

پایش میزان فرونشست محدوده شهری پاکدشت با استفاده از

روش تداخل سنجی راداری

عطربین ابراهیمی^۱، افشان قاسمی^۱، حمید گنجائیان^۳

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۶

چکیده

یکی از مخاطراتی که در طی سال‌های اخیر در بسیار از مناطق رخ داده، مخاطرات ناشی از فرونشست است. موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده است تا بسیاری از مناطق آن در معرض این مخاطره باشد، که از جمله این مناطق دشت پاکدشت در دامنه‌های جنوبی البرز است. با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق به ارزیابی میزان فرونشست در محدوده شهری پاکدشت پرداخته شده است. در این تحقیق به منظور ارزیابی فرونشست منطقه از روش تداخل سنجی راداری و تصاویر سنتینل ۱ استفاده شده است. به منظور پردازش اطلاعات نیز از نرم‌افزارهای *SNAP* و *SnapHu* استفاده شده و به این صورت میزان جابجایی عمودی محدوده مطالعاتی از تاریخ ۲۰۱۸/۰۱/۰۸ تا ۲۰۱۹/۰۱/۱۵ محاسبه شده است. نتایج حاصله از تحقیق بیانگر این است که محدوده مطالعاتی به دلیل نداشتن موانع ژئومورفولوژی، در طی سال‌های اخیر با روند توسعه ساخت و سازها و همچنین توسعه فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی مواجه شده و همین امر سبب افزایش بهره‌برداری و افت شدید آب‌های زیرزمینی در محدوده مطالعاتی شده است. افت آب‌های زیرزمینی نیز سبب ایجاد فرونشست در منطقه شده است به طوری که بر اساس نتایج حاصله از روش تداخل سنجی راداری، محدود مطالعاتی در طی دوره زمانی ۱ ساله بین ۱۵ تا ۸۵ میلی‌متر فرونشست داشته است. ارزیابی نقشه جابجایی منطقه بیانگر این است که بیش‌ترین میزان فرونشست مربوط به مناطق غربی و کم‌ترین میزان آن نیز مربوط به مناطق جنوب شرقی محدوده شهری پاکدشت بوده است.

کلمات کلیدی: فرونشست، تداخل سنجی راداری، *SNAP*، پاکدشت

یکی از مخاطراتی که در طی سال‌های اخیر بسیاری از مناطق از جمله مناطق خشک و کم باران با آن مواجه بوده‌اند، مخاطرات ناشی از فرونشست است (پاچکو، ۲۰۰۶: ۱۵۱). فرونشست پدیده‌ای مورفولوژیکی است که تحت تاثیر حرکت فرورو زمین پدید می‌آید و علت رخداد این پدیده می‌تواند عوامل طبیعی و یا انسانی باشد (شریفی‌کیا، ۱۳۹۱: ۵۵). پدیده فرونشست که ممکن است به صورت نشست تدریجی یا ناگهانی در سطح زمین ایجاد شود، بطور کلی ناشی از عوامل عمده‌ای همچون انحلال تشکیلات زیرسطحی، تراکم رسوبات و یا افت سطح سیالات زیرزمینی و همچنین عوامل تکتونیکی می‌باشد (فتح الهی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۴؛ چن^۲ و همکاران، ۲۰۱۶: ۲). امروزه فرونشست به عنوان یکی از چالش‌های پیش‌روی بسیاری از شهرهای دنیا محسوب می‌شود، به طوری که بیش از ۱۵۰ شهر بزرگ در دنیا با این مسئله مواجه هستند (هیو^۳؛ ۲۰۰۴: ۶۶). فرونشست زمین با مخاطرات زیادی همراه است که از جمله آن‌ها می‌توان به ایجاد فروچاله‌ها، شکست و ترک ساختمان‌ها، کج شدگی تاسیسات مرتفع، آسیب دیدگی تاسیسات کشاورزی، شکستگی و انهدام پل‌ها و راه‌ها و شبکه معابر شهری و ... اشاره کرد (شرفی‌کیا، ۱۳۹۱: ۵۶). این پدیده به همراه پیامدهای زیست محیطی آن در اکثر دشت‌های دنیا به چشم می‌خورد (گالوی و همکاران^۴؛ ۱۹۹۸؛ پولند و دیویس^۵؛ ۱۹۶۹: ۱۸۸). در ایران نیز فرونشست سابقه طولانی دارد. در واقع با توجه به وضعیت نیمه خشک بسیاری از مناطق ایران و نیاز به منابع آبی، میزان بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی بسیار بیشتر از میزان تعذیه آن‌هاست، به همین دلیل تحت تاثیر افت سطح آب‌های زیرزمینی، بسیاری از دشت‌های ایران با فرونشست مواجه هستند. در این میان، یکی از مناطقی که با مخاطره فرونشست مواجه است، دشت پاکدشت در شرق تهران است که با توجه به اهمیت موضوع در این تحقیق به ارزیابی میزان فرونشست آن پرداخته شده است.

با توجه به موارد مذکور، تغییرات سطح زمین به میزان قابل توجهی باعث افزایش روند بلایای طبیعی می‌شوند که اثر این بلایا باعث خسارت شدید بر عوارض سطح زمین می‌شود و با بهره‌گیری از تکنیک‌های

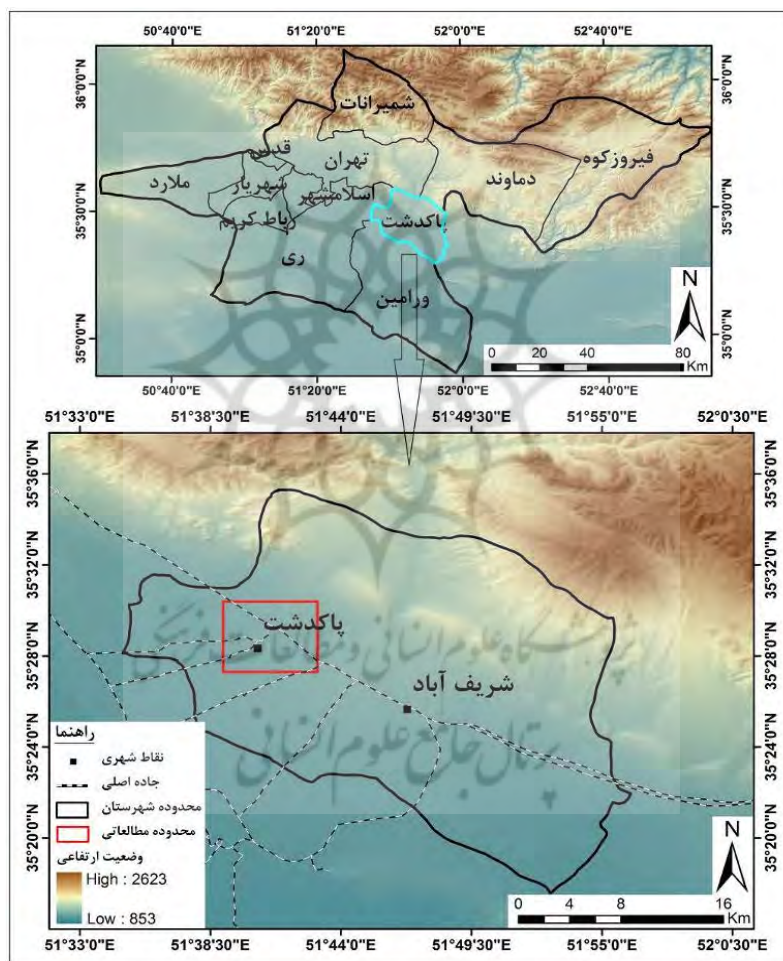
-
- 1 . Pacheco
 - 2 . Chen
 - 3 . Hua
 - 4 . Galloway et al
 - 5 . Poland & Davis

راداری که به منظور شناسایی و هشدار و کاهش خسارات مورد استفاده قرار می‌گیرد (ماسونت و فیگل؛ ۱۹۹۸: ۴۴۲؛ اوبپیت و همکاران،^۶ ۲۰۱۱: ۲۹۷۰)، می‌توان خسارات ناشی از آن را کاهش داد. در زمینه استفاده از تکنیک‌های راداری به منظور شناسایی تغییرات سطح زمین، تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به معتق^۷ و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد که فرونشست زمین در دره‌شهر مشهد را با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و تصاویر *Envisat*، بین ۲۸ تا ۳۰ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. دهقانی^۸ و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از روش تداخل سنجی راداری میزان فرونشست دشت نیشابور را ۱۹ میلی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. کانونوا^۹ و همکاران (۲۰۱۲) میزان فرونشست زمین را در سواحل ایونیا^{۱۰} در جزیره سیسیل ایتالیا را بین ۵ تا ۱۸ میلی‌متر برآورد کرده‌اند. هو^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از روش *PS*، میزان فرونشست زمین در هانوی^{۱۲} ویتنام را ۴۰ میلی‌متر در سال محاسبه کرده‌اند. حقیقت مهر و همکاران (۱۳۸۹) فرونشست دشت هشتگرد را با استفاده از روش تداخل سنجی راداری حدود ۳۵ میلی‌متر در ماه محاسبه کرده‌اند. کریمی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و تصاویر *POLSAR*، فرونشست منطقه ۱۸ تهران را در طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ بین ۱ تا ۲۵ سانتی‌متر فرونشست برآورد کرده‌اند. شریفی‌کیا و همکاران (۱۳۹۴) فرونشست دشت دامغان را با بهره‌گیری از داده‌های راداری دو سنجنده *ASAR* و *PALSAR* و تکنیک تداخل سنجی راداری، ۱۴ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. روزبان و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (*DInSAR*) و تصاویر سنتینل ۱، میزان فرونشست سالانه دشت رفسنجان را ۲۸ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. صفاری و جعفری (۱۳۹۵) فرونشست زمین در دشت کرج - شهریار را با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و تصاویر راداری ماهواره *Envisat*، ۱۳۶ میلی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. مقصودی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ و تکنیک تداخل سنجی راداری، میزان فرونشست غرب تهران را ۱۵ سانتی‌متر برآورد کرده‌اند. با توجه به موارد مذکور، هدف از تحقیق حاضر

6 . *Massonnet & Feigl*
 7 . *Aobpaet*
 8 . *Motagh*
 9 . *Dehghani*
 1 . *Canova* 0
 1 . *Ionian* 1
 1 . *Ho* 2
 1 . *Hanoi* 3

بررسی میزان فرونشست شهر پاکدشت با استفاده روش تداخل سنجی راداری و تصاویر سنتینل ۱ از تاریخ ۲۰۱۸/۰۱/۰۸ تا تاریخ ۲۰۱۹/۰۱/۱۵ می‌باشد.

محدوده مطالعاتی: محدوده مطالعاتی منطبق بر محدوده شهری و حاشیه شهری پاکدشت است. این محدوده از نظر تقسیمات سیاسی در شرق استان تهران و در شهرستان پاکدشت قرار دارد (شکل ۱). از نظر موقعیت زمین شناسی در دامنه‌های جنوبی البرز قرار دارد و از نظر ژئومورفولوژی در واحد دشت قرار گرفته است. این محدوده با توجه به موقعیت جغرافیایی که دارد، از نظر وضعیت آب و هوایی نیز دارای زمستان‌های سرد و نیمه مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک است.



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

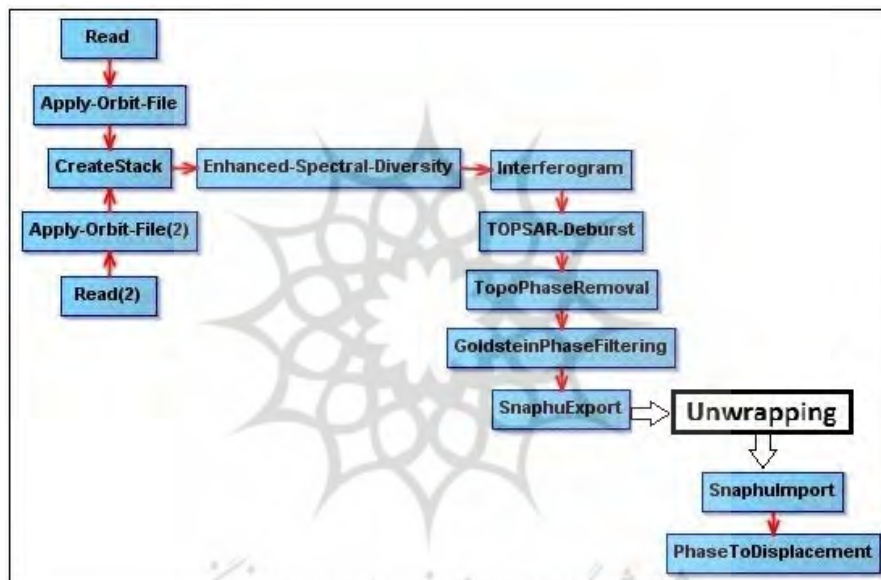
با توجه به اینکه هدف از تحقیق حاضر ارزیابی میزان فرونشست شهر پاکدشت در طی دوره زمانی ۱ ساله است، از تصاویر ماهواره سنتینل ۱^۴ استفاده شده است. ماهواره‌های سنتینل شامل دو ماهواره هستند که دارای مدار قطبی بوده و عملیات تصویربرداری را در روز و شب و بدون تأثیرپذیری از شرایط جوی در محدوده باند C با طول موج ۵/۶ سانتی‌متر انجام می‌دهند. در جدول ۱ مشخصات تصاویر نشان داده شده است. انتخاب تصاویر بر مبنای هدف تحقیق و همچنین میزان *Baseline* تصاویر نسبت به هم بوده است. جهت حرکت ماهواره در هر دو تصویر با توجه به اینکه خورشید آهنگ هستند، نزولی و از قطب شمال به طرف قطب جنوب تصویر برداری شده است. برای هر دو تصویر نیز از قطبش *VV* استفاده گردیده است (USGIS, 2011).

جدول ۱: مشخصات تصاویر مورد استفاده

ماهواره	تاریخ	نوع تصویر	Pass	پلاریزیشن	دوره زمانی
سنتینل ۱	۲۰۱۸/۰۱/۰۸	SLC	Descending	VV	۰
سنتینل ۱	۲۰۱۹/۰۱/۱۵	SLC	Descending	VV	۳۷۲

در این تحقیق، پس از تهیه تصاویر، با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، میزان جابجایی عمودی منطقه محاسبه شده است. به منظور انجام تداخل سنجی راداری از نرم افزار *SNAP 5.0* استفاده شده است. این نرم افزار برای کار با داده‌های *Sentinel* طراحی شده است. مراحل انجام تداخل سنجی در شکل ۲ نشان داده شده است که بر اساس آن ابتدا محدوده مورد نظر از تصاویر اصلی به خاطر سرعت در پردازش تصاویر جدا شده است. پس از *split* (برش دادن تصاویر) کردن به منظور تصحیح مداری تصویر، فرایند *Apply-orbit-file* بر روی آن انجام شده است. سپس از عملگر *Back Geocoding* استفاده شده است. این عملگر دو تصاویر جدا شده منطقه از دو بازه زمانی مختلف را با زیرنوار یکسان را با استفاده از بردارهای دو فرآورده و یک مدل رقومی ارتفاع (*DEM*) هم ثبت می‌کند. در ادامه به منظور استفاده از یک آزمون و برد ثابت برای کل تصاویر از عملگر *Enhanced Spectral Diversity*

استفاده شده است. پس از انجام این تصحیحات با استفاده از اختلاف فازها اینترفروگرام منطقه به دست آمده است. تصاویر سنتینل از ۳ قسمت $IW1$ ، $IW2$ و $IW3$ تشکیل شده است که هر کدام از اینها نیز دارای ۸ تا ۱۰ براست هستند. محدوده مطالعاتی در تصاویر مورد استفاده در قسمت $IW2$ و براستهای ۳ تا ۷ قرار گرفته‌اند، بنابراین با توجه به اینکه حد فاصل براستها کمی فضای سیاه رنگ وجود دارد از عملگر *TOPS Deburst* به منظور ادغام ابتدا و انتهای هر کدام از براستها و حذف فضاهای خالی استفاده شده است. سپس به منظور حذف اثر عامل توپوگرافی بر نتایج تداخل سنجی از عملگر *Goldstein Topographic Phase Removal* و همچنین به منظور افزایش کیفیت تصویر از عملگر *Goldstein Phase Filtering* استفاده شده است.



شکل ۲: مراحل انجام تداخل سنجی راداری

پس از انجام مراحل تداخل سنجی برای تبدیل اختلاف فازها به جابجایی عمودی از یک نرم‌افزار واسطه به نام *Snaphu* جهت بازکردن فازها استفاده شده است. برای این منظور پس از انجام مراحل تداخل سنجی راداری از اینترفروگرام تهیه شده با استفاده از عملگر *Snaphu Export* خروجی گرفته شده است. سپس فایل خروجی گرفته شده به منظور باز کردن فازها وارد نرم‌افزار *Snaphu*^{۱۶} شده است. باز کردن فاز دو بعدی فرایند بازپایی داده‌های فاز یکنواخت از یک آرایه دو بعدی مقادیر فاز (*unwrapping*)

1 . <http://step.esa.int/main/third-party-plugins2/>

snaphu/

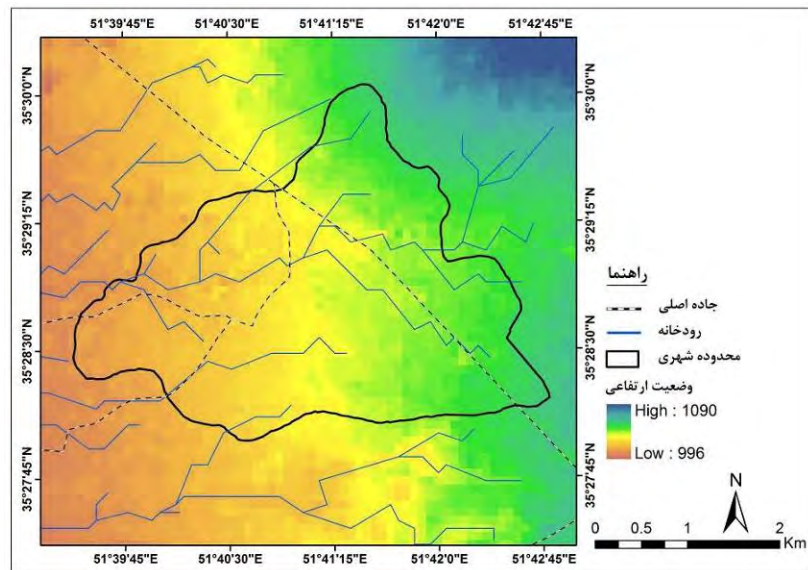
شناخته شده تنها خارج قسمت رادیان π^2 است. در مرحله بعدی فازهای باز شده وارد نرم‌افزار *Snap* شده و با استفاده از رابطه ۱ اختلاف فاز به جابجایی عمودی در سیستم متریک تبدیل شده است. در این رابطه، جابجایی عمودی با استفاده از فاز باز شده (Φ_{unw}) در طول موج متوسط تصویر (λ) تقسیم بر منفی چهار در عدد پی در کسینوس زاویه تابش تصویر به دست می‌آید.

$$Vert_Displ = \frac{\Phi_{unw} * \lambda}{-4\pi * \cos\theta_{inc}}$$

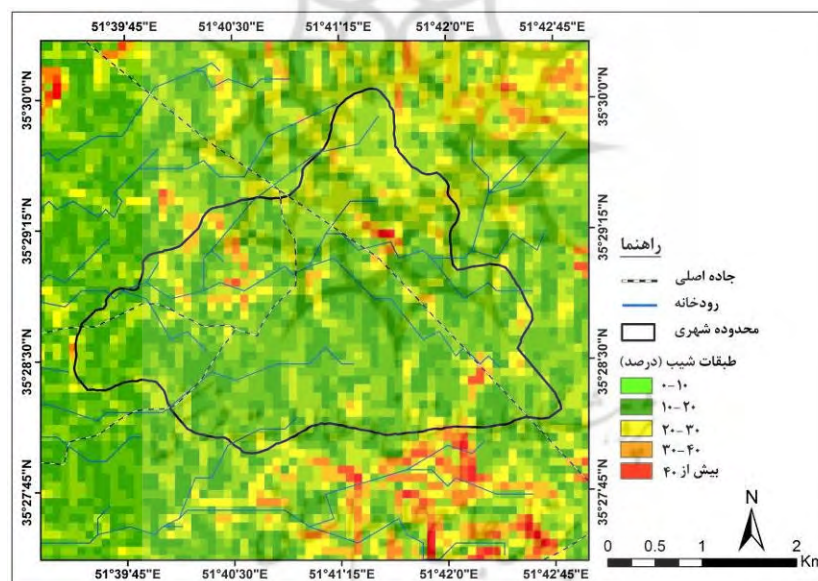
رابطه ۱: تبدیل اختلاف فاز به جابجایی عمودی

بحث و نتایج

-بررسی وضعیت ژئومورفولوژی محدوده مطالعاتی: محدوده مطالعاتی در دشت‌های واقع در دامنه‌های جنوبی البرز واقع شده است. این محدوده به دلیل قرارگیری در واحد دشت، دارای اختلاف ارتفاع کمی است. در واقع، این محدوده بین دامنه ارتفاعی ۹۹۶ تا ۱۰۹۰ متر از سطح دریا قرار دارد و میزان ارتفاع از مناطق شمالی به سمت مناطق جنوب کاهش می‌یابد (شکل ۳). همچنین با توجه به اختلاف ارتفاع کمی که دارد، این محدوده دارای شیب کمی است به طوری که بیش‌تر محدوده خصا صا محدوده شهری پاکدشت دارای شیب کم‌تر از ۱۰ درصد هستند (شکل ۴). با توجه به موارد مذکور، عوامل ژئومورفولوژی مانعی جهت توسعه فیزیکی نواحی شهری و همچنین توسعه فعالیت‌های کشاورزی ایجاد نکرده است و همین عامل سبب توسعه ساخت و سازها و فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی شده است. توسعه ساخت و سازها و فعالیت‌های کشاورزی در طی سال‌های اخیر، سبب بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی شده است که در نتیجه این بهره‌برداری‌ها، محدوده مطالعاتی با افت شدید سطح آب زیرزمینی مواجه شده است.



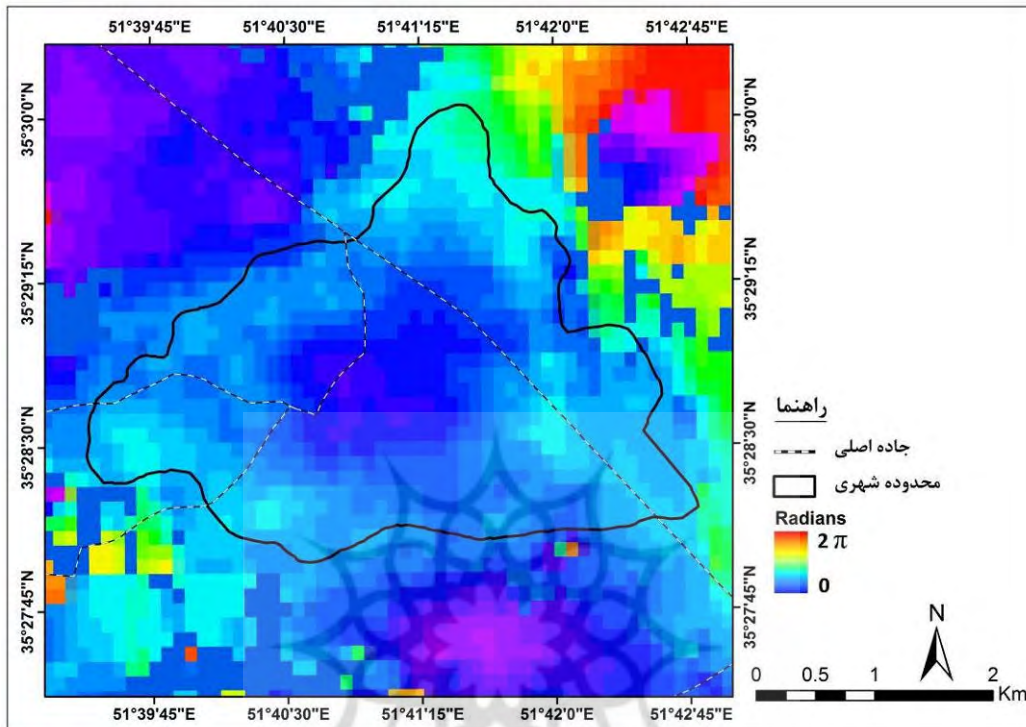
شکل ۳: نقشه وضعیت ارتفاعی محدوده مطالعاتی



شکل ۴: نقشه طبقات شیب محدوده مطالعاتی

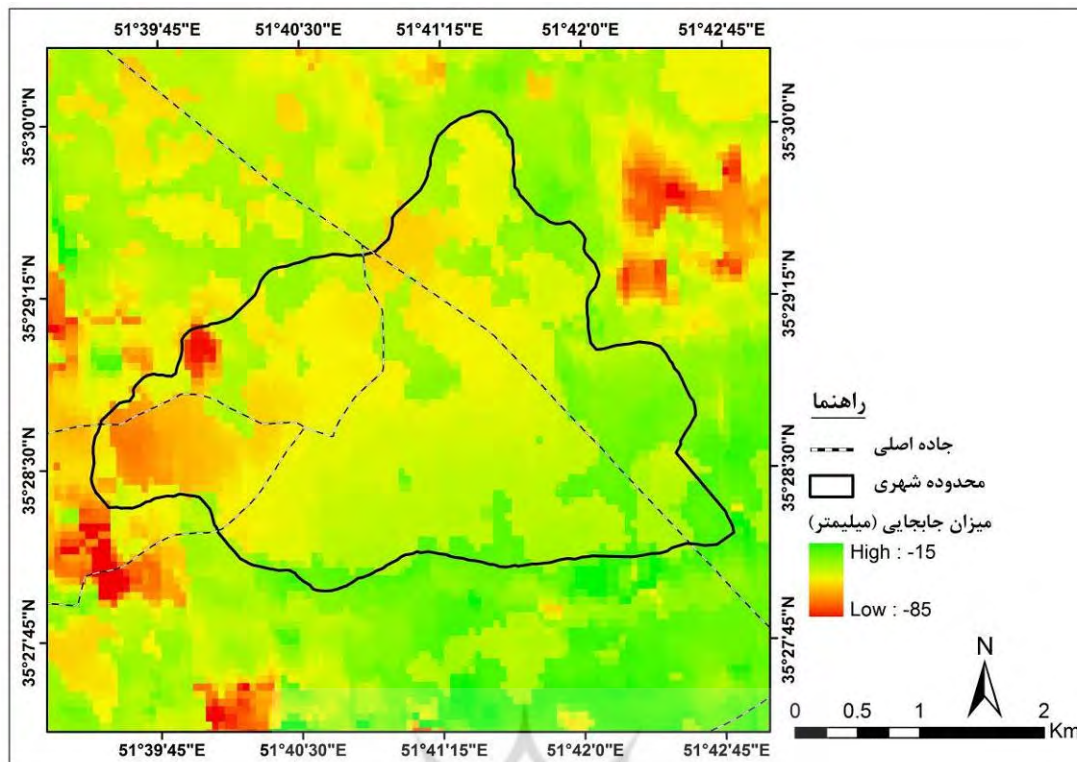
محاسبه میزان جابجایی عمودی منطقه: با توجه به اهمیت فرونشست و تاثیرگذاری آن بر عوامل مختلف، در این تحقیق به تعیین میزان فرونشست شهر و محدوده حاشیه شهری پاکدشت در بازه زمانی یک ساله (از تاریخ ۲۰۱۸/۰۱/۰۸ تا ۲۰۱۹/۰۱/۱۵) پرداخته شده است. برای این منظور ابتدا اینترفروگرام منطقه تهیه شده است. اینترفروگرام از حاصلضرب یک تصویر راداری در مختلط مزدوج تصویر دوم به دست می‌آید. پس از تشکیل اینترفروگرام با استفاده از عملگر *TOPSAR-Deburst* فاصله بین نوارهای تصویربرداری برداشته

شده است و سپس به منظور حذف تاثیر عوامل توپوگرافی، این عوامل حذف و در نهایت با اعمال فیلترینگ کیفیت تصاویر افزایش یافته است (شکل ۵).



شکل ۵: نقشه اینترفروگرام اصلاح شده محدوده مطالعاتی از تاریخ ۲۰۱۸/۰۱/۰۸ تا ۲۰۱۹/۰۱/۱۵

در مرحله بعدی از یک نرم افزار واسطه به نام *Snaphu* جهت بازکردن فازها استفاده شده است و فازهای باز شده وارد نرم افزار *Snap* شده و با استفاده از رابطه ۱ اختلاف فاز به جابه جایی عمودی در سیستم متریک تبدیل شده است و در نهایت نقشه نهایی تهیه شده است (شکل ۶). بر اساس نقشه تهیه شده، محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۱ ساله بین ۱۵ تا ۸۵ میلی متر فرونشست داشته است که با توجه به نقشه مذکور، بیشترین میزان فرونشست مربوط به مناطق غربی و کمترین میزان آن نیز مربوط به مناطق جنوب شرقی محدوده شهری پاکدشت بوده است.



شکل ۶: نقشه میزان فرونشست محدوده مطالعاتی از تاریخ ۲۰۱۸/۰۱/۰۸ تا ۲۰۱۹/۰۱/۱۵

نتیجه گیری

در طی سال‌های اخیر، مخاطره فرونشست به عنوان یکی از چالش‌های پیش‌روی برنامه‌ریزان مطرح شده است. موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده است تا بیش‌تر دشت‌های آن، مستعد وقوع فرونشست باشد. یکی از مناطقی که در طی سال‌های اخیر با این مخاطره مواجه شده است، دشت پاکدشت است. با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق با استفاده از روش تداخل سنجی راداری به ارزیابی فرونشست شهر و حاشیه شهری پاکدشت در طی دوره زمانی ۱ ساله (از تاریخ ۲۰۱۸/۰۱/۰۸ تا ۲۰۱۹/۰۱/۱۵) پرداخته شده است. نتایج حاصله از تداخل سنجی راداری بیانگر این است که محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۱ ساله بین ۱۵ تا ۸۵ میلی‌متر فرونشست داشته است. ارزیابی نقشه نهایی تهیه شده بیانگر این است که بیش‌ترین میزان فرونشست مربوط به مناطق غربی و کم‌ترین میزان آن نیز مربوط به مناطق جنوب شرقی محدوده شهری پاکدشت بوده است. نتایج حاصل از ارزیابی وضعیت ژئومورفولوژی منطقه نیز بیانگر این است که محدوده مطالعاتی دارای اختلاف ارتفاع و شیب کمی است و در واقع در طی سال‌های اخیر به

دلیل نداشتن موانع ژئومورفولوژی، با توسعه ساخت وسازها و فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی همراه بوده است. توسعه فعالیت‌های مذکور سبب بهره‌برداری بیش از حد آب‌های زیرزمینی شده است و همین امر سبب شده تا در طی سال‌های اخیر این محدوده با افت شدید آب‌های زیرزمینی مواجه باشد. افت شدید آب‌های زیرزمینی نیز به طور مستقیم سبب ایجاد فرونشست در منطقه شده است. مجموع نتایج حاصله بیانگر این است که فرونشست رخ داده در محدوده مطالعاتی بیش‌تر تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی بوده است و در صورت مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح می‌توان از روند توسعه فرونشست در منطقه جلوگیری کرد.

منابع

۱. حقیقت‌مهر، پریسا؛ ولدان زوجی، محمدجواد؛ صاحبی، محمودرضا؛ دهقانی، مریم (۱۳۸۹)، اندازه-گیری فرونشست دشت هشتگرد ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری، همایش ژئوماتیک، تهران، سازمان نقشه برداری کشور
۲. روزیان، علی؛ اسماعیلی، علی؛ معتق، مهدی (۱۳۹۵)، بررسی فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (*DInSAR*) و با به کارگیری تصاویر سنجنده *SENTINEL*، دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
۳. شریفی‌کیا، محمد (۱۳۹۱)، تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل سنجی راداری (*D-INSAR*) در دشت نوق-بهرمان، مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۶، شماره ۳، صص ۵۵-۷۷
۴. شریفی‌کیا، محمد؛ افضل‌ی، عباسعلی؛ شایان، سیاوش (۱۳۹۴)، استخراج و ارزیابی اثرات پدیده‌های ژئومورفولوژیک ناشی از فرونشست در دشت دامغان، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۴، شماره ۲، صص ۶۰-۷۴
۵. صفاری، امیر؛ جعفری، فرهاد (۱۳۹۵)، سنجش مقدار و پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی: دشت کرج - شهریار)، فصلنامه علمی - پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران، سال ۴، شماره ۴۸، صص ۱۷۵-۱۸۸

۶. فتح‌الهی، نرگس؛ آخوندزاده هنزائی، مهدی؛ بحرودی، عباس (۱۳۹۶)، بررسی فرونشست زمین در اثر استخراج مواد نفتی با استفاده از روش تداخل سنجی رادار، مجله سپهر، دوره ۲۷، شماره ۱۰۵، صص ۲۳-۳۴
۷. کریمی، مرتضی؛ قنبری، علی‌اصغر؛ امیری، شهرام (۱۳۹۲)، سنجش خطرپذیری سکونتگاه‌های شهری از پدیده فرونشست زمین (مطالعه موردی: منطقه ۱۸ شهر تهران)، مجله برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)، سال ۳، شماره ۱، صص ۳۷-۵۶
۸. مقصودی، یاسر؛ امانی، رضا؛ احمدی، حسن (۱۳۹۸)، بررسی رفتار فرونشست زمین در منطقه غرب تهران با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل ۱ و تکنیک تداخل‌سنجی راداری مبتنی بر پراکنش‌گرهای دائمی، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال ۱۵، شماره ۱، صص ۲۹۹-۳۱۳
9. Aobpaet, A., Miguel, C. C., Andrew, H., Itthi, T. 2013. *InSAR timeseries analysis of land subsidence in Bangkok, Thailand, Int. J. Remote Sens.*, 34 2969-2982.
10. Canova, F., Tolomei, C., Salvi, S., Toscani, G., and Seno, S. 2012. *Land subsidence along the ionian coast of SE Sicily (Italy), detection and analysis via Small Baseline Subset (SBAS) multitemporal differential SAR interferometry. Earth Surf. Process. Landforms* 37, 273–286. doi: 10.1002/esp.2238
11. Chen, M., Tomás, R., Li, Zh., Motagh, M., Li, T., Hu, L., Gong, H., Li, X., Yu, J., Gong, X. 2016. *Imaging Land Subsidence Induced by Groundwater Extraction in Beijing (China) Using Satellite Radar Interferometry, Remote Sens*, 8(6), 468
12. Dehghani, M., Valadan Zoej, M. J., Entezam, I., Mansourian, A., Saatchi. S. 2009. *InSAR monitoring of progressive land subsidence in Neyshabour, northeast Iran, GJL*, 178, 47-56.
13. 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.*, vol. 34, pp. 2573–2585
14. Ho, D. T. D., Tran, C. Q., Nguyen, A. D. and Le, T. T. 2016. *Measuring ground subsidence in Hanoi city by radar interferometry. Science and Technology Development Journal*, 19 (2): 122-129.
15. Hua, R. L., Yueb, Z. Q., Wanga, L. C., Wang, S. J. 2004. *Review on Current Status and Challenging Issues of Land Subsidence in China, Elsevier Science-Engineering Geology*, Vol. 76, Pp. 65-77
16. Massonnet, D., Feigl, K. L. 1998. *Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. Reviews of Geophysics*, 36(4): 441-500.

17. Motagh, M., et al. 2007. *Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran: results from InSAR, levelling and GPS. Geophysical Journal International*, 168(2): p. 518-526
18. Pacheco, J., Jorge, A., Eduardo, R., Moises, A., Vsevolod, Y., Gil, O. 2006. *Delimitation of ground failure zones due to land susidence usind gravity data and finite element modelling in the queretaro valley, Mexico. Engineering Geology*, 84.
19. Poland, J.F., Davis, G. H. 1969. *Land subsidence due to withdrawal of fluids, Rev. Eng. Geol.*, vol. 2, pp. 187-269
20. USGS (United States Geological Survey), *Research and Review Information Located, Assess on September 2011: <http://water.usgs.gov/ogw/pubs/fs00165>.*

