

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست و شش، تابستان ۱۳۹۷

صص ۷۳-۵۳

DOI: 10.22067/geo.v7i2.67365

بررسی افت سطح آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی  
(مطالعه موردی: آبخوان دشت خوی)

حسن حاجی حسینلو<sup>۱</sup> - گروه زمین‌شناسی، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۲۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱۲/۱۳

چکیده

بهره‌برداری بیش از ظرفیت منابع آب‌های زیرزمینی منجر به پایین رفتن سطح آن‌ها از یک طرف و از طرف دیگر منجر به ایجاد فرونشست زمین در بعضی مناطق ایران شده است. به دلیل دسترسی آسان و سادگی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، میزان برداشت از این منابع افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته و متأسفانه در سال‌های اخیر حتی در بعضی مناطق، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بیشتر از امکانات تغذیه‌ای بوده است. معیارهای اصلی برای پهنه‌بندی شامل بود و نبود شکاف‌ها، مقدار افت سطح آب، نوع رسوبات و عمق سطح آب می‌باشد. در اصل چهار پهنه‌بندی تشخیص و نقشه‌برداری شد که شامل پهنه‌های خیلی بالا، بالا، متوسط و کم است. نقشه‌های تهیه شده از این منطقه نشان می‌دهد که گسترش پهنه‌های فرونشست خیلی زیاد و زیاد در منطقه فیرورق وجود دارد. در نقشه‌های مشاهده شده به ترتیب ۱۰ درصد و ۲۹ درصد پهنه‌های خیلی بالا و پهنه‌های بالا وجود دارد. با توجه به نتایج به دست آمده طی ۱۲ سال گذشته دشت فیرورق حدود ۵/۰۴ متر افت سطح آب داشته‌اند که به طور متوسط سالیانه افت سطح آب در دشت فیرورق حدود ۴۲ سانتی‌متر بوده است. این افت سطح آب باعث فرونشست زمین در این دشت شده است.

کلیدواژه‌ها: فرونشست، تراز آب، دشت، خوی، فیرورق.

## ۱- مقدمه

دشت خوی در موقعیت جغرافیایی بین طول‌های ۴۴ درجه، ۴۷ دقیقه، ۳۷ ثانیه الی ۴۴ درجه، ۵۵ دقیقه، ۰۸ ثانیه شرقی و عرض‌های ۳۸ درجه، ۳۵ دقیقه، ۱۰ ثانیه الی عرض‌های ۳۸ درجه، ۳۷ دقیقه، ۲۴ ثانیه شمالی واقع است. دشت مزبور در شمال‌غرب ایران و در شمال شهرستان سلماس قرار دارد. این محدوده به‌عنوان یک زیر حوضه از حوضه آبریز رودخانه ارس می‌باشد. در شکل (۱) موقعیت محدوده مطالعاتی نسبت به کشور ایران و استان آذربایجان غربی ارائه شده است. خشکسالی و افت بی‌رویه سطح آب‌های زیرزمینی یکی از بلایا و معضلات مهم کشور ایران در چند سال گذشته می‌باشد و ضمن متفاوت بودن با دیگر حوادث طبیعی از قبیل سیل، طوفان و زلزله، خسارات زیادی به زندگی انسان و اکوسیستم‌های طبیعی وارد آورده است. عمده این تفاوت‌ها ناشی از تأثیر تدریجی خشکسالی طی یک دوره نسبتاً طولانی، عدم امکان تعیین دقیق زمان شروع و خاتمه و وسعت جغرافیایی تأثیر آن می‌باشد. حال آنکه با افزایش جمعیت، برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی و عدم مدیریت مناسب، امروزه شاهد آسیب‌های فراوان ناشی از آن هستیم. یکی از این آسیب‌ها، پدیده فرونشست زمین می‌باشد که ناشی از خشکسالی و افت سطح آب زیرزمینی در اغلب دشت‌های ایران پدیدار شده است. در این مقاله با انجام مطالعات و تحقیقات گسترده در سطح کشور به بررسی جامع وضعیت افت سطح آب‌های زیرزمینی و مخاطره فرونشست سطح زمین با در نظر گرفتن عوامل اساسی اثرگذار و آسیب‌های ناشی از آن پرداخته شده است و در نهایت با شناسایی عمده پارامترهای مؤثر و نظر به روند بحرانی کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و برداشت‌های بی‌رویه و همچنین آسیب‌های ناشی از نشست سطح زمین، راهکارهای مدیریتی مناسب در جهت کنترل و مقابله با این بحران ارائه شده است. نتایج بدست آمده (برداشت و افت بیش از اندازه سطح آب زیرزمینی به خصوص در چند سال گذشته، وقوع پدیده فرونشست و پدیدار شدن شکاف در ساختمان‌ها و زمین‌های کشاورزی و غیره) نشان دهنده آن است که در صورت ادامه روند کنونی و عدم انجام اقدامات جدی و عملی جهت کاهش برداشت‌های بی‌رویه در شهرستان خوی و فیرورق در آینده‌ای نزدیک با پی آمده‌های زیست محیطی و مشکلات اقتصادی و اجتماعی مواجه خواهند شد. یکی از مشکلات مهم در ارتباط با برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی افت سطح آب سفره‌ها و متراکم شدن لایه‌ها و رسوبات است. افت سطح آب زیرزمینی موجب کاهش فشار هیدروستاتیک سفره شده، و بخش جامد یا ساختمان سفره پایداری خود را از دست می‌دهد و باعث فشرده شدن ذرات و از بین رفتن فضاهای مفید بین ذره‌ای بخصوص در ذرات سیلت و ماسه می‌گردد.

در این تحقیق با انجام مطالعات و تحقیقات گسترده در سطح کشور به بررسی جامع وضعیت افت سطح آب‌های زیرزمینی و مخاطره فرونشست سطح زمین با در نظر گرفتن عوامل اساسی اثرگذار و آسیب‌های ناشی از آن پرداخته شده است. در نهایت با شناسایی عمده پارامترهای مؤثر و نظر به روند بحرانی کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و

برداشت‌های بی‌رویه و همچنین آسیب‌های ناشی از نشست سطح زمین، راهکارهای مدیریتی مناسب در جهت کنترل و مقابله با این بحران ارائه شده است. نتایج بدست آمده (برداشت و افت بیش از اندازه سطح آب زیرزمینی به خصوص در چند سال گذشته، وقوع پدیده فرونشست و پدیدار شدن شکاف در ساختمان‌ها و زمین‌های کشاورزی و غیره) نشان دهنده آن است که در صورت ادامه روند کنونی و عدم انجام اقدامات جدی و عملی جهت کاهش برداشت‌های بی‌رویه در شهرستان خوی و فیروزق در آینده‌ای نزدیک با پیامدهای زیست محیطی و مشکلات اقتصادی و اجتماعی مواجه خواهند شد. یکی از مشکلات مهم در ارتباط با برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی افت سطح آب سفره‌ها و متراکم شدن لایه‌ها و رسوبات است. افت سطح آب زیرزمینی موجب کاهش فشار هیدروستاتیک سفره شده، و بخش جامد یا ساختمان سفره پایداری خود را از دست می‌دهد و باعث فشرده شدن ذرات و از بین رفتن فضاهای مفید بین ذره‌ای بخصوص در ذرات سیلت و ماسه می‌گردد (شکل ۱).

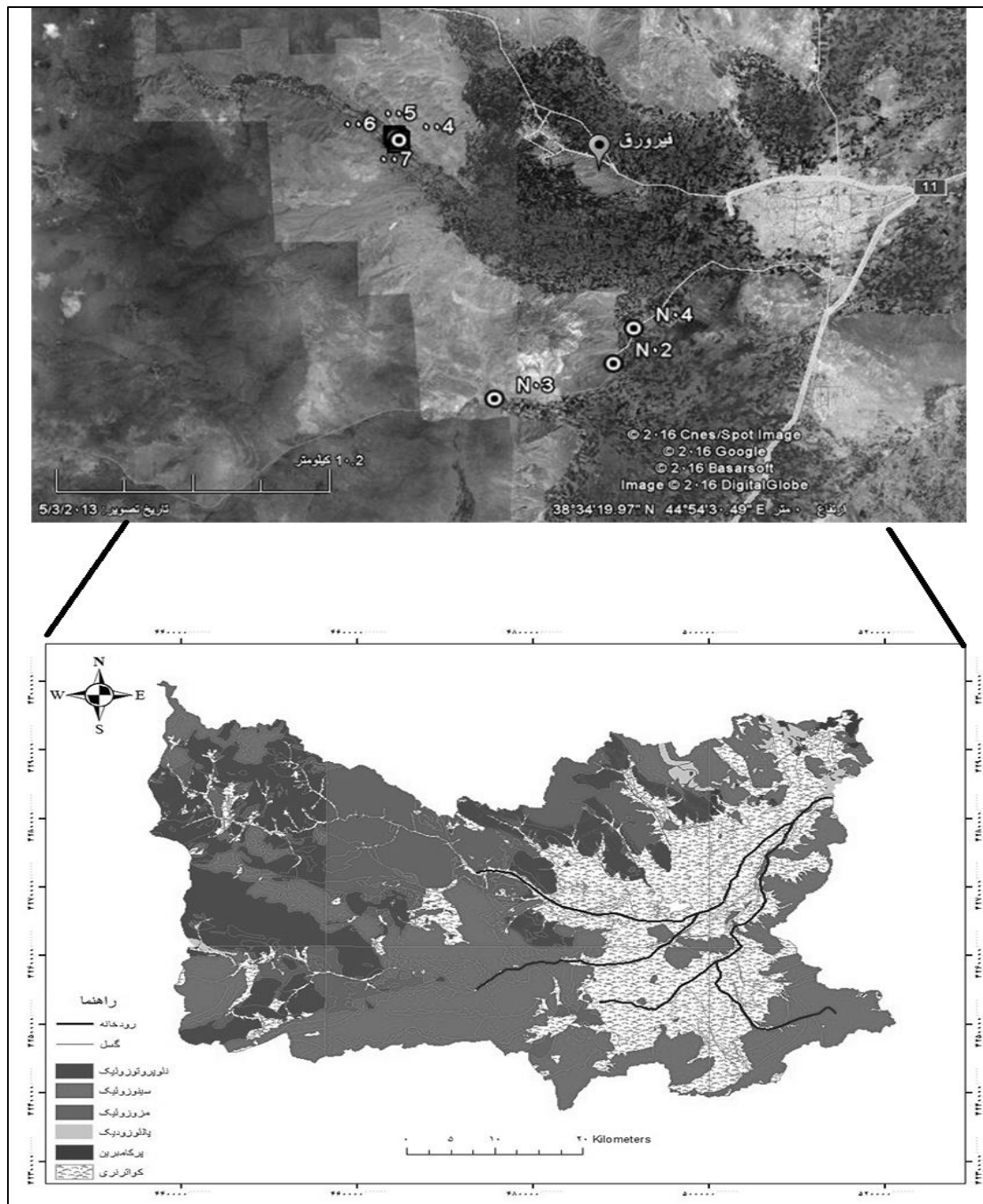
ناحیه مورد مطالعه در شمال غرب ایران و با توجه به تقسیمات واحدهای ساختمانی - رسوبی ایران (Stöcklin, 1968) بخشی از پهنه آمیزه رنگین و البرز - آذربایجان محسوب می‌شود. در این محدوده سنگ‌های رسوبی، دگرگونی، آتشفشانی و نفوذی از پرکامبرین پسین تا عهد حاضر با راستای عمومی شمال غرب - جنوب شرق رخنمون دارند شکل (۲) نقشه زمین‌شناسی دشت خوی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- شواهد میدانی فرونشست به صورت فروچاله و شکاف در منطقه مورد مطالعه

در بررسی سازندهای زمین‌شناسی حوضه و جنس آن‌ها به منظور تعیین نقش آن‌ها در وضعیت آبدهی دشت که لازمه مدل‌سازی است واحد لیتولوژی که اطراف دشت را پوشانده‌اند، نشان دهنده این است که در بخش غربی دشت عمدتاً واحدهای تشکیل دهنده، سنگ‌های دگرگونی هستند که با سن نامشخص و گاهی نیز به سن پرکامبرین نسبت

داده شده و بخش شرقی محدوده نیز عمدتاً از سنگ‌های رسوبی و آذرین تشکیل شده‌اند که توده‌های پلوتونیک گرانیتی عمدتین واحد آذرین منطقه را تشکیل می‌دهد.



شکل ۲- موقعیت محدوده مورد مطالعه

واحدهای دگرگونی عمدتاً از متاولکانیک دگرگون شده، سنگ آهک‌های دگرگونی، آمفیبولیت، گنایس، کلریت، سریسیت شیست، آلیت، اپیدوتیت شیست، کوارتزیت، مرمر و شیست‌های متنوع می‌باشند. بخشی از واحدهای آذرین که به‌صورت توده‌های نفوذی اولترامافیک، مافیک، مثل گابرو، هارزبورژیت و دیاباز می‌باشند در کمپلکس فیولیتی که در محدوده وجوددارند قرار گرفته است و بخشی نیز به‌صورت توده‌های اسیدی گرانیتی و توده‌های خروجی مانند بازالت، گدازه‌های بازالتی و گاهی توف و گدازه‌های آندزیتی و داسیتی دیده می‌شوند. واحد رسوبی در منطقه نیز عمدتاً شامل آهک، شیست، ماسه‌سنگ و کنگلومرا می‌باشند که در این میان آهک‌ها در اکثریت می‌باشند. سنگ‌های پرکامبرین شامل گنایس شیست و سازندهای کهر، باروت و زایگون رخمون کمی داشته و تأثیر چندانی در منابع آب زیرزمینی ندارند. سازندهای میلا و لالون گسترش کمی داشته و از نظر کمی و کیفی چنان حائز اهمیت نیستند. رسوبات تخریبی سازند درود دارای نفوذپذیری متوسط تا خوب بوده ولی به‌دلیل گستردگی کم و ضخامت ناچیز اهمیت خود را در تشکیل منابع آب از دست می‌دهد. سازنده روتی که از آهک و دولومیت تشکیل شده است، به دلیل داشتن درز و شکاف اندکی از نفوذپذیری خوبی برخوردار نیست. آهک‌های نازک لایه‌تریاس با لایه‌هایی از شیل و آهک‌های کرتاسه فوقانی که در غرب دشت ایواغلی رخمون دارند، دارای نفوذپذیری متوسط و اندک و از نظر کیفی تأثیر چندانی بر آب‌های زیرزمینی ندارد. وجود سنگ‌های آمیزه رنگین که در سرتاسر دشت خوی پراکنده است و در اغلب موارد آن را پوشش می‌دهد، به غیر از بخش‌های آهکی آن سایر اجزا غیرقابل نفوذ بوده و به علت گسترش زیاد این سنگ‌ها در غرب دشت خوی، کیفیت آب‌های زیرزمینی این مجموعه بسیار خوب گزارش شده و گرانیت سیه‌باز به دلیل غیرقابل نفوذ بودن، در مناطقی که آهک میوسن آن را پوشانده است به منزله سنگ کف آهک فوق عمل می‌کند. از سازنده‌های مزوزوئیک فقط آهک میوسن مهم‌ترین واحد سنگی سخت نفوذپذیر در این منطقه بوده و محدود به نسبتاً وسیعی در شمال غرب خوی، حدفاصل کوهستان‌های خوی-قره‌ضیاءالدین را پوشانده و بارزترین سنگ کف شور کننده آب زیرزمینی در این منطقه می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

جهت انجام عملیات‌های مختلف بر روی داده‌هایی که مشخصه مکانی (فضایی) آن‌ها، یک مشخصه اصلی محسوب می‌شود، از ابزارهای تحت عنوان GIS بهره گرفته می‌شود. به دلیل رابطه موجود بین مشخصه مکانی نقاط و سطح زمین و خاک، این سیستم‌ها با عناوینی چون LIS (سیستم اطلاعات زمین) و SIS (سیستم اطلاعات خاک) نیز بیان می‌گردند که در این میان GIS در محافل علمی متداول‌ترین است. در تحقیق حاضر از روی ۴ شیت نقشه توپوگرافی و نقشه زمین‌شناسی محدوده زمین مرجع کردن با سیستم مختصات UTM انجام شد. در مرحله اول نقشه‌های توپوگرافی خوی (4967II)، ایواغلی (5067III)، دیزج دیز (5066IV) و شکرپازی (4966I) را پس از اسکن وارد برنامه نموده (علت انتخاب چهار نقشه به خاطر قرارگیری موقعیت دشت خوی در بخش مرکزی محدوده



مورد مطالعه می‌باشد چرا که موقعیت قرار گیری شهرستان خوی در نقشه توپوگرافی و زمین‌شناسی مربوطه در گوشه جنوب غربی نقشه می‌باشد). پس از انجام مراحل فوق الذکر، چهار نقشه مذکور توپوگرافی و زمین‌شناسی در کنار هم قرار گرفتند. برای دقت بیشتر به هنگام تصحیح هندسی مقادیر کم‌تر از ابعاد یک پیکسل انتخاب شد. به منظور حفظ مختصات لایه زمین مرجع شده با فرمت GeoTIFF ذخیره گردید. پس از این کار، هر دو نقشه به صورت لایه جداگانه‌ای در قسمت ArcMap بر روی هم قرار گرفتند. چون نمونه‌ها و نقاط برداشت شده دارای سیستم مختصات بودند، هر کدام به صورت جداگانه بر روی نقشه پایه قرار گرفتند.

هدف اصلی از تحقیق تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی افت سطح آب‌های زیرزمینی دشت فیروق و بررسی فرونشست زمین در اثر آن می‌باشد. پهنه‌بندی منطقه به دو روش صورت می‌گیرد روش کریجینگ و روش معکوس وزنی فاصله. **درون‌یابی به روش کریجینگ:** این تخمین‌گر زمین آماری به افتخار یکی از پیشگامان علم زمین آماری به نام دی. جی. کریک که یک مهندس معدن آفریقای جنوبی بود به نام کریجینگ نام‌گذاری شده است. کریجینگ یک روش و تخمین‌گر محلی و تصادفی برای برآورد مقادیر یک متغیر در نقاط نمونه برداری نشده، با استفاده از مقادیر آن متغیر در نقاط نمونه‌برداری شده است و در این تحقیق جهت تهیه پهنه‌بندی افت آب‌های زیرزمینی استفاده گردید. **روش معکوس وزنی فاصله:** روش درونیابی (IDW) روشی برای تعیین ارزش سلول‌های یک منطقه است که به وسیله متوسط ارزش‌های داده‌های معلوم مجاور انجام می‌شود. این مدل بر این فرض استوار است که تأثیر پدیده‌ی مورد نظر با افزایش مساحت کاهش می‌یابد. به بیانی دیگر، پدیده پیوسته در نقاط اندازه‌گیری نشده، بیشترین شباهت را به نزدیکترین نقاط برداشت شده دارد. لذا برای تخمین نقاط مجهول، نمونه‌های اطراف باید مشارکت بیشتری نسبت به آن‌هایی که در فاصله‌ی دورتر قرار دارند، داشته باشند.

بدین منظور بررسی‌های مختلف و تعیین امکانات بالقوه منابع آب منطقه، برنامه‌هایی جهت توسعه بهره‌برداری از آن‌ها تهیه می‌شود. ولی قبل از اجرای این برنامه‌ها لازم است اثرات و خطرات احتمالی که در آینده، در اثر این توسعه بهره‌برداری پیش می‌آید، بررسی شده تا خساراتی متوجه سرمایه‌گذاری‌ها نگردد، به عنوان مثال زمانی که افت سطح آب زیرزمینی منطقه، به کمک نقشه‌های تهیه شده برای آینده پیش‌بینی می‌گردد، می‌توان طرح تکمیل ساختمان و لوله‌گذاری چاه‌ها را با توجه به آن تهیه و پمپ و موتور و سایر تجهیزات مناسب را انتخاب و عمق نصب را برآورد کرد تا در آینده با افت سطح آب زیرزمینی احتیاج به تعویض چاه و یا تجهیزات آن نباشد.

### ۳- نتایج و بحث

با بررسی رقوم سطح آب‌چاه‌های مشاهده‌ای و نقشه‌های تراز و مقایسه آن با نقشه‌های توپوگرافی، تبعیت نسبی سطح آب ایستایی از عوامل مؤثر در تغذیه و تخلیه آبخوان و همچنین بر پایه داده‌های به دست آمده از نتایج حفاری‌های اکتشافی و ژئوفیزیکی، به طور کلی در دشت خوی سفره‌های آزاد و تحت فشار وجود دارد. گسترش

سفره‌های تحت فشار و نیمه تحت فشار به صورت ناپیوسته و موضعی در بخش‌های غربی و مرکزی دشت و سفره‌های آزاد را همه نقاط می‌توان بررسی نمود. سفره‌های تحت فشار عموماً در حوضه آبریز رودخانه قطور چای و به دلیل تناوب رسوب‌گذاری توسط این رودخانه و نتیجتاً تشکیل لایه‌های ریز دانه در مابین طبقات درشت دانه به ویژه در قاعده مخروط‌افکنه شکل گرفته است. این وضعیت دلیل تغذیه نهشته‌های دانه درشت در بالادست و محبوس شد آب زیرزمینی موجود در آن‌ها توسط لایه‌ها و عدسی‌های رسی در پایین دست سبب ایجاد سفره‌های تحت فشار می‌گردد. گسترش لایه‌های ریزدانه به صورت عدسی در بخش‌های غربی ناحیه در نزدیکی و مجاورت سطح زمین سبب ایجاد مانداب‌ها و نقاط زهدار در این بخش شده است. این لایه‌ها مانعی در جهت نفوذ آب‌های سطحی و آب‌های جریان یافته از نقاط بالادست به این نواحی بوده و به همین علت بخش‌هایی از غرب و جنوب غربی ناحیه بصورت زهدار در آمده و به صورت چشمه‌های متعددی در سطح منطقه تظاهر می‌نماید. این جریان‌ها به همراه سر ریز رودخانه الند مجموعاً زهکش قودوخ بوغان را تشکیل می‌دهند. همچنین در حوضه آبریز الند عامل تکنونیک در فرآیند شکل‌گیری آبخوان تحت فشار نواحی پایین دست مخروط افکنه (قاعده) نقش اساسی داشته و علت آن جابه‌جایی طبقات و قرار گرفتن لایه‌های با نفوذ کم‌تر در مقابل لایه‌های با دانه‌بندی درشت‌تر توسط گسل فیرورق می‌باشد. در ارتباط با بخش‌های مرکزی به دلیل کاهش قطر ذرات، لایه‌های رسی به صورت بین لایه‌ای مابین طبقات دیگر سبب تشکیل آبخوان‌های تحت فشار موضعی شده‌اند. در ارتباط با گسترش سفره‌های فوق، نتایج به دست آمده گویای تداخل و ارتباط نسبتاً پیوسته و انگشتی آن‌ها است. لذا با توجه به ویژگی‌هایی که اشاره شد امکان بررسی جداگانه آن‌ها وجود نداشته و بدین لحاظ مجموعه آبخوان دشت خوی به صورت یکپارچه قابل مطالعه است. در ارتباط با ضخامت آبخوان نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در بخش‌های شمال‌غربی دشت ضخامت آبخوان بین ۲۰ تا ۳۰ متر و در بخش جنوبی فیرورق بین ۲۰ تا ۶۰ متر و در بخش‌های مرکزی بالغ بر ۲۰۰ متر و در بخش‌های شمالی شهر خوی به ۱۰۰ متر (چاه اکتشافی بدل آباد) می‌رسد. به سمت نواحی خروجی و شرقی دشت با فاصله یافتن از محورهای رسوب‌گذاری از ضخامت آبخوان کاسته شده و به حدود ۴۰ متر کاهش می‌یابد.

### ۳-۱- بررسی چاه‌های مشاهده‌ای

چاه مشاهده‌ای (چاه مشاهده‌ای در آبخوان آزاد و چاه پی‌زومتری در آبخوان تحت فشار) عبارت از چاهی است که در داخل یک آبخوان حفر می‌شود تا تغییرات سطح آب زیر زمینی در فواصل زمانی معین، قرائت گردد. با بررسی این چاه‌ها می‌توان به دامنه تغییرات سطح آب در آن منطقه و نتیجتاً در کل آبخوان پی برد، برای رسیدن به این منظور می‌بایست آرایش این چاه‌ها در آبخوان مناسب، حفر چاه‌های مشاهده‌ای کامل و متناسب با سطح آب و آماربرداری مداوم و دقیق صورت پذیرد. سابقه حفاری چاه‌های مشاهده‌ای دشت خوی به سال‌های ابتدایی دهه ۶۰ می‌رسد که اولین مطالعه آب زیرزمینی در چارچوب مطالعات امکان‌یابی رودخانه‌های مرزی ایران و ترکیه صورت پذیرفته است.

پس از آن و در سال ۱۳۸۰ به علت وقوع خشکسالی فراگیر و افت بیش از حد سطح آب، اکثر چاه‌های مشاهده‌ای خشک گردید، که واحد مطالعات شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی اقدام به طراحی و حفر مجدد چاه‌های مشاهده‌ای در این محدوده نموده است. نقشه موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای بعد از سال ۱۳۸۰ در شکل ۳ ارائه و نمایش داده شده است.

### ۳-۲- عمق آب زیرزمینی

با استفاده از اندازه‌گیری عمق آب زیرزمینی در ۶۵ حلقه از چاه‌های مشاهده‌ای اقدام به تهیه نقشه هم عمق آب زیرزمینی گردید که در شکل (۴) عمق آب زیرزمینی ارائه شده است. این نقشه‌ها نشان می‌دهد که حداکثر عمق برخورد به آب در شمال فیروزق دیده شده که دارای عمقی بیش از ۹۰ متر بوده، همچنین در حوالی روستای جمشیدخان عمق آب در حدود ۷۵ متر، در جنوب روستای قره‌تپه در حدود ۶۸ متر، در جنوب روستای دیزج‌دیز بیش از ۳۸ متر و در نهایت در قره‌شعبان بیش از ۱۷ متر است. کم‌ترین عمق برخورد به آب در حاشیه رودخانه‌های الند و قطور به ارقام کم‌تر از ۱ متر می‌رسد که به علت تبادل دائم جریان سطحی با آبخوان آبرفتی حاصل شده است. وجود دو نقطه با عمق زیاد در میانه دشت حوالی روستاهای قره‌جلو و کردنشین به علت وجود رسوبات ریزدانه (با غلبه سیلت در لوگ حفاری چاه‌ها نزدیک این محدوده) و برداشت از چاه‌های این محدوده می‌باشد.

### ۳-۳- نوسانات سالیانه سطح آبخوان

برای مشخص نمودن نوسانات سالیانه آب زیرزمینی و تغییرات سطح آب مخزن اقدام به ترسیم هیدروگراف جهت ۶۵ حلقه چاه مشاهده‌ای در سطح دشت گردیده است و همچنین نقشه هم‌افت آب‌های زیرزمینی از سال ۱۳۸۲ لغایت ۱۳۹۲ تهیه گردید (شکل ۴). نوسانات سطح آب در دوره بیلان از یک منحنی سینوسی پیروی کرده و به شاخه‌های صعودی و نزولی تقسیم می‌گردد. از اردیبهشت تا شهریور ماه منحنی نزولی ادامه می‌یابد که به عنوان دوره خشک هیدروگراف قلمداد می‌گردد. لذا هیدروگراف دارای ۵ ماه مرطوب و ۷ ماه خشک می‌باشد. لازم به یادآوری است که این نظم هیدروگراف با تغییرات یک ماهه در سال‌های متفاوت تکرار شده که علت آن نیز وقوع سال‌های خشک و تر آبی می‌باشد. با توجه به نمودارهای فوق‌الذکر تراز آب زیرزمینی در مهرماه سال ۱۳۷۰ برابر ۱۱۲۷/۱۴ متر از سطح دریای آزاد و در شهریور ۱۳۹۲ به رقمی برابر ۳۰/۱۱۲۱ متر کاهش یافته است. بنابراین سطح آب زیرزمینی در آبخوان دشت فیروزق در طول دوره آماری فوق‌الذکر (۲۲ ساله) به میزان ۹/۲۴- متر افت داشته است. بنابراین متوسط افت سالانه در دشت فیروزق معادل ۰/۴۲- متر می‌باشد.





جریان اصلی تغذیه کننده دشت از مسیل‌های شمال غرب، شمال شرق و ارتفاعات جنوب غرب وارد می‌گردد. با بررسی نقشه هم تراز سطوح آب (شکل ۵) مشخص می‌شود جهت جریان زیرزمینی تقریباً از جریانهای سطحی و شیب توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند و از جهت غرب، جنوب غربی و شمالی به سمت شمال شرقی دشت می‌باشد. و در بسیاری از نواحی ورودی آبراهه‌ها، جریان‌های آب زیرزمینی به آبخوان وارد می‌گردد (شکل ۶). جهت جریان آب زیرزمینی نیز کم و بیش از این وضعیت تبعیت می‌نماید، تغییرات گرادیان هیدرولیک در نواحی مرزی شدید است، خصوصاً در ورودی رودخانه الند به محدوده دشت که این شیب به ۲۴ متر در هر هزار متر بالغ می‌گردد، در ورودی رودخانه قطور شیب آب زیرزمینی پایین بوده و به ۴ متر در هر هزار متر می‌رسد. در مناطق مرکزی دشت (حوالی شهر خوی) گرادیان هیدرولیکی در حدود ۶ متر در هر هزار متر تغییر می‌کند که حاکی از سرعت و اختلاف پتانسیل پایین آب زیرزمینی می‌باشد.

#### ۳-۴- محاسبه بیلان

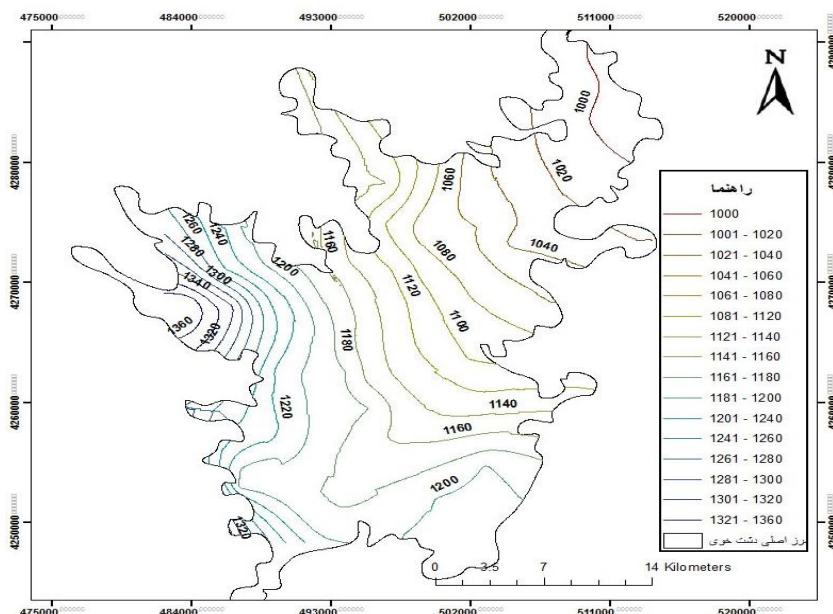
شکل ۷ هیدروگراف ترسیم شده در دوره زمانی در طی یک دوره آماری تقریباً ۱۲ ساله و تغییرات سطح آب در محدوده آبخوان نشان می‌دهد که بجز تعداد محدودی چاه که دارای خیزی کم‌تر از ۱ متر می‌باشند در اکثر موارد چاه‌های مشاهده‌ای دچار افت شده‌اند. میزان افت در طی یک دوره آماری تقریباً ۱۲ ساله برابر با ۵/۰۴ متر می‌باشد (به طور متوسط سالانه ۴۲ سانتی‌متر). با منظور نمودن ۰/۴۲- متر افت متوسط سالانه و ۶۵۵ کیلومتر مربع مساحت آبخوان و ضریب ذخیره ۵ درصد، مقدار متوسط تغییرات حجم مخزن برابر ۱۳/۷۵۵- میلیون مترمکعب در سال برآورد گردیده است.

$$V=A \times H \times S$$

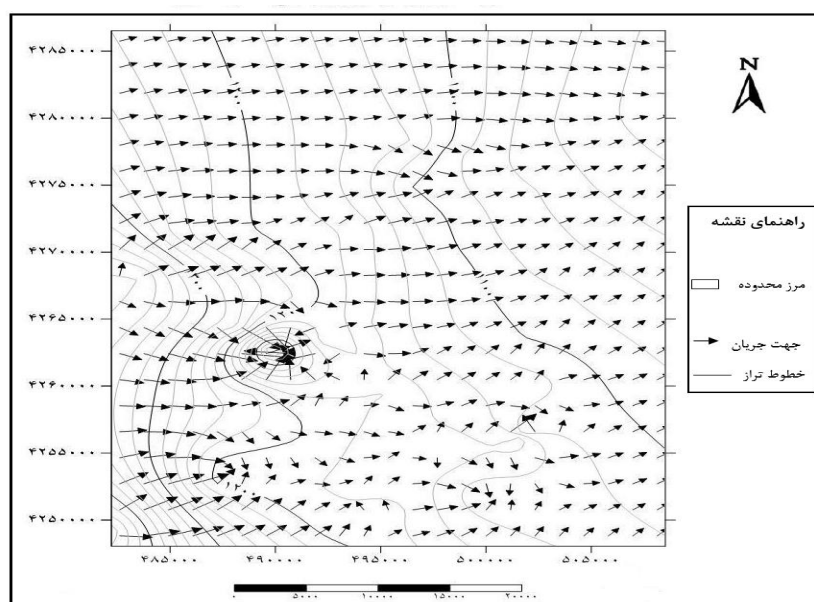
$$\text{مقدار متوسط تغییرات حجم مخزن (میلیون مترمکعب)} = ۱۳/۷۵۵ - ۶۵۵ \times (۰/۴۲) \times ۰/۵$$

علاوه بر برداشت از منابع دینامیک آبخوان سالانه به طور چشم‌گیری از منابع ثابت آبخوان نیز برداشت می‌شود. مطالعه هیدروگراف واحد دشت نشان دهنده افت مداوم سطح آب زیرزمینی بوده که این روند نزولی در طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۷۴ شدیدتر شده است. خشکسالی‌های چند ساله اخیر بر میزان افت سطح آب نقش مهمی داشته است زیرا سبب روی آوردن کشاورزان به برداشت بیش از حد از منابع آب‌های زیرزمینی دست شده است. با افت آب زیرزمینی در دشت اغلب کشاورزان اقدام به حفر چاه‌های عمیق با عمق ۱۵۰ متر در نیمه جنوب غربی آبخوان نموده‌اند. که روند افزایشی تعداد چاه‌های عمیق در جدول ۱ مشهود است. با افزایش عمق چاه‌ها نیز برداشت از آبخوان شدت پیدا کرده است. این امر موجب افزایش شدت افت سطح آب در حاشیه دشت گردیده است. با روند افزایش برداشت‌های بی‌رویه عوارض و نشانه افت سطح زمین حدوداً از سال ۱۳۶۰ به صورت از بین

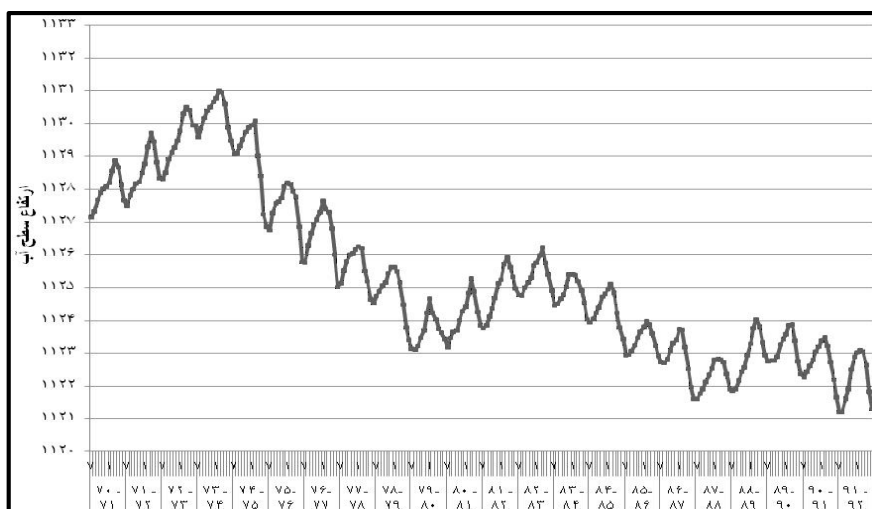
رفتن پوشش گیاهی و خشک شدن چشمه‌ها و ایجاد شکاف در جنوب غربی دشت نمایان گردیده است. تنها در دوره چهارم آمار برداری و در محدوده مطالعاتی تعداد ۱۲۸ عدد سردهنه انهار به عنوان تنها منبع آب سطحی گزارش شده که در طول سال به طور متوسط حجمی معادل با ۲۷۰ میلیون متر مکعب را جهت مصارف گوناگون از رودخانه‌های دارای جریان برداشت می‌نمایند.



شکل ۵- نقشه خطوط هم‌تراز محدوده مورد مطالعه



شکل ۶- نقشه جهت جریان آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه



شکل ۷- هیدروگراف محدوده مورد مطالعه

جدول ۱- میزان تخلیه منابع آب زیرزمینی دشت خوی و فیرورق مربوط به آمار سال‌های مختلف

تخلیه کل (میلیون به مترمکعب)	چشمه		قنات		چاه نیمه عمیق		چاه عمیق		سال آماربرداری	ردیف
	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد		
۴۱۷/۶	۱۳۵/۶	۱۳۵	۳۴/۹	۱۱۰	۴۴/۴	۷۰۶	۲۰۲/۷	۴۳۵	۱۳۶۰	۱
۴۶۸/۰۹	۹۶/۹۲	۱۳۰	۱۸/۳۲	۱۱۰	۴۷/۵	۸۱۶	۳۰۵/۳۵	۴۵۶	۱۳۳۸	۲
۳۹۶	۲۶	۱۱۰	۲۲	۵۶	۴۵	۸۴۱	۳۰۳	۷۳۸	۱۳۷۲	۳
۴۲۸/۲۳	۳/۰۴	۱۷	۲/۶۱	۱۴	۱۴/۸۸	۲۸۵	۴۰۷/۷	۸۰۹	۱۳۸۰	۴

### ۳-۵- خصوصیات آبخوان آبرفتی منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی خوی دارای سه دشت به نام‌های خوی، سیه باز و یزدکان (که فیرورق جزو دشت خوی به حساب می‌آید) می‌باشد که در مجموع دارای ۷۳ حلقه (دشت خوی با مساحت ۷۳۷ کیلومترمربع دارای ۶۵ حلقه، سیه باز با وسعت ۱۶۳۱ کیلومترمربع دارای ۵ حلقه و یزدکان با ۶/۸۳ کیلومترمربع دارای ۳ حلقه) چاه پیژومتری می‌باشند عمق متوسط چاه‌های پیژومتری دشت خوی ۵۰/۲۲ متر و حداکثر عمق آن‌ها ۱۲۰ متر مربوط به چاه پیژومتری فیرورق می‌باشد. بررسی لوگ زمین‌شناسی چاه‌های پیژومتر و اکتشافی منطقه نشان می‌دهد که رسوبات آبرفتی دشت بیشتر از ماسه، شن، گراول و لایه‌های نازک رس در بین نهشته‌های ناپیوسته تراوا می‌باشد (شکل ۸).

این رسوبات بیشتر متأثر از رسوبات دانه درشت قطورچای و الندیچای بوده و جنس دانه‌ها اغلب آذرین است و به ندرت دانه‌های آهکی دیده می‌شود. در قسمت پائین دست رودخانه‌ها رسوبات ریزتر شده و به طور متناوب با دانه‌های درشت قرار گرفته‌اند. در جنوب شرق دشت خوی، سهم دانه‌های ریز مثل رس و ماسه (حاصل از تشکیلات تبخیری میوسن) بیش از انواع دیگر می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایش پمپاژ چاه‌های اکتشافی، ضریب قابلیت انتقال سفره در جنوب غربی (ورودی دشت)، به علت ضخامت نسبتاً زیاد و دانه درشت بودن آبرفت حاصل از قطورچای بالا بوده و با استفاده از آزمایشات پمپاژ چاه‌های اکتشافی، مقدار ۲۸۰۰ مترمربع در روز برآورد شده است. از مناطق ورودی به سمت مرکز و خروجی دشت مقدار ضریب قابلیت انتقال، به علت ریز دانه شدن و کاهش ضخامت سفره پایین بوده و به طور متوسط ۲۰۰۰ متر مربع در روز برای مناطق مرکزی و ۱۲۰۰ متر مربع در روز برای بخش‌های خروجی برآورد شده است. میانگین ضخامت آبرفت در جنوب غرب دشت (مخروط افکنه قطورچای) در حدود ۱۵۰ متر است. ضخامت آبرفت در جنوب دشت خوی، متغیر بوده و از ۲۰۰ متر در ابتدای دشت به کمتر از ۵۰ متر در شمال دیزج دیز می‌رسد، ولی با توجه به اینکه بخش شنی و ماسه‌ای سازند دوره پلیوسن در زیر آبرفت‌های عهد حاضر در جنوب دشت قرار دارد لذا ضخامت مؤثر آبرفت بیش از ۱۰۰ متر نخواهد بود. در غرب دشت (منطقه فیوروق و مخروط افکنه الندیچای) با توجه به عمق چاه‌های بهره برداری حفاری شده، بیش از ۱۰۰ متر می‌باشد. در اطراف شهر خوی ضخامت آبرفت حدود ۲۰۰ متر است که به سمت شمال شرق و غرب کاهش یافته بطوریکه در حوالی روستای مهلذان (خروجی دشت) ۱۲۰ متر تقلیل می‌یابد.

در سه منطقه از دشت خوی به شرح زیر سفره تحت فشار شناسایی شده است.

الف: قسمت‌های پایین دست مخروط افکنه قطورچای.

ب: در شرق مخروط افکنه الندیچای.

ج: مرکز دشت (شرق و شمال شرقی شهرستان خوی).

آمار دراز مدت سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای در سطح دشت نشان می‌دهد که حداقل عمق سطح آب در اردیبهشت ماه و حداکثر آن در شهریور و مهرماه اتفاق می‌افتد. در حالت کلی عمق سطح آب زیرزمینی از حواشی جنوب و غرب دشت به سمت مرکز کاهش می‌یابد. در جدول (۱) تعداد و تخلیه منابع آب موجود در این محدوده در دوره‌های مختلف آماربرداری تهیه گردیده است.

#### ۱- مناطق جنوب شرقی

در این مناطق عمق چاه‌ها کم و به طور متوسط کم‌تر از ۱۵ متر می‌باشد علی‌رغم آن چاه‌های بهره‌برداری موجود عمدتاً از نوع عمیق و نیمه عمیق می‌باشد و عمق بالای ۷۰ متر دارند. پیش بینی سطح آب زیرزمینی در این مناطق نشان از وجود به احتمال قوی یک سفره تحت فشار دارد و این درحالی است که کلیه اطلاعات موجود مربوط به

سفره سطحی آزاد در این منطقه است و هیچ گونه چاه پیزومتری در این مناطق حفر نشده است و تنها در یکی از گزارش‌های موجود به وجود دو سفره در این منطقه اشاره شده است.

### ۲- مناطق شمال شرقی

نوسانات سطح آب زیرزمینی در منطقه شمال شرقی (مجاور روستای بیزنده) به عنوان خروجی دشت، بیشتر تابع حجم خروجی آب به دشت مجاور (ایواوغلی) می‌باشد. میزان این خروجی در دوره‌های تثبیت شده است و پیش بینی نوسان سطح آب در یکسری از چاه‌های مشاهده‌ای در این منطقه روند کاهش نسبی سطح آب زیرزمینی در این منطقه می‌باشد.

### ۳- مناطق شمال غربی

پیش بینی وضعیت آینده سفره در یکسری از چاه‌های مشاهده‌ای مناطق شمال غرب دشت، نشانگر کاهش نسبی سطح آب زیرزمینی در این مناطق می‌باشد. مناطق مزبور دارای نفوذپذیری بالا و ضخامت غیر اشباع مناسب برای اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی است. در این منطقه پروژه تغذیه مصنوعی پسک که در مخروط افکنه آغچه‌قشلاق اجراء شده است، نقش قابل توجهی در افزایش نسبی سطح آب زیرزمینی در ماه‌های پربابی دارد.

فاصله نمونه برداری	رسم شکل	مشخصات لایه	فاصله نمونه برداری	رسم شکل	مشخصات لایه	فاصله نمونه برداری	رسم شکل	مشخصات لایه
0-10		رس با دانه های مختلف	0-15		شن و ماسه درشت	0-12		شنی همراه با دانه های رسی
10-20		رس با دانه های مختلف	15-30		شن و ماسه درشت	12-24		شنی همراه با دانه های لئوسنگ و رس
20-30		رس با دانه های مختلف	30-45		شن و ماسه درشت	24-36		شنی همراه با دانه های رسی
30-40		رس با دانه های مختلف	45-60		شن و ماسه درشت	36-48		شنی همراه با دانه های لئوسنگ و رس
40-50		رس با دانه های مختلف	60-75		شن و ماسه درشت	48-60		شنی همراه با دانه های رسی
50-60		رس با دانه های مختلف	75-90		شن و ماسه درشت	60-72		شنی همراه با دانه های رسی
60-70		رس سیلت	90-105		شن و ماسه درشت همراه با رس			
70-80		نمونه مارن	105-120		نمونه مارن - نمونه آهکی			
0-10		رس با دانه های مختلف	0-18		رس با دانه های ریز			
10-20		رس با دانه های مختلف	18-36		رس با دانه های ریز			
20-30		رس با دانه های مختلف	36-54		رس با دانه های ریز همراه با رس			
30-40		رس با دانه های مختلف	54-70		رس با دانه های ریز همراه با رس			
40-50		رس با دانه های مختلف	70-88		رس با دانه های ریز همراه با رس			
50-60		رس با دانه های مختلف	88-106		رس با دانه های ریز همراه با رس			
60-70		رس سیلت	106-124		رس با دانه های ریز همراه با رس			
70-80		نمونه مارن	106-140		رس با دانه های ریز همراه با رس			

شکل ۸- لوگ‌های زمین‌شناسی چاه‌های پیزومتر منطقه فیرورق (فاصله نمونه‌برداری‌ها بر حسب متر می‌باشد).

### ۴- مناطق شرقی دشت

نوسانات سطح آب زیرزمین پیش بینی شده در تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای موجود در منطقه شرقی دشت، روند افزایشی یا کاهش‌ی قابل توجهی ارائه نمی‌دهد. سطح آب زیرزمینی در این مناطق بیشتر حالت پایدار و ثابت

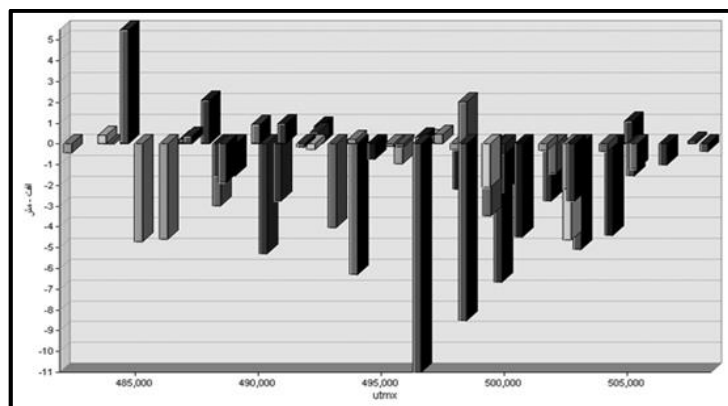


داشته و نوسانات قابل توجهی را نشان نمی‌دهد. چاه‌های عمیق و نیمه عمیق موجود در این مناطق دارای عمقی در حدود ۸۰ الی ۹۰ متر می‌باشد. و عمق چاه‌های مشاهده‌ای در حدود کم‌تر از ۲۰ متر می‌باشد. در نواحی از این منطقه در ماه‌هایی سطح آب زیرزمینی رسیده و حالت باتلاقی قابل پیش‌بینی می‌باشد (حوالی روستای قوروق و جاده خوی-سلماس).

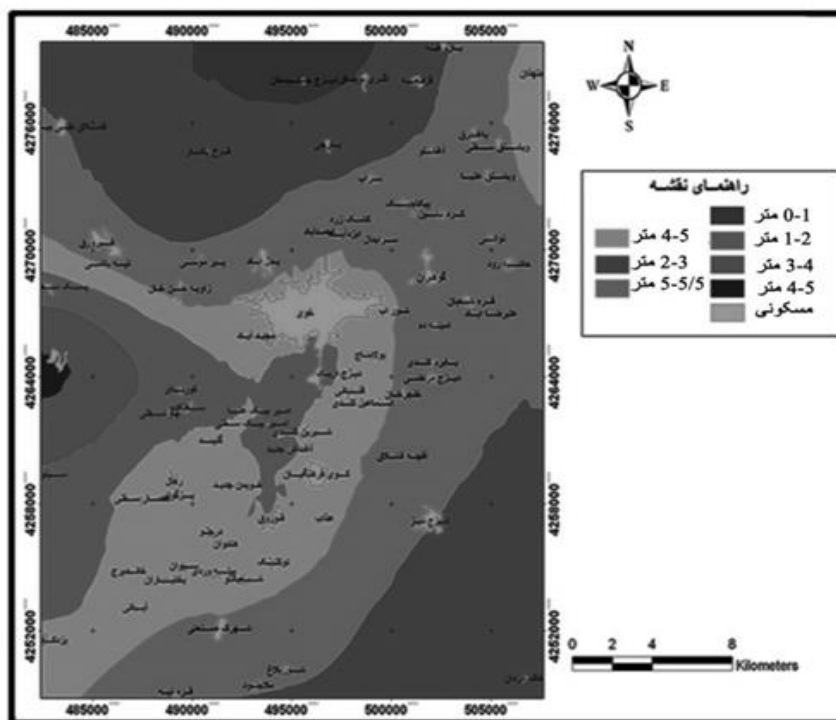
### ۳-۶- پهنه‌بندی فرونشست منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق مناطقی که در آن‌ها فرونشست اتفاق می‌افتد از روی اطلاعات گمانه‌های ژئوتکنیکی با توجه به جنس مصالح (مصالح ریزدانه رسی) و با توجه به نقشه هم‌افت سطح آب زیرزمینی (شکل ۴) و نمودار هم‌عمق سطح افت آب‌های زیرزمینی (نمودار ۱) شناسایی و مشخص گردید که احتمال فرونشست در منطقه جنوب‌غربی و غرب محدوده مورد مطالعه با توجه به جنس مصالح که دارای لایه‌هایی از جنس رس می‌باشند، بیشتر از سایر مناطق است (شکل‌های ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳، جداول ۲ و ۳).

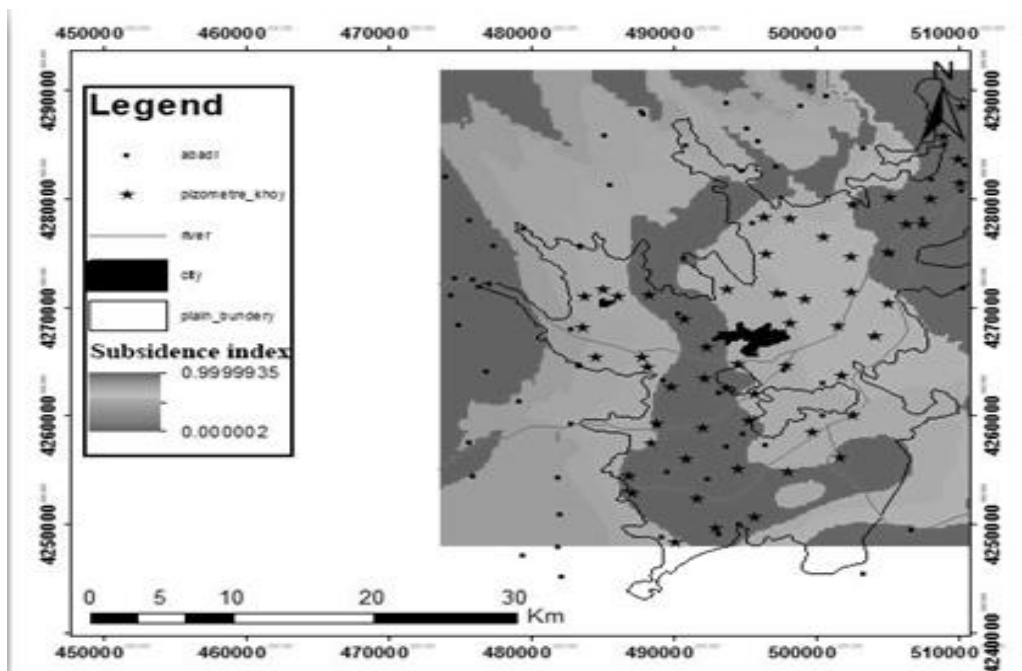
نقشه‌های ترسیمی نشان دادند که بیشترین میزان افت، در قسمت غرب و جنوب غرب منطقه اتفاق افتاده است. بر اساس نقشه پهنه‌بندی تهیه شده، ۱۰ درصد از مساحت دشت در پهنه خیلی زیاد افت، ۲۹ درصد در پهنه زیاد، ۳۳ درصد در پهنه متوسط و ۲۸ درصد در پهنه کم افت قرار می‌گیرد. با تلفیق لایه‌های میزان بارش، شیب، هیدرولوژی، لیتولوژی، ژئومورفولوژی، خاک، پوشش گیاهی و عوامل انسانی در محیط جی‌آی‌اس، نقشه پیش‌بینی مناطق افت آب‌های زیرزمینی در آینده به روش کریجینگ روش معکوس وزنی فاصله تهیه گردید. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بیشترین احتمال فرونشست دشت فیرورق در آینده به دلیل برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی در قسمت غرب و جنوب غرب اتفاق خواهد افتاد.



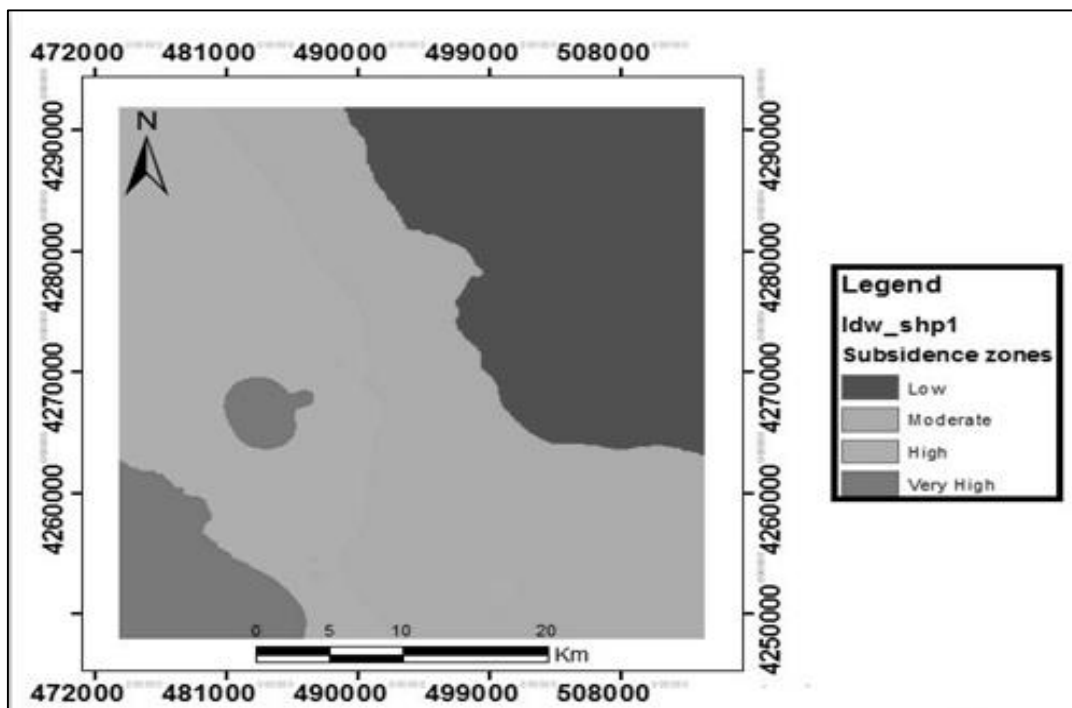
شکل ۹ - نمودار هم عمق آب سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی میزان فرونشست در منطقه مورد مطالعه به روش کریجینگ (KRIGING)



شکل ۱۱- بررسی شاخص فرونشست با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله (IDW)



شکل ۱۲- بررسی شاخص فرونشست با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله (IDW)

جدول ۲ - مساحت و درصد پهنه‌های فرونشست منطقه فیرورق

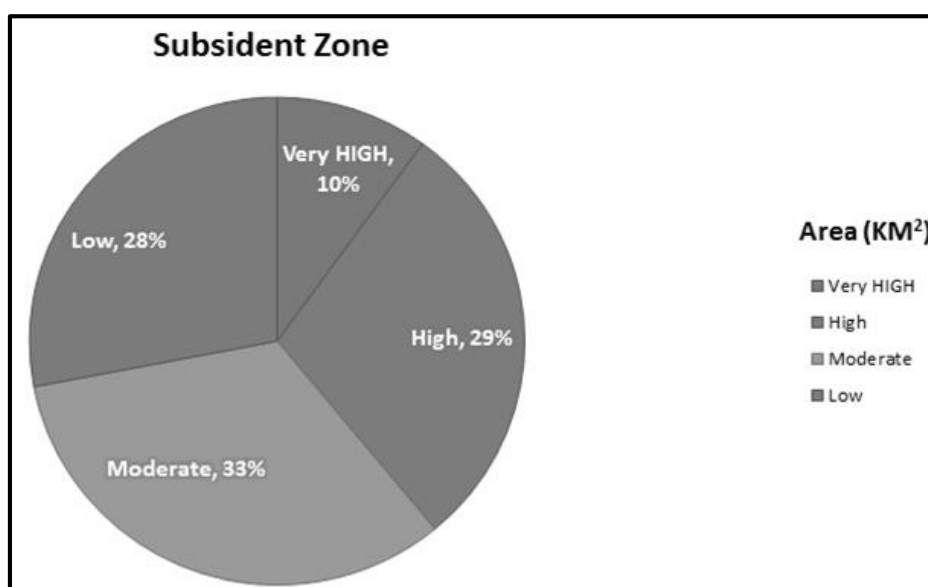
ردیف	شاخص فرونشست	(مترمکعب بر سال) Q	کل حجم آب برداشت
۱	۰/۳۸۳۶	۱۸۵۹۶۷۵	۱۹۱۷۵۲
۲	۰/۰۰۰۱	۲۵۵۵۰	۲۴۵۰۹
۳	۰/۴۰۰۴	۱۹۳۹۹۷۵	۱۴۵۵۴۹
۴	۰/۰۰۷۱	۵۹۳۱۲/۵	۷۱۲۶۷
۵	۰/۰۲۴۴	۱۴۲۳۵۰	۲۲۹۴۲۳
۶	۰/۱۷۲۰	۸۴۸۰۱۷/۵	۱۲۳۵۹۰
۷	۰/۲۵۳۴	۱۲۳۶۳۵۰	۱۵۸۱۲۰
۸	۰/۰۱۶۲	۱۰۳۱۱۲۵	۷۲۸۸۰
۹	۰/۰۱۴۹	۹۶۷۲۵	۱۵۲۲۰۸
۱۰	۰/۰۱۹۸	۱۲۰۴۵۰	۱۸۲۲۶۴
۱۱	۰/۰۰۸۶	۶۶۶۱۲/۵	۷۹۲۹۴
۱۲	۰/۴۳۳۴	۲۲۹۷۶۷/۵	۱۶۲۰۱۲
۱۳	۰/۳۸۲۸	۱۸۵۶۰۲۵	۱۱۶۵۴۳
۱۴	۰/۳۸۳۸	۱۸۶۰۵۸۷/۵	۱۷۱۴۳۳
۱۵	۰/۰۰۹۹	۷۳۰۰۰	۱۲۵۶۰۸

ادامه جدول ۲

ردیف	شاخص فرونشست	(مترمکعب بر سال) Q	کل حجم آب برداشت
۱۶	۰/۵۳۹۷	۲۶۰۶۱۰۷/۵	۱۴۰۹۱۶
۱۷	۰/۰۰۷	۲۹۲۵۲/۵	۱۱۸۵۷۸
۱۸	۰/۰۱۸۷	۱۱۴۹۷۵	۱۸۳۴۵۹
۲۰	۰/۰۰۰۴	۴۴۸۰۳/۷۵	۷۸۹۶۵
۲۱	۰/۱۶۲۴	۸۰۲۰۸۷/۵	۱۳۰۰۷۱
۲۲	۰/۹۹۹۹	۴۸۰۷۰۵۰	۲۲۲۸۴۱

جدول ۳- شاخص‌های فرونشست منطقه مورد مطالعه

S/N	Subsident Zone	Area(KM <sup>2</sup> )	%
1	Very HIGH	177	10
2	High	536	29
3	Moderate	600	33
4	Low	501	28
<b>Total</b>		<b>1814</b>	<b>100</b>



شکل ۱۳- درصد زون‌های فرونشست منطقه مورد مطالعه

## ۴- جمع‌بندی

به طور کلی تحقیق حاضر نشان می‌دهد برداشت بی‌رویه از سطح ذخایر زیرزمینی موجب فرونشینی بخشی از منطقه فیرورق شده است. ساخت و سازهای صورت گرفته بدون توجه به پایین آمدن سطح آب‌های زیرزمینی شهر فیرورق از دلایل دیگر احتمال فرونشست در فیرورق می‌باشد. سازندهای منطقه فیرورق مربوط به دوران سوم زمین‌شناسی است و منطقه از رسوبات آبرفتی پوشیده شده است. رسوبات دانه ریز مانند سیلت و رس در مقایسه با رسوبات دانه درشت مانند شن و ماسه در این منطقه از مؤثرترین عوامل فرونشست زمین می‌باشد. از نظر اقلیم منطقه خشک سرد است و متوسط بارندگی سالانه آن ۲۷۷/۴ میلی‌متر است تنها منبع آب سطحی دشت فیرورق را رودخانه اند تشکیل می‌دهد. بنابراین با توجه به اقلیم منطقه، حفاظت از منابع آب زیرزمینی ضرورت دارد، چرا که با بهره برداری بیش از حد از آب‌های شیرین زیرزمینی، آب شور جایگزین آن خواهد شد. این مسئله در بخشی از غرب فیرورق رخ داده است. با توجه به آمار حداکثر عمق سطح آب زیرزمینی در سال ۱۳۸۳ در شهر فیرورق معادل ۹۲ متر بوده است، که بر اثر برداشت غیرمجاز نسبت به سال ۱۳۹۳ دچار ۱۶ متر افت سطح شده است. برداشت بیش از حد مجاز را می‌توان نتیجه عدم وجود مدیریت درست منابع آب در بخش برداشت و از سوی دیگر به هدر رفتن حجم عظیمی از آب در نتیجه نادرست بودن شیوه‌های کشاورزی و مصارف صنعتی یا به طور خلاصه مصرف نامتناسب دانست. در قسمت شمال غرب دشت فیرورق نشست‌هایی همراه با ترک و شکاف‌هایی مشاهده شده‌اند که عامل این پدیده بهره‌برداری بی‌رویه و افت شدید سطح آب زیرزمینی می‌باشد. این پدیده باعث افت سطح زمین و ایجاد خسارات متعددی در سطح زمین شده است. وجود این پدیده باید در هر گونه طراحی اعم از ساخت و سازها ساده مثل یک جاده دسترسی محلی تا سازه‌های بزرگ و حتی در خصوص زمین‌های کشاورزی باید مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر این برای جلوگیری از استمرار این پدیده و برای جبران پتانسیل‌های منفی منابع آب زیرزمینی، بایستی روش‌های آبیاری سنتی اصلاح و به جای آن از روش‌های مکانیزه و اصلاح شده بهره‌جست. علاوه بر آن برای حفظ پتانسیل‌های موجود در آبخوان، تغذیه مصنوعی دشت به وسیله سیلاب‌ها، و همچنین تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی و سپس رها نمودن آب‌ها به سیستم آب‌های زیرزمینی در دستور کار دست اندرکاران قرار گیرد و برای کنترل مداوم نشست زمین، ایستگاه‌های اندازه‌گیری جی پی اس<sup>۱</sup> در محدوده دشت گسترش یابد.

## - راهکارهای مقابله با فرونشست

به عنوان راهکار دراز مدت بر مبنای تجربه سایر کشورها چاره‌ای جز اصلاح روش‌های مدیریت منابع آب وجود ندارد و تا زمان باقی است باید به سوی آن حرکت کرد. اما تا آن هنگام و به عنوان راهکار فوری و اضطراری دست کم می‌توان به جلوگیری از ادامه فعالیت استفاده کنندگان غیر مجاز و چاه‌های حفر شده به این طریق (که در بسیاری

1 GPS

موارد تعداد آنها از چاه‌های مجاز بیشتر است) مبادرت ورزید. در غیر این صورت و با روند موجود ضمن از دست دادن بخش عظیمی از منابع آب برای همیشه، پدیده‌هایی نظیر فروچاله‌ها و فرونشست‌های ناحیه‌ای با ابعاد نامعلوم و با آسیب‌های جبران ناپذیر، باز هم بوقوع خواهد پیوست.

فرونشست‌ها و پیامدهای ناخوشایند آن، شوربختانه سرشتی بازگشت ناپذیر دارند و به سختی می‌توان آنها را کند و مهار نمود. شالوده هر پروژه ملی برای رویارویی با خطر فرونشست بر سه اصل پیش بینی، تشخیص و پایش استوار است که مدیریت درست منابع آب، نقش کلیدی در جلوگیری از رخداد این پدیده دارد. فرآیند پیش بینی و تشخیص بر پایه داده‌های حاصل از چاه پیمایی، آزمون‌های ژئوفیزیکی و داده‌های زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی برای پیش بینی و اندازه‌گیری میزان نشست خاک و تخلخل مفید و پتانسیل تراکم پذیری آن می‌باشد. از سوی دیگر همان‌گونه که بیان گردید پایش، مکان یابی و اندازه‌گیری میزان فرونشست می‌تواند با روش‌های نوین نقشه برداری و دورسنجی انجام پذیرد.

با بررسی ویژگی‌های ژئوتکنیکی منطقه و مطالعات آزمایشگاهی در نهایت پهنه‌بندی زون‌های فرونشست نتایج حاصله از این تحقیق به شرح ذیل می‌باشد:

- ۱- میزان افت سطح آب زیرزمینی در قسمت‌های شمالی و جنوب غربی بیشتر از سایر قسمت‌ها بوده، لذا فرونشست ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در این مناطق زیاد است.
- ۲- استعداد روانگرایی قسمت‌های شرقی و شمال شرقی محدوده مورد مطالعه بیشتر از سایر قسمت‌ها بوده و ورعده شاخص روانگرایی محاسبه شده برای آنها بین ۵-۰ می‌باشد.
- ۳- مطابق نقشه خطر پذیری تهیه شده، مناطق خطر پذیر بیشتر در قسمت‌های شمال غربی، جنوب شرقی و بخش‌هایی از جنوب غربی منطقه پژوهش قرار گرفته است.
- ۴- فعالیت و پتانسیل تورمی رس‌های قسمت‌های مرکزی و جنوبی منطقه بیشتر از سایر قسمت‌ها بوده و با افزایش ژرفا فعالیت آن‌ها افزایش می‌یابد.

۵- نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل هیدروگراف واحد و تغییرات به وجود آمده در حجم ذخیره آبی آبخوان و شواهد آن نشان می‌دهد که تراز سطح آب زیرزمینی دشت فیروزق در طی دوره ۱۲ ساله به میزان ۰/۰۴ متر کاهش داشته است. نقشه پهنه‌بندی افت آب‌های زیرزمینی دشت بیانگر آن است که ۱۰ درصد از مساحت دشت در پهنه افت خیلی زیاد، ۲۹ درصد در پهنه افت زیاد، ۳۳ درصد در پهنه افت متوسط و ۲۸ درصد در پهنه افت کم قرار دارند و پهنه‌های متوسط تا خیلی زیاد بیش از ۷۲ درصد مساحت دشت را به خود اختصاص می‌دهد. این وضعیت بیانگر شرایط بحرانی به لحاظ افت آب‌های زیرزمینی است که می‌تواند شرایط فرونشینی را تشدید نماید. برداشت بیش از اندازه آب‌های زیرزمینی در قسمت‌های شمالی، غربی و جنوب غربی، تراکم و بارگذاری



فزاینده به خصوص در سال‌های اخیر به دلیل ساخت‌وساز در و وجود سازندهای آبرفتی کواترنری در بخش‌های وسیعی از دشت که با افت آب‌های زیرزمینی و خالی شدن فضای بین رسوبات همراه می‌باشد احتمال فرونشینی در این دشت را در آیند بیشتر خواهد کرد.

#### کتابنامه

- خدابنده، علی‌اکبر؛ ۱۳۸۷. نقشه زمین‌شناسی چهارگوش سلماس مقیاس. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور
- خدابنده، علی‌اکبر؛ امینی فضل، عباس؛ ۱۳۷۲. نقشه زمین‌شناسی چهارگوش تسوج مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- رادفر، جواد؛ امینی، بابک؛ ۱۳۸۰. نقشه زمین‌شناسی چهارگوش خوی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح؛ ۱۳۷۶. نقشه توپوگرافی ایواوغلی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، چاپ دوم.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح؛ ۱۳۷۶. نقشه توپوگرافی خوی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، چاپ دوم.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح؛ ۱۳۷۶. نقشه توپوگرافی دیزج مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، چاپ دوم.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح؛ ۱۳۷۶. نقشه توپوگرافی شکرپازی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، چاپ دوم.

Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonic of Iran: A review, American Association of Petroleum Geologists bulletin American Association of Petroleum Geologists bulletin, 52, 1229-1258.