

## بررسی فرونشست آبخوان دشت نورآباد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری

نجمه شفیعی - دانشجو دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری.  
لیلا گلی مختاری\* - استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری.  
ابوالقاسم امیر احمدی - استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری.  
رحمان زندی - استادیار سنجش از دور و GIS، دانشگاه حکیم سبزواری.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۲۸      تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۱۱/۱۹

### چکیده

فرونشست زمین در طی سال‌های گذشته به دلایل مختلف از جمله رشد بی‌رویه جمعیت، برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی به همراه عوامل دیگر سبب بروز مشکلات و معضلات فراوان به زمین‌های کشاورزی، ساختمان‌های مسکونی، جاده‌ها، خطوط انتقال نیرو و ... شده است. این پدیده در چند سال گذشته آسیب‌های فراوان به دشت‌های استان فارس به خصوص ساختمان‌های مسکونی و زمین‌های کشاورزی وارد نموده است. پایش میزان نرخ فرونشست و نیز پرداختن به علت یا علل تاثیر گذار آن جهت کنترل و مدیریت خطر دارای اهمیت است. در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت فرونشست در دشت نورآباد از داده‌های سنتینل 1A در بازه زمانی (۲۰۱۵-۲۰۱۸) و روش تداخل سنجی راداری 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 می‌باشد در محیط نرم افزار (SNAP) استفاده شد. جهت تهیه نقشه‌های افت و سطح آب زیرزمینی در سال‌های حداقل ۱۳۸۲ و حداکثر ۱۳۹۴ از روش درونبایی IDW استفاده شد و سپس میان دو پارامتر افت آب زیرزمینی و لایه فرونشست همبستگی گرفته شد و نتایج حاصل از همبستگی ضریب  $R^2$  برابر ۷۲٪ و سطح معناداری ۹۹٪ به دست آمد و نشان داد که ارتباط مستقیمی بین افت و میزان فرونشست وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد که، در محدوده دشت در بازه زمانی ۱۲ ساله بیشترین میزان افت آب زیرزمینی حدود ۲۲- متر در بخش‌های شرقی، جنوبی و مرکزی آبخوان واقع در چاه‌ها پیژومتري اسکان عشایر، خومه زار، شهرک صنعتی، تل مشکی و شور می‌باشد. نقشه‌های حاصل از فرونشست نشان داد که نرخ نشست در هر سال میانگین ۴ سانتی‌متر و طی بازه زمانی ۴ ساله حدود ۱۶+۰/۰ متر (۱۶ سانتی‌متر) می‌باشد.

واژگان کلیدی: فرونشست، تداخل سنجی راداری، افت آب زیرزمینی، SNAP، آبخوان دشت نورآباد.

## مقدمه

طبق تعریف سازمان زمین شناسی ایالت آمریکا، پدیده فرونشست زمین شامل فروریزش یا نشست رو به پایین سطح زمین است که می تواند دارای بردار جابه جایی اندکی باشد (باتس و جکسون<sup>۱</sup>، ۱۹۸۰، ۷۸). فرونشست زمین یک پدیده زمین شناسی است که موجب پایین رفتن آرام و افقی سطح زمین می شود (هیو و همکاران<sup>۲</sup> ۲۰۰۹، ۲۶۹).

پدیده فرونشست به علل گوناگونی از جمله عوامل طبیعی مانند زلزله، آتشفشان، فعالیت های گسلی، فرونشست ناشی از بالا آمدن سطح دریا، انحلال در سنگ، اکسایش، فشردگی رسوبات آلی، توسعه چاله در زمین های کارستی، یا ناشی از فعالیت های انسانی، شامل برداشت بی رویه سیالات از زمین نظیر آب نفت و گاز روی می دهد (اچ گو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۸). در سال های اخیر در ایران هم با افزایش میزان فرونشست به پی ساختمان ها، باند فرودگاه ها، پل ها، تونل ها، خیابان ها، خطوط حمل و نقل ریلی و جاده ای، تاسیسات کشاورزی (تاسیسات منصوب در چاه های بهره برداری و شبکه آبیاری)، تغییر در مسیر و جهت حرکت رودخانه ها و کانال ها و حاصلخیزی زمین های کشاورزی (با فشردن شدن و از بین رفتن تخلخل موجود در خاک) آسیب وارد شده است و نیز سبب تخریب در الگوی جریان هیدرولوژی، کج شدگی و انحراف دکل های برق و ... می شود. در این میان سازه هایی که وسعت زیادتر و ارتفاع بیشتری دارند آسیب پذیری بیشتری دارند به عنوان نمونه خطوط راه آهن، سدهای خاکی، کانال ها، دکل های برق و مخابراتی از آسیب پذیری زیادتری برخوردار هستند. پدیده فرونشست با ایجاد تغییر در وضعیت توپوگرافی منطقه می تواند سبب بروز تغییرات چشمگیری در هیدرولوژی منطقه شود، به عنوان مثال، در این مناطق ممکن است سیلاب های عظیم و مخربی به وقوع بپیوندد در حالی که قبل از ایجاد فرونشست از هیچ سابقه ای از وقوع سیلاب برخوردار نبوده است. این پدیده می تواند با تغییر در وضعیت هیدروژئولوژی منطقه، نظیر جهت و سرعت جریان آب زیر زمینی و بیلان آب زیر زمینی ایجاد شود. استان فارس از جمله استان های پهناور واقع در جنوب کشور که چند سالی است با پدیده فرونشست زمین مواجه شده است، به طوری که ۷۰ درصد از دشت هایش در معرض این پدیده قرار گرفته است (سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۹۶). ظهور این پدیده با خشک شدن دریاچه های موجود در این استان از جمله پریشان، بختگان، کافتیر، فروچاله های متعدد در سطح زمین تشدید شده است طبق گفته های مدیر کل سازمان زمین شناسی کل کشور اکنون طبق جدیدترین بررسی ها، استان فارس با نشستی سالانه به میزان ۵۶ سانتی متر، به ثبت رسانده است.

در این پژوهش به بررسی وضعیت فرونشست در دشت نورآباد پرداخته شد. این دشت در منطقه نسبتا کوهستانی در دامنه های جنوبی زاگرس چین خورده واقع شده بخش های مرکزی آن را آبخوان تشکیل داده و بخش های جنوبی، غربی و شرقی آن را کوهستان در بر گرفته است. نورآباد به عنوان قطب کشاورزی بروج در استان فارس یکی از نقاط مهم تمرکز جمعیتی استان فارس محسوب می گردد که در این پژوهش به عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب شده است. در سال های اخیر میزان ترک ها در زمین های کشاورزی و ساختمان های مسکونی، خیابان ها و زیرساخت ها به فور نمایان شده است به گونه ای که در بخش کشاورزی سبب تحلیل و از بین رفتن بخشی از زمین ها شده و در بخش مسکونی سبب ریزش های پیاپی در ساختمان ها گردیده و خسارات های جبران ناپذیری را در بر گرفته است. ترک ها در سطح خیابان ها هزینه های بهسازی را در سطح شهر چندین برابر نموده افزایش میزان سیلاب ها با خشک شدن قنات ها و تبدیل مسیر قنات ها به جدول های هدایت آب که زمانی به عنوان یک عامل مثبت در جلوگیری از سیلاب بوده امروزه به یک خطر جبران ناپذیر در سطح مناطق شهری تبدیل شده است.

<sup>1</sup> Bats & Jacson

<sup>2</sup> -Hu

<sup>3</sup> -Ahgo

کاتن<sup>۱</sup> و همکاران، (۲۰۰۱) در تحقیقی از داده های ماهواره ای برای اندازه گیری فرونشست زمین در مناطق ساحلی استان تیانبجیان در چین استفاده کردند. این مطالعه با استفاده از ۲۵ تصویر راداری انجام شد و اندازه گیری تغییر شکل های زمینی در بازه زمانی چندین ماهه با دقت زیر ۱ سانتی متر را فراهم آورد.

لارسون و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۱) در پژوهشی که بر روی شهر لس بانوس-کلمن در دره سن ژواکین در کالیفرنیا آمریکا انجام داد مشخص کرد که نشست زمین در این منطقه مهم کشاورزی، خسارت مهمی را به بار آورده است. افت ۸/۸ متری تا سال ۱۹۶۹ موجب شد آب سطحی از حوضه های مجاور انتقال داده تا تقاضا برای آب زیرزمینی کاهش یابد که این امر سبب گردیده حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد از میزان نشست زمین کاسته شود. اما در خشکسالی های سال ها ۷۶-۷۷ و ۹۰-۹۴ به دلیل برداشت دوباره از آب های زیرزمینی، میزان نشست در این سال ها افزایش یافت، به طوری که تا سال ۱۹۹۱ با افت ۵۰ متری سطح آب، فرونشستی ده متری رخ داد.

پوترا<sup>۳</sup> (۲۰۱۱) به ارزیابی ریسک فرونشست زمین در مناطق رانگ کوپ اندونزی پرداخته است و ایشان در این تحقیق نقشه ریسک فرونشست را بر اساس پنج پارامتر شیب، لیتولوژی، پستی و بلندی، فاصله تا ساختارهای دره مانند (فروچاله) و کاربری اراضی توسعه داده است. نتایج نشان داد که بالاترین ریسک در نزدیکی مناطق فروچاله ها در تطابق با اطلاعات میدانی می باشد. راسپینی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۴)، پدیده فرونشست را در دلتای شمال یونان با استفاده از مدل سازی ژئوتکنیک و تداخل سنجی مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش با استفاده از ۴۲ تصویر راداری SAR (آژانس هوایی اروپایی) در سال های ۲۰۰۱-۱۹۹۵ به روش تداخل سنجی PSI به بررسی الگو های مکانی و زمانی تغییر شکل زمین در شمال یونان در محل دلتای دشت تسلاونکی پرداخته که منطقه ای با سابقه فرونشست در اثر فشردگی سیستم آبخوان است. با استفاده از تجزیه و تحلیل PSI و با توجه به افت زیاد آب زیرزمینی و سرعت جابجایی آب از جنوب غرب و جنوب، نرخ فرونشست را در حدود ۴/۵ سانتی متر در سال برای این منطقه طی دوره شش ساله ارزیابی کرده است. این نرخ با توجه به مدل دوبعدی بر اساس اطلاعات PSI اندازه گیری شد. فونت و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۵) در مقاله خود تحت عنوان دستیابی به آب و فرونشست زمین در دره سنترال کالیفرنیا، به نقش افزایش برداشت آب زیرزمینی در اثر کشاورزی پرداخته است. در این منطقه که یکی از قطب های کشاورزی آمریکا است کشاورزان برای آبیاری زمین های خود تا قبل از خشکسالی ۲۰۰۷ بیشتر از آب های سطحی استفاده می کرده اما بعد از آن پمپاژ بیشتری از آب های زیرزمینی به عمل آورده اند. به طوری که ۲/۳ دره کلا با آب زیرزمینی آبیاری می شد، این پمپاژ بیش از حد موجب افت سطح آب شده و در نتیجه بیلان سیستم آبخوان بهم خورده و موجب فرونشینی شده است. مدل های هیدرولوژیکی استفاده شده در ارزیابی مدیریت سطح آب زیرزمینی در این منطقه نیمه خشک نشان داد که تداوم خشکسالی بعد از سال ۲۰۰۷ می توانست موجب فرونشینی در حد ۳-۱/۵ سانتی متر در سمت جنوب دره شود.

آبیدین و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۵) اثرات زیست محیطی فرونشست را در مناطق شهری اندونزی بررسی کردند. و با تکنیک رادار و GPS نشان دادند که میزان فرونشست دارای تغییرات فضایی و زمانی است و مقدار آن را در این مناطق بین ۵ تا ۱۰ سانتی متر در سال اندازه گیری کردند. که ناشی از استفاده بیش از حد از آب های زیرزمینی، بار سازه ها و فعالیت های زمین شناسی در منطقه است و اثرات فرونشست را به اثرات محیطی، زیرساختی، اقتصادی و اجتماعی طبقه بندی کردند.

<sup>1</sup> Katen

<sup>2</sup> Larson et al

<sup>3</sup> Poutra

<sup>4</sup> Raspini

<sup>5</sup> Faunt

<sup>6</sup> Abidin.

آن<sup>۱</sup> (۲۰۱۵) در پایان نامه خود از دانشگاه کالیفرنیا ارتباط بین فرورنشست زمین و افت آب‌های زیرزمینی در دشت شمال چین را با استفاده از ICESat بررسی کرد. این منطقه که بزرگترین تولیدکننده گندم در کشور چین است، حدود ۶۰ درصد به شدت به آب‌های زیرزمینی وابسته است. وی نشان داد که میزان افت آب‌های زیرزمینی در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ به میزان ۲/۰۳- سانتی‌متر در سال می‌باشد در حالیکه تغییرات ارتفاعی نشست زمین ۸-۵ سانتی‌متر در سال است و عنوان کرد که الگوهای فضایی افت آب‌های زیرزمینی و فرورنشست آن‌طور که انتظار می‌رفت ندارند.

اسمیت<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیق خود به عنوان برآورد از دست دادن دائمی ذخایر آب زیرزمینی در دره سن ژواکوبین کالیفرنیا عنوان کردند اگر آب بیش از حد از آبخوان‌ها استخراج شود، مخصوصاً در نواحی که لایه‌های خاک رس دارند، متراکم شدن لایه‌های خاک به دلیل افت فشار آب باعث ایجاد حالت غیرقابل برگشت می‌شود و توانایی خاک برای حفظ و نفوذ آب از دست می‌رود، از این رو آبخوان ظرفیت دریافت آب خود را به‌طور دائم از دست می‌دهد. یمانی و همکاران (۱۳۸۸)، به بررسی ارتباط فرورنشست زمین و افت آب زیرزمینی دشت قره‌بلاغ فسا پرداختند نتایج نشان داد که هر ساله در ازای هر ۲۶۰ سانتیمتر پایین رفتن سطح آب زیرزمینی ۱۱/۸ سانتیمتر سطح ارضی دشت قره‌بلاغ فرورنشست پیدا کرده است. بهنیاfer و همکاران (۱۳۸۹)، به بررسی عوامل موثر در فرورنشست‌های دشت مشهد و پیامدهای ژئومورفیک آن پرداختند و نتایج نشان داد و افت سطح آب زیرزمینی ۱/۴۷ متر بیشترین فرورنشست‌ها و حفرات با اشکال ژئومورفیک متفاوت در بخش‌های دشت مرکزی و جنوب شرقی آن رخ داده است.

میرائی و همکاران، (۱۳۹۰) در بررسی ژئوتکنیکی فرورنشست زمین به این نتیجه رسیدند که در اثر برداشت آب‌های زیرزمینی و توسعه بیرویه عواملی اساسی شامل افت سطح آب زیرزمینی به میزان ۲۳ متر، ضخامت زیاد آبرفت دشت متشکل از لایه‌های ضخیم رسی، تغییر ضخامت لایه‌ها در دامنه کوه‌ها و همراستا بودن ترک‌ها و شکاف‌های ایجاد شده با راستای گسل موجود در محدوده مورد بررسی، باعث فرورنشست خاک در این مناطق شده‌اند. با بررسی مطالعات صحرائی انجام شده و لحاظ کردن عوامل مربوطه نشست حدود ۳۵ سانتیمتر بدست آمده است که با مشاهدات صحرائی همخوانی دارد.

شریفی‌کیا (۱۳۹۱)، به بررسی تعیین میزان و دامنه فرورنشست زمین به کمک روش تداخل سنجی راداری در دشت نوق - بهرمان به این نتیجه رسید که مقایسه میزان فرورنشست با ارقام تغییرات تراز آبی مستخرج از چاه‌های پیژومتر نشان می‌دهد در این دشت هر ۳/۲ سانتی‌متر افت تراز آبی قادر است فرورنشستی به میزان ۱ سانتی‌متر ایجاد کند. افضلی و همکاران، (۱۳۹۲) به ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها و سکونت‌گاه‌ها از پدیده فرورنشست زمین در دشت دامغان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که فرورنشست در منطقه حدود ۷ سانتی‌متر در سال بوده است. شادفرو همکاران (۱۳۹۴)، به بررسی خطر فرورنشست زمین با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی ناحیه بویین زهرا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که فاکتور برداشت بی‌رویه آب با ضریب ۰/۴۸ و سنگ‌شناسی با ضریب ۰/۲۴ در درجه دوم اهمیت در ایجاد فرورنشست منطقه است همچنین نشان داد که ۵۵٪ از مساحت منطقه در خطر با نسبتاً زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. پرهیزکار و همکاران (۱۳۹۴)، اقدام به بررسی پیش‌بینی افت سطح آب و ارزیابی فرورنشست زمین در آبخوان دامغان با ترکیب مدل‌های جی‌اس‌و‌جی‌ای پی نمودند نتایج این بخش از تحقیق نشان داد که با افت سطح آب زیرزمینی بمیزان ۲۹۵ سانتیمتر و ۳۴۳ سانتیمتر، نشست زمین بترتیب به میزان ۴/۳۵ و ۴۵/۳۹ سانتیمتر خواهد بود. این تحقیق نشان داد که در دشت دامغان سطح آب زیرزمینی بطور مداوم در حال پایین آمدن و مقدار نشست زمین در حال افزایش می‌باشد. لذا پمپاژ از چاه‌های در واقع در نواحی با ریسک بالا باید کاهش یابد. صفاری و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی پایش فرورنشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب‌های زیرزمینی مطالعه موردی: دشت کرج - شهریار به این نتیجه رسیدند که روند تغییرات ناشی از برداشت آب حدود ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر مربع می‌باشد. میزان افت ۲۲ متر طی ۱۲ سال می‌باشد. میزان برداشت آب از چاه‌ها

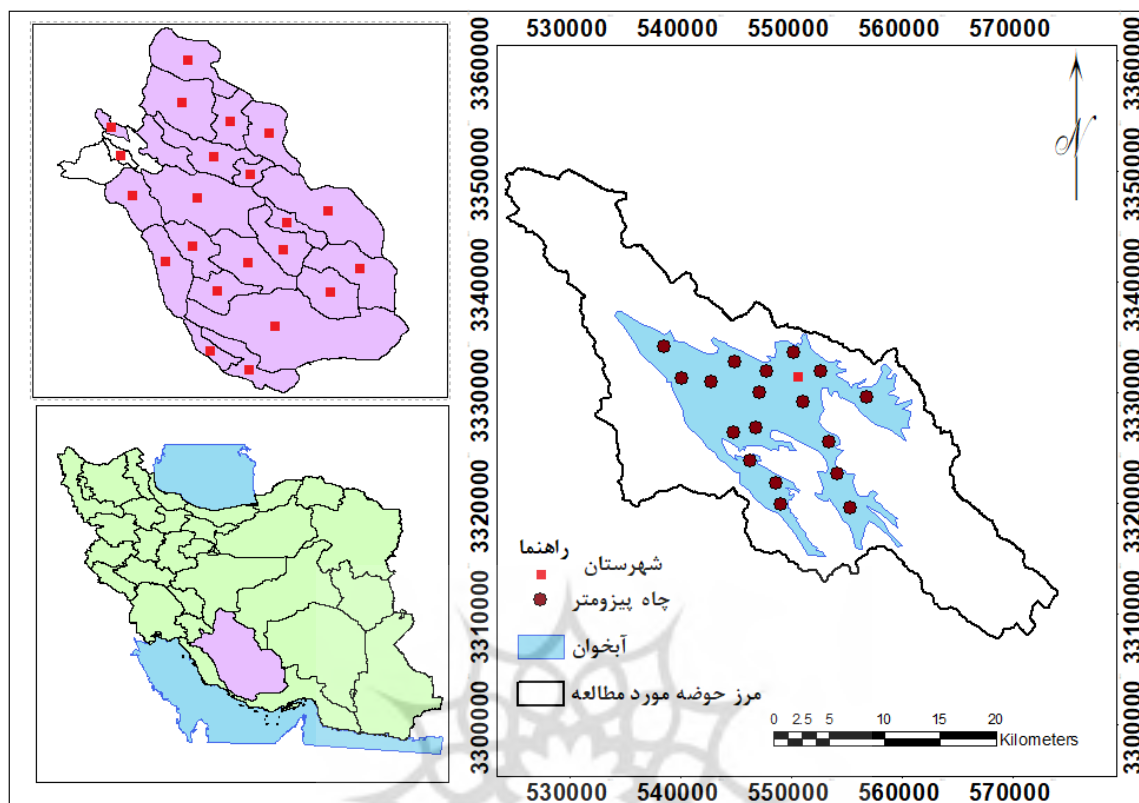
<sup>۱</sup>-An

<sup>۲</sup>-Smit

حدود ۶۰۵ میلیون متر مکعب می باشد. روزبان و همکاران (۱۳۹۵)، با بررسی فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (DInSAR) و با به کارگیری تصاویر سنجنده SENTINEL پدیده فرونشست زمین در دشت رفسنجان پرداخته شد و آهنگ فرونشست در این دشت را حداکثر ۲۸ سانتی متر در سال به دست آوردند. آتشی و همکاران (۱۳۹۶)، با استفاده از تکنیک تداخل سنج راداری و از طریق سنجنده TerraSAR-X طی دوره شش ماهه به مطالعه شواهد و تأثیرات مورفولوژیکی مخاطره فرونشست بر تأسیسات و ساختمان‌های مسکونی منطقه ۱۹ شهری تهران پرداختند. نتایج حاصل از آن فرونشستی به میزان ۵ سانتی متر در دوره زمانی ۶ ماهه بوده است. سپس به منظور تأیید یافته‌ها اقدام به بازدیدهای میدانی و پی‌جویی روی زمین گردید و نتایج حاصل از این پیمایش شناسایی و ثبت عوارضی چون شکافتگی‌های سطحی و عمقی، تخریب چاه‌های آب و فرونشینی کف و آسیب‌هایی به تأسیساتی چون پل، بزرگراه ها، تیر برق، تأسیسات آبی و گازی، خطوط مترو و مسکن در پهنه‌های فرونشست بوده است. این تغییرات پس از رؤیت ثبت گردیده است. از جمله اهداف این پژوهش محاسبه نرخ فرونشست در بازه زمانی (۲۰۱۸-۲۰۱۵) توسط تداخل سنجی راداری و تعیین شود، شناسایی ترک‌های ایجاد شده به وسیله فرونشست و با استفاده از پهنه بندی داده‌های چاه‌های پی‌زومتر میزان خطر افت را در سطح دشت مشخص نماید و با برنامه ریزی و مدیریت بهینه از ساخت و سازها در این مکان‌های جلوگیری به عمل آید.

#### محدوده مورد مطالعه

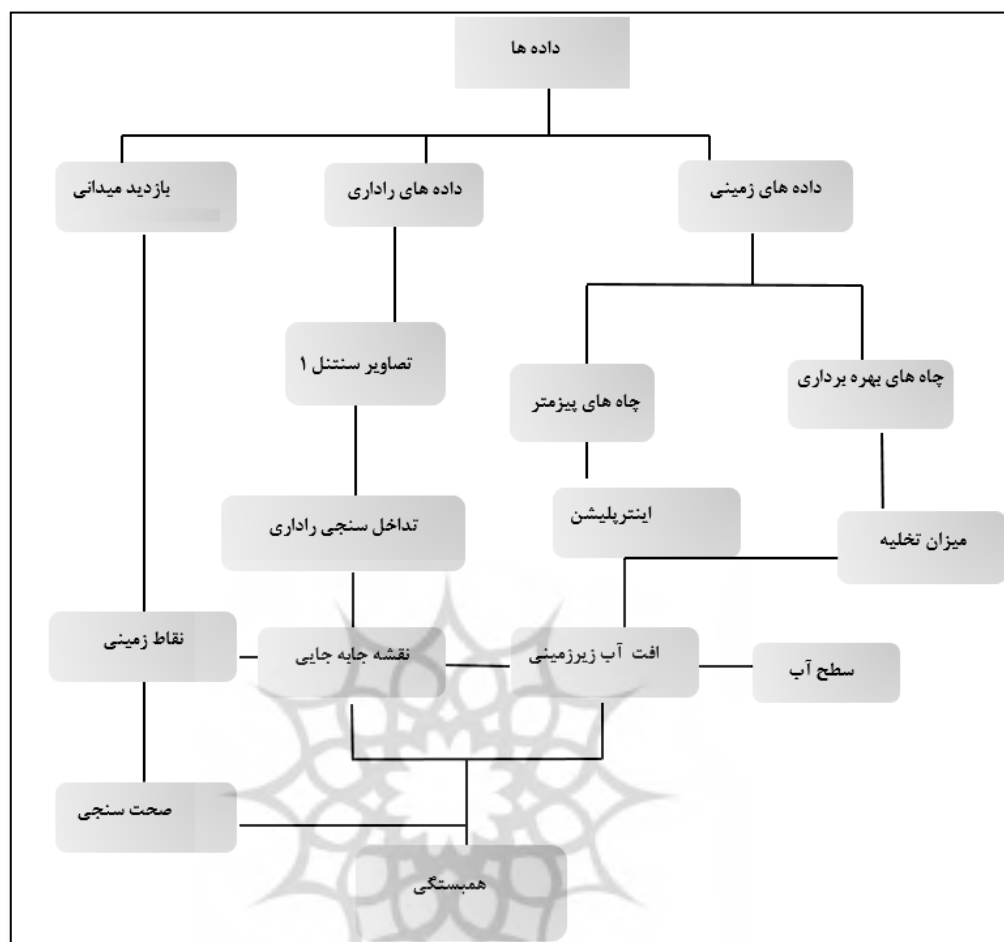
منطقه مورد مطالعه در محدوده جغرافیایی جنوب کشور در دامنه‌های جنوب غربی سلسله جبال زاگرس چین خورده قرار دارد. محدوده نورآباد از طرف شمال با شهرستان مصیری (محدوده رستم) و از طرف جنوب با دشت قائمیه و از طرف غرب با دشت ماهور میلانی و از سمت شرق با دشت فهلیان در ارتباط است. در محدوده، جغرافیایی ۱۵'، ۵۱° تا ۴۶'، ۵۱° طول شرقی و ۵۵'، ۲۹° تا ۱۷'، ۳۰° عرض شمالی واقع است. تنها شهری که در این محدوده وجود دارد شهر نورآباد می باشد، که در ارتفاع ۹۳۵ متری از سطح دریا قرار دارد و در ۱۵۰ کیلومتری شمال غربی شیراز مرکز استان فارس واقع شده است. حدود ۲۲۱ کیلومتر مربع از مساحت حوضه را دشت و ۵۳۴ کیلومتر مربع از مساحت حوضه را ارتفاعات در بر می‌گیرد. حداکثر ارتفاع ۲۶۸۴ متر در کوه خانی در جنوب شرقی محدوده و حداقل ارتفاع ۶۹۸ متر در مصب رودخانه فهلیان در حوالی روستای باتون شمال غربی دشت می باشد. آبخوان در بخش مرکزی دشت واقع شده و حدود ۱۸۶ کیلومتر مربع مساحت دارد و دارای ۱۸ حلقه چاه پی‌زومتر میباشد



شکل ۱: نقشه محدوده مورد مطالعه حوضه آبریز دشت نورآباد ممسنی

### روش تحقیق

روش کار در این پژوهش تحلیلی و میدانی می باشد. در این پژوهش از داده‌های زمینی که شامل ۱۸ حلقه چاه پیزومتر در بازه زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۶ برای محاسبه میران افت آب زیرزمینی، سطح آب زیرزمینی در دوره‌های حداقل و حداکثر که از طریق اینترپلیشن نقشه‌های درونبایی آنها تهیه شده است. از چاه‌های بهره برداری جهت محاسبه میزان تخلیه در سطح آبخوان استفاده شد و از داده‌های راداری که شامل تصاویر سنتینل ۱ جهت محاسبه نرخ فرونشست در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ استفاده شد و در پایان بین دو فاکتور افت آب زیرزمینی و فرونشست در منطقه همبستگی گرفته شد که از طریق داده‌های پیمایش میدانی صحت سنجی آنها بدست آمد (شکل ۲).



شکل ۲: چارت روش کار پژوهش

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 شده اند، قادر به تعیین تغییرات سطح زمین در آن بازه زمانی می باشد. در محدوده مطالعاتی، جهت استخراج نرخ و دامنه فرونشست، تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق به منظور محاسبه فرونشست از تصاویر سنتینل رادار با فرمت (SLC) (تک منظر) با پلاریزاسیون vv جهت محاسبه میزان نرخ جابجایی استفاده می شوند. روش تداخل سنجی راداری روشی برای ترکیب تصاویر SAR گرفته شده از سنجنده های راداری نصب شده بر روی هواپیما به منظور تهیه نقشه های ارتفاعی، جابه جایی و تغییرات سطح زمین و نیز تعیین سرعت حرکت هدف است دو تصویر SAR پیش و پس از ایجاد جابه جایی از سطح زمین گرفته می شود. هرگونه جابه جایی در سطح زمین گرفته می شود هرگونه جابه جایی در سطح زمین سبب تغییر در فاصله سنجنده می شود.

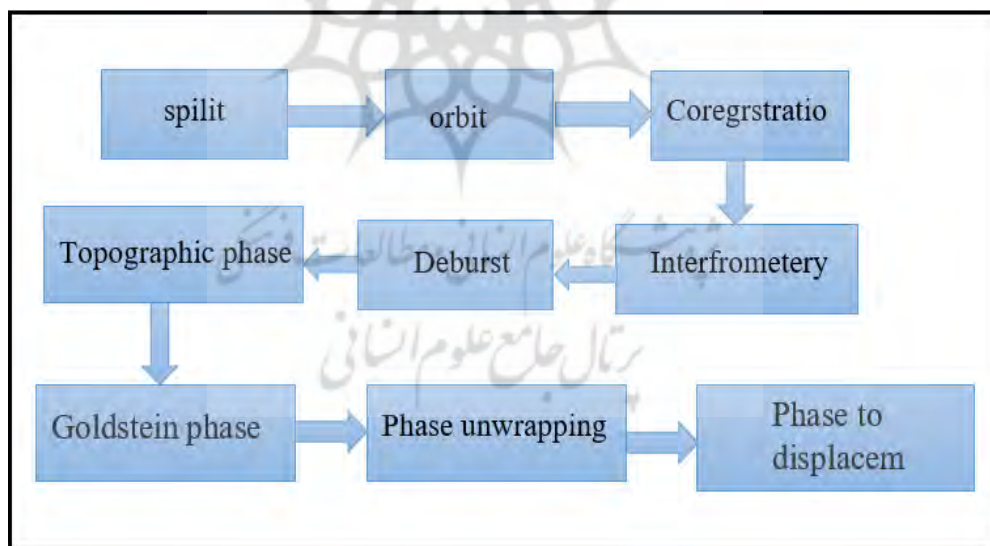
مطالعات تداخل سنجی راداری در این تحقیق توسط ۸ تصویر سنتینل و به کمک نرم افزار SNAP<sup>۱</sup> انجام گرفته است. جدول (۱) مشخصات اینترفروگرام های پردازش شده در منطقه مورد مطالعه را با توجه به خط مبنا نشان می دهد. به منظور کاهش نویز و افزایش همبستگی زمانی اینترفروگرام ها حتی الامکان سعی شد، از زوج تصاویر راداری با بازه زمانی

<sup>۱</sup> . Sentinel Application Plat form

کوتاه (حدود ۴۵ روز) استفاده شود. ترکیب داده‌های راداری از مدارهای صعودی و نزولی نیز جهت بهبود مدل‌های رقومی زمین با به دست آوردن جابجایی‌ها در جهات مختلف با استفاده از اینتر فرمتری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. با عنایت به اینکه در این پژوهش هدف پایش میزان فرونشست است، تنها از داده‌های صعودی بهره‌برداری شده‌اند. براین اساس از تعداد ۸ تصویر مربوط به دوره زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ مورد استفاده قرار گرفت. شکل (۳) مراحل انجام تداخل سنجی راداری را نشان می‌دهد

جدول ۱: مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده

شماره	تاریخ تصویر	فرمت تصویر	حالت تصویربرداری	گذر تصویربرداری	خط مبنا (متر)
۱	۲۰۱۵/۰۸/۰۵	Slc	IW	صعودی	۲۷۳- تا ۷
۲	۲۰۱۵/۰۹/۲۰	Slc	IW	صعودی	۱۸۱- تا ۱۰۳
۳	۲۰۱۶/۰۸/۰۵	Slc	IW	صعودی	۹۷- تا ۱۸۱
۴	۲۰۱۶/۰۹/۲۲	Slc	IW	صعودی	۵۳- تا ۲۰۳
۵	۲۰۱۷/۷/۱۹	Slc	IW	صعودی	۱۳۸- تا ۱۴۹
۶	۲۰۱۷/۰۹/۰۵	Slc	IW	صعودی	۲۰۶- تا ۶۳
۷	۲۰۱۸/۰۸/۰۷	Slc	IW	صعودی	۶۱- تا ۱۹۸
۸	۲۰۱۸/۱۰/۱۸	Slc	IW	صعودی	۱۴۵- تا ۱۱۴



شکل ۳: مراحل انجام تداخل سنجی

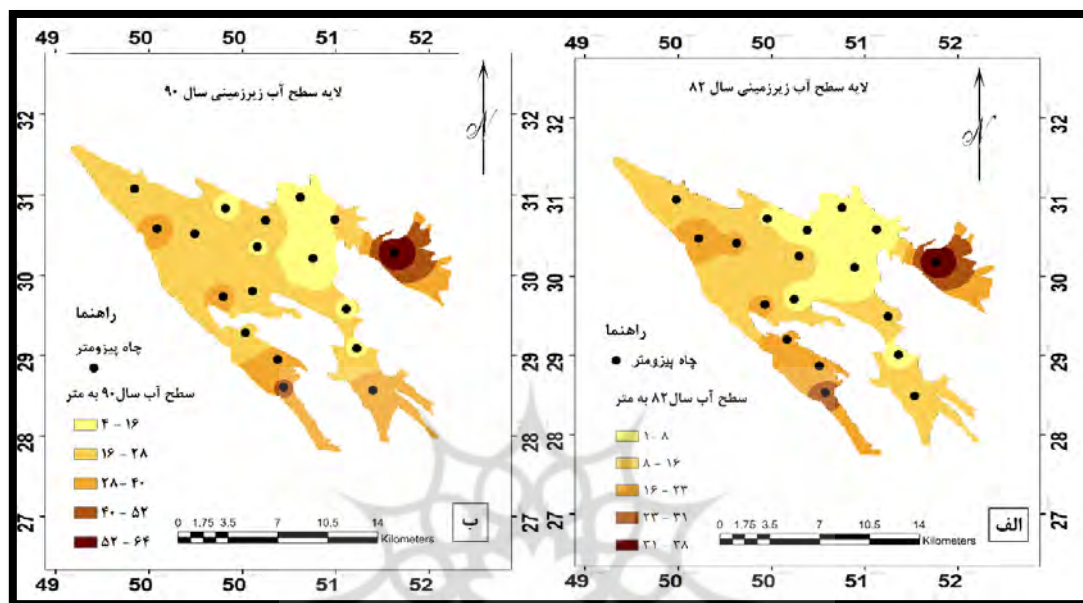
## بحث و یافته‌ها

### بررسی روند تغییرات آب زیرزمینی

با توجه به اینکه برداشت از آب‌های زیرزمینی یکی از علل مهم فرونشست در دشت نورآباد عنوان شده است، به منظور تبیین روند تغییرات تراز آب زیرزمینی، روند کلی میزان سطح آب سالانه تمام چاه‌های مشاهده‌ای (۱۸ حلقه چاه پیژومتر) در بازه زمانی (۱۳۹۶-۱۳۸۲) مورد بررسی قرار گرفت همچنین نقشه درون‌یابی سطح آب‌های زیرزمینی با



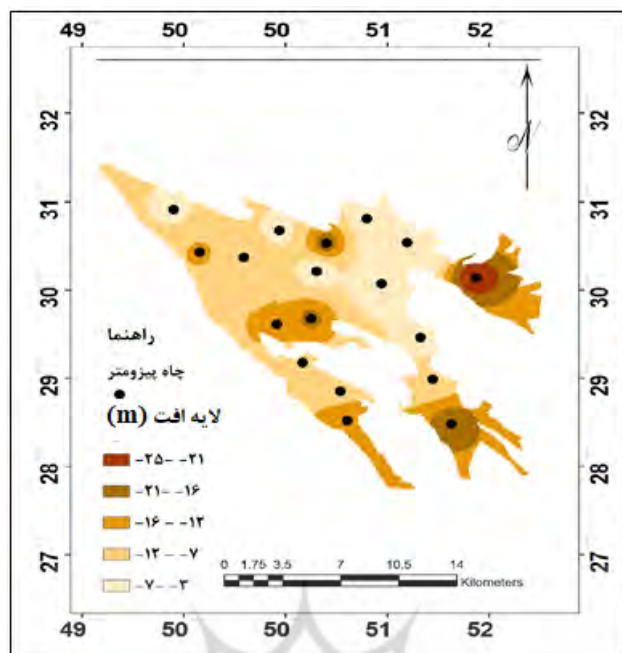
استفاده از روش پهنبندی جهت نمایش تغییرات آبهای زیرزمینی نمایش داده شده است. شکل (۴) تغییرات سطح آب در دو دوره حداقل (۱۳۸۲) و حداکثر (۱۳۹۶) نشان می دهد که با استفاده از زوش درونبایی تهیه شده است که میزان آب زیرزمینی در سال ۸۲ برابر ۳۸ متر و در سال ۹۴ برابر ۶۴ متر می باشد میزان عمق در این منطقه بسیار افزایش یافته و این افزایش ناشی از برداشت کشاورزی و شرب می باشد که خطر نشست را هم در این منطقه بیشتر نموده است.



شکل ۴: نقشه الف عمق آب سال ۸۲ به متر ب عمق آب سال ۹۴ به متر

### بررسی افت آب زیرزمینی

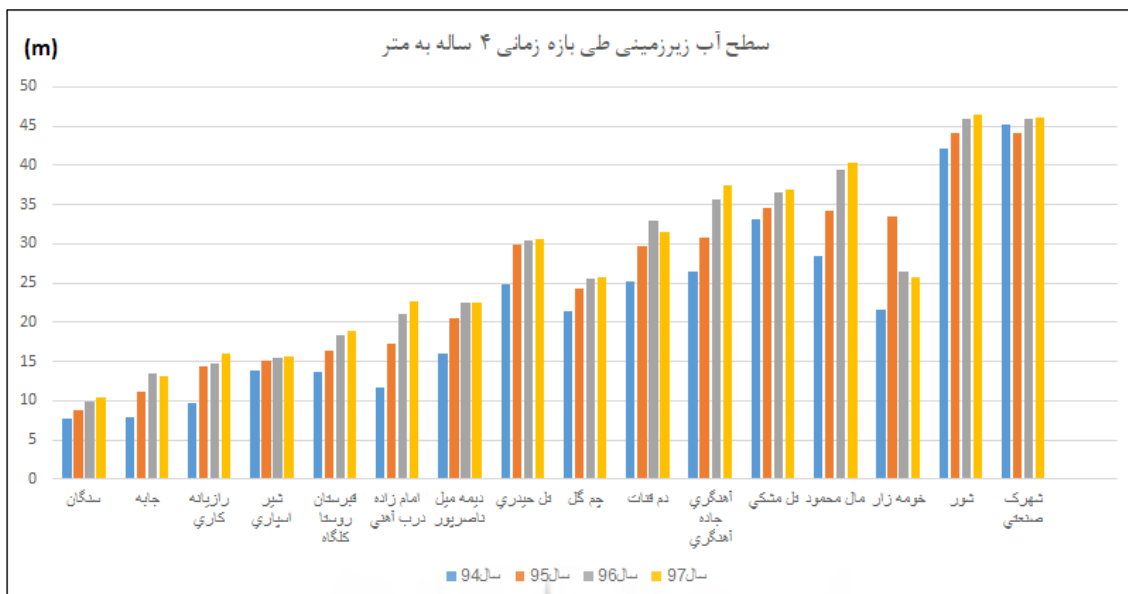
با بررسی وضعیت سطح آب چاه‌های پیژومتر در طی سال‌های حداقل ۱۳۸۲ و حداکثر ۱۳۹۴ در بازه زمانی ۱۲ ساله نقشه افت آن‌ها به دست آمد و نتایج نشان داد که میزان افت به مراتب افزایش یافته است که در بخش جنوب شرقی، مرکزی و جنوبی آبخوان واقع در چاه‌های اسکان عشایر و خومه زار، شور و شهرک صنعتی تل مشکی بیشترین میزان افت را داشته است که مقدار افت آن برابر ۲۲- متر طی این بازه زمانی بوده است. افزایش افت سطح آب در این منطقه باعث شده که تعدادی از چاه‌ها که مصارف شرب داشته خشک و با چند متر فاصله به حفاری چاه‌های جدیدتری در این منطقه شده است. فعالیت‌های کشاورزی هم در این منطقه نقش بسیار زیادی در افزایش عمق چاه‌ها و حفر چاه‌های غیر مجاز در سطح دشت دارد.



شکل ۵: نقشه افت آب زیرزمینی آبخوان نورآباد

#### بررسی سطح آب زیرزمینی دشت نورآباد

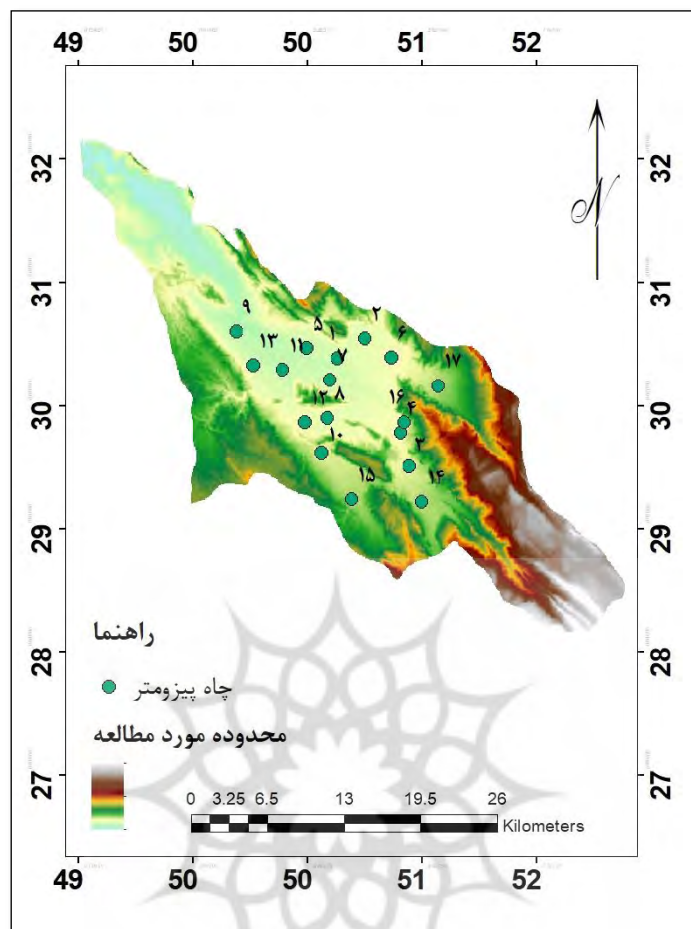
تغییرات سطح آب زیرزمینی به موقعیت محل نسبت به مناطق تغذیه و تخلیه و هم چنین مقادیر تغذیه و تخلیه ی این محل‌ها بستگی دارد و به همین دلیل روند تغییرات سطح آب بخش‌های مختلف آبخوان با یکدیگر متفاوت است. نتایج حاصل از نقشه‌ها و نمودارهای روند تغییرات سطح آب چاه‌های پیژومتری در آبخوان نورآباد را می‌توان به صورت زیر بیان نمود. با توجه به اینکه بررسی سال به سال روند تغییرات با توجه به بارش و منابع تغذیه و ورودی و خروجی آبخوان متفاوت است در اینجا به یک نتیجه گیری کلی از دوره آماری - ۱۳۹۶ - ۱۳۸۲ پرداخته می‌شود. شکل (۶) وضعیت سطح آب چاه‌های پیژومتر در سطح دشت را در چهار سال ۲۰۱۵ - ۲۰۱۶ - ۲۰۱۷ - ۲۰۱۸ نشان می‌دهد که در این سال‌ها میزان برداشت در سطح آب به مرور افزایش یافته است. به گونه ای که چاه اسکان عشایر، واقع در شرق آبخوان در سال‌های اخیر به علت برداشت بیش از حد خشک شده اند ۱۰۰ متر یا حدود ۲۰۰ متر دورتر اقدام به حفر چاهی دیگر نموده اند.



شکل ۶: نمودار سطح آب زیرزمینی در بازه ۴ ساله

جدول ۲: مشخصات چاه های پیژومتر محدوده

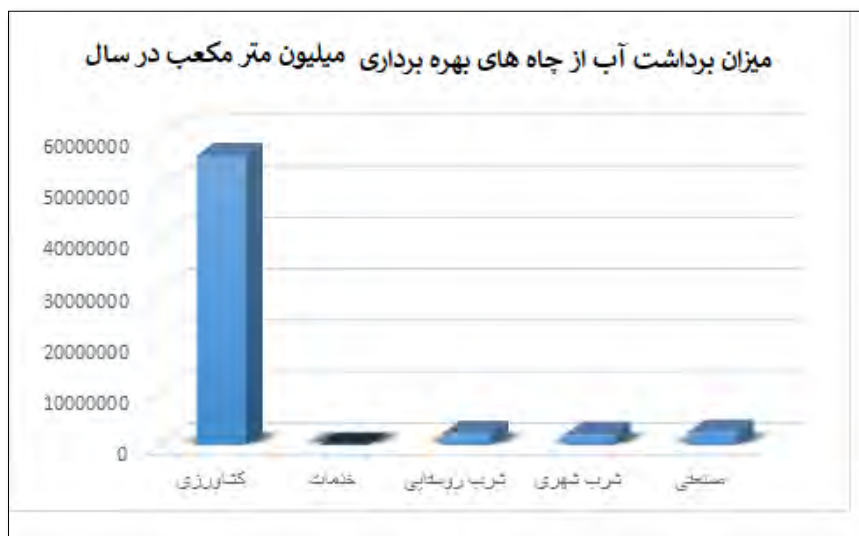
شماره	نام چاه	UTM(X)	UTM(Y)	ارتفاع نقطه نشانه به متر	افت چاه به متر
۱	خومه زار	۵۵۵۲۹۴	۳۳۱۹۵۸۱	۱۰۴۶/۱۷	۳۵/۱۵
۲	رازیانه کاری	۵۵۴۱۶۷	۳۳۲۲۶۲۰	۱۰۱۲/۷۷	۸/۹۶
۳	شیراسپاری	۵۵۳۴۲۸	۳۳۲۵۴۶۰	۹۸۵/۵۳	۵/۱۸
۴	گچگران	۵۵۱۰۸۱	۳۳۲۹۱۰۷	۹۴۶/۴	۳/۶۹
۵	اسکان عشایر	۵۵۶۷۸۲	۳۳۲۹۱۰۷	۱۰۵۰/۹۱	۶۴
۶	سنگان	۵۴۷۷۶۳	۳۳۳۱۸۶۶	۹۳۰/۳۳	۲۰/۰۳
۷	کلگاه	۵۴۴۹۴۴	۳۳۳۲۷۲۷	۹۰۸/۴۸	۶/۱۷
۸	مال محمود	۵۴۰۱۴۰	۳۳۳۱۲۴۸	۹۱۷/۱۹	۱۲/۹۲
۹	چم گل	۵۳۸۵۶۲	۳۳۳۴۱۳۶	۸۸۸/۳۱	۶/۹۷
۱۰	دیمه میل	۵۴۷۱۸۴	۳۳۲۹۹۵۷	۹۲۶/۱۹	۳/۵
۱۱	آهنگری	۵۴۲۷۹۲	۳۳۳۰۸۹۹	۹۱۵/۴۱	۱۰/۸۹
۱۲	عالیوند	۵۴۹۵۵۴	۳۳۲۷۵۲۵	۹۴۹/۸۶	۱۷/۱۵
۱۳	امامزاده	۵۵۲۶۲۷	۳۳۳۱۹۱۰	۹۷۳/۳۶	۱۴/۰۹
۱۴	جابه	۵۵۰۲۰۴	۳۳۳۳۵۲۳	۹۴۹/۹۳	۵/۵
۱۵	تل حیدری	۵۴۶۸۴۱	۳۳۲۶۷۳۹	۹۵۲/۲۴	۱۸/۵۵
۱۶	دم قنات	۵۴۶۳۳۸	۳۳۳۲۷۵۰	۱۰۳۴/۷۷	۸/۱۵
۱۷	تل خندق	۵۴۸۶۱۲	۳۳۲۱۸۱۶	۱۰۶۰/۵	۱۱/۲
۱۸	شور	۵۴۹۰۲۴	۳۳۱۹۸۲۰	۱۰۸۳/۳۴	۱۴/۵۸



شکل ۷: موقعیت چاه‌های پیزومتر

### بررسی میزان تخلیه و آبدهی در محدوده آبخوان

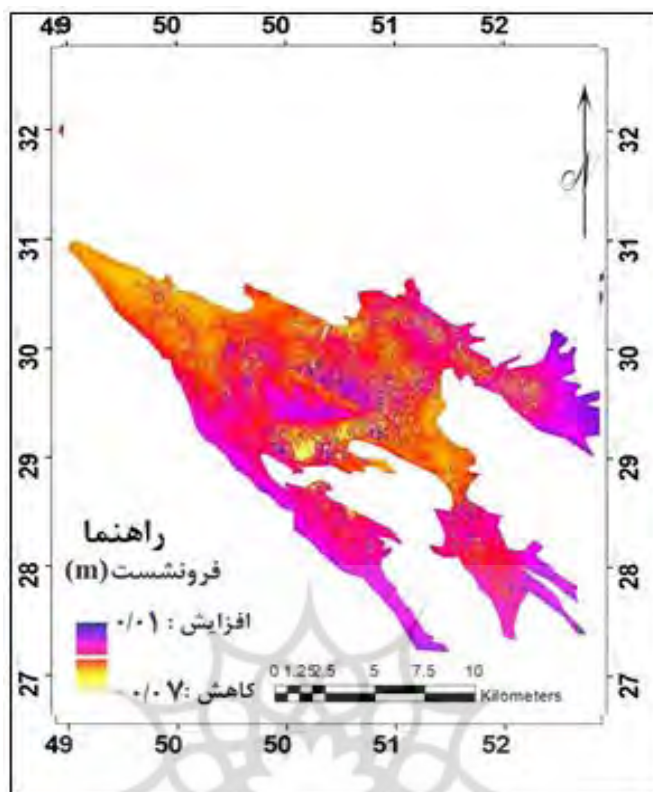
در منطقه آبخوان نورآباد حدود ۱۱۴۰ حلقه چاه بهره برداری وجود دارد که از این تعداد حدود ۶۰۰ حلقه آن مربوط به فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد در سطح منطقه بیشترین میزان کشت مربوط به گندم، برنج و صیفی جات می‌باشد که نقش بسیار موثری در تخلیه آبخوان دارد شکل (۸) نمودار میزان آب مصرفی در سطح آبخوان را نشان می‌دهد که میزان برداشت فعالیت کشاورزی حدود میلیون ۵۶۳۱۶۱۸۹ متر مکعب در سال رو به خود اختصاص داده است. و کمترین آن مربوط به مصارف خدماتی می‌باشد. این وضعیت نشان دهنده این است که دشت با وضعیت بحرانی روبه رو می‌باشد.



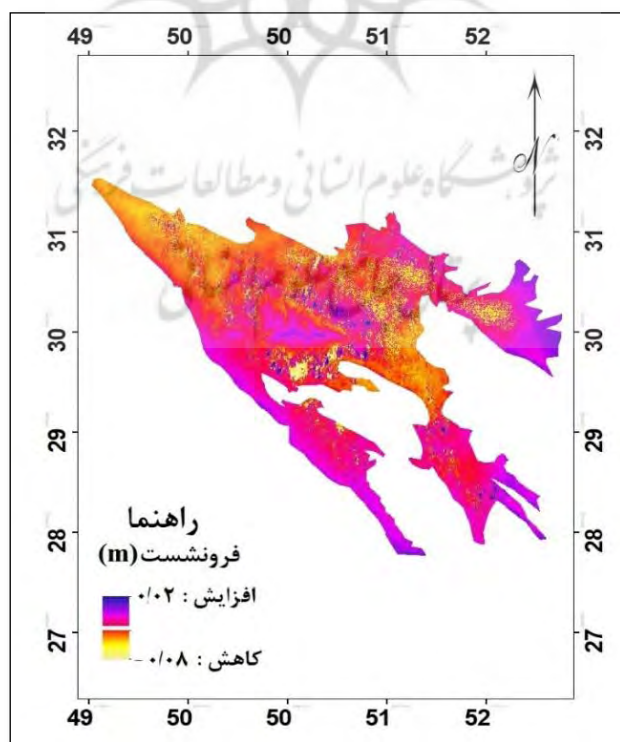
شکل ۸: نمودار میزان برداشت از چاه های بهره برداری

### بررسی وضعیت فرونشست

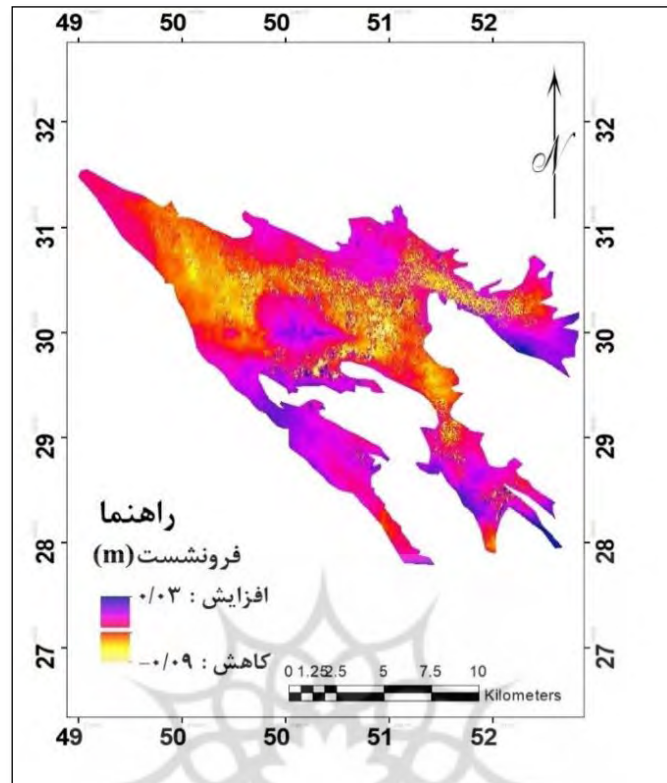
در این تحقیق، با روش تداخل سنجی تفاضلی داده‌های راداری، میزان و دامنه فرونشست را در دشت نورآباد تبیین شده است. به منظور تولید نقشه‌های معرف الگوی فضایی میزان و دامنه نشست از زوج تصویر سنجنده های راداری به کار رفته در بازه زمانی متفاوت جهت انجام عملیات تداخل سنجی استفاده شد. با توجه به تغییر پذیری میزان و دامنه نشست، ناشی از برداشت آب به عنوان عامل ایجابی و همچنین نقش موهبت های طبیعی (بارش) به عنوان عامل تعدیل کننده، تصاویر در دوره های زمانی منطبق بر تقویم زراعی و فصل های بارانی مورد پردازش قرار گرفت. یافته ها مؤید رخداد فرونشست به میزان حداکثر سالیانه ۰/۰۴ متر (۴ سانتیمتر) در عرصه ای به مساحت ۱۸۶ کیلومتر مربع است. رخداد چنین پدیده ای با توجه به ساختارهای زراعی در سایر نقاط ایران، تا حدود زیادی در خور تأمل است؛ زیرا اصولاً در ایران به سبب حاکم بودن تقویم زراعی خاص آبیاری در بهار و تابستان و همچنین وجود بارش در زمستان و اوایل بهار، امکان شارژ نسبی سفره و تأثیر گذاری آن در میزان نشست برای دوره های بعدی امری پذیرفته و به نسبت فراگیر است. با تهیه خروجی تصاویر راداری طی ۴ سال آماری نتایج نشان می دهد که از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۱۸ میزان نشست در سطح آبخوان به ترتیب از ۰/۷- به ۰/۱- متر افزایش یافته است. که مناطق در بخش های مرکزی و شرقی و جنوبی آبخوان بیشترین میزان نشست را در سطح آبخوان دارد که در مناطق مسکونی و کشاورزی منطقه توسعه یافته است به گونه ای که آثار و شواهد این نشست ها در منازل مسکونی و زمین های کشاورزی نمایان است و مناطق آبی رنگ مناطق که نشان از بالا آمدگی را نشان می دهد زمانی که در منطقه ای فرونشست صورت میگیرد فقط پایین رفتن صورت نمیگیرد بلکه دولیته یا بالا آمدگی هم سطح آبخوان شکل میگیرد و به طور میانگین حدود ۰/۴ متر که ۴ سانتی متر می باشد و طی بازه ۴ ساله حدود ۱۶ سانتی متر نشست رخ داده است.



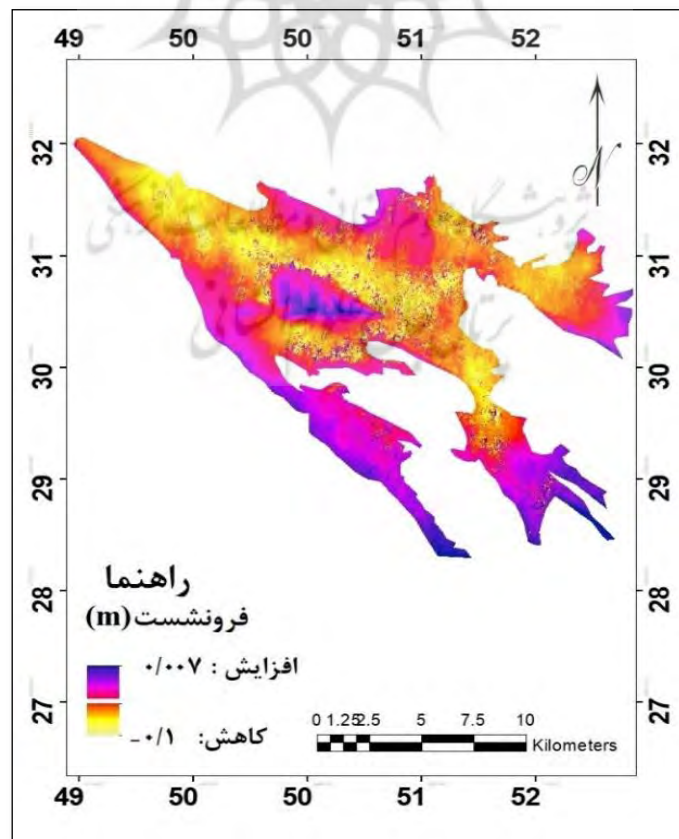
شکل ۹: نقشه فرونشست آبخوان نورآباد سال ۲۰۱۵ به ۲۰۱۴



شکل ۱۰: فرونشست آبخوان نورآباد ۲۰۱۶ نسبت به ۲۰۱۵



شکل ۱۱: فرونشست آبخوان نورآباد ۲۰۱۷ نسبت به ۲۰۱۶



شکل ۱۲: فرونشست آبخوان نورآباد ۲۰۱۸ نسبت به ۲۰۱۷

بررسی وضعیت فرونشست در محدوده مورد مطالعه با استفاده از تصاویر رادار در طی سال‌های مذکور پرداخته شد. نتایج حاصل از جدول (۳) مساحت فرونشست را طی باز زمانی چهار ساله نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۵ که نسبت به سال ۲۰۱۴ مقایسه شد منطقه خطر پذیری زیاد حدود ۸ کیلومتر را در بر گرفته است طبقه متوسط ۱۵۰ کیلومتر مربع و طبقه کم ۲۴ کیلومتر را در بر می‌گیرد در سال ۲۰۱۶ مساحت مناطق با خطر پذیری زیاد برابر ۳۴ کیلومتر مربع می‌باشد که نسبت به سال ۲۰۱۵ حدود ۲۶ کیلومتر افزایش یافته است و خطر پذیری متوسط ۸۱ کیلومتر مربع می‌باشد و مناطق خطر پذیری کم ۸۳ کیلومتر مربع می‌باشد. در سال ۲۰۱۷ مساحت منطقه پر خطر ۴۰ کیلومتر مربع می‌باشد که نسبت به سال ۲۰۱۶ حدود ۶ کیلومتر افزایش یافته است و در نهایت در سال ۲۰۱۸ طبقه خطر پذیر به بیشترین میزان خود ۶۲ کیلومتر رسیده است این روند نشان می‌دهد که دشت با روند صعودی روبه‌رو می‌باشد و شرایط بحرانی دارد.

جدول ۳: مساحت فرونشست در ۴ سال مذکور کیلومتر مربع

سال ۲۰۱۵	سال ۲۰۱۶	سال ۲۰۱۷	سال ۲۰۱۸	
۸	۳۴	۴۰	۶۲	خطرپذیری زیاد
۱۵۰	۸۱	۹۳	۷۶	خطر پذیری متوسط
۲۴	۸۳	۴۹	۴۳	خطرپذیری کم

### بررسی همبستگی میزان فرونشست با تغییرات سطح آب چاه‌های پیژومتری

استخراج بی‌رویه آب‌های زیرزمینی به منظور بهره‌برداری فعالیت کشاورزی عامل اصلی افت آب زیرزمینی و به تبع آن نشست در سطح دشت می‌باشد. سبب ظهور پدیده فرونشست در سطح دشت می‌شود. به این منظور دو فاکتور مورد نظر افت آب زیرزمینی و لایه فرونشست با استفاده از روش همبستگی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد ضریب  $R^2$  برابر ۰/۷۲ و معناداری در سطح ۹۹ درصد می‌باشد میزان نشست در بخش‌های شمالی شرقی و جنوبی آبخوان با میزان افت آب زیرزمینی واقع در چاه‌های اسکان عشایر، تل مشکی، سنگان، خومه زار و شور همبستگی بالایی را نشان داده است و این خود دلیلی بر صحت سنجی داده‌ها می‌باشد.

جدول ۴: همبستگی بین افت آب زیرزمینی و فرونشست

منابع آب زیرزمینی	لایه فرونشست	
	ضریب همبستگی	ضریب معناداری
افت آب زیرزمینی	-۰/۷۲	۰/۰۰۱

### ارتباط ترک‌ها با فرونشست

اعتبار سنجی یافت‌های تکنیک‌های سنجش از دوری فرآیندی ضروری است که می‌بایست از طریق پیمایش میدانی صورت پذیرد. در این تحقیق به منظور تعیین اعتبار یافته‌های تکنیک مورد استفاده و هم‌چنین جمع‌آوری شواهد مکانی از حدوث پدیده نشست عملیات پیمایشی به انجام رسید. بدین منظور از مناطق واقع در معرض نشست مستخرج از پردازش داده‌های SAR در منطقه مشاهده میدانی انجام پذیرفت. بررسی‌های زمینی موید وجود تعداد کثیری از رخنمون‌های مورفولوژیکی ناشی از نشست زمین در منطقه مورد مطالعه است. از جمله این رخنمون‌ها فروچاله‌ها که در سطح محدوده دشت در جاده‌های آسفالت‌ه خسارات بسیاری به جا می‌گذارد. ترک‌هایی که در زمین‌های کشاورزی



شکل گرفته سبب توسعه فرسایش خندقی شده است. بر اساس بررسی های صورت گرفته در سطح دشت وجود ترک‌ها در منطقه نمادی از توسعه فرورانشست در دشت می باشد به گونه ای که در سال‌های اخیر این آثار فرورانشست در سطح دشت خسارت های بسیاری در پی داشته است این ترک ها و درز و شکاف ها سبب بروز فرسایش، سیلاب‌های فراوان در سطح منطقه می شود به دلیل اینکه راهی برای نفوذ آب به درون زمین نیست و فضای خالی بین ذرات به علت برداشت های فراوان از بین رفته است، تحلیل و از بین رفتن زمین های کشاورزی می‌شود.



شکل ۱۳: ترک های شکل گرفته بخش شرقی مرکزی و جنوبی آبخوان

### نتیجه گیری

نشست زمین پدیده ای فراگیر در سطح جهان است که عمدتاً در اثر بهره برداری بی رویه از منابع آب زیرزمینی و شدت یافتن افت سطح آن، نمود کمی و کیفی قابل توجهی در چند دهه اخیر داشته است. نتایج مطالعه ی فرورانشست زمین نشان داد که عوامل متعددی در بروز پدیده ی فرورانشست زمین موثرند براین اساس، بیشترین تاثیر بر فرورانشست زمین مربوط به آبرفت‌هایی است که نفوذپذیری به نسبت خوبی دارند و دارای مقداری ذرات ریزدانه می باشند. سازند ریزدانه و در عین حال نفوذپذیر، در بین طبقات مختلف تمامی پارامترها، زمینه سازترین عامل فرورانشست زمین در منطقه ی مورد مطالعه می باشد نرخ فرورانشست به صورت میانگین حدود ۴ سانتی متر در سال می باشد و میانگین ۴ ساله ۱۶ سانتی متر می باشد میانگین مساحت آبخوان که فرورانشست صورت گرفته است در طی ۴ سال حدود ۳۶ کیلومتر مربع حدود ۵ درصد از مساحت آن را شامل می شود مناطق با تمرکز بالای چاه ها و بیشترین میزان افت و برداشت آب زیرزمینی و تمرکز شهرها و روستاهای موجود است. در این مناطق به سبب تامین نیازهای آبی جامعه سکونتگاهی شامل شهر نورآباد و مناطق اطراف و همچنین تامین نیازهای آبی بخش صنعت از جمله کارخانه ها و فعالیت های کشاورزی، دست اندازی به منابع آبی بیشتر بوده و استحصال آب های زیرزمینی بسیار بالاست به همین دلیل میزان افت بالا بوده است که این عوامل با دخالت اقلیم خشک این منطقه باعث استعداد بالای این مناطق در بحث فرورانشست شده است و

جزو مناطق بحرانی شهرستان در نقشه فرونشست شناسایی شده است. نتایج تداخل سنجی راداری نشان می‌دهد که برداشت بی رویه از سطح ذخایر زیرزمینی موجب فرونشینی بخش مرکزی آبخوان شده و همچنین وجود قنوات متعدد در سطح آبخوان خسارت‌هایی را به مراکز مسکونی وارد کرده است. یکی از مناطقی که بیشترین میزان خطر فرونشست را در دشت دارد، در بخش شرقی، مرکزی و جنوبی میزان افت آب زیرزمینی در محدوده آبخوان طی ۱۴ سال آماری حدود ۲۲ متر در همان چاه مذکور می‌باشد و نتایج حاصل از همبستگی ضریب  $R^2$  برابر ۷۲٪ و سطح معناداری ۹۹٪ به دست آمد و نشان داد که ارتباط مستقیمی بین این دو پارامتر وجود دارد.

## منابع

- آتشی، بهاره، (۱۳۹۶)، مطالعه شواهد و تأثیرات مورفولوژیکی مخاطره فرونشست بر تأسیسات و ساختمانهای مسکونی (مطالعه موردی: منطقه ۱۹ شهر تهران)، پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش هیدروژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد
- افضلی، عباسعلی؛ شریفی کیا، محمد، شایان، سیاوش، ۱۳۹۲، ارزیابی آسیب پذیری زیرساخت‌ها و سکونت‌ها از پدیده فرونشست زمین در دشت دامغان، دوفصلنامه ژئومورفولوژی کاربردی ایران، سال اول شماره اول، صص ۶۱-۷۳
- بهنیافر ابوالفضل، قنبرزاده هادی، اشرفی، علی، (۱۳۸۹)، بررسی عوامل موثر در فرونشست‌های دشت مشهد و پیامدهای ژئومورفیک آن فصل نامه جغرافیا و برنامه ریزی شهری چشم انداز زاگرس، سال دوم شماره ۵، صص ۱۳۱-۱۴۶
- پرهیزکار؛ سکینه؛ اژدری؛ خلیل؛ کاظمی؛ غلامعباس؛ امام قلی زاده، صمد، ۱۳۹۴، پیش بینی اقل سطح آب و ارزیابی فرونشست زمین در آبخوان دامغان با ترکیب مدل‌های جی ام اس و جی ای پی مجله علوم دانشگاه تهران، دوره ۵، شماره ۱، صص ۸۰-۳۶
- روزبان، علی، (۱۳۹۵)، بررسی فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری *DInSAR* و با بکارگیری تصاویر سنجنده جدید *SENTINEL*، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری - گرایش سنجش از دور، دانشکده مهندسی عمران و نقشه برداری گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته.
- شادفر، صمد؛ نصیری، اسماعیل؛ چیتگر، سکینه؛ احمدی، علی، (۱۳۹۴)، پهنه بندی خطر فرونشست زمین با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، ناحیه بوبین زهرا، فصلنامه جغرافیا سرزمین سال ۱۲ شماره ۴۸، صص ۱۰۱-۱۲۰
- شریفی کیا، محمد، (۱۳۹۱)، تعیین میزان فرونشست زمین به کمک تداخل سنجی راداری در دشت نوق و بهرمان آمایش و فضا، دوره شانزده، شماره ۳، صص ۷۷-۵۶
- سازمان زمین شناسی جنوب ایران (۱۳۹۷)، طرح جامع وضعیت ژئوهیدرولوژی دشت‌های ایران.
- صفاری، امیر؛ جعفری، فرهاد؛ توکل، محمد، (۱۳۹۵)، پایش و فرونشست زمین و ارتباط آن با آب زیرزمینی مطالعه موردی دشت شهریار و کرج، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۲، صص ۸۲-۹۳
- میراثی سهراب، رهنما، حسین، بینش سیدمحمد، الیاسی مسعود، (۱۳۹۰)، بررسی ژئوتکنیکی فرونشست زمین در اثر برداشت آبهای زیرزمینی و توسعه بیرویه اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه.
- یمانی، مجتبی، نجفی، اسماعیل، عابدینی، محمدحسین، ۱۳۸۸، ارتباط فرونشست زمین و افت آب زیرزمینی دشت قره بلاغ فسا، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا دوره ۱، صص ۲۷-۹

- AbidinaHaZ H.Aas,oI Gumilar, T.P.Sidiq,dMtGamalt FIG Workingr Week(2015), *Environmental Impact of Land Subsidence in Urban Areas of Indonesia* (7568) From, *the Wisdom of the AGges to the Challenges of the Modern World Sofia, Bulgaria, pp(17-21)*
- An, Karen, 2015, *Investigating the Relationship between Land Subsidence and Groundwater Depletion in a North Plain Using GRACE and WCESat*. Master's Thesis, University of California, Los Angeles, p44.
- Bates, aRaLa and Jacksona J Ar,o) 1980( "Glossary of Geology" American Geological Institute. Second edition, Falls Church, Virginia, 749 p.
- Faunt, IC, C; Sneed, M; Traum, aJ; Brandt, nJ, T, (2015), *Water availability and Land Subsidence in the Central Valley, California, USA*, *hydrogeol journal*, spring..
- Hu, B ; Zhou, qun; Wang, j.; Chen, Z and Dongqii Wang, (2009) *Risk assessment of land subsidence in Tianjin coastal area in China*, *Environmental Earth Science* Volume 9, Issue 2, pp 269-276
- Larson, KA, JABasaglu, H, fMarino, M, A, (2001), *Prediction of optimal safe ground water yield and Land subsidence in Los Banos Kettleman city area, using a calibrated numerical simulation model*, *Journal of Hydrology*, vol 242, pp 9-102
- Putra, D.P.E. Setianto, S. Keokhampui, K. and Fukuoka, H 2011 *Land Subsidence Risk Assessment Case Study: Rongkop, Gunung Kidul, Yogyakarta-Indonesia* *The 4th AUN/SEED Net Regional Conference on Geo Disaster Mitigation in ASEAN "Past tragedies are the lessons for future mitigation"* The Royal Paradise Hotel & Spa, Phuket, Thailand
- Raspinia, oFederico; Loupasakis, Constantinos; Rozosb, Dimitrios; Adamc, Nico; Moretti, Sandro, (2014) *Ground subsidence phenomena in the Delta municipality region (Northern Greece): Geotechnical modeling and validation with Persistent Scatterer Interferometry*, *ELSEVIER International Journal*, vol 28, pp 78-89
- Smith, R P G; Knight R.; Chen J; Reeves J. A; Zebker H. A; Farr T and Liu Z. (2017). *Estimating the permanent loss of groundwater storage in the southern San Joaquin Valley, California*, *Water Resources Research journal*, vol 53, , pp 2133-2148.