

تعیین رابطه فرونشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی با روش تداخل سنجی راداری و ایستگاه ثابت GPS (مطالعه موردی: دشت سلماس)

کیوان زارعی^۱، علی رسولزاده^۲، مرتضی صدیقی^۳، غلامرضا احمدزاده^۴، جواد رضانی مقدم^۵

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳

مقاله پژوهشی برگرفته از پایان نامه

چکیده

دشت سلماس از مهم‌ترین دشت‌های استان آذربایجان غربی است. رشد سریع جمعیت همراه با توسعه کشاورزی در دهه های اخیر سبب برداشت بی رویه و فشار بر منابع آبی این دشت گردیده است. استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و تغذیه کم دشت باعث افت سطح آب در دهه اخیر شده است. نشست سطح زمین ناشی از افت سطح آب‌های زیرزمینی در بخش‌های از این دشت به طور محسوس مشاهده می‌شود. در این پژوهش ارتباط بین افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست زمین مورد بررسی قرار گرفت. روش‌های تعیین فرونشست زمین، مشاهدات ایستگاه دایم GPS و روش تداخل سنجی راداری می‌باشد. نتایج، حاکی از همبستگی معنی‌دار و خطی بین افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست زمین در این دشت می‌باشد. میانگین مقادیر ضریب تبیین (از سال ۲۰۰۶ الی ۲۰۱۱) در روش‌های ایستگاه ثابت GPS و تداخل سنجی راداری به ترتیب برابر ۷۸ و ۸۲ درصد به دست آمد. بیشینه نرخ فرونشست با استفاده از تصاویر راداری ماهواره ALOS در سال ۲۰۰۹، ۱۱ سانتی‌متر در سال محاسبه گردید. نتایج حاصل از GPS نشان داد به ازای یک متر افت سطح آب زیرزمینی، ۰/۰۷۸ متر سطح زمین در دشت مورد مطالعه نشست خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: فرونشست زمین، سطح آب زیرزمینی، تداخل سنجی راداری، دشت سلماس.

۱- کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، ۰۹۱۴۱۵۶۵۳۱۳، Zarekeyvan76@gmail.com

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، ۰۹۱۴۱۵۶۵۳۱۳، rasoulzadeh@uma.ac.ir (نویسنده مسئول)

۳- دکتری تخصصی - مدیر کل ژئودزی و نقشه‌برداری زمینی سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران، ایران، تلفن، Sedighi@ncc.org.ir

۴- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، ۰۹۱۴۴۱۹۲۲۳۱، g_ahmadzadeh@uma.ac.ir

۵- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، ۰۹۱۵۹۲۴۸۰۵۷، j_ramezani@uma.ac.ir

مقدمه

آبهای زیرزمینی یکی از منابع مهم آب محسوب می-شود. حدود ۵۰ درصد آب شرب و ۴۳ درصد آب آبیاری مردم جهان را آبهای زیرزمینی تشکیل می-دهند (Jafari et al., 2019). در دهه‌های اخیر، بروز خشکسالی‌های بی-سابقه، افزایش استفاده از آبهای زیرزمینی و بسیاری از فعالیت‌های مخرب محیط زیستی دیگر، موجب افت چشمگیر سطح آبهای زیرزمینی شده است. این مسئله بخصوص در مناطقی که منبع اصلی آب مصرفی از طریق آب زیرزمینی تأمین می-شود بسیار بحران‌زا است. از مهم-ترین مشکلات ایجاد شده در اثر افت سطح آب زیرزمینی می-توان به کاهش منابع آب، تخریب لوله‌های جدار چاه، فرونشست زمین در برخی از مناطق و ایجاد درز و ترک در سطح اراضی اشاره کرد (غفوری و همکاران، ۱۳۹۲؛ یمانی و همکاران، ۱۳۸۸؛ بیژنی و همکاران، ۱۳۹۵).

فرونشست زمین در اثر استحصال بیش از حد منابع آب زیرزمینی و افت سطح آب زیرزمینی می-تواند موجب مشکلاتی مانند ایجاد شکاف‌های بزرگ با عمق چندین-متر و طول چندین کیلومتر شود. پدیده فرونشست و تشکیل درز و ترک‌ها اغلب در اراضی کشاورزی رخ می-دهند و موجب ایجاد مشکلاتی در امر کشاورزی و افزایش تلفات آب (از طریق شکاف‌ها)، تخریب چاه‌های بهره-برداری آب، افت کیفی آب زیرزمینی، صدمه دیدن جاده-های منطقه، خطوط راه‌آهن، خطوط انتقال گاز و انواع سازه‌های آبی موجود در منطقه می-شوند (موسوی مداح و همکاران، ۱۳۹۲؛ بیژنی و همکاران، ۱۳۹۵). بیژنی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی که بر روی افت سطح آب-های زیرزمینی دشت علی‌آباد (واقع در شهرستان ساوه) انجام دادند گزارش دادند که در اثر برداشت غیرمجاز از آبهای زیرزمینی، سطح آبهای زیرزمینی منطقه کاهش یافته و متعاقب آن فرونشست زمین رخ داده است. همچنین نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که ارایه مجوز کف‌شکنی در چاه‌های کشاورزی موجب آسیب

جدی به آبخوان و موجب خشکی بخش وسیعی از دشت خواهد شد، به طوری که کمترین و بیشترین افت سطح آب زیرزمینی مربوط به کف‌شکنی در عمق ۲۰ و ۶۰ متری سطح زمین به ترتیب برابر با ۷/۶ و ۲۳ متر بودند. Brown و Nicholls (2015) در پژوهشی اثر فرونشست زمین را در ۲۰۵ نقطه دلتای گانج برهماپوترا مگنا (واقع در محدوده بنگلادش و هندوستان) با وسعت بیش از یک و نیم میلیون متر مربع مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج تحقیق آن‌ها، مقادیر نرخ فرونشست زمین در این دلتا از ۱/۱- تا ۴۳/۸- میلی‌متر در سال متغیر بود، که علت آن را تغییرات مکان، روش پژوهش و دوره اندازه‌گیری اظهار داشتند. Nguyen (2016) یکی از مهم‌ترین راهکارهای کاهش فرونشست زمین در اراضی شهر هوچی‌مین (واقع شده در حدفاصل جنوب غربی و جنوب شرقی ویتنام) را کنترل برداشت آبهای زیرزمینی بخصوص در بخش‌های مربوط به صنعت اعلام کرد.

روش‌های مختلفی برای مطالعه پدیده فرونشست زمین وجود دارد. از جمله این روش‌ها می‌توان به بررسی تغییرات سطح آب دریا، اندازه‌گیری تغییرات شیب زمین و اندازه‌گیری رقوم ارتفاعی (ترازیابی دقیق، کاربرد GPS و تصاویر راداری) اشاره کرد (زارعی، ۱۳۹۴). انگورانی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی فرونشست دشت تهران را در بازه زمانی سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۸ مورد بررسی قرار دادند. آنها با استفاده از معادلات حاکم بر هیدروگراف‌ها و داده‌های سامانه‌های موقعیت‌یاب جهانی موجود در ایستگاه‌های نظارتی و به کمک الگوریتم‌های ژنتیک، تأخیر زمانی بین برداشت آب زیرزمینی و فرونشست زمین را معادل ۲۷ ماه محاسبه کردند. مقایسه مقادیر پیش-بینی شده توسط مدل و مقادیر مشاهداتی فرونشست-زمین بیانگر تطابق مناسب با مقادیر جذرمیانگین مربعات-خطا و ضریب رگرسیون به ترتیب برابر ۳/۰۸۱ متر و ۰/۹۷۹ بود. در سال ۲۰۰۹ در دشت پو در کشور ایتالیا، پدیده فرونشست زمین با کمک ایستگاه‌های ثابت GPS

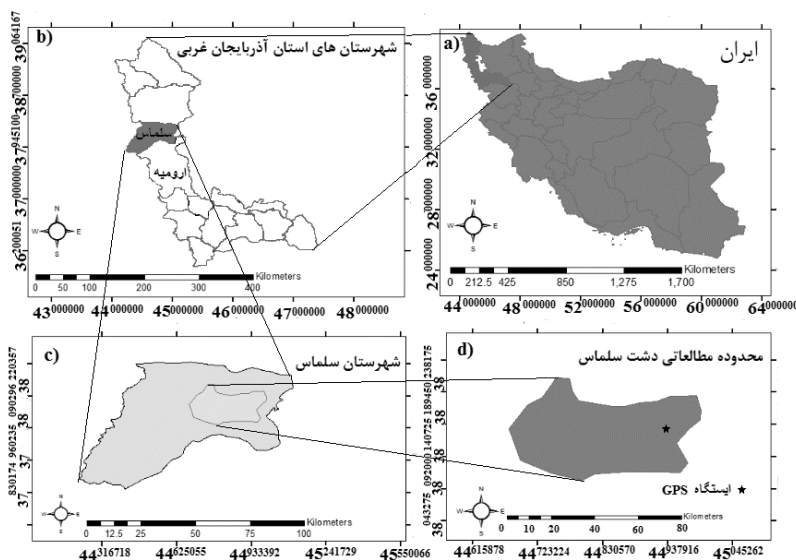
در بیشتر تحقیقات انجام شده در خصوص فرونشست زمین و افت سطح ایستابی (در سطح ملی و بین‌المللی)، معمولاً این دو عامل جدا از هم بررسی شده یا نهایتاً برای عامل افت سطح آب‌زیرزمینی، سهمی در فرونشست زمین مشخص کرده‌اند (Nguyen, 2016؛ صفاری و جعفری، ۱۳۹۵)، اما در این تحقیق علاوه بر بررسی رابطه بین فرونشست زمین و کاهش سطح آب‌زیرزمینی به دو روش مختلف (تداخل سنجی راداری و ایستگاه ثابت GPS)، روابط ریاضی میان مقادیر فرونشست زمین و افت سطح آب‌زیرزمینی در دشت سلماس اشتقاق یافته است. همچنین بین این دو روش رابطه‌ای استخراج گردید که موجب تعمیم رابطه استخراجی بین نشست زمین و افت سطح آب‌زیرزمینی از روش GPS (ایستگاه قره‌قشلاق) به کل دشت سلماس گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در دشت سلماس (واقع در شهرستان سلماس از توابع استان آذربایجان غربی) انجام شد. فاصله این شهرستان از مرکز استان (شهر ارومیه) حدود ۹۵ کیلومتر و دارای مختصات ۳۸ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و ۴۴ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی است (شکل ۱).

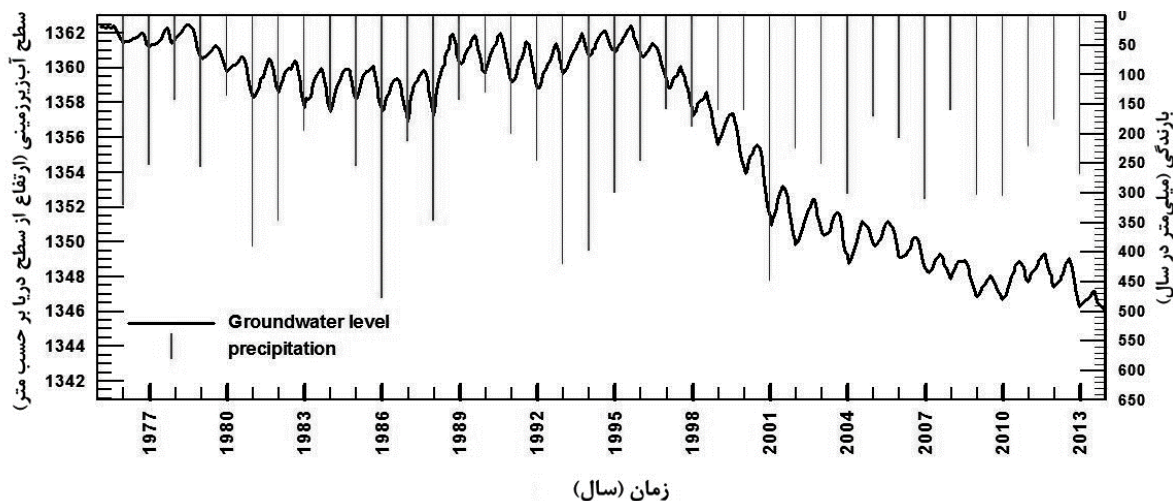
(Continuously-operating Global Positioning System stations) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد مقادیر به‌دست آمده از این روش دارای دقت قابل قبول بوده و بالاترین نرخ فرونشست زمین (۱۵ میلی‌متر در سال) مربوط به بخش شرقی دشت است (Baldi et al., 2009). البته در سال‌های اخیر، روش تداخل‌سنجی راداری (Synthetic Aperture Radar Interferometry) نسبت به سایر روش‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. علت این امر مزایای این روش نسبت به سایر روش‌ها است. مهم‌ترین مزایای این روش شامل قدرت تفکیک مکانی خوب، دقت بسیار زیاد، مقرون به صرفه بودن، امکان دسترسی به اطلاعات در شرایط مختلف آب و هوایی و پوشش وسیع منطقه است (Gheorghe and Aramas, 2016). صفاری و جعفری (۱۳۹۵) مقدار و پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین را در دشت کرج-شهریار با کمک روش تداخل‌سنجی راداری مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق از داده‌های ماهواره ENVISAT به منظور پایش جابجایی سطح زمین ناشی از فرونشست در دشت کرج-شهریار استفاده شد. نتایج نشان داد طی دوره زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ حداکثر فرونشست بین ۹۴ تا ۱۳۶ میلی‌متر است.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی دشت سلماس

لایه‌های آبرفتی در آن به ۲۰۰ متر هم می‌رسد. محدوده این دشت از کوه‌های غربی تا اطراف دریاچه ارومیه ادامه داشته و رودخانه زولاچای از آن عبور می‌کند و نهایتاً به دریاچه ارومیه می‌ریزد. تعداد چاه‌های مشاهده‌ای در این دشت ۳۵ حلقه و میانگین عمق آن‌ها ۴۵ متر است که حدود ۶۸ درصد سفره‌های آب زیرزمینی را در این دشت تحت پوشش خود قرار می‌دهند (زارعی، ۱۳۹۴). همچنین کمینه و بیشینه عمق چاه‌های مشاهده‌ای در دشت سلماس برابر ۱۲ و ۱۱۰ متر است. آمار و اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای از شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی دریافت گردید. متوسط هیدروگراف سطح ایستایی دست سلماس، در چاه‌های مشاهده‌ای به همراه بارش متوسط سالانه، طی سال‌های ۱۳۷۴ (۱۹۷۵) تا اواخر ۱۳۹۲ (۲۰۱۳) رسم و در شکل (۲) ارایه شده است.

محدوده مطالعاتی سلماس، توسط سنگ‌های متعلق به دوران‌های مختلف زمین شناسی از پرکامبرین تا کواترنری پوشیده شده است. سنگ‌های رسوبی، در جنوب، غرب و در حاشیه شمال و شمال شرقی دشت سلماس گسترش دارند و شامل سنگ‌های آهکی متعلق به پرمین (تشکیلات روته) در جنوب و جنوب غرب محدوده مطالعاتی، سنگ‌های آهکی، شیلی و کنگلومرایی متعلق به کرتاسه در جنوب غرب و رسوبات مربوط به آمیزه رنگین (کالردملانژ) در جنوب و شمال غرب و رخساره مارنی ماسه سنگی (معادل تشکیلات قم) در ضلع غرب، شمال و شمال شرق دشت سلماس می‌باشند (زارعی، ۱۳۹۴). بر اساس آمار بلندمدت (سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۳) مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه، کمینه و بیشینه دما در این دشت ۱۴- و ۳۶+ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۲۶۱ میلیمتر است. مساحت دشت سلماس ۵۵ هزار هکتار و ضخامت



شکل (۲): هیدروگراف آب زیرزمینی دشت سلماس همراه با بارش سالانه (سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۳)

جلوگیری از روند افت شدید سطح آب زیرزمینی، ولی افت حاصله از سال‌های ذکر شده جبران نشده است.

شکل (۲) نشان می‌دهد به علت کاهش پنج ساله بارش از سال ۱۹۹۵ الی ۲۰۰۰، سطح آب زیرزمینی افت شدید داشته است. نظر به بارش ۴۴۹ میلی‌متری در سال ۲۰۰۱ که بیش از متوسط درازمدت می‌باشد، علی‌رغم



روش تداخل سنجی راداری

در روش تداخل سنجی راداری تغییرات هندسی سطح زمین (ارتفاع و مسطحات) اندازه گیری می شود. در این فناوری با کمک داده هایی که از سیستم تصویربرداری رادار به دست می آید مقدار حرکت در راستای دید ماهواره، تغییر ارتفاع و تغییرات سطح زمین اندازه گیری می شود. بنابراین این روش برای تعیین مقادیر فرونشست زمین، تغییرات آن در هنگام زلزله، زمین لغزش، آتشفشان و مشابه آن بسیار کاربرد دارد. همچنین از مهم ترین مزیت های این ماهواره این است که به خاطر طول امواج بلندش قادر به عبور از پوشش گیاهی می باشد. روش تداخل سنجی راداری، با کمک تصاویر تکراری رادار، حرکات سطح زمین اندازه گیری شده و تصاویر برداشتی در دو زمان مختلف توسط سنجنده رادار برداشت و با هم ترکیب می شود و نهایتاً تغییرات ارتفاع زمین اندازه گیری می شود. تصاویر به دست آمده از این روش، اینترفروگرام (Interferogram) نام دارد که حاوی تفاوت فازی بین دو تصویر راداری است که با دقت نسبت به هم هندسی شده اند (Gheorghe and Aramas, 2016).

در این تحقیق جهت تعیین مقدار فرونشست زمین از تصاویر ماهواره ALOS که دارای طول موج بلندی می باشد استفاده شده است. این تصاویر مربوط به اواخر سال ۲۰۰۸ تا اوایل ۲۰۱۰ میلادی در منطقه مورد نظر بودند. مجموع تصاویر ENVISAT شامل ۱۵ تصویر بودند که تنها سه زوج تصویر آن برای تعیین فرونشست زمین قابل استفاده بودند. خوشبختانه به خاطر طول موج بلند تصاویر ALOS PALSAR قابلیت استفاده از این تصاویر در بازه زمانی طولانی تر نیز وجود دارد که باعث می شود روند کلی فرونشست به خوبی مشخص گردد. زوج تصاویر مورد استفاده ALOS جهت تعیین

فرونشست زمین دارای طول بازه عمودی ۲۳۳۶ متر و تاریخ تصاویر به ترتیب ۲۰۰۸/۱۲/۳۱ و ۲۰۱۰/۱۱/۳ بود.

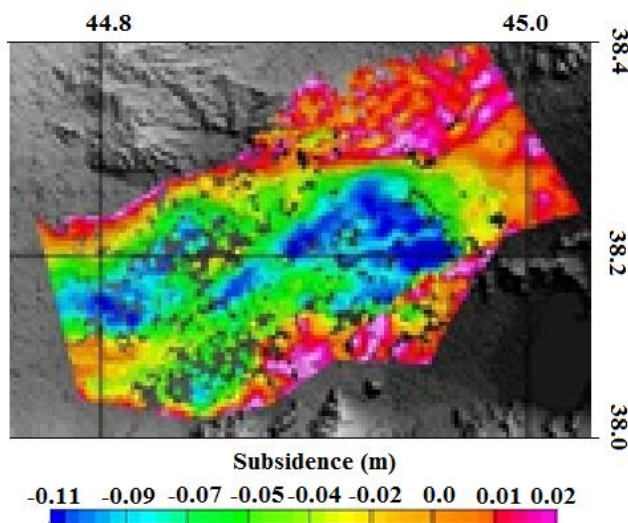
روش ایستگاه دائمی GPS

در این روش معمولاً از ایستگاه های GPS که به طور ثابت و دائمی در یک نقطه با مختصات جغرافیایی مشخص مستقر شده اند استفاده می شود. در این ایستگاه ها تغییرات ارتفاع به طور منظم و دقیق ثبت شده و در نهایت با کمک مقادیر به دست آمده میزان فرونشست زمین محاسبه می گردد (Baldi et al., 2009). در این تحقیق از ایستگاه ثابت GPS قره قشلاق که در سال ۲۰۰۵ توسط سازمان نقشه برداری کشور تاسیس شده، در بازه زمانی سال های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ میلادی، استفاده گردید. این ایستگاه واقع در روستای قره قشلاق و دارای مختصات طول جغرافیایی ۴۴ درجه، ۵۷ دقیقه و ۱۳ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه، ۱۲ دقیقه و ۲۶ ثانیه است. همچنین جهت مقایسه فرونشست زمین با افت سطح ایستابی از یک چاه پیژومتری در ۵۰ متری این ایستگاه با مختصات جغرافیایی تقریباً مشابه آن استفاده شد. همچنین در این تحقیق، با استفاده از رگرسیون های مختلف (نمایی، لگاریتمی، چند جمله ای و...) بهترین برازش بین ارقام فرونشست زمین (حاصل از روش ایستگاه ثابت GPS) و رقوم سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت.

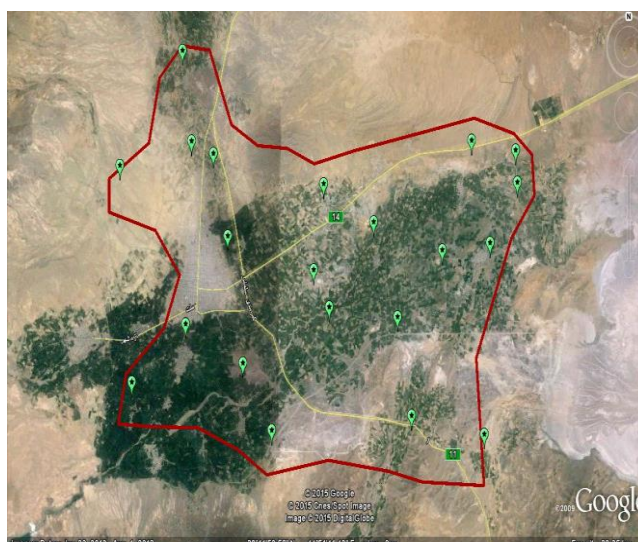
نتایج و بحث

نتایج مربوط به روش تداخل سنجی راداری

به منظور بررسی فرونشست زمین در دشت سلماس، نقشه فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی راداری (سال ۲۰۰۹) تهیه شد که در شکل (۳) ارائه شده است. بر اساس نتایج این تحقیق، میزان فرونشست زمین در دشت سلماس به بیش از ۱۱ سانتی متر نیز می رسد (شکل ۳).



شکل (۳): نقشه فرونشست زمین در دشت سلماس با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری (سال ۲۰۰۹)



شکل (۴): توزیع مکانی چاه‌های مشاهده‌ای در دشت سلماس

با استفاده از نرم افزار GOOGLE EARTH وضعیت قرارگیری چاه‌های مشاهده‌ای (۲۱ حلقه) در دشت سلماس در شکل (۴) نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد توزیع فرونشست زمین در سرتاسر این دشت یکنواخت نبوده و بیشترین مقادیر فرونشست در مرکز دشت سلماس دیده می‌شود.

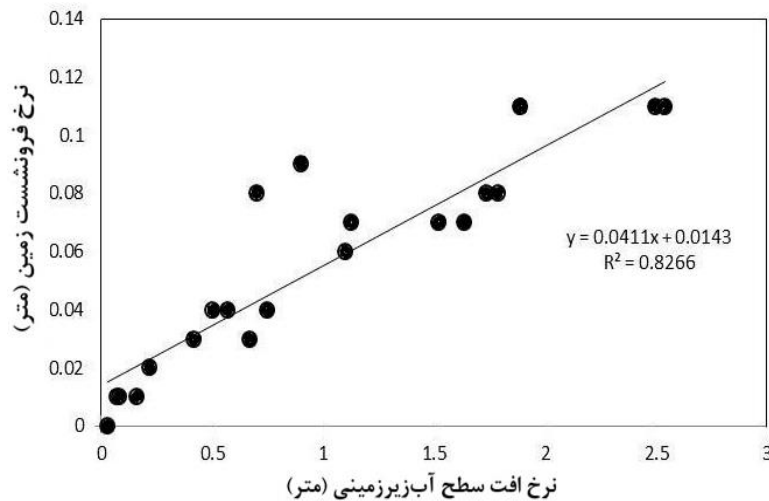
جدول (۱): نرخ فرونشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی در برخی از چاه‌های مشاهده‌ای در سال ۲۰۰۹

شماره	نام روستا	نرخ فرونشست زمین (متر)	نرخ افت سطح آب زیرزمینی (متر)
۱	مغانجوق	۰/۰۴	۰/۵۷
۲	پادگان	۰/۱۱	۲/۵
۳	یالقوزآغاج	۰/۰۳	۰/۴۲
۴	بخشکندی	۰/۰۲	۰/۲۲
۵	کنگرلو	۰/۰۸	۱/۷۹
۶	سرای ملک	۰/۰۸	۱/۷۴

بین نرخ فرونشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی در کل دشت سلماس در سال ۲۰۰۹ بررسی گردید. نتایج نشان داد بهترین رابطه رگرسیونی بین این دو عامل، رابطه خطی با ضریب تبیین ۰/۸۲۶۶ و مقدار شیب برابر ۰/۰۴۱۱ می‌باشد (شکل ۵). بنا براین می‌توان نتیجه گرفت که ارتباط بین نرخ فرونشست برآوردشده با روش تداخل‌سنجی راداری و نرخ افت سطح آب زیرزمینی با ضریب تبیین ۰/۸۲۶۶ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار می‌باشد.

در سال ۲۰۰۹، با استفاده از نرم افزار GIS و نقشه فرونشست زمین (شکل ۳)، میزان فرونشست زمین در مجاورت چاه‌های مشاهده‌ای به دست آمد. همچنین با استفاده از آمار شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی، میزان افت سطح آب زیرزمینی در ۲۱ حلقه‌چاه مشاهده‌ای موجود در منطقه مورد مطالعه (شکل ۴) استخراج شد.

جهت رعایت اختصار، در جدول (۱)، اطلاعات شش چاه مشاهده‌ای به‌عنوان نمونه ارائه شده است. رابطه

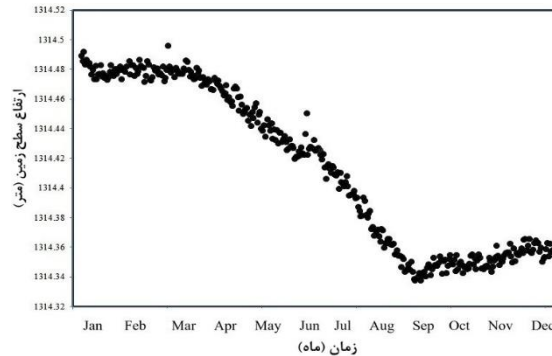


شکل (۵): همبستگی بین مقادیر فرونشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی در کل دشت سلماس در سال ۲۰۰۹

نتایج مربوط به روش ایستگاه دائمی GPS

در این تحقیق جهت بررسی فرونشست زمین از داده‌های ایستگاه دائمی GPS قره‌قشلاق طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ استفاده شد. همچنین سطح آب-زیرزمینی در چاه مشاهده‌ای موجود در همان محل، در

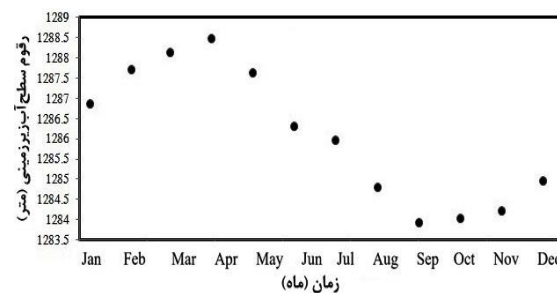
دوره‌آماری یاد شده به‌دست آمد. نتایج حاکی از آن است که تغییرات ارتفاع زمین نسبت به زمان در سال‌های مختلف (از ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱) روند مشابهی را طی کرده است که برای نمونه، سری زمانی تغییرات ارتفاع (نشست زمین) در سال ۲۰۰۹ در شکل (۶) ارایه شده است.



شکل (۶): سری زمانی نشست زمین در سال ۲۰۰۹ در ایستگاه GPS

ایجاد کند. عوامل مختلفی در پدیده فرونشست سهم دارند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها استخراج بی‌رویه آب-زیرزمینی در منطقه می‌باشد (Hong Phi and Stroková, 2015; Gumilara et al., 2015; Zhu et al., 2015)

مقادیر فرونشست زمین در ایستگاه GPS قره‌قشلاق از دشت سلماس، در سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ به ترتیب برابر ۲/۴۵، ۵/۲۵، ۷/۵۴، ۱۱/۷۳، ۸/۸۷ و ۱۰/۸۳ سانتی‌متر ثبت شده است. مقادیر فرونشست بیانگر وضعیت بحرانی کاهش رقوم ارتفاعی زمین در این منطقه بوده که می‌تواند مشکلات فراوانی در آینده



شکل (۷): نوسانات سطح آب در چاه مشاهده‌ای قره‌قشلاق در سال ۲۰۰۹

موارد مشابه بستگی دارد روند کلی تغییرات سطح آب-زیرزمینی نشان دهنده کاهش سطح آب زیرزمینی در طول یک‌سال است. در این‌جا جهت رعایت اختصار، نوسانات سطح آب چاه مشاهده‌ای قره‌قشلاق فقط در سال ۲۰۰۹ ارایه شده است (شکل ۷). بررسی نوسانات

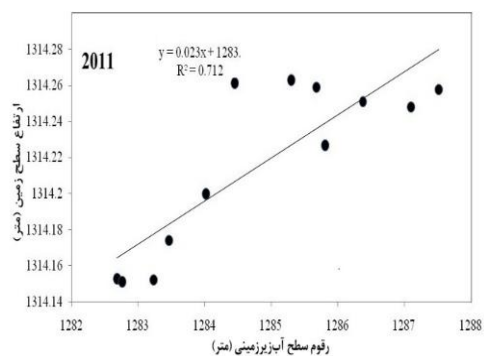
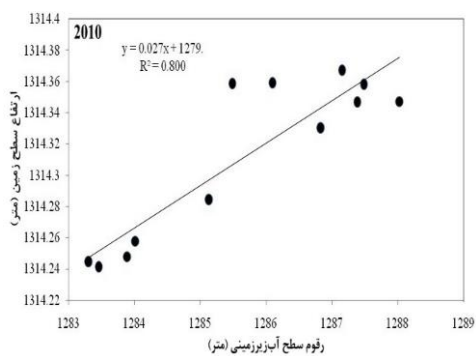
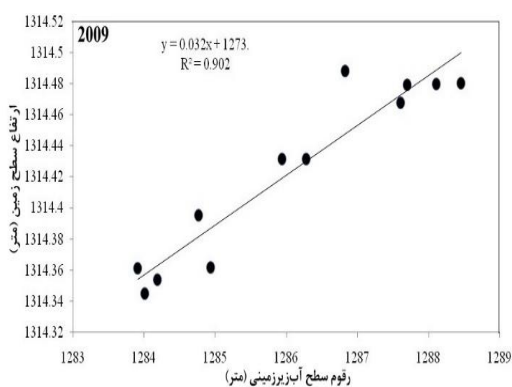
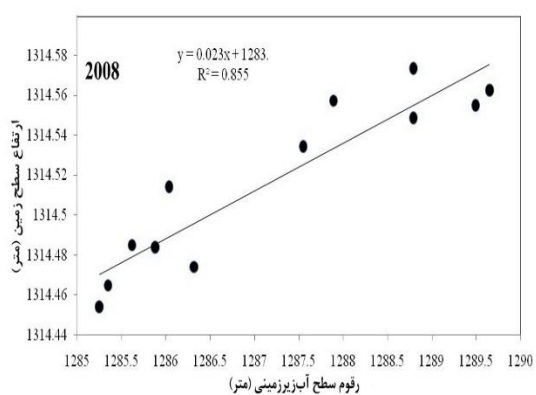
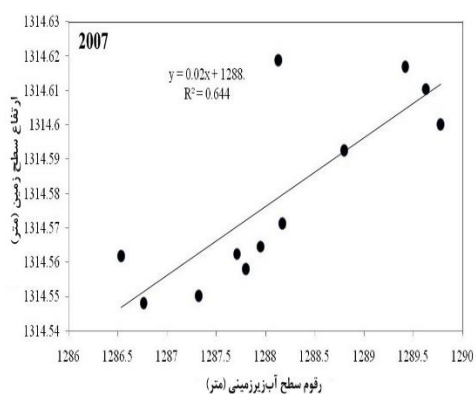
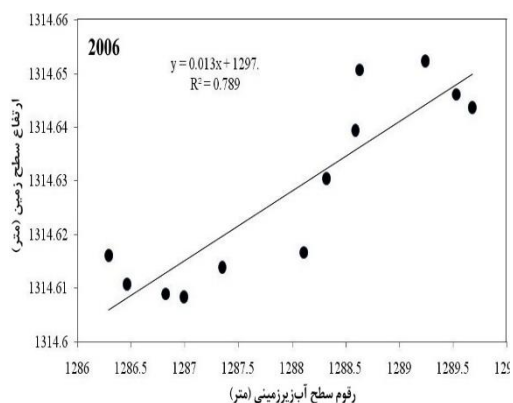
بررسی نتایج مربوط به تغییرات سطح آب زیرزمینی بیانگر روند مشابه آن در سال‌های مختلف بود (شکل ۷). مطابق نتایج شکل (۷)، صرف نظر از تغییرات فصلی سطح آب زیرزمینی که معمولاً به بارش‌ها، آبیاری و سایر



و رقوم سطح زمین در سال های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ استخراج شد (شکل ۸).

همان طور که در شکل (۸) مشاهده می شود مقادیر ضریب تبیین حاصل از برازش رقوم سطح زمین و سطح آب زیرزمینی در دوره آماری مورد مطالعه (سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱) در محدوده ۰/۶۵ تا ۰/۹۰ متغیر بود. همچنین میانگین ضرایب تبیین برابر ۰/۷۸ به دست آمد که بیانگر همبستگی خوب بین این دو عامل می باشد

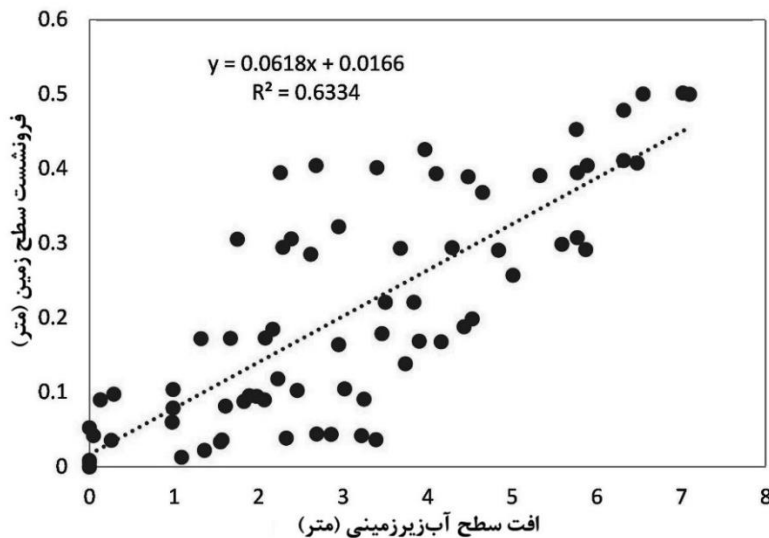
سطح آب زیرزمینی در چاه مشاهداتی قره قشلاق نشان داد که افت سطح آب زیرزمینی در سال های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ به ترتیب برابر با ۱/۶۴، ۱/۳۷، ۱/۵۷، ۱/۸۹، ۱/۶ تا ۱/۲۲ متر می باشد. با به کارگیری ارقام فرونشست زمین (حاصل از روش ایستگاه ثابت GPS) و رقوم سطح آب زیرزمینی، میزان همبستگی بین این دو عامل و رگرسیون حاصل از همبستگی بین سطح آب زیرزمینی



شکل (۸): همبستگی بین رقوم سطح آب زیرزمینی و سطح زمین در ایستگاه GPS قره‌قشلاق در سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱

بررسی قرار گرفت و رگرسیون خطی بین این دو عامل استخراج شد (شکل ۹).

برای بررسی بهتر میزان همبستگی بین نرخ افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱)، مقادیر افت سطح آب- زیرزمینی و نشست زمین در کل دوره (شش سال) مورد



شکل (۹): همبستگی بین کل رقوم افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در ایستگاه قره‌قشلاق (۲۰۱۱-۲۰۰۶)

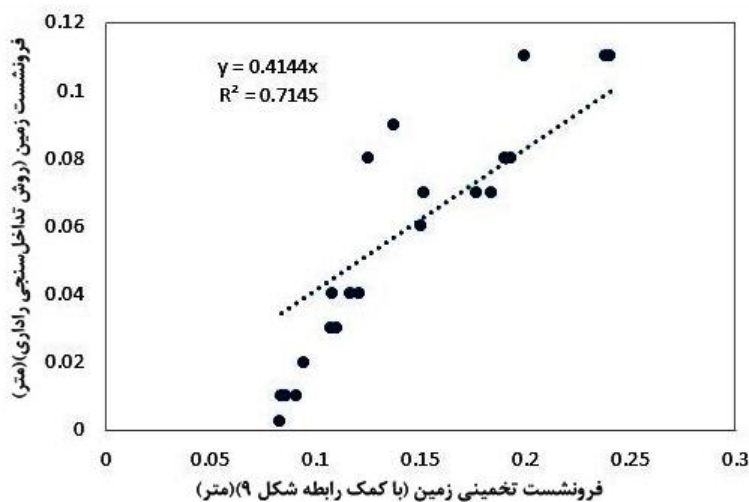
از طرفی Gumilara et al., (2015) عوامل موثر بر فرونشست زمین در حوزه باندان را در دوره آماری ۱۳-ساله مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد مقادیر بیشینه نرخ فرونشست زمین و کاهش سطح آب زیرزمینی به ترتیب برابر ۰/۱۶۵ و ۱/۷۹ متر در سال است. همچنین استخراج آب زیرزمینی به عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر میزان فرونشست زمین مشخص شد. (Hay- (2012) Man et al., در تحقیقی روی فرونشست زمین (در محدوده سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰) از دو روش GPS و تداخل-سنجی راداری در شهر جاکارتا استفاده کردند که در نهایت مقادیر فرونشست ۶ تا ۲۹ میلی‌متر در سال به-دست آمد.

شایان ذکر است روش GPS علی‌رغم دقت بالا، اطلاعات نشست زمین را به صورت نقطه‌ای (فقط برای ایستگاه قره‌قشلاق) در سال‌های مختلف (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱) ارائه می‌کند. برای تعمیم معادله استخراجی از اطلاعات GPS (شکل ۹) برای کل دشت، با جای‌گذاری

نتایج به‌دست آمده از شکل (۹) نشان داد نرخ افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین دارای رابطه رگرسیونی خطی با ضریب تبیین برابر ۰/۶۳ می‌باشند. بر اساس نتایج این تحقیق، مقدار فرونشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی (در دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۰۶) در روش ایستگاه ثابت GPS قره‌قشلاق به ترتیب برابر ۴۶/۶۷ سانتی‌متر و ۵/۵ متر به‌دست آمد.

نتایج پژوهش Yamani et al., (2009) نشان داد به‌ازای افت ۲۶۰ سانتی‌متری سطح آب زیرزمینی دشت قره‌بلاغ در سال، میزان فرونشست زمین حدود ۱۱/۸ سانتی‌متر است. همچنین Hong Phi and Stroková (2015) مطالعاتی جهت تعیین سهم عوامل موثر در فرونشست زمین در هنوی (شهری در ویتنام) انجام داده و گزارش کردند سهم استخراج آب زیرزمینی در فرونشست زمین (سالانه ۱۲ سانتی‌متر) بیش از ۳۰ درصد است که بیانگر ارتباط قوی بین میزان بهره‌برداری از آب زیرزمینی و فرونشست زمین بود.

در کل دشت و مقادیر به دست آمده از روش GPS (شکل ۹) را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد مقادیر نشست زمین حاصل از شکل (۹) (روش GPS) با ضریب تبیین (R^2) برابر با مقدار ۰/۷۱۴ قابل تعمیم به کل دشت می‌باشد.



شکل (۱۰): همبستگی بین نرخ نشست زمین حاصل از روش تداخل سنجی راداری و GPS

شکل (۹) نسبت به نشست زمین به دست آمده از روش تداخل سنجی راداری کاملاً خطی نمی‌باشد، به طوری که روند تغییرات در فرونشست کمتر از ۰/۱۰ و ۰/۰۲ (محورهای افقی وعمودی) با بیش از آن متفاوت می‌باشد. علت این امر، قرارگیری پنج چاه مشاهده‌ای در حاشیه دشت بوده که خصوصیات زمین شناسی آن با چاه قره‌قشلاق متفاوت بود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق وضعیت سطح آب‌زیرزمینی و نشست زمین در دشت سلماس با دو روش مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از روش تداخل سنجی راداری (سال ۲۰۰۹) نشان داد که مقادیر فرونشست زمین و کاهش سطح آب‌زیرزمینی در سرتاسر دشت سلماس به ترتیب در محدوده ۲ تا ۱۱ سانتی‌متر و ۰/۲۲ تا ۱/۷۹ متر متغیر است.

همچنین بررسی رابطه بین مقادیر فرونشست زمین و کاهش سطح آب‌زیرزمینی در دو روش تداخل سنجی راداری و روش GPS نشان داد که به ازای هر متر کاهش

مقادیر افت سطح آب‌زیرزمینی در ۲۱ چاه مشاهده‌ای در معادله شکل (۹)، مقدار نرخ نشست برای کل دشت برآورد گردید و با مقادیر نشست زمین حاصل از تداخل-سنجی برای کل دشت (شکل ۳) مقایسه گردید. شکل (۱۰) ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده نشست زمین

شایان ذکر است ضریب تبیین حاصله (۰/۷۱۴۵) و همبستگی بین فرونشست زمین حاصل از روش GPS با فرونشست زمین برآورد شده با روش تداخل سنجی راداری سطح پنج درصد معنی‌دار می‌باشد. برای تعمیم رابطه‌ی به دست آمده از ایستگاه قره‌قشلاق به کل دشت، فرض شد این ایستگاه که توسط سازمان نقشه برداری برای پایش نشست زمین دشت انتخاب شده است بیانگر متوسط منطقه بوده و رفتار این ایستگاه (واکنش‌های نشست مکان یادشده در اثر افت سطح آب زیرزمینی) همانند کل دشت می‌باشد. با تعمیم معادله‌ی شکل (۹) به کل دشت و مقایسه آن با نشست زمین برآورد شده توسط روش تداخل سنجی راداری، رابطه ریاضی با R^2 حدود ۰/۷۲ و همبستگی بین آن‌ها، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار به دست آمد (شکل ۱۰) که نشان از صادق بودن فرض یاد شده دارد.

شایان ذکر است شکل (۱۰) بیانگر این است که روند تغییرات نشست زمین محاسبه شده از معادله‌ی

رابطه ریاضی حاصل دارای ضریب تبیین $0/72$ و همبستگی بین این دو روش در سطح پنج درصد معنی-دار به دست آمد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از سازمان نقشه برداری کشور و شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی که در تأمین بخشی از داده‌ها و امکانات انجام این تحقیق همکاری نمودند سپاسگزاری می‌گردد.

سطح آب زیرزمینی به ترتیب $0/055$ و $0/078$ متر فرونشست زمین رخ می‌دهد.

مقادیر فرونشست زمین در روش GPS دارای دقت بیشتری نسبت به روش تداخل سنجی راداری بوده و طی شش سال (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱) مقادیر آن ثبت شده است. اندازه‌گیری انجام شده با این روش موضعی بوده و مقادیر ارتباط فرونشست زمین در ایستگاه اندازه‌گیری را ارایه می‌دهد. لذا، مقادیر ارتباط فرونشست زمین با افت سطح آب زیرزمینی حاصل از این روش با استفاده از اطلاعات فرونشست زمین اندازه‌گیری شده با روش تداخل سنجی راداری به کل دشت تعمیم داده شد.

منابع

- اسماعیلی، ا.، سلطانی محمدی، ا. و برومندنسب، س. ۱۳۹۴. بررسی ابعاد پیاز رطوبتی آبیاری قطره‌ای نواری در اراضی شیب‌دار. مجله علمی کشاورزی، علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۹، شماره ۱، صفحات ۱۹۰-۱۸۱.
- انگورانی، س.، ح. معماریان، م. شریعت پناهی و م. جواد بلورچی. ۱۳۹۴. مدل سازی پویای فرونشست دشت تهران. مجله علوم زمین. سال بیست و پنجم شماره ۹۷. ص ۲۲۰-۲۱۱.
- بیژنی، م.، ع. مریدی و س.م.ر. مجدزاده طباطبایی. ۱۳۹۵. بررسی تأثیرات کف شکنی چاهها بر پتانسیل برداشت از آبخوان با استفاده از مدل ریاضی. نشریه تحقیقات منابع آب ایران. سال دوازدهم، شماره ۴، ص ۹۲-۸۳.
- کیوان زارعی. ۱۳۹۴. بررسی همبستگی میان افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست زمین (مطالعه موردی: دشت سلماس) پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی آب.
- صفاری، ا و ف. جعفری. ۱۳۹۵. سنجش مقدار و پهنه بندی خطر فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی راداری مطالعه موردی: دشت کرج- شهریار. فصلنامه علمی- پژوهشی و بین المللی انجمن جغرافیای ایران. سال چهاردهم شماره ۴۸. ص ۱۷۵-۱۸۸.
- غفوری، م.ر.، ا. شامحمدی، غ.ع. کاظمی، ک. مرادی هرسینی و ه. شرفی. ۱۳۹۲. ارزیابی تأثیر افت سطح ایستابی بر ناپایداری و تخریب اسکرین‌های چاه‌های آب. نشریه تحقیقات منابع آب ایران. سال نهم، شماره ۲، ص ۵۱-۴۲.
- موسوی مداح، س.م.، م. غفوری، غ.ر. لشکری پور و س. افشار. ۱۳۹۲. بررسی پدیده نشست زمین و تأثیر آن بر روی گسیختگی لوله‌های جدار چاه‌های آب در محدوده شهر مشهد با استفاده از پهنه بندی تغییرات دانه بندی لایه‌های زمین. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. سال چهارم، شماره ۱۳. ص ۶۶-۵۶.
- یمانی، م.، ا. نجفی و م.ح. عابدینی. ۱۳۸۸. ارتباط فرونشست زمین و افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت قره بلاغ استان فارس. فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا. دوره ۳، شماره ۸-۹. ص ۲۷-۹.



Brown, S. and Nicholls, R.J., 2015. Subsidence and human influences in mega deltas: The case of the Ganges–Brahmaputra–Meghna. *Science of the Total Environment*, 527–528: 362–374.

Gheorghe, M. and Armas, I., 2016. Comparison of multi-temporal differential interferometry techniques applied to the measurement of Bucharest city subsidence. *Procedia Environmental Sciences*, 32: 221–229.

Gumilara, I., Abidin, H.Z., Hutasoit, L.M., Hakim, D.M., Sidiq, T.P. and Andreas, H., 2015. Land subsidence in Bandung Basin and its possible caused factors. *Procedia Earth and Planetary Science*, 12: 47–62.

Hay-Man, A., Ge, L., Li, X., Abidin, H.Z., Andreas, H. and Zhang, K., 2012. Mapping land subsidence in Jakarta, Indonesia using persistent scatterer interferometry (PSI) technique with ALOS PALSAR. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18: 232–242.

Hong, Ph.T. and Strokova, L.A. 2015. Prediction maps of land subsidence caused by groundwater exploitation in Hanoi, Vietnam. *Resource-Efficient Technologies*, 1: 80–89.

Jafari, H., Mehdinejadani, B. and Baleanu, D., 2019. Fractional calculus for modeling unconfined groundwater. In Dumitru Băleanu, António Mendes Lopes (Eds.), *Applications in Engineering, Life and Social Sciences, Part A* (pp. 119–138). Berlin, Boston: De Gruyter.

Nguyen, Q., 2016. The main causes of land subsidence in Ho Chi Minh City. *Procedia Engineering*, 142: 334 – 341.

Zhu, L., Gong, H., Li, X., Wang, R., Chen, B., Dai, Z. and Teatini, P., 2015. Land subsidence due to groundwater withdrawal in the northern Beijing plain. *Engineering Geology*, 193: 243–255.



Determination of the relationship between land subsidence and ground water level loss with radar interferometry and GPS station methods (Case study: Salmas Plain)

Keyvan.Zarei¹, Ali.Rasoulzadeh^{2*}, Morteza.Seddighi³, GholamReza.Ahmadzadeh⁴ and Javad.Ramezani moghadam⁵

Abstract

Salmas plain is one of the most important plain in the western Azerbaijan province. In the last decades, speedy population growth coupled with agricultural expansion has extremely increased pressure on the groundwater resources. Irregular increases in water demand and a little recharge ground water have caused to decline in water level in the plain in recent decade. As a result of declining in groundwater levels, land subsidence appears in some parts of plain. In this study, the relationship between the decline in groundwater levels and land subsidence was examined. The land subsidence survey methods were permanent GPS observations and Radar interferometry. The results showed high and linear correlation between the decline in groundwater levels and land subsidence in this plain. The average determination coefficient for GPS and Radar interferometry methods were obtained 78% and 82%, respectively. Maximum rate of subsidence was calculated 11 cm/year using ALOS satellite radar images in 2009. The results of GPS method indicated that one meter decline in groundwater level will be caused 0.078 m land subsidence in the plain studied.

Keywords: Land subsidence, Groundwater level, Radar interferometry, Salmas plain.

1-Former M.S Student in Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (Zareikayvan76@gmail.com)

2- Associate Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (*-Corresponding Author Email: rasoulzadeh@uma.ac.ir)

3- Manager General of Geodesy and Territorial Mapping of Mapping Organization of Iran. (Sedighi@ncc.org.ir)

4- Assistant Professor of Geology Department, Faculty of Science, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (g_ahmadzadeh@uma.ac.ir)

5- Assistant Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (j_ramezani@uma.ac.ir)