

# بررسی مقدماتی پدیده فرونشست زمین در شهرستان لردگان

فرید امیری، سهراب میراثی\*، محمد مومنی

دانشکده مهندسی عمران، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

[Sohrab.mirasi@yahoo.com](mailto:Sohrab.mirasi@yahoo.com)

## چکیده

پدیده فرونشست زمین در طی سال‌های اخیر در اغلب دشت‌ها و شهرهای ایران و بخصوص دشت‌های استان چهارمحال و بختیاری به علت برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، خشک‌سالی و عوامل دیگر، سبب بروز آسیب‌های جدی به زمین‌های کشاورزی، ساختمان‌های مسکونی، جاده‌ها، شریان‌های حیاتی و دیگر سازندها شده است. هم‌اکنون و بدون شک در آینده نزدیک به‌صورت شدیدتر شاهد آسیب‌های حاصله از پدیده فرونشست و بروز معضلات اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی برای انسان‌ها خواهیم بود. این امر نشانگر اهمیت و ضرورت موضوع پدیده فرونشست در دشت‌ها و شهرهای استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. در این مقاله به بررسی موضوع فرونشست و چگونگی ایجاد آن و عوامل اصلی و اثرگذار در سطح دشت شهرستان لردگان و همچنین چشمه برم شهر لردگان پرداخته شده است و اشاره‌ای به راهکارهای مناسب جهت جلوگیری و کنترل این پدیده شده است. مشاهدات صحرایی و بازدیدهای میدانی و داده‌های به‌دست‌آمده از هیدروگراف دشت و همچنین آسیب‌ها و مشکلات رخ داده در سطح دشت و اطراف چشمه حاکی از رخداد فرونشست زمین در این شهرستان می‌باشد. کاهش دبی آب چشمه، افت سطح آب زیرزمینی در سطح دشت، افت سطح آب و کاهش شدید حجم ورودی و خروجی آب چشمه واقع در مرکز شهر، نشست سطح زمین، خشک شدن چاه‌ها، ایجاد شکاف و ترک در ساختمان‌ها، ایجاد شکاف‌های متعدد در خیابان، ریزش سقف قنات و غیره همه نشان‌دهنده پدیده فرونشست زمین در این منطقه می‌باشند. به دلیل همزمانی کم شدن سطح آب‌های زیرزمینی که به وضوح در چشمه مشخص می‌باشد با ریزش دیواره‌های چشمه و ترک در ساختمان‌های اطراف آن می‌توان گفت که فروریزش و ترک‌ها مربوط به پدیده فرونشست می‌باشد. هیدروگراف‌های بدست‌آمده نشان‌دهنده افت شدید سطح آب زیرزمینی از سال ۸۶ به بعد همراه با کاهش بارش‌ها و خشک‌سالی است، میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی طبق آمار اداره آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری، از سال ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۱ برابر ۱۶ متر می‌باشد، یعنی سطح آب‌های زیرزمینی دشت لردگان در عمق ۳۰ متری قرار دارد، که این آمار برای سطح آب‌های زیرزمینی در سال ۱۳۸۶ برابر با ۱۴ متر بوده است. در پایان متناسب با شرایط منطقه برای مقابله با پدیده فرونشست در شهرستان لردگان راهکارهای متعددی ارائه گردیده است که نظر به شرایط بحرانی چشمه برم و دشت لردگان، این موضوع نیازمند ارزیابی دقیق‌تر پژوهشگران و اقدام جدی و مؤثر مسئولان شهرستانی و استانی می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** فرونشست، دشت لردگان، چشمه برم، افت سطح آب، شکاف و ترک.

فرونشست عبارت است از فروریزش و یا نشست سطح زمین که به علت‌های متفاوتی در مقیاس بزرگ روی می‌دهد. فرونشست می‌تواند در اثر پدیده‌های طبیعی زمین‌شناختی مانند انحلال، آب‌شدگی یخ‌ها و تراکم نهشته‌ها، حرکات آرام پوسته و خروج گدازه از پوسته جامد زمین و یا فعالیت‌های انسانی نظیر معدنکاری، برداشت آب‌های زیرزمینی و یا نفت ایجاد شود. رشد جمعیت همراه با گسترش بی‌رویه بهره‌برداری از آب در اهداف کشاورزی و صنعت، با اثرات نامطلوب زیادی در جنبه‌های کمی و کیفی منابع آب همراه بوده است. نشانه اولیه فرونشست زمین به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی همیشه قبل از وقوع ریزش مشاهده نمی‌گردد. به این دلیل تشخیص و نمایان‌سازی ناحیه‌هایی که به دلیل خطرپذیری و به مخاطره انداختن زندگی، مستعد فرونشست هستند، ضروری به نظر می‌رسد [۱].

بهره‌برداری‌های غیراصولی و بی‌رویه از منابع آبی زیرزمینی مهم‌ترین علت بروز فاجعه فرو چاله و فرونشست زمین است که با مسدود شدن مجاری نفوذ آب به داخل سفره‌ها، افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی را به دنبال داشته و نهایتاً با فرونشست زمین، بیابان‌زایی و نابودی حیات اتفاق می‌افتد. البته فرونشست زمین اضافه بر خسارت‌های غیرقابل‌جبران زیست‌محیطی، زمینه‌ساز ناپایداری سازه‌ها و بناها شده و می‌تواند نرخ خسارت‌های مالی و جانی پدیده‌هایی مثل زلزله را به طرز وحشتناکی افزایش دهد. از همین رو با یک برنامه‌ریزی صحیح برای کاربری اراضی و تحقیقات مناسب در راستای آن می‌توان تا حد بسیار زیادی خطرات این‌گونه وقایع را کاهش داد. مناطق شهری به سبب تراکم جمعیت، وجود ساختمان‌ها و شریان‌های حیاتی به‌طور ویژه در برابر فرونشست آسیب‌پذیرتر می‌باشند. این پدیده می‌تواند به خیابان‌ها، پل‌ها و بزرگراه‌ها آسیب وارد نموده، خطوط آبرسانی، گاز و فاضلاب را مختل کرده، به پی ساختمان‌ها آسیب رسانده و موجب ترک‌خوردگی در آن‌ها شود. در این حالت سازه‌هایی که پی گسترده‌تر، ارتفاع و طول بیشتری دارند آسیب‌پذیرترند [۲].

در کشور ایران، یکی از اصلی‌ترین دلایل رخداد فرونشست زمین افت سطح آب زیرزمینی می‌باشد. در اغلب دشت‌های کشور نشست زمین همراه با افت سطح آب زیرزمینی می‌باشد و علت آن برداشت بی‌رویه و غیراستاندارد از آب‌های زیرزمینی هست. افت سطح آب‌های زیرزمینی باعث افزایش تنش مؤثر در آبخوان دشت شده که باعث تحکیم لایه‌های سیلتی و رسی در آبخوان می‌گردد. تحکیم این لایه‌ها باعث تراکم برگشت‌ناپذیر در آبخوان می‌گردد. افت سطح آب‌های زیرزمینی موجب کاهش فشار هیدرواستاتیک سفره شده و سفره پایداری خود را از دست می‌دهد و باعث بهم نزدیک‌تر شدن ذرات بخش جامد یا ساختمان و از بین رفتن فضاهای مفید بین ذره‌ها می‌گردد. تغییر کاربری زمین نیز می‌تواند در فرونشست زمین تأثیر داشته باشد. ساخت یا بارگذاری سازه‌های هندسی و زهکشی خاک‌های آلی هم می‌تواند در تشدید نشست زمین مؤثر باشد.

در منطقه در حال فرونشست شاید خرابی به میزان گسترده مشاهده نشود، یا حتی آثار سطحی حاصل از آن به‌راحتی قابل تشخیص نباشد، با این‌وجود به‌طور معمول خسارت‌های ناشی از فرونشست‌ها می‌توانند به تخریب سامانه آبیاری و خاک‌های حاصلخیز کشاورزی (با پایین آوردن تخلخل آن‌ها)، خرابی چاه‌ها و ایجاد پدیده‌هایی منجر شود که در اصطلاح به آن رشد چاه‌ها یا لوله زایی می‌گویند. مناطق شهری به دلیل تراکم جمعیت، ساختمان‌ها و شریان‌های حیاتی به‌طور ویژه آسیب‌پذیرتر هستند. این پدیده می‌تواند به خیابان‌ها، پل‌ها و بزرگراه‌ها آسیب‌زده، خطوط آبرسانی، گاز و فاضلاب را مختل کرده، به پی ساختمان آسیب رسانده و موجب ترک در آن‌ها شود.

علاوه بر دلایلی که برای تشخیص فرونشست گفته شد می‌توان چندین مورد دیگر هم اضافه کرد که با مشاهده و یا انجام آن می‌توان تشخیص داد فرونشست صورت گرفته یا منطقه در معرض فرونشست هست. یکی از مهم‌ترین دلایل برای فرونشست زمین

می‌تواند خارج شدن آب‌های زیرزمینی به وسیله‌ی استخراج بی‌رویه‌ی آن برای اراضی کشاورزی و مصارف خانگی باشد. یکی از راه‌های تشخیص فرونشست، تشخیص کاهش رطوبت و افزایش شوری خاک منطقه هست که هرگاه شوری خاک افزایش و رطوبت کاهش پیدا کند یعنی پدیده فرونشست صورت گرفته است. در زمین‌های آبرفتی خارج شدن آب باعث از بین رفتن همبستگی دانه‌ها شده و با پر شدن خلل و فرج و کم شدن ضخامت بالای آبرفت باعث فرونشست زمین می‌شود. از دیگر عوامل می‌توان به دانه‌بندی خاک‌ها هم اشاره کرد. هرچه خاک درشت‌دانه تر باشد از استحکام بیشتری برخوردار می‌باشد و پدیده‌ی فرونشست کمتر صورت می‌گیرد. ایران در رتبه‌ی سوم برداشت از آب‌های زیرزمینی هست و همین مهم‌ترین دلیل فرونشست زمین در ایران است.

در ایران اولین بار فرونشست زمین در دشت رفسنجان در سال ۱۳۴۶ همراه با پدیده لوله زایی در چاه‌های کشاورزی مشاهده شده است [۳]. روند نابودی منابع آبی کشور در سال‌های اخیر سبب شده است که اغلب دشت‌های کشور با یکی از پرمخاطره‌ترین پدیده‌های زیست‌محیطی روبرو شوند. کشور ایران با تجربه ۳۱ مخاطره از تعداد ۴۱ مخاطره شناسایی شده در جهان، در رده‌های بالای کشورهای پرمخاطره جهان قرار دارد و در سال ۲۰۱۰ سومین کشور پرمخاطره جهان بوده است. در سال‌های اخیر پدیده فرونشست منطقه‌ای زمین در ارتباط با افت سطح آب‌های زیرزمینی در بسیاری از دیگر دشت‌های کشور از جمله در دشت سیرجان [۴]، دشت خانمیرزا [۵]، دشت‌های استان فارس [۶]، زرد و کرمان [۷]، اردکان یزد [۸]، فامنین کبودرآهنگ [۹]، معین‌آباد ورامین [۱۰]، تهران شهریار [۱۱] گزارش شده است. نمونه دیگر نشست زمین در دشت رفسنجان می‌باشد که به ازای هر ۱۰ متر افت سطح آب زیرزمینی، سطح زمین حدود ۴۲ سانتی‌متر نشست می‌نماید [۴]. در منطقه سیرجان به ازای هر ۱۰ متر افت سطح آب، نشست حدود ۲۷ سانتی‌متر گزارش گردیده است [۱۲]. رهنما و میراثی مطالعات متعددی در خصوص فرونشست در دشت‌های استان فارس و همچنین دشت‌های استان چهارمحال و بختیاری انجام دادند نتایج به دست آمده در ارزیابی وضعیت بحرانی افت سطح آب زیرزمینی در دشت مرودشت با توجه به وضعیت بارش سالیانه و هیدروگراف‌های دشت، نشان‌دهنده یک دوره خشک‌سالی ۶ ساله بوده که در ۵۰ سال گذشته بی‌سابقه بوده است. بر این اساس سطح آب زیرزمینی در این دوره خشک‌سالی از سال آبی ۸۳-۸۴ تا ۹۰-۸۹ به طور متوسط، ۲۱ متر افت داشته و در بعضی نقاط به ۴۰ متر هم رسیده است. نتایج در دشت خانمیرزا نشان‌دهنده یک دوره خشک‌سالی ۴ ساله بوده که از سال ۸۶-۸۷ آغاز شده و تا ۹۰-۹۱ ادامه پیدا کرده است. این خشک‌سالی نیز در ۵۰ سال گذشته بی‌سابقه بوده است. به عنوان مثال در پیرومترهای روستای ده صحرا و جوانمردی بر اثر برداشت‌های بی‌رویه از طریق چاه‌های کشاورزی طی ۴ سال دوره خشک‌سالی، سطح آب زیرزمینی، ۲۲ متر افت داشته است [۵]. همچنین این دوره ۴ ساله در هیدروگراف آبخوان دشت لردگان از سال ۸۶ تا ۹۰ میانگین افت آب زیرزمینی را حدود ۱۳ متر نشان می‌دهد.

نتایج مطالعات پیشین نشان می‌دهد عمده رخداد‌های فرونشست زمین در ایران بیشتر در اثر عواملی همچون افت سطح سیالات زیرزمینی، انحلال تشکیلات زیرسطحی و ریزش کارست (Karst) به وجود می‌آیند. تغییر کاربری زمین، احداث و یا بارگذاری سازه‌های مهندسی، زهکشی خاک‌های آلی و نفوذ آب‌شور در امتداد سواحل نیز از جمله عوامل دیگری هستند که می‌توانند در ایجاد پدیده فرونشست مؤثر باشند. به نظر می‌رسد در بین عوامل مؤثر در ایجاد این پدیده، برداشت بیش‌ازحد مجاز از منابع آب زیرزمینی، ضخامت لایه رسوبی و ویژگی‌های مهندسی رسوبات، عوامل اصلی ایجاد فرونشست هستند. لازم به ذکر است کشور ایران به سبب واقع شدن بر روی کمربند خشک‌سالی جهانی، نیازمند توجه و بررسی دقیق‌تر این‌گونه پدیده‌های مرتبط با خشک‌سالی و افت سطح آب زیرزمینی می‌باشد.

در مناطقی که اراضی کشاورزی فعالی دارند می‌توان گفت که از نظر وجود آب‌های زیرزمینی در وضعیت غنی می‌باشند و رفته‌رفته اگر برداشت بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی انجام شود باعث کم شدن سطح آب شده و پدیده‌ی فرونشست زودهنگام است. می‌توان

گفت که پدیده‌ی فرونشست ارتباط مستقیمی با کم شدن سطح آب‌های زیرزمینی دارد. هر محدوده‌ای که سطح آب زیرزمینی آن کمتر است میزان خطر برای رخداد پدیده‌ی فرونشست بیشتر است. در محدوده‌هایی که افت سطح آب زیرزمینی آن کمتر است و نیز در عمق بیشتری قرار دارد با توجه به این موضوع که ضخامت آبرفت زیاد است و با افزایش عمق سطح آب زیرزمینی بر ضخامت آن افزوده می‌شود، نیروی فشاری در جهت ثقل زمین افزایش یافته و منجر به فرونشست زمین می‌گردد. حفر چاه‌های زیاد، فشار زیادی به آب‌های زیرزمینی وارد می‌کند.

هرچه تخلیه آب از آبخوان‌ها به صورت دائم بیشتر شود، افت شدید سطح آب زیرزمینی سبب بروز نشست زمین می‌شود که این نشست در وسط آبخوان بیشتر و در اطراف آن کمتر است که همین اختلاف نشست باعث ترک و نشست زمین می‌شود. هرچه نشست‌ها غیر یکسان باشند، اختلاف نشست مشاهده شده بیشتر خواهد بود که همین امر موجب آسیب رسیدن و ترک دیدن بناها و دشت‌ها می‌شود. فرونشست می‌تواند به شبکه‌ی فرسوده‌ی فاضلاب به صورت بروز فرو چاله، در لوله‌های گاز با احتمال بریده شدن اتصالات به صورت نشستی گاز و انفجار و در ساختمان‌ها و مصالح بنایی و بناهای تاریخی به صورت ترک آسیب وارد کند. ترک‌ها می‌توانند به صورت کششی (ترک‌های عمودی و افقی) و یا برشی (مورب و کج) باشد. همان‌گونه که یکی از مهم‌ترین دلایل نشست زمین، برداشت بی‌رویه از منابع زیرزمینی می‌باشد، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، نفت و گاز و همچنین استخراج منابع معدنی موجب ریزش سازه‌های زیرزمینی مانند تونل‌ها و یا ایجاد حفرات می‌گردد. در راستای مطالب ذکر شده و اهمیت موضوع فرونشست و مطالعات انجام شده، در این مقاله به صورت مقدماتی به بررسی افت سطح آب زیرزمینی و وضعیت فرونشست در دشت لردگان پرداخته شده است و سعی شده با بهره‌گیری از آمار و مستندات و شواهد ارایه بدست آمده در طی چندین سال گذشته رخداد پدیده فرونشست مورد توجه و ضرورت کنترل آن در نظر گرفته شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

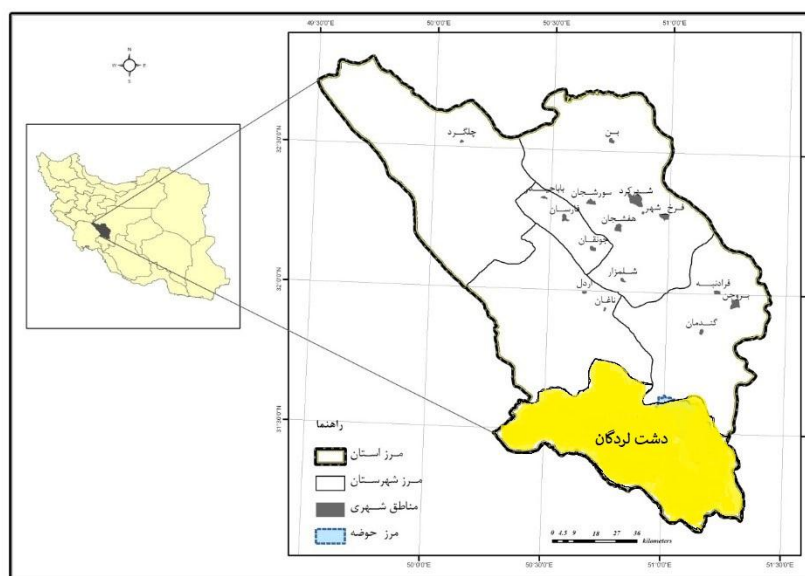
این بخش به بررسی فرونشست و خشک‌سالی در دشت لردگان و چشمه برم این شهرستان که در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده اختصاص داده شده است (شکل ۱). به‌طورکلی استان چهارمحال و بختیاری با میانگین بارش حدود ۷۰۰ میلی‌متر (نزدیک به میانگین جهانی) همواره به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آبی زاگرس و کشور مطرح بوده، اما ویژگی‌هایی مانند وضعیت کوهستانی، اقلیمی و پراکنش مکانی نامناسب بارش‌ها در این استان، باعث شده است تا حدود ۹۰ درصد از این آب، به صورت رواناب یا چشمه‌های بزرگ از طریق سرشاخه‌های زاینده‌رود، دز و کارون بزرگ از استان خارج شود و بیش از ۸۰ درصد از مصارف آب مردمان آن دیار، وابسته به منابع آب‌های زیرزمینی باشد؛ به‌طوری‌که سالانه در ۱۲ دشت این استان، حدود ۶۰۰ میلیون مترمکعب آب به‌وسیله ۳۶۰۰ چاه و ۴۸۰ رشته قنات از ذخایر زیرزمینی بیرون کشیده می‌شود. استان چهارمحال و بختیاری دارای ۱۲ دشت می‌باشد که ۱۱ دشت ممنوعه و ۴ دشت ممنوعه‌ی بحرانی می‌باشند و دشت لردگان هم جزو دشت‌های ممنوعه‌ی استان می‌باشد. به دلیل عدم برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب در سال‌های گذشته برای بهره‌برداری از آب‌های سطحی و همچنین اصرار بر توسعه کمی بخش کشاورزی در چهارمحال و بختیاری مانند بسیاری از دیگر مناطق کشور، سبب افزایش برداشت‌های مضاعف و بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی شده است. این برداشت‌های بی‌رویه و غیراصولی تا جایی ادامه پیدا کرده است که میزان تغذیه آبخوان‌ها از طریق نفوذ نزولات جوی، دیگر جوابگوی برداشت‌های صورت

پذیرفته نیست و هر ساله سطح آب‌های زیرزمینی با افت شدیدتر روبه‌رو شده است و در نهایت دشت‌های منطقه با خطر جدی فرونشست زمین مواجه گردیده است.

در حال حاضر از ۱۲ دشت استان چهارمحال و بختیاری، ۱۱ دشت (آبخوان) بزرگ در چهارمحال و بختیاری با افت شدید سطح آب زیرزمینی و کسری سالانه حدود ۱۸۰ میلیون مترمکعب مواجه هستند و چندین سال هست که چهار آبخوان پراهمیت بروجن، سفیددشت، جوانمردی و شهرکرد، ممنوعه بحرانی اعلام شده‌اند ولیکن همچنان برداشت آب‌های زیرزمینی از این دشت‌ها ادامه دارد. موقعیت دشت لردگان در شکل ۱ مشخص شده است. محدوده مطالعاتی دشت لردگان در جنوب استان چهارمحال و بختیاری و در ناحیه ساختاری زاگرس چین خورده و در دامنه‌های رشته کوه ریگ واقع شده است (شکل ۱). این منطقه از نظر تقسیمات هیدرولوژیکی مصوب وزارت نیرو یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبریز کارون بزرگ با وسعت ۹۸۱/۲۴ کیلومترمربع می‌باشد که در قسمت جنوب شرق حوزه کارون بزرگ واقع شده است [۱۳].

## ۲-۲- دشت لردگان

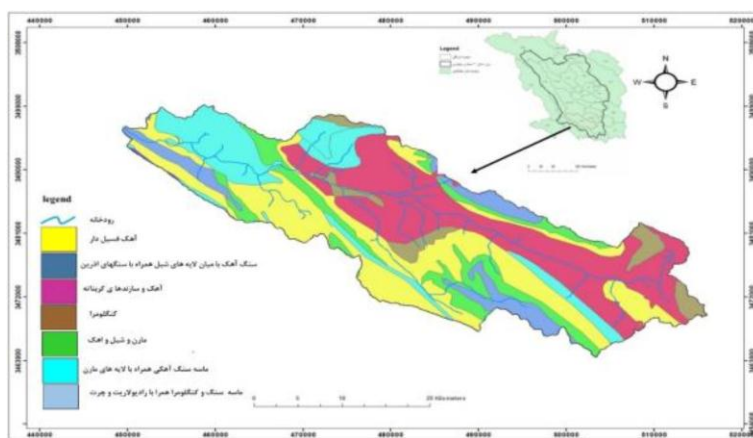
شهرستان لردگان واقع در استان چهارمحال و بختیاری در سمت جنوب این استان می‌باشد. این استان یکی از پربارش‌ترین و پرآب‌ترین با بیشترین تعداد چشمه‌های طبیعی و آب‌های زیرزمینی هست؛ اما وضع دشت‌های چهارمحال و بختیاری اکنون مطلوب نیست و برخی از آن‌ها ممنوعه اعلام شده‌اند. مطابق هیدروگراف معرف آبخوان و نقشه‌های هم‌افت آب زیرزمینی و نظر به افت سطح ایستابی و کسری مخزن، دشت‌ها ممنوعه اعلام می‌شوند و چنانچه دشت ممنوعه با پدیده فرونشست روبرو شود آن دشت ممنوعه و بحرانی اعلام و برداشت آب در آن با محدودیت مواجه می‌شود. حوضه لردگان به نسبت دریا نسبت به دیگر مناطق استان پایین‌ترین حوضه هست و منطقه‌ای گرمسیری است و به دلیل بارش باران و کوه‌پایه‌ای بودن سریعاً بارش‌ها از منطقه خارج شده و این امر باعث می‌شود سطح آب‌ها زیرزمینی آن به صورت کامل تأمین نشود.



شکل ۱: موقعیت شهرستان لردگان

آبخوان دشت لردگان در جنوب استان چهارمحال و بختیاری، در زون ساختاری زاگرس چین خورده و در زیر پهنه ناحیه سمیرم واقع شده است. از نظر زمین ساختاری در این پهنه چین ها با روند SE- NW تاقدیس ها و ناودیس های منظمی را تشکیل می دهد. آبخوان لردگان با مساحتی بالغ بر ۷۶/۲ کیلومترمربع با حداکثر عمق در بخش های جنوبی و کمترین عمق در بخش های مرکزی می باشد که درون سازندهای آهکی آسماری واقع شده و از درون سازندهای کنگلومرای عبور کرده و با سازندهای تبخیری مجاورت دارد. کف دشت لردگان شامل لایه های مارن و گچ مربوط به سازندهای گچساران و آجاجاری بوده که تشکیلات تبخیری آن ها در تغییر کیفیت آب سفره زیرزمینی و سنگی منطقه اثر نامطلوب دارد (شکل ۲). لیتولوژی منطقه، قابلیت انحلال کانی ها و سنگ های منطقه، وضعیت تکتونیک و خشک سالی سال های اخیر از عوامل مؤثر در کاهش کیفیت آب آبخوان دشت لردگان به شمار می روند هم چنان که هموگراف آبخوان لردگان دال برافزایش میزان شوری آب به مرور زمان می باشد [۱۴ و ۱۵].

آبخوان دشت لردگان یک آبخوان آبرفتی آزاد می باشد که ضخامت آبرفت دشت لردگان از ۲۵ تا ۵۳ متر در تغییر است. نتایج حاصل از حفاری های انجام شده در سطح دشت، جنس سنگ کف را از نوع مارن نشان می دهد که به دلیل ناتراوا بودن در اکثر نقاط نقش خاصی در تغذیه سفره آبرفتی نداشته است. همچنین ارتفاعات اطراف دشت شامل سازندهای گچساران و در قسمت های شرقی دشت سازند آسماری می باشد. به علاوه در برخی قسمت ها به صورت پراکنده سازندهای بختیاری حضور داشته که نقش بسزایی در ذخیره و کیفیت آب های زیرزمینی آبخوان داشته است. جنس آبرفت های شمال و جنوب غرب دشت لردگان اکثراً از نوع ریزدانه می باشد (شکل ۲).

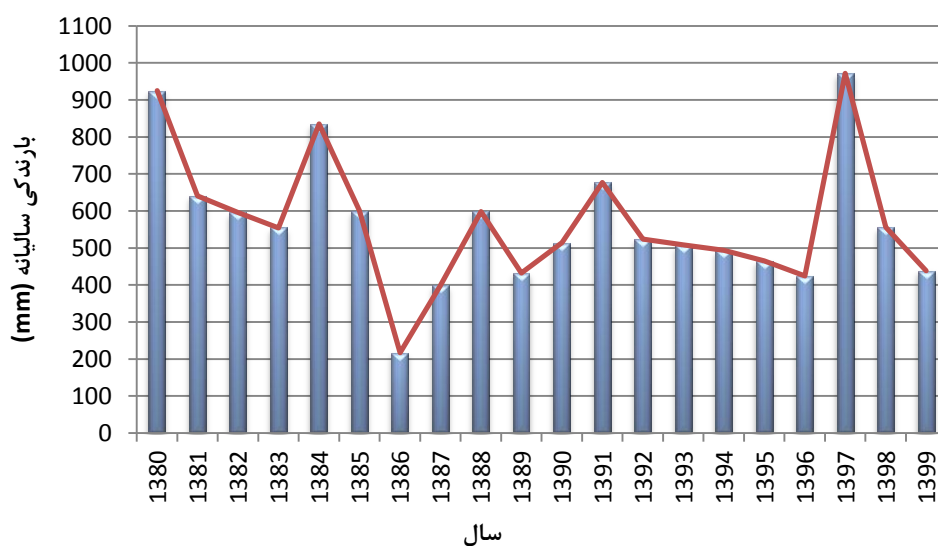


شکل ۲: نقشه زمین شناسی محدوده لردگان [۱۵]

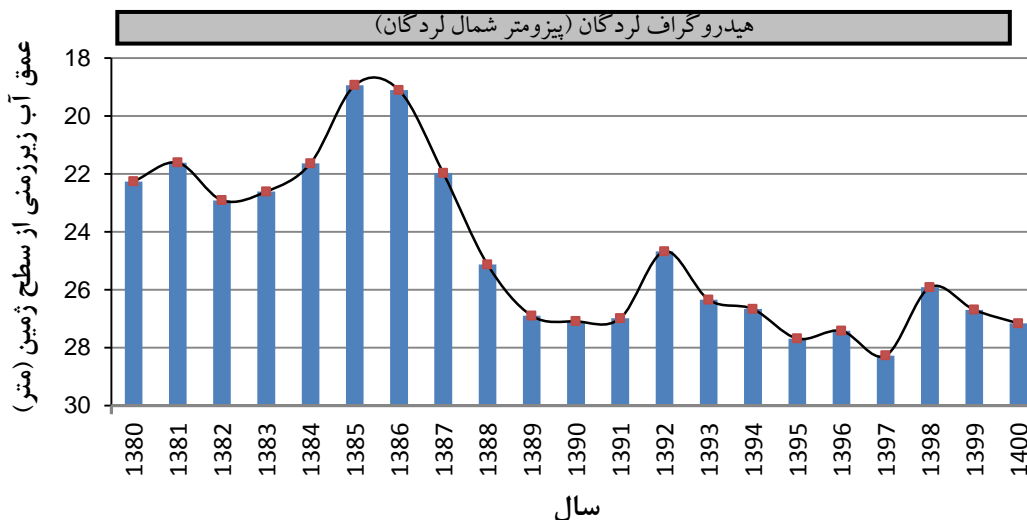
در استان چهارمحال و بختیاری ۱۲ دشت وجود دارد که ۱۱ دشت از این تعداد در شرایط ممنوعه و ۴ دشت ممنوعه ی بحرانی است. چنانچه روند تخریب عرصه های منابع طبیعی ادامه داشته باشد، در چند سال آینده با مشکل از بین رفتن منابع طبیعی مواجه خواهیم شد. بر اساس نظر کارشناسان حوزه آب، دشت خانمیرزا بیشترین فرونشست را در بین دشت های استان به خود اختصاص داده است به گونه ای که در این دشت یک متر فرونشست مشاهده شده است که در نوع خود یک بحران است اما از آنجا که ضخامت آبخوان های استان بین ۵۵ تا ۶۰ متر است، پدیده فرونشست به وضوح فرونشستی که همانند دشت کبودرآهنگ همدان رخ داده است نیست اما ضرر و زیان آن به همان اندازه مخرب است [۱۶].

برای بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت لردگان از ۱۰ حلقه چاه مشاهده‌ای استفاده شده، که برای نمونه نزدیکترین هیدروگراف که مربوط به پیژومتر شمال لردگان می باشد در شکل ۴ نشان داده شده است. حفر چاه مشاهده‌ای از سال ۱۳۶۷ شروع شده و اندازه‌گیری عمق آب زیرزمینی در آن‌ها ماهیانه صورت می‌گیرد. بر طبق این موضوع روند کلی جهات جریان از جبهه‌های جنوبی دشت به سمت مناطق مرکزی و شمال غربی دشت می‌باشد. تراز سطح ایستابی برای تعیین جهات جریان آب زیرزمینی، تشخیص منابع تغذیه و تخلیه، محاسبه شیب هیدرولیک، تعیین جبهه‌های ورودی و خروجی آب زیرزمینی بکار می‌رود. بررسی وضعیت افت آب‌های زیرزمینی در نقاط مختلف دشت حاکی از بیشترین مقادیر افت در مناطق جنوبی دشت می‌باشد [۱۵].

در دو دهه گذشته متوسط افت سطح ایستابی دشت‌ها در استان بین ۳۵ تا ۴۰ سانتی‌متر بوده است اما در سال‌های اخیر به بیش از یک متر در سال افزایش یافته است. مطابق گزارش‌های آب منطقه‌ای طی ۲ سال افت سطح ایستابی در دشت شهرکرد ۲۵۳ سانتی‌متر، در دشت شلمزار ۳۹۱ سانتی‌متر، در دشت کیار ۳۵۳ سانتی‌متر، در دشت جونقان- فارسان ۴۶۳ سانتی‌متر، در دشت سفیددشت ۲۸۹ سانتی‌متر و در دشت خانمیرزا ۴۰۰ سانتی‌متر گزارش شده است [۱۶]؛ که این موضوع حکایت از آن دارد که وضع منابع آبی این استان نسبت به استان‌های دیگر در شرایط بحرانی‌تری قرار دارد. مطابق نمودارهای بارش سالیانه و هیدروگراف‌های نقاط مختلف دشت لردگان مشاهده می‌گردد که کاهش بارش‌ها و افت سطح آب زیرزمینی از سال ۸۵ و ۸۶ شروع شده‌اند. هر چند که میزان بارش‌ها کاهش ملایم‌تری داشتند (شکل ۳) و در سال ۹۷ نیز بارش‌هایی در حد سال‌های گذشته رخ داده است اما هیدروگراف‌های مختلف لردگان نشان می‌دهد سطح آب زیرزمینی از حدود ۱۵ متر به عمق حدود ۳۳ متر افت داشته است و این یعنی سطح آب زیرزمینی از سال ۸۶ تا ۹۰ حدود ۱۸ متر و به عبارت دیگر سالانه ۴/۵ متر سطح آب دچار افت شده است (شکل ۴). لازم به ذکر هست این تغییرات در برخی مناطق مانند دشت جمال با شدت بیشتری گزارش شده است.



شکل ۳: نمودار بارش سالانه دشت لردگان



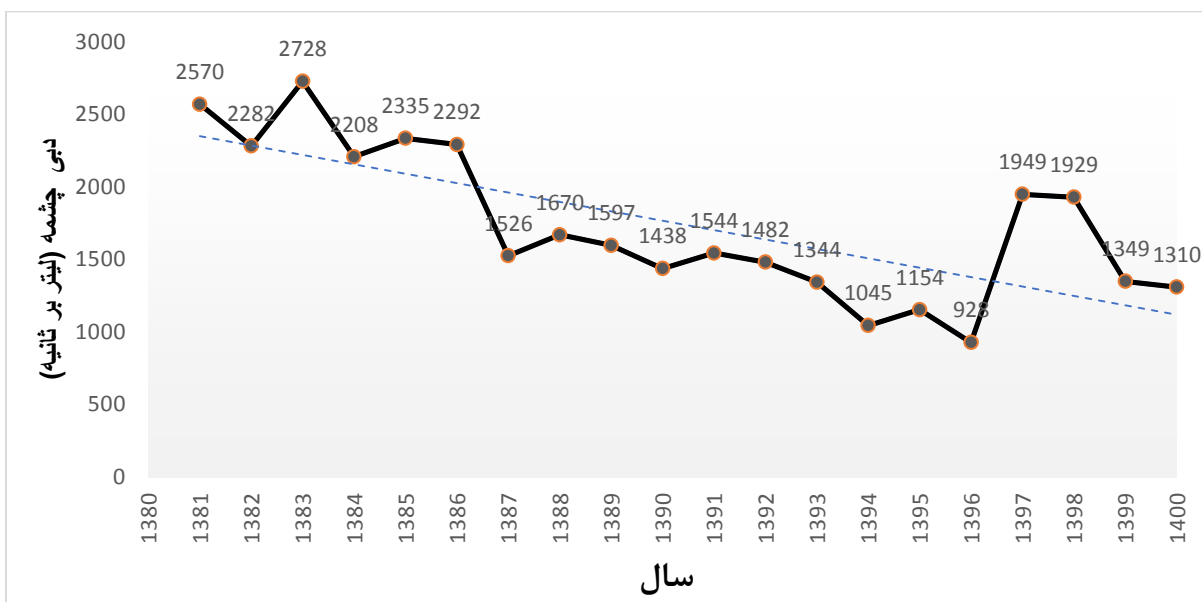
شکل ۴: هیدروگراف سطح آب سالانه شهرستان لردگان

## ۲-۳- چشمه برم لردگان

چشمه برم در مرکز شهر لردگان قرار دارد که از چندین چشمه تشکیل شده است. در گذشته نزدیک از طریق سه خروجی، آب از چشمه خارج و برای اراضی کشاورزی، مصارف خانگی، پرورش ماهی‌های اطراف مورد استفاده قرار می‌گرفت اما در طی چند سال اخیر با وجود بستن دو خروجی و باز گذاشتن تنها یک خروجی، همچنان سطح آب چشمه به صورت قابل توجهی پایین آمده است و این خود نشانگر افت شدید سطح آب زیرزمینی و کم شدن برخی چشمه‌ها هست و این امر بدون شک موجب بروز آسیب‌ها و مشکلات متعدد و فرونشست سطح زمین در آینده خواهد شد. آمار ۲۰ ساله میزان ورودی و خروجی چشمه نشان از پیروی نکردن از الگوی مصرف می‌باشد، داده‌های این آمار از اداره آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری بوده که میانگین آمار دبی محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد (شکل ۵) [۱۳]. طبق نمودار شکل ۵، بیشترین میانگین دبی چشمه برای سال ۱۳۸۳ بوده که برابر ۲۷۲۸ لیتر بر ثانیه می‌باشد، پس از این سال دوره‌ی خشکسالی شروع و میانگین دبی چشمه به صورت قابل توجهی کم شده تا اینکه در سال ۱۳۹۶ به کمترین میزان خود یعنی ۹۲۸ لیتر بر ثانیه می‌رسد، پس از سال ۱۳۹۶ به دلیل شروع بارندگی‌های فراوان در سراسر کشور میانگین دبی چشمه افزایش پیدا کرده ولی در سال ۱۴۰۰ این آمار باز هم یکی از کمترین میانگین‌های چندسال اخیر خود را دارد و برابر ۱۳۱۰ لیتر بر ثانیه را ثبت کرده است که همچنان از میزان بیشترین میانگین سالانه خود در سال ۱۳۸۳، میزان ۱۴۱۸ لیتر بر ثانیه کمتر است. بر اساس آخرین آماربرداری سراسری تأیید شده موجود، در کل محدوده مورد مطالعه، ۴۲۱ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق با تخلیه سالانه ۱۱۲/۹۸ میلیون مترمکعب، ۶۹ دهانه چشمه با تخلیه سالانه ۷۷/۳ میلیون مترمکعب، ۹ رشته قنات با تخلیه سالانه ۰/۷۷ میلیون مترمکعب وجود دارد. عمده تخلیه چشمه‌های منطقه تنها توسط چشمه برم لردگان صورت می‌گیرد. بر این اساس تعداد چاه‌های بهره‌برداری در آماربرداری ۱۳۸۸-۱۳۸۹ نسبت به آماربرداری ۱۳۶۹ بیش از دو و نیم برابر شده است (۱۵۰ درصد افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری) اما مقدار حجم تخلیه چاه‌ها تنها ۲۰

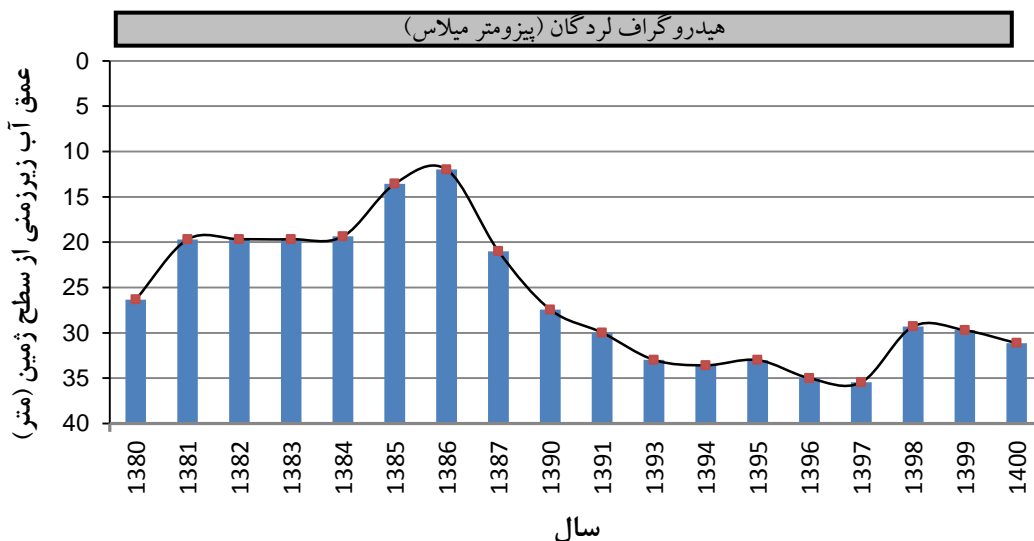


درصد افزایش داشته است، که بیانگر اوضاع بحرانی به وجود آمده به علت کاهش پتانسیل آب زیرزمینی ناشی از افت بیش از حد سطح آبخوان بوده که در نتیجه بهره‌برداری بیش از ظرفیت آبخوان، تخلیه توسط چاه‌ها و کاهش شدید نزولات جوی طی دوره اخیر در منطقه می‌باشد [۱۵].



شکل ۵: میانگین ۲۰ ساله دبی محدوده مطالعاتی

مطابق بررسی‌های انجام‌شده در خصوص چشمه برم شهر لردگان، هیدروگراف منطقه میلان به لحاظ فاصله نزدیک با این چشمه انتخاب‌شده است و همانطور که مشخص هست مطابق دیگر مناطق دشت لردگان سطح آب زیرزمینی حدود ۱۸ متر و سالانه نزدیک به ۴/۵ متر افت در سال‌های ۸۶ تا ۹۰ داشته است (شکل ۶) لذا می‌توان اظهار داشت این میزان افت سطح آب زیرزمینی تأثیر زیادی بر چشمه برم لردگان داشته است. در خصوص این تأثیرات و آسیب‌های به وجود آمده در ادامه از طریق مشاهدات و بازدیدهای میدانی توضیحاتی ارائه شده است.



شکل ۶: هیدروگراف سطح آب سالانه دشت لردگان

عدم مدیریت درست در قبال حجم آب‌های زیرزمینی و استفاده بی‌رویه از آن برای مصارف خانگی، اراضی کشاورزی، صنعت پرورش ماهی و همچنین ساخت‌وسازهای سنگین در زمین‌های اطراف چشمه که به‌عنوان نمونه می‌توان به مصلاهی بزرگ امام اشاره نمود (شکل ۷) که از مهم‌ترین عوامل افت سطح آب چشمه و کاهش حجم آب ورودی و خروجی این چشمه می‌باشد. با توجه به نمونه آسیب‌هایی که هم‌اکنون پدیدار شده‌اند می‌توان پیش‌بینی نمود در آینده نزدیک عواقب جبران‌ناپذیری اتفاق خواهد افتاد و البته احتمال خشک‌کردن این چشمه باستانی که همانند قلب شهرستان لردگان همیشه بخشنده، تپنده و در حال جوشش بوده، می‌باشد. افت سطح آب چشمه در تصویر شکل ۸-ب با پدیده لوله زایی قابل تشخیص هست. در شکل ۹ تصاویر گسترش و رشد علفزارهای حاشیه چشمه نیز نشان از افت و عقب‌نشینی آب چشمه از محیط اطراف دارد.



شکل ۷: وجود سازه فلزی سنگین نزدیک چشمه و کم شدن سطح آب چشمه

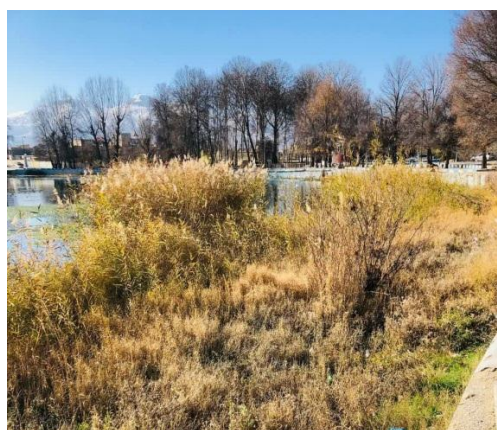


(ب)



(الف)

شکل ۸: نمایی از چشمه برم شهر لردگان: الف) حجم آب چشمه برم قبل از افت شدید سطح آب سال ۱۳۹۰، ب) حجم آب چشمه برم قبل از افت شدید سطح آب سال ۱۴۰۱



شکل ۹: تبدیل شدن تدریجی چشمه به علفزار

از دیگر نشانه‌های فرونشست شهرستان هم می‌توان به نشست‌های اطراف چشمه مخصوصاً ریزش قنات ملکی نزدیک چشمه که نزدیک عید نوروز سال ۱۴۰۱ به وقوع پیوست اشاره نمود که بررسی‌های انجام‌شده حاکی از افت سطح آب‌های زیرزمینی دارد. خراب شدن و ریزش چاه و قنات از نشانه‌های فرونشست می‌باشند و اصلی‌ترین دلیل آن خارج شدن و کم شدن آب‌های زیرزمینی هست (شکل ۱۱). ترک‌ها و شکاف‌های متعدد پدیدار شده در خیابان‌های اصلی شهر که در نزدیک چشمه قرار دارند از دیگر نشانه‌های وضعیت بحرانی چشمه و فرونشست منطقه می‌باشد.

بازدیدهای صحرائی و آسیب‌های مشاهده‌شده نشان می‌دهد که افت سطح آب زیرزمینی و پدیده فرونشست در طی سال‌های اخیر نه تنها در دشت لردگان بلکه در مرکز شهر لردگان نیز اتفاق افتاده و در حال گسترش است. کل مصارف آب زیرزمینی و سطحی در محدوده به ترتیب برابر ۳۵/۶ و ۸۹/۵۱ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. بنابراین عمده مصرف در محدوده مطالعاتی توسط آب‌های سطحی تامین می‌شود. کل مصارف آب زیرزمینی آبخوان لردگان برابر با ۱۹/۴۱ میلیون متر مکعب و همچنین کل مصارف آب سطحی آبخوان‌های ذکر شده برابر با ۵۲/۲۶ میلیون متر مکعب می‌باشد. باتوجه به اینکه کل مصارف در محدوده برابر

۱۲۵/۱۱ میلیون متر مکعب و در آبخوان لردگان برابر با ۷۵/۶۷ میلیون متر مکعب می باشد، می توان نتیجه گرفت که درصد مصرف آب زیرزمینی نسبت به کل مصارف آب های سطحی و زیرزمینی در محدوده برابر ۲۸/۴۵ درصد و در آبخوان لردگان برابر ۲۵/۶۵ درصد می باشد. همچنین ۷۸/۳۴ درصد از آب های سطحی و چشمه ها در دشت مصرف می شود. مطابق آمار و اطلاعات بدست آمده از منابع آب واقع در ارتفاعات، دشت و آبخوان این محدوده، بیشترین مقدار مصرف مربوط به بخش کشاورزی بوده است (شکل ۱۰) [۱۳]. از همین رو می بایست به منظور جلوگیری و کنترل این پدیده اقدامات فوری و مؤثر جهت کاهش و متوقف نمودن افت سطح آب و خشک شدن چشمه انجام پذیرد.

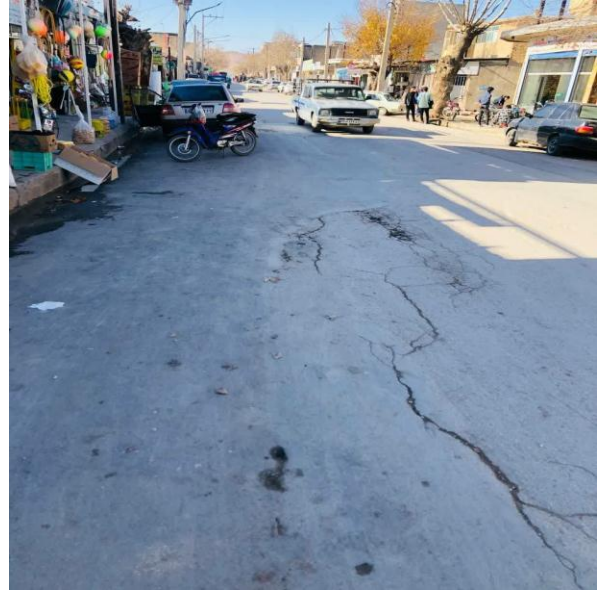
آبخوان	ناحیه	چاه			قنات			آبهای سطحی و چشمه ها			جمع
		کشاورزی	شرب	صنعت	کشاورزی	شرب	صنعت	کشاورزی	شرب	صنعت	
لردگان	ارتفاعات	۱/۳۶	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۰	۱۱/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۰	۱۲/۷۸
	دشت	۱۶/۸۱	۳/۱۷	۰/۶۳	۰/۴۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۶۱/۶۶	۰/۱۰	۰/۰۳	۸۲/۸۷
	آبخوان	۱۶/۰۸	۲/۷۰	۰/۶۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۵۶/۲۳	۰/۰۰	۰/۰۳	۷۵/۶۷
دشت جمال	ارتفاعات	۰/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۴۲
	دشت	۱۰/۰۷	۱/۳۳	۰/۹۴	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۸/۱۵	۰/۱۹	۰/۰۰	۲۰/۷۲
	آبخوان	۸/۹۷	۰/۳۴	۰/۴۱	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۹/۷۹
ارتفاعات غیر مشرف											
کل ارتفاعات											
کل دشت											
محدوده											

شکل ۱۰: وضعیت تخلیه و برداشت از منابع آب زیرزمینی

از آن جایی که چشمه فقط یک خروجی فعال دارد و به سمت اراضی کشاورزی می باشد، خروجی آب چشمه بیشتر برای مصارف اراضی کشاورزی می باشد پس، عمده دلایل افت سطح آب چشمه و آسیب های وارده را می توان به استفاده بی رویه آب برای اراضی کشاورزی و احداث سازه های سنگین مرتبط نمود که با توجه به خشک سالی های اخیر می تواند فشار زیادی را به سفره ها و مجاری زیر سطحی زمین تحمیل نماید که در نتیجه باعث فرونشست زمین و خرابی ساختمان های اطراف چشمه گردد. لازم به ذکر هست همچنان سازه های سنگین احداث شده در حال گسترش و ساختمان های دیگر نیز در حال احداث و افزایش ارتفاع هستند.



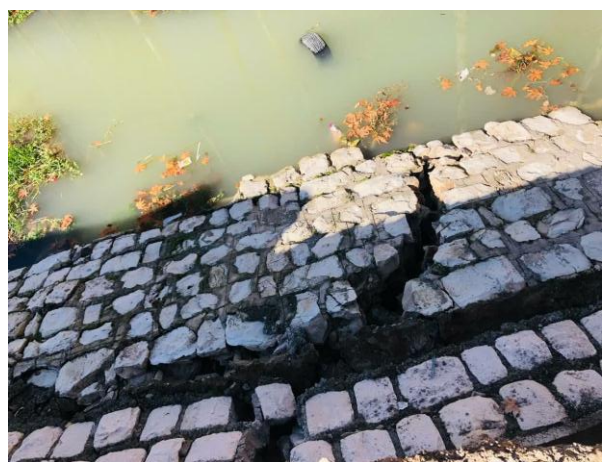
الف



ب

شکل ۱۱: آسیب‌های ناشی از افت سطح آب چشمه و رخداد فرونشست زمین: الف) سطح خیابان هم‌جوار چشمه شامل فروریزش کف جاده و ایجاد شکاف و ترک‌های طولی، ب) فروریزش قنات ملکی در خیابان اطراف چشمه در طول ۵ و عرض ۲ متر

از دیگر نمونه آسیب‌ها و شواهد وضعیت بحرانی و افت شدید سطح آب و فرونشست زمین می‌توان به ریزش دیواره‌های چشمه برم و ایجاد شکاف‌های متعدد در دیواره‌های اطراف چشمه اشاره نمود. دیواره‌ی چشمه با قدمتی بالای ۵۰ سال هیچگاه دچار فروریزش و فرونشست نشده بود تا زمانی که سازه‌ی سنگین فلزی در نزدیکی این دیواره ساخته شده و به دلیل هم‌زمانی با افت سطح آب‌های زیرزمینی دچار فروریزش شده است. فروریزش دیواره‌ی چشمه‌ای با این قدمت پس از ساخت سازه‌ی سنگین فلزی می‌تواند دلیل محکمی بر فشار بیش از حد این سازه بر چشمه و دیواره‌های آن و همچنین نشان از کم شدن ظرفیت کشش خاک اطراف چشمه می‌باشد. این دیواره‌ها در نزدیکی مصلای امام خمینی (ره) می‌باشند و به نظر می‌رسد ساخت سازه‌های سنگین و اعمال فشار و تنش، موجب تشدید تغییراتی در وضعیت تنش‌ها و جریان‌های آبی زیرسطحی زمین در آن ناحیه شده است که باعث نشست بیشتر و فروریزش دیواره‌ها گردیده است (شکل ۱۲).



شکل ۱۲: ریزش دیواره‌های اطراف چشمه برم نزدیک به سازه سنگین فلزی مصلای امام خمینی (ره) لردگان

## ۲-۴- راهکارهای مقابله و کنترل فرونشست

دشت‌های استان چهارمحال و بختیاری با جمعیتی نزدیک به یک میلیون نفر به دلیل خشک‌سالی و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی دچار فرونشست شده‌اند و در صورت تغذیه نشدن چاه‌ها و سفره‌های زیرزمینی، این فرونشست‌ها به شهرها و روستاها هم کشیده خواهد شد. جهت پیشگیری و کنترل این مخاطره خاموش ولی پرخطر باید به دنبال راهکارهای کاربردی و علمی بود. لذا برنامه‌ریزی و تدبیر روش‌های کارآمد، انجام مطالعات جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی فرونشست دشت و تعیین عوامل تأثیرگذار منطقه‌ای دارای اهمیت می‌باشد و می‌بایست در اولویت کار قرار داده شود. با توجه به اینکه جهان در آینده با تغییرات اقلیمی گوناگون مواجه خواهد شد و پدیده کم‌آبی و خشک‌سالی شدیدتر می‌شود، فرهنگ‌سازی در مبارزه با کم‌آبی و استفاده متعارف از منابع آب زیرزمینی می‌تواند در مصارف آب خانگی، کشاورزی و صنعتی مؤثر بوده و نتایج آن در چند سال ملموس خواهد بود.

استفاده از روش‌های نوین آبیاری و برخورد علمی در صنعت کشاورزی و یا اجرای طرح‌های آبخوان‌داری برای به تعادل رساندن آبخوان‌ها باید مدنظر قرار گیرد؛ لذا مردم باصرفه جویی و درست مصرف نمودن آب، بخش کشاورزی با ایجاد روش‌های نوین آبیاری و کشت محصولات با مصرف آب کمتر، بخش صنعت نیز با روش‌های تجدید پذیر از آب‌های آلوده، وزارت نیرو با مقابله در برداشت‌های غیرمجاز و بی‌رویه از چاه‌های مجاز و غیرمجاز و دولت نیز در رأس امور اجرایی با تدابیر خاص و اختصاص بودجه‌های لازم مطالعاتی و عملیاتی در پیشگیری و کنترل این پدیده باید سهیم باشند [۱۷-۱۹]. به عنوان مثال تغییر در نوع کشت برای کشاورزان و آموزش کشت جدید (کشت زعفران، ایجاد محیط‌های گلخانه‌ای و...)، ایجاد بندهای آبی کوچک برای جلوگیری هدر رفتن آب‌ها در دامنه کوه‌ها و کانال‌های زهکشی می‌تواند کمک بسزایی به مردم این استان کند.

درنهایت می‌توان این‌گونه اظهار نمود که در پیش آمدن فرونشست از یک سو مردم به خاطر مصرف نادرست و بی‌رویه و از سوی دیگر سیستم مدیریتی دولتی به خاطر عدم فرهنگ‌سازی و آموزش بخصوص کشاورزان مقصر هستند. عمده فرونشست‌ها به دلیل برداشت آب از سفره‌های آب زیرزمینی است، بنابراین راهکار بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و سیاست مالیاتی، امکان رسیدن به بهره‌برداری پایدار از آب‌های زیرزمینی را فراهم می‌کند. ایجاد کارگروهی متشکل از نهادهای مرتبط جهت تبیین سنجش و پایش فرونشست، آسیب‌شناسی، احیای آب‌های زیرزمینی و اقدامات سازه‌ای بسیار مفید می‌باشد.

## ۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله به وضعیت پدیده فرونشست در دشت لردگان و بخصوص چشمه برم شهر لردگان پرداخته شده است. نتایج بدست آمده از آمار بارش‌ها و هیدروگراف‌های مختلف دشت نشان داد که از سال ۸۶ به بعد میزان بارش‌ها و سطح آب زیرزمینی به میزان قابل توجهی دچار کاهش و افت شدید شده‌اند. به‌عنوان نمونه سطح آب زیرزمینی در هیدروگراف نزدیک گاوداری از عمق حدود ۱۳ متر از سطح زمین به عمق حدود ۲۸ متر افت داشته است. البته این افت آب در برخی نقاط دیگر همچون هیدروگراف دشت جمال به مراتب بیشتر و شدیدتر بوده است. شواهد متعددی همچون لوله زایی، کم‌آبی چاه‌ها و از کشت خارج شدن بسیاری از زمین‌های کشاورزی به علت عدم وجود آب و به تناسب رشد بیکاری و نبود منبع درآمد موجب مهاجرت از روستاها به شهرها و تشدید آمار بیکاری و معضلات گسترده در سطح این شهرستان شده است. در ادامه بر اساس شواهد و بررسی‌های انجام‌شده در مورد چشمه برم شهر لردگان مشخص گردید که حجم آب ورودی و خروجی چشمه به نحو چشمگیری دچار کاهش شدید شده

است و خشک‌سالی و فرونشست زمین نیز تأثیرات خود را روی این چشمه باستانی داشته است. البته احداث سازه‌های سنگین و ساخت‌وسازهای نزدیک چشمه نیز بر افت آب و کاهش دبی این چشمه تأثیرگذار بوده است. اخیراً آسیب‌های متعددی در اثر این کم‌توجهی در سطح شهر و اطراف چشمه پدیدار شده است که به‌عنوان نمونه می‌توان به پدیدار شدن شکاف‌ها و ریزش‌های متعدد و سالانه در کف خیابان‌ها و مسیر قنات‌های قدیمی، شکاف‌ها و خرابی دیواره‌های سنگی اطراف چشمه، آسیب‌های وارده به ساختمان‌ها و سازه‌های اطراف اشاره نمود.

## مراجع

- [۱] سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (مروری بر نشست منطقه‌ای زمین در ایران و تدوین بانک اطلاعات فرونشست زمین)
- [۲] میراثی، س.، رهنما، ح.، دال مورو، ج.، ۱۳۹۸، شناسایی فرونشست و فروچاله در زمین با استفاده از روش چند ایستگاهی امواج لرزه‌ای، رساله دکتری، دانشگاه صنعتی شیراز.
- [۳] سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور منطقه جنوب (مرکز شیراز)، مهندس طهمورث یوسفی (رئیس سازمان زمین‌شناسی).
- [۴] عباس نژاد، الف.، ۱۳۷۷، بررسی شرایط و مسائل زمین‌شناسی محیط‌زیست دشت رفسنجان، فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- [5] Rahnema, H. and Mirassi, S., 2014. Drought and water crisis in Plains of Iran: a case study of Marvdasht and Khanmirza Plains, Fars and Chaharmahal and Bakhtiari Province, Iran. International Bulletin of Water Resources and Development, 2(1), pp.139-54.
- [6] Mirassi S. 2012. M. Sc. Thesis, evaluation of land subsidence phenomenon considering effecting factor and its effect on rural building in Fars plains, Shiraz University of Technology.
- [۷] رحمانیان، د. ۱۳۶، نشست زمین و ایجاد شکاف بر اثر تخلیه آب‌های زیرزمینی در کرمان. مجله آب، ۴۲.
- [۸] عالمی، الف.، ۱۳۸۱، بررسی علل نشست در دشت یزد اردکان، مجموعه مقالات سومین همایش بین‌المللی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، تهران، ص ۴۳۴-۴۲۹.
- [۹] امیری، منوچهر (۱۳۸۴)، ارتباط بین فرو چاله‌های دشت فامنین، کبودآهنگ، قهاوندبا سنگ کف منطقه، مجله علوم زمین، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور شماره ۸۵، صفحات ۱۴۸-۱۳۴.
- [۱۰] شمشکی، الف.، انتظام‌سلطانی، الف.، ۱۳۸۴، سازوکار علل تشکیل شکاف‌های زمین در منطقه معین‌آباد ورامین. چهارمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، تهران، ص ۱۹۱-۱۷۸.
- [۱۱] بلورچی، م. ج.، ۱۳۸۴، احتمال فرونشست زمین در اراضی وسیعی از تهران. پایگاه خبری شریف نیوز.

- [۱۲] حسینی میلانی، م.، ۱۳۷۳، اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی و اثرات آن .مجموعه مقالات کنفرانس ملی منابع آب زیرزمینی، سیرجان، ص ۹۸-۹۱.
- [۱۳] مطالعات تهیه بیان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز کارون بزرگ، ۱۳۹۵، شرکت سهامی سازمان آب و برق خوزستان، شرکت مدیریت منابع آب ایران،
- [۱۴] سوری، سلمان و لشکری پور، غلامرضا و احمدیان مقدم، رضا و رضائی، اکبر، ۱۳۸۹، بررسی افت سطح آب زیرزمینی و رابطه آن با آثار نشست زمین در دشت لردگان، همایش ملی یافته‌های نوین در مهندسی عمران، نجف‌آباد.
- [۱۵] آهنگوب، مریم، آیتی، فریماه، باقری، حسین، ۱۴۰۱، 'مطالعه ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی آبخوان دشت لردگان، استان چهارمحال و بختیاری، زون زاگرس چین خورده'، مطالعات علوم محیط‌زیست، ۷(۴)، صفحات ۵۵۳۰-۵۵۴۰.
- [۱۶] فرونشست زمین بیخ گوش مناطق شهری و روستایی استان چهارمحال و بختیاری، ۱۴۰۱، روزنامه اطلاعات، شهرپور
- [17] Rahnema, H. and Mirassi, S., 2016. Studying Land Subsidence around the City of Shiraz. *Scientia Iranica*, 23(3), pp.882-895.
- [18] Rahnema, H. and Mirassi, S., 2014. Crisis management concerning underground water falling and land subsidence occurrence in the plains of Iran. *Advances in Environmental Biology*, pp.1453-1466.
- [19] Rahnema, H. and Mirasi, S., 2012. Seismic and geotechnical study of land subsidence and vulnerability of rural buildings. *International Journal of Geosciences*, 3(04), p.878.