

## تبیین اثر و فرایند ژئومورفولوژیکی پدیده فرونشست در تغییر الگوی لند فرم‌های ژئومورفولوژیکی مطالعه موردی دشت یزد- اردکان

عزت اله قنوتی\* - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.  
محمد شریفی کیا - دانشیار گروه سنجش‌ازدوروسیستم اطلاعات مکانی، دانشگاه تربیت مدرس.  
سیدابراهیم حسینی - دانشجوی دکتری مخاطرات ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۰۱      تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۱۱/۰۳

### چکیده

فرونشست زمین باعث تغییر در پدیده‌های ژئومورفولوژی می‌شود. با توجه به واقع شدن عوارض انسان‌ساخت روی لند فرم‌های مختلف، بررسی تغییرات ناشی از فرونشست در این‌گونه پدیده‌ها، حائز اهمیت است. در این پژوهش، تغییرات سطحی دشت یزد اردکان در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور از تصویر سه سنجنده راداری (ALOS PALSAR, ENVISAT ASAR, Sentinel 1) در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ و همچنین از تصاویر ماهواره لندست در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸ به منظور بررسی تغییرات پوشش سطح زمین استفاده شده است. سپس با استفاده از تکنیک تداخل سنجی رادار با روزه‌ی مصنوعی، اقدام به تعیین میزان فرونشست زمین شد. پس از استخراج و شناسایی عوارض منطقه، سه لندفرم آبراهه، شق و گالی برای مطالعه تفصیلی انتخاب گردید. به منظور استخراج این لندفرمها فیلتر CANNY به کار گرفته و با مقایسه این پدیده‌ها در بازه‌های زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ الگوی تغییرات آنها استخراج گردید. برای درک ارقام تغییرات ارتفاعی متأثر از پدیده فرونشست اقدام به انتخاب سه محدوده واجد تغییرات در الگو و تواماً حدود فرونشست شد. برابر ارقام حاصل، طول شقوق در محدوده مورد مطالعه با رشد ۲۰۲ درصدی از ۱۸ کیلومتر در سال ۲۰۰۳ به ۵۴ کیلومتر در سال ۲۰۱۸، سطح گالی بارش ۵۰ درصدی از ۴ هکتار در سال مبدأ به ۶ هکتار در سال انتهایی و آبراهه با افزایش سطوح در اشغال از ۱۶۵ هکتار به ۲۴۱ هکتار حدود ۴۷ درصد رشد داشته، که تغییرات شق از همه بیشتر بوده است. بر اساس یافته‌های این پژوهش مشخص شد کلبه مناطقی که به پدیده فرونشست دچار می‌شوند سرانجام تحت تأثیر تغییرات فرم و الگوهای ژئومورفولوژی قرار می‌گیرند که این تغییرات بسته به نرخ و دوره زمانی رخداد فرونشست، تغییر در زایش و روند فرم دهی پدیده‌های مورفولوژیکی را پیامد دارد.

واژگان کلیدی: تداخل سنجی راداری، فرونشست زمین، تغییر در الگو و فرم‌های ژئومورفولوژیکی، دشت یزد اردکان.

## مقدمه

موقعیت استراتژیک و پویایی پدیده‌های ژئومورفولوژیک سبب شده که زمینه اعمال متقابل فعالیت‌های انسانی و فرایندهای جغرافیایی را فراهم کند و طبیعی است که هرگونه تغییر در اکوسیستم تأثیر خود را بر مجموعه عناصر موجود و به‌خصوص شکل پدیده‌ها می‌گذارد (رامیر<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). یکی از اساسی‌ترین خط‌مشی‌ها در برنامه‌ریزی ژئومورفولوژیک، تعیین محل‌های پایدار شکل‌های سطحی زمین است که در آنها احتمال وقوع فرایندهای خطرناکی ژئومورفولوژی وجود ندارد. این فرایندها عبارت‌اند از تغییر طبیعی یا مصنوعی پدیده‌های ناشی از عدم ثبات ژئومورفولوژی محل که گاهی باعث ضرر و زیان می‌شود (علوی نژاد، ۱۳۸۳). شناسایی تغییرات پدیده‌های ژئومورفولوژیک می‌تواند در راستای تعیین محل‌های خطرناک و یا پایدار یک ناحیه باشد. واحدهای ژئومورفولوژیکی همیشه با دینامیسم و پویایی محیط در ارتباط هستند. لندفرم‌هایی که در نتیجه عملکرد عناصر و فرایندهای پویا شکل گرفته‌اند کوچک‌ترین واحد تقسیمی در ژئومورفولوژی هستند. در این واحد پدیده‌های ژئومورفولوژی شناسایی و برحسب فرایند شکل‌گیری طبقه‌بندی می‌شود، (چن<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۸۸). در ایران مطالعاتی در مورد تغییر الگوهای ژئومورفولوژی انجام شده است. فرایندهای دامنه‌ای در اثر انباشت باطله‌های معدنی، تشدید پدیده ریزش و افزایش بار بستری روی دامنه‌هایی که معادن فعال‌اند، چندین برابر دامنه‌های بدون فعالیت معدن است (ملکی و همکاران، ۱۳۹۱).

احداث سد بر روی رودخانه شاهرود باعث شد که بخشی از رودخانه شاهرود، به دلیل تغییرات مثبت سطح اساس، موجب بالا آمدن بستر و ایجاد شرایط برای ورود به مرحله تحول‌یافتگی گردد. در نتیجه ضمن تخریب سازه‌های حاشیه رود، شرایط انتقال رسوبات بیشتر را از دامنه‌های سست مجاور به مخزن سد را فراهم نموده است (شریفی کیا و همکاران، ۱۳۹۶). بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی روی وضعیت ژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها (فروغی و همکاران، ۱۳۹۷). بررسی تغییرات ژئومورفولوژیکی سازند گچساران ناشی از آبیگری سد گنوند علیا (هاشمی فرد و همکاران، ۱۳۹۷) نمونه‌هایی از این نوع پژوهش می‌باشند که بیانگر این موضوع هستند که تغییر سطح، باعث ایجاد تغییرات در الگوهای ژئومورفولوژیکی می‌شود. با توجه به اینکه پدیده فرورانشست نیز باعث تغییر در سطح زمین می‌شود، می‌تواند سبب بروز تغییرات چشمگیری در پدیده‌های ژئومورفولوژی شود. اما بررسی‌ها در مورد مطالعه تأثیر فرورانشست در تغییر الگوهای پدیده‌های ژئومورفولوژی در منابع داخلی و خارجی نتیجه‌ای در بر نداشت.

با توجه به این که سرعت تغییر در فرورانشست زمین و همچنین سرعت تغییر پدیده ژئومورفولوژیکی خیلی پایین و کند است، ابزارهای اندازه‌گیری اهمیت فراوانی دارد. در این مورد، تکنیک استاتیک برای پایش مناسب نیست و باید از تکنیک دینامیک استفاده نمود. یکی از تکنیک‌ها، تولید داده رادار است. امروزه روش تداخل سنجی راداری به‌عنوان یک روش رایج برای اندازه‌گیری تغییر شکل سطحی پوسته زمین شده است. پوشش سراسری، قدرت تفکیک مطلوب خوب تصاویر راداری، دقت قابل قبول، قابلیت تکرارپذیری، امکان پایش تمام محدوده مورد مطالعه در دوره‌های زمانی مختلف، این روش را به‌عنوان تکنیک نیرومندی برای مطالعه و اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین دارد. در مناطق مختلفی از ایران مانند یزد، مشهد، نیشابور، کرمان و کاشمر فرورانشست زمین رخ داده است. از آنجا که دشت یزد- اردکان یکی از مناطقی است که در چند دهه اخیر، فرورانشست زمین در آن عامل ایجاد گسیختگی سطح و آسیب رسیدن به زیرساخت‌ها و تغییرات در سطح شده است و همچنین سالیانه حجم عظیمی از منابع آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی استخراج می‌شود که دلالت بر وجود فرورانشست تدریجی احتمالی در منطقه را خواهد داشت. هدف از اجرای این پژوهش تعیین و شناسایی فرورانشست زمین و تغییرات مورفولوژیک ناشی از آن در دشت یزد- اردکان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش تداخل سنجی تفاضلی راداری است.

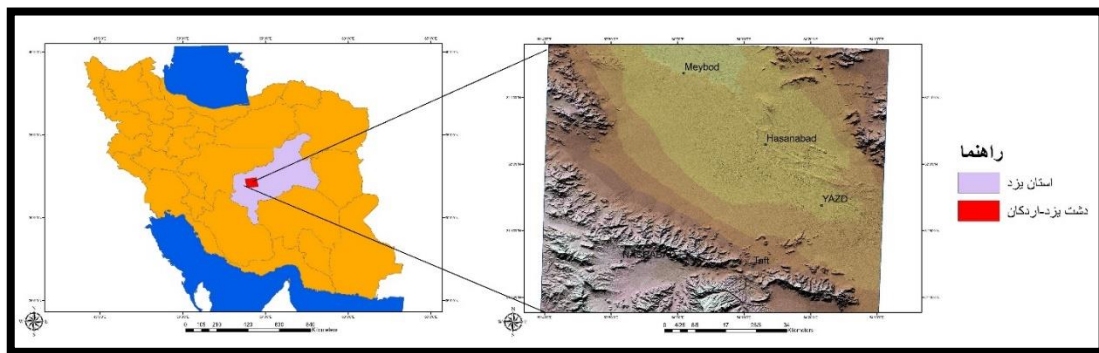
<sup>1</sup> Ramieri

<sup>2</sup> Chen

## داده‌ها و روش تحقیق

### منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی دشت یزد-اردکان در استان یزد است. دشت یزد- اردکان یکی از وسیع‌ترین دشتهای استان یزد است که در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی قرار دارد که از جهت غرب و جنوب غرب به کوه‌های شیرکوه و از سمت شرق به کوه‌های خرانق منتهی می‌شود (شکل ۱). این دشت شهرهای اردکان، میبد، اشکذر، مهریز و یزد را درمی‌گیرد و طول و عرض تقریبی آن به‌طور متوسط به ترتیب، ۱۲۰ و ۳۵ کیلومتر است. تخلیه کل سالانه منابع آب زیرزمینی. دشت یزد- اردکان با احتساب چاه‌های خانگی در مناطق مهریز و اردکان جمعاً ۵۴۶/۰۴۶ میلیون مترمکعب است که از این میزان ۸۲٪ به مصرف کشاورزی، ۵٪ صنعت و ۱۳٪ باقیمانده به مصرف شرب و بهداشت است.



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه

داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی شامل آبراهه، جنس زمین، کاربری اراضی و داده‌های حوزه آبریز مربوط به دشت یزد اردکان از سازمان جغرافیایی ارتش و سازمان زمین‌شناسی کشور و بازدیدهای صحرایی و عملیات آزمایشگاهی صورت گرفته است. دشت یزد- اردکان با طول ۱۶۰ کیلومتر و امتداد اصلی شمال غربی- جنوب شرقی دارد که از روند گسل‌های اصلی منطقه پیروی می‌کند. گسل فعال یزد با امتداد NW-SE از مرکز دشت عبور کرده و آبرفت‌های جوان را نیز جابجا کرده است. حداکثر آبدهی چاه‌ها ۴۸ لیتر بر ثانیه و میزان افت آب چاه‌ها ۱ متر در سال است. در این دشت تیپ ملایمی از کوهپایه‌های طرفین به سمت محور دشت وجود دارد که سبب هدایت سیلاب به سمت محور دشت می‌شوند و در این محور نیز شیب ملایمی به سمت غرب و شمال غرب وجود دارد که سبب شده سیلاب در این راستا به حرکت درآمده و با فرسایش رسوبات آبرفتی مسیلی برای خود ایجاد کند. از آنجایی که رسوبات آبرفتی فوق، دارای درصد زیادی شن و ماسه می‌باشند، چسبندگی کمی داشته و به راحتی توسط سیلاب به صورت صفحه‌ای شسته شده و مسیل حاصل اغلب دارای عمق کم و عرض نسبتاً زیادی است. این وضعیت سبب می‌شود که به هنگام بارندگی شدید در قسمت شمال غربی دشت، عمق مسیل کم بوده و جریان سیلاب باعث طغیان سیلاب شده و به دنبال آن اراضی کشاورزی و رشته قنات‌ها مورد تهاجم قرار گیرند.

داده‌های استفاده‌شده در این تحقیق به دودسته کلی داده‌های پیمایشی که شامل داده‌های سطح منطقه برای سه محدوده در نظر گرفته‌شده و ماهواره‌ای تقسیم‌بندی می‌شوند که داده‌های ماهواره‌های ENVISAT ASAR و Sentinel 1 از سازمان فضایی اروپا، مدل رقومی ارتفاعی سنجنده ALOS PALSAR از دانشگاه آلاسکا، ماهواره لندست از سازمان زمین‌شناسی آمریکا، داده‌های پیمایشی از دفتر مطالعات آب منطقه‌ای استان یزد و سازمان نقشه‌برداری کشور و همچنین داده‌های برداشتی از منطقه مورد مطالعه تهیه گردید.

انجام این تحقیق متکی بر روش آزمایشگاهی پیمایشی و استدلال استقرایی است که در طی دو مرحله اصلی انجام گرفته است. مرحله اول، مشتمل بر محاسبه میزان فرونشست زمین است که بدین منظور تصاویر ماهواره‌های

Sentinel 1 و ENVISAT ASAR در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ استخراج و با استفاده از روش تداخل سنجی میزان فرونشست دشت یزد اردکان محاسبه شد و در مرحله دوم به بررسی وضعیت ژئومورفولوژیکی دشت یزد اردکان پرداخته شد. برای آشکارسازی تغییرات پدیده‌های ژئومورفولوژیکی از مدل رقومی ارتفاعی ماهواره ALOS PALSAR و تصاویر ماهواره لندست که از مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از روش استخراج آبراهه از مدل رقومی ارتفاعی آبراهه استخراج و تصاویر ماهواره لندست بعد از پیش‌پردازش با استفاده از فیلتر لبه یابی اقدام به شناسایی تغییرات پدیده‌ها در بازه زمانی شد و همچنین در آخرین مرحله رابطه میزان فرونشست زمین و تغییرات پدیده‌های ژئومورفولوژیکی شناسایی گردید.

### تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری

روش تداخل سنجی راداری (InSAR) امکان تولید مدل‌های رقومی ناهمواری‌های زمین را فراهم می‌آورد روش تداخل سنجی تفاضلی راداری را اولین بار گلدستن و زیبرا (۱۹۸۹) ارائه کردند. این اصطلاح به روش اندازه‌گیری پارامترها از قبیل توپوگرافی، تغییرات و جابه‌جایی سطحی زمین از طریق تداخل فاز دو یا چند تصویر راداری با روزه مجازی اخذ شده از منطقه مشابه اطلاق شده است. این روش قادر است با استفاده از حداقل سه (دو تصویر + DEM) یا تعداد بیشتری از تصاویر راداری تغییرات سطحی رخ داده در زمین را در بازه‌های متفاوت با دقت‌های میلی‌متری آشکارسازی کند. در عین حال، این دقت تابع طول موج داده مورد استفاده و معادل نصف آن (۰/۲۸۱) خواهد بود. مقادیر تغییرات فاز بیان‌کننده تغییرات ارتفاعی به اندازه نصف طول موج برابر ۲٫۸ سانتیمتر است. با حذف فاز مداری و فاز مرتبط با لرزش سکو می‌توان فاز مطلق را به تغییرات ارتفاعی تبدیل کرد که مقادیر آن بر اساس متریک است و مقادیر منفی نشان‌دهنده فرونشست و مقادیر مثبت نشان‌دهنده حرکت زمین به سمت بالا است.

### آماده‌سازی داده‌های سنجش‌ازدور

پیش‌پردازش داده‌ها معمولاً به منظور آماده‌سازی آن‌ها برای ورود به طبقه‌بندی انجام می‌شود. نوع پردازش کاملاً بستگی به نوع داده‌های مورد استفاده دارد و بنابراین هر دسته از داده‌ها، پردازش‌های مخصوص به خود را می‌طلبند. عمده‌ترین پیش‌پردازش‌های لازم برای طبقه‌بندی عبارت‌اند از: تصحیح رادیو متریک، تصحیح هندسی، تقلیل باندها، انجام محاسبات تصویری، اعمال فیلتر (اکبری و شکاری، ۱۳۹۲). در این پژوهش نیز تصحیحات هندسی و اتمسفری و رادیو متریک بر روی تصاویر لندست صورت گرفت.

### استخراج آبراهه از مدل رقومی ارتفاعی

هدف کلی این مدل داده (سیستم) یکپارچه کردن انواع مختلف مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی جهت فهم تأثیرات اقدام‌هایی مانند تغییر کاربری اراضی روی سیل، آب زیرزمینی، منابع آبی و کیفیت آب است. در این پژوهش جهت تعیین حوضه‌های هیدرولوژیک محدوده مطالعاتی طرح با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی مراحل پردازش زمینی در Arc Hydro انجام گرفته است. به این ترتیب که مراحل استفاده از ابزارهای Arc Hydro باید به ترتیب انجام شود (مایدمنت<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۰). مدل رقومی ارتفاع با ابعاد سلولی ۱۲٫۵ متر از داده‌های ALOS PALSAR جهت استخراج شبکه‌ی زهکشی اخذ شده است. استخراج شبکه زهکشی از مدل رقومی ارتفاع مذکور با استفاده از ابزار Hydrology در بسته نرم‌افزاری ArcGIS و مبتنی بر آستانه‌های Value مقدار تجمع مختلف انجام گرفته است.

<sup>۱</sup> Maidment

### استخراج پدیده‌های ژئومورفولوژیکی

برای استخراج پدیده‌های ژئومورفولوژیکی مورد مطالعه در این تحقیق (شق، گالی و آبراهه) از یکی از روش‌های متداول پردازش تصاویر سنجش از دوری (Canny) که معرف لبه‌های پیک پدیده می‌باشد بهره جست. فیلتر لبه مشخص‌کننده مرزها هستند، بنابراین یک مسئله اساسی در پردازش تصویر محسوب می‌شوند. مرز، مانند سایه یک واقعیت فیزیکی نیست و عبارت است از جایی که تصویر تمام یا شروع می‌شود. لبه را می‌توان به‌عنوان جایی که صفحه‌های عمودی و افقی جسم به هم می‌رسند در نظر گرفت یا می‌توان آن را به‌صورت چیزی که بین پنجره روشن و تاریک شب وجود دارد تصور کرد. به زبان ساده‌تر لبه دارای ضخامت نیست. در موارد خاص، یک الگوریتم پیدا کردن لبه می‌تواند از ویژگی‌های خود تصویر استفاده کند (جیا<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۸) در این پژوهش پدیده‌های در نظر گرفته شده به صورت پردازش‌های شی گرا در نظر گرفته شده و مرز خارجی آن‌ها استخراج می‌شود.

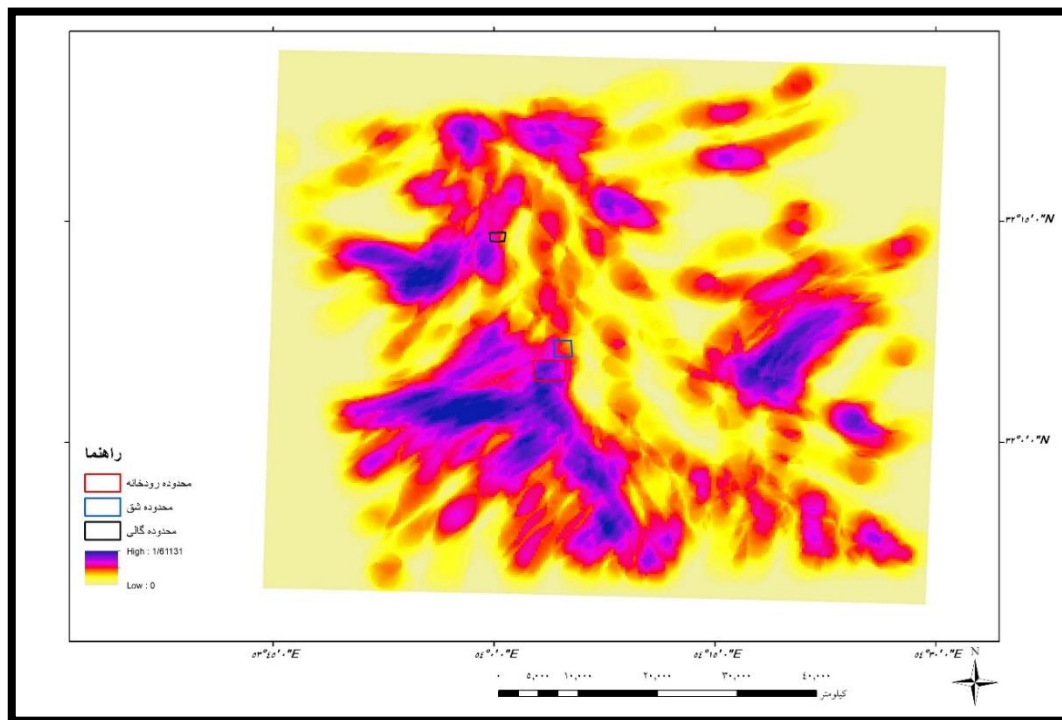
### الگوریتم استخراج لبه Canny

لبه یابی یکی از مهمترین فرایندها در پردازش تصاویر میباشد. الگوریتم تشخیص لبه یابی کنی، توسط جان اف کنی در سال ۱۹۸۶ ایجاد شد. و یک روش کلاسیک و قوی برای تشخیص لبه در تصاویر خاکستری است. الگوریتم CANNY از آن دسته روش‌هایی که از مشتق‌گیری روی عکس استفاده می‌کنند. از ویژگی‌های مهم این روش، حدآستانه‌ی دوگانه و ماکزیمم محلی گرادیان تصویر است، که آنرا به یک لبه یاب استاندارد و با دقت و کیفیت بالاتر تبدیل نموده است. نتیجه بهینه از الگوریتم CANNY زمانی حاصل می‌شود که پارامترهای آن به صورت بهینه انتخاب شوند.

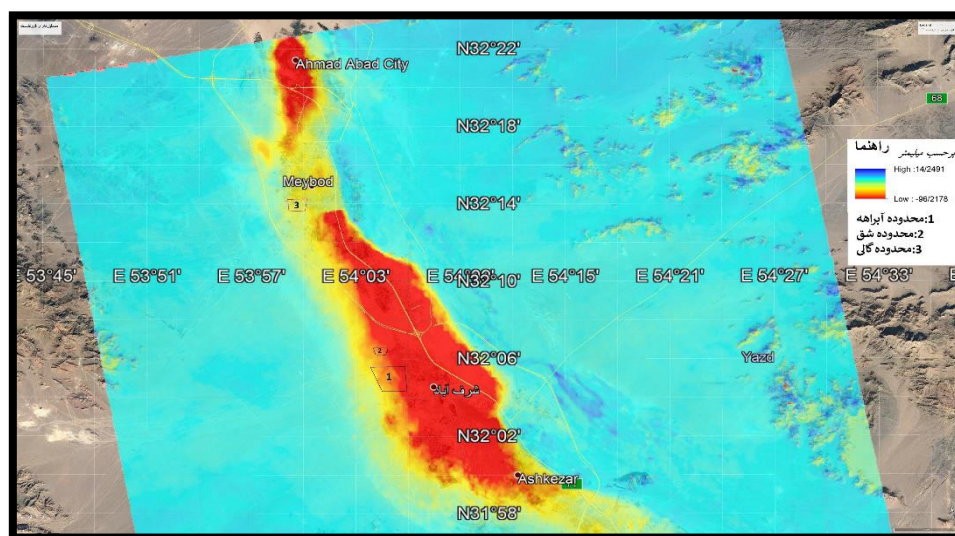
### شرح و تفسیر نتایج

#### انتخاب محدوده‌های لندفرمهای منطقه سه لندفرم شاخص

در ابتدا کل محدوده دشت یزد - اردکان در نظر گرفته و سپس نقشه چگالی آبراهه برای دشت یزد اردکان تولید گردید (شکل شماره ۲). در ادامه نقشه فرونشست زمین نیز برای منطقه مورد مطالعه استخراج، سپس این دو نقشه بر روی هم هم‌پوشانی شد. بالاترین چگالی آبراهه‌ها که منطبق بر فرونشست بود به‌عنوان یک محدوده انتخاب گردید و در ادامه نقشه فرونشست روی نقشه الگوی شق‌ها هم‌پوشانی و منطقه‌ای که بیشترین شق را داشت و روی فرونشست منطبق بود به‌عنوان محدوده شق انتخاب گردید. سپس نقشه گالی‌های منطقه نیز مانند دو محدوده قبلی روی نقشه فرونشست هم‌پوشانی و بزرگ‌ترین گالی که روی منطقه‌ای فرونشست بود به‌عنوان محدوده فرونشست انتخاب گردید. محدوده‌های انتخابی در شکل ۳ نشان داده شده است.



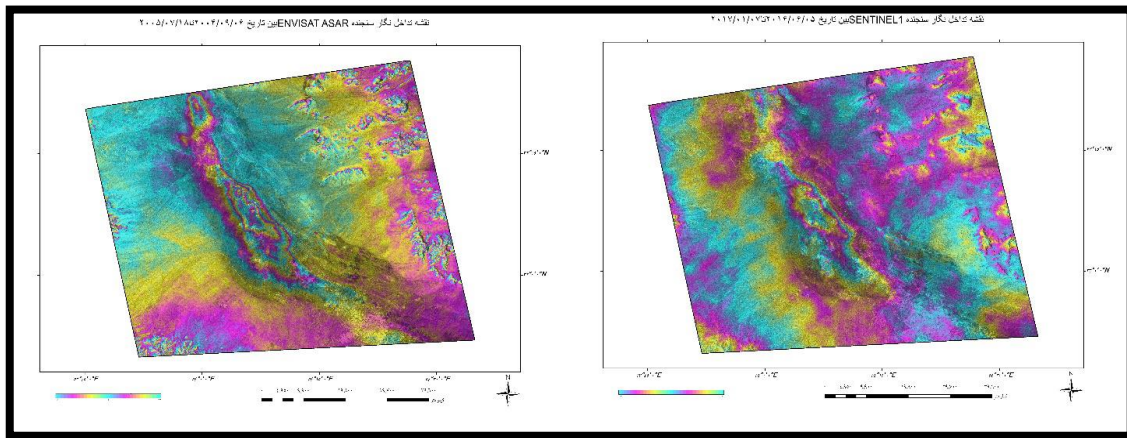
شکل ۲. نقشه چگالی آبراهه دشت یزد اردکان



شکل ۳. نقشه محدوده‌های انتخاب‌شده لندفرم‌ها در دشت یزد اردکان

### تداخل نگار استخراجی از تکنیک تداخل سنجی

تداخل نگار دربرگیرنده میزان اختلاف فاز بین دو تصویر است. میزان ارتفاع در هر نقطه از منطقه در فاصله زمانی تهیه دو تصویر به‌وسیله بررسی‌های اختلاف فاز تعیین می‌شود. تداخل نگار در اثر ضرب مختلط تصویر اصلی در مزدوج تصویر وابسته ساخته می‌شود.

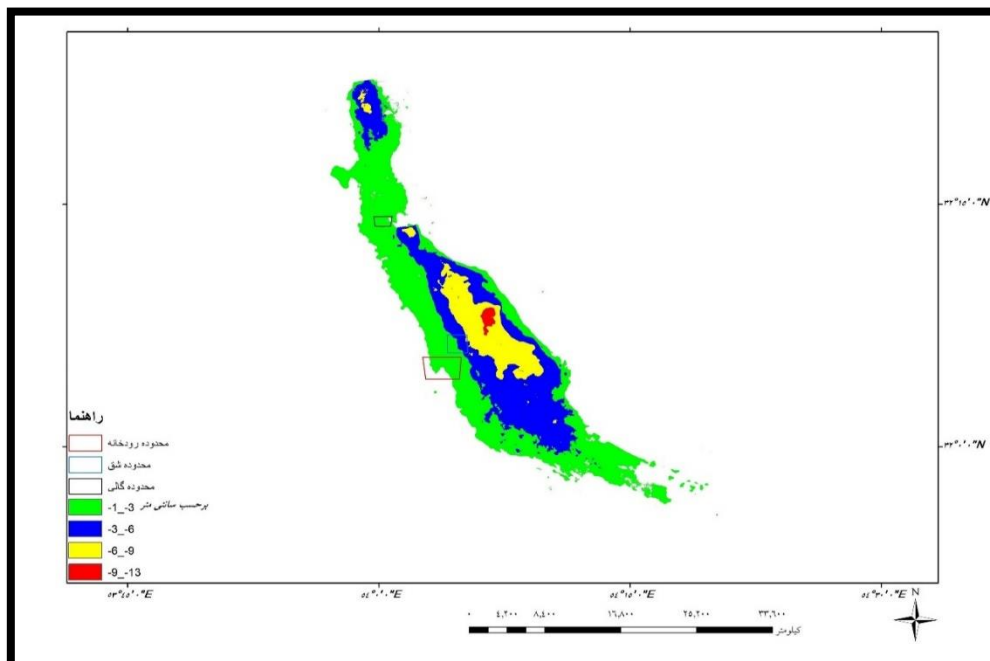


شکل ۴. نقشه تداخل نگار در دشت یزد-اردکان

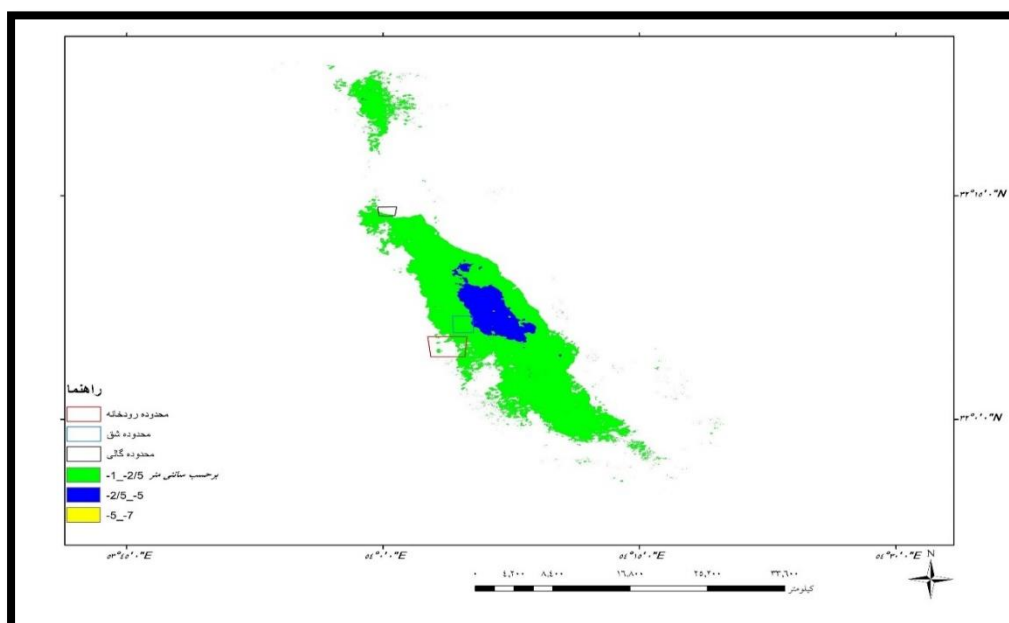
تداخل نگار تفاضلی حاصل دربرگیرندهٔ مقداری نویز است. عامل به وجود آورنده این نویزها می‌تواند مختلف باشد. دو عامل اصلی در به وجود آمدن آنها تأثیرگذار است. عامل اول مربوط به تفاوت زمانی بین دو تصویر اصلی و وابسته است. گاهی اوقات برخی از تغییرات منطقه که در بین فاصله زمانی دو تصویر اتفاق می‌افتد از عوامل به وجود آورنده نویز می‌باشند که می‌توان به ساخت‌وسازهای مناطق مسکونی و یا فعالیت‌های کشاورزی در منطقه اشاره کرد. عامل اصلی دوم که در به وجود آمدن نویزها تأثیرگذار است، خط مبنای مکانی است که میزان نویزها در تصاویر ارتباط مستقیمی با آن دارد. هرچه این میزان بیشتر باشد ما شاهد وجود نویزهای بیشتری در تداخل نگار هستیم. 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 Goldstein 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 فیلترگذاری به صورت محلی انجام می‌شود. نوع عملکرد فیلتر Goldstein تحت تأثیر همبستگی تداخل نگار است. در مواردی که میزان همبستگی پایین است مقدار پیکسل‌های بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در مواردی که شاهد همبستگی بالا است، تعداد پیکسل‌های محدودی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هم‌زمان با انجام عمل فیلترینگ تصویر همدستی ساخته می‌شود.

پس از انجام روش تداخل سنجی بر روی تصاویر ENVISAT ASAR و SENTINEL 1 ایجاد تداخل نگار و پس از پردازش نهایی تبدیلی به مقادیر جابه‌جایی در راستای قائم برحسب متر شدند. در شکل‌های ۵ و ۶ نقشه‌های جابه‌جایی به‌دست‌آمده از تصاویر سنجنده‌های ENVISAT ASAR و SENTINEL 1 در باند C نشان داده شده است.





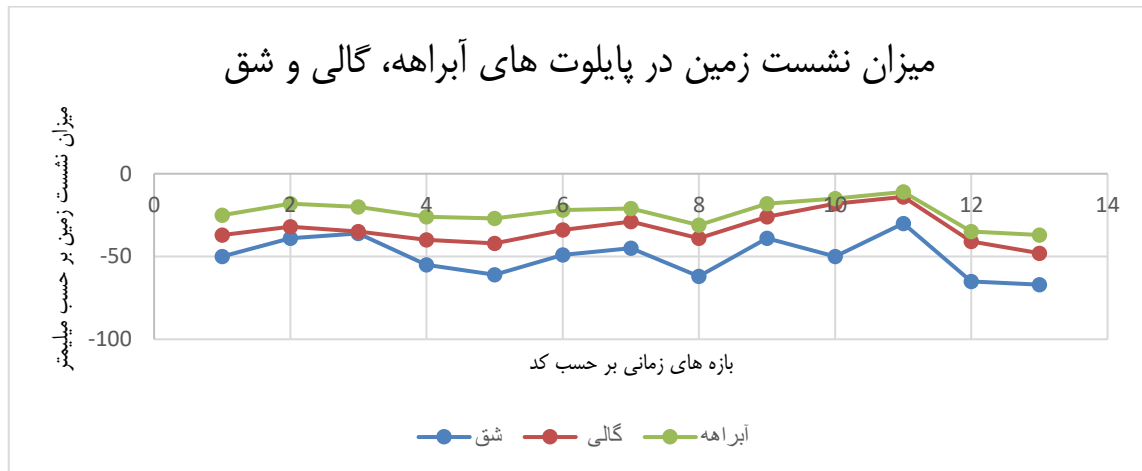
شکل ۵. نقشه جابجایی سطح زمین برای سنجنده Envisat ASAR تاریخ ۲۰۰۴/۰۹/۰۶-۲۰۰۴/۰۴/۱۷ در دشت یزد-اردکان



شکل ۶. نقشه جابجایی سطح زمین برای سنجنده ۱ SENTINEL تاریخ ۲۰۱۴/۰۶/۱۵-۲۰۱۴/۱۱/۱۲ در دشت یزد-اردکان

با توجه به نقشه‌های فوق در دوبازه زمانی در محدوده مورد مطالعه فرونشستی معادل ۱۳ سانتیمتر داشتیم که این فرونشست در مناطق اردکان، مابعد، رستاق و اشکذر اتفاق افتاده است. بیشترین میزان فرونشست در منطقه ابراهیم‌آباد است. در نمودار ۱ و جدول ۱ میزان فرونشست زمین در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ نمایش داده شده است با توجه به نمودار مشخص است که در تمام بازه‌های زمانی بیشترین نرخ فرونشست مربوط به محدوده شق و کمترین تغییرات مربوط به محدوده آبراهه است که خود مؤید آن است که تراکم شق‌ها به مرکز فرونشست نزدیک‌تر و تغییر آبراهه‌ها در مناطق بالادست اتفاق می‌افتد.





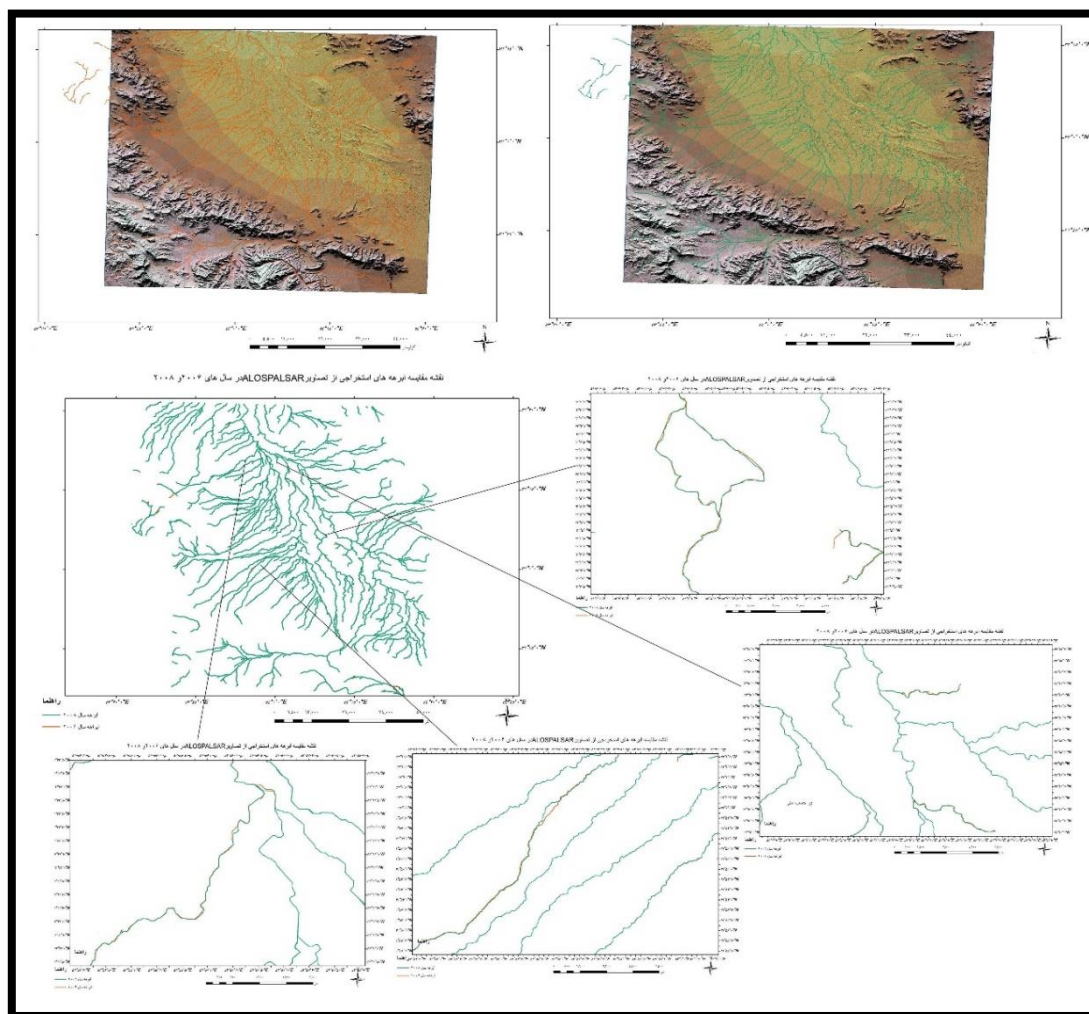
نمودار ۱. میزان فرونشست زمین در محدوده آبراهه، گالی و شق

جدول ۱. بازه زمانی در نمودار پایلوت

کد	بازه زمانی	کد	بازه زمانی
1	2004/09/06-2005/07/18	8	2015/06/11-2015/12/20
2	2005/07/18-2006/04/25	9	2015/12/20-2016/06/05
3	2006/04/25-2007/03/05	10	2016/06/05-2017/01/07
4	2007/03/05-2008/04/28	11	2017/01/07-2017/06/24
5	2008/04/28-2009/08/29	12	2017/06/24-2017/12/21
6	2009/08/29-2010/07/12	13	2017/12/21-2018/06/07
7	2014/12/01-2015/06/11		

### استخراج تغییرات آبراهه‌ها

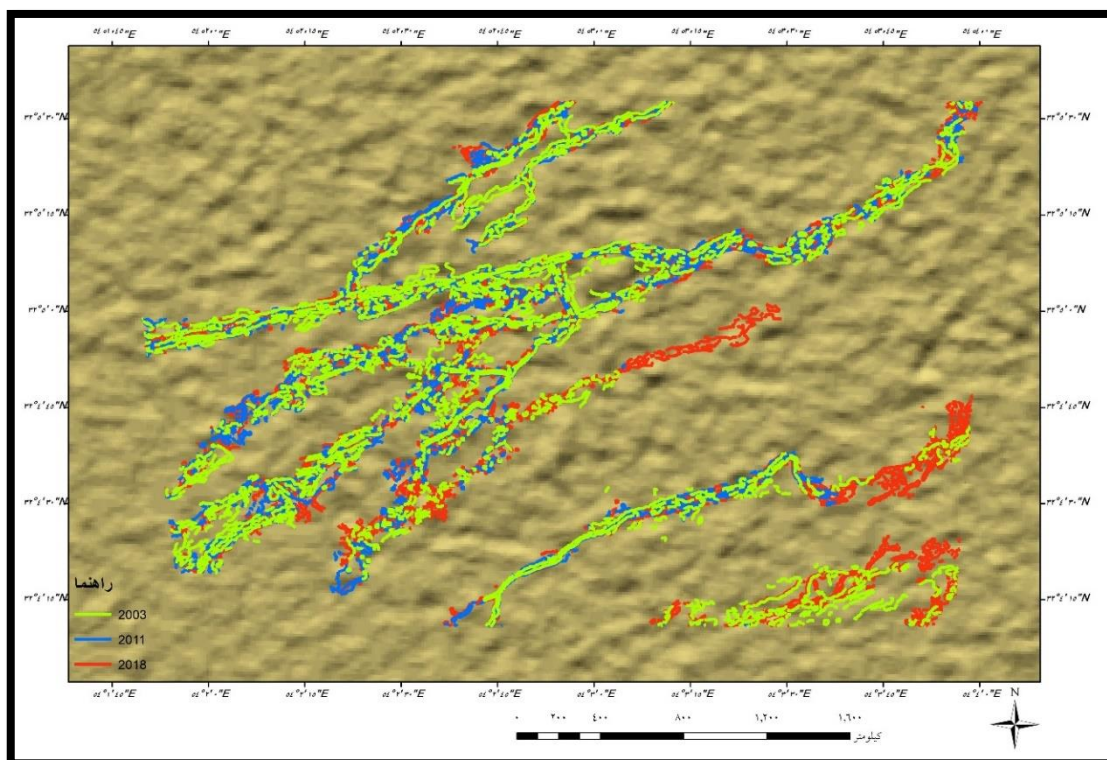
هدف کلی این داده‌ها یکپارچه کردن انواع مختلف مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی جهت فهم تأثیرات اقدام‌هایی مانند تغییر کاربری اراضی بر روی سیل، آب زیرزمینی، منابع آبی و کیفیت آب است. در این پژوهش جهت تعیین حوضه‌های هیدرولوژیک محدوده مطالعاتی طرح با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی مراحل پردازش زمینی در Arc Hydro انجام می‌گیرد؛ بنابراین ابتدا لایه‌ی رستری جهت جریان و تجمع جریان ساخته شد، سپس شبکه آبراهه‌ها در آستانه‌های ۲۵ تا ۵۰۰ سلول استخراج شد. در مرحله‌ی بعد تهیه‌ی لایه اتصال آبراهه‌ها به یکدیگر بود که با استفاده از دستور Stream Link در جعبه‌ابزار Hydrology برای تمام لایه‌های رستری آبراهه‌ها ساخته شد. در آخرین مرحله، رتبه‌بندی آبراهه‌ها به روش استرالی انجام و پارامترهای مورفومتری استخراج شد.



شکل ۷. نقشه مقایسه آبراهه‌های استخراجی از مدل رقومی ارتفاع ماهواره ALOS PALSAR

رودخانه‌های طبیعی تحت تأثیر عوامل و متغیرهای مختلف طبیعت، پیوسته از نظر ابعاد، شکل، تغییرات هیدرولوژیک، راستا و الگو در حال تغییرند (ساسانی و همکاران، ۱۳۸۴). یکی از این عوامل، فرونشست سطح زمین است که به تدریج باعث تغییر موقعیت و مورفولوژی رودخانه‌ها می‌شود. تمایل رودخانه‌ها به تغییرات مورفولوژی طی حدود یک قرن، به خوبی قابل درک و اثبات است. از این لحاظ، رودخانه از نظر ژئومورفیک بی‌تردید پدیده‌ای پویاست و شواهد مورفولوژیک زمین‌شناسی حاکی از آن است که بیشتر رودخانه‌ها در معرض تغییرات مستمر قرار دارند (پیمان، ۱۳۸۰). پس از استخراج آبراهه‌های سطح دشت یزد اردکان در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ و مقایسه دو نقشه خروجی، همان‌گونه که در شکل ۵ نمایش داده شده است، تغییراتی در بخش‌های مختلف حوضه اتفاق افتاده است. ولی چون فاصله زمانی دو مدل رقومی ارتفاعی کم است، تغییرات آن‌چنان محسوس نیست. به منظور بررسی دقیق‌تر از تصاویر ماهواره لندست برای سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸ استفاده گردید که در ابتدا این تصاویر پیش‌پردازش شده‌اند و سپس با استفاده از الگوریتم لبه‌یابی CANNY آبراهه‌ها در پایلوت در نظر گرفته شده در تاریخ‌های یادشده استخراج گردید. سپس نقشه‌های تولیدشده باهم مقایسه شدند که در شکل ۶ نمایش داده شده است. این پدیده همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود دارای تغییرات بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ بوده است به نحوی که رنگ سبز بیانگر مسیر آبراهه در سال ۲۰۰۳ است که در سال ۲۰۱۱ بارنگ آبی نشان داده شده و در سال ۲۰۱۸ به رنگ قرمز نشان داده شده است که در این سه سال به دلیل تغییرات مکانی آبراهه مدنظر باهم انطباق نداشته و بیانگر تغییرات است؛ که میزان سطح آبراهه در بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ معادل

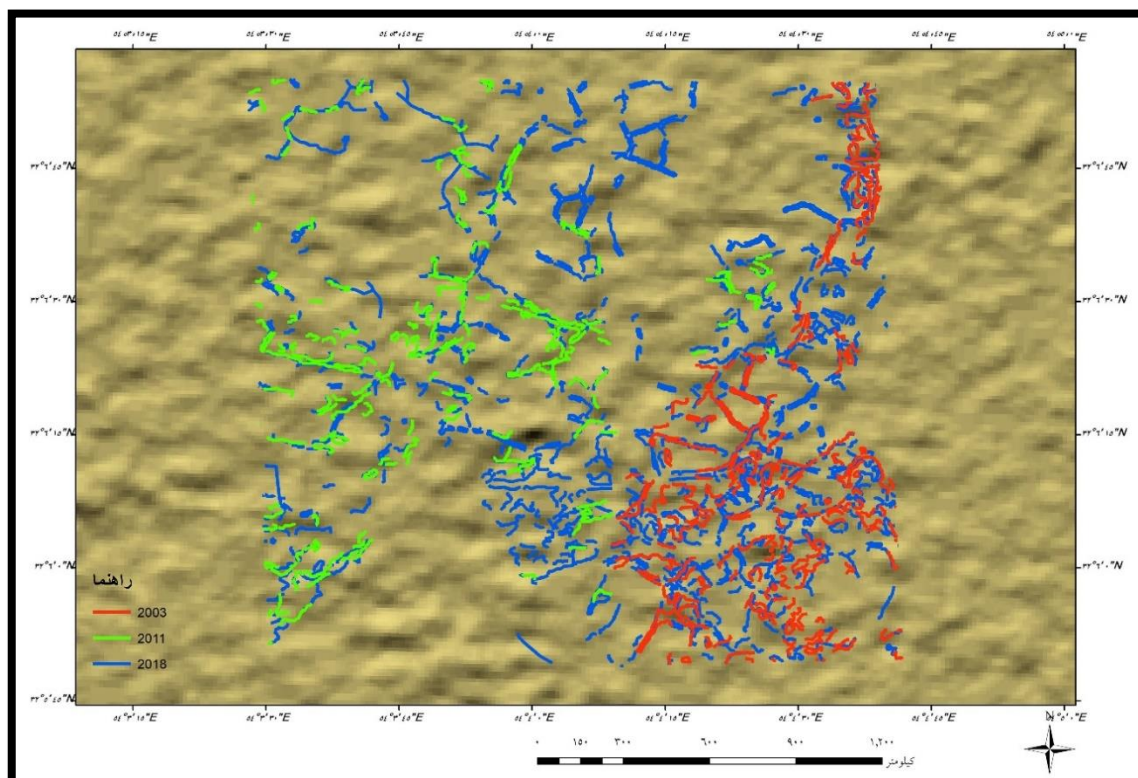
۱۵ درصد افزایش سطح و در بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ معادل ۳۰ درصد افزایش سطح داشته است که در مجموع بین سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ معادل ۴۷ درصد افزایش سطح آبراهه به‌دست آمده است؛ که مساحت سطح آبراهه در این پایلوت به ترتیب ۱۸۵،۱۶۱ و ۲۴۱ هکتار بوده است که این تغییرات در جهت شرق و جنوب شرق گسترش یافته‌اند که جهت تغییرات به سمت مرکز فرونشست است.



شکل ۸. مقایسه آبراهه استخراجی بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸

### محدوده شق

شق‌ها در منطقه دشت یزد- اردکان علاوه بر این که اشکال ریخت شناختی قبلی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، موجب ایجاد اشکال ویژه‌ای نیز می‌گردند که چه‌بسا تحول ریخت شناختی منطقه را به سمت دیگری هدایت نمایند. از میان علل مختلفی که معمولاً موجب ایجاد شق‌ها می‌گردند، احتمال وقوع فرونشست زمین از همه بیشتر است و همین فرونشست‌ها نیز به‌طور عمده، حاصل برداشت بیش‌ازحد آب‌های زیرزمینی می‌باشند. معنی‌دار بودن رابطه بین تغییرات زمانی برداشت آب و فرونشست زمین با مطالعات شرکت سهامی آب منطقه‌ای (۱۳۷۱)، شرکت مهندسی جاماب (۱۳۶۸) و فرحزادی (۱۳۵۳) که دربارهٔ بیلان آب‌های زیرزمینی این منطقه در دوره‌های مختلف که نشانگر تغییرات زمانی تخلیه و تغذیه این دشت است، مطابقت دارد. برای استخراج شق‌ها نیز مطابق استخراج آبراهه از فیلتر لبه یابی CANNY استفاده گردید و نقشه‌های تولیدشده در شکل ۹ نمایش داده شده‌اند. تغییرات به‌گونه‌ای است که در قسمت شرقی پایلوت در سال ۲۰۰۳ یک سری شق‌های بوده است که در طول بازهٔ زمانی مورد نظر شروع به گسترش کرده و در سال ۲۰۱۸ در تمام سطح پایلوت گسترش یافته است. پدیدهٔ شق تحت تأثیر مستقیم فرونشست زمین شکل می‌گیرد و نمایش‌دهنده میزان فرونشست زیاد در منطقه است و در این بازه زمانی ۲۰۲ درصد گسترش شق‌ها در این پایلوت اتفاق افتاده است. به‌صورتی که در سال ۲۰۰۳ میزان ۱۸ کیلومتر شق در منطقه وجود داشته است که با رشد ۷۳ درصدی به ۳۱ کیلومتر در سال ۲۰۱۱ و همچنین با سرعت رشد ۷۶ درصدی به ۵۴ کیلومتر طول مجموع شق‌های منطقه در سال ۲۰۱۸ رسیده است.

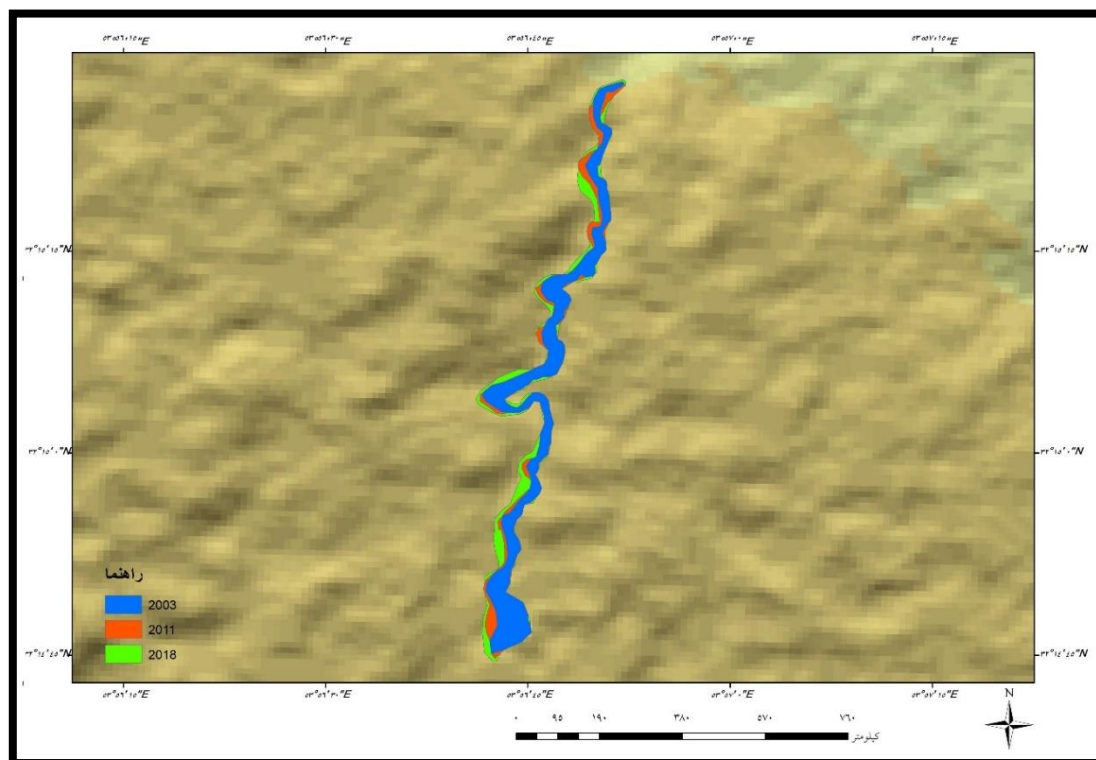


شکل ۹. مقایسه شقهای استخراجی بین سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸

### گالی

فرسایش گالی، پیشرفته‌تر از فرسایش شیاری است و فرسایش شیاری در منتهی‌الیه شیاری به گالی تبدیل می‌شود. در واقع تفاوت فرسایش خندقی و شیاری در این است که در فرسایش خندقی عرض و عمق خندق‌ها خیلی باهم اختلاف ندارند، درحالی‌که در فرسایش شیاری عرض شیاری معمولاً چندین برابر عمق آن‌هاست. نکته دیگر در مورد فرسایش گالی این است که دهانه گالی بی‌ثبات‌ترین قسمت گالی است و این پدیده هم مثل دو پدیده قبل نقشه‌های آن برای بازه زمانی مدنظر تولید شده‌اند که در شکل ۱۰ نمایش داده شده است؛ که در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸ با افزایش در قسمت‌های که در شکل ۷ به رنگ‌های قرمز و سبز مشخص شده است. نشان‌دهنده تغییرات گالی در این منطقه است. به‌نحوی که در سال ۲۰۰۳ میزان مساحت گالی ۴/۰۱ هکتار و با رشد ۲۵ درصدی به ۵/۱۲ هکتار در سال ۲۰۱۱ رسیده است و همچنین این روند با رشد ۲۰ درصدی به ۶/۱۴ هکتار در سال ۲۰۱۸ رسیده است که در این بازه زمانی میزان افزایش سطح گالی ۵۰ درصد بوده است.





شکل ۱۰. مقایسه گالی های استخراجی بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸

### نتیجه‌گیری

پدیده فرونشست باعث تغییرات مورفولوژیک سطحی همچون تغییر در الگوی جریان‌های سطحی را می‌شود. همچنین تغییر در الگوهای ژئومورفولوژی نیز با مشاهده شق‌ها و اضافه شدن شق‌های جدید و کم‌عرض به شق‌های قدیمی، تغییر سطح اساس آبراهه‌ها، تغییر مسیر آبراهه و تغییر سطح آن تشخیص داد؛ اما برای تعیین نرخ این تغییرات نیاز به روش‌های خاصی است. در این پژوهش ابتدا با مطالعات میدانی و بازدیدهای محلی محدوده‌های که به نظر دارای بیشترین تغییرات بودند، شناسایی گردید. گزارش‌های آب استخراجی از چاه‌های پیژومتر بیانگر تغییر سطح پیژومتری (افزایش عمق آب) آنها بر اثر برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی است. نتایج بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در ۴ دهه اخیر حاکی از روند نزولی آن بوده و متوسط افت سطح ایستابی، حدود ۱ متر در سال است. همچنین با استفاده از تصاویر رادار و تداخل سنجی راداری اقدام به تعیین نرخ فرونشست در بازه‌های مختلف گردید. نتایج حاصل، فرونشستی تا ۱۳ سانتی‌متر در بازه ۸ ماهه نیز نشان می‌دهد (شکل‌های ۵ و ۶). سپس سه پدیده شق، گالی و آبراهه انتخاب و سه منطقه مختلف از دشت یزد اردکان در نظر گرفته‌شده با توجه به نمودار یک هر سه محدوده در نظر گرفته‌شده در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ دارای تغییر بوده‌اند به طوری که در این بازه زمانی طول شق‌ها با رشد حدود ۲۰۲ درصدی از ۱۸ کیلومتر به ۵۶ کیلومتر و میزان افزایش سطح گالی با رشد ۵۰ درصدی از ۴ هکتار به ۶ هکتار و آبراهه با افزایش و جابجایی طولی سطوح در اشغال ۴۷ درصدی از ۱۶۵ هکتار به ۲۴۱ هکتار افزایش داشته است. از تصاویر لندست که در شکل‌های ۶، ۵ و ۷ برای سه محدوده در نظر گرفته‌شده است در این بازه زمانی ۱۵ ساله تغییرات چشمگیری داشته‌اند به نحوی که پدیده شق به مرکز فرونشست نزدیک‌تر است. همچنین روند تغییرات هر سه الگو به سمت مرکز ثقل فرونشست است؛ بنابراین فرونشست باعث تغییر در این الگوهای ژئومورفولوژی گردیده که با توجه به اینکه سریع اتفاق می‌افتد قابل اندازه‌گیری هستند.

پژوهش فوق مؤید آن است که وقتی در کف دشت فرونشست اتفاق می‌افتد، الگوهای ژئومورفولوژی پیرامون دشت تغییر می‌کند. این الگوها شامل تمام الگوهای ژئومورفولوژی می‌شود؛ اما بخشی از این تغییر الگوها سالیان دراز و شاید قرن‌ها

طول بکشد؛ مانند فرسایش پوسته‌ای یا جریان رسوب‌گذاری و بخشی دیگر واکنش زمانی کوتاه‌مدت داشته و سریع اتفاق می‌افتد. قطعاً فرونشست در تمامی الگوهای ژئومورفولوژی تغییر ایجاد می‌کند و اثر مستقیمی در دگرگونی آنها دارد. در منطقه مورد مطالعه روند برداشت آب و نشست زمین به صورت تصاعدی در حال افزایش است که با تغییر الگوهای ژئومورفولوژی، بزرگ‌ترین خطر برای زیرساخت‌های انسان‌ساخت را دارد.

## منابع

- فضلی عباسعلی، شریفی کیا محمد، شایان سیاوش، ۱۳۹۲، ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها و سکونتگاه‌ها از پدیده فرونشست زمین در دشت دامغان، دو فصل‌نامه ژئومورفولوژی کاربردی ایران، شماره اول، صص ۷۰-۸۵.
- اکرامی محمد، شریفی ذبیح اله، ملکی نژاد حسین، اختصاصی محمدرضا، ۱۳۹۰، بررسی روند تغییرات کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان در دهه ۸۸-۱۳۷۹ طلوع بهداشت، پاییز و زمستان ۱۳۹۰، دوره ۱۰، شماره ۳-۴ مسلسل ۳۳، صص ۸۲-۹۱.
- اکبری وحید، ۱۳۸۷، نظارت بر فرونشست زمین ناشی از استخراج بی‌رویه آب زیرزمینی در دشت مشهد با استفاده از سری زمانی تکنیک تداخل سنجی راداری و مقایسه با مشاهدات ژئودتیک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، دانشکده فنی گروه مهندسی نقشه‌برداری و ژئوماتیک.
- امیری منوچهر، ۱۳۸۴، ارتباط بین فروچاله‌های دشت فامنین کبودر آهنگ- نهاوند با سنگ کف منطقه فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین، شماره ۵۸، صص ۱۳۴-۱۴۷.
- آمیغ پی معصومه، عربی سیاوش، طالبی علی، جمور یحیی، ۱۳۸۶، بررسی مناطق فرونشست ایران بر اساس داده‌های ترازابی. همایش ژئوماتیک ۱۳۸۶، اردیبهشت ۱۳۸۶، تهران، ایران.
- آمیغ پی معصومه، عربی سیاوش، طالبی علی، جمور یحیی، ۱۳۸۸، کاربرد تکنیک تداخل سنجی رادار در مطالعات مناطق فرونشست مطالعه موردی فرونشست یزد) همایش ژئوماتیک ۱۳۸۸، تهران، ایران.
- حقیقت مهر پریسا، ۱۳۸۹، مطالعه فرونشست زمین ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی و چاه‌های نفتی به کمک روش تداخل سنجی تفاضلی راداری پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه خواجه نصیر، تهران.
- حقیقت مهر پریسا، ولدان زوج محمدجواد، تاجیک رضا، جباری سعید، صاحبی محمود رضا، اسلامی رضا، گنجیان مصطفی، دهقانی مریم، ۱۳۹۱، تحلیل سری زمانی فرونشست هشتگرد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و سامانه موقعیت‌یاب جهانی، مجله علوم زمین، شماره ۸۵.
- دهقان سورکی یونس، ۱۳۹۰، به‌کارگیری تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری در تعیین نرخ و دامنه فرونشست زمین در دشت مرنده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. دانشگاه تربیت مدرس، به راهنمایی محمد شریفی کیا.
- شریفی کیا محمد، شایان سیاوش، افتخاری سید مروت، کرم امیر، ۱۳۹۶، تحلیل تغییرات مورفولوژیکی رودخانه ناشی از احداث سد طالقان بر پایه تفاضل سنجی زمانی داده‌های سنجش‌ازدوری. برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۲۴۳-۲۶۳.
- شریفی کیا محمد، ۱۳۹۰، سنجش و استخراج مخاطرات حاصل از پدیده نشست در اراضی مسکونی تهران بزرگ، همایش مخاطرات محیطی شهر تهران، دانشگاه تربیت‌معلم.

- شریفی کیا محمد، ۱۳۹۱، تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل سنجی راداری (D-INSAR) در دشت نوق - بهرمان، فصلنامه علمی پژوهشی برنامه‌ریزی و آمایش فضا، پاییز ۹۱، دوره ۱۶، شماره ۳، پیاپی ۷۷، صص ۵۵-۷۷.
- علوی نژاد سید نظام، (۱۳۸۳). آشکارسازی تغییرات ژئومورفولوژیکی و کاربری اراضی خور موسی بندر امام خمینی ماهشهر با استفاده از GIS & RS، رساله کارشناسی ارشد، سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تربیت معلم تهران، گروه جغرافیا.
- فتح زاده علی، ۱۳۸۷، برآورد توزیع مکانی آب معادل برف در حوضه‌ای آبخیز کرج با استفاده از سنجش از دور و مدل بیلان انرژی رساله دکتری، دانشگاه تهران.
- فروغی زرین، شایان سیاوش، کردوانی پرویز، بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی روی وضعیت ژئومورفولوژیکی رودخانه کر پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی سال هفتم تابستان ۱۳۹۷ شماره ۱ پیاپی ۲۵، صص ۱۹۳ - ۲۱۰.
- لشگری پور غلامرضا، غفوری محمد، رستمی بارانی حمیدرضا، ۱۳۸۷، بررسی علل تشکیل شکاف‌ها و فرونشست زمین در غرب دشت کاشمر، مطالعات زمین‌شناسی، ج ۱، ش ۱، صص ۹۶-۱۱۱.
- ملکی امجد، محمدی سارا، دولت‌یاری خدیجه، ۱۳۹۱، بررسی اثرات ژئومورفولوژیکی معدن مطالعه موردی: تعدادی از معادن شهرستان کرمانشاه پژوهش‌های دانش زمین، سال سوم، شماره ۱۰، تابستان ۱۳۹۱، صص ۹۸-۱۰۸.
- هاشمی علی، ۱۳۸۱، بررسی علل فرونشست عمومی زمین و تشکیل فرو چاله‌ها در دشت فامنین و راه‌های مقابله با آن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی آب و برق، تهران.
- هاشمی فرد اکبر، کردوانی پرویز، اسدیان فریده، تغییرات ژئومورفولوژیکی سازند گچساران ناشی از آگیری سد گتوند علیا، با استفاده از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی رادار، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۵، تابستان ۱۳۹۷، صص ۵۳-۳۷.
- *Anfderessoehn & Motagh, M. T. R. Walter. M. A. Sharifi, E. Fielding, A. Schenk, J. and J. Zschau. 2008, Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation, Geophys. Res. Lett. 35, L16403, doi:10.1029/2008GL033814.*
- *Chen, L. C. Rau, J. Y. (1998), "Detection of shoreline change for tideland area using multitemporal satellite images", Journal Of Remote Sensing, 19 (17): 3383-3397.*
- *Dehghai, M. M. J. Valadan Zouj, S. Saatchi, J. Biggs, B. Parsons & T. Wright, "Radar Interferometry Time Series Analysis of Mashhad Subsidence", Journal of Indian Society of Remote Sensing (JISRS), Vol. 37, Pp. 191-200, 2008.*
- *Esmaili, M. & M. Motagh, "Remote Sensing Measurements of Land Subsidence in Kerman Valley, Iran, 2003-2009", American Geophysical Union, Fall Meeting 2009, Abstract, NH43C-1348, 2009.*
- *Ferretti A, Monti-Guarnieri A, Prati C, Rocca F, Massonet D. 2007. InSAR principles-guidelines for SAR interferometry processing and interpretation, ESA Publications. 110 pp.*
- *Holdahl S. R. & Zilkoski D. B. 1991. Subsidence at Houston, Texas (1973- 1987), (Proceedings of the Fourth International Symposium on Land Subsidence),*
- *Holzer, T.L, 1989. State and local response to damaging land subsidence in United States urban areas. Engineering Geology 27, 449 -466*
- *Ireland, R.L Poland, J.F. Riley, F. S. 1984. Land Subsidence in the San Joaquin Valley, California, as of 1980. US Geological Survey Professional Paper 437-I, 93pp.*



- Jia, T.x. Zheng, N.n. Zhang, Y.l.: Center B-spline Dyadic Wavelet Multiscale Edge Detection. *Acta Automation Sinica* 24(2), 192–199 (1998) (in chinese)
- Li.C. Tang.X, Tuhua.M, (2006), Land subsidence caused by groundwater exploitation in the Hangzhou-Jiaxing-Huzhou Plain, China, Springer, *Hydrogeology Journal* 14: 1652–1665
- Maidment, D. and Djokic, D. (2000) *Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information System*. ESRI Press, Redland, 216 p.
- Motagh, M. T. R. Walter, M. A. Sharifi, E. Fielding, A. Schenk, J. Anderssohn & J. Zschau, "Land Subsidence in Iran Caused by Widespread Water Reservoir Overexploitation", *Geophysical Research Letters*, Vol. 35, L 16403, doi: 10.1029/2008GL033814, 2008
- Motagh, M. Y. Djamour, T. R. Walter, H. U. Wetzel, J. Zschau & S. Arabi, Land Subsidence in Mashhad Valley, Northeast Iran; results from InSAR, Levelling and GPS, *Geophys. J. Int.* 168(2), Pp. 518-526, 2007.
- Motagh, M. Y. Djamour, T. Walter, Z. Moosavi, S. Arabi & J. Zschau, Mapping the Spatial and Temporal Pattern of Landsubsidence in the City of Toos, Northeast Iran, Using Theintegration of InSAR, Continuous GPS and Preciseleveling, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 07881, 2006
- Pacheco, J. Arzate, J. Rojas, E. Arroyo, M. Yutis, V. & Ochoa, G, 2006. Delimitation of ground failure zones due to land subsidence usind gravity data and finite element modeling in the Queretaro valley, Mexico. *Engineering Geology*, 84:pp143-160.
- Paul M. Mather, Magaly Koch, *Computer Processing of Remotely-Sensed Images, An Introduction, Fourth Edition*. 2011 by John Wiley & Sons, Ltd.
- Pope Jason and J. Burbe Thomas. 2003, Multiple - aquifer characterization from single borehole extensometer record, *Ground water*, 1, pp 45-58.
- Ramieri, E, Hartley, A, Barbanti, A, Santos, F. D, Gomes, A, Hilden, M, Laihonen, P, Marinova, N, Santini, M, (2011), "Methods for assessing coastal vulnerability to climate change, european topic centre on climate change impacts", consortium of European institutes(ETC/CCA) in Italy, Italy: Technical Paper 93p, Bologna,
- Richards, John, A. *Remote Sensing with Imaging Radar*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- Sharifikia, M, (2009). *D-InSAR Data Processing and Analysis for Mapping Land Subsidence Phenomenon In Rafsanjan Area, Iran* M.Tech Thesis, Submitted to Andra University-India. Shemshaki, A, Blourchi.
- Shemshaki, A, Blourchi, M.J. & Ansari, F, 2005. Preliminary report on Tehran subsidence, *Engineering Geology Scientific report on Geological Survey of Iran*, available at www.gsi.ir. Sharifikia, M, DEM Generation & Morphology Feature Extraction -Using InSAR, PGD Project Submitted to CSSTEAP, 2006.
- Tony, W. G. C. Martin & G. B. Fred, *Sinkhole and Subsidence* Springer and Praxis Publishing Ltd. UK -Germany, 2005.
- Wegmuller Wiley & Sons, U. and Werner C.L. (1997), Retrieval of Vegetation parameters with SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35,18-24.