

## مدل‌سازی فرونشست دشت نیشابور با استفاده از سری‌های زمانی و تکنیک

### DINSAR

شیمیا حشمتی: کارشناسی ارشد، RS&CIS، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یزد، یزد، ایران

سیدعلی المدرسی: استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یزد، یزد، ایران \*

وصول: ۱۳۹۱/۶/۲۶ پذیرش: ۱۳۹۲/۴/۲۲، صص ۸۴-۶۷

#### چکیده

فرونشست حرکت سطح زمین به سمت پایین نسبت به یک دیتوم مانند سطح دریا است. این تغییرات ارتفاع می‌تواند در اثر فعالیت‌های انسانی مانند تونل‌سازی، معدن‌کاوی، استخراج آب‌های زیرزمینی، استخراج نفت و گازهای طبیعی و همچنین فعالیت‌های گسل‌ها به وجود آید (عباسی سلمان‌پور، مجله گسترش صنعت). این پدیده در صورت عدم مدیریت صحیح می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را برای مناطق دچار این پدیده ایجاد کند. شناسایی مناطق فرونشست و برآورد نرخ آن مسلماً نقش بسزایی در مدیریت کنترل این پدیده خواهد داشت. یکی از مناسب‌ترین روش‌های شناسایی پدیده فرونشست استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (D-INSAR) است. در این تحقیق، منطقه دشت نیشابور در بازه‌ی زمانی بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی نرخ فرونشست از داده‌های SAR مربوط به سنجنده ASAR که در C باند تهیه شد، استفاده شده است. مقدار جابه‌جایی با استفاده از داده‌های GPS در ایستگاه نیشابور با مقدار جابه‌جایی به دست آمده با استفاده از داده‌های ASAR مورد مقایسه قرار گرفت و تفاوت معناداری ندارند. مقدار جابه‌جایی در مختصات ایستگاه نیشابور با استفاده از داده‌های ASAR در سال‌های 2003-sep-27 تا 2004-nov-20 به مقدار ۷- سانتی‌متر، 2004-oct-16 تا 2005-jul-23 به مقدار ۴- سانتی‌متر، 2005-jun-18 تا 2007-nov-10 به مقدار ۱۸- سانتی‌متر، 2007-nov-10 تا 2008-jul-12 به مقدار ۵/۴- سانتی‌متر، 2008-jul-12 تا 2009-Aug-01 به مقدار ۷- سانتی‌متر، 2009-Aug-01 تا 2010-Sep-25 به مقدار ۷- سانتی‌متر برآورد شد و همچنین رابطه‌ی بین فرونشست و مقدار تغییرات سطح چاه پیژومتری (برداشت آب زیرزمینی) نشان می‌دهد که به ازای هر ۳ سانتی‌متر افت سطح چاه پیژومتری ۰/۸۱۶ سانتی‌متر فرونشست خواهیم داشت.

واژه‌های کلیدی: فرونشست، چاه پیژومتری، تداخل‌سنجی راداری، دشت نیشابور

#### ۱. مقدمه

می‌تواند موجب تخریب سیستم‌های آبیاری و خاک‌های کشاورزی (با پایین آوردن تخلخل آن‌ها)، تغییر هیدرولوژی منطقه و ایجاد سیلاب و آسیب به ساختمان‌ها، خیابان‌ها، پل‌ها، بزرگراه‌ها، خطوط راه‌آهن، سدهای خاکی، تصفیه‌خانه‌ها و اختلال در

یکی از خطرهای شایع در سراسر دنیا پدیده فرونشست است. در مناطق شهری و روستایی به دلیل استخراج بی‌رویه آب‌های زیرزمینی رخداد پدیده فرونشست بسیار رایج است. نرخ شدید فرونشست

تونل‌ها، خیابان‌ها، خطوط حمل و نقل ریلی و جاده‌ها (chen et al., 2010)، تأسیسات کشاورزی (تأسیسات منصوب در چاه‌های بهره‌برداری و شبکه آبیاری)، تغییر در مسیر و جهت حرکت رودخانه‌ها و کانال‌ها، از بین رفتن حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی (با فشرده شدن، از بین رفتن تخلخل موجود در خاک)، اختلال در الگوی جریان هیدرولوژی (Barends et al., 1995) کج‌شدگی و انحراف دکل‌های برق به‌طور کلی باعث آسیب به تمامی تأسیسات در منطقه‌ای که تحت تأثیر فرونشست واقع شده است، می‌شود. امروزه فرونشست زمین در اثر برداشت بیش از حد آب از منابع زیرزمینی به‌عنوان یک معضل و مخاطره<sup>۱</sup> مطرح است که جوامع انسانی ساکن در منطقه فرونشست را به شدت مورد تهدید قرار می‌دهد. براساس برآورد کارشناسان تعداد بیش از ۱۵۰ شهر از مجموعه شهرهای کشورهای توسعه یافته و کشورهای در حال توسعه در معرض خطر این پدیده قرار دارند. (Huanyin et al, 2005; Hau, 2004)

خطر نشست زمین بر اثر افت سطح آب‌های زیرزمینی یک خطر جهانی است و در مقیاس جهانی مورد توجه قرار گرفته است. این پدیده در گذشته در بسیاری از نقاط دنیا مانند مکزیکویستی، نقاطی از چین، تایلند، ژاپن، آمریکا (Zhuand Esaki, 2003)، جنوب غرب تایوان (Hou, 2005) و شهر کلکته هندوستان (Chatterjee et al, 2001) و شانگ‌های چین (Ruilin, 2006) گزارش شده است.

خطوط آب‌رسانی، گاز و فاضلاب و ... شوند (عباس سلمان‌پور، مجله گسترش صنعت). براساس تعریف انستیتو زمین‌شناسی ایالت متحده، پدیده‌ی فرونشست زمین شامل فروریزش یا نشست روبه‌پایین سطح زمین است که این حرکت دارای جابه‌جایی در جهت قائم از چند میلی‌متر تا چند متر است و میزان جابه‌جایی افقی آن کم و ناچیز است (USGS, 2011).

وقتی آب از بافته‌ی نازک رسوبات تراکم‌پذیر مانند خاک رس و بسترهای داخلی گل و لای در یک آب‌خیز جدا شد، این رسوبات فشرده می‌شوند و نشست زمین اتفاق می‌افتد. (Hoffmann et al., 2003)

نتایج محیطی نشست زمین اساساً شامل آسیب به ساختارهای مهندسی (مانند ساختمان سازی‌ها، سواره‌روها، خطوط لوله و روکش‌های چاه)، درزه‌ها و ناپدید شدن ناگهانی سطح (Hoffmann et al., 2003) می‌شود. پدیده مورفولوژیک بیان‌کننده هر نوع شکل قابل تشخیص با ترکیب داخلی مشخص است، که به‌وسیله عامل طبیعی و یا انسانی و یا ترکیبی از این دو، شکل‌دهنده چهره سطح زمین است، فرونشست زمین به دلیل تأثیری که بر روی سطح زمین و لایه‌های آن می‌گذارد جزو پدیده‌های مورفولوژیک تقسیم‌بندی می‌شود. (Schoeneberger et al., 1997) که با نشست تدریجی یا دفعی مواد سطحی زمین (Stephen, 2011) و با حرکتی در جهت قائم همراه است و می‌تواند باعث آسیب به پی‌ساختمان‌ها، باند فرودگاه‌ها (clanton & Amsbury, 1975)، پل‌ها،

<sup>۱</sup> Hazard.

تکنیک‌های مختلفی همچون تداخل‌سنجی راداری، GPS و ترازیبی دقیق برای شناسایی و تشخیص مناطق نشست خیز استفاده می‌شود.

امروزه تکنیک تداخل‌سنجی راداری به‌عنوان یک تکنیک متداول برای اندازه‌گیری تغییر شکل سطحی پوسته زمین شده است. پوشش سراسری و رزولیشن خوب تصاویر راداری و دقت قابل قبول این روش، این تکنیک را به‌عنوان ابزاری نیرومند برای مطالعه پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی همچون زلزله، نشست، زمین لغزش و ... مطرح کرده است. تداخل‌سنجی راداری تفاضلی<sup>۱</sup> جابه‌جایی سطح زمین را با دقت ارتفاعی سانتی‌متر و رزولیشن مکانی چند ده ۱۰۰۰ کیلومتر مربع اندازه‌گیری می‌کند. (آمیغ‌پی، ۱۳۸۸)

هدف ما در این پژوهش مدلسازی فرونشست دشت نیشابور با استفاده از نتایج به دست آمده از تداخل‌سنجی راداری است و همچنین بررسی ارتباط بین افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین و در نهایت ایجاد شکاف در قسمت‌های از دشت نیشابور است.

## ۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش با تکیه بر روش آزمایشگاهی، پیمایشی است. ابتدا روش آزمایشگاهی به منظور پردازش داده‌ها و تصاویر انجام می‌گیرد سپس با تکیه بر یافته‌های به دست آمده از مرحله آزمایشگاهی، داده‌های میدانی و ثبتی گردآوری می‌شود و در مرحله

در ایران نیز در هجده دشت پژوهش‌هایی انجام شده از جمله دشت‌های رفسنجان، کرمان، زنگی‌آباد و رزند در استان کرمان (Sharifikia, 2009, Esmaili et al, ) (Motagh et al, 2008; 2009) اردکان یزد در استان یزد (آمیغ‌پی، ۱۳۸۸؛ کمک پناه، ۱۳۸۶؛ عالمی، ۱۳۸۱) مشهد، نیشابور و کاشمر - بردسکن در استان خراسان رضوی (لشکری‌پور، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷؛ Motagh et al; 2006) که نخستین بررسی‌های علمی برای تعیین میزان فرونشست از حدود دودهمه قبل در دشت رفسنجان که دارای بالاترین سابقه و میزان فرونشست بود آغاز شد (Toufigh et al; 1995).

در سال‌های بعد با گسترش این مسئله روش‌های دیگری نیز ارائه شد روش‌هایی که پایش سنجش از دوری دارند (D-InsAR& GPS) که با این‌که از لحاظ دقت مورد قبول و تأیید بود اما به لحاظ مسائلی مانند هزینه زیاد و استقرار ایستگاه‌های دائم، آسان نبودن تعیین دامنه و گسترده فرونشست و نابسامانی در دوره زمانی پایش به واسطه تغییر در بودجه و اعتبارات سالیانه توفیق‌آمیز نبوده و از حد چند مورد در دشت تهران، رفسنجان و مشهد و برای تعداد محدودی از سال‌ها برنگذشت (Motagh et al, 2006; Hosseini et al, ) (Amighpey et al 2006; Mousavi, 2001; 2007)

حال این پدیده در صورت عدم مدیریت صحیح می‌تواند خسارات جبران ناپذیری را برای مناطق دچار این پدیده ایجاد کند. شناسایی مناطق فرونشست و برآورد نرخ آن مسلماً نقش بسزایی در مدیریت کنترل این پدیده خواهد داشت.

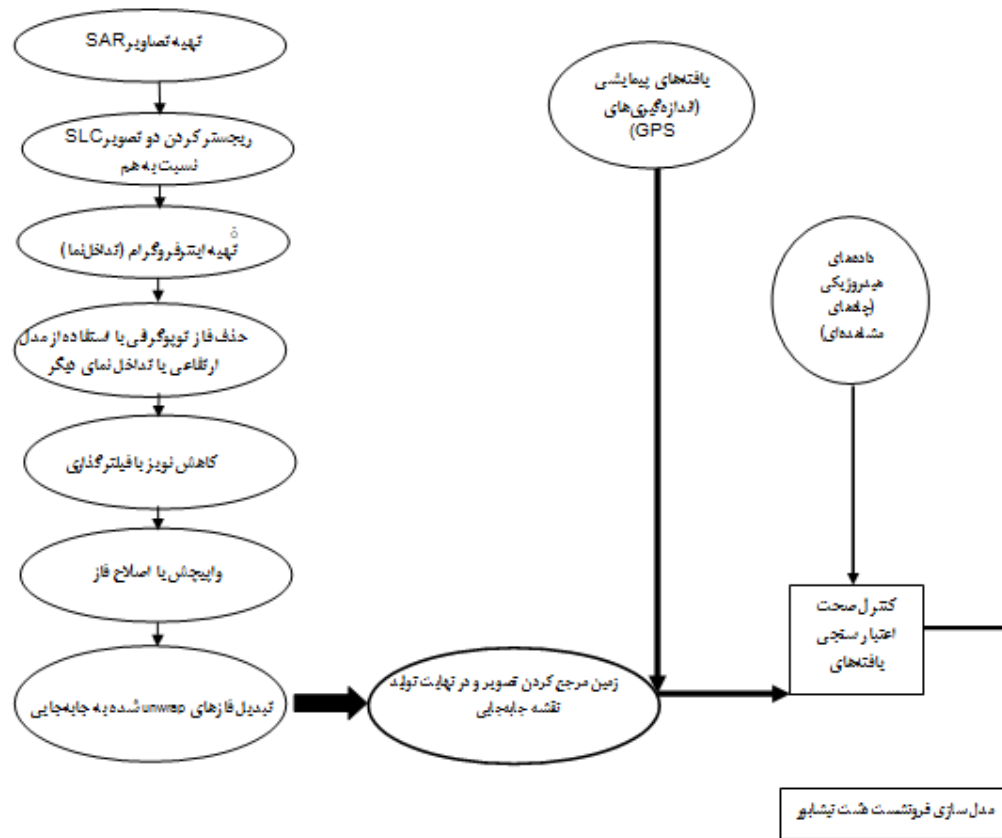
<sup>۱</sup> DInSAR (Differential Interferometric SAR).

روش تداخل‌سنجی راداری برای میزان و دامنه‌ی فرونشست با ارقام حاصل از تغییرات سطح ایستایی آب زیرزمینی که به وسیله چاه‌های مشاهده‌ای (پیزومتری) تولید شده بود، مورد مقایسه و تحلیل آماری قرار خواهد گرفت. و در مرحله آخر یافته‌های به دست آمده از روش تداخل‌سنجی راداری برای میزان و دامنه‌ی فرونشست، مدل‌سازی خواهیم کرد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق به دو دسته کلی داده‌های زمینی و ماهواره‌ای تقسیم می‌شود که داده‌های زمینی شامل GPS و داده‌های سطح چاه پیزومتری است و داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش مربوط به سنجنده ASAR که بر روی ماهواره ENVISAT نصب شده با طول موج C BAND است در زیر جدول تصاویر سنجنده ASAR مورد استفاده در این پژوهش با فواصل زمانی و خط مبنای مکانی آورده شده است.

بعد نیز صحت سنجی نتایج پردازش‌های آزمایشگاهی با استفاده از داده‌های میدانی و ثبتی انجام می‌گیرد. و در پایان نتیجه به دست آمده از پردازش آزمایشگاهی را مدل خواهیم کرد. در مرحله پردازش‌های آزمایشگاهی از سری زمانی داده‌های ماهواره اروپایی ENVISAT (Environmental Satellite) سنجنده ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar) در باند C استفاده خواهیم کرد بعد از پردازش کامپیوتری از طریق نرم‌افزار اختصاصی SARSCAPE در پلات فرم ENVI و به کارگیری روش تداخل‌سنجی، مناطق در معرض نشست تعیین خواهد شد. سپس با انجام عملیات پیمایشی و میدانی و با استفاده از ابزار GPS، برای شناخت و پی‌جویی عوارض ناشی از پدیده‌ی نشست، نواحی و مناطق معرفی شده در مرحله آزمایشگاهی در سطح زمین نیز مورد شناسایی و برداشت میدانی قرار خواهد گرفت. یافته‌های این مرحله به تعیین صحت نتایج در مرحله نخست بسیار کمک می‌کند. همچنین در این پژوهش، یافته‌های

(جدول ۱) تصاویر ASAR مورد استفاده در نیشابور به همراه جزئیات

مد تصویر	تاریخ	فاصله زمانی (روز)		فاصله مکانی (متر)	
ASA_IMS	۲۰۰۳	۴۱۹		۱۸۸/۹۵۸	
ASA_IMS	۲۰۰۴				
ASA_IMS	۲۰۰۴	۱۴۴		۵۰/۹۳۳	
ASA_IMS	۲۰۰۵				
ASA_IMS	۲۰۰۵	۸۷۵	۲۴۴	۵۹/۲۲۹	۲۷/۰۹۳
ASA_IMS	۲۰۰۷				
ASA_IMS	۲۰۰۸	۳۸۵	۴۲۰	۲۶۱/۷۹۷	۲۹۲/۶۴۷
ASA_IMS	۲۰۰۹				
ASA_IMS	۲۰۱۰				



شکل ۱: نمودار روش تحقیق

غرب به حوضه آبریز سبزوار و از شمال غرب به حوضه آبریز جوبین - سلطان آباد و ینگجه متصل است. حداکثر ارتفاع دشت نیشابور در ارتفاعات بینالود در ۳۲۰۰ متری از سطح دریا و پست‌ترین نقطه در خروجی دشت با ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد. ارتفاع متوسط دشت از سطح دریا ۱۹۰۰ متر است. وسعت دشت برابر ۴۱۰۰ کیلومتر مربع بوده که معادل ۵۶ درصد از وسعت ۷۳۳۰ کیلومتر مربعی حوضه آبریز را شامل می‌شود. این حوضه ۵/۷ درصد وسعت استان خراسان رضوی را پوشش می‌دهد. همچنین قابل ذکر است که گسل فشاری نیشابور با راستای باختری - جنوب خاوری و دارای ۵۲

### ۳. محدوده‌ی مورد مطالعه

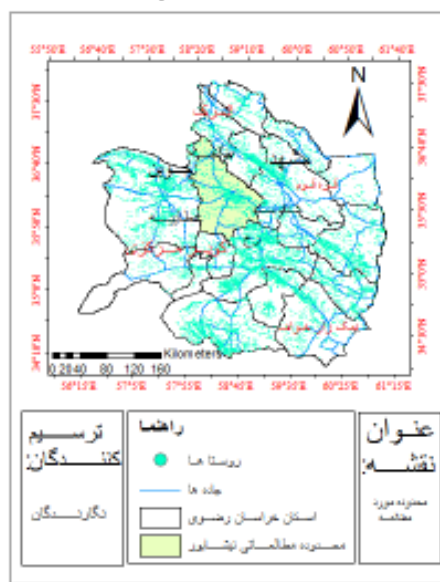
نیشابور یکی از مهمترین دشت‌های خراسان رضوی از نظر حاصلخیزی کشاورزی و تراکم جمعیتی است. دشت نیشابور در طول جغرافیایی ۱۷° ۵۸' تا ۲۰° ۵۹' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵° ۴۰' تا ۳۹° ۳۹' شمالی و در محدود ۷۲۸۰۰۰۰ - ۴۰۵۸۰۰۰ متر و ۳۹۴۹۵۰۰ - ۴۰۵۸۰۰۰ متر (برحسب UTM) واقع شده است این دشت از زیر حوضه‌های آبریز کویر مرکزی و ایران است. این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی از شمال به حوض آبریز دشت مشهد، از شرق به حوضه آبریز سنگ بست، از جنوب به حوضه آبریز رخ، از جنوب غرب به حوضه آبریز عطائیه، از

### ۳-۱ وضعیت مصرف منابع آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور

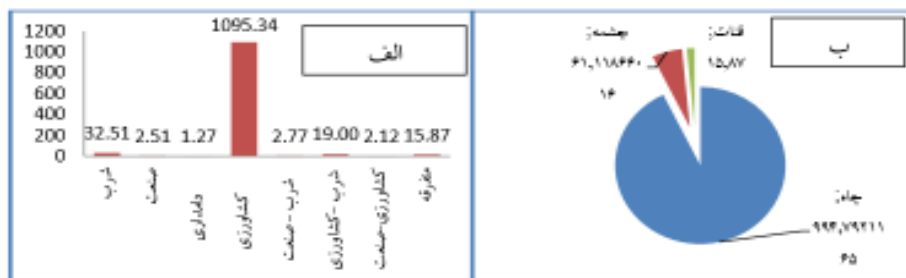
به منظور بررسی اهمیت منابع آب زیرزمینی شامل چاه، چشمه و قنات از نظر مصرف در دشت نیشابور، از آمار منابع آب موجود در این دشت استفاده شده است. با توجه به نتایج، تعداد ۲۵۸۹ حلقه چاه عمیق و کم عمق (۵۷ چاه پیژومتری)، ۹۱۴ دهانه چشمه و ۹۳۰ رشته قنات در محدوده مورد بررسی وجود دارند که مجموعاً حدود ۱۱۷۴/۸۲ میلیون مترمکعب از آب‌های زیرزمینی را تخلیه می‌کنند. بخش اعظم آب‌های به دست آمده از چاه‌ها و چشمه‌ها صرف آبیاری زمین‌های کشاورزی می‌شود.

با توجه به شکل ۳ (ب) حدود ۹۳ درصد از آب برداشت شده توسط چاه‌ها، بیشتر از ۶ درصد از آب تخلیه شده توسط چشمه‌ها و ۱ درصد توسط قنات تخلیه می‌شود و در مجموع بیش از ۹۴ درصد از آب حاصله از این منابع آب زیرزمینی، صرف آبیاری مزارع کشاورزی می‌شود. (شکل ۳ (الف)) بنابراین کاملاً واضح است که بیشترین آب مصرفی در منطقه مربوط به کشاورزی بوده که در این بین، چاه‌ها مهمترین نقش را در تأمین آب مورد نیاز کشاورزی ایفا می‌کنند.

کیلومتری شمال باختری نیشابور می‌گذرد. این گسل دارای شیب به سوی شمال خاوری بوده و در بخش میانی و شمال باختری آن سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی ائوسن (از شمال باختری) بر روی بادزن‌های آبرفتی و رسوبات آبرفتی کواترنر دشت (در جنوب باختری) رانده شده‌اند. گسل معکوس نیشابور در ادامه خاوری کمربند کوهزایی البرز و در مرز پهنه ساختاری بینالود و کمان ماگمایی نیشابور واقع است.



(شکل ۲) موقعیت حوضه آبریز نیشابور نسبت به حوضه‌های آبریز مجاور و حوضه‌های آبریز در استان خراسان رضوی



(شکل ۳) (الف) نوع و میزان و مصرف منابع آب در دشت نیشابور (میلیون مترمکعب) (ب) نوع و میزان تخلیه منابع آب از آبخوان دشت نیشابور (میلیون مترمکعب)

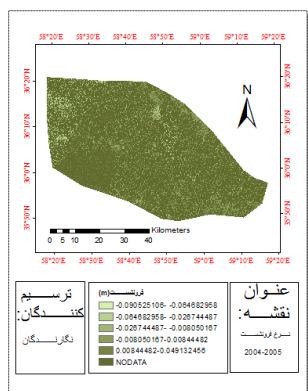
#### ۴. تکنیک تداخل‌سنجی راداری

تکنیک تداخل‌سنجی راداری روشی است که با مقایسه فازهای دو تصویر راداری که از یک منطقه در دو زمان مختلف اخذ شده‌اند قادر به تعیین تغییرات سطح زمین در آن بازه زمانی است. فاز اخذ شده از یک عارضه بر روی سطح زمین متناسب با فاصله آن با سنجنده راداری است بنابراین ایجاد تغییر در این فاصله بر روی فاز اندازه‌گیری شده اثر می‌گذارد. به کمک تداخل‌سنجی راداری تصویری به نام ایتترفروگرام ساخته می‌شود. یک ایتترفروگرام تصویری است که حاوی اختلاف فاز دو تصویر راداری که به دقت نسبت به هم ثبت هندسی شده‌اند مقدار تغییرات مربوط به فاصله عارضه تا سنجنده راداری در ایتترفروگرام موجود است این تغییرات مربوط به خطای مداری ماهواره، اثر توپوگرافی، جابه‌جایی عارضه، اثرات اتمسفری است. جهت استخراج میزان تغییرات سطح می‌بایست تمام اثرات دیگر از ایتترفروگرام حذف گردد. در این پژوهش به کمک مدل رقومی زمین (DEMSRTM) و تبدیل ارتفاع به فاز، یک تداخل‌نگار مصنوعی تولید می‌شود و از این‌راه به کمک معکوس اطلاعات DEM، اثر فاز ناشی از توپوگرافی محاسبه و از مقادیر اختلاف فاز حذف می‌شود و همچنین با استفاده از اطلاعات مداری دقیق و نرم افزار SARSCAPE خطای معروف به مدار ماهواره حذف می‌شود و اختلاف فاز باقی‌مانده به اثر جابه‌جایی سطح و اتمسفر تعلق دارد. در نهایت چون پژوهش ما در منطقه خشک و نیمه خشک انجام می‌شود با نادیده انگاشتن اثر اتمسفر، اختلاف فاز دو تداخل‌نگار (یعنی تداخل‌نگار اصلی و مصنوعی) فقط بیان‌کننده مقادیر جابه‌جایی سطح

دشت خواهد بود.

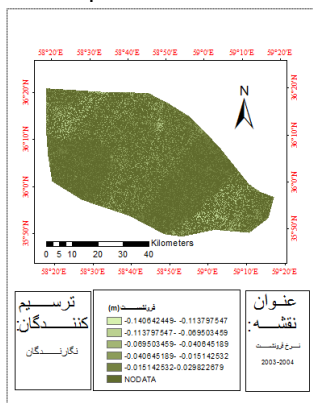
#### ۵. تحلیل داده‌ها و یافته‌های تحقیق

در این پژوهش با روش تداخل‌سنجی داده‌های راداری، میزان و دامنه فرونشست را در دشت نیشابور تبیین کردیم. به منظور تولید نقشه‌های معرف الگوی فضایی میزان و دامنه فرونشست از زوج تصویر سنجنده ASAR به کار گرفته در بازه‌های زمانی متفاوت به همراه مدل رقومی زمین DEMSARTM (با دقت ۹۰ متر) جهت انجام عملیاتی تداخل‌سنجی استفاده شد. در زیر نقشه‌های جابه‌جایی به دست آمده از تصاویر سنجنده ASAR با استفاده از نرم‌افزار SARSCAPE آورده شده است.



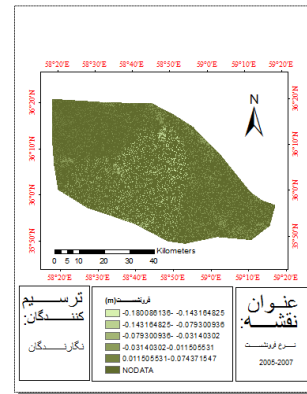
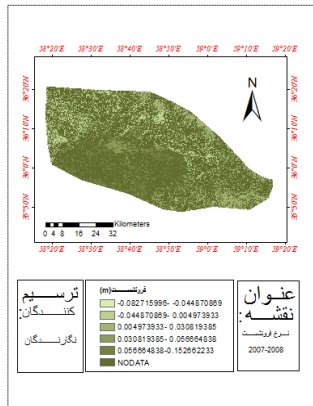
(شکل ۵) نقشه نرخ فرونشست در بازه زمانی

2003- Sep -27 2004- Nov -20



(شکل ۶) نقشه نرخ فرونشست در بازه زمانی

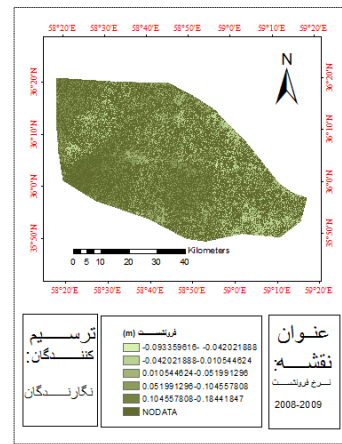
2004- Oct-16 2005- Jul- 23



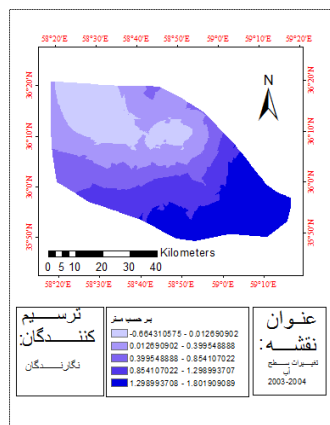
شکل ۷) نقشه نرخ فرونیشت در بازه زمانی 2005-Jun -18 2007- Nov -10

شکل ۱۰) نقشه نرخ فرونیشت در بازه زمانی 2009-Aug-01 2010-Sep -25

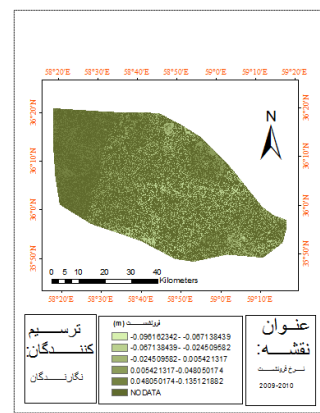
حال برای ادامه پژوهش باید داده‌های تغییرات سطح چاه پیزومتری را درون‌یابی کرده تا در نهایت بتوانیم یافته‌های حاصل از تغییرات سطح زمین و تغییرات سطح چاه پیزومتری را مدل کنیم برای درون‌یابی تغییرات سطح چاه پیزومتری از روش کریجینگ استفاده کرده‌ایم. در شکل‌های زیر عددهای مثبت نشان دهنده کاهش سطح آب چاه پیزومتری و عددهای منفی نشان دهنده افزایش سطح آب چاه پیزومتری است.



شکل ۸) نقشه نرخ فرونیشت در بازه زمانی 007- Nov -10 2008-Jul -12

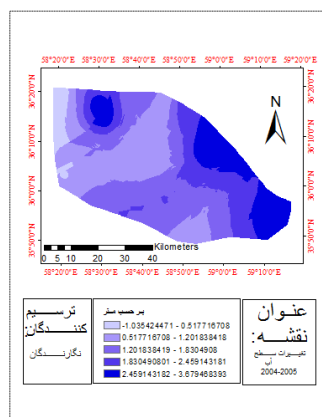
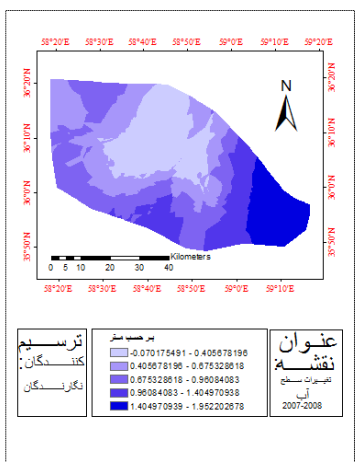


شکل ۱۰) نقشه درون‌یابی تغییرات سطح چاه پیزومتری 2005-Jun -18 2007- Nov -10



شکل ۹) نقشه نرخ فرونیشت در بازه زمانی 2008- Jul -12 2009-Aug -01



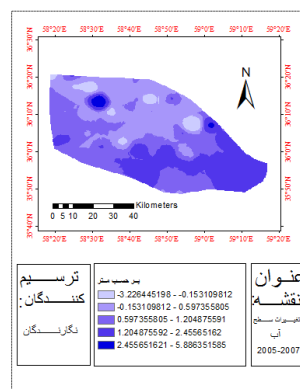
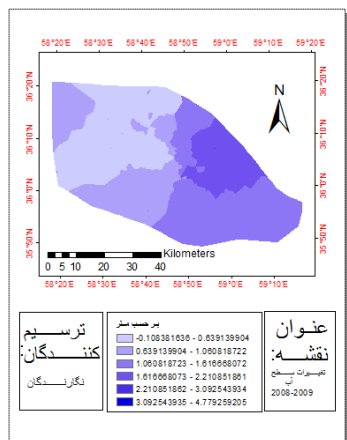


(شکل ۱۱) نقشه درونیابی تغییرات سطح چاه پیزومتری

2004-Oct-16 2005- Jul- 23

(شکل ۱۴) نقشه درونیابی تغییرات سطح چاه پیزومتری

2008- Jul -12 2009-Aug -01



(شکل ۱۲) نقشه درونیابی تغییرات سطح چاه پیزومتری

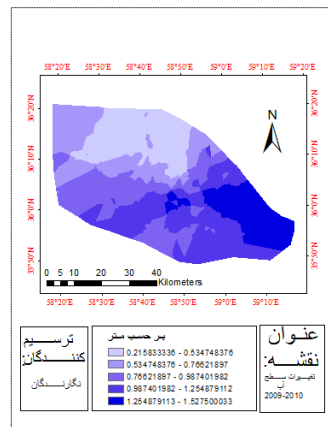
2003- Sep -27 2004-Nov -20

(شکل ۱۵) نقشه درونیابی تغییرات

سطح چاه پیزومتری

2007- Nov - 10 2008-Jul - 12

برای ادامه کار باید ابتدا داده‌های به دست آمده از روش تداخل‌سنجی را صحت‌سنجی کنیم و این با استفاده از داده‌های ایستگاه GPS شبکه ژئودینامیک دائمی ایران IPGN واقع در دشت نیشابور انجام می‌شود.



(شکل ۱۳) نقشه درونیابی تغییرات سطح چاه پیزومتری

2009-Aug-01 2010-Sep -25

جدول ۲: مقادیر جابه‌جایی قائم (m) به دست آمده از IPGN در نیشابور

Vertical Displacement Based on IPGN Stations in neyshbour			
Start	End	diff (day)	Nish
18-Jun-2005	10-nov-2007	875	-0.2367
10-nov-2007	12-Jul-2008	244	-0.0559
12-Jul-2008	1-Aug-2009	385	-0.08931
1-Aug-2009	25-Sep-2010	420	-0.10725

جدول ۳: مقادیر جابه‌جایی قائم (m) بدست آمده از DInSAR در نیشابور

Vertical Displacement Based on DInSAR Method (ASAR) Stations in Neyshabur				
Start	End	Baseline(m)	diff (day)	Nish
18-Jun-2005	10-nov-2007	59/229	875	-0.1768
10-nov-2007	12-Jul-2008	27/093	244	-0.0456
12-Jul-2008	1-Aug-2009	261/797	385	-0.06721
1-Aug-2009	25-Sep-2010	292/647	420	-0.06915

بزرگتر از ۰.۰۵ می‌باشند. فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها پذیرفته می‌شود. بنابراین برای تحلیل فرض آزمون از آزمون تی جفتی استفاده می‌نماییم. نتایج این آزمون به شرح جدول زیر است.

جدول ۶: آزمون تی جفتی

سطح معناداری	درجه آزادی	آماره آزمون	انحراف معیار	میانگین	
۰.۰۵۶	۳	-۳.۰۳۷	۰.۰۱۰۷	-۰.۰۳۲۶	IPGN-DINISAR

همان طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، آماره آزمون و سطح معناداری به ترتیب ۳.۰۴ و ۰.۰۶ است. این سطح معناداری بزرگتر از ۰.۰۵ سبب می‌شود که فرض آزمون پذیرفته شود. به عبارت دیگر تفاوت معناداری بین اعداد قرائت شده و اعداد دریافت شده از تصویر وجود ندارد.

حال که صحت نتیجه به دست آمده تأیید شد به مدل‌سازی فرونشست می‌پردازیم.

#### ۱-۵ مدل‌سازی فرونشست

به‌منظور به دست آوردن مدل بین نشست زمین و تغییرات سطح چاه پیزومتر در این پژوهش از روش

در اینجا نیز مقادیر منفی مربوط به فرونشست و مقادیر مثبت مربوط به بالا آمدگی است.

حال جابه‌جایی‌های به دست آمده IPGN و تکنیک DINSAR را مورد مقایسه قرار داده و همبستگی بین آن‌ها بررسی خواهیم کرد.

آیا تفاوت معناداری بین اعداد قرائت شده و اعداد دریافتی از تصویر وجود دارد؟

به منظور آزمون فرض فوق ابتدا میانگین و انحراف معیار هر یک از متغیرها را محاسبه می‌نماییم.

جدول ۴: شاخص‌های آماری IPGN و D-INSAR

تعداد	انحراف معیار	میانگین	
۴	۰.۰۷۹۲	-۰.۱۲۲۳	متغیر اول IPGN
۴	۰.۰۵۹	-۰.۰۸۹۷	متغیر دوم DINSAR

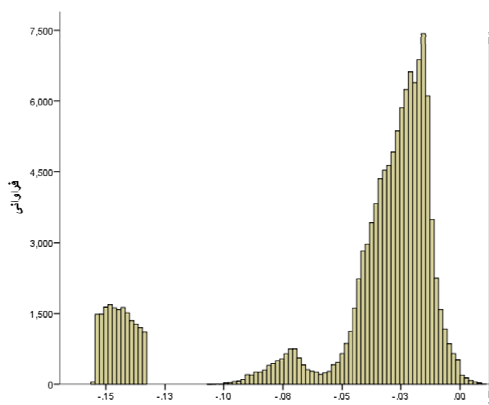
در گام بعدی نرمال بودن داده‌ها را با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک بررسی می‌نماییم.

جدول ۵: آزمون نرمال بودن شاپیرو-ویلک

سطح معناداری	درجه آزادی	آماره آزمون	
۰.۲۶۳	۴	۰.۸۶۱	متغیر اول IPGN
۰.۳۶۴	۴	۰.۸۸۶	متغیر دوم DINISAR

با توجه به سطح معناداری‌های حاصل در جدول ۵ که

رگرسیون گام به گام استفاده شده است. بازه  $-0.03$  تا  $0$  (متر) است.



نمودار ۲: فراوانی متغیر میزان فرونشست زمین

همچنین بر اساس جدول ۸ میانگین و انحراف متغیر این متغیر به ترتیب  $-0.04$  و  $0.04$  است و تعداد نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش ۱۲۶۲۳۴ است.

جدول ۸: توصیف متغیر میزان فرونشست زمین برحسب متر

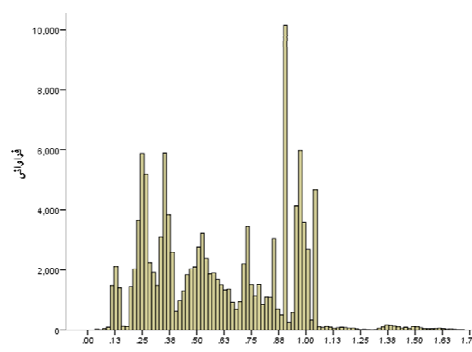
تعداد	بیشترین	کمترین	انحراف معیار	میانگین	فرونشست زمین
۱۲۶۲۳۴	۰.۰۱	-۰.۱۵	۰.۰۴۳	-۰.۰۴۴۵	

همچنین نمودار میانگین دو متغیر تغییرات سطح چاه پیژومتری (میزان برداشت آب زیر زمینی) و فرونشست زمین (برحسب متر) به تفکیک سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ به صورت زیر است.

۱-۱-۵ توصیف آماری مشخصات واحدهای پژوهش

۱-۱-۱-۵ متغیر تغییرات سطح چاه پیژومتری

نمودار فراوانی متغیر تغییرات سطح چاه پیژومتری به طور کلی و بدون در نظر گرفتن سال اندازه‌گیری به صورت زیر است. به قسمی که بر اساس این نمودار بیشترین میزان برداشت آب مربوط به بازه  $0.88$  تا  $1$  (متر) است.



نمودار ۱: فراوانی متغیر تغییرات سطح چاه پیژومتری (میزان برداشت آب زیر زمینی)

همچنین بر اساس جدول ۷ میانگین و انحراف متغیر این متغیر به ترتیب  $0.6$  و  $0.3$  است و تعداد نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش ۱۲۶۲۳۴ است.

جدول ۷: توصیف متغیر تغییرات سطح چاه

پیژومتری (میزان برداشت آب زیر زمینی برحسب متر)

تعداد	بیشترین	کمترین	انحراف معیار	میانگین	برداشت آب زیرزمینی
۱۲۶۲۳۴	۱.۷۲	۰.۰۴	۰.۳۰۵۷	۰.۶۰۶۹	

۲-۱-۱-۵ متغیر فرونشست سطح زمین

نمودار فراوانی متغیر میزان فرونشست سطح زمین به طور کلی و بدون در نظر گرفتن سال اندازه‌گیری به صورت زیر است. به قسمی که بر اساس این نمودار بیشترین میزان فرونشست زمین مربوط به مقادیری در

رگرسیون با استفاده از نرم افزار SPSS و روش ورود متغیرها گام به گام انتخاب شده است. متغیر میزان فرونشست زمین به عنوان متغیر وابسته و متغیر میزان برداشت آب زیر زمینی (تغییرات سطح چاه پیزومتری) از سطح زمین متغیر مستقل تعریف می‌شوند. نتایج حاصل در جداول زیر مشاهده می‌شود.

جدول ۹: متغیرهای وارد شده

مدل	متغیرهای وارد شده	روش
1	برداشت آب زیرزمینی	گام به گام

متغیر وابسته: فرونشست

جدول ۹ بیانگر شیوه مورد استفاده در رگرسیون (گام به گام) و ورود متغیرهایی است که بر متغیر وابسته بیشترین تاثیر را دارند. همان طور که مشاهده می‌شود متغیر تأثیر گذار متغیر برداشت آب زیر زمینی (تغییرات سطح چاه پیزومتری) بوده است.

جدول ۱۰: خلاصه مدل

مدل	ضریب همبستگی	ضریب تعیین	ضریب تعیین تعدیل یافته
1	.272 <sup>a</sup>	.074	0.074

<sup>a</sup>پیش بینی کننده (ثابت): برداشت آب

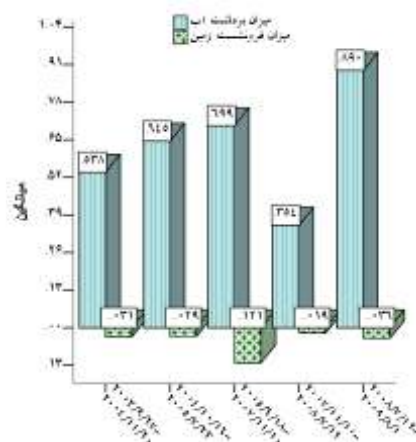
جدول ۱۰ ضریب همبستگی، ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل یافته را برای مدل متناسب با متغیر پیش بینی کننده، نشان می‌دهد.

جدول ۱۱: تجزیه و تحلیل واریانس<sup>b</sup>

مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معناداری
رگرسیون	۱۷.۲۵۴	1	۱۷.۲۵۴	۱۰۰۵۳.۰۵۶	<sup>a</sup> ۰.۰۰۰
باقی مانده	۲۱۶.۶۴۹	۱۲۶۲۳۲	۰.۰۰۲		
کل	233.903	126233			

<sup>a</sup>پیش بینی کننده (ثابت): برداشت آب زیرزمینی. <sup>b</sup>متغیر وابسته: فرونشست

از ۰.۰۵) می‌توان استنباط نمود که مدل معنادار است. و متغیر وارد شده با متغیر مستقل رابطه معناداری دارد.



نمودار ۳: میانگین متغیرهای میزان برداشت آب زیرزمینی و فرونشست زمین به تفکیک سال

بر اساس نمودار ۳، بیشترین میزان برداشت آب زیرزمینی (تغییرات سطح چاه پیزومتری) مربوط به سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹ با میانگین ۰.۹ و کمترین میزان آن مربوط به سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ با میانگین ۰.۳ است. همچنین بیشترین فرونشست زمین در سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ با میانگین ۰.۱- رخ داده است.

## ۶. آمار استنباطی (آزمون فرض)

فرضیه پژوهش به قرار زیر است:

بین برداشت آب زیر زمینی (تغییرات سطح چاه پیزومتری) و فرونشست سطح زمین رابطه وجود دارد. به منظور تجزیه و تحلیل فرض اصلی آزمون از تحلیل

مطابق جدول ۱۱ (تجزیه و تحلیل واریانس) مقدار آماره آزمون و سطح معناداری مدل محاسبه شده است. با توجه به سطح معناداری حاصل شده (کمتر

جدول ۱۲ ضرایب<sup>a</sup>

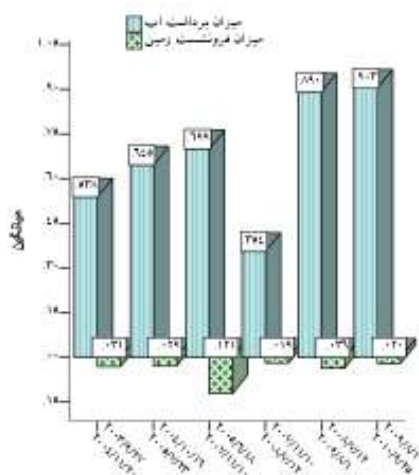
مدل	ضرایب استاندارد نشده		ضرایب استاندارد شده	آماره تی	سطح معناداری	هم خطی بودن	
	B	Std. Error	Beta			تولانس	عامل تورم واریانس
1 (ثابت) برداشت آب	-0.021	0.000		-82.092	.000		
	-0.038	0.000	-0.272	-100.265	0.000	۱	۱

a. متغیر وابسته: فرونشست

فرونشست به میزان ضریب آن متغیر افزایش پیدا می‌کند.

حال برای این‌که مدل پیشنهادی را ارزیابی کرده و مقدار خطای آن را به دست آوریم داده‌های سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ را نیز برای ارزیابی مدل دخیل می‌کنیم.

نمودار میانگین دو متغیر میزان برداشت آب زیرزمینی (تغییرات سطح چاه پیزومتری) و فرونشست زمین (برحسب متر) به تفکیک سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ به صورت زیر است.



نمودار ۴: میانگین متغیرهای میزان برداشت آب زیرزمینی

و فرونشست زمین به تفکیک سال

بر اساس نمودار ۴، بیشترین میزان برداشت آب

جدول ۱۲، خروجی اصلی آزمون تحلیل رگرسیون از جمله: مقدار ثابت، ضرایب استاندارد نشده، ضرایب استاندارد شده، آزمون تی، سطح معناداری و هم خطی بودن را برای متغیرهای مستقل محاسبه نموده است.

می‌دانیم اگر هم خطی بودن در یک معادله رگرسیون وجود داشته باشد معادله از اعتبار بالایی نمی‌تواند برخوردار باشد چون تولانس یک است پس معادله به دست آمده هم خط ناست.

فرونشست زمین به تفکیک سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ به صورت زیر است.

- آزمون تی (t): مطابق با آزمون تی انجام شده در جدول ۱۲ مقدار آماره آزمون تی و سطح معناداری مربوط به متغیرهای مستقل بدین شرح است.

جدول ۱۳: آماره آزمون تی

متغیرهای مستقل	آماره آزمون تی	سطح معناداری, P-value
مقدار ثابت	-۸۲.۰۹۲	۰.۰۰۰
برداشت آب زیرزمینی	-۱۰۰.۲۶۵	۰.۰۰۰

با توجه به نتایج حاصل می‌توان معادله رگرسیونی استاندارد را چنین نوشت:

برداشت آب زیرزمینی \* ۰.۲۷۲ - = فرونشست زمین  
ارقام مندرج در معادله به این معناست که با افزایش یک واحد انحراف استاندارد هر متغیر میزان

این در حالی است که مقدار ضریب همبستگی در سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۰۹، معادل ۰.۱۹۱- است. بنابراین مقدار خطای پیش بینی تنها ۰.۰۰۴ است.

حال می‌توان گفت مقدار تفاوت ضریب همبستگی مدل پیش‌بینی شده با مدلی که سال ۲۰۱۰-۲۰۰۹ نیز در آن دخیل است ۰/۰۸ است و این خطا مقدار زیادی نیست پس می‌توان نتیجه گرفت مدل پیش‌بینی شده برای فرونشست مدل نسبتاً مناسبی است.

#### ۷. نتیجه‌گیری

با توجه به مباحثی مطرح شد، نشان داده می‌شود که به‌کارگیری روش تداخل‌سنجی راداری در این تحقیق، ظرفیت مناسبی از قابلیت‌های آن در تعیین میزان و دامنه فرونشست در سطح محدوده‌ی مورد مطالعه را معرفی کرد. خشکی محیط ناحیه، اثر تغییر فاز ناشی از ترکیبات اتمسفری به‌ویژه مسئله رطوبت را تعدیل کرد و دقت مناسبی از سنجش اختلاف فاز ناشی از جابه‌جایی سطح را فراهم آورد. همچنین، فقدان پوشش گیاهی چالش ناهم‌دوستی در فاز تصاویر راداری را به حداقل رساند و امکان سنجش تغییرات فاز در بازه‌های زمانی سالیانه برای داده‌های C BAND را میسر کرد. این یافته تأکید بر کارایی این روش و داده‌های مورد بحث برای مطالعه تغییرات سطحی پوسته زمین در اغلب نواحی کشور است. یافته‌های حاصل از به‌کارگیری این روش نشان داد که تغییرات سطح چاه‌های پیزومتری یا در واقع برداشت آب زیرزمینی ارتباط تنگاتنگی با فرونشست زمین دارد. مهمترین علت فرونشست منطقه‌ای سطح زمین در

زیرزمینی مربوط به سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ با میانگین ۰.۹ و کمترین میزان آن مربوط به سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ با میانگین ۰.۳ است. همچنین بیشترین فرونشست زمین در سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ با میانگین ۰.۱- رخ داده است. با افزودن داده‌های سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۰۹ به مجموعه‌ی داده‌ها، روند افزایشی میانگین برداشت آب زیرزمینی (به جز در سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۷) ادامه داشته است و با توجه به میانگین‌های حاصل، میزان برداشت آب زیرزمینی (تغییرات سطح چاه پیزومتری) در این سال تقریباً با سال گذشته (۲۰۰۹ تا ۲۰۰۸) برابری می‌کند. حال با توجه به داده‌های جدید، ضریب همبستگی بین دو متغیر میزان برداشت آب زیرزمینی و میزان فرونشست زمین را محاسبه می‌نماییم. در واقع این ضریب، همان ضریب متغیر مستقل در معادله رگرسیون است.

#### جدول ۱۴: ضریب همبستگی برداشت آب زیرزمینی و

##### میزان فرونشست زمین

متغیر	ضریب همبستگی	سطح معناداری	تعداد	سال
برداشت آب زیرزمینی و میزان فرونشست زمین	-۰.۱۹۵	۰.۰۰	۱۴۰۴	۲۰۰۳ الی ۲۰۱۰
	-۰.۱۹۱	۰.۰۰	۱۴۳۰	۲۰۰۹ الی ۲۰۱۰

بر اساس جدول ۱۴، معادله خط رگرسیون بعد از افزودن داده‌های سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۰۹، به صورت زیر خواهد بود:

برداشت آب زیرزمینی \* -۰.۱۹۵ = فرونشست زمین

شریفی‌کیا، محمد، (۱۳۹۰)، «بررسی پیامد ناشی از پدیده‌ی فرونشست در اراضی و دشت‌های مسکون کشور»، مجله‌ی علمی و پژوهشی زمین‌شناسی مهندسی، ج ۳، ش ۳ و ۴، صص ۴۳-۵۸.

عالمی، افشین، (۱۳۸۱)، «بررسی علل نشست در دشت یزد - اردکان» در مجموعه مقالات سومین همایش بین‌المللی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، تهران، صص ۴۲۹-۴۳۴.

کمک پناه، علی، (۱۳۸۶)، «مطالعه‌ی علل گسیختگی زمین در دشت یزد - اردکان»، پژوهشنامه‌ی حمل و نقل، س ۴، ش ۲، تابستان.

لشکری‌پور، غلامرضا، حمیدرضا رستمی بارانی، اصغر کهندل و حسین ترشیزی، (۱۳۸۵)، «افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت کاشمر» در دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

Amelung, F., Galloway, D.L., Bell, J.W., Zebker, H.A. & Lacznik, R.J., (1999). Sensing the ups and downs of Las Vegas—InSAR reveals structural control of land subsidence and aquifer-system deformation, *Geology*, 27(6), 483–486.

Amighpey, M., Arabi, S., Talebi, A. & Djamour, (2006). Elevation changes of the precise leveling tracks in the Iran leveling network, Scientific report published in National Cartographic Center (NCC) of Iran, Tehran, Iran.

Ashrafianfar, N., W. Busch, M. Dehghani & P. Haghghatmehr, (March 2010) "Differential SAR Interferometric

حوضه‌های رسوبی مناطق خشک و نیمه‌خشک، تراکم سفره‌های آب و زیرزمینی در اثر استخراج بی‌رویه از این منابع است. در این مناطق برای رفع نیاز آبی فعالیت‌های کشاورزی، شرب و صنعتی به استخراج از منابع زیرزمینی روی می‌آورند. با کاهش سطح ایستابی آب و به طبع آن کاهش میزان فشار منفذی در اثر نیروی وزن لایه‌های رویی شاهد کاهش ضخامت در لایه‌های آبدار هستیم و خلل و فرج موجود در آن‌ها آرایش و چیدمان جدیدی پیدا می‌کنند اگر این خلج و فرج بر اثر آب که حاصل از بارندگی یا رودخانه‌های موقتی پر شود نتیجه آن کاهش سرعت فرونشست در منطقه است. در حالی که در منطقه نیشابور در سال‌های اخیر نزولات جوی به حدی نبوده است که بتواند خلل و فرج ناشی از برداشت آب زیرزمینی را پر کند و در نتیجه ما شاهد فرونشست در دشت بوده‌ایم.

همچنین یافته‌های تحقیق در این دشت با استفاده از رابطه‌ای که بین مقدار جابه‌جایی و تغییرات سطح چاه پیزومتری به دست آوردیم نشان می‌دهد که به ازای هر سه سانتی‌متر افت سطح چاه پیزومتری ۰/۸۱۶ سانتی‌متر فرونشست در دشت خواهیم داشت.

## منابع

آمیغ‌پی، معصومه، سیاوش عربی، علی طالبی و یحیی جمور، (۱۳۸۸)، «کاربرد تکنیک تداخل سنجی راداری در مطالعات مناطق فرونشست»، ژنومانیک ۸۸، سازمان نقشه‌برداری کل کشور.

- "Radar Interferometry Time Series Analysis of Mashhad Subsidence", *Journal of Indian Society of Remote Sensing (JISRS)*, Vol. 37, Pp. 191-200,.
- Esmaili, M. & M. Motagh,(2009). "Remote Sensing Measurements of Land Subsidence in Kerman Valley, Iran, 2003-2009", *American Geophysical Union, Fall Meeting 2009, Abstract, NH43C-1348.*
- Farr, T. &Kobrick, M., (2000). Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data, *Eos Trans. Am. geophys. Un.*, 81, 583–585.
- 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.
- Hosseini, K. & Ghaemi, F., (2002). "Report of Neyshabour geology map with the scale of 1:100, 000", No. 7762, Geological Survey of Iran.
- Hoffmann, J., Galloway, D.L., Zebker, H.A. &Amelung, F., (2001). Seasonal subsidence and rebound in Las Vegas Valley, Nevada, observed by synthetic aperture radar interferometry, *Water Resour. Res.*, 37(6), 1551–1566 .
- Hoffmann, J., Leaks, S.A., Galloway, D.L. & Wilson, A.M., (2003). *MODELLOW*
- Hou Chin-Shyong., Hu Jyr-Ching., Shen Li-Chung., Wang Jing-Suei., Chen Chien-Liang, Lai Tien-Chang, Huang Chung, Yang Yi-Rong, Chen Rou-Fei Chen, Yue-Gau, Angelier Jacques., (2005). Estimation of subsidence using GPS measurements, and related hazard: the Pingtung Plain, southwestern Taiwan, *Geoscience*. 337. pp, 1184–1193.
- Hua, R. L., Z. Q. Yueb, L. C. Wanga& S. J. Technique for Land Subsidence Monitoring due to Ground Water Exploitation in the Hasthgerd", *Proc. 'Fringe 2009 Workshop', Frascati, Italy, 30 November- 4 December 2009, ESA SP-677.*
- Barends F.B. J., Frits J. J., Brouwer, H .,Frans. Schroder .,(1995).,Proceedings of the Fifth International Symposium onLand Subsidence, held at The Hague, TheNetherlands, No 234, pp,16-20 October
- Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R. &Sansosti, E., (2002). A New algorithmfor surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 40, 2375–2383.
- Chatterjee, R.S. et al., (2006). Subsidence of Kolkata (Calcutta) City, India during the 1990s as observed from space by Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry (D-InSAR) technique, *Remote Sens. Environ.*,102, 176–185
- Chen Chieh-Hung., Wang Chung-Ho., Hsu Ya-Ju., Yu Shui-Beih., Kuo Long- Chen., (2010). Correlation between groundwater level and altitude variations in land subsidence area of the Choshuichi Alluvial Fan, Taiwan , *Engineering Geology*,115, pp 122-131.
- Clanton, U.S., and Amsbury, D.L., (1975). Active faults in southeastern Harris County, Texas: *Environmental Geology*, v. 1, p. 149–154.
- Dehghani, M., M. J. ValadanZoej, I. Entezam, S. Saatchi & A. Shemshaki, "Interferometric Measurements of Ground Surface Subsidence Induced by Overexploitation of Groundwater", *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 4, doi: 10.1117/1.3527999, 2010.
- Dehghani, M., M. J. ValadanZouj, S. Saatchi, J. Biggs, B. Parsons & T. Wright, (2008).



- of Landsubsidence in the City of Toos, Northeast Iran, Using Theintegration of InSAR, Continuous GPS and Preciseleveling, Geophysical Research Abstracts,Vol. 8, 07881.
- Mousavi, S. M., A. Shamsai, M. H. E. Naggari & M. Khamehchian, (2001). A GPS-based Monitoring Program of Land Subsidence due to Groundwater Withdrawal in Iran, Can. J. Civ. Eng., 28(3), Pp. 452- 464.
- Schoeneberger, P.J. and Wysocki, D.A., (1997). Glossary of geology , American Geological Institute, Alexandria, National Soil Survey Center, 4th Ed, p 769. ISBN 0-922152-34-9
- Sharifikia, M., (2006). DEM Generation & Morphology Feature Extraction -Using InSAR, PGD Project Submitted to CSSTEAP,.
- 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, M.J. & Ansari, F., (2005). Preliminary report on Tehran subsidence, Engineering Geology Scientific report on Geological Survey of Iran, available at www.gsi.ir
- Stephen, Subsidence: Dissolution & Human Related Causes., (2011). Natural Disasters, Tulane University, pp 1-10.
- Toufigh, M. M. & B. (1995). Shafbeisabet, Prediction of Future Land Subsidence in Kerman, Iran, due to Groundwater Withdrawal, Proceedings of the Fifth International Symposium on Land Subsidence, The Hague, October 1995, IAHS Publ, No. 234,.
- USGS (United States Geological Survey), (2011). Research and Review Information Located, Assess on
- Wang, (2004). "Review on Current Status and Challenging Issues of Land Subsidence in China,"Elsevier Science-Engineering Geology, Vol. 76, Pp. 65-77,
- Huanyin, Y., R. Hanssen, F. Leijen & P. Marinkovicand, (2005) Land Subsidence Monitoring in City Area by Time Series Interferometric SAR Data, National Natural Science Foundation of China (40301032), KGW Project Report.
- Lanari, R., Lundgren, P., Manzo, M. & Casu, F., (2004).Satellite radar interferometry time series analysis of surface deformation for Los Angeles, California, Geophys.Rese.Lett., 31, doi:10.1029/2004GL021
- Molaienea, M. R., (2009). Modeling Land Subsidence due to Ground Water Abstraction, Ph.D Thesis Summated to Department of CivilEngineering, IIT Delhi -India.
- Motagh, M., Djamour, Y., Walter, T.R., Wetzel, H.U., Zschau, J. & Arabi, S., (2006). Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran: results from InSAR, levelling and GPS, Geophys. J. Int., 168, doi: 10.1111/j.1365-246X.2006.03246.x.
- Motagh, M., T. R. Walter, M. A. Sharifi, E. Fielding, A. Schenk, J. Anderssohn & J. Zschau, (2008). "Land Subsidence in Iran Caused by Widespread Water Reservoir Overexploitation", Geophysical Research Letters, Vol. 35, L 16403, doi: 10.1029/2008GL033814.
- Motagh, M., Y. Djamour, T. R. Walter, H. U. Wetzel, J. Zschau & S. Arabi, (2007). Land Subsidence in Mashhad Valley, Northeast Iran; results from InSAR, Levelling and GPS, Geophys. J. Int., 168(2), Pp. 518-526.
- Motagh, M., Y. Djamour, T. Walter, Z. Moosavi, S. Arabi & J. Zschau, (2006) Mapping the Spatial and Temporal Pattern

Derivation of Coseismic Displacement Fields Using Differential Radar Interferometry: The Landers Earthquake", Journal of Geophysical Research, 99 (B10), Pp. 19617-19634

September:<http://water.usgs.gov/ogw/pubs/fs00165>.

Zebker, H. A., P. A. Rosen, R. M. Goldstein, A. Gabriel & C. L. Werner, (1994). "On the