

Research Paper

مقاله پژوهشی

Evaluation of Land Subsidence Due to Water-Level Decline in Kashan Plain

ارزیابی نشست زمین ناشی از افت سطح ایستابی در دشت کاشان

Mohammad Fathi¹ and Majid Noorian-Bidgoli^{2*}

محمد فتحی^۱ و مجید نوریان بیدگلی^{۲*}

1- M.Sc. Graduate of Mining Engineering, Division of Mining Engineering, Engineering Department, University of Kashan, Kashan, Iran.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی معدن، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

2- Assistant Professor, Division of Mining Engineering, Engineering Department, University of Kashan, Kashan, Iran.

۲- استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

*Corresponding Author, Email: noriyan@kashanu.ac.ir

* نویسنده مسئول، ایمیل: noriyan@kashanu.ac.ir

Received: 10/04/2021

Revised: 21/08/2021

Accepted: 09/09/2021

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۱

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۵/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۸

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Land subsidence, as one of the most dangerous environmental phenomena, can occur for a number of reasons, including the over-extraction of the aquifer and the decline of groundwater level. Subsidence begins with vertical displacements and often causes trough, sinkhole, or deep cracks in the ground surface. The occurrence of this phenomenon in most cases causes damages that are often irreversible and costly. Therefore, for the sustainable development of the region, it is very important to accurately predict the occurrence of subsidence and control it prior to its occurrence. In recent decades, the drought and excessive extraction of groundwater resources, and as a result, the water-level decline, especially in dry and low rainfall regions, has been the main cause of this phenomenon in the plains of Iran. The aim of this study was to calculate the amount of subsidence due to the water table decline in Kashan plain. For this purpose, by collecting the required data, the groundwater has been modeled using GMS software, and based on that, the amount of subsidence during the last years has been determined. The results of this study showed that the land subsidence in the study area is increasing both in terms of quantity (from a few millimeters to several centimeters) and in terms of extent. The maximum subsidence was obtained as 5.95 cm. Therefore, it is very necessary that in addition to planned management and exact control on the exploitation of groundwater of region, academic studies, and quick actions be applied to provide the drinking and agriculture water required by other methods such as the water transfer from other areas.

نشست زمین به‌عنوان یکی از پرمخاطره‌ترین پدیده‌های زیست محیطی می‌تواند به دلایل متعددی از جمله خالی شدن سفره آب و افت سطح آب‌های زیرزمینی رخ دهد. نشست با جابجایی‌های قائم زمین شروع شده و اغلب باعث ایجاد گودی، گودال یا شکاف‌های عمیق در سطح زمین می‌شود. وقوع این پدیده در اکثر موارد باعث ایجاد خساراتی می‌شود که عمدتاً برگشت‌ناپذیر و پرهزینه‌اند. لذا بسیار مهم است که به منظور توسعه پایدار منطقه، قبل از وقوع نشست آن را بتوان به‌نحوی دقیق پیش‌بینی و کنترل نمود. در چند دهه اخیر، خشکسالی و برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی و در نتیجه افت سطح ایستابی، به‌ویژه در مناطق خشک و کم باران، علت اصلی این پدیده در اغلب دشت‌های ایران بوده است. هدف از انجام این تحقیق محاسبه میزان نشست زمین ناشی از افت سطح ایستابی در دشت کاشان بوده است. بدین منظور با جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، مدل‌سازی آب زیرزمینی به کمک نرم‌افزار GMS انجام شده و در نهایت میزان نشست طی ۱۵ سال اخیر تعیین شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که نشست در منطقه مورد مطالعه، هم از نظر مقدار (از چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر) و هم از نظر وسعت روند افزایشی دارد. حداکثر میزان نشست برابر با ۵/۹۵ سانتی‌متر به‌دست آمده است. لذا بسیار ضروری است با مدیریت صحیح و نظارت بیشتر در خصوص برداشت آب‌های زیرزمینی منطقه، مطالعات علمی و اقدامات سریع به منظور تامین آب شرب و کشاورزی مورد نیاز از سایر روش‌های نظیر انتقال آب از دیگر مناطق انجام گیرد.

Keywords: Groundwater modeling, Water-level decline, Land subsidence, GMS software, Kashan plain

کلمات کلیدی: مدل‌سازی آب زیرزمینی، افت سطح ایستابی، نشست سطح زمین، نرم‌افزار GMS، دشت کاشان

زمان و مکان بستگی دارد. لذا برای مطالعه نشست لازم است وضعیت زمین‌شناسی مهندسی و آب‌شناسی (هیدرولوژی) هر منطقه بررسی و روش حل مناسبی در نظر گرفته شود.

در خصوص نشست زمین ناشی از افت آب زیرزمینی مطالعات متعددی انجام شده است. به‌عنوان مثال، Ortega-Guerrero et al. (1999) به بررسی نشست طولانی مدت زمین ناشی از برداشت آب‌های زیرزمینی شهر مکزیک از طریق مدل‌سازی و برداشت‌های صحرائی پرداختند. هم‌چنین Kasmarek et al. (2004) ضمن مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی، میزان نشست سطح زمین در ساحل شمالی تگزاس را بررسی نمودند. در تحقیقی دیگر Lin et al. (2016) میزان نشست زمین ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی در یونلین تایوان را ارزیابی کردند. در ادامه نیز et al. (2018) Qin به‌منظور کنترل نشست زمین در دشت پکن چین، بهینه‌سازی پمپاژ آب زیرزمینی را انجام دادند.

در ایران نیز رهنما و کاظمی آذر (۱۳۸۵) به مطالعه نشست زمین ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در دشت رفسنجان کرمان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که سطح زمین در نقاط مورد مطالعه از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۳ بین ۰/۳۷ تا ۰/۵۱ متر نشست کرده است. هم‌چنین Mahmoudpour et al. (2013) نشست زمین ناشی از برداشت آب‌های زیرزمینی منطقه‌ای در تهران را بررسی کردند. در مطالعه دیگری که توسط Parhizkar et al. (2015) انجام شده، پیش‌بینی کاهش سطح آب زیرزمینی و ارزیابی نشست زمین در آبخوان دامغان با استفاده از مدل‌های GMS و GEP تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان داد که سطح آب در منطقه مورد مطالعه همچنان کاهش می‌یابد و فروپاشی زمین تشدید می‌شود، بنابراین نیاز به کاهش پمپاژ آب‌های زیرزمینی در مناطق پرخطر است.

رجبی و خوش اخلاق (۱۳۹۴) میزان فرونشست زمین در دشت قم در اثر بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی را بررسی نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ متوسط افت سطح آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه برابر ۲۶/۳۴۵ متر و میزان نشست زمین متناظر با این افت بین صفر تا ۷۶ سانتی‌متر برای نقاط مختلف دشت بوده است. در تحقیق دیگری Ghazifard et al. (2016) با استفاده از تکنیک InSAR به بررسی تأثیر برداشت آب‌های زیرزمینی بر نشست زمین در بخش‌هایی از دشت کاشان که شکاف‌های عمیقی ایجاد شده پرداختند. در مطالعه انجام شده، حداکثر نرخ نشست سالانه در مناطق مورد بررسی ۳/۵ سانتیمتر تعیین شد. طی انجام تحقیق دیگری توسط جاودانیان و احمدی دارانی (۱۳۹۵)، نشست ناشی

نشست یا فرونشست زمین به‌عنوان یک پدیده‌ای مخرب در نواحی شهری و غیر شهری محسوب می‌شود که می‌تواند به دلایل طبیعی (زمین شناختی) یا غیرطبیعی (فعالیت‌های انسانی)، در منطقه‌ای با وسعت کم به‌صورت ریزش آبی طبقات زمین و یا با وسعت زیاد به‌صورت جابجایی قائم تدریجی رخ دهد. عموماً پدیده‌های طبیعی نظیر، حرکات پوسته زمین، جریان و خروج گدازه از پوسته جامد زمین یا برخی فعالیت‌های مهندسی نظیر، معدن‌کاری و استخراج و برداشت انواع منابع زیرزمینی نظیر، آب، نفت و گاز می‌تواند باعث ایجاد نشست زمین شود. در بین عوامل مذکور، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی به دلیل برداشت منابع آب، عامل اصلی ایجاد نشست زمین در مناطق مختلفی از جهان گزارش شده است. آنچه مسلم است رشد جمعیت و توسعه گسترده صنایع و کشاورزی باعث افزایش روزافزون نیاز آبی جوامع می‌شود. در این شرایط برداشت بیش از حد منابع آبی باعث کاهش تراز سطح آب زیرزمینی می‌شود. افت سطح ایستابی نیز موجب کاهش فشار آب (هیدرواستاتیک) در سفره‌های آب زیرزمینی شده و در نتیجه بخش جامد زمین (خاک یا سنگ) متراکم می‌شود. از طرفی به دلیل فشار بار سنگ (لیتواستاتیک) ناشی از تنش‌های برجای منطقه، تغییر شکل و جابجایی قائم به‌صورت نشست سطح زمین اتفاق می‌افتد. بنابراین مطالعه نشست زمین ناشی از افت سطح آب زیرزمینی، به‌خصوص در مناطق خشک و کم‌آب، مسئله‌ای با اهمیت در راستای توسعه پایدار شهری است که باید با روش‌های علمی و دقیق انجام گیرد. نشست زمین علاوه بر تغییر شکل سطح زمین به‌واسطه ایجاد گودال، ترک‌های کوچک و شکاف‌های بزرگ، باعث تأثیر روی مقدار و الگوی جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی، تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی، سیل و زلزله‌خیزی می‌شود. لذا مطالعه نشست زمین و تخمین مقدار و میزان گسترش آن بسیار مهم و ضروری است.

اگر چه مطالعات نشان داده که رابطه مستقیمی بین نشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی وجود دارد ولی به دلیل عدم قطعیتی که معمولاً در زمین وجود دارد، نمی‌توان مقدار نشست را برای تمام مناطق یکسان در نظر گرفت و روش واحدی را برای تخمین آن ارائه نمود. بخش عمده‌ای از این عدم قطعیت ناشی از خصوصیات متفاوت و متنوع ژئوتکنیکی و ژئومکانیکی خاک و سنگ در مناطق مختلف است که باعث می‌شود برای پیش‌بینی و محاسبه دقیق نشست، مطالعات ویژه‌ای در هر منطقه انجام گیرد. از طرفی نوسانات سطح تراز آب زیرزمینی متغیری است که به

تخمین زده شد.

به طور کلی این تحقیقات نشان می‌دهد که خشکسالی، کمبود آب، عدم مدیریت و نظارت صحیح در بهره‌برداری از ذخایر آب زیرزمینی و استخراج روزافزون، غیراصولی و غیرمجاز آب، مدت‌ها است که اغلب دشت‌های کشور، نظیر دشت کرمان، مشهد را با پدیده نشست و مخاطرات ناشی از آن مواجه کرده است. مشاهدات میدانی و مطالعات مقدماتی نشان داده دشت کاشان نیز از وجود این مشکل و معضل محیط‌زیستی مستثنی نیست. یکی از چالش‌های مهم موجود در این دشت، خشکسالی و کاهش منابع آبی و در نتیجه افت سطح تراز آب زیرزمینی است که پتانسیل بالقوه‌ای را برای وقوع پدیده نشست زمین فراهم نموده است. لذا در این تحقیق با جمع‌آوری اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری طی سال‌های اخیر، با مدل‌سازی جریان آب‌های زیرزمینی آبخوان به کمک نرم‌افزار GMS، نوسانات تراز آب زیرزمینی (سطح ایستابی) در منطقه تعیین می‌شود. در نهایت با مشخص شدن میزان افت سطح آب زیرزمینی در منطقه، تحلیل نشست زمین با هدف تعیین مقدار و محل وقوع نشست زمین طی یک دوره زمانی ۱۵ ساله در دشت کاشان انجام می‌شود. نتایج این تحقیق می‌تواند علاوه بر بهبود مدیریت منابع آب زیرزمینی و استفاده بهینه آن، به شناسایی مناطق مستعد نشست در دشت کاشان کمک کند. همچنین یافته‌های این نوع مطالعات کمک خواهد نمود تا با برنامه‌ریزی صحیح و طراحی و اجرای اقدامات پیشگیرانه، از خسارات سازه‌های زیربنایی، مسکونی و صنعتی سطحی و زیرزمینی موجود در منطقه جلوگیری نمود. مسلماً این گام‌ها می‌تواند علاوه بر مدیریت بحران باعث کاهش هزینه‌های احتمالی و بهبود توسعه پایدار در منطقه شود.

۲- معرفی دشت کاشان

دشت کاشان در دامنه رشته کوه‌های کرکس و در حاشیه کویر مرکزی ایران، در ۲۴۰ کیلومتری جنوب تهران، بین طول‌های جغرافیائی ۵۱/۵۴ و ۵۱/۰۵ و عرض‌های ۳۳/۴۵ و ۳۴/۲۳ قرار دارد. این منطقه، به مساحت ۱۴۷۴ کیلومترمربع، شهرستان‌های کاشان و شهرآران و بیدگل و همه بخش‌های آن‌ها و اراضی کشاورزی واقع در دشت را شامل می‌شود. تقریباً تمام بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی دشت کاشان در همین محدوده صورت می‌گیرد. دشت کاشان تقریباً به صورت یک دره باریک که دارای امتداد شمال غربی-جنوب شرقی است. عرض این دره حدوداً ۲۰ کیلومتر بوده که از شمال به دشت قم، از جنوب به ارتفاعات مجاور

از برداشت منابع آب زیرزمینی شهر دامنه اصفهان تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان داد که سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه در بازه سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۳ به طور متوسط به میزان ۲۰ متر افت داشته است.

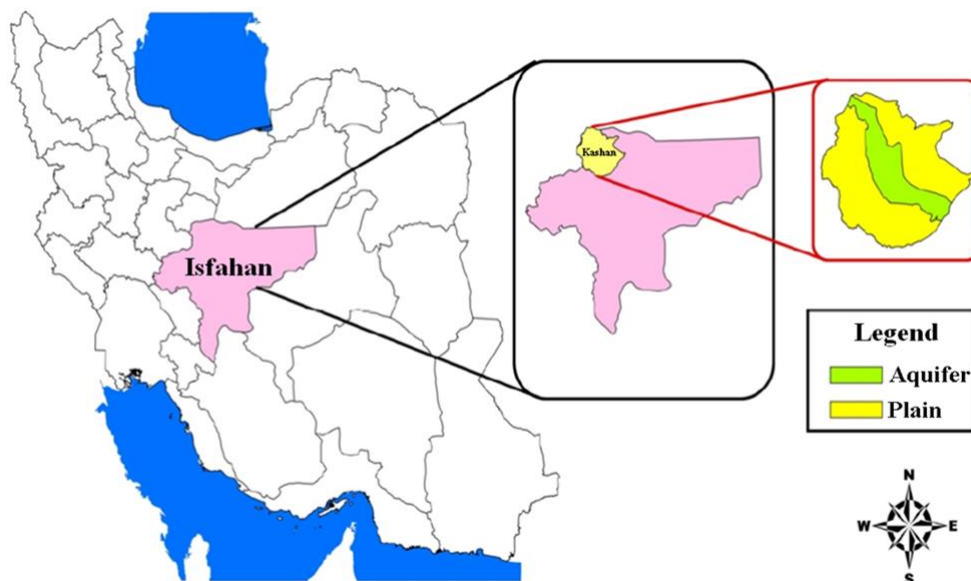
Jafari et al. (2016) با مدل‌سازی عددی جریان آب زیرزمینی و استفاده از تکنیک InSAR، نشست سطح زمین حوضه ساوه را به دست آوردند. Mahmoudpour et al. (2016) در ادامه تحقیقات قبلی خود با مدل‌سازی عددی نشست زمین در اثر استخراج آب‌های زیرزمینی دشت جنوب غربی تهران را پیش‌بینی کردند. همچنین خورسندی آقایی و دیبایی (۱۳۹۶) میزان نشست زمین در بخشی از دشت تهران را به کمک مدل‌سازی تعیین نمودند. طی انجام دو تحقیق توسط Arjomandi et al. (2018)، پیش‌بینی نرخ نشست زمین در منطقه ۱۹ تهران با برآورد متغیرهای هیدرولیکی آبخوان به دست آمده از داده‌های آزمون پمپاژ و الگوریتم‌های بهینه‌سازی، نرم‌افزار MODFLOW و تکنیک InSAR انجام شد. نتایج این تحقیقات نشان داد که میزان نشست در منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۴۱۷ برابر با ۰/۵۲ متر خواهد بود. همچنین ندیری و همکاران (۱۳۹۷)، چارچوبی را برای تخمین پتانسیل نشست آبخوان با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک ارائه نمودند. در ادامه نیز Panahi et al. (2018) شبیه‌سازی و تخمین نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت زنجان را برای یک دوره ۱۵ ساله از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲ انجام دادند.

مدل‌سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی آبخوان تهران در حالت سه بعدی توسط Karimi et al. (2019) انجام شد. در ادامه نیز توسلی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی عوامل مؤثر بر پدیده فرونشست دشت جنوب شرقی تهران پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان تغییرات سطح آب بر میزان نشست زمین مؤثر بوده، به طوری که با افزایش درصد تغییرات برداشت آب، میزان فرونشست در حدود ۴۰٪ بیشتر شده است. در این خصوص، مقصودی و همکاران (۱۳۹۸) نیز با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل و تکنیک تداخل‌سنجی راداری مبتنی بر پراکنشگرهای دائمی، نشست زمین در منطقه غرب تهران را طی دو سال متوالی بررسی نمودند. در تحقیق دیگری که توسط جانباز فوتمی و همکاران (۱۳۹۹) انجام شد، با استفاده از روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری، میزان نشست زمین ناشی از تغییرات سطح ایستابی در استان قزوین، طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ محاسبه شده است. براساس این مطالعه، میانگین سالانه نشست طی این مدت زمان برابر با ۳۹/۹ میلی‌متر در محدوده آبخوان قزوین

جوی فاقد رودخانه‌های بزرگ و دائمی است. این منطقه از ۱۲ حوزه آبریز و حدود ۷۰ آبراهه و رودخانه‌های خیلی کوچک تشکیل شده است. جریان‌های سطحی از چندین رودخانه فصلی که حوزه آبریز آن‌ها در بخش جنوب‌غربی و غرب منطقه واقع شده، تشکیل شده که پس از عبور از دشت به مناطق کویری منتهی می‌شود. به‌رحال این منطقه در غرب ایران مرکزی واقع شده است. واحد ایران مرکزی جزء بزرگترین و پیچیده‌ترین واحد زمین‌شناسی به‌شمار می‌رود که در آن قدیمی‌ترین سنگ‌های دگرگون شده (پروکامبرین) تا آتشفشان فعال و نیمه فعال امروزی وجود دارد. شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی دشت کاشان را نشان می‌دهد. مصرف بی‌رویه و مدیریت نشده منابع آب سطحی و زیرزمینی، کاهش نزولات جوی، تمرکز مصرف در برخی نقاط (عدم تعادل بین تقاضا و پتانسیل تامین آب)، الگوی کشت نامناسب و عدم آبیاری صحیح، حفر چاه‌های متعدد و بهره‌برداری بدون مجوز آن‌ها در چند دهه گذشته باعث بحرانی شدن وضعیت منابع آب زیرزمینی در اکثر دشت‌های کشور شده است. به‌رحال پدیده نشست زمین امروزه تبدیل به یک معضل فراگیر در اکثر دشت‌های ایران شده است. دشت کاشان هم از جمله مناطقی است که به‌علت کاهش سطح تراز آب زیرزمینی ناشی از برداشت آب زیرزمینی و البته خشکسالی، طی سال‌های اخیر گزارش‌هایی متعددی مبنی بر وقوع نشست سطح زمین منتشر شده است. مطالعات میدانی نشان داده است که در برخی از مناطق دشت کاشان شکاف‌های کوچک و بزرگی در سطح زمین ایجاد شده که دلیل آن می‌تواند نشست سطح زمین باشد (شکل ۳). لذا این تحقیق در راستای رفع نیاز به انجام مطالعات گسترده با هدف بررسی میزان نشست ناشی از افت سطح ایستابی در منطقه است.

منطقه نطنز، از غرب به ارتفاعات موته و از شرق به محدوده دریاچه نمک مشرف است. حداکثر ارتفاع دشت کاشان از سطح دریا ۱۲۰۰ متر در قسمت حاشیه غربی دشت و حداقل ارتفاع آن ۸۰۰ متر در حاشیه کویر است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی دشت و آبخوان کاشان در ایران و استان اصفهان نشان داده شده است. آبخوان دشت کاشان عمده‌تاً شامل رسوبات کواترنری و از نوع آزاد است.

حوزه آبریز کاشان بخشی از کوه‌های مرکزی ایران بوده و از نظر زمین‌شناسی به دو قسمت مجزا تقسیم می‌شود. قسمت اول ارتفاعات و بیرون زدگی‌های نواحی غرب، جنوب و جنوب غربی شهرستان کاشان را در برمی‌گیرد و شامل رشته‌کوه‌های قهرود و بخشی از کمربند آتشفشانی ایران مرکزی است که به موازات زون سندانج-سیرجان و تراس بزرگ زاگرس قرار دارد. منطقه کوهستانی از نظر لیتولوژی منحصراً شامل تشکیلات دوران سوم زمین‌شناسی است که عبارتند از: تشکیلات پالئوسن، تشکیلات ائوسن، تشکیلات الیگوسن، تشکیلات میوسن (میانی-فوقانی)، تشکیلات پلیوسن و هم‌چنین شامل تشکیلات دوران چهارم زمین‌شناسی (کواترنری) نیز هست. قسمت دوم شامل دشتی معروف به دشت کاشان است و از آبرفت‌های جوان‌تری تشکیل شده است. این آبرفت‌ها در دامنه کوه‌های جنوبی و غربی دشت از نوع C و دارای دانه‌بندی درشت بوده و در نتیجه دارای قابلیت نفوذ زیادی از نظر تغذیه آب‌های زیرزمینی هستند. در نواحی کویری دانه‌ها فوق‌العاده ریز و ضخامت لایه رس بسیار زیاد می‌شود. ضمناً به‌علت تبخیر زیاد از حد و شوری فوق‌العاده آب در نواحی کویر خاک آن برای کشاورزی قابل استفاده نیست. دشت کاشان به‌علت آب‌وهوای خشک و کمبود ریزش‌های

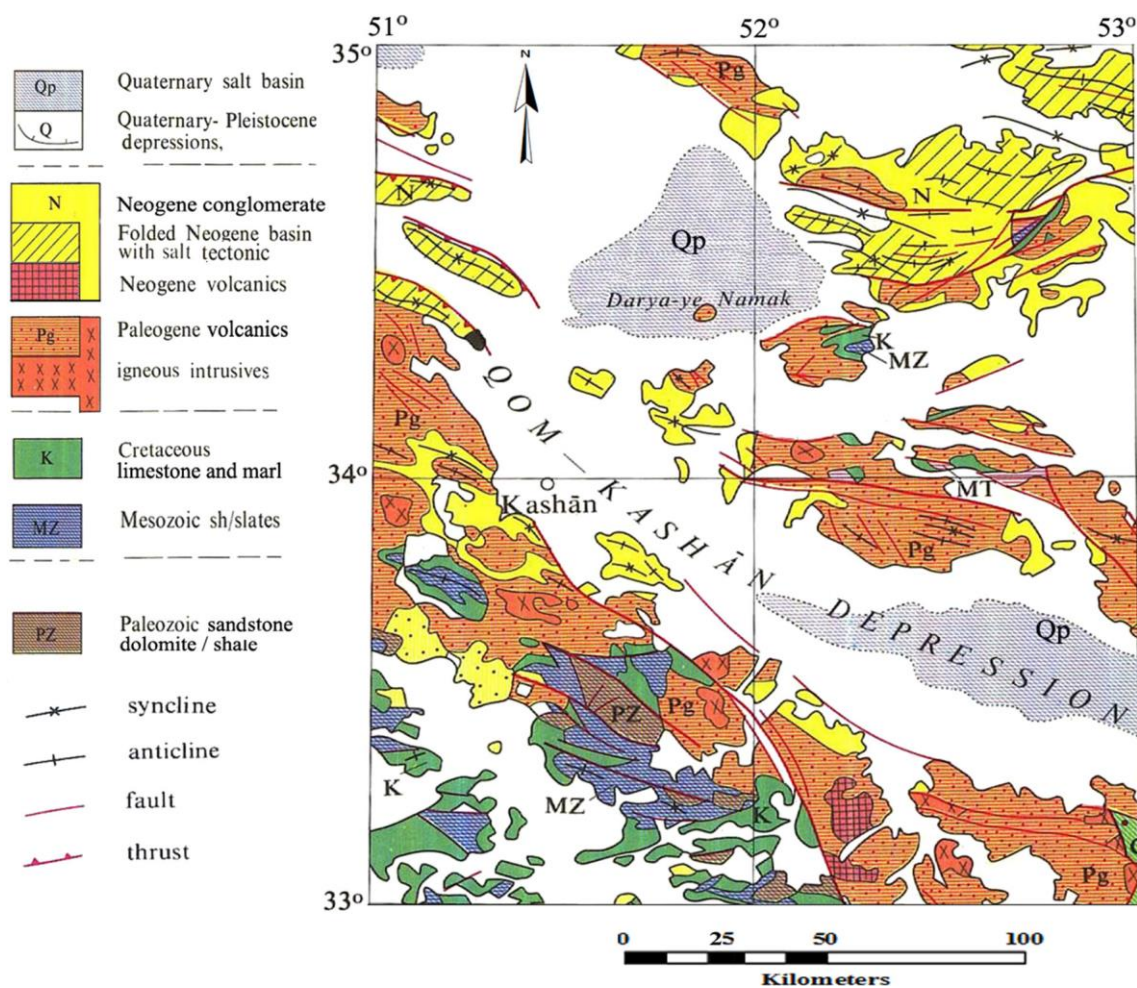


شکل ۱- موقعیت جغرافیای دشت و آبخوان کاشان

۳- مطالعه نشست زمین در دشت کاشان

GMS یا سیستم مدل سازی آب زیرزمینی نرم افزار بسیار توانمند و جامعی برای شبیه سازی آب های زیرزمینی است که در حال حاضر توسط هزاران نفر در بخش های دولتی و خصوصی در اغلب کشور جهان استفاده می شود. این نرم افزار شامل تعداد زیادی مدل آب زیرزمینی بر پایه روش های عددی است که توسط آن ها می توان با مدل سازی، ارزیابی کمی و کیفی آب های زیرزمینی را انجام داد.

در این تحقیق پس از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز و با انتخاب نرم افزار GMS (نسخه ۱۰)، در اولین مرحله وضعیت موجود آب زیرزمینی منطقه کاشان توسط مدل MODFLOW شبیه سازی شده و در مرحله بعد نشست سطح زمین ناشی از افت سطح ایستابی توسط بسته MODFLOW SUB تعیین شده است.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی دشت کاشان (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران)

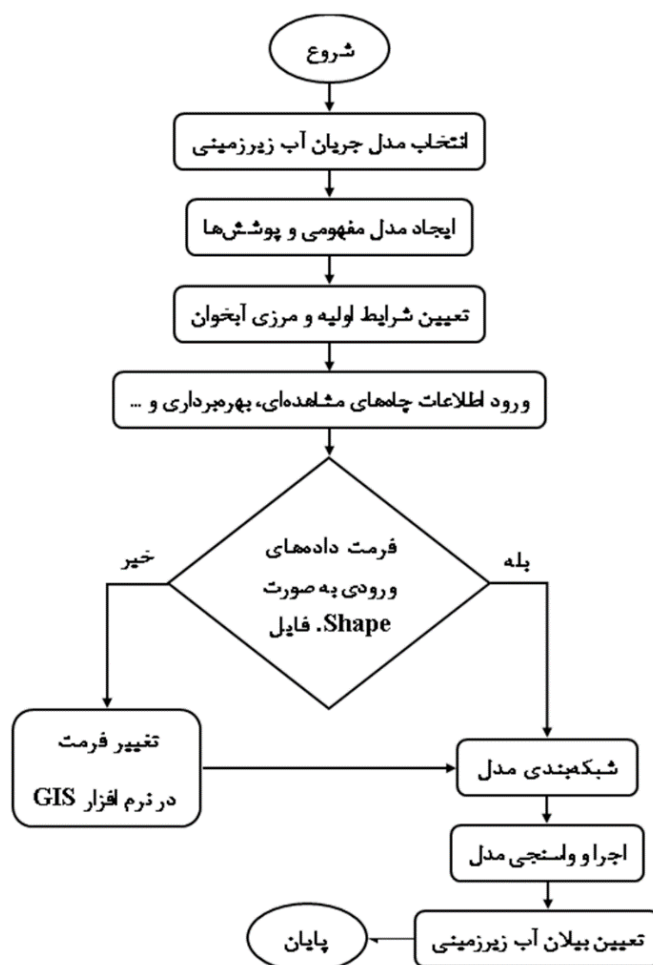


شکل ۳- شکاف های ایجاد شده در سطح زمین در برخی از مناطق دشت کاشان

۳-۱- مدل سازی آب های زیرزمینی

در شکل ۴، فلوچارت مراحل اصلی انجام مدل سازی وضعیت آب های زیرزمینی منطقه کاشان به کمک نرم افزار GIS در این تحقیق را نشان می دهد. در این تحقیق از MODFLOW، به عنوان یک مدل ریاضی رایج و پر کاربرد که براساس قانون پیوستگی و بقای جرم استوار است، به منظور حل معادلات دیفرانسیل به روش تفاضل محدود برای مدل سازی جریان آب زیرزمینی آبخوان کاشان استفاده شده است. روش کار به این صورت است که

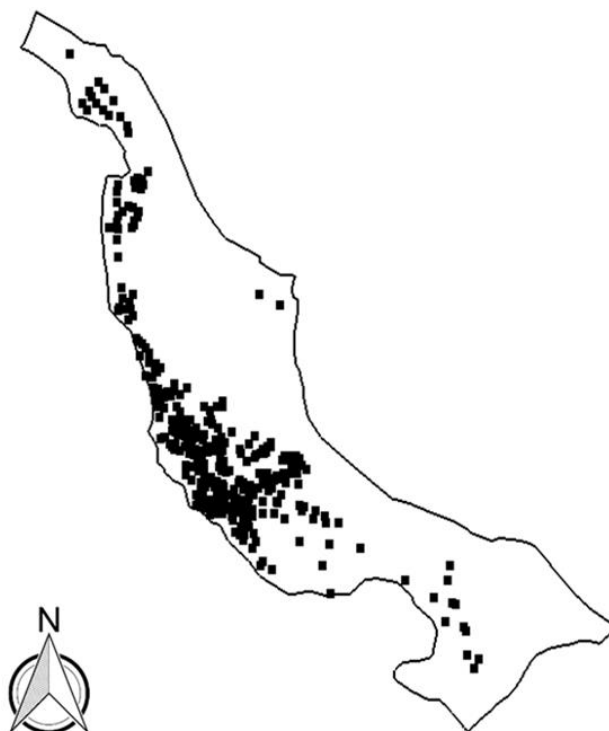
داده های ورودی MODFLOW توسط GIS تهیه و به صورت فایل هایی ذخیره و در هنگام راه اندازی MODFLOW از GIS فراخوانی می شود. معمولاً مدل سازی آب زیرزمینی، با ایجاد مدل مفهومی (Conceptual model) شروع شده و در ادامه با به کارگیری مدل ریاضی ادامه می یابد. در واقع مدل مفهومی، مدلی ساده شده از واقعیت موجود در آبخوان است. هر مدل مفهومی نیز شامل یک یا چند پوشش نقشه است که ساختارهای اصلی مدل آب زیرزمینی نظیر چاه ها را در برمی گیرد.



شکل ۴- فلوچارت مراحل مدل سازی آب زیرزمینی دشت کاشان توسط نرم افزار GIS

آنچه که مسلم است هرچه اطلاعات مورد نیاز برای مدل سازی دقیق تر باشد، مدل واقعی تر بوده و واسنجی آن توسط نرم افزار ساده تر خواهد بود. لذا در این تحقیق با همکاری شرکت آب منطقه ای کاشان، اطلاعات ورودی نظیر وضعیت مشخصات چاه های بهره برداری و مشاهده ای آب منطقه به درستی جمع آوری و وارد نرم افزار شد. بدین منظور اطلاعات ۳۳۳ چاه پمپاژ آب واقع در محدوده مورد مطالعه جمع آوری و انتخاب شد. این چاه ها در واقع چاه های مجاز بهره برداری آب هستند که اطلاعات کامل آن

در اختیار بود. لذا چاه های غیرمجاز و متروکه ای که اطلاعات آن ها در دسترس نبود، در نظر گرفته نشده است. در این تحقیق تمام لایه ها و پوشش ها مورد نیاز مدل مفهومی توسط GIS تهیه و سپس در محیط نرم افزار GIS برای ساخت مدل استفاده شده اند. شکل ۵ موقعیت قرارگیری چاه های بهره برداری مجاز (با علامت مربع توپر) در محدوده آبخوان کاشان (خطوط)، که توسط نرم افزار GIS تهیه شده را نشان می دهد.



شکل ۵- چاه‌های بهره‌برداری آب موجود در محدوده آبخوان کاشان

این تحقیق شبکه‌ای 100×100 متر منطبق بر مرز مدل ایجاد شد.

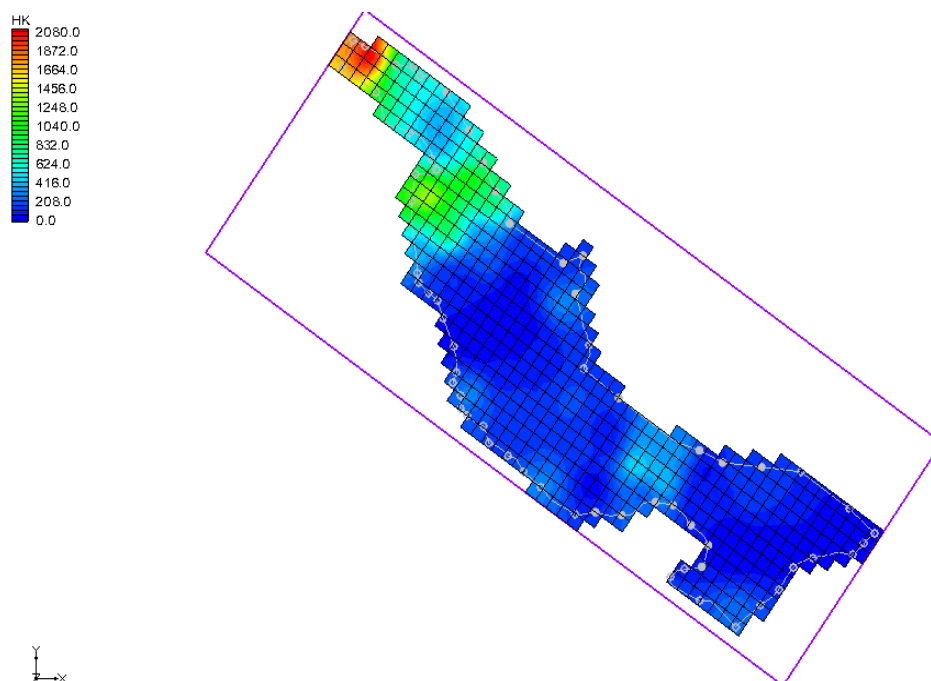
در این تحقیق با اجرای مدل در حالت پایدار، برای هر سال مقدار آب برداشت شده از چاه‌های بهره‌برداری و مقدار سطح آب چاه پیژومتری تعیین شد. سپس برای در هر سال پارامترهای هیدرودینامیکی با توجه به تراز چاه‌های مشاهده‌ای واسنجی شدند. برای واسنجی مدل از روش خودکار PEST، با هدف حداقل شدن مجموع مربعات انحراف بین مقادیر مشاهداتی و محاسبه شده، استفاده شد. در GMS، میله رنگی (Colored bar) که مرکز آن منطبق بر مقادیر مشاهده‌ای بود، نشان‌دهنده خطای واسنجی است. بر این اساس اگر خطا در محدوده خطای قابل قبول قرار گیرد، میله به رنگ سبز خواهد بود. لذا در مدل‌سازی با اجرای مدل و تکرارهای متوالی تا رسیدن به نتایج قابل قبول، محاسبات انجام می‌شود. لازم به ذکر است که بعد از پایان مرحله واسنجی، مدل برای سال‌های بعد از دوره واسنجی صحت‌سنجی شده است. در این حالت نتایج نشان داد که مدل توسعه داده شده در این تحقیق توانسته است با مقدار خطای قابل قبولی، مقادیر مشاهداتی تراز آب زیرزمینی را مدل‌سازی نماید. در شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب نحوه توزیع مقادیر بهینه هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در محدوده آبخوان کاشان بعد از مرحله واسنجی نشان داده شده است. براساس این نتایج، در منطقه مورد مطالعه مقادیر هدایت هیدرولیکی بین 0.1 تا 20.80 متر در سال و آبدهی ویژه

برای تهیه مدل آبخوان نیاز است ابتدا داده‌های آبخوان شامل، مرز سفره آب زیرزمینی، تراز سنگ بستر، اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری و مشاهده‌ای در محیط GIS وارد شده و سپس وارد نرم‌افزار GMS شود. تراز سنگ بستر مورد استفاده در این تحقیق قبلاً توسط مدیریت منابع آب کاشان از تراز 100 تا 500 متر تعیین شده است. هم‌چنین با توجه به وضعیت آبخوان، جنس مواد در برگیرنده و اطلاعات موجود، مقدار ضریب نفوذپذیری 10^{-6} ، ضریب تخلخل 0.3 و آبدهی ویژه 0.04 متر در سال در مدل اعمال شده است.

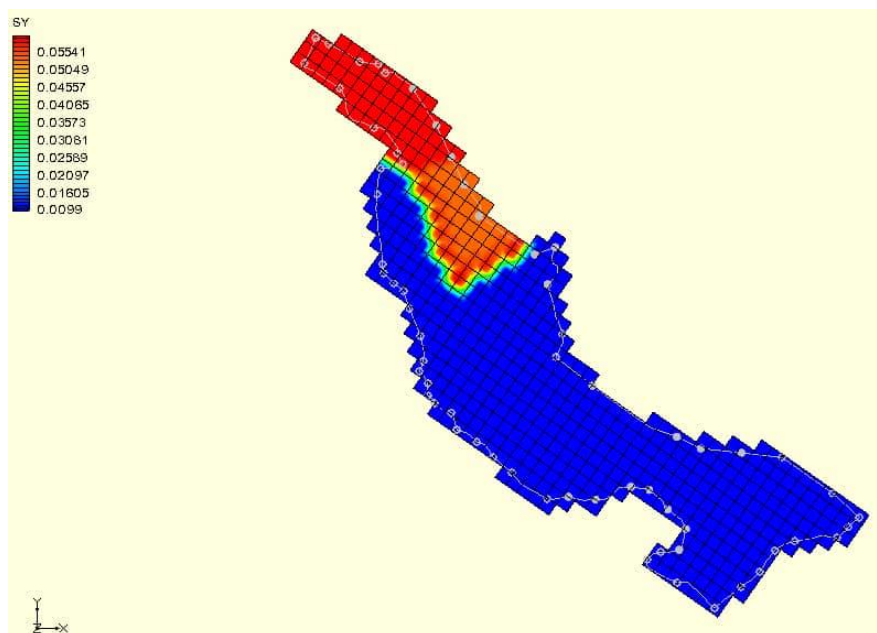
لازم به ذکر است از آن‌جا که داده‌های به فرمت رستری (شبکه‌ای) در نرم‌افزار قابل استفاده نیستند، لذا داده‌ها توسط GIS در قالب فرمت شیپ فایل (Shp) تهیه و پس از آن اطلاعات در نرم‌افزار GMS فراخوانی شدند. در ادامه مدل‌سازی و پس از ورود اطلاعات و تکمیل شدن مدل مفهومی، این مدل به یک مدل عددی (MODFLOW) تبدیل شده و براساس معادلات و شرایط حاکم بر مدل، پردازش و محاسبات لازم انجام می‌شود. در این مرحله کلیه پوشش‌های ساخته شده و اطلاعات درونیابی شده به مدل عددی وارد شده، سپس برای مدل‌سازی آبخوان مدل آماده اجرا می‌شود. یکی از مراحل که در روش‌های عددی برای حل معادلات دیفرانسیل لازم است انجام شود، تقسیم محیط مسئله به اجزای کوچک‌تر (المان یا سلول) است. در این حالت معمولاً محدوده مدل به تعدادی المان چندضلعی تقسیم می‌شود. لذا در

درشت است. صحت این موضوع با توجه به توزیع مقادیر آبدهی ویژه به‌دست آمده در منطقه (شکل ۷) مورد تایید است.

بین ۰/۰۰۹۹ تا ۰/۰۵۵ متغیر است. براساس این نتایج در مناطق شمالی آبخوان (مناطق قرمز رنگ در شکل ۶)، مقادیر هدایت هیدرولیکی بالا است، به‌عبارتی جنس سنگ بستر از مواد دانه



شکل ۶- تغییرات مقادیر هدایت هیدرولیکی (متر در سال) به‌دست آمده برای آبخوان کاشان



شکل ۷- تغییرات مقادیر آبدهی ویژه به‌دست آمده برای آبخوان کاشان

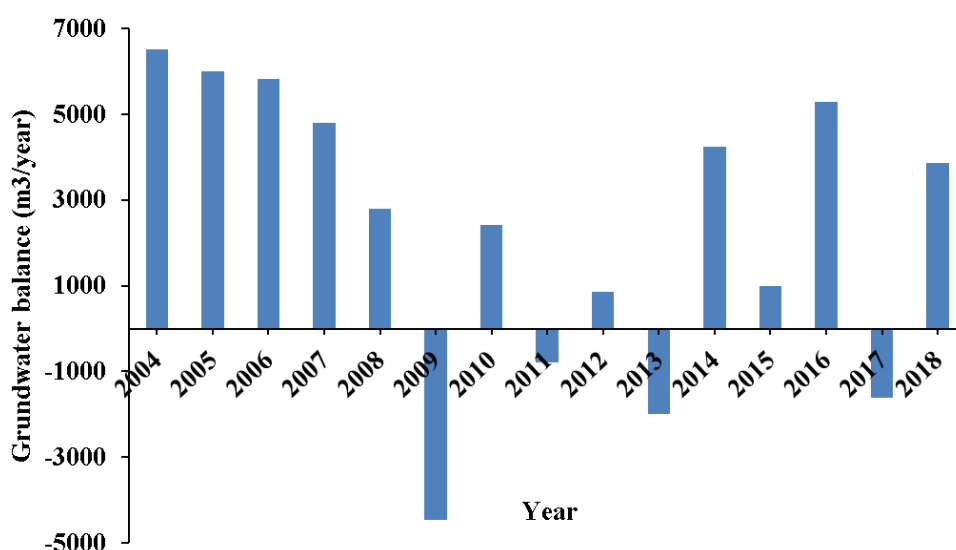
گذشته، یعنی از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷ به‌دست آمده است. در شکل ۸، تغییرات مقادیر بیلان آب زیرزمینی محاسبه شده دشت کاشان طی این بازه زمانی نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است بیلان آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه طی

یکی از نتایج مهم مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی تعیین بیلان سالانه آبخوان است که براساس آب‌های ورودی و خروجی به‌از منبع ذخیره به‌دست آمده است. در این تحقیق با توجه به اطلاعات موجود، مقدار بیلان آب‌های زیرزمینی دشت کاشان طی ۱۵ سال

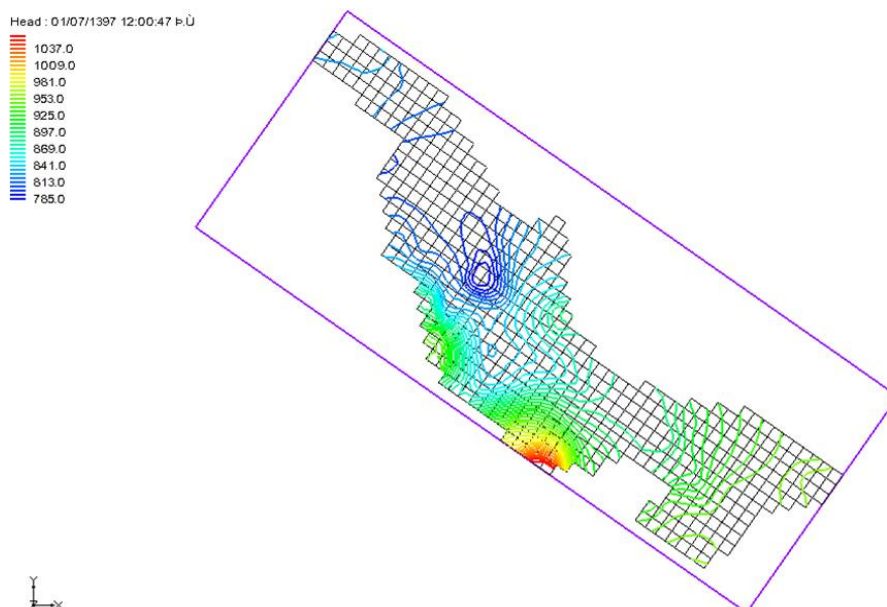
تراز آب (هد) هستند را به هم وصل می‌کند. این نوع منحنی‌ها در تخمین نوسانات سطح آب زیرزمینی طی دوره‌های زمانی مختلف استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال، شکل ۹ خطوط تراز آب‌های زیرزمینی کاشان در سال ۱۳۹۷ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است، مدل‌سازی نشان می‌دهد که جریان آب‌های زیرزمینی تقریباً از سمت جنوب و جنوب-غربی (مناطق کوهستانی)، به‌عنوان محل ورودی آب یا تغذیه، به سمت شمال و شمال-شرقی (مناطق کویری)، به‌عنوان محل خروجی آب یا تخلیه، در دشت کاشان است که با شیب غالب منطقه مطابقت دارد.

این مدت زمان تغییرات زیادی دارد و روند آن کاملاً نزولی است. حتی در برخی از سال‌ها آبخوان با کسری ذخیره سالانه مواجه بوده و بیلان آب منفی است. دلایلی از قبیل وجود تبخیر زیاد در منطقه، خشکسالی‌های اخیر، تمرکز چاه‌های بهره‌برداری و میزان برداشت آب از چاه‌ها، مهم‌ترین دلیل این میزان افت است. به‌رحال روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه، بیانگر شدت این وضعیت در آینده است.

از دیگر نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، تعیین منحنی تراز آب زیرزمینی سالانه منطقه در بازه زمانی مورد بررسی است. به‌طور کلی منحنی میزان یا تراز آب زیرزمینی، شامل خطوط هم‌پتانسیلی است که تمام نقاطی که در منطقه دارای ارتفاع یکسان



شکل ۸- بیلان آب‌های زیرزمینی محاسبه شده دشت کاشان طی ۱۵ سال اخیر (از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷)



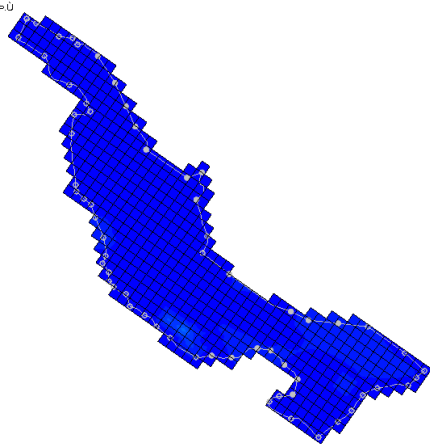
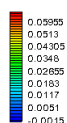
شکل ۹- خطوط تراز جریان آب‌های زیرزمینی به‌دست آمده برای دشت کاشان در سال ۱۳۹۷

۳-۲- محاسبه نشست زمین

مرحله بعد مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی آبخوان کاشان، محاسبه میزان نشست زمین است. بدین منظور در این تحقیق با استفاده از میزان افت سطح ایستابی به‌دست آمده در مرحله قبل، میزان نشست و تغییرات آن طی سال‌های مورد بررسی، تعیین شد. در این مرحله برای تعیین نشست زمین از ابزار Modflow Subidence نرم‌افزار GMS استفاده شده است (Hoffmann et al., 2003). براساس این روش، میزان نشست زمین برابر با جابجایی قائم زمین (Vertical displacement) در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۱۰ میزان نشست زمین (برحسب متر) طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ به‌صورت خطوط هم‌تراز (Contour Lines) جابجایی قائم در کل محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است. مقایسه تغییرات نشست طی سال‌های مذکور نشان می‌دهد که میزان نشست روند صعودی داشته و سال به سال وسعت بیشتری از منطقه را در برمی‌گیرد. مقدار نشست هم در نقاط مختلف دشت از چند میلی‌متر (در مناطق آبی رنگ) تا چند سانتی‌متر (در مناطق قرمز رنگ) متغیر است. براساس این نتایج، حداکثر میزان نشست زمین در دشت کاشان برابر با ۵/۹۵

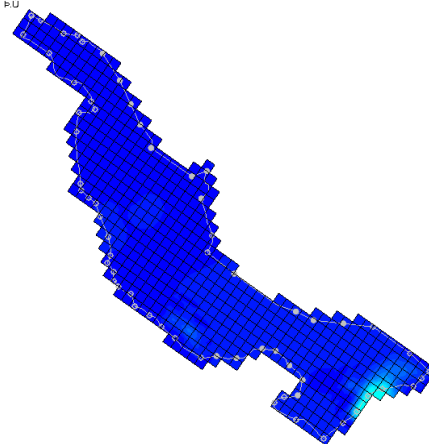
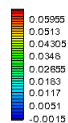
سانتی‌متر به‌دست آمده است. این مقدار در مطالعه دیگری که به‌روش تداخل‌سنجی راداری در دشت کاشان توسط Ghazifard et al. (2016) طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ انجام شده، ۳/۵ سانتی‌متر بوده است. مقایسه بین این دو پژوهش نشان می‌دهد که طی سال‌های مورد مطالعه در این تحقیق (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸) این مقدار حدوداً ۲/۵ سانتی‌متر بیشتر شده است. براساس نقشه‌های مقدار نشست زمین ارائه شده در شکل ۱۰، با گذشت زمان طی این مدت زمان، حداکثر نشست زمین از مناطق جنوبی دشت شروع شده و به‌سمت مرکز و شمال دشت کاشان در حال گسترش است. البته براساس این نتایج گسترش نشست در کل دشت یکنواخت نبوده است. ولی در بعضی از نواحی، مانند مرکز دشت که با تراکم جمعیت مواجه است، دارای رشد بیشتری است. مقایسه این نقشه‌ها با نقشه تراز سطح ایستابی در سال‌های مورد مطالعه (به‌عنوان مثال، تراز آب زیرزمینی آبخوان در سال ۱۳۹۷ در شکل ۹) نشان‌دهنده ارتباط بین کاهش سطح ایستابی و نشست سطح زمین است. هم‌چنین مشاهدات میدانی نویسندگان از مناطق تحت تأثیر نشست زمین در دشت کاشان (به‌عنوان نمونه شکل ۳)، صحت نتایج به‌دست آمده را تأیید می‌نماید.

VerticalDisplacement: 01/07/1385 12:00:01 P:U



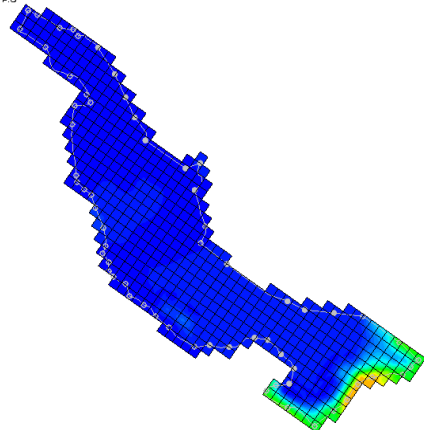
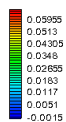
Yare: 2006

VerticalDisplacement: 01/07/1386 12:00:01 P:U



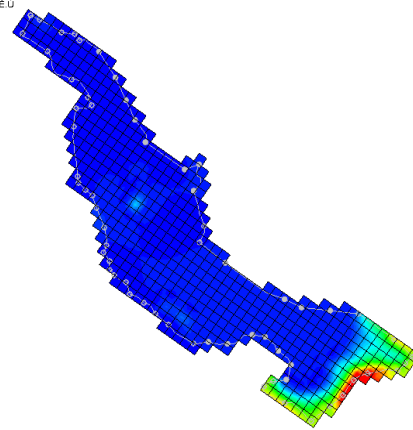
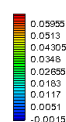
Year: 2007

VerticalDisplacement: 01/07/1387 12:00:00 P:U



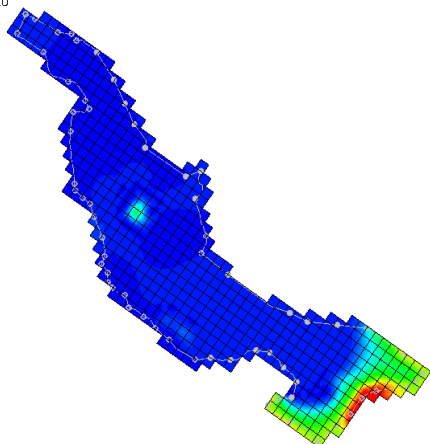
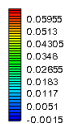
Year: 2008

VerticalDisplacement: 31/08/1388 11:59:57 E:U



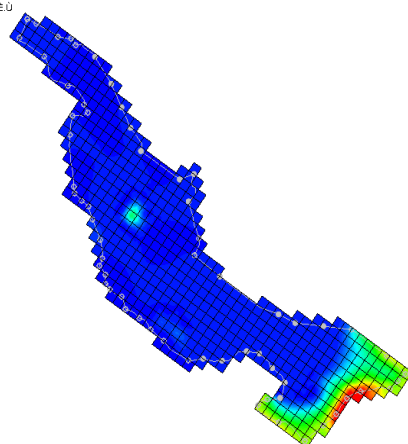
Year: 2009

VerticalDisplacement: 31/08/1389 11:59:52 E.U



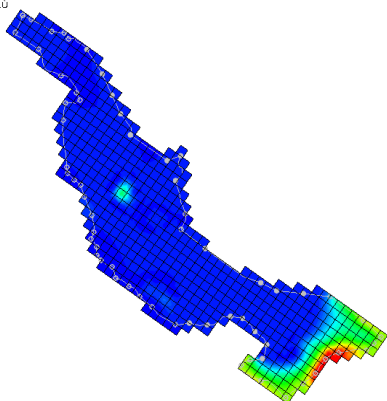
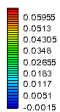
Year: 2010

VerticalDisplacement: 31/08/1390 11:59:47 E.U



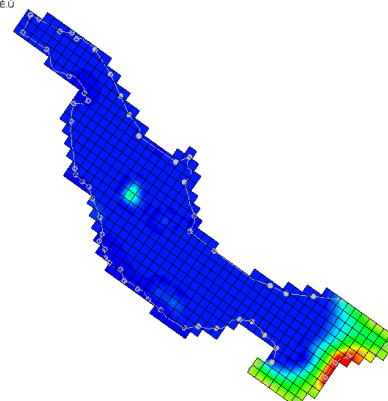
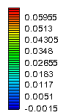
Year: 2011

VerticalDisplacement: 31/08/1391 11:59:42 E.U



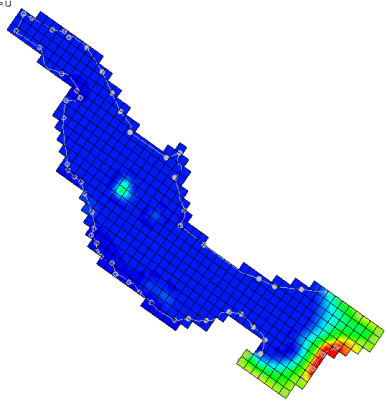
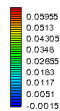
Year: 2012

VerticalDisplacement: 31/08/1392 11:59:55 E.U



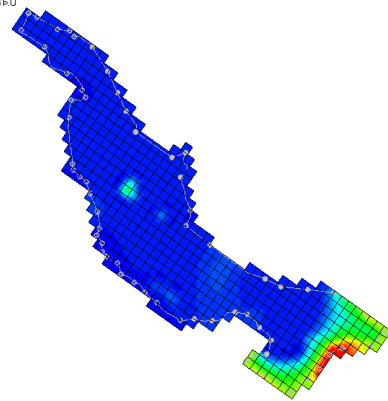
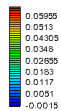
Year: 2013

VerticalDisplacement: 01/07/1393 12:00:05 P.U



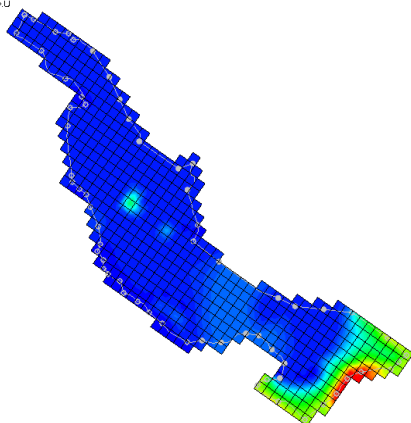
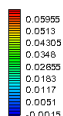
Year: 2014

VerticalDisplacement: 01/07/1394 12:00:15 P.U



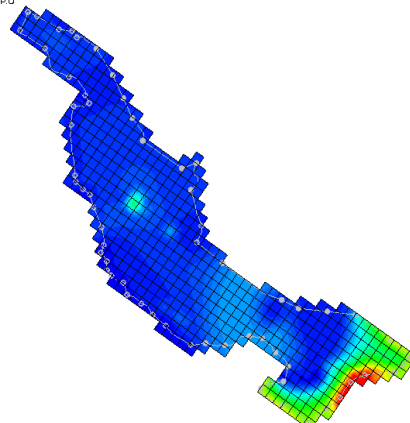
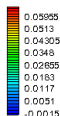
Year: 2015

VerticalDisplacement: 01/07/1395 12:00:25 P.U



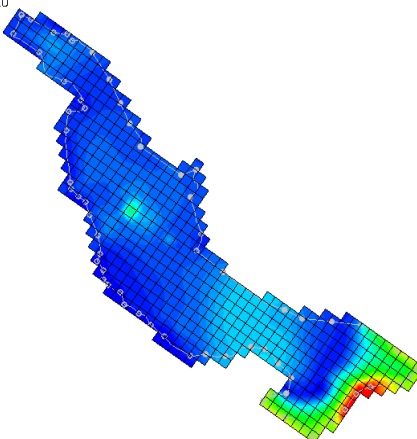
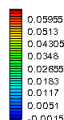
Year: 2016

VerticalDisplacement: 01/07/1396 12:00:37 P.U



Year: 2017

Vertical Displacement : 0.11071387 12.00.47 P-U



Year: 2018

شکل ۱۰- تغییرات مقدار نشست زمین (متر) در دشت کاشان طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷

۴- نتیجه‌گیری

یکی از دلایل مهم ایجاد نشست زمین، برداشت آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌ها بوده که نتیجه آن خالی شدن لایه‌های تحتانی زمین است. در چنین شرایطی وقتی حجم آب کاهش می‌یابد، منافذی در بین لایه‌های زمین ایجاد می‌شود. لذا به دلیل وزن لایه‌های بالایی به تدریج این منافذ پر می‌شود و به همان میزان جابه‌جایی قائم بین لایه‌های فوقانی به وجود می‌آید که به آن نشست گفته می‌شود. در این تحقیق ضمن مدل‌سازی عددی وضعیت آب زیرزمینی دشت کاشان از طریق مطالعات آبخوان به کمک نرم‌افزار GMS، تغییرات نشست زمین طی زمان براساس میزان افت سطح ایستایی تعیین شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بیلان آب زیرزمینی آبخوان کاشان طی ۱۵ سال گذشته، نوسانات زیادی داشته و روند آن کاهش‌ی است. همچنین طی این مدت زمان افت سطح ایستایی در اکثر مناطق دشت کاشان به وجود آمده است. منحنی‌های خطوط تراز آب زیرزمینی به دست آمده نشان می‌دهد که جریان آب در دشت کاشان از جنوب غربی به سمت شمال شرقی دشت بوده و طی دوره زمانی مطالعه شده دارای نوسانات زیادی است. همچنین مقایسه تغییرات نشست زمین محاسبه شده طی سال‌های گذشته نشان می‌دهد که وسعت مناطق تحت تأثیر نشست زمین در دشت کاشان روند صعودی داشته است. مقدار نشست زمین در دشت کاشان بین چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر متغیر بوده و حداکثر مقدار آن برابر با ۵/۹۵ سانتی‌متر تعیین شده است.

با توجه به این که متوسط نرخ نشست زمین در جهان حدوداً ۴ میلی‌متر در سال است و در کشورهای پیشرفته این نرخ بحرانی قلمداد می‌شود، بنابراین وضعیت فعلی نشست دشت کاشان حالت بحرانی است. بر این اساس پیشنهاد می‌شود مطالعات جامعی در

ادامه این تحقیق انجام گیرد. در این مطالعات لازم است اطلاعات ژئومکانیکی منطقه از طریق آزمون‌های صحرایی و آزمایشگاهی تعیین شود. ضمن این که اطلاعات کاملی از منابع تغذیه و تخلیه آبخوان به طور سالانه تهیه و تنظیم شود. همچنین با توجه به این که عامل اصلی نشست زمین، افت سطح تراز آب‌های زیرزمینی در منطقه است، لذا اقداماتی برای کاهش مصرف آب به ویژه در بخش کشاورزی پیشنهاد می‌شود. در این خصوص لازم است واحدهای مسئول در سطح منطقه نظیر اداره جهاد کشاورزی، ضمن نظارت جدی بر نحوه کاشت محصولات با مصرف زیاد در راستای تشویق و حمایت استفاده از شیوه‌های نوین آبیاری اقدام نمایند. همچنین با توجه به این که برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی و متعادل نبودن میزان آب ورودی و خروجی آبخوان، علت اصلی پدیده مخرب نشست است، پیشنهاد می‌شود کنترل دقیق‌تر و سخت‌گیرانه‌ای بر برداشت آب از روش‌های غیرمجاز در دشت کاشان انجام گیرد. مسلماً کمتر شدن برداشت آب، به تعادل رساندن حجم آب ورودی و خروجی به‌از آبخوان و تغذیه مخازن با میزان آب‌های سطحی تنها راه نجات دشت کاشان از عواقب نشست زمین خواهد بود.

۵- مراجع

توسلی، ا.، کاربین، ح.، ترابی، م.، و عساکره، ع.، (۱۳۹۸)، "بررسی عوامل مؤثر بر فرونشست دشت جنوب شرقی تهران بر اثر برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی"، نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۴(۲)، ۵۸-۷۲.

جانباذ فوتمی، م.، خلقی، م.، عبده کلاهی، ع.، و روستایی، م.، (۱۳۹۹)، "بررسی فرونشست زمین ناشی از تغییرات سطح ایستایی آب زیرزمینی با استفاده از روش تداخل‌سنجی

- model user guide to the subsidence and aquifer-system compaction (SUB) package”, Open-File Report 03-233, Geological Survey, Washington DC.
- Jafari, F., Javadi, S., Golmohammadi, G., Karimi, N., and Mohammadi, K., (2016), “Numerical simulation of groundwater flow and aquifer-system compaction using simulation and InSAR technique: Saveh basin, Iran”, *Environmental Earth Sciences*, 75(9), 833.
- Karimi, L., Motagh, M., and Entezam, I., (2019), “Modeling groundwater level fluctuations in Tehran aquifer: Results from a 3D unconfined aquifer model”, *Groundwater for Sustainable Development*, 8(1), 439-449.
- Kasmarek, M.C., and Robinson, J.L., (2004), “Summary of hydrogeology and simulation of ground-water flow and land-surface subsidence in the northern part of the Gulf Coast aquifer system, Texas”, No. 2004-3076, US Geological Survey, Washington DC.
- Lin, C.W., Hwung, H.H., Hsiao, S.C., Yeh, C.L., and Hsu, J.T., (2016), “Land Subsidence Caused by Groundwater Exploitation in Yunlin, Taiwan”, In: *Proceedings of the 12th International Conference on Hydroscience and Engineering Hydro-Science and Engineering for Environmental Resilience*, Tainan, Taiwan.
- Mahmoudpour, M., Khamcheyan, M., Nikudel, M., and Gassemi, M., (2013), “Characterization of regional land subsidence induced by groundwater withdrawals in Tehran, Iran”, *Geopersia*, 3(2), 49-62.
- Mahmoudpour, M., Khamcheyan, M., Nikudel, M.R., and Ghassemi, M.R., (2016), “Numerical simulation and prediction of regional land subsidence caused by groundwater exploitation in the southwest plain of Tehran, Iran”, *Engineering Geology*, 201(9), 6-28.
- Ortega-Guerrero, A., Rudolph, D.L., and Cherry, J.A., (1999), “Analysis of long-term land subsidence near Mexico City: Field investigations and predictive modeling”, *Water Resources Research*, 35(11), 3327-3341.
- Panahi, M., Misagi, F., and Asgari, P., (2018), “Simulation and estimate of groundwater level fluctuations using GMS (case study: Zanjan plain)”, *Environmental Sciences*, 16(1), 1-14.
- Parhizkar, S., Ajdari, K., Kazemi, G.A., and Emamgholizadeh, S., (2015), “Predicting water level drawdown and assessment of land subsidence in Damghan aquifer by combining GMS and GEP models”, *Geopersia*, 5(1), 63-80.
- Qin, H., Andrews, C.B., Tian, F., Cao, G., Luo, Y., Liu, J., and Zheng, C., (2018), “Groundwater-pumping optimization for land-subsidence control in Beijing plain, China”, *Hydrogeology Journal*, 26(4), 1061-1081.
- تفاضلی راداری: مطالعه موردی استان قزوین”, *تحقیقات منابع آب ایران*, ۱۶(۳)، ۱۳۳-۱۴۷.
- جاودانیان، ح.، و احمدی دارانی، م.، (۱۳۹۵)، “برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و نشست منطقه‌ای: مطالعه موردی شهر دامنه، اصفهان”، *نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، (۱)، ۴۹-۶۰.
- خوردسندی آقایی، ا.، و دیبایی، م.، (۱۳۹۶)، “مدل‌سازی فرونشست زمین، مطالعه موردی: مدل‌سازی فرونشست زمین بخشی از دشت تهران”. *کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و شهرسازی ایران معاصر*، تهران.
- رجبی، ع.م.، و خوش اخلاق، ا.، (۱۳۹۴)، “بررسی میزان فرونشست زمین در دشت قم در اثر بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی”، *کنفرانس مهندسی آب*، تهران.
- رهنما، م.، و کاظمی آذر، ف.، (۱۳۸۵)، “فرونشست زمین در اثر سطح آب زیرزمینی در دشت رفسنجان”، *اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی*، اهواز.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، “نقشه زمین‌شناسی کاشان، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، <https://gsi.ir/fa/map?MapSearch%5BscaleId%5D=1> مقصودی، ی.، امانی، ر.، و احمدی، ح.، (۱۳۹۸)، “بررسی رفتار فرونشست زمین در منطقه غربی تهران با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ و تکنیک تداخل‌سنجی راداری مبتنی بر پراکنش گرهای دائمی”، *تحقیقات منابع آب ایران*، (۱)، ۱۱۵-۲۲۹-۳۱۳.
- ندیری، ع.، طاهری، ز.، برزگری، ق.، و دیدبان، خ.، (۱۳۹۷)، “ارائه چارچوبی برای تخمین پتانسیل فرونشست آبخوان با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک”، *تحقیقات منابع آب ایران*، (۲)، ۱۷۴-۱۸۵.
- Arjomandi, M., Saremi, A., Sarraf, A.P., Sedghi, H., and Roustaei, M., (2018), “Predicting land subsidence rate by estimating aquifer hydraulic parameters, obtained from aquifer-test data and optimization algorithms in the district 19 of Tehran”, *Journal of Geosciences*, 27(107), 17-26.
- Arjomandi, M., Saremi, A., Sarraf, A.P., Sedghi, H., and Roustaei, M., (2018), “Predicting land subsidence rate due to groundwater exploitation in the district 19 of Tehran using MODFLOW and InSAR”, *Journal of Geosciences*, 27(106), 75-82.
- Ghazifard, A., Moslehi, A., Safaei, H., and Roustaei, M., (2016), “Effects of groundwater withdrawal on land subsidence in Kashan Plain, Iran”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75(3), 1157-1168.
- Hoffmann, J., Leake, S.A., Galloway, D.L., and Wilson, A.M., (2003), “MODFLOW-2000 ground-water



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.