

## بررسی فرونشست دشت مهیار جنوبی با استفاده از روش تداخل سنجی راداری

رضا صالحی<sup>۱</sup>، محمد غفوری<sup>۲</sup>، غلامرضا لشکری پور<sup>۳</sup>، مریم دهقانی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۹/۰۲

مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد

### چکیده

پدیده فرونشست زمین در دهه‌های اخیر معضلات زیادی را برای زمین‌های کشاورزی، مناطق مسکونی، جاده‌ها و کانال‌های آبرسانی در برخی از دشت‌های استان اصفهان بوجود آورده است. دشت مهیار جنوبی واقع در ۵۰ کیلومتری جنوب شرق اصفهان یکی از این مناطق می‌باشد. در سال‌های اخیر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی این دشت رشد چشمگیری داشته و طبق آمار و اطلاعات موجود بیشترین برداشت از منابع آب زیرزمینی این دشت در بخش کشاورزی صورت می‌گیرد. به طوریکه میزان برداشت آب از ۵۸/۸ میلیون متر مکعب توسط ۲۱۷ حلقه چاه در سال ۱۳۶۹ به ۸۵/۵ میلیون متر مکعب از ۴۴۶ حلقه چاه در سال ۱۳۸۸ رسیده است. پیامدهای این افت سطح آب زیرزمینی منجر به فرونشست زمین و ایجاد ترک و شکاف‌ها در قسمت‌هایی از دشت شده است. افت سطح ایستابی و به دنبال آن افزایش تنش مؤثر دلیل اصلی فرونشست دشت مهیار جنوبی می‌باشد. در این تحقیق به منظور تعیین محدوده تحت تأثیر و نهایتاً برآورد میزان فرونشست از روش تداخل سنجی راداری به عنوان روشی قابل اطمینان برای اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین با دقت بسیار بالا، پوشش وسیع و قدرت تفکیک مکانی بالا استفاده گردید. بیشینه نرخ فرونشست با استفاده از تصاویر راداری ماهواره ENVISAT در بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۰۶، ۸/۲ سانتی‌متر در سال محاسبه گردید. از نتایج حاصل از آنالیز سری زمانی مشخص گردید که سطح زمین در محدوده خطر در نتیجه افت سطح ایستابی با سرعت ثابت در حال افت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب‌های زیرزمینی، تداخل سنجی راداری، دشت مهیار جنوبی، فرونشست.

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران، ۰۹۱۳۱۰۷۵۹۱۲، Esf.salehi@yahoo.com

<sup>۲</sup> استاد، گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران، ۹۸ ۵۱۱ ۸۷۹۷۲۷۵، ir.ac.um@ghafoori

<sup>۳</sup> استاد، گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران، ۹۸ ۵۱۱ ۸۷۹۷۲۷۵، lashkaripour@um.ac.ir

<sup>۴</sup> دکتری سنجش از دور، گروه مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شیراز، ایران، ۹۸ ۷۱۱ ۶۱۳۳۱۶۲، +

## مقدمه

فرونشست زمین عبارت است از فروریزش ناگهانی یا تدریجی سطح زمین به سمت پایین که با جابجایی‌های ناچیز افقی نیز همراه باشد (بیتس و جکسون، ۱۹۸۰). فرونشست منطقه‌ای زمین به دلیل افت سطح آب زیرزمینی عمدتاً در رسوبات تحکیم نیافته یا نیمه تحکیم یافته که در مجاورت لایه‌های شن و ماسه قرار دارد صورت می‌گیرد. بعبارتی افت سطح ایستابی باعث کاهش فشار آب منفذی و افزایش تنش مؤثر وارد بر رسوبات آبخوان می‌شود (طاحونی، ۱۳۸۴). در چنین شرایطی یک تراکم غیر الاستیک به دلیل افزایش تنش مؤثر در خاک رخ داده و چیدمان دانه‌های خاک بهم خورده و چیدمان جدید باعث کاهش حجم و ضخامت عمودی لایه و در نهایت نشست می‌گردد (بل، ۱۹۹۹). ترک و شکاف‌های زمین که ناشی از فرونشست هستند شاید همان تأثیر خطرهای ناگهانی و فاجعه بار مانند سیل و زلزله را نداشته باشند، ولی همچون سرطانی آرام و بی‌صدا گسترش می‌یابد. از سوی دیگر این پدیده می‌تواند با ایجاد تغییر در وضعیت زمین آبشناختی منطقه از قبیل جهت و سرعت جریان آب زیرزمینی، بیلان آب زیرزمینی و غیره نتیجه‌های ناهنجار بیشتری در پی داشته باشد (هولزر و گالوی، ۲۰۰۵).

بیشترین گزارشات از سراسر جهان در ارتباط با پدیده فرونشست زمین مربوط به نقاط خشک و کم باران بوده است. این پدیده در گذشته در بسیاری از نقاط دنیا مانند ایالت آریزونا و کالیفرنیا، آمریکا، شهرهای اوزاکا و توکیو در ژاپن، ونیز در ایتالیا، بانکوک در تایلند، جاکارتا در اندونزی، کلکته در هندوستان و مکزیکوسیتی در مکزیک گزارش شده است (لارسون و همکاران، ۲۰۰۱؛ ترن و فردلاند، ۲۰۰۰). فرونشست زمین بر اثر افت سطح آب زیرزمینی در ایران برای اولین بار در سال ۱۳۴۶ در دشت رفسنجان گزارش گردید. و بر اساس اطلاعات بیش از ۱۰۰ ایستگاه GPS نصب شده در این دشت، میزان فرونشست به ازای هر متر افت سطح آب‌های زیرزمینی بین ۵ تا ۱۵ سانتیمتر اندازه گیری شده است (سلیمانی و مرتضوی، ۲۰۰۸). در سال‌های اخیر، پدیده فرونشست زمین در دشت‌های زیادی از نقاط خشک و نیمه خشک 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 روبرو هستند به ۲۰۹ دشت می‌رسد. این پدیده در دشت‌های دیگر ایران چون اراک، نهاوند، خمین، نطنز، یزد، ابرکوه، دشت کاشمر در استان خراسان رضوی (لشکریپور و همکاران، ۱۳۸۵)، مشهد (لشکریپور و همکاران، ۱۳۸۴)، و سیستان (راهنماراد و فیروزان، ۱۳۸۱)، دشت نیشابور (دهقانی و همکاران، ۲۰۰۹) و دشت مشهد (دهقانی و همکاران، ۲۰۰۹b؛ معتق و همکاران، ۲۰۰۷) نیز مشاهده شده و در حال توسعه می‌باشد.

## تکنیک تداخل سنجی راداری

یکی از ابزارهای توانمند جهت پایش پدیده فرونشست، روش تداخل سنجی راداری است. این روش با مقایسه فازهای دو تصویر راداری که از یک منطقه در دو زمان مختلف اخذ شده‌اند، قادر به تعیین تغییرات سطح زمین در آن بازه‌ی زمانی می‌باشد. فاز اخذ شده از یک عارضه بر روی سطح زمین متناسب با فاصله آن تا سنجنده راداری است. بنابراین ایجاد تغییر در این فاصله بر روی فاز اندازه گیری شده اثر می‌گذارد. به کمک تکنیک تداخل سنجی راداری تصویری به نام اینترفروگرام<sup>۱</sup> ساخته می‌شود. یک اینترفروگرام، تصویری است که حاوی اختلاف فاز دو تصویر راداریست که با دقت نسبت به هم ثبت هندسی<sup>۲</sup> شده‌اند (دنیل و همکاران، ۲۰۰۳). فاز اینترفروگرام حاوی اثر توپوگرافی، خطاهای مداری و اثرات اتمسفر می‌باشد. برای به دست آوردن جابجایی سطح زمین در یک بازه زمانی، می‌بایست خطاهای مداری، اثرات توپوگرافی و نویز اتمسفر از اینترفروگرام‌ها حذف گردند. برای حذف اثر توپوگرافی، مدل ارتفاعی رقومی SRTM با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر مورد استفاده قرار گرفته است. خطاهای مداری نیز با برازش یک رویه به مناطقی که فاقد جابجایی هستند مدل‌سازی 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).

<sup>1</sup> Interferogram

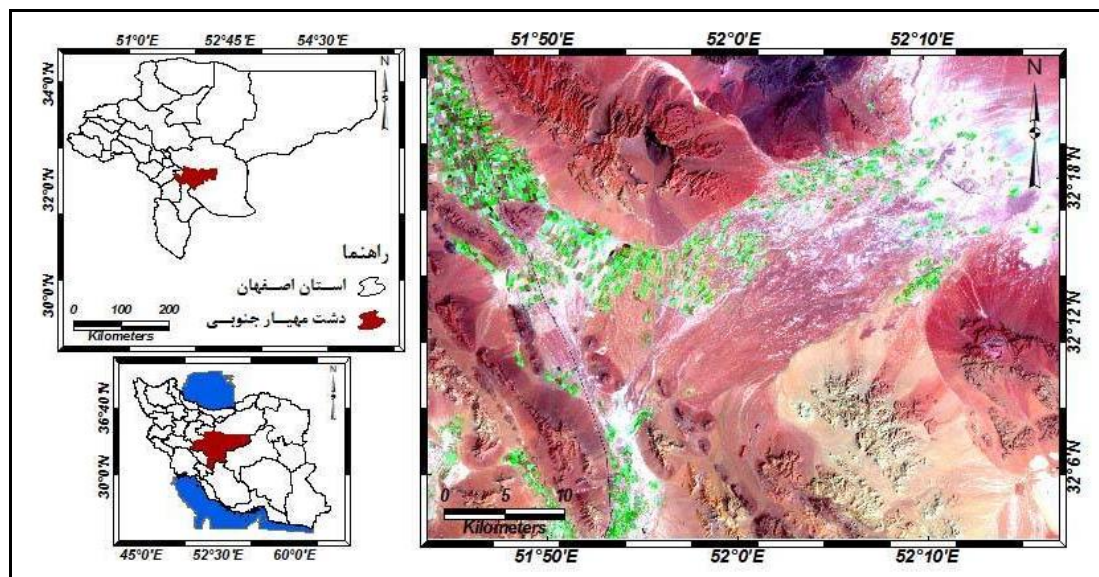
<sup>2</sup> Coregister

## موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی دشت

## مهیار جنوبی

دشت مهیار جنوبی بخشی از حوضه آبریز گاو خونی به شمار می‌رود. این دشت با مساحتی حدود ۸۵۰ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی ۴۵'۵۱° تا ۲۰'۵۲° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۲° تا ۲۵'۳۲° شمالی قرار دارد و به صورت دره‌ای باریک با عرضی حدود

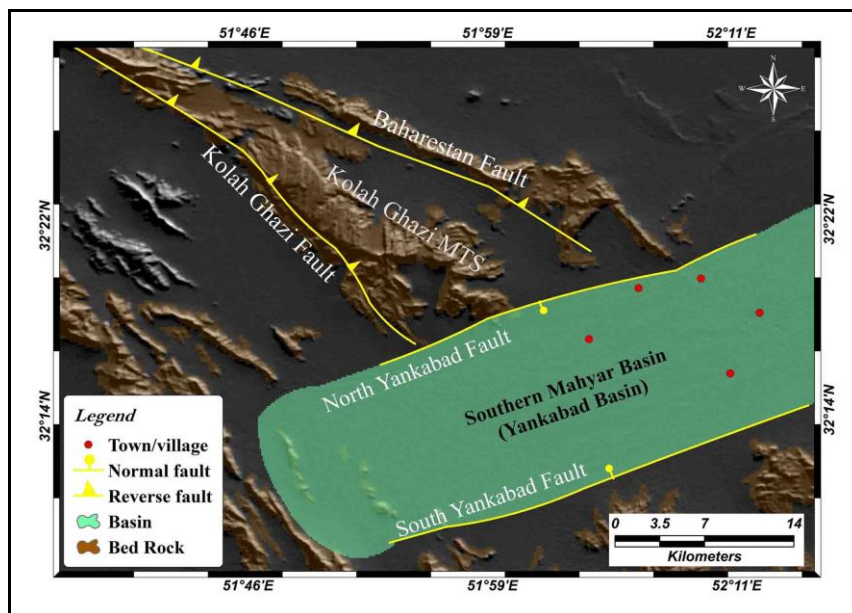
۱۵ کیلومتر و روند شمال شرقی- جنوب غربی در دامنه جنوبی پارک ملی کلاه قاضی در جنوب شرق اصفهان واقع شده است، شکل (۱). از دشت مهیار حدود ۴۵۰ کیلومتر مربع آن دشت و بقیه ارتفاعاتی هستند که اکثراً در حاشیه دشت واقع شده‌اند. این دشت از سه جهت شمال، جنوب و غرب توسط ارتفاعاتی که همگی روند شمال غربی- جنوب شرقی دارند محصور شده و از سمت شرق هم به تپه‌های ماهوری روستای ورزنه و باتلاق گاو خونی محدود می‌شود.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی دشت مهیار جنوبی بر روی تصویر ماهواره‌ای Landsat 7 ETM+

دارد که در طی حرکت‌های امتداد لغز گسل‌های احاطه کننده آن تشکیل شده است (ندیمی و کانن، ۲۰۱۲). بررسی تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که در محدوده دشت مهیار جنوبی دو سیستم اصلی گسلش وجود دارد که مرز بین ارتفاعات و دشت را در جهت‌های مختلف تشکیل می‌دهند. این گسل‌ها شامل گسل‌های شمالی و جنوبی یانک آباد با روند شمال شرقی- جنوب غرب و گسل کلاه قاضی با روند شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد، شکل (۲)، (ندیمی و کانن، ۲۰۱۲). با توجه به امتداد گسل‌های شمالی و جنوبی یانک آباد و جهت گیری تنش‌های اصلی وارد بر منطقه، رژیم تکتونیکی حاکم بر منطقه مورد مطالعه از نوع کششی می‌باشد و در نتیجه می‌توان دشت مهیار جنوبی را حاصل یک گرابن بزرگ دانست که توسط رسوبات فرسایشی ارتفاعات حاشیه دشت در دوران هولوسن پر شده است (ندیمی، ۲۰۱۰).

از دیدگاه تقسیمات واحدهای ساختمانی - رسوبی ایران، منطقه مهیار جنوبی در زون ساختاری سنندج - سیرجان قرار گرفته است. زمین ساخت محدوده مورد مطالعه متأثر از حرکت ورقه عربی به سمت ورقه ایران و تغییر شکل‌های ناشی از این همگرایی می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه روند غالب گسل‌های اصلی هماهنگ با راندگی اصلی زاگرس و در جهت شمال غرب- جنوب شرق امتداد یافته‌اند. سازوکار اغلب این گسل‌ها راستگرد معکوس می‌باشد که مولفه امتداد لغز آنها جدید و در طی تغییر سمت همگرایی ورقه عربی بوجود آمده است. این حرکت‌های جدید باعث تشکیل یکی سری حوضه‌های رسوبی محصور به گسل در این پهنه ساختاری گردیده است که می‌توان به دریاچه ارومیه، خمین، گلپایگان، گاوخونی، سیرجان و جازموریان اشاره نمود (تیلیمان، ۱۹۸۱؛ سنگار، ۱۹۹۰، ندیمی و ندیمی ۲۰۰۸). در شرق محدوده مورد مطالعه یکی از این حوضه‌های گسلی به نام باتلاق گاو خونی قرار



شکل (۲): موقعیت گسل‌های یانک آباد شمالی و جنوبی و گسل کلاه قاضی

## روش تحقیق

در این تحقیق ارتباط افت سطح آب زیرزمینی با فرونشست دشت مهبیار جنوبی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور اطلاعات آب شناسی دشت شامل هیدروگراف واحد و افت سطح آب زیرزمینی در سال‌های گذشته و ارتباط آن با فرونشست دشت و نتایج حاصل از انجام برداشت‌های صحرائی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. علاوه بر آن از تکنیک تداخل‌سنجی راداری برای تصویر کردن محدوده فرونشست و بررسی تغییرات زمانی کوتاه مدت و بلند مدت این حادثه کمک گرفته شده است.

## خصوصیات آبخوان منطقه مورد مطالعه

بر اساس مطالعات انجام شده آبخوان دشت مهبیار جنوبی عموماً از نوع آزاد می‌باشد که بین دو رشته ارتفاعات نسبتاً موازی با روند عمومی شمال غربی- جنوب شرقی واقع شده است. ارتفاعات حاشیه دشت عمدتاً از سنگ‌های کربناته نظیر سنگ آهک، آهک دولومیتی و آهک مارنی تشکیل شده است و در سطوح لایه بندی این آهک‌ها حفرات کارستی با گسترش کم دیده می‌شود. به دلیل کم بودن میزان ریزش‌های جوی در منطقه این آهک‌ها آبخوان قابل توجهی را تشکیل نمی‌دهند و قابلیت

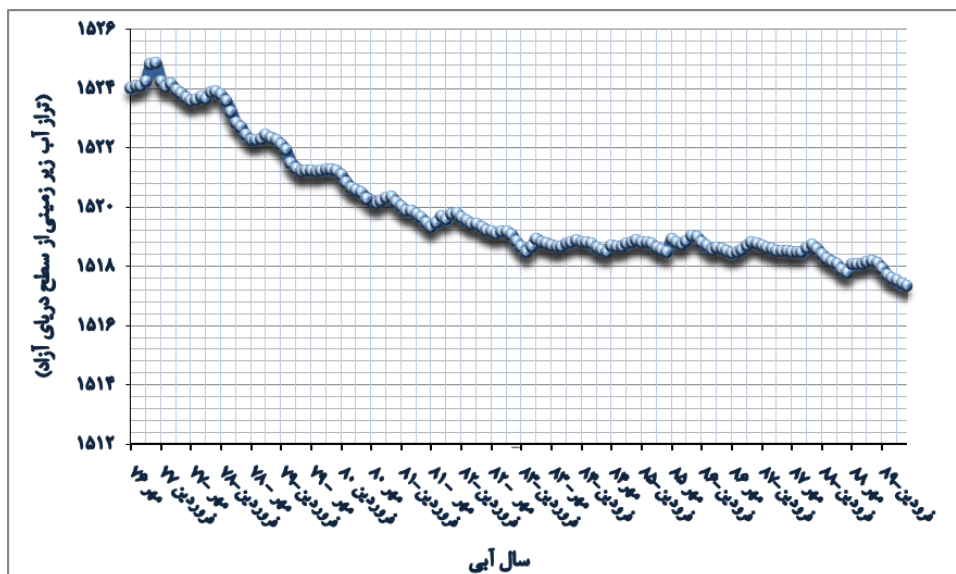
آبدهی آنها پایین است. رسوبات موجود در دشت مهبیار جنوبی را می‌توان حاصل رسوب گذاری مستقیم سیلاب‌ها و مسیل‌های دانست که از ارتفاعات شمالی و جنوبی وارد دشت می‌شوند و شامل پادگانه‌های آبرفتی نسبتاً فشرده با آبدهی ضعیف و آهک‌های حفره‌دار و رسوبات سیلابی و بادرفتی بوده که منبع ذخیره آب‌های زیرزمینی این محدوده را تشکیل می‌دهند (مهندسی منابع آب، ۱۳۷۵).

## مطالعات هیدروژئولوژی

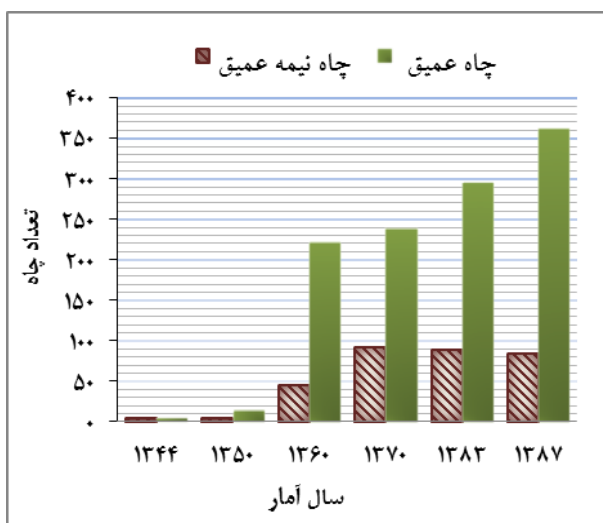
در مطالعات مربوط به علل فرونشست سطح زمین بررسی نوسانات سطح آب زیر زمینی نقش بسیار مهمی دارد. به همین دلیل اطلاعات مربوط به تغییرات سطح آب زیرزمینی در طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۸ که از ۴۰ پیژومتر واقع در دشت مهبیار جنوبی برداشت شده، مورد استفاده قرار گرفته است. هیدروگراف واحد دشت مهبیار جنوبی بر مبنای پیژومترها و شبکه تیسن طی دوره ۱۲ساله آبی (مهر ۱۳۷۶ تا مهر ۱۳۸۸) در شکل (۳) ارائه شده است. با توجه به هیدروگراف واحد تراز آب زیرزمینی دشت علیرغم نوسانات فصلی دارای روند نزولی می‌باشد. همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود متوسط تراز آب در مهر ۱۳۷۶ برابر با ۱۵۲۴ متر است که با ۶ متر افت به ۱۵۱۸ متر در مهر ۱۳۸۸ رسیده است. بنابراین افت متوسط سالیانه تراز آب طی دوره ۱۲ ساله برابر ۵۰

بیش از ۳ متر را نشان می‌دهد.

سانتیمتر است. بر اساس این هیدروگراف بیشترین افت سطح آب زیرزمینی مربوط به دهه ۷۰ است، که افتی



شکل (۳): نمودار هیدروگراف واحد دشت مهبیار جنوبی بین سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۸۸



شکل (۴): تقسیم بندی چاه‌های موجود در دشت مهبیار جنوبی طی سالهای ۱۳۴۴ تا سال ۱۳۸۷

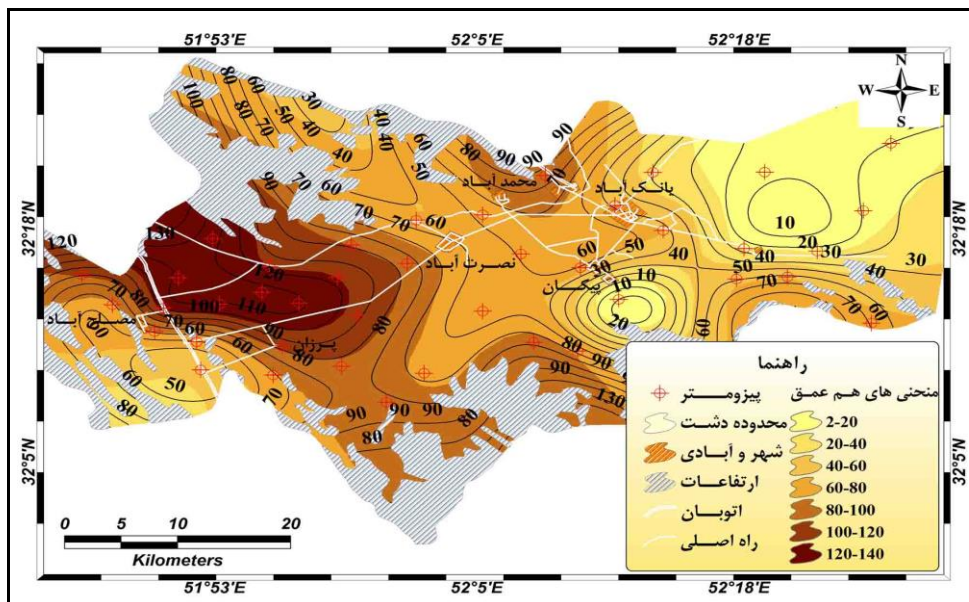
در محدوده مطالعاتی دشت مهبیار جنوبی استحصال آب زیرزمینی از طریق چاه‌های بهره برداری، عمدتاً در بخش کشاورزی صورت می‌گیرد. آمار تعداد چاه‌های بهره برداری از سال ۱۳۴۴ تا سال ۱۳۸۷ در شکل (۴) ارائه شده است. با توجه به این شکل تعداد چاه‌های بهره برداری دشت مهبیار جنوبی در دوره‌های آمار برداری روندی صعودی داشته و تعداد آنها از ۱۰ حلقه در سال ۱۳۴۴ به ۴۴۶ حلقه در سال ۱۳۸۷ رسیده است. همچنین همانطور که در شکل مشاهده می‌شود تعداد چاه‌های نیمه عمیق در دهه ۸۰ نسبت به دوره قبل کاهش محسوسی یافته است که این کاهش به دلیل افت سطح آب و خشک شدن چاه‌های نیمه عمیق می‌باشد (شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، ۱۳۸۸).

سبب شیب توپوگرافی، تعداد و میزان برداشت چاه‌های بهره برداری در نقاط مختلف دشت متفاوت است. بررسی نقشه مزبور نشان می‌دهد عمق سطح آب در جهت شیب عمومی دشت یعنی از سمت غرب به شرق دشت کاهش می‌یابد. در شمال غربی محدوده مطالعاتی عمق سطح آب در حدود ۱۳۰ متر است، که به نظر می‌رسد به دلیل تمرکز چاه‌های بهره‌برداری در این منطقه باشد. در پیژومتر جنوب شرقی دشت عمق سطح آب در حدود ده

نتایج حاصل از مطالعات عمق سطح آب زیرزمینی نقشه هم‌عمق سطح آب زیرزمینی در شکل (۵) با استفاده از آمار پیژومترهای موجود در دشت و منحنی‌های ۱۰ متری ترسیم گردید. با توجه به این نقشه عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی در دشت مهبیار جنوبی از حداکثر ۱۳۰ متر در پیژومترهای واقع در شمال غربی منطقه تا حداقل ۱۰ متر در قسمت‌های شرقی دشت متغیر است. عمق برخورد به سطح آب در دشت مهبیار جنوبی به

محدوده مطالعاتی به منحنی‌های حداقل ده متری ختم می‌شود و این کاهش عمق سطح آب می‌تواند به دلیل تمرکز کمتر چاه‌های بهره برداری و جهت شیب توپوگرافی در این نواحی باشد.

متر است که به دلیل سیلاب‌های ورودی از سمت ارتفاعات جنوبی منطقه می‌باشد. در اطراف یانک آباد و نصرت آباد منحنی‌های حداکثر ۵۰ تا ۷۰ متر مشاهده می‌شود که به سمت قسمت‌های شرق و شمال شرقی



شکل (۵): نقشه هم عمق سطح آبخوان دشت مهیار جنوبی در اسفند ماه ۱۳۸۸

فضایی اروپا انجام گرفته است. جدول (۱) مشخصات اینترفروگرام‌های پردازش شده در منطقه مورد مطالعه را با توجه به خط مبنای مکانی نشان می‌دهد. به منظور کاهش نویز و افزایش همبستگی زمانی اینترفروگرام‌ها حتی‌الامکان سعی شده از زوج تصاویر راداری با بازه زمانی کوتاه استفاده شود.

### مطالعات تداخل سنجی راداری

مطالعات تداخل‌سنجی راداری در این تحقیق توسط ده تصویر ENVISAT با هندسه تصویربرداری پایین‌گذر ۳۳۵ به منظور پردازش ۱۶ اینترفروگرام به کمک نرم‌افزار GAMMA و اطلاعات مداری آژانس

جدول (۱): مشخصات اینترفروگرام‌های پردازش شده در دشت مهیار جنوبی

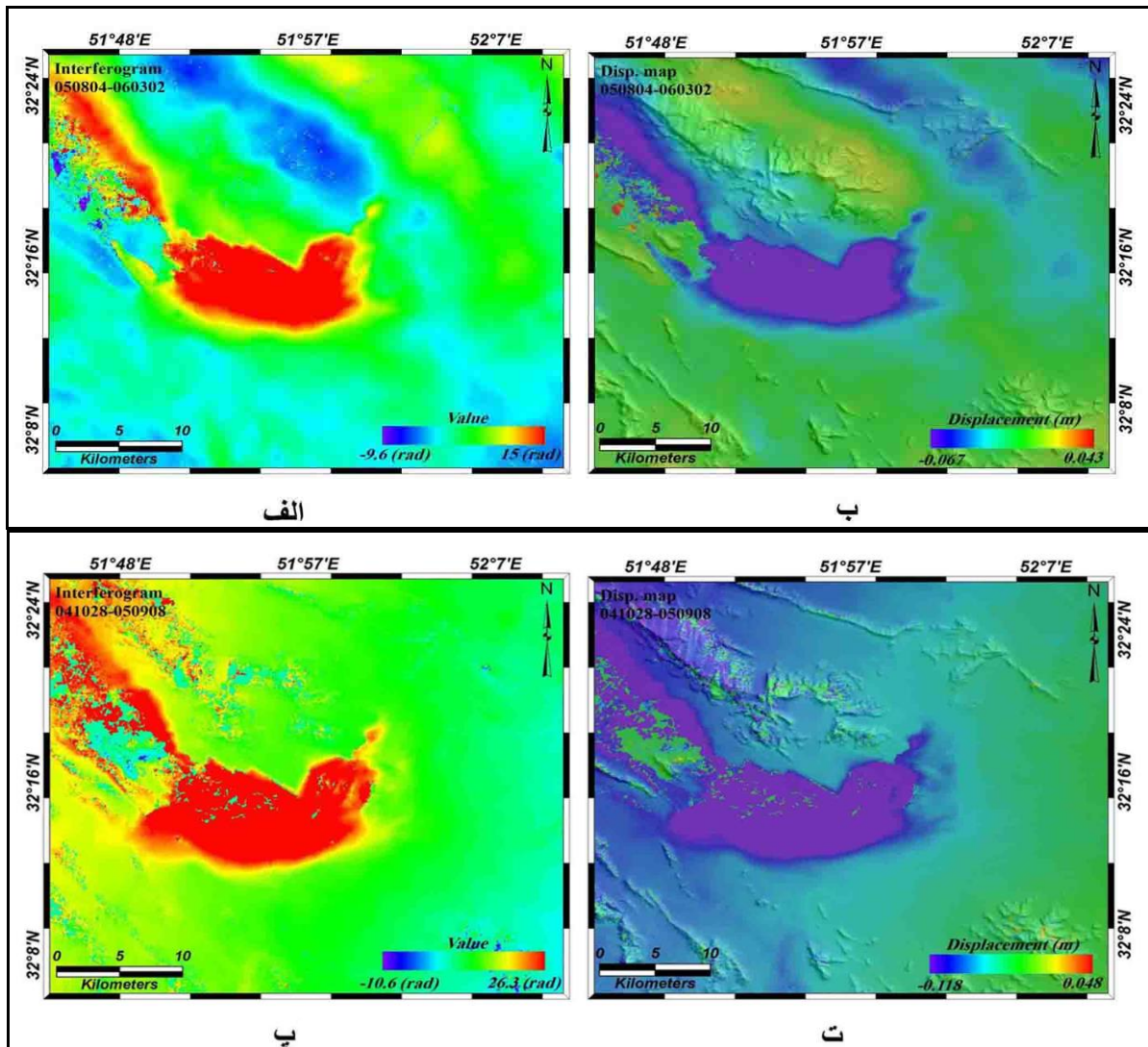
شماره	تصویر اصلی	تصویر فرعی	خط مبنای مکانی	شماره	تصویر اصلی	تصویر فرعی	خط مبنای مکانی
۱	۲۰۰۳/۱۱/۱۳	۲۰۰۴/۰۵/۰۶	۶۶	۹	۲۰۰۴/۰۶/۱۰	۲۰۰۵/۰۹/۰۸	۱۷۴
۲	۲۰۰۳/۱۱/۱۳	۲۰۰۴/۰۸/۱۹	۳۲۰	۱۰	۲۰۰۴/۰۸/۱۹	۲۰۰۵/۰۸/۰۴	۳۹۸
۳	۲۰۰۳/۱۲/۱۸	۲۰۰۴/۰۵/۰۶	۲۵۷	۱۱	۲۰۰۴/۱۰/۲۸	۲۰۰۵/۰۵/۲۶	۳۹۵
۴	۲۰۰۳/۱۲/۱۸	۲۰۰۴/۰۸/۱۹	۱۲۹	۱۲	۲۰۰۴/۱۰/۲۸	۲۰۰۵/۰۹/۰۸	۲۴۸
۵	۲۰۰۴/۰۵/۰۶	۲۰۰۴/۰۸/۱۹	۳۸۶	۱۳	۲۰۰۵/۰۵/۲۶	۲۰۰۵/۰۸/۰۴	۱۴۸
۶	۲۰۰۴/۰۶/۱۰	۲۰۰۴/۱۰/۲۸	۷۴	۱۴	۲۰۰۵/۰۵/۲۶	۲۰۰۵/۰۹/۰۸	۱۴۷
۷	۲۰۰۴/۰۶/۱۰	۲۰۰۵/۰۵/۲۶	۳۲۱	۱۵	۲۰۰۵/۰۵/۲۶	۲۰۰۶/۰۳/۰۲	۱۶۲
۸	۲۰۰۳/۱۱/۱۳	۲۰۰۴/۰۵/۰۶	۶۶	۱۶	۲۰۰۵/۰۸/۰۴	۲۰۰۶/۰۳/۰۲	۱۴

نشان می‌دهد، پدیده فرونشست از منتهی الیه شمال غربی منطقه مورد مطالعه شروع شده و در امتداد ارتفاعات کلاه قاضی تا روستای پرزان و نصرت آباد در بخش‌های مرکزی

پس از تولید اینترفروگرام‌ها با اعمال ضریب تبدیل فاز به فاصله، نقشه‌های میزان جابجایی در بازه‌های زمانی جدول فوق تهیه گردید. بررسی نقشه‌های میزان جابجایی

کمیته فرونشست در بازه‌های زمانی مذکور به ترتیب برابر با ۱۵/۷ و ۲/۶ سانتیمتر می‌باشد. شکل (۶) نمونه اینترفروگرام‌های تولید شده به همراه نقشه میزان جابجایی که بر روی مدل رقومی ارتفاعی منطقه قرار گرفته است را نشان می‌دهد.

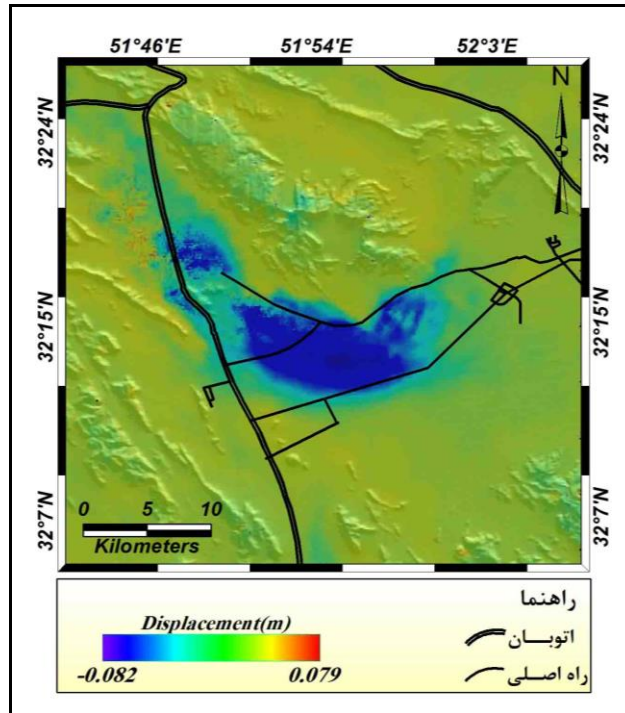
دشت مهبیار جنوبی ادامه یافته است. با افزایش فاصله زمانی تصاویر، میزان و محدوده فرونشست و عبارتی پهنای سیگنال فرونشست گسترش می‌یابد. کشیدگی سیگنال فرونشست در امتداد روند کشیدگی دشت ایجاد شده است. بر اساس نقشه‌های تهیه شده فوق، بیشینه و



شکل (۶): (الف) اینترفروگرام، (ب) نقشه میزان جابجایی منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ۲۰۰۶/۰۳/۰۲-۲۰۰۵/۰۸/۰۴، (پ) اینترفروگرام، (ت) نقشه میزان جابجایی منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ۲۰۰۵/۰۹/۰۸-۲۰۰۴/۱۰/۲۸

استفاده از کد نویسی در نرم افزار متلب انجام گردید. نقشه نهایی نرخ متوسط فرونشست حاصل از آنالیز سری زمانی برای کل منطقه فرونشست در شکل (۷) نشان داده شده است. با توجه به این نقشه بیشینه نرخ متوسط فرونشست در منطقه مورد مطالعه به ۸/۲ سانتیمتر در سال می‌رسد.

پس از پردازش اینترفروگرام‌ها برای تعیین نرخ متوسط فرونشست در بازه زمانی تصاویر مورد استفاده از روش آنالیز سری زمانی به روش کمترین مربعات استفاده شد. این روش به کمک الگوریتمی صورت گرفت که به برآورد فاز تجمعی در زمان‌های اخذ تصاویر می‌پردازد و با

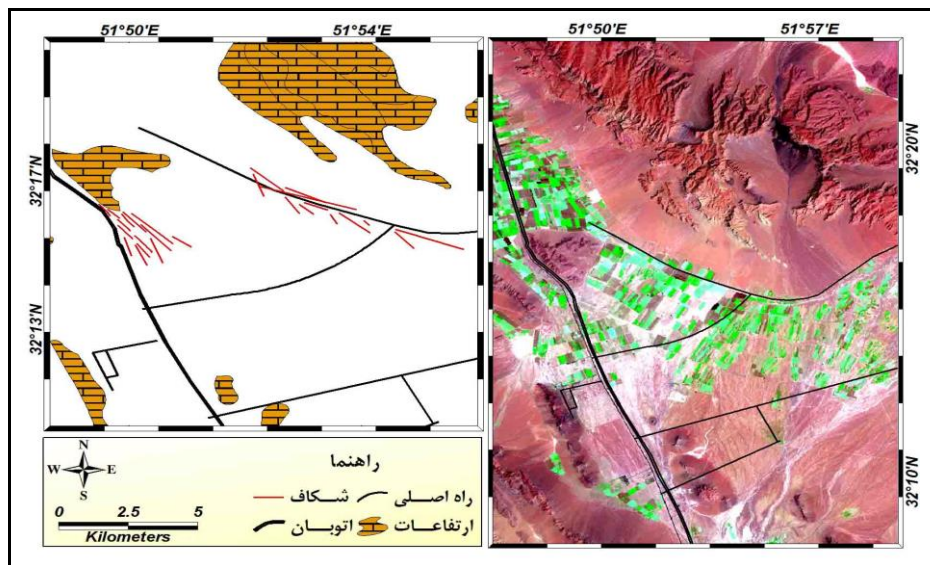


شکل (۷): نقشه نرخ متوسط فرونشست منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۰۶ که بر روی مدل رقومی ارتفاعی منطقه قرار گرفته

### عوارض پدیده فرونشست در دشت مهبیار جنوبی

یکی از عوارض طبیعی پدیده فرونشست زمین ایجاد ترک و شکاف در زمین و سازه‌ها می‌باشد. در واقع این عارضه‌ها نمودی از وجود پدیده فرونشست در منطقه هستند. بر اساس بازدیدهای صحرایی صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه گسترش ترک و شکاف‌های ناشی از فرونشست در سطح دشت مهبیار جنوبی به صورت

یکنواخت نیست و در قسمت‌های شمال و شمال غربی دشت تراکم شکاف‌ها بیشتر می‌باشد و بصورت دسته شکاف‌های موازی بوده که دهانه آن‌ها از چند سانتیمتر تا بیش از یک متر عرض دارد. در شکل (۸) محل و راستای شکاف‌های ایجاد شده در دشت به همراه موقعیت آن‌ها بر روی تصویر ماهواره‌ای منطقه نشان داده شده است.



شکل (۸): نمایش راستا و محل شکاف‌های ایجاد شده در قسمت شمال غربی دشت بر روی تصویر ماهواره‌ای



علت اصلی رخداد پدیده فرونشست در منطقه می‌باشد و تراکم عمودی رسوبات آبخوان ناشی از برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی از شرایط ایجاد ترک و شکاف‌ها در منطقه می‌باشد که این تراکم نیز به خاطر ناهمگونی لایه‌های رسوبات آبخوان در اثر حضور گسل‌ها در منطقه بوده، بنابراین گسل‌ها ساختار زمین شناسی کنترل کننده محل رخداد این عارضه در منطقه مورد مطالعه می‌باشند.



بر اساس بررسی‌های صورت گرفته روند ترک و شکاف‌های ایجاد شده در دشت مهیار جنوبی که نمونه‌ای از آن‌ها در شکل (۹) نشان داده شده نه تنها با روند گسل‌های فعال منطقه هم جهت می‌باشد بلکه با روند کلی ساختارهای زمین‌شناسی منطقه نیز مطابقت دارد. بنابراین با توجه به مطالعات صورت گرفته می‌توان اظهار نظر نمود که در دشت مهیار جنوبی برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی



شکل (۹): دو نمونه از ترک و شکاف‌های ناشی از فرونشست زمین در حاشیه ارتفاعات کلاه قاضی سمت دید رو به (جنوب شرق)

زمین گسل‌های فعال منطقه مورد مطالعه می‌باشند. و به منظور مقابله با این معضل زیست محیطی توصیه می‌گردد با مدیریت کاربری اراضی در محدوده خطر فرونشست و نظارت کافی بر استخراج منابع آب زیرزمینی در سطح دشت‌هایی که با این پدیده زیست محیطی مواجه هستند می‌توان پیشگیری‌های لازم جهت کند کردن سرعت وقوع پدیده نشست انجام داد.

### تقدیر و تشکر

در پایان بر خود لازم می‌دانیم تا از زحمات و راهنمایی‌های اساتید محترم راهنما و استاد مشاور جهت همکاری در تمام مراحل انجام این کار تحقیقاتی و راهنمایی جهت پردازش تصاویر ماهواره‌ای قدردانی نماییم. همچنین از معاونت مطالعات شرکت آب منطقه اصفهان برای در اختیار قرار دادن اطلاعات پیرومترهای دشت کمال تشکر را داریم.

### نتایج

در این مقاله ارتباط افت سطح آب زیرزمینی با فرونشست زمین در دشت مهیار جنوبی مورد بررسی قرار گرفته است. روند نزولی هیدروگراف واحد دشت، افت سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه را تایید می‌کند. افت ممتد سطح ایستابی منجر به کاهش فشار آب منفذی و افزایش تنش موثر و نهایتاً فرونشست و ایجاد ترک و شکاف در دشت مهیار جنوبی شده است. اینترفروگرام‌های حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی ۲۰۰۶-۲۰۰۳ نیز وقوع پدیده فرونشست در حاشیه ارتفاعات کلاه قاضی و بخش‌های مرکزی دشت هیار جنوبی را تایید می‌کنند و نتایج حاصل از آنالیز سری زمانی نرخ متوسط فرونشست در منطقه مورد مطالعه را ۸/۲ سانتیمتر در سال نشان می‌دهد. همچنین انطباق موقعیت گسل‌های فعال منطقه با محل رخ داد عوارض فرونشست نشان می‌دهد که تنها عامل کنترل کننده موقعیت ترک و شکاف‌های ناشی از فرونشست

## منابع

۱. رهنما راد، ج.، م. فیروزان. ۱۳۸۱. بررسی تاثیرات پدیده متناوب خشکسالی و فرسایش بر ساختمان‌ها در پهن دشت سیستان. نشریه ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، شماره ۸۸، ص ۳۹-۳۰.
۲. شرکت آب منطقه‌ای اصفهان. ۱۳۸۸. بانک اطلاعات معاونت مطالعات منابع آب، آمار کمی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی مهیار جنوبی با کد ۴۲۱۷ تا سال آبی ۸۷-۱۳۸۶.
۳. شرکت مهندسی منابع آب، وزارت نیرو. ۱۳۷۵. گزارش مطالعات ژئوالکترونیک منطقه مهیار جنوبی، ص ۲۲.
۴. طاحونی، ش. ۱۳۸۶. اصول مهندسی ژئوتکنیک، مؤسسه انتشارات پارس آیین. جلد اول، ویرایش دوم، چاپ یازدهم، ص ۸۳۱.
۵. لشکری‌پور، غ.، م. غفوری و ح. رستمی. ۱۳۸۷. بررسی علل تشکیل شکافها و فرونشست زمین در غرب دشت کاشمر. فصلنامه رخساره‌های رسوبی، سال اول، شماره ۱، ص ۹۵-۱۱۳.
۶. لشکری‌پور، غ.، م. غفوری، ز. سویزی و ز. پیوندی. ۱۳۸۴. افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت مشهد. مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ص ۱۳۲-۱۲۴.
7. Bates, R.L. and J.A. Jackson. 1980. Glossary of Geology (Second edition): Falls Church, Virginia. American Geological Institute, 749 p.
8. Bell, F.G. 1999. Geological Hazards. Their Assessment, Avoidance and Mitigation, Department of Geology and Applied Geology, University of Natal, Durban, South Africa, 648 p.
9. Daniel, R., C. Maisons, C. Carnec, S. Le Mouelic, C. King and S. Hosford. 2003. Monitoring of slow ground deformation by ERS radar interferometry on the Vauvert salt mine (France) Comparison with ground-based measurement. Remote Sensing of Environment, 88(4): 468-478.
10. Dehghani, M., M.J. Valadan Zoej, I. Entezam, A. Mansourian and S. Saatchi. 2009. InSAR monitoring of progressive land subsidence in Neyshabour, northeast Iran. Geophysical Journal International, 178(1): 47-56.
11. Dehghani, M., M.J. Valadan Zoej, S. Saatchi, J. Biggs, B. Parsons and T. Wright. 2009b. Radar interferometry time series analysis of Mashhad subsidence. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 37: 147-156.
12. Holzer, T.L. and D.L. Galloway. 2005. Impacts of land subsidence caused by withdrawal of underground fluids in the United States. Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, 16: 87-99.
13. Larson, K.J., H. Barasaoslu and M.A. Mariño. 2001. Prediction of optimal safe groundwater yield and land subsidence in the Los Banos-Kettleman City area, California, using a calibrated numerical simulation model. Journal Hydrology, 242: 79-102.
14. Massonnet, D. and K.L. Feigl. 1998. Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface. Reviews of Geophysics, 36(4): 441-500.
15. Motagh, M., Y. Djamour, T.R. Walter, H.U. Wetzel, J. Zschau and S. Arabi. 2007. Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran, results from InSAR, leveling and GPS. Geophysical Journal International, 168: 518-526.
16. Nadimi, A. 2010. Active strike-slip faults in the central part of the Sanandaj- Sirjan Zone of Zagros Orogen (Iran). Ph.D. thesis, University of Warsaw, Poland, 121p.
17. Nadimi, A. and A. Konon. 2012. Gaw-Khuni Basin: an active stepover structure in the Sanandaj-Sirjan Zone, Iran. Geological Society of America Bulletin, 124(2): 1-15.
18. Nadimi, A. and H. Nadimi. 2008. Exhumation of old rocks during the Zagros collision in the northwestern part of the Zagros Mountains, Iran. Geological Society of America Special Papers, 444: 105-122.
19. Şengör, A.M.C. 1990. A new model for the Late Paleozoic-Mesozoic tectonic evolution of Iran and implications for Oman. Geological Society, London, Special Publication, 49: 797-831.
20. Solaimani, K. and S.M. Mortazavi. 2008. Investigation of land subsidence and its consequences of large groundwater withdrawal in Rafsanjan, Iran. Pakistan Journal of Biological Sciences, 11(2): 265-269.

21. Tillman, J.E., A. Poosti, S. Rossello and A. Eckert. 1981. Structural evolution of Sanandaj–Sirjan ranges near Esfahan, Iran. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 65: 674–687.
22. Trinh, M.T. and D.G. Fredlund. 2000. Modelling subsidence in the Hanoi City area, Vietnam. Canadian geotechnical journal, 37(3): 621–637.

## Evaluation of land Subsidence in Southern Mahyar Plain Using Radar Interferometry

Reza salehi<sup>1</sup>, Mohammad Ghafoori<sup>2</sup>, G. R. Lashkaripour<sup>3</sup>, Maryam Dehghani<sup>4</sup>

### Abstract

Phenomenon of land subsidence in recent decades has created many problems for agricultural lands, residential areas, roads and water channels in some of the plains in Isfahan province. The southern Mahyar plain is located in 50 km of southeastern Isfahan. It is one of the areas where the excessive withdrawal of ground water resources (mainly in the agricultural sector, based on available information) has substantially grown in recent years. The amount of water extracted from underground has increased from 58.8 million cubic meters (from 217 wells) in 1369 to 85.5 million cubic meters (from 446 wells) in 1388. The decline in water table increases the effective stress that causes consequences such as land subsidence and cracks in some parts of the southern Mahyar plain. To determine the effectiveness and ultimately to estimate the rate of subsidence, radar interferometry was used in this study. It is a reliable method to measure changes in the land surface, with very high accuracy, wide coverage and high spatial resolution. Maximum rate of subsidence was calculated at 8.2 cm/year using ENVISAT satellite radar images in the period of 2003-2006. The results of time series analysis showed that the land surface in the zone of danger is falling as a result of a decline in water table levels at a constant rate.

**Keywords:** Groundwater, Radar interferometry, Subsidence, Southern Mahyar Plain.

<sup>1</sup> M.Sc, Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Sciences; esf.salehi@yahoo.com

<sup>2</sup> Dr, Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Sciences; ghafoori@um.ac.ir

<sup>3</sup> Dr, Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Sciences; lashkaripour@um.ac.ir

<sup>4</sup> Ph.D, Shiraz University, Dept. of Civil and Environmental Engineering, dehghani\_rgsi@yahoo.com