استفاده شده است. امروزه تکنیک تداخل‌سنجی راداری به عنوان یک تکنیک متداول برای اندازه‌گیری تغییر شکل سطحی پوسته زمین معرفی شده است. پوشش سراسری و رزولوشن خوب تصاویر راداری و دقت

جدول ۱- مشخصات تصاویر مورد استفاده

ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ
۱	۲۰۱۶/۰۱/۰۶	۱۰	۲۰۱۷/۰۲/۰۵	۱۹	۲۰۱۸/۰۱/۳۱
۲	۲۰۱۶/۰۲/۲۳	۱۱	۲۰۱۷/۰۳/۱۳	۲۰	۲۰۱۸/۰۳/۰۸
۳	۲۰۱۶/۰۴/۱۱	۱۲	۲۰۱۷/۰۴/۱۸	۲۱	۲۰۱۸/۰۵/۱۹
۴	۲۰۱۶/۰۵/۲۹	۱۳	۲۰۱۷/۰۵/۲۴	۲۲	۲۰۱۸/۰۶/۲۴
۵	۲۰۱۶/۰۷/۰۴	۱۴	۲۰۱۷/۰۶/۲۹	۲۳	۲۰۱۸/۰۷/۳۰
۶	۲۰۱۶/۰۸/۰۹	۱۵	۲۰۱۷/۰۸/۰۴	۲۴	۲۰۱۸/۰۹/۰۴
۷	۲۰۱۶/۰۹/۲۶	۱۶	۲۰۱۷/۰۹/۰۹	۲۵	۲۰۱۸/۱۰/۱۰
۸	۲۰۱۶/۱۱/۱۳	۱۷	۲۰۱۷/۱۱/۲۰	۲۶	۲۰۱۸/۱۱/۱۵
۹	۲۰۱۶/۱۲/۳۱	۱۸	۲۰۱۷/۱۲/۲۶	۲۷	۲۰۱۸/۱۲/۲۱



شکل ۳- انتخاب تصاویر بر اساس بیس لاین زمانی و مکانی

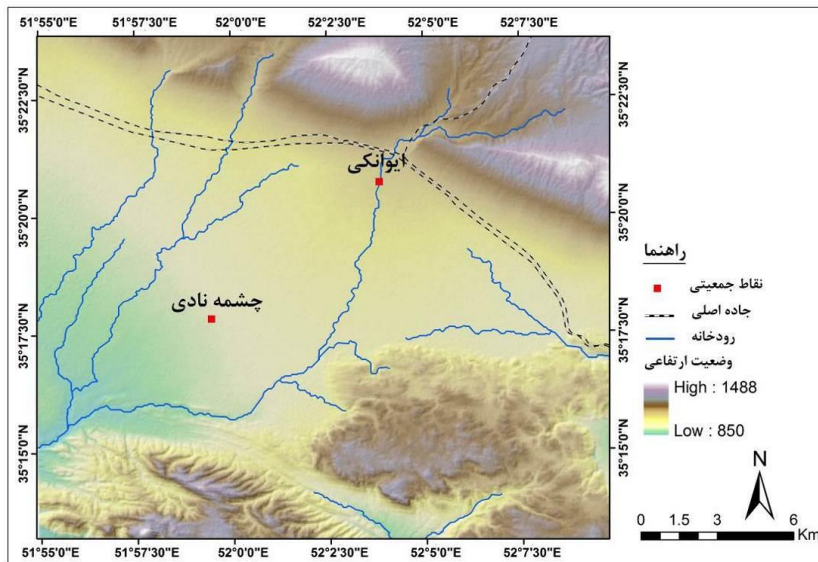
و ماسه‌زارهای بدون پوشش منتهی شده است. با توجه به اینکه واحد تپه‌ماهوری این منطقه، نسبت به فرسایش دارای حساسیت زیادی است، بخش زیادی از این واحد را اراضی بدلدنی تشکیل داده است که فاقد پتانسیل لازم برای توسعه اراضی کشاورزی می‌باشد. با توجه به موارد مذکور، بخش‌های شمالی و جنوبی محدوده دشت ایوانکی، وضعیت نامناسبی جهت توسعه فعالیت‌های کشاورزی دارد، این فعالیت‌ها در دشت ایوانکی به دلیل وجود رسوبات آبرفتی جوان تمرکز یافته است. این دشت به دلیل فرار گرفتن در منطقه خشک و دارا بودن بارش ناچیز (۱۴۵ میلی‌متر در سال) دارای مناطق حاصلخیز ناچیزی است. تمرکز فعالیت‌های کشاورزی در این دشت در کنار نبود آب‌های سطحی، سبب بهره‌برداری بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی شده است که در نتیجه آن پدیده فرونشست در منطقه را شکل داده است.

نتایج

ارزیابی وضعیت ژئومورفولوژی منطقه

عوامل ژئومورفولوژی نقش اصلی را در نوع کاربری اراضی مناطق بر عهده دارند. در واقع، در کنار سایر عوامل از جمله عوامل سیاسی، اقتصادی و اجتماعی، وضعیت ژئومورفولوژی مناطق در نوع اشتغال و میزان فعالیت‌های اقتصادی وابسته به آب و خاک نقش دارند. دشت ایوانکی با ارتفاع حدود ۸۵۰ متر در دامنه‌های جنوبی البرز واقع شده است (شکل ۴). قرار گرفتن این دشت در دامنه‌های جنوبی البرز سبب شده است تا میزان نزولات جوی در این منطقه خیلی کم‌تر از میانگین کشوری باشد و به‌علاوه میزان تبخیر نیز در این منطقه بسیار زیاد باشد که همین مسئله سبب گسترش اراضی تبخیری و محدوده بودن نواحی حاصلخیز شده است.

دشت ایوانکی از سمت شمال به واحد کوهستان و اراضی تپه-ماهوری فرسایش یافته و از سمت جنوب نیز به گنبد‌های نمکی

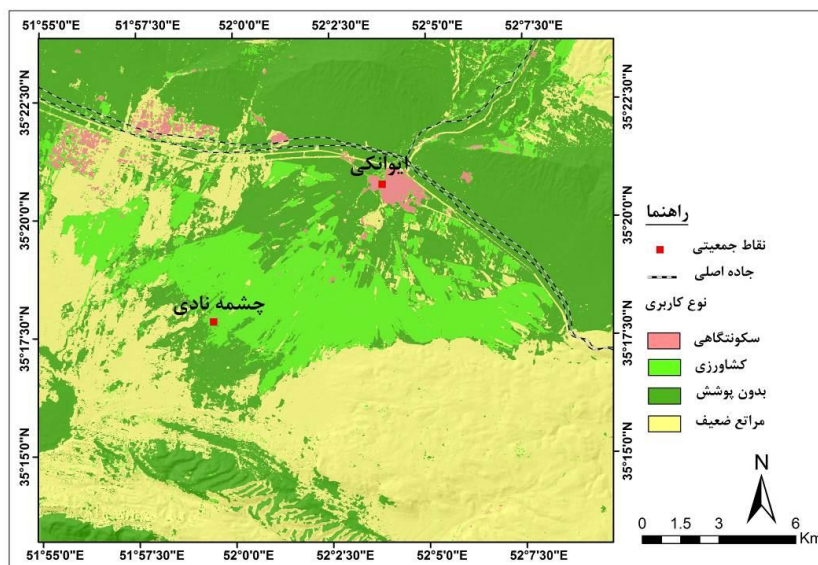


شکل ۴- نقشه وضعیت ارتفاعی و شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه

ارزیابی نوع کاربری اراضی منطقه

آن اراضی کشاورزی در مرکز دشت ایوانکی متمرکز شده است و سایر بخش‌ها را مناطق فاقد پوشش گیاهی قابل توجه تشکیل داده است. بخش‌های شمالی و جنوبی محدوده مطالعاتی به دلیل وجود تپه‌های ماهوری بدلندی و ماسه‌زارها، فاقد پوشش گیاهی هستند. همچنین بخش‌هایی از نواحی جنوبی که در مجاورت رودخانه‌های فصلی منطقه قرار دارند، دارای پوشش گیاهی ضعیف و پراکنده هستند.

نوع کاربری اراضی دشت ایوانکی تحت تاثیر عوامل ژئومورفولوژیکی و اقلیمی منطقه قرار دارد. در واقع به تناسب وضعیت ژئومورفولوژیکی و اقلیمی منطقه، نوع کاربری‌های آن شکل گرفته است. در این تحقیق نقشه کاربری اراضی منطقه با استفاده از تصویر ماهواره لندست مربوط به تاریخ ۲۰۱۸/۰۷/۲۸ در ۴ کلاس اراضی سکونتگاهی، اراضی کشاورزی، اراضی فاقد پوشش و مراتع ضعیف تهیه شده است (شکل ۵) که بر اساس



شکل ۵- نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

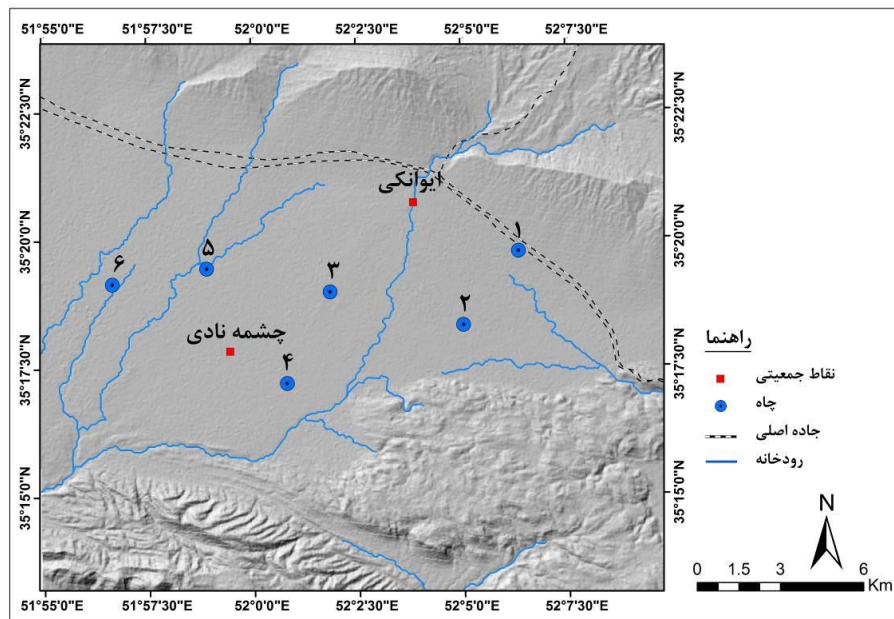
ارزیابی میزان افت سطح آب زیرزمینی در منطقه

همان طور که گفته شد، اراضی کشاورزی محدوده مطالعاتی در مرکز دشت ایوانکی متمرکز شده است. طبیعتاً با توجه به کمبود آب‌های سطحی در منطقه، آب مورد نیاز این اراضی از طریق بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی تهیه شده است. با توجه به اهمیت موضوع، در این بخش وضعیت افت آب‌های زیرزمینی منطقه بررسی شده است. به منظور بررسی میزان افت

سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه از آمار و اطلاعات شرکت مدیریت منابع آب ایران (۱۳۹۸) استفاده شده است و میزان افت ۶ چاه در منطقه ارزیابی شده است. در جدول ۲ میزان افت هر کدام از چاه‌ها و در شکل ۶ نقشه موقعیت چاه‌ها نشان داده شده است. بر اساس محاسبات صورت گرفته میانگین افت چاه‌های مطالعاتی در حواصل سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۴ بین ۰/۸۵ تا ۲/۰۱ متر در سال بوده است.

جدول ۲- وضعیت افت سالانه چاه‌های مطالعاتی بر حسب متر (منبع: شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۸)

شماره چاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
میزان افت	۱/۰۷	۱/۱۴	۱/۷۳	۱/۵	۰/۸۵	۲/۰۱

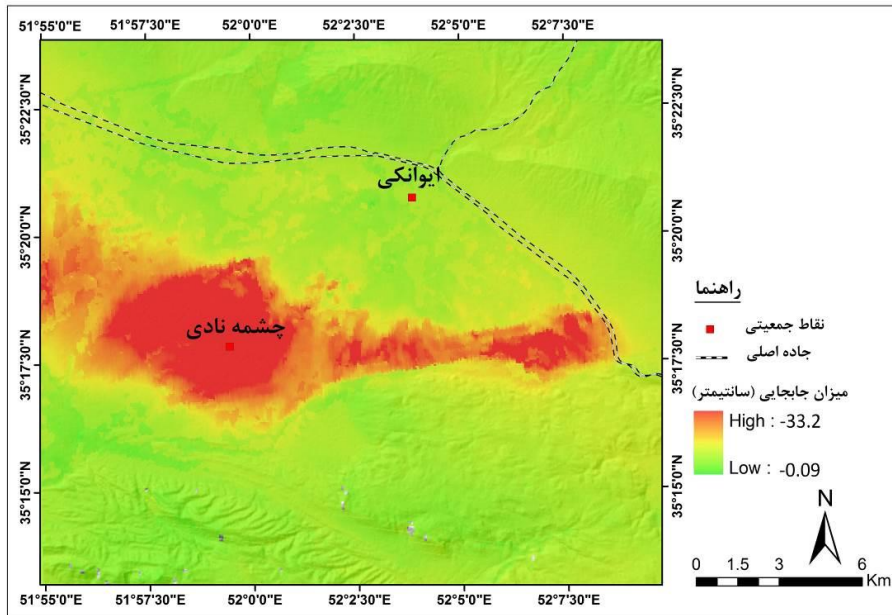


شکل ۶- نقشه موقعیت چاه‌های مورد مطالعه

ارزیابی میزان فرونشست منطقه

با توجه به وضعیت افت آب‌های زیرزمینی در محدوده دشت ایوانکی، وجود فرونشست در این منطقه دور از انتظار نخواهد بود، به همین دلیل در این تحقیق با استفاده از ۲۷ تصویر راداری سنتینل ۱ و روش سری زمانی SBAS به ارزیابی میزان فرونشست دشت ایوانکی پرداخته شده است. نتایج ارزیابی‌ها

بیانگر این است که محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۳ ساله (از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۶ تا ۲۰۱۸/۱۲/۲۱) بین ۰/۹- تا ۳۳/۲- سانتی‌متر افت داشته است (شکل ۷). بر اساس نقشه نهایی، مرکزی دشت ایوانکی به دلیل تمرکز فعالیت‌های کشاورزی، دارای بالاترین میزان فرونشست و مناطق حاشیه ای دارای کم-ترین میزان فرونشست هستند.



شکل ۷- نقشه میزان فرونشست محدوده مطالعاتی از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۰۶ تا ۲۰۱۸/۱۲/۲۱

بحث

با توجه به این که بیشترین میزان فرونشست رخ داده در مناطق مرکزی دشت ایوانکی بوده است و این مناطق را کاربری‌های اراضی کشاورزی آبی دربرگرفته است و همچنین با توجه به تطبیق نتایج به دست آمده از افت منابع آب زیرزمینی با میزان فرونشست منطقه (جدول ۳)، بنابراین می‌توان گفت که عامل اصلی در فرونشست دشت ایوانکی همانند دشت شهریار-کرج (صفاری و همکاران، ۱۳۹۵)، دشت خرمدره (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷) و دشت مشهد (صالحی متعهد و همکاران، ۱۳۹۸)، افت منابع آب زیرزمینی بوده است. لازم به ذکر است که علت اصلی افت منابع آب زیرزمینی در دشت ایوانکی همانند دشت همدان (شایان و همکاران، ۱۳۹۵)، وضعیت اقلیمی و هیدروژئومورفولوژی منطقه است که سبب تشدید بهره برداری از منابع آب زیرزمینی شده است.

بررسی وضعیت هیدروژئومورفولوژی دشت ایوانکی بیانگر این است که این دشت با محدودیت‌های زیادی از اطراف مواجه است. در واقع، محدود شدن دشت ایوانکی از اطراف به اراضی کویر، بدلدی و واحدهای تپه‌ماهور و کوهستان سبب شده است تا تنها بخش‌های کمی از این دشت قابل استفاده باشد که همین مسئله سبب تمرکز فعالیت‌های کشاورزی در بخش‌های میانی این دشت شده است. تمرکز بالای فعالیت‌های کشاورزی، اقلیم خشک منطقه و کمبود منابع آب سطحی سبب شده است تا در طی سال‌های اخیر میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی، بسیار بیش‌تر از میزان تغذیه آن‌ها باشد که همین مسئله سبب شده تا دشت ایوانکی با افت منابع آب زیرزمینی مواجه باشد به طوری که میزان افت سالانه سطح آب زیرزمینی در دشت ایوانکی بین ۰/۸۵ تا ۲/۰۱ متر در سال بوده است.

جدول ۳- بررسی وضعیت مناطق داری کم‌ترین و بیش‌ترین میزان فرونشست

میزان فرونشست	ارتفاع	واحد ژئومورفولوژی	کاربری اراضی	میزان افت آب
بیش‌ترین فرونشست	۸۵۰ تا ۱۰۰۰	دشت	کشاورزی	بیش‌ترین میزان
کم‌ترین فرونشست	بیش از ۱۳۰۰	کوهستان	بدون پوشش	کم‌ترین میزان

نتیجه گیری

نتایج تحقیق بیانگر این است که در فرونشست دشت ایوانکی عوامل زمین‌ساختی، ژئومورفولوژی و اقلیمی نقش مهمی داشته است. در واقع، تحت تاثیر عوامل زمین‌ساختی روند و جهت ناهمواری‌های منطقه شکل گرفته است. روند و جهت ناهمواری‌ها در شرایط اقلیمی و کمبود بارش منطقه نقش اصلی را داشته است و کمبود بارش و تبخیر زیاد منطقه سبب توسعه اراضی تبخیری و بدلدندی در منطقه شده است. تحت تاثیر عوامل طبیعی مذکور، دسترسی به منابع آب و خاک با محدودیت زیادی مواجه بوده است و کمبود منابع آب سطحی سبب بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی شده است. با توجه به موارد مذکور، عوامل طبیعی و توسعه اراضی کشاورزی بدون توجه به پتانسیل منطقه سبب افت سطح آب‌های زیرزمینی منطقه در طی سال‌های اخیر شده است. نتایج محاسبه میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی منطقه بیانگر این است که میانگین افت چاه‌های مطالعاتی در حدفاصل سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۴ بین ۰/۸۵ تا ۲/۰۱ متر در سال بوده است که رقم قابل توجهی است. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی میزان فرونشست منطقه نیز بیانگر این است که محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۳ ساله (از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۶ تا ۲۰۱۸/۱۲/۲۱) بین ۰/۹- تا ۳۳/۲- سانتی‌متر افت داشته است. بررسی نقشه فرونشست منطقه بیانگر این است که بیش‌ترین میزان فرونشست در مرکز دشت ایوانکی در نزدیکی روستای چشمه نادری بوده است و مناطق حاشیه‌ای دشت و ارتفاعات نیز کمترین میزان فرونشست را داشته است. با توجه به این‌که مناطق دارای فرونشست، منطبق بر کاربری اراضی کشاورزی و چاه‌های منطقه است، بنابراین می‌توان گفت که افت آب‌های زیرزمینی عامل اصلی فرونشست منطقه بوده است. با توجه به موارد مذکور می‌توان گفت که دشت ایوانکی با محدودیت‌های زیادی از نظر منابعی آبی مواجه است، به‌همین دلیل بهتر است جهت جلوگیری از روند افزایشی فرونشست در منطقه، میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی را به حداقل ممکن رساند. همچنین می‌توان به اتخاذ تدابیری از منابع آبی مناطق شمالی استان جهت رفع نیازهای آبی منطقه استفاده کرد.

منابع

احمدی، ن.، موسوی، ز.، معصومی، ز.، ۱۳۹۷. مطالعه فرونشست دشت خرمدره با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و بررسی مخاطرات آن، سنجش از دور و GIS در ایران، سال ۱۰، شماره ۳، ۳۳-۵۲.

تورانی، م.، آق اتابای، م.، روستایی، م.، ۱۳۹۷. مطالعه فرونشست در غرب استان گلستان با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری، مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۸، شماره ۲۷، ۱۱۷-۱۲۸.

زمانی، ط.، کریمی، ح.، توکلی، م.، علی مرادی، ص.، ۱۳۹۶. عوامل موثر بر افت آب زیرزمینی دشت مهران، استان ایلام، مجله هیدروژئولوژی، سال ۲، شماره ۲، ۱۷-۲۸.

شایان، س.، یمانی، م.، یادگاری، م.، ۱۳۹۵. پهنه‌بندی فرونشست در حوضه آبریز قره‌چای، مجله هیدروژئومورفولوژی، دوره ۳، شماره ۹، ۱۳۹-۱۵۸.

شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۸. دفتر مطالعات پایه منابع آب، سامانه ارائه آمار و گزارش.

شریفی کیا، م.، ۱۳۹۱. تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل‌سنجی راداری (D-InSAR) در دشت نوق-بهرمان، مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۶، شماره ۳، ۵۵-۷۷.

شریفی کیا، م.، افضلی، ع.، شایان، س.، ۱۳۹۴. استخراج و ارزیابی اثرات پدیده‌های ژئومورفولوژیک ناشی از فرونشست در دشت دامغان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۴، شماره ۲، ۶۰-۷۴.

صالحی متعهد، ف.، حافظی مقدس، ن.، لشکری پور، غ.، دهقانی، م.، ۱۳۹۸. ارزیابی فرونشست زمین به کمک تلفیق روش تداخل‌سنجی راداری و اندازه‌گیری‌های میدانی و مطالعه دلایل و اثرات آن بر شهر مشهد، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، سال ۱۳، شماره ۳، ۴۳۵-۴۶۲.

صفاری، ا.، جعفری، ف.، توکلی صبور، س.م.، ۱۳۹۵. پایش فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب‌های زیرزمینی

- Valley, Colorado inferred from multiple InSAR missions. *Water Resources Research*, 53, 9708-9720.
- 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), 468.
- Galloway, D.L., Hudnut, K.W., Ingebritsen, S.E., Phillips, S.P., Peltzer, G., Rogez, F., Rosen, P.A., 1998. Detection of aquifer system compaction and land subsidence using interferometric synthetic aperture radar, Antelope valley, Mojave Desert, California, *Water Resour. Res*, 34, 2573-2585.
- Ge, L., Ng, A., Li, X., Abidin, H., & Gumilar, I., 2014. Land subsidence characteristics of Bandung Basin as revealed by ENVISAT ASAR and ALOS PALSAR interferometry. *Remote Sensing of Environment*, 154, 46-60.
- Geo, M., Gong, H., Xiaojuan, L., Beibei, C., Chaofan, Z., Min, S., Lin, G., Zhang, C., Zhongyun, N., Guangyao, Duan., 2019. Land Subsidence and Ground Fissures in Beijing Capital International Airport (BCIA): Evidence from Quasi-PS InSAR Analysis, *Remote Sens*, 11(12), 1466.
- Hanssen, R.F., 2001. *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis*. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers.
- Kim, J.W., Lu, Z., Jia, Y., Shum, C., 2015. Ground subsidence in Tucson, Arizona, monitored by time-series analysis using multi-sensor InSAR datasets from 1993 to 2011. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 107, 126-141.
- Pacheco, J., Arzate, J., Rojas, E., Arroyo, M., Yutsis, V., & Ochoa, G., 2006. Delimitation of ground failure zones due to land subsidence using gravity data and finite element modeling in the Queretaro valley, Mexico. *Engineering Geology*, 84: 143-160.
- Poland, J.F., Davis, G.H., 1969. Land subsidence due to withdrawal of fluids, *Rev. Eng. Geol.*, 2, 187-269.
- Stephen, S., 2011. *Subsidence: Dissolution & Human Related Causes*, Natural Disasters, Tulane University, pp 1-10.
- Zhang, Y., Liu, Y., Jin, M., Jing, Y., Liu, Y., Liu, Y., Sun, W., Wei, J., Chen, Y., 2019. Monitoring Land Subsidence in Wuhan City (China) using the SBAS-InSAR Method with Radarsat-2 Imagery Data, *Sensors*, 19(3): 743.
- Zhu, L., Gong, H., LI, X., Wang, R., Chen, B., Dai, Z., & Teatini, P., 2015. Land subsidence due to groundwater withdrawal in the northern Beijing plain, China. *Engineering Geology*, 193, 243-255.
- (مطالعه موردی: دشت کرج-شهریار)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۵، شماره ۲، ۸۲-۹۳.
- عبادت، ن.، ۱۳۹۴. بررسی روند تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی دشت ایوانکی، مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۲، شماره ۴، ۳۸۳-۳۹۴.
- کریمی، ث.، محمدی، ض.، سامانی، ن.، ۱۳۹۶. بررسی خصوصیات هیدروشیمیایی آب زیرزمینی و روند تکاملی آن در دشت سمنان، مجله هیدروژئولوژی، سال ۲، شماره ۱، ۱-۱۹.
- کریمی، م.، قنبری، ع.ا.، امیری، ش.، ۱۳۹۲. سنجش خطرپذیری سکونتگاه‌های شهری از پدیده فرونشست زمین (مطالعه موردی: منطقه ۱۸ شهر تهران)، مجله برنامه‌ریزی فضایی، دوره ۳، شماره ۱، ۳۷-۵۵.
- کوهبنانی، ح.، یزدانی، م.ر.، حسینی، س.ک.، ۱۳۹۸. پهنه‌بندی گستره خطر فرونشست زمین با بهره‌گیری از تداخل‌سنجی راداری (مطالعه موردی: دشت کاشمر و خلیل‌آباد)، مجله مدیریت بیابان، دوره ۷، شماره ۳، ۹۵-۷۶.
- مقصودی، ی.، امانی، ر.، احمدی، ح.، ۱۳۹۸. بررسی رفتار فرونشست زمین در منطقه غرب تهران با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل ۱ و تکنیک تداخل‌سنجی راداری مبتنی بر پراکنش‌گرهای دائمی، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال ۱۵، شماره ۱، ۲۹۹-۳۱۳.
- ناصری، ح.ر.، نظری، ر.، ۱۳۹۰. شبیه‌سازی و پیش‌بینی هیدروگراف معرف آبخوان دشت ایوانکی، مجله پژوهش‌های دانش زمین، سال ۲، شماره ۵، ۷۰-۸۷.
- Brunori, C., Bignami, C., Albano, M., Zucca, F., Samsonov, S., Gropelli, G., Norini, G., Saroli, M., Stramondo, S., 2015. Land subsidence, Ground Fissures and Buried Faults: InSAR Monitoring of Ciudad Guzmán (Jalisco, Mexico). *Remote Sens*, 7, 8610-8630.
- Chen, B., Gong, H., Lei, K., Li, J., Zhou, C., Gao, M., Guan, H., Lv, W., 2019. Land subsidence lagging quantification in the main exploration aquifer layers in Beijing plain, China. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf*, 75, 54-67.
- Chen, J., Knight, R., & Zebker, H. A., 2017. The temporal and spatial variability of the confined aquifer head and storage properties in the San Luis