Journal of Water & Wastewater Science & Engineering (jwwse)
Winter 2017, Vol. 1, No. 1.
Doi:10.22112/jwwse.2017.51030

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال اول، شماره ۱، زمستان ۱۳۹۵

Overexploitation of Groundwater Resources and Regional Subsidence: Case Study of Damaneh City, Isfahan

Hamed Javdanian[1]* and Mahmood Ahmadi Darani[2]
1- Assistant Professor, Department of Civil Engineeing, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
2- M.Sc. in Civil Engineering, Construction Engineering Organization of Daran-Damaneh, Isfahan, Iran
*Corresponding Author, Email: javdanian@eng.sku.ac.ir

Received: 20/4/2017
Revised: 27/8/2017
Accepted: 28/8/2017

Abstract

One of the main reasons of regional subsidence is drawdown of groundwater level due to overexploitation of aquifers which can lead to irreversible damage to soil deposits. In recent years, the regional subsidence around the country have greatly damaged agricultural sites, res-idential buildings, roads, power transmission lines, etc. The Damaneh City, located at west of Isfahan Province, is amongst the cities that has extensively been affected by this phenome-non. Therefore, the present study aims to investigate the level of depletion of groundwater resources and subsequent land subsidence in this region. The results indicated that drawdown of groundwater level had a direct influence on the occurrence of subsidence in the studied region. Considering that the studied area is one of the most important agricultural regions in Isfahan Province, the primary exploitation of aquifers is related to agricultural purposes. The results showed that water table has dropped 20 m in Damaneh City during the period of 1977-2014. Accordingly, it is essential to use artificial recharge and to change the cultivation pattern to revive the aquifer and to prevent the damage induced by land subsidence as well.

Keywords: Aquifer, Overexploitation of groundwater, Land subsidence, Damaneh city.

برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی و نشست منطقه ای: مطالعه ی موردی شهر دامنه، اصفهان

حامد جاودانیان[1]*، محمود احمدی دارانی[2]
۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد
۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران، نظام مهندسی ساختمان داران-دامنه، اصفهان
* نویسنده مسئول، ایمیل : javdanian@eng.sku.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۳۱
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۶/۶/۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۶

چکیده

از دلایل اصلی فرونشست زمین می‌توان به افت سطح آب بر اثر برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها اشاره نمود که موجب کاهش حجم، تراکم برگشت‌ناپذیر و وارد آمدن آسیب‌های غیر قابل جبران به آن‌ها می‌شود. طی سال‌های گذشته فرونشست‌های پدیدآمده در ایران به دلیل افت سطح آب زیرزمینی، لطمه‌ی فراوانی به زمین‌های کشاورزی، ساختمان‌های مسکونی، جاده‌ها، خطوط انتقال نیرو و غیره وارد آورده است. شهر دامنه در غرب استان اصفهان نیز در سال‌های اخیر به صورت چشم‌گیر با این پدیده روبه‌رو شده است. از این رو در پژوهش حاضر به بررسی میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی و وضعیت فرونشست در این منطقه پرداخته شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که افت سطح آب زیرزمینی، اثری مستقیم بر ایجاد و گسترش فرونشست در محدوده ی شهر دامنه داشته است. با توجه به اینکه منطقه‌ی مورد مطالعه یکی از قطب‌های کشاورزی استان اصفهان به شمار می‌آید، بیشترین میزان بهره‌برداری از آبخوان‌های منطقه به مصارف کشاورزی اختصاص دارد. نتایج بیانگر آن است که سطح آب زیر زمینی در منطقه ی مورد مطالعه در بازه سال های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۳ به طور متوسط به میزان ۲۰ متر افت داشته است. بر همین اساس جلوگیری از افت روزافزون آب‌های زیرزمینی در منطقه، با استفاده از راهکارهایی مانند تغذیه‌ی مصنوعی و از آن مهم‌تر تغییر الگوی کشت، برای کمک به احیای مجدد آبخوان آبرفتی ضروری است.

کلمات کلیدی: منابع آب، آب زیرزمینی،فرو نشست، افت سطح آب، برداشت بی رویه

۱- مقدمه

عوامل گوناگونی می‌توانند فرونشست زمین را در پی داشته باشند که از آن جمله می‌توان جابه‌جایی زمین، بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، احداث سدهای بزرگ و فرآیندهای تکتونیکی را نام برد (Omidvar, 2014). با این وجود مهم‌ترین علت فرونشست منطقه‌ای سطح زمین در حوضه‌های رسوبی مناطق خشک و نیمه‌خشک، تراکم سفره‌های آب زیرزمینی و بهره‌برداری بیش از حد از آن‌ها است (Pacheco et al., 2006). این پدیده بروز صدمات فراوان به زمین‌های کشاورزی، ساختمان‌های مسکونی، جاده‌ها و خطوط انتقال نیرو شده و همچنین ایجاد درز و شکاف در سطح زمین، لوله‌زایی، تغییر شیب رودخانه‌ها، ریزش جداره‌ی چاه‌ها و تغییر شیب زمین را به دنبال خواهد داشت (Bouwer, 1977). فرونشست معمولاً بلافاصله پس از خروج آب زیرزمینی رخ نمی‌دهد، بلکه در زمان طولانی‌تر بعد از برداشت اتفاق می‌افتد و میزان آن به ضخامت و تراکم‌پذیری لایه‌ها، طول زمان بارگذاری، درجه و نوع تنش بستگی دارد.

در سطح جهانی فرونشست ناشی از افت سطح آب همزمان با توسعه‌ی شهرنشینی و صنعتی شدن در بازه سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ میلادی به اوج خود رسید و در بسیاری از شهرهای بزرگ دنیا مثل مکزیکوسیتی، با سرعت یک میلی‌متر در سال گزارش شد (Carillo, 1984; Waltham, 1989). میزان چنین فرونشست‌هایی در توکیو و اوزاکا در گذشته تا ۲۰ و در نیاگاتا تا ۵۰ سانتی‌متر در سال گزارش شده بود؛ اما امروزه با کنترل برداشت آب زیرزمینی کاهش یافته است (Gallo-way et al., 2011). فرونشست بر اثر برداشت بی‌رویه‌ی آب زیرزمینی در شهرهای بانکوک و ونیز، ایالت کالیفرنیا در آمریکا، دشت ساحلی تسالونیکی در شمال یونان و شهرهایی از چین هم مشاهده شده است (Lofgern, 1969; Poland, 1981; Gambolati et al., 1991; Larson et al., 2001; Zhou and Esaki, 2003; Hu et al., 2004; Quanlong, 2006; Phien-Wej et al., 2006; Zhu et al., 2015).

لازم به ذکر است که بسیاری از آبخوان‌های ایران نیز از پدیده‌ی فرونشست بر اثر برداشت بیش از اندازه‌ی آب زیرزمینی در امان نمانده‌اند. از جمله‌ی این آبخوان‌ها می‌توان به رفسنجان، سیرجان، زرند، کرمان، ورامین، شهریار، اشتهارد، مشهد، همدان، سیستان، کاشان و اردکان اشاره نمود (Mousa-vi et al., 2001; Alipour et al., 2008; Motagh et al., 2008; Mahmoudpour et al., 2016; Motagh et al., 2017).

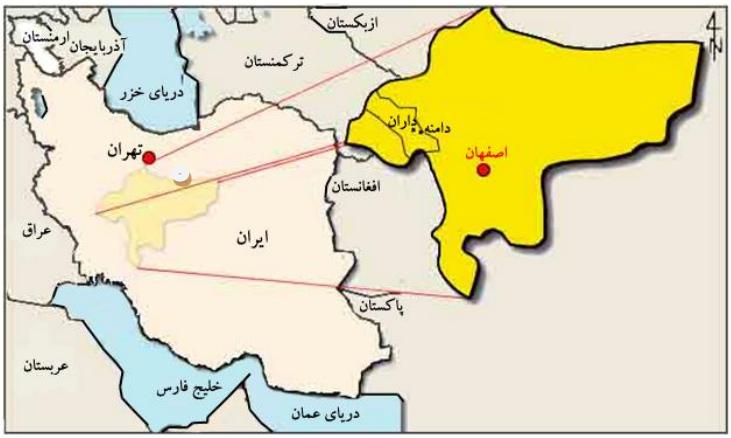
در حال حاضر پدیده‌ی فرونشست در بسیاری از دشت‌های استان اصفهان نیز به سادگی قابل مشاهده است. به‌عنوان مثال این پدیده در شهر دامنه با ایجاد شکاف و ترک و وارد آمدن خسارت به زمین‌های کشاورزی، خانه‌های مسکونی، خطوط انتقال نیرو و غیره رخ نموده است. شهر دامنه واقع در شهرستان فریدن، در فاصله‌ی ۱۲۰ کیلومتری غرب شهر اصفهان و در مسیر جاده‌ی شوسه‌ی اصفهان-لرستان قرار دارد. به دنبال فرونشست زمین در این شهر که به ویژه از سه سال پیش تا کنون شدت گرفته است، حدود ۳۰۰ خانه آسیب دیده‌اند که در این میان ۱۲۷ خانه در معرض ریزش قرار دارند و تعدادی نیز قابلیت بهره‌برداری خود را از دست داده‌اند. واضح است که اولین گام برای مقابله با چنین پدیده‌ی زیان‌باری، شناسایی عوامل مؤثر بر شکل‌گیری آن است. بر همین مبنا در پژوهش پیش رو برای اولین بار عوامل مؤثر بر فرونشست زمین در محدوده‌ی شهر دامنه با تأکید بر اثر افت سطح آب زیرمینی، مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲- منطقه مورد مطالعه

شهر دامنه در ′۲۵,°۵۰ طول شرقی و ′۳۲,°۵۸ عرض شمالی در محدوده‌ی مطالعاتی دامنه-داران قرار دارد (شکل ۱) که یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوزه‌ی آبریز گاوخونی است. این محدوده در قسمت شمال غرب این حوزه‌ی آبریز و تحت پوشش شرکت سهامی آب منطقه‌ای اصفهان است. ۲۹۳/۷ کیلومترمربع از وسعت این محدوده را دشت و ۴۱۷/۶ کیلومترمربع از وسعت آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد.

حداقل ارتفاع، ۲۲۱۲ متر، مربوط به بخش جنوبی محدوده در مجاورت دشت بوئین- میاندشت و حداکثر ارتفاع آن، ۳۲۸۶ متر از سطح دریا، مربوط به قسمت‌های شمالی است (بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوزه‌ی آبریز گاوخونی منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، ۱۳۹۴).

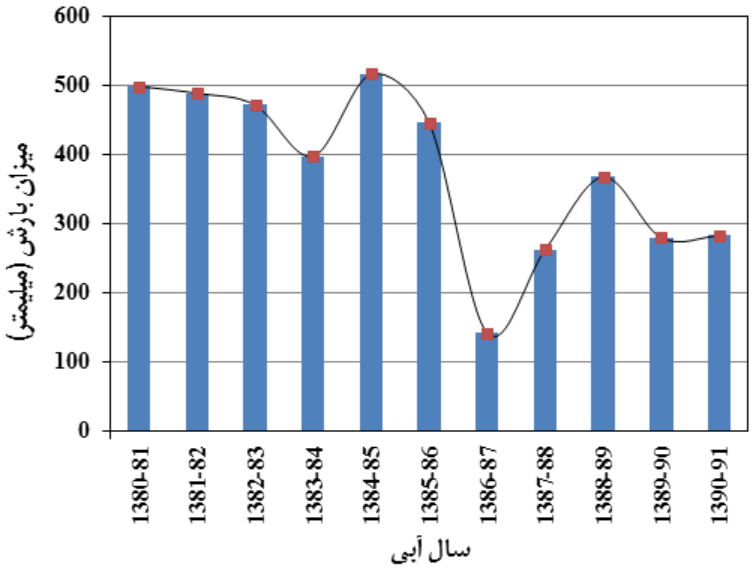
آبخوان آبرفتی منطقه‌ی مورد مطالعه با مساحت ۲۲۰/۳ کیلومتر در ۷۵ درصد از مساحت محدوده‌ی دشت (۲۹۳/۷) گسترده شده است. در حال حاضر فراز و فرود سطح آب



شکل ۱- محدوده دامنه-داران در استان اصفهان

زیرزمینی با استفاده از ۱۶ حلقه چاه مشاهده‌ای ثبت می‌شود. لازم به ذکر است آماربرداری سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۶۲ آغاز شده که با توجه به وسعت آبخوان تراکم چاه‌های مشاهده‌ای در هر ۲۵ کیلومترمربع ۱/۸ حلقه چاه است (بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوزه‌ی آبریز گاوخونی منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، ۱۳۹۴).

برای بررسی پارامترهای هواشناسی منطقه، از آمار ایستگاه دامنه استفاده شده است. میانگین دمای سالانه در محدوده مورد مطالعه، ۵/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد، رطوبت نسبی سالانه در منطقه، ۸ درصد، میزان تبخیر متوسط سالانه‌ی اندازه‌گیری شده با تشت تبخیر، حدود ۱۷۶۶ و متوسط بارش سالانه، ۳۵۰ میلی‌متر است. از سال ۸۶ تاکنون، یعنی همزمان با توسعه منطقه، خشکسالی شدید بر منطقه حاکم شده و صدمات زیادی را به منابع آب وارد آورده است (شکل ۲). از جمله‌ی این صدمات می‌توان کم آب شدن یا خشک شدن چشمه‌ها و قنوات و نیز کم آب شدن چاها و افت سطح آب زیرزمینی را نام برد. به دنبال این پدیده، کشاورزان به صورت طبیعی خواستار حفر چاه و کف‌شکنی چاه‌ها شدند.



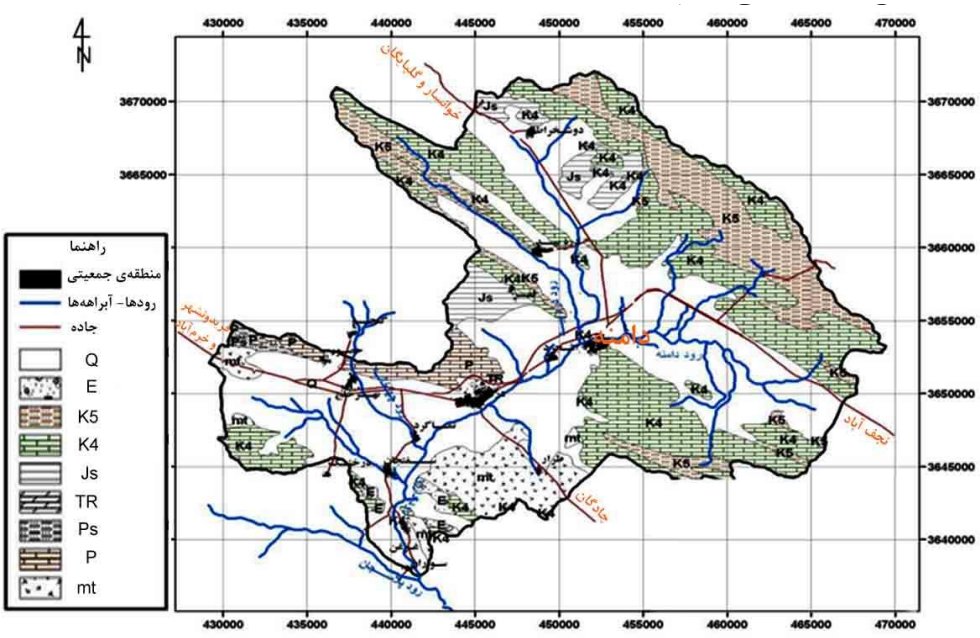
شکل ۲- نمودار بارندگی سالانه‌ی محدوده‌ی دامنه- داران

شهر دامنه در غرب استان اصفهان واقع شده است. از نظر تقسیمات زمین‌شناسی ایران، دامنه در زون ایران مرکزی قرار گرفته است (شکل ۳). ارتفاعات واقع در جنوب و غرب منطقه نیز از نظر سنگ‌شناسی شامل سنگ‌های آهکی میباشد (گزارش مطالعات ژئوتکنیک، پروژه‌ی فرونشست شهر دامنه، ۱۳۹۴).

در پژوهش حاضر مطالعه‌ی لایه‌بندی خاک بر اساس گمانه‌های حفر شده در منطقه و همچنین داده‌های لاگ‌های

۳- روش تحقیق

فرونشست زمین، در پی عوامل متعددی رخ می‌دهد. فعالیت‌های تکتونیکی، جنس خاک و برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی را میتوان از محتمل ترین فاکتورهای مؤثر بر پدیده فرونشست در محدوده دامنه-داران نام برد. در این راستا علاوه بر مشاهدات میدانی و بازدیدهای صحرایی، از گزارش های سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان، گزارش‌های

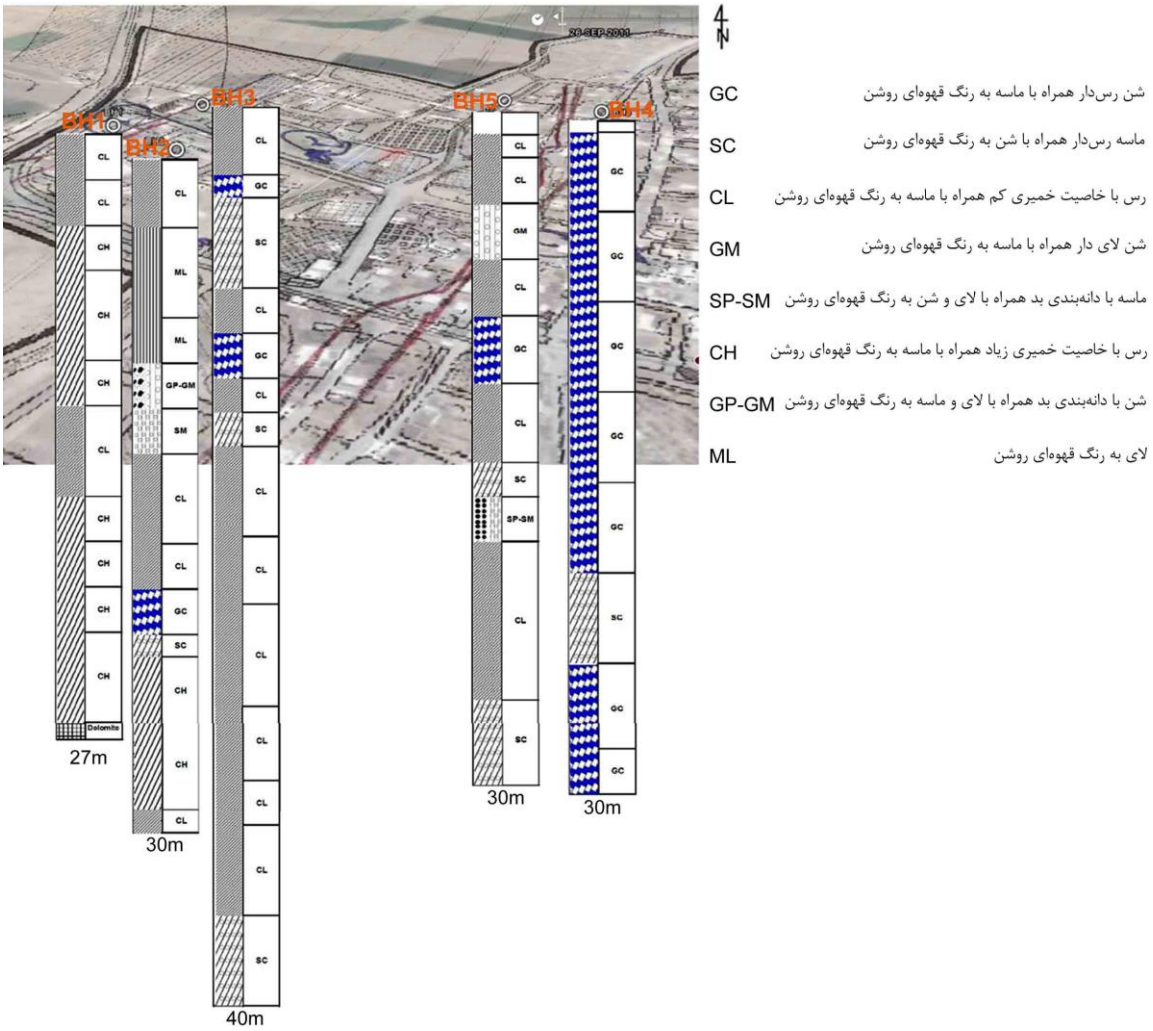


Q: رسوبات آبرفتی- E: ماسه‌سنگ، سیلتستون با میان‌لایه‌های تبخیری- K5: مارن و شیل
K4: سنگ‌های آهک اربیتولین‌دار- Js: شیل و ماسه‌سنگ- TR: دولومیت نازک‌لایه و آهک دولومیتی
Ps: شیل و ماسه‌سنگ- P: سنگ‌آهک- Mt: سنگ‌های دگرگونی تفکیک‌نشده

شکل ۳- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (گزارش فرونشست زمین در شهر دامنه، ۱۳۹۳)

حفاری مربوط به چاه‌های کشاورزی انجام شده است. مزیت استفاده از لاگ چاه‌های کشاورزی، این است که عمق زیاد این چاه‌ها برای مشخص کردن عمق سنگ بستر نیز کاربرد دارد. علاوه بر چاه‌های کشاورزی، در محدوده شهری دامنه، پنج گمانه ماشینی با عمق ۲۷ تا ۴۰ متر جهت شناسایی های زیرسطحی حفر شده است (شکل ۴) (گزارش مطالعات ژئوتکنیک، پروژه‌فرونشست شهر دامنه، ۱۳۹۴). مشخصات گمانه ها و نوع خاک حاصل در شکل ۴ ارائه شده است.

شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان اصفهان گزارش‌های معاونت بازسازی و مسکن روستایی بنیاد مسکن انقلاب اسلامی استان اصفهان به‌عنوان داده‌های پایه استفاده شده است (بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوزه‌ی آبریز گاوخونی منتهی به سال آبی ۱۳۸۹-۹۰، ۱۳۹۴؛ گزارش مطالعات ژئوتکنیک، پروژه‌ی فرونشست شهر دامنه، ۱۳۹۴؛ گزارش فرونشست زمین در شهر دامنه، ۱۳۹۳؛ گزارش فرونشست زمین و خسارات وارده در شهر دامنه، ۱۳۹۴). نتایج حاصل از گزارش‌های مذکور بررسی و مورد تجزیه و تحلیل



شکل ۴- وضعیت لایه‌های خاک و ضخامت آن‌ها در عمق زمین در محدوده شهری دامنه
(گزارش مطالعات ژئوتکنیک، پروژه‌ی فرونشست شهر دامنه، ۱۳۹۴)

قرار گرفت. این امر می تواند گامی مؤثر در جهت برنامه ریزی و مدیریت استفاده از منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه باشد. لازم به ذکر است که تحلیل دقیق نتایج موجود می تواند تصمیم گیری بهتر در برخورد با خطرات احتمالی پیش رو را به دنبال داشته باشد.

۴- اثر افت سطح آب زیرزمینی بر فرونشست در منطقه

منطقه‌ی مورد مطالعه در تحقیق حاضر آنچنان که از طریق مشاهدات میدانی نویسندگان در سال ۱۳۹۵ بر می‌آید، به شدت دچار فرونشست شده است.

نشست سازه‌های محدوده‌ی شهری دامنه نیز بسیار قابل ملاحظه است. این نشست‌ها موجب افزایش و توسعه‌ی ترک و شکاف‌های ایجادشده در ساختمان‌های شهر دامنه و دشتها شده است (شکل ۵).

بر اساس گزارش معاونت بازسازی و مسکن روستایی بنیاد مسکن انقلاب اسلامی استان اصفهان، در بازه‌ی زمانی اسفند ۱۳۹۲ تا بهمن ۱۳۹۴، شکاف‌های طولی و مورب به ضخامت ۵ سانتی‌متر و بیشتر در ساختمان‌های محله‌های مختلف رخ داده و یک باب ساختمان نیز تخریب شده است. بنیاد مسکن انقلاب اسلامی فریدن، آمار ساختمان‌های خسارت‌دیده را ۳۲۰ واحد

اعلام کرده و همچنین ساختمان‌هایی که در آن‌ها شکاف‌های ۵ سانتی‌متر و بیشتر مشاهده است، با اخطار تخلیه مواجه شده‌اند (گزارش فرونشست زمین و خسارات وارده در شهر دامنه، ۱۳۹۴؛ گزارش فرونشست زمین در شهر دامنه، ۱۳۹۳).

پدیده دیگری که به روشنی در منطقه‌ی مورد مطالعه مشاهده می‌شود آن است که خشکسالی در سال‌های گذشته و کمبود منابع آب سطحی، فعالیت‌های اقتصادی و زندگی در منطقه را به شدت به منابع آب زیرزمینی وابسته ساخته است. از این رو بهره‌برداری‌های صنعتی، کشاورزی و شرب موجب افت سطح آب زیرزمینی و منفی شدن بیلان آب سفره‌های زیرزمینی منطقه شده‌اند؛ به طوری که بیلان عمومی دشت در محدوده‌ی مورد مطالعه حاکی از کاهش حجم آبخوان آبرفتی به میزان ۱۶/۹ میلیون مترمکعب است (جدول ۱).

با توجه به مطالب پیش‌گفته لازم است ارتباط بین این افت و نشست‌های مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه قرار گیرد. بر این مبنا در پژوهش پیش رو، به منظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر فرونشست زمین، داده‌های گردآوری‌شده از چاه‌های مشاهده‌ای در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳ از سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان دریافت و تحلیل شد.

شکل ۵- نمونه‌ای از آسیب‌های وارد به ساختمان‌ها و دشت در محدوده‌ی دامنه- داران

جدول ۱- بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دامنه- داران (بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوزه‌ی آبریز گاوخونی منتهی به سال آبی ۱۳۸۹-۹۰، ۱۳۹۴)

وسعت	تغذیه (10^6 m^3)					تخلیه (10^6 m^3)					تغییرات (10^6 m^3)
وسعت محدوده‌ی بیلان (کیلومترمربع)	جریان آب زیرزمینی ورودی	نفوذ از بارندگی	نفوذ از جریان‌های سطحی	نفوذ از آب زراعی	نفوذ از آب شرب و صنعت	جمع تغذیه	تخلیه از چاه، چشمه و قنات	زهکشی	تبخیر از آبخوان	جریان زیرزمینی	جمع تخلیه	تغییرات حجم ذخیره
۲۲۰/۳	۴۷/۱	۲۰/۳	۱۳/۲	۱۸/۴	۱/۳	۱۰۰/۴	۱۱۶/۵	۰	۰/۲	۰/۷	۱۱۷/۳	-۱۶/۹

۵- یافته ها و بحث

درجدول ۲ تراز سطح آب زیرزمینی در پیزومترهای محدوده دامنه-داران و در شکل ۶ موقعیت این پیزومترها همراه با محل قرارگیری چاه‌های بهره‌برداری روی نقشه‌ی افت سطح آب زیرزمینی منطقه طی سال‌های ۸۶-۸۵ و ۹۳-۹۲ قابل مشاهده است. بدین ترتیب می‌توان موقعیت نواحی دارای افت زیاد را با محل های تمرکز چاه‌های بهره‌برداری مقایسه کرد. بر این اساس مشخص می‌شود که بیشترین افت سطح آب زیرزمینی در مناطقی رخ داده که در آن‌ها تراکم چاه‌های بهره‌برداری بیشتر از نواحی دیگر بوده است.

جدول ۲- شرایط سطح آب زیرزمینی در پیزومترهای محدوده دامنه- داران
(بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوزه‌ی آبریز گاوخونی منتهی به سال آبی ۱۳۸۹-۹۰، ۱۳۹۴)

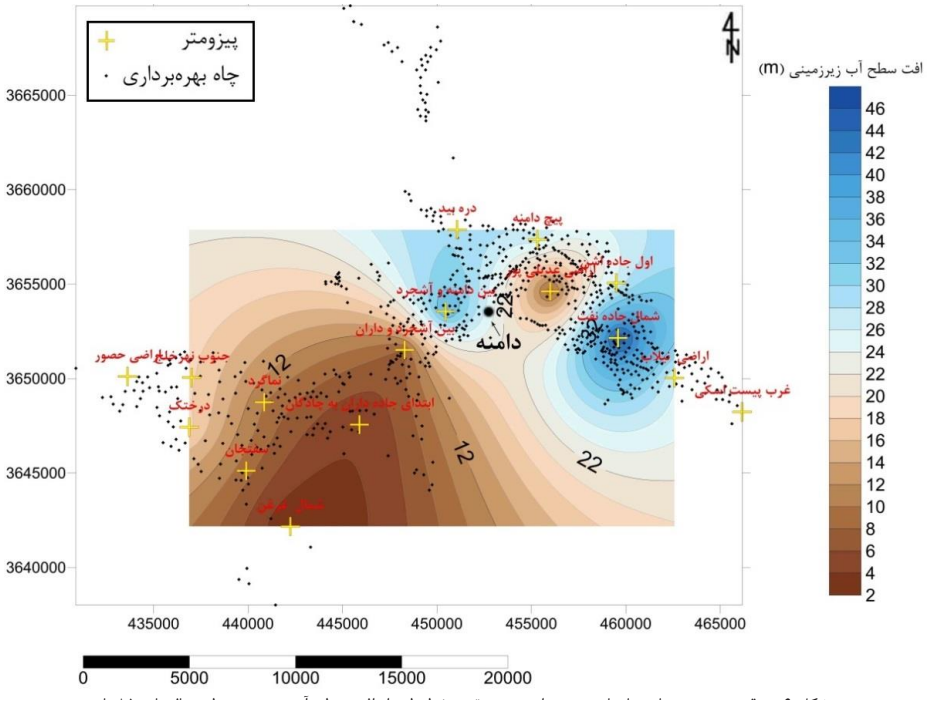
محدوده	UTM-x	UTM-y	تراز (m)	ترزا آب (m) در بازه سال‌های		افت سطح آب (m)
				۸۵-۸۶	۹۲-۹۳	
اراضی حصور	۴۳۳۶۱۵	۳۶۵۰۱۰۹	۲۳۲۸/۰۶	۲۲۹۰/۱۶	—	—
درختک	۴۳۶۸۸۱	۳۶۴۷۴۱۷	۲۲۷۴/۵۵	۲۲۴۵/۵۵	۲۲۲۷/۱۱	۱۸/۴۴
جنوب نهرخلج	۴۳۷۰۱۴	۳۶۵۰۰۵۱	۲۳۰۳/۲۲	۲۲۶۸/۶۲	۲۲۵۰/۳۷	۱۸/۲۵
سفتجان	۴۳۹۹۰۳	۳۶۴۵۱۲۱	۲۲۲۴/۶۱	—		
نماگرد	۴۴۰۸۵۶	۳۶۴۸۷۴۳	۲۲۶۸/۹۵	۲۲۳۴/۲۳	۲۲۲۴/۲۳	۱۰
شمال غرغن	۴۴۲۲۳۴	۳۶۴۲۱۷۴	۲۲۳۶/۲۴	۲۲۳۲/۳۹	۲۲۳۰/۴۱	۱/۹۸
جاده‌ی داران به چادگان	۴۴۵۸۸۸	۳۶۴۷۵۵۴	۲۳۱۲/۰۳	۲۲۷۸/۵۱	۲۲۷۴/۱۱	۴/۴۰
بین آشجرد و داران	۴۴۸۲۸۴	۳۶۵۱۵۱۱	۲۳۰۳/۷۹	۲۲۸۱/۲۷	۲۲۷۳/۵۸	۷/۶۹
بین دامنه و آشجرد	۴۵۰۴۵۷	۳۶۵۳۵۴۵	۲۳۲۹/۲۹	۲۲۹۱/۲۹	۲۲۵۶/۴۴	۳۴/۸۵
دره‌بید	۴۵۱۰۶۴	۳۶۵۷۸۷۷	۲۳۸۵/۲۵	۲۳۲۰/۰۹	۲۲۹۰/۱۸	۲۹/۹۱
پیچ دامنه	۴۵۵۳۱۸	۳۶۵۷۳۵۶	۲۳۷۵/۰۶	۲۳۱۴/۹۵	۲۲۸۷/۹۴	۲۷/۰۱
اراضی عدیلی	۴۵۵۹۹۸	۳۶۵۴۶۱۴	۲۳۴۱/۷	۲۳۲۴/۲۵	۲۳۱۶/۰۸	۸/۱۷
اول جاده‌ی اشن	۴۵۹۴۹۳	۳۶۵۵۰۵۵	۲۳۶۵/۹۹	۲۳۲۲/۳۴	۲۲۹۶/۰۳	۲۶/۳۱
شمال جاده‌ی نفت	۴۵۹۵۸۹	۳۶۵۲۱۴۷	۲۳۵۳/۳۶	۲۳۲۹/۴۸	۲۲۸۲/۸۵	۴۶/۶۳
اراضی نیلاب	۴۶۲۵۷۱	۳۶۵۰۰۳۴	۲۳۷۰/۹۷	۲۳۴۷/۳۰	۲۳۲۱/۴۲	۲۵/۸۸
غرب پیست اسکی	۴۶۶۱۵۸	۳۶۴۸۲۳۷	۲۴۰۵/۰۷	—		
میانگین افت سطح آب زیرزمینی (متر)				۱۹/۹۶		

لازم به ذکر است که نقشه خطوط تراز نشان داده شده در شکل ۶ به کمک درون یابی نتایج پیزومترهای واقع در نواحی مختلف صورت گرفت. از این رو، برای مثال، اگر چه داده های پیزومتریک ناحیه سفتجان کامل نبود (جدول ۲)، اما با توجه به اطلاعات موجود از نواحی مجاور آن و با استفاده از درون یابی خطوط تراز برای ناحیهی مذکور ترسیم شد.

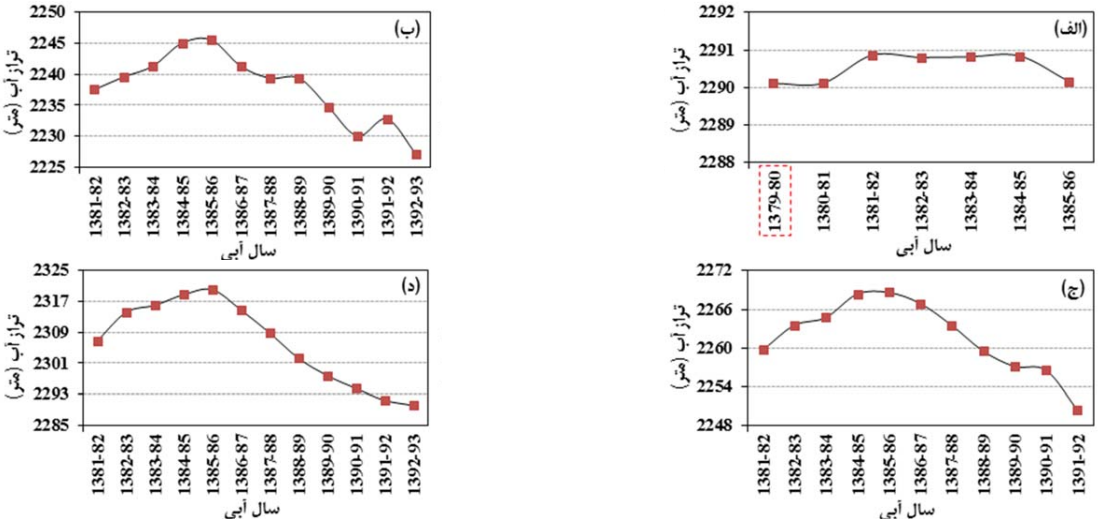
همان‌طور که در ستون آخر جدول ۲ و نیز در شکل ۶ مشاهده می‌شود، تمام پیزومترهایی که داده‌های اندازه‌گیری‌شده در آن‌ها به صورت کامل در دسترس بوده است، در سال ۹۳- ۹۲ نسبت به سال ۸۵-۸۶ دچار افت قابل توجه سطح آب زیرزمینی شده‌اند. علاوه بر این با توجه به شکل ۷ مشخص می‌شود که بیشترین افت سطح آب زیرزمینی در مناطقی رخ داده که در آن‌ها تراکم چاه‌های بهره‌برداری بیشتر از نواحی دیگر بوده است.

تغییرات سطح پیزومتریک آب در نواحی مختلف (جدول ۲) از منطقه ی مورد مطالعه (شامل نواحی اراضی حصور، درختک، جنوب نهر خلج، نماگرد، شمال غرغن، ابتدای جاده داران به چادگان، بین آشجرد و داران، بین دامنه و آشجرد، دره بید، پیچ دامنه، اراضی عدیلی، اول جاده اشن، شمال جاده نفت و اراضی نیلاب) در شکل ۷ ارائه شده است. قابل ذکر است که هیدروگراف مربوط به دو ناحیه ی سفتجان و غرب پیست اسکی به دلیل نبود نتایج مربوط به سطح پیزومتریک این نواحی در شکل ۷ ارائه نشده است.

در شکل ۸ هیدروگراف کلی محدوده‌ی دامنه - داران نمایش داده شده است. بر اساس این هیدروگراف، افت سطح آب زیرزمینی حدود ۲۸ متر است. شایان توجه است که آنچه در جدول ۲ به‌عنوان متوسط افت سطح آب زیرزمینی درج شده، با میانگین‌گیری عددی به دست آمده، در حالی که



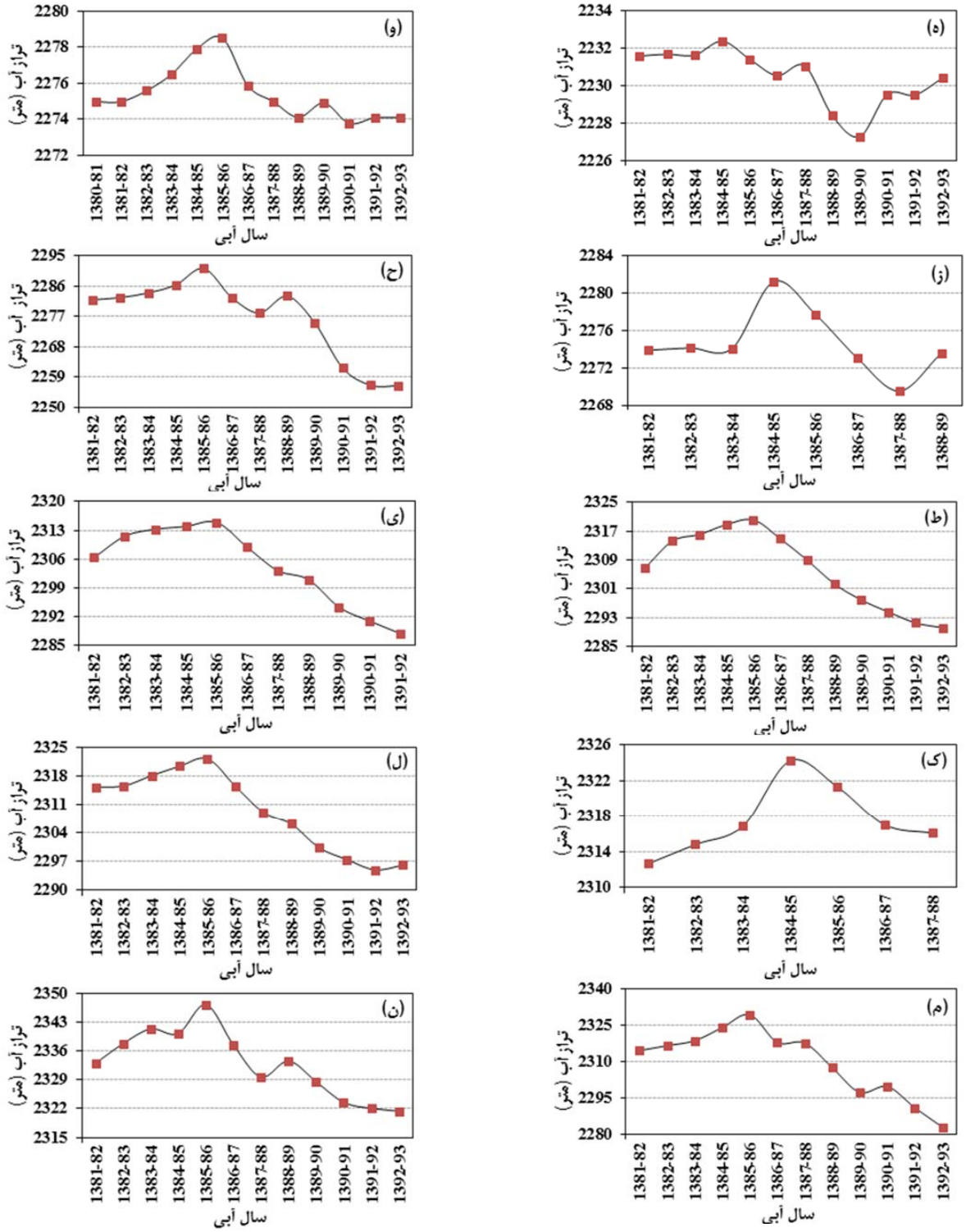
شکل ٦- موقعیت پیزومترها و چاه‌های بهره‌برداری روی نقشه خطوط تراز افت سطح آب زیرزمینی طی سال‌های ۸۵ تا ۹۳



شکل ۷- هیدروگراف تراز پیزومتریک نواحی مختلف از منطقه مورد مطالعه، الف) اراضی حصور، ب) درختک، ج) جنوب نهر خلج، د) نماگرد

افت نشان‌داده‌شده با استفاده از هیدروگراف شکل ۸ پس از وزن‌دهی به مساحت تحت پوشش هر یک از پیزومترها حاصل شده است؛ بنابراین به طور کلی می‌توان گفت که میزان افت سطح آب زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه، در بازه سال های ۸۶-۱۳۸۵ تا ۹۳-۱۳۹۲، حدود ۲۸ متر بوده است. در جدول ۳ خلاصه‌ای از وضعیت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه تا سال ۱۳۹۴، ارائه شده است.

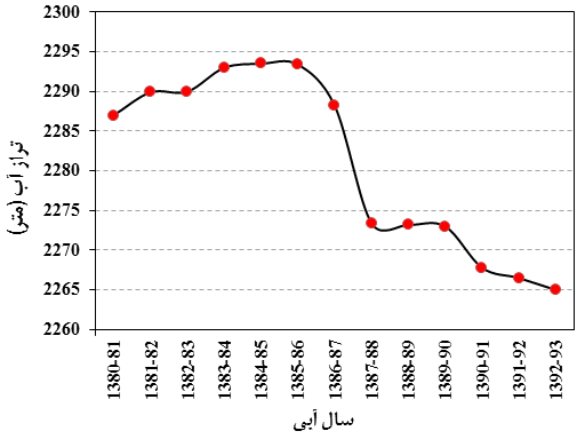
نزول سطح آب زیرزمینی همراه با جنس خاک منطقه



ادامه شکل ۷- هیدروگراف تراز پیزومتریک نواحی مختلف از منطقه مورد مطالعه، ه) شمال غرغن، و) ابتدای جاده داران به چادگان، ز) بین آشجرد و داران، ح) بین دامنه و آشجرد، ط) دره بید، ی) پیچ دامنه، ک) اراضی عدیلی، ل) اول جاده اشن، م) شمال جاده نفت، ن) اراضی نیلاب

جدول ۳- وضعیت بهره‌برداری آب‌های زیرزمینی در محدوده‌ی آبخوان دامنه

چاه عمیق		چاه نیمه عمیق		قنات		چشمه		تخلیه کل (10^6 m^3)
تعداد	تخلیه سالانه (10^6 m^3)	تعداد	تخلیه سالانه (10^6 m^3)	تعداد	تخلیه سالانه (10^6 m^3)	تعداد	تخلیه سالانه (10^6 m^3)	
۵۲۷	۱۴۱/۶۳۹	۱۲۹	۲۲/۲۱۵	۱۱	۱/۹۱۲	۸	/۲۳۰	۱۶۵/۹۹۶



شکل ۸- هیدروگراف کلی محدوده‌ی دامنه- داران

می‌توانند عامل بسیار اثرگذاری بر فرونشست‌های مشاهده‌شده در منطقه طی سالیان اخیر باشد. بنا بر بررسی‌های کارگروه زلزله مسکن و شهرسازی و نیز شورای فنی استانداری استان اصفهان، زلزله‌هایی با بزرگای ۴/۵ و ۳/۵ در مقیاس امواج درونی زمین که به ترتیب در ورزنه از توابع شهرستان گلپایگان (۶۰ کیلومتری شمال دامنه) و خوانسار رخ داده‌اند، در دامنه نیز احساس شدند. اما درز و شکاف‌های متعدد مشاهده‌شده در این شهر نمی‌تواند ناشی از عملکرد این زلزله‌ها یا حتی پدیده زمین‌لغزش باشد (گزارش فرونشست زمین و خسارات وارده در شهر دامنه، ۱۳۹۴؛ گزارش فرونشست زمین در شهر دامنه، ۱۳۹۳).

آنچه از بررسی داده‌های مختلف مربوط به آمار تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برمی‌آید، این است که بروز خشک‌سالی و بهره‌برداری شدید از منابع آب زیرزمینی منطقه در فاصله‌ی سال‌های ۸۶-۸۵ تا ۹۳-۹۲، سطح آب زیرزمینی را با افت قابل توجهی مواجه ساخته است که این می تواند بحرانی جدی برای منطقه مورد مطالعه تلقی شود.

اصلاح روش‌های مدیریت منابع آب (بر مبنای تجربه سایر کشورها) به عنوان راهکار دراز مدت این بحران می باشد که قطعاً خود نیازمند مطالعات دقیق تر بر روی منطقه مورد مطالعه است. اما به عنوان یک راهکار کوتاه مدت و اضطراری باید از ادامه بهره برداری های غیرمجاز از منابع آب زیرزمینی (مانند استفاده از چاه های غیرمجاز) جلوگیری شود. در غیر این صورت ضمن از دست دادن بخش عظیمی از منابع آب زیرزمینی، همچنان شاهد پدیده هایی نظیر فرونشست های منطقه ای و به دنبال آن آسیب‌های جبران‌ناپذیر در منطقه خواهیم بود.

۶- نتیجه گیری

امروزه این موضوع به اثبات رسیده است که برداشت بیش از اندازه آب زیرزمینی با ایجاد افت مداوم سطح آب غیر از آسیب‌رسانی به سفره‌های آب زیرزمینی و از دست رفتن یک منبع مهم آب، ممکن است موجب نشست اراضی و وارد آمدن خسارت به ساختمان‌های موجود در منطقه شود. نبود برنامه‌ریزی دقیق و نگرش اصولی به منابع محدود و تجدیدناپذیر آب زیرزمینی در ایران موجب افت شدید سطح آب زیرزمینی در بسیاری از دشت‌های کشور و ایجاد فرونشست در آن‌ها شده است.

یکی از این دشت‌ها، محدوده‌ی مطالعاتی تحقیق حاضر، یعنی شهر دامنه است. این محدوده از سال ۱۳۸۵ تا به امروز با افت شدید سطح آب زیرزمینی، با فرونشست زمین در نواحی مسکونی، کشاورزی و صنعتی نیز روبه‌رو شده است. از این رو نویسندگان لازم دیدند به بررسی میزان تأثیر افت سطح آب زیرزمینی بر ایجاد فرونشست‌های یادشده بپردازند و عوامل مختلف اثرگذار بر فرونشست در محدوده‌ی مورد مطالعه را بررسی نمایند. نتایج این تحقیق نشان داد که بین برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی و بروز فرونشست در منطقه ارتباط بسیار نزدیکی برقرار است.

یکی از عوامل اصلی افت سطح آب زیرزمینی در منطقه

مورد مطالعه را می‌توان عدم استفاده درست منابع آب در مصارف کشاورزی دانست؛ زیرا دامنه و نواحی اطراف آن یکی از قطب‌های کشاورزی استان اصفهان به شمار می‌آیند. بر این مبنا می‌توان نگرشی نو به الگوی کشت منطقه و اصلاح روش‌های مدیریت منابع آب را یکی از راهکارهای درازمدت کاهش افت سطح آب زیرزمینی به شمار آورد. به‌عنوان راهکاری دیگر می‌توان جلوگیری از ادامه‌ی فعالیت چاه‌های غیرمجاز را پیشنهاد داد. در صورتی که نزول سطح آب زیرزمینی کاهش نیابد، برای همیشه شاهد از دست رفتن بخش عظیمی از منابع آب و بر هم خوردن ساختار سفره‌ی آب زیرزمینی و پیامدهای نامطلوب و جبران‌ناپذیر فرونشست در منطقه خواهیم بود.

بر این اساس لازم است ضمن آگاه‌سازی مردم منطقه از شرایط بحرانی آب، اقدامات لازم برای جلوگیری از برداشت‌های نادرست و همچنین تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان اندیشیده شود. روشن است که وجود سامانه‌های کارآمد پایش آب زیرزمینی، نقش مهمی در جلوگیری از عواقب ناشی از کمبود آب در این منطقه و سایر مناطق کشور خواهد داشت. علاوه بر این به منظور پیشگیری از بروز صدمات انسانی ناشی از نشست سازه‌ها در منطقه مورد مطالعه، ضروری است ضمن بررسی جامع محدوده مورد مطالعه و شناسایی مناطقی که بیش از سایر بخش‌ها با خطر نشست مواجه هستند، سازه‌های در معرض خطر ریزش، در دست تعمیر قرار گیرند یا در صورت لزوم تخلیه شوند. امید است که تحقیق حاضر گامی مؤثر جهت شروع برنامه ریزی برای مدیریت صحیح مصرف منابع آب و به دنبال آن کاهش تدریجی خسارات حاصله در منطقه مورد مطالعه باشد.

۷- تقدیر و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از دفتر مطالعات پایه منابع آب سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان و همچنین معاونت بازسازی و مسکن روستایی بنیاد مسکن انقلاب اسلامی استان اصفهان به دلیل در اختیار قرار دادن اطلاعات کامل منابع برداشت و رصد آب زیرزمینی و گزارش‌های فرونشست در منطقه مورد مطالعه، قدردانی نمایند.

۸- مراجع

شرکت سهامی آب منطقه‌ای اصفهان، دفتر مطالعات پایه‌ی منابع آب، (۱۳۹۴)، "بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوزه‌ی آبریز گاوخونی منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹"، جلد پنجم، ارزیابی منابع آب، ضمیمه‌ی شماره‌ی ۱۴: گزارش بیلان منابع آب محدوده‌ی مطالعاتی دامنه و داران (کد ۴۲۱۴).

شرکت آب منطقه‌ای اصفهان ، (۱۳۹۳)، "گزارش فرونشست زمین در شهر دامنه"، گروه تلفیق و بیلان، دفتر مطالعات پایه‌ی منابع آب.

بنیاد مسکن انقلاب اسلامی استان اصفهان، (۱۳۹۴)، "گزارش فرونشست زمین و خسارات وارده در شهر دامنه"، معاونت بازسازی و مسکن روستایی.

شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، (۱۳۹۴)، "گزارش مطالعات ژئوتکنیک، پروژه‌ی فرونشست شهر دامنه"، شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و اداره کل آزمایشگاه استان اصفهان.

Alipour, S., Motgah, M., Sharifi, M.A., and Walter, T.R., (2008), "InSAR time series investigation of land subsidence due to groundwater overexploitation in Tehran, Iran", *Second Workshop on Use of Remote Sensing Techniques for Monitoring Volcanoes and Seismogenic Areas*, Naples, USEReST, 1-5.

Bouwer, H., (1977), "Land subsidence and cracking due to ground-water depletion", *Ground Water*, 15(5), 358-364.

Carillo, N., (1948), "Influence of artesian wells on the sinking of Mexico City", *Proceedings of the 2nd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 7, Rotterdam.

Galloway, D.L., and Burbey, T.J., (2011), "Review: regional land subsidence accompanying groundwater extraction", *Hydrogeology Journal*, 19(8), 1459-1486.

Gambolati, G., Ricceri, G., Bertoni, W., Brighenti, G., and Vuillermin, E., (1991), "Mathematical simulation of the subsidence of Ravenna", *Water Resources Research*, 27(11), 2899-2918.

Hu, R.L., Yue, Z.Q., Wang, L.C., and Wang, S.J., (2004), "Review on current status and challenging issues of and subsidence in China", *Engineering Geology*, 76(1), 65-77.

Larson, K.J., Basagaoglu, H., and Marino, M.A., (2001), "Prediction of optimal safe ground water

yield and land subsidence in the Los Banos–Kettleman City area, California, using a calibrated numerical simulation model", *Journal of Hydrology*, 242(1), 79-102.

Lofgern, B.E., (1969), "Field Measurement of aquifer system compaction, Sanjoaquin Balley, California", *Tokyo Symposium on Land Subsidence*, IASHUNSCO, 272-284.

Mahmoudpour, M., Khamehchiyan, 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, 6-28.

Motagh, M., Shamshiri, R., Haghighi, M.H., Wetzel, H.U., Akbari, B., Nahavandchi, H., and Arabi, S., (2017), "Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanjan plain, southeastern Iran, using InSAR time-series and in situ measurements", *Engineering Geology*, 218, 134-151.

Motagh, M., Walter, R.T., Sharifi, M.A., Fielding, E., Schenk, A., Ander-ssohn, J., and Zschau, J., (2008), "Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir over exploitation", *Geophysical Research Letters*, 35(16), 403–412.

Mousavi, S.M., Shamsai, A., Naggar, M.H.E., and Khamehchian, M., (2001), "A GPS-based monitoring program of land subsidence due to groundwater withdrawal in Iran", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 28(3), 452-464.

Omidvar, K., (2014), *Natural hazards*, Yazd University Press.

Pacheco, J., Arzate, J., Rojas, E., Arroyo, M., Yutsis, V., and Ochoa, G., (2006), "Delimitation of ground failure zones due to land subsidence using gravity data and finite element modeling in the Queretaro valley, Mexico", *Engineering Geology*, 84(3), 143-160.

Phien-Wej, N., Giao, P.H., and Nutalaya, P., (2006), "Land subsidence in Bangkok", *Thailand Engineering Geology*, 82(4), 187-201.

Poland, J.F., (1981), "The occurrence and control of land subsidence due to groundwater withdrawal with special reference to the San Joaquin and Santa Clara Valleys", Ph.D. Dissertation, Stanford University, Palo Alto, California.

Quanlong, W., (2006), "Land subsidence and water management in Shanghai", Ms.C. Thesis, Delft University, Netherlands.

Waltham, A.C., (1989), *Ground subsidence*, Blackie & Son Limited, 1st Edition.

Zhou, G.Y., and Esaki, T.J., (2003), "GIS based spatial and predication system development for regional land subsidence hazard mitigation", *Environmental Geology*, 44(6), 665-678.

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, China", *Engineering Geology*, 193, 243-255.