





هیدروژنولوژی و تحلیل فرونشست دشت کردی شیرازی در استان هرمزگان

نگارنده: سیده محدثه موسوی

اساتید راهنما:

دکتر هادی جعفری

دکتر علی اکبر مومنی

استاد مشاور:

جهانگیر سپهری

بهمن ۱۳۹۶

شماره:

تاریخ:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم سیده محدثه موسوی با شماره دانشجویی ۹۴۱۷۰۹۴ رشته زمین شناسی گرایش آبشناسی تحت عنوان هیدروژئولوژی و تحلیل فرونشست دشت کردی شیرازی در استان هرمزگان که در تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

☐ مردود ☒ قبول (با درجه: <u>خیلی خوب</u>)			
نوع تحقیق: ☐ نظری ☒ عملی			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر هادی جعفری	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر علی اکبر مومنی	استادیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر پرویز امیدی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر غلامحسین کرمی	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر رحیم باقری	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر مرتضی زاهدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۶/۱۱/۲۱



تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).



تقدیم بہ خدایٰ کہ آفرید



تقدیر و تشکر

تأش و سپاس بیکران از آن خدایی است که باروشن کردن چراغ دانش در روح و اندیشه انسان، همراه همیشگی او در راهی از جهل و تاریکی بوده است.

صمیمانه تشکر خود را به اساتید محترم جناب آقای دکتر مادی جعفری و جناب آقای دکتر علی اکبر مومنی تقدیم می‌کنم که مرا از راهبانی ارزشمند خود بهره‌مند ساختند و از هیچ کمک و مساعدتی دریغ نفرمودند.

از جناب آقای مهندس جهانگیر سپهری که در طی این مدت، همواره از کمک و راهنمایی ایشان استفاده برده‌ام کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم. همچنین از اساتید فرزانه و دلسوز جناب آقایان دکتر غلامحسین کرمی و دکتر رحیم باقری که علاوه بر زحمات بی‌دریغشان در طول دوره کارشناسی ارشد، داور این پایان‌نامه را نیز پذیرفتند سپاسگزار باشم.

در پایان از خانواده محترم خودم، جناب آقای مهندس ایدون، مهندس شمس‌الدینی، مهندس دهقانی و همچنین از دوستان گرامی که در تمام مراحل انجام پایان‌نامه، نهایت کمک و همیاری را نموده‌اند، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

سیده محدثه موسوی

بهمن ۱۳۹۶

تعهد نامه

اینجانب سیده محدثه موسوی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی گرایش آب شناسی از دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان **هیدروژئولوژی و تحلیل فرونشست دشت کردی شیرازی در استان هرمزگان** تحت راهنمایی آقایان دکتر هادی جعفری و دکتر علی اکبر مومنی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیر گذار بوده اند، در مقالات مستخرج از این پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) مربوط به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

استفاده از آب‌های زیرزمینی در کشور ما که از نظر اقلیمی دارای وضعیت خشک تا نیمه‌خشک می‌باشد حائز اهمیت است. بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی به ویژه در این مناطق اثرات منفی زیست محیطی نظیر فرونشست زمین را به دنبال داشته است. محدوده دشت کردی شیرازی به مساحت $131/6$ کیلومتر مربع، جزء بخش رودخانه از توابع شهرستان رودان بوده که در شمال شرقی استان هرمزگان قرار دارد. در دشت کردی شیرازی بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی توسط چاه‌های کشاورزی انجام می‌گیرد. بررسی سطح آب زیرزمینی در پی‌زومترهای موجود در دشت نشان می‌دهد که متوسط ارتفاع سطح آب زیرزمینی دشت از 500 متر در سال 1378 به $464/5$ متر در سال 1394 کاهش یافته است. تغییرات سطح آب زیرزمینی در طی این دوره 16 ساله، $35/5$ متر افت را نشان می‌دهد. همچنین نتایج بدست آمده از بیلان آب زیرزمینی برای سال آبی $(94-1393)$ نشان می‌دهد که آبخوان در این سال آبی با کسری حدود $2/6$ میلیون متر مکعب مواجه است. توسعه کشاورزی و برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی موجب شده که دشت کردی شیرازی جز دشت‌های ممنوعه بحرانی استان قرار گیرد. افت زیاد سطح آب زیرزمینی باعث اعمال تنش زیادی به رسوبات تشکیل دهنده آبخوان شده و تراکم و نشست را در برداشته است. به طوری که یک شکاف بزرگ به طول 468 متر در سال 1394 در بخش شمال غربی دشت ظاهر شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد دو عامل افت سطح آب زیرزمینی و تغییرات ضخامت لایه ریزدانه رسی موجب نشست نامتقارن، ایجاد منطقه کششی و در نتیجه رخداد شکاف شده است. با توجه به این عوامل ارزیابی خطر فرونشست زمین در دشت کردی شیرازی شامل سه پهنه پر خطر، متوسط و کم خطر انجام گردید.

کلید واژه: افت سطح ایستابی، بیلان آب زیرزمینی، فرونشست زمین، دشت کردی شیرازی.

لیست مقاله‌های برگرفته از پایان‌نامه

- بررسی مخاطرات زیست محیطی ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در دشت کردی شیرازی، استان هرمزگان، چهارمین کنفرانس ملی دستاوردهای اخیر در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، تهران، ۱۳۹۶
- بررسی افت سطح آب زیرزمینی و فرونشست زمین در دشت کردی شیرازی، استان هرمزگان، پنجمین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۶

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق	۲
۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه	۲
۱-۳- آب و هوای منطقه مورد مطالعه	۳
۱-۳-۱- ضریب اقلیمی دمارتن	۵
۱-۳-۲- نمودار امپروترمیک	۶
۱-۴- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه	۶
۱-۴-۱- چینه‌شناسی در محدوده مورد مطالعه	۷
۱-۴-۱-۱- پالئوزوئیک- مزوزوئیک	۷
۱-۴-۱-۲- سنوزوئیک	۹
۱-۴-۲- زمین‌شناسی ساختمانی	۹
۱-۴-۳- ژئومورفولوژی منطقه	۱۰

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین

۱-۲- مقدمه	۱۴
۲-۲- عوامل مؤثر بر نوسانات سطح آب زیرزمینی	۱۴
۳-۲- افت سطح آب زیرزمینی	۱۵
۱-۳-۲- کاهش کیفیت آب زیرزمینی	۱۷
۲-۳-۲- فرونشست	۱۷
۱-۲-۳-۲- مکانسیم ایجاد نشست زمین	۱۸
۲-۲-۳-۲- رابطه افت سطح ایستابی و فرونشست زمین	۲۰
۲-۲-۳-۳- رابطه افت سطح ایستابی و رخداد شکاف	۲۳

فصل سوم: روش انجام کار

۱-۳- مقدمه	۲۶
------------------	----

۲-۳-۲- جمع‌آوری داده‌های کمی آب زیرزمینی و هواشناسی	۲۶
۳-۲-۱- ترسیم نقشه‌های هم‌پتانسیل و هم‌عمق و افت سطح آب زیرزمینی آبخوان کردی شیرازی	۲۶
۳-۲-۲- بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی و هیدروگراف معرف دشت	۲۶
۳-۲-۳- تعیین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان	۲۷
۳-۲-۴- ارزیابی بیلان آب زیرزمینی	۲۷
۳-۳- تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمیایی	۲۸
۳-۴- بازدید صحرایی و بررسی رخداد فرونشست در دشت	۲۹
۳-۵- تحلیل داده‌های ژئوفیزیک	۲۹
۳-۶- ترسیم نقشه هم‌افت سطح ایستایی	۲۹
۳-۷- ترسیم نقشه تغییرات ضخامت	۲۹
۳-۸- بررسی مکانسیم رخداد شکاف	۲۹

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و تحلیل فرونشست دشت کردی شیرازی

۴-۱- مقدمه	۳۲
۴-۲- دشت کردی شیرازی	۳۲
۴-۳- خصوصیات آبخوان کردی شیرازی	۳۳
۴-۳-۱- آبخوان کردی شیرازی	۳۳
۴-۳-۲- موقعیت و مشخصات منابع آبی	۳۴
۴-۳-۳- ترسیم نقشه هم‌پتانسیل	۳۵
۴-۳-۴- ترسیم نقشه هم‌عمق	۳۷
۴-۳-۵- بررسی افت سطح آب زیرزمینی	۳۹
۴-۳-۶- بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی	۴۰
۴-۳-۷- ترسیم هیدروگراف معرف	۴۲
۴-۳-۸- محاسبه ضرایب هیدرودینامیک آبخوان دشت کردی شیرازی	۴۴
۸-۳-۴-۱- تعیین قابلیت انتقال	۴۴

۴۶	 ۲-۸-۳-۴ - تعیین آبدهی ویژه
۴۷	 ۴-۳-۹- بیلان آب زیرزمینی
۴۷	 ۱-۹-۳-۴- محدوده بیلان آب زیرزمینی
۴۸	 ۲-۹-۳-۴- دوره زمانی بیلان
۴۸	 ۲-۹-۳-۴- پارامترهای مختلف بیلان
۵۳	 ۴-۳-۱۰- بررسی کیفی آب زیرزمینی
۵۴	 ۱-۱۰-۳-۴- هدایت الکتریکی منابع آب زیرزمینی در آبخوان کردی شیرازی
۵۴	 ۲-۱۰-۳-۴- تغییرات pH منابع آب زیرزمینی در آبخوان کردی شیرازی
۵۷	 ۳-۱۰-۳-۴- یون‌های اصلی در آبخوان کردی شیرازی
۶۱	 ۴-۱۰-۳-۴- منشأ یون‌ها در منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی
۶۳	 ۴-۱۰-۳-۵- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی منابع آب زیرزمینی در دشت کردی شیرازی
۶۶	 ۶-۱۰-۳-۴- بررسی کیفیت آب زیرزمینی از نظر کشاورزی
۶۸	 ۴-۴-۱- موقعیت جغرافیایی و مشخصات هندسی شکاف اصلی در محدوده مورد مطالعه
۶۹	 ۴-۴-۲- عوامل مؤثر بر فرونشست زمین در دشت کردی شیرازی
۷۰	 ۱-۲-۴-۴- افت سطح ایستابی و ایجاد تنش
۷۲	 ۲-۲-۴-۴- بررسی تغییرات جنس و ضخامت رسوبات در دشت کردی شیرازی
۷۳	 ۴-۴-۳- مکانسیم رخداد شکاف اصلی در دشت کردی شیرازی
۷۵	 ۴-۴-۴- آثار و عوارض نشست زمین در دشت
۷۷	 ۴-۴-۵- ارزیابی خطرپذیری نشست زمین در دشت

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۸۲	 ۵-۱- مقدمه
۸۲	 ۵-۲- نتایج
۸۴	 ۵-۳- پیشنهادها
۸۶	 منابع

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱: موقعیت محدوده مطالعاتی و راه‌های دسترسی دشت کردی شیرازی ۴
- شکل ۲-۱: منحنی آمپروترمیک محدوده کردی شیرازی در یک دوره ۱۳ ساله (۱۳۸۱-۹۴) ۷
- شکل ۳-۱: نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز کردی شیرازی ۱۱
- شکل ۱-۲: کاهش حجم لایه ریزدانه و نازک شدن آن در اثر زهکشی ۱۹
- شکل ۲-۲: رابطه بین تنش موثر و فشار آب منفذی ۱۹
- شکل ۳-۲: مقایسه بین تغییر شکل قائم رس و ماسه ۲۰
- شکل ۱-۳: موقعیت پیزومترهای حفر شده در آبخوان کردی شیرازی ۲۷
- شکل ۲-۳: نقشه موقعیت نمونه‌برداری کیفی از منابع آب زیرزمینی در محدوده آبخوان کردی شیرازی ۲۸
- شکل ۱-۴: محدوده آبخوان در حوضه آبریز دشت کردی شیرازی ۳۳
- شکل ۲-۴: موقعیت چاه‌های کشاورزی در آبخوان کردی شیرازی ۳۵
- شکل ۳-۴: نقشه هم‌پتانسیل آبخوان دشت کردی شیرازی (آبان ۹۳) ۳۷
- شکل ۴-۴: نقشه هم‌عمق سطح ایستابی آبخوان دشت کردی شیرازی (آبان ۷۸) ۳۸
- شکل ۵-۴: نقشه هم‌عمق سطح ایستابی آبخوان دشت کردی شیرازی (آبان ۹۳) ۳۸
- شکل ۶-۴: مقدار افت کل سطح آب زیرزمینی در محل پیزومترهای دشت کردی شیرازی (۹۴-۱۳۷۸) ۳۹
- شکل ۷-۴: هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان دشت کردی شیرازی ۴۱
- شکل ۸-۴: نقشه تیسن آبخوان کردی شیرازی ۴۳
- شکل ۹-۴: هیدروگراف معرف آبخوان دشت کردی شیرازی ۴۳
- شکل ۱۰-۴: لاگ حفاری پیزومترها در دشت کردی شیرازی ۴۵
- شکل ۱۱-۴: مقادیر آبدهی ویژه آبخوان کردی شیرازی، تعیین شده بر اساس بافت غالب رسوبات در لاگ پیزومترها ۴۸

- شکل ۴-۱۲: نقشه هم‌پتانسیل آبخوان کردی شیرازی ۵۰
- شکل ۴-۱۳: تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در آبخوان کردی شیرازی ۵۶
- شکل ۴-۱۴: تغییرات مکانی pH در آبخوان کردی شیرازی ۵۶
- شکل ۴-۱۵: نمودار شولر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی ۵۷
- شکل ۴-۱۶: نمودار استیف چاه‌های انتخابی دشت کردی شیرازی ۵۸
- شکل ۴-۱۷: نمودار پایپر چاه‌های انتخابی دشت کردی شیرازی ۶۰
- شکل ۴-۱۸: رابطه یون سدیم و کلر در منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی ۶۱
- شکل ۴-۱۹: رابطه یون کلسیم و سولفات در منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی ۶۲
- شکل ۴-۲۰: رابطه یون کلسیم و بی‌کربنات در منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی ۶۳
- شکل ۴-۲۱: روند تغییرات هدایت الکتریکی نسبت به زمان در منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی ۶۵
- شکل ۴-۲۲: نمودار ویلکوکس نمونه‌های دشت کردی شیرازی ۶۷
- شکل ۴-۲۳: موقعیت و الگوی هندسی شکاف‌های ایجاد شده در دشت کردی شیرازی ۶۹
- شکل ۴-۲۴: تصاویری از شکاف اصلی ایجاد شده در دشت کردی شیرازی در نقاط مختلف ۷۰
- شکل ۵-۲۵: افت سطح آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف دشت کردی شیرازی (۱۳۷۸-۹۴) ۷۱
- شکل ۴-۲۶: نقشه تغییرات ضخامت آبرفت دشت کردی شیرازی ۷۳
- شکل ۴-۲۷: مقطع AA⁻ در دشت کردی شیرازی ۷۴
- شکل ۴-۲۸: مقطع BB⁻ در دشت کردی شیرازی ۷۴
- شکل ۴-۲۹: مدل نشست زمین در محدوده شکاف ایجاد شده در دشت کردی شیرازی ۷۶
- شکل ۴-۳۰: از بین رفتن درختان در جنگل مور دشت کردی شیرازی ۷۷
- شکل ۴-۳۱: نقشه پهنه‌بندی خطر در دشت کردی شیرازی ۷۸

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۱: آمار بارندگی و درجه حرارت مربوط به دوره ۱۳ ساله (۱۳۸۱-۹۴) ۵
- جدول ۱-۲: طبقه بندی دما رتن ۶
- جدول ۴-۱: چاه های بهره برداری در دشت کردی شیرازی و مشخصات آنها ۳۴
- جدول ۴-۲: مشخصات پیزومترهای حفر شده در دشت کردی شیرازی و ارتفاع سطح ایستابی ۳۶
- جدول ۴-۳: افت سالانه سطح ایستابی در محل پیزومترهای حفر شده در دشت کردی شیرازی ۳۹
- جدول ۴-۴: مقادیر تخمینی هدایت هیدرولیکی رسوبات مختلف ۴۶
- جدول ۴-۵: مقادیر هدایت هیدرولیکی براساس بافت رسوبات (زیر سطح ایستابی) در لاگ پیزومترها و قابلیت انتقال آبخوان کردی شیرازی ۴۶
- جدول ۴-۶: تخمین آبدهی ویژه صحرایی براساس بافت های غالب رسوبات ۴۷
- جدول ۴-۷: مشخصات مقاطع ورودی آب زیرزمینی به آبخوان و محاسبه جریان ۵۱
- جدول ۴-۸: محاسبه بیلان آبخوان دشت کردی شیرازی در سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ ۵۳
- جدول ۴-۹: پارامترهای شیمیایی در چاه های انتخابی دشت کردی شیرازی (۱۳۹۴) ۵۵
- جدول ۴-۱۰: شاخص اشباع نسبت به کانی های مختلف در منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی ۶۴
- جدول ۴-۱۱: کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی از نظر کشاورزی ۶۸

فصل اول

مقدمه

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

آب سرچشمه حیات است. در واقع هستی همه موجودات زنده کره زمین به آب بستگی دارد. امروزه افزایش مصرف آب به دلیل گسترش جوامع بشری سبب کاهش منبع آب گردیده است. با توجه به قرار گرفتن ایران در نواحی خشک و نیمه خشک میزان بارندگی و حجم آبهای شیرین ایران به اندازه کافی نیست و نزولات جوی در همه جا یکسان نمی‌باشد. متوسط بارندگی در ایران حدود ۲۴۰ میلی‌متر در سال است که در مقایسه با متوسط سالانه بارندگی کره زمین که حدود ۸۶۰ میلی‌متر می‌باشد، رقمی کمتر از یک سوم متوسط بارندگی در دنیا را تشکیل می‌دهد. البته همه این بارندگی‌ها به عنوان آب زیرزمینی ذخیره نمی‌شوند. از این رو مطالعه آب‌های زیرزمینی از این جنبه اهمیت داشته که از منابع اصلی و کلیدی آب شرب به شمار می‌رود و برای زندگی بشر بسیار ضروری است. سفره‌های آب زیرزمینی ذخایر ارزشمندی هستند که در زمان‌های طولانی تشکیل شده‌اند. بهره‌برداری آنها باید بر اساس اصول صحیح علمی و متناسب با ظرفیت آبخوان‌ها صورت گیرد. پمپاژ بی‌رویه آب از سفره‌های آب زیرزمینی باعث افت سطح آب و متراکم شدن لایه‌ها و رسوبات شده است. این پدیده باعث نشست سطح زمین به صورت ناگهانی (در سفره‌های ماسه ای) و یا به طور تدریجی (در سفره‌های رسی) می‌گردد.

دشت کردی شیرازی یکی از دشت‌های حاصل خیز استان هرمزگان می‌باشد. کاهش بارندگی و خشکسالی - های اخیر در دشت کردی شیرازی و همچنین بهره‌برداری بیش از حد منابع آب زیرزمینی باعث افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان شده و سبب فرونشست زمین، ایجاد شکاف و ترک‌هایی در منطقه شده است. لذا هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی هیدروژئولوژی، و تجزیه و تحلیل فرونشست دشت کردی شیرازی در راستای مدیریت منابع آب منطقه و جلوگیری از فرونشست بیشتر در این آبخوان می‌باشد.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی دشت کردی شیرازی جزء بخش رودخانه از توابع شهرستان رودان بوده که در شمال شرقی استان هرمزگان واقع شده است. این محدوده بین طول‌های جغرافیایی $57^{\circ}21'49''$ تا $57^{\circ}35'$ شرقی

و عرض‌های جغرافیایی $27^{\circ}44'11''$ تا $27^{\circ}52'04''$ شمالی قرار دارد (شکل ۱-۱). حوضه آبریز کردی شیرازی به صورت یک حوضه بسته می‌باشد. وسعت این حوضه آبریز $131/6$ کیلومتر مربع می‌باشد که از این مقدار $32/9$ کیلومتر مربع دشت با ارتفاع بین 526 تا 590 متر و $98/7$ کیلومتر مربع ارتفاعات با ارتفاع بین 600 تا 1450 متر می‌باشد. طبق مطالعات ژئوفیزیک و هیدروژئولوژی، دشت کردی شیرازی به صورت یک ناودیس مستطیل شکل با محور تقریباً شمالی- جنوبی می‌باشد. ضخامت رسوبات آبرفتی در دشت متغیر بوده و بین 50 تا 200 متر می‌باشد. این دشت فاقد چشمه، قنات و رودخانه دائمی می‌باشد.

۱-۳- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی وضعیت اقلیمی منطقه مورد مطالعه از آمار 13 ساله ($1381-94$) داده‌های ایستگاه باران سنجی نازدشت و تبخیر سنجی سرکم استفاده گردید. داده‌های هواشناسی در جدول (۱-۱) ارائه شده است. با توجه به جدول (۱-۱) حداکثر بارندگی در بهمن ماه برابر 117 میلی‌متر می‌باشد. با توجه به جدول (۱-۱)، حداکثر دما در تیر ماه برابر 45 درجه سانتی‌گراد و حداقل دما در دی ماه برابر $1/6$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

متوسط بارندگی سالانه 156 میلی‌متر و متوسط دمای سالانه $24/9$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با توجه به آمار و اطلاعات ارائه شده در ایستگاه نازدشت بیشترین میزان بارندگی مربوط به سال آماری $1383-84$ با مقدار $348/5$ میلی‌متر و حداقل میزان آن مربوط به سال آماری $1382-83$ با مقدار 47 میلی‌متر می‌باشد. جهت بررسی وضعیت اقلیمی از ضرایب و نمودارهای مختلفی بسته به نوع شرایط آب و هوایی استفاده می‌شود. در این مطالعه از ضریب اقلیمی دمارتن و نمودار امپروترمیک استفاده شده است.

جدول ۱-۱: آمار بارندگی و درجه حرارت مربوط به دوره ۱۳ ساله (۱۳۸۱-۹۴)

(شرکت آب منطقه‌ای استان هرمزگان)

دما (درجه سانتی‌گراد)			بارندگی (میلی‌متر)			زمان (ماه)
میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	
۲۸/۵	۱۴/۴	۴۰/۳	۰/۵	۰/۰	۶	مهر
۲۲/۸	۱۱/۲	۳۳/۸	۴/۳	۰/۰	۱۸/۵	آبان
۱۶/۱	۲/۲	۲۹/۴	۱۶	۰/۰	۳۰/۵	آذر
۱۳/۱	۱/۶	۲۵/۱	۳۲/۲	۳	۱۰۵	دی
۱۵	۳/۴	۲۶/۷	۴۳/۹	۰/۰	۱۱۷	بهمن
۱۷/۸	۷/۳	۳۲/۲	۳۱/۶	۰/۰	۹۴	اسفند
۲۳/۳	۱۲/۳	۳۵/۲	۱۲/۲	۰/۰	۶۴	فروردین
۲۹	۱۷	۴۱/۸	۰/۰	۰/۰	۰/۰	اردیبهشت
۳۲/۹	۲۰/۶	۴۴/۳	۰/۲۹	۰/۰	۴	خرداد
۳۴/۳	۲۲/۹	۴۵	۰/۲	۰/۰	۳	تیر
۳۳/۸	۲۱/۸	۴۴/۵	۶/۳	۰/۰	۳۱	مرداد
۳۲/۲	۲۰/۷	۴۳/۲	۸/۹	۰/۰	۵۹	شهریور
۲۴/۹			۱۵۶			متوسط سالانه

۱-۳-۱- ضریب اقلیمی دمارتن (De Martonne)

دمارتن با توجه به متوسط بارندگی و دمای سالانه، ضریب اقلیمی (I) را بر اساس رابطه (۱-۱) ارائه نموده است. مقدار این ضریب اقلیمی، نوع آب و هوای منطقه را مشخص می‌کند (علیزاده ۱۳۹۰).

$$I = P / (T + ۱۰) \quad \text{رابطه (۱-۱)}$$

در این رابطه، P متوسط بارندگی (mm) و T متوسط دمای سالانه (°C) می‌باشد.

$$I = ۱۴۹/۸۵ / (۲۴/۹ + ۱۰) = ۴/۳$$

نوع آب و هوای منطقه بر اساس رابطه دمارتن در جدول (۱-۲) ارائه شده است. ضریب اقلیمی دمارتن برای دشت کردی شیرازی ۴/۳ محاسبه شده است. بر اساس جدول (۱-۲) اقلیم منطقه از نوع خشک می باشد.

جدول ۱-۲: طبقه بندی دمارتن

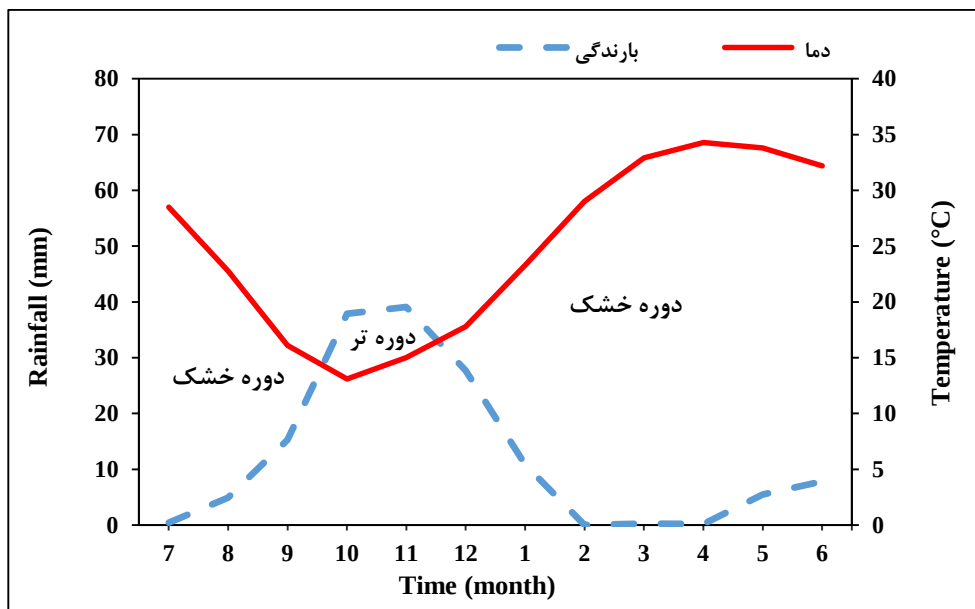
نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دمارتن (I)
خشک	کوچتر از ۱۰
نیمه خشک	۱۰ تا ۱۹/۹
مدیترانه ای	۲۰ تا ۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگتر از ۳۵

۲-۳-۱- نمودار امبروترمیک (Embrotthermic)

نمودار امبروترمیک منطقه بر اساس متوسط دما و بارندگی ماهانه ترسیم و در شکل (۱-۲) ارائه شده است. بر اساس این نمودار در ماههای بهمن و اسفند بارندگی بر دما فزونی دارد و دوره مرطوب از می باشد. سایر ماههای سال به عنوان ماههای خشک (دوره خشک) می باشد.

۱-۴- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

بررسی خصوصیات چینه شناسی و سنگ شناسی و تأثیر آنها بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی اهمیت زیادی در مطالعات هیدروژئولوژیکی منطقه دارد. از نظر زمین شناسی محدوده دشت کردی شیرازی در قسمت غربی زون مکران قرار دارد. این محدوده بخشی از مجموعه بجگان محسوب می شود. نقشه زمین شناسی حوضه آبریز کردی شیرازی در شکل (۱-۳) ارائه شده است.



شکل ۱-۲: منحنی امپروترمیک دشت کردی شیرازی در یک دوره ۱۳ ساله (۱۳۸۱-۹۴)

۱-۴-۱- چینه شناسی در محدوده مورد مطالعه

رخنمون‌های سنگی موجود در منطقه مورد مطالعه به ترتیب سن از قدیم به جدید در زیر ارائه شده است. مطالب ارائه شده برگرفته از کتاب زمین‌شناسی ایران (آقاباتی ۱۳۸۳)، نقشه زمین‌شناسی میناب (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) و گزارشات شرکت آب منطقه‌ای استان هرمزگان می‌باشد.

۱-۴-۱-۱- پالئوزوئیک- مزوزوئیک

الف) مجموعه بجگان

مجموعه بجگان بیش از ۴۴/۵ درصد از کل محدوده را پوشانده است و بخشی از یک توالی گسترده سنگ‌های دگرگونی با منشاء رسوبی یا آذرین می‌باشد. در این مجموعه سنگ‌های بازیک دگرگون شده ۶۰ درصد، سنگ‌های رسی و ماسه‌ای ۳۰ درصد، سنگ آهک ۵ درصد و سایر سنگ‌ها ۵ درصد می‌باشد. مجموعه بجگان به دو بخش تفکیک شده و تفکیک نشده تقسیم می‌شود. بخش تفکیک شده شامل b_1 تا b_5 و بخش

تفکیک نشده این مجموعه با علامت (Pzk^b) بر روی نقشه زمین‌شناسی (شکل ۱-۳) مشخص شده است. لیتولوژی بخش تفکیک شده شامل موارد زیر می‌باشد:

b₁: سنگ‌های شیستوزیته بازیگ، شیست ماسه‌ای و رسی، سنگ‌های آهکی - سیلیکاته

b₂: سنگ آهک و مرمر دارای تبلور مجدد همراه با کمی شیست

b₃: آهک و مرمر نازک لایه دارای تبلور مجدد

b₄: سنگ آهک سیلیکاته همراه با شیست رسی و بازی

b₅: شیست ماسه‌ای همراه با کوارتز و مسکوویت

بخش تفکیک نشده مجموعه بجگان شامل شیست رسی، شیست بازیگ، شیست ماسه‌ای، سنگ‌های آهکی - سیلیکاتی، آهک با تبلور مجدد و مرمر می‌باشد. همچنین شامل کلریت شیست، شیست، گارنت میکاشیست، شیست کربن‌دار، شیست مسکوویت - کوارتز - گارنت‌دار و شیست بازیگ اپیدوت - کلریت‌دار می‌باشد. این بخش متعلق به کرتاسه می‌باشد.

ب) واحدهای نفوذی

واحدهای نفوذی دونیت (d) و سرپانتینیت (sr) درون مجموعه بجگان قرار گرفته‌اند. سن این واحدها به طور دقیق مشخص نمی‌باشد. هم‌چنین این واحدهای نفوذی نقش کمتری در نفوذپذیری و تغذیه سفره آب زیرزمینی دارند.

ب-۱) دونیت (d)

دونیت سرپانتینیزه همراه با مقدار کمی ورلیت توسط رگه‌هایی از کرومیت و منیزیت قطع شده‌اند و درون مجموعه بجگان به صورت تکتونیکی نفوذ کرده‌اند. دونیت به صورت توده‌هایی در شرق و جنوب محدوده قابل مشاهده می‌باشد.

ب-۲) سرپانتینیت (sr)

سرپانتینیت تکتونیزه توسط منیزیت قطع شده است و به صورت رگه‌هایی باریک در امتداد گسل جیرفت در قسمت شرق محدوده دشت کردی شیرازی قرار دارند.

۲-۱-۴-۱- سنوزوئیک

الف) کنگلومرا (c)

در قسمت جنوب محدوده کردی شیرازی کنگلومرا به صورت پراکنده و با مساحت کم رخنمون دارد. این کنگلومرا شامل کنگلومرای پلی میکتیک و ماسه سنگ می‌باشد و از نظر نفوذپذیری در حد متوسط بوده و نقشی در تغذیه آبخوان ندارد. این کنگلومرا بخشی از واحد کنگلومرای (Plst) می‌باشد. این رسوبات مربوط به پلیوسن بالایی می‌باشد.

ب) رسوبات آبرفتی (Q)

رسوبات آبرفتی دشت از فرسایش ارتفاعات در طی دوره کواترنر به وجود آمده‌اند. این رسوبات در اثر عوامل مختلف به ویژه جریان آب تشکیل شده‌اند و از نظر دانه‌بندی و ضخامت در نقاط مختلف دشت متفاوت هستند. رسوبات آبرفتی دشت کردی شیرازی شامل مخروط افکنه‌های قدیمی و تراس‌های آبرفتی (Q^{t2}) و رسوبات سیلتی شسته شده (Q^{t2a}) می‌باشد. مخروط افکنه‌های قدیمی و تراس‌های آبرفتی در قسمت شرق و جنوب کردی شیرازی قرار گرفته‌اند و دانه‌بندی آنها شامل شن، ماسه، سیلت و رس می‌باشد. رسوبات سیلتی شسته شده (Q^{t2a}) در قسمت شمال و مرکز و شرق می‌باشند.

۲-۴-۱- زمین‌شناسی ساختمانی

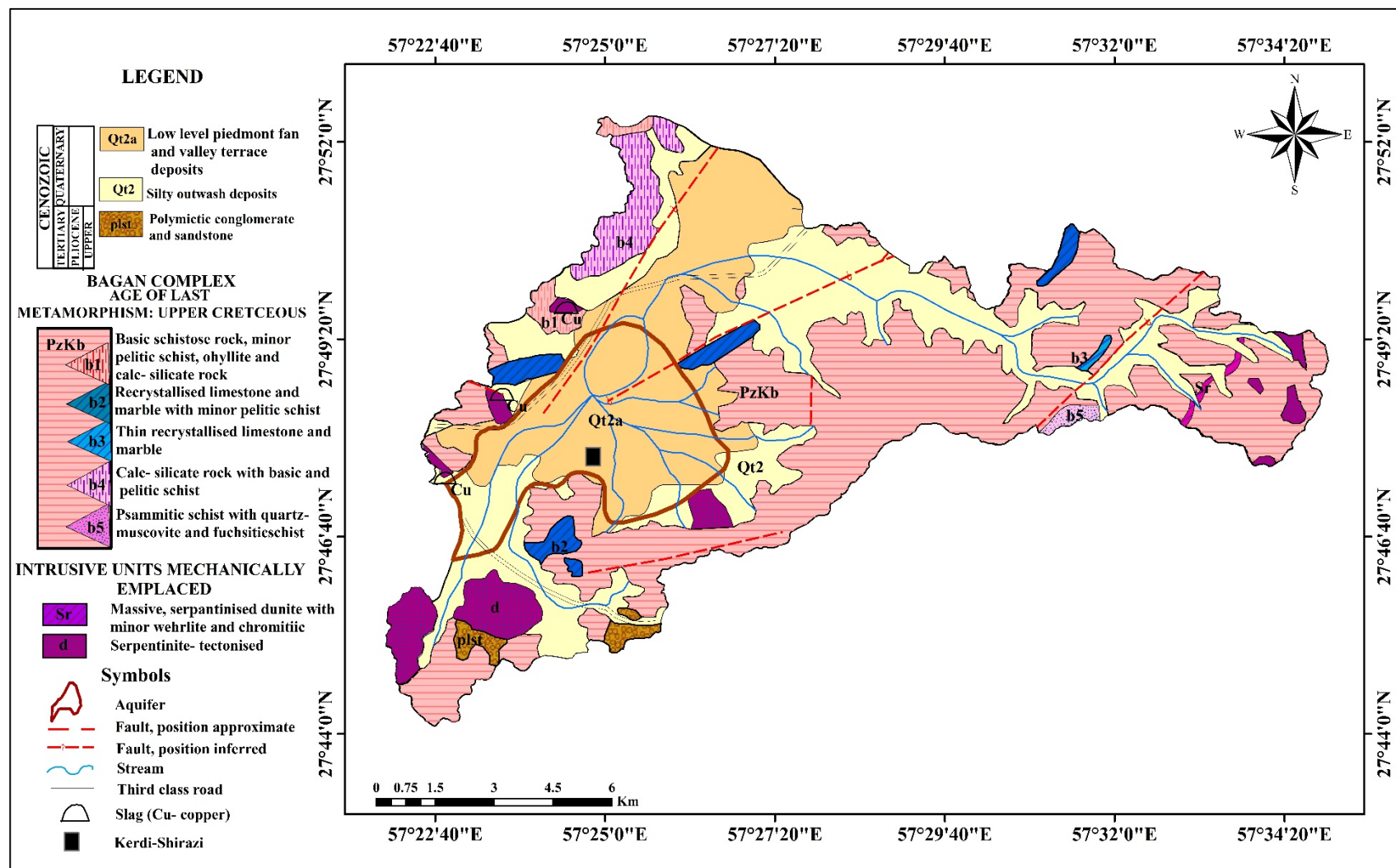
از نظر تکتونیکی محدوده مورد مطالعه در زون تکتونیزه و دگرگون شده مکران قرار دارد. این محدوده تاکنون چندین فاز دگرگونی را پشت سر گذاشته است و در آن هیچ گونه فسیلی وجود ندارد. بر اساس

مطالعات سنیابی از طریق رادیومتری بر روی کانی‌های موجود در سنگ‌ها، آخرین فاز دگرگونی در محدوده دشت کردی شیرازی مربوط به کرتاسه فوقانی می‌باشد.

در منطقه مورد مطالعه چندین گسل در قسمت‌های شمال، شرق، جنوب و مرکز با راستای NE-SW و در غرب با راستای NW-SE وجود دارد. گسل‌های موجود در منطقه مجموعه بجان را تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش نفوذپذیری آنها شده است.

۳-۴-۱- ژئومورفولوژی منطقه

در محدوده دشت کردی شیرازی مجموعه بجان تقریباً نیمی از محدوده را در بر گرفته است. ارتفاعات محدوده در قسمت‌های شرق، جنوب و غرب می‌باشد. در میان این ارتفاعات دشت کردی شیرازی با ارتفاعی در حدود ۵۲۶ تا ۵۹۰ متر از سطح دریا قرار دارد. بلندترین نقطه ارتفاعی کوه میش‌پدام به ارتفاع ۱۱۸۰ متر در جنوب منطقه مورد مطالعه قرار دارد. کوه حسین آباد در قسمت جنوب و کوه سرخ در غرب منطقه قرار دارند. با توجه به اینکه دشت در بین ارتفاعات قرار گرفته، شیب توپوگرافی دشت از سمت جنوب به سمت شمال دشت کاهش می‌یابد. مسیل‌های موجود در منطقه به سمت شمال و مرکز متمرکز می‌شود و نقش مؤثری در تغذیه آبخوان دارند.



شکل ۳-۱: نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز کردی شیرازی

فصل دوم

مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه

امروزه با توجه به رشد روز افزون جمعیت و کمبود منابع آب سطحی، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به منظور مصارف مختلف کشاورزی، صنعتی و آشامیدنی پیامدهای نامطلوبی را وارد کرده است. از جمله این پیامدها که در اثر برداشت بیش از حد منابع آب و بنابراین افت سطح آب زیرزمینی حادث شده می‌توان به پدیده فرونشست اشاره کرد. در این فصل تئوری تحقیق و نتایج مطالعات پیشین در خصوص عوامل تأثیر گذار بر نوسانات سطح آب زیرزمینی و پدیده فرونشست ارائه می‌گردد.

۲-۲- نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در نوسانات سطح آب زیرزمینی عوامل عمده‌ای مانند افزایش یا کاهش مقدار بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، تغییرات میزان تغذیه آب زیرزمینی از طریق تغییرات بارش و یا تغییرات دمایی تأثیر گذار هستند. نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت کاشمر بر اساس هیدروگراف معرف در طی سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۸۶، دارای روند نزولی بوده است. در طی این سال‌ها سطح ایستابی حدود ۲۱/۵ متر افت نموده است و متوسط افت سالیانه، در طی این دوره ۲۶ ساله حدود ۰/۸ متر محاسبه شده است (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۷). بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی در آبخوان هرات نشان می‌دهد که سه عامل بارندگی، دما و برداشت از منابع آب زیرزمینی بر روند نوسانات مؤثر بوده است. نتایج نشان می‌دهد افزایش دما و کاهش بارندگی باعث شیب زیاد افت سطح آب زیرزمینی در این آبخوان شده است. همچنین برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی سبب ایجاد نوسانات بلند مدت و افت سطح آب زیرزمینی شده است (مسموعی و همکاران، ۱۳۹۳). در مرکز تایوان، نوسانات سطح آب زیرزمینی بررسی شده و مهمترین عامل در نوسانات سطح آب زیرزمینی، بارش معرفی شده است. به طوری که یک رابطه خطی بین سطح آب زیرزمینی و میزان بارندگی مؤثر وجود دارد. در افزایش سطح آب زیرزمینی، میزان بارندگی مؤثر تغذیه شده نقش داشته است (Jan and Chen, 2007). در ترنگانیو (Terengganu) مالزی تأثیر بارندگی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در طول این سال‌ها بارندگی افزایش یافته، اما این افزایش به صورت خطی نیست. نتایج نشان می‌دهد که

حداکثر بارندگی در اکتبر تا دسامبر رخ داده و حداقل بارندگی در طول ماه‌های ژانویه تا سپتامبر ثبت شده است. نوسانات سطح آب زیرزمینی ماهانه نشان می‌دهد که بارش باران، رواناب و نفوذ در تغذیه سطح آب در ترنگانیو (Terengganu) تأثیرگذار بوده است (Abdullahi and Garba, 2015).

۲-۳- افت سطح آب زیرزمینی

نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد در مناطقی که تغییرات سطح آب زیرزمینی مرتبط با برداشت بی‌رویه از منابع آبی می‌باشد، این تغییرات اغلب همراه با افت سطح آب زیرزمینی می‌باشند. به عنوان مثال میزان افت و بالا آمدگی سطح آب‌های زیرزمینی در دشت شهریار (جنوب غربی تهران) در طی سال‌های ۸۳-۱۳۴۸ در بخش‌های مختلف دشت بررسی گردید. در قسمت شمال شرقی میزان تغییرات سطح ایستابی ناچیز بوده و صفر در نظر گرفته شده است. در قسمت شمال غربی دشت سطح ایستابی روند کاهشی داشته و به طور متوسط ۲۰ متر سطح آب زیرزمینی افت داشته است. بیشترین افت در این دشت حوالی یافت آباد حدود ۴۱/۶ متر می‌باشد (شمشکی و همکاران، ۱۳۸۴). در دشت کاشمر توسعه کشاورزی همراه با رشد جمعیت و افزایش نیاز آبی باعث استحصال بی‌رویه و افت سطح آب زیرزمینی شده است. افت سالیانه سطح آب زیرزمینی در دشت حدود ۰/۸ متر می‌باشد. طبق بیلان آب زیرزمینی در سال ۸۳-۱۳۸۲ مجموع ورودی به آبخوان ۹۷/۱۸ میلیون متر مکعب و کل برداشت از آبخوان، سالانه ۱۱۲/۵ میلیون متر مکعب بوده است. با توجه به محاسبات بیلان، آبخوان با کسری آب زیرزمینی حدود ۱۵/۳۲ میلیون متر مکعب مواجه است (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۷). در دشت جویین استان خراسان رضوی تغییرات کمی و کیفی سفره آب زیرزمینی بررسی شده است. داده‌های سطح ایستابی در ۵۰ پیزومتر نشان می‌دهد که میانگین سطح آب زیرزمینی در طی دوره ۱۲ ساله (۱۳۷۴-۸۶)، حدود ۱۰ متر افت نشان می‌دهد. همچنین هیدروگراف معرف دشت نشان می‌دهد در برخی دوره‌ها مقدار افت سطح ایستابی شدیدتر بوده است. به عنوان مثال، از سال ۷۷ تا ۸۲ سطح آب زیرزمینی از ۵۴/۰۹ به ۵۸/۵ رسیده و حدود ۴/۵ متر افت را نشان می‌دهد. از سال ۸۲ تا ۸۶ سطح ایستابی حدود ۴/۵ متر افت کرده است (رهنما و همکاران، ۱۳۹۱). افت سطح ایستابی در دشت فامنین همدان در طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۸ بررسی شده است. در این دشت افت سطح ایستابی ناشی

از برداشت بی رویه آب زیرزمینی در بخش کشاورزی می‌باشد. در این دشت سالانه ۱۵۵ میلیون متر مکعب آب از آبخوان برداشت می‌شود (Khanlari et al., 2012). وجود چاه‌های صنعتی و کشاورزی در آبخوان دشت بهاباد (استان یزد)، سبب افت ممتد سطح ایستابی شده است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین سالیانه افت در دشت بهاباد حدود ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد. بر اساس بیلان آب زیرزمینی برای سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، میزان ورودی‌ها به آبخوان در بخش‌های جنوبی و شمالی به ترتیب ۲۰/۸ و ۶/۸ میلیون متر مکعب و مجموع خروجی‌ها به ترتیب برای بخش‌های جنوبی و شمالی ۳۲/۹ و ۸/۵ میلیون متر مکعب می‌باشد. با توجه به اینکه میزان خروجی‌ها بیشتر از ورودی‌ها می‌باشد، لذا آبخوان با کسری آب مواجه شده است و بیلان آب زیرزمینی منفی می‌باشد. این موضوع سبب افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان بهاباد شده است (شیر افکن و جعفری، ۱۳۹۲). سطح آب زیرزمینی در دشت سیرجان طی سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۶، حدود ۴/۸۱ متر افت داشته است. در طی این دوره عمق سطح آب زیرزمینی از ۲۴/۷ متر به ۲۹/۵ متر افزایش یافته است. در دشت سیرجان افت زیاد در قسمت‌های جنوب، غرب و مرکز به دلیل دانه ریز بودن رسوبات، عدم تغذیه مناسب آبخوان و تراکم چاه‌های بهره‌برداری می‌باشد (عباس‌نژاد و شاهی‌دشت، ۱۳۹۲). برآورد بیلان آب زیرزمینی برای ارزیابی آبخوان و تغییرات سطح آب در آبخوان ماسه‌ای پلیوپلیستوسن دهاکا (بنگلادش) نشان می‌دهد بهره‌برداری از آب زیرزمینی به وسیله چاه‌های بهره‌برداری سبب افت سطح ایستابی از حالت خطی به نمایی شده است. بهره‌برداری بیش از حد و طولانی مدت از آبخوان سبب معکوس شدن گرادیان هیدرولیکی و تغییر جهت جریان آب زیرزمینی به سمت مخروط افت در مرکز شهر شده است (Hoque et al., 2007).

افت سطح آب زیرزمینی، سبب تغییرات زیادی در چرخه‌ی هیدرولوژی شده و مخاطرات زیست محیطی متعددی را ایجاد می‌کند. از جمله مهمترین مخاطرات زیست محیطی ناشی از افزایش سطح آب زیرزمینی می‌توان به کاهش کیفیت آب زیرزمینی و فرونشست زمین اشاره نمود.

۲-۳-۱- کاهش کیفیت آب زیرزمینی

بیشتر رسوبات آبرفتی از تجمع کانی‌های متفاوتی تشکیل یافته‌اند که ممکن است منشأ آذرین، دگرگونی و

یا رسوبی داشته باشند. کیفیت آب زیرزمینی در این رسوبات بر اساس نوع و مقدار کانی‌ها و انحلال پذیری آن‌ها تغییر خواهد کرد. کیفیت آب زیرزمینی در آبرفت‌ها بستگی به نفوذپذیری آن‌ها دارد به گونه‌ای که در آبرفت‌های دانه‌درشت با نفوذپذیری بالا، مقدار مواد محلول کم و در آبرفت‌های دانه‌ریز، با نفوذپذیری کم و سطح تماس بالا و یا رسوبات با جورشدگی ضعیف، مقدار مواد محلول زیاد است (اصغری مقدم، ۱۳۸۹). در سال‌های اخیر در کویر مرکزی ایران پمپاژ بی‌رویه آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی سبب کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی شده است. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های آب نشان می‌دهد که یون‌های پتاسیم، سولفات، کلر و سدیم دارای غلظت بالایی می‌باشند. تغییرات هدایت الکتریکی نشان می‌دهد که مقدار آن در جهت جریان آب‌های زیرزمینی افزایش می‌یابد (Baghvand et al., 2010). با توجه به بیلان آب زیرزمینی آبخوان دشت جیرفت، حجم آب زیرزمینی رو به کاهش است و از نظر کیفی نیز دارای نوسانات زیادی می‌باشد. هدایت الکتریکی نشان می‌دهد که حداقل و حداکثر هدایت الکتریکی به ترتیب ۴۰۵ و ۳۵۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر بوده و شوری در حال افزایش می‌باشد (جعفری و همکاران، ۱۳۹۰). هدایت الکتریکی آب زیرزمینی دشت سیرجان طی سال‌های ۱۳۸۱-۸۶، از ۳۶۸ میکروموس بر سانتی‌متر به ۴۴۸۰ میکروموس بر سانتی‌متر افزایش یافته است. نتایج نشان می‌دهد که برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی سبب کاهش کیفیت آب زیرزمینی در دشت شده است (عباس‌نژاد و شاهی‌دشت، ۱۳۹۲). امروزه فعالیت‌های انسانی نظیر کشاورزی، صنعتی، توسعه شهری، تخلیه فاضلاب‌ها و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی شده است (Chan, 2001).

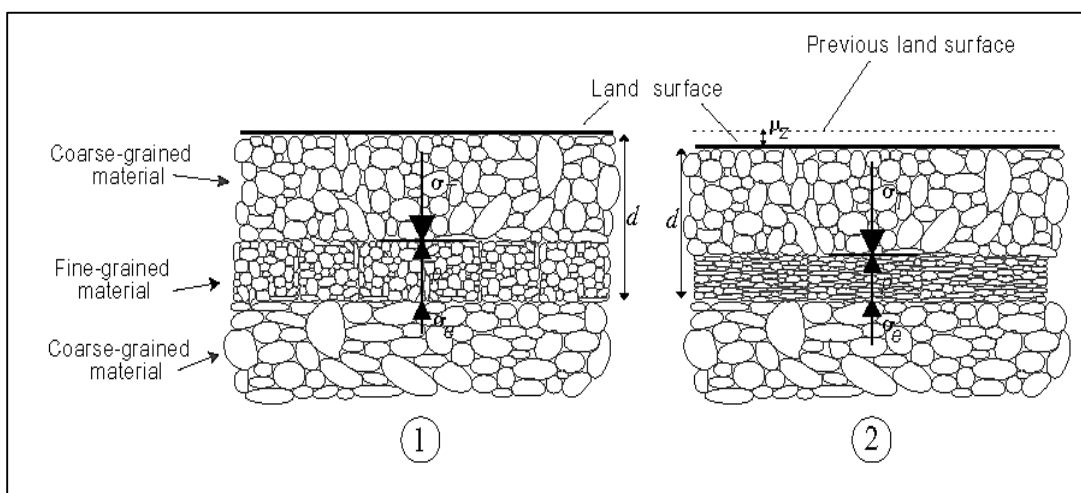
۲-۳-۲- فرونشست

طبق تعریف انستیتو زمین شناسی ایالات متحده، پدیده فرونشست زمین شامل فرو ریزش یا نشست رو به پایین سطح زمین است که می‌تواند دارای بردار جابه‌جایی افقی اندکی باشد. حرکت از نظر شدت، وسعت و میزان مناطق درگیر محدود نمی‌باشد و فرونشست می‌تواند در اثر پدیده‌های طبیعی زمین شناختی مانند انحلال، آب شدگی یخ‌ها و تراکم نهشته‌ها، حرکات آرام پوسته و خروج گدازه از پوسته جامد زمین و یا فعالیت‌های انسانی نظیر معدن کاری، برداشت آب‌های زیرزمینی و یا نفت ایجاد شود. فرونشست زمین ناشی

از استخراج آب‌های زیرزمینی به عنوان مشکل اساسی همراه با پیامدهای زیست محیطی در بسیاری از نواحی شناخته شده است. در دهه‌های اخیر حالت تصاعدی این پدیده همراه با اوج صنعتی شدن، شهرنشینی و پمپاژ بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی مشاهده شده است (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۷).

۲-۳-۱- مکانسیم ایجاد نشست زمین

نشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی ممکن است اتفاق بیفتد. این نوع نشست‌ها که عمدتاً در رسوبات تحکیم نیافته تا نیمه تحکیمی که در مجاورت لایه‌های شن و ماسه قرار دارد صورت می‌گیرد (طاحونی، ۱۳۸۶). در واقع افت سطح آب سبب افزایش فشار بین دانه‌ای (تنش مؤثر) در خاک می‌گردد. فشار بین دانه‌ای در هر عمق به صورت تفاضل فشار کل و فشار هیدرولیکی است. نتیجه این افزایش فشار بین دانه‌ای (افزایش تنش مؤثر)، سبب تراکم لایه با لایه‌های تراکم پذیر خاک می‌گردد. در این عمل، تراکم برگشت ناپذیر (Nonrecoverable compaction) می‌باشد و باعث ایجاد نشست در سطح زمین می‌شود. البته این عمل زمان بر بوده و به آهستگی به وقوع پیوسته و در اثر آن زهکشی آب از لایه ریزدانه به دلیل افت فشار هیدرولیکی انجام می‌پذیرد. در چنین شرایطی یک تراکم غیر الاستیک به دلیل افزایش تنش مؤثر (اعمال تنش‌های بیش از تنش‌هایی که قبلاً تحمل نموده) در خاک رخ داده و چیدمان دانه‌های خاک بهم خورده و چیدمان جدید باعث کاهش حجم و ضخامت عمودی لایه و در نهایت نشست می‌گردد که تصویری شماتیکی از این پدیده در شکل (۱-۲) ارائه شده است. این نکته لازم به یادآوری است که برگشت تراکم خیلی کم در حدود ۱ تا ۵ درصد در لایه‌های خاک در صورت برگشت سطح آب امکان پذیر می‌باشد.

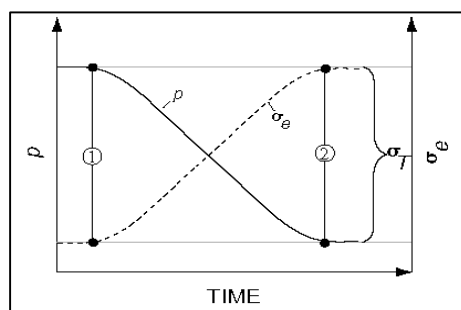


شکل ۱-۲: کاهش حجم لایه ریزدانه و نازک شدن آن در اثر زهکشی، ۱- قبل از زهکشی و ۲- بعد از زهکشی و با نشست (اقتباس از لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۷)

تنش موثر براساس قانون ساده ترزاقی از رابطه (۲-۱) پیروی می کند.

$$\sigma_e = \sigma_T - \rho \quad \text{رابطه (۲-۱)}$$

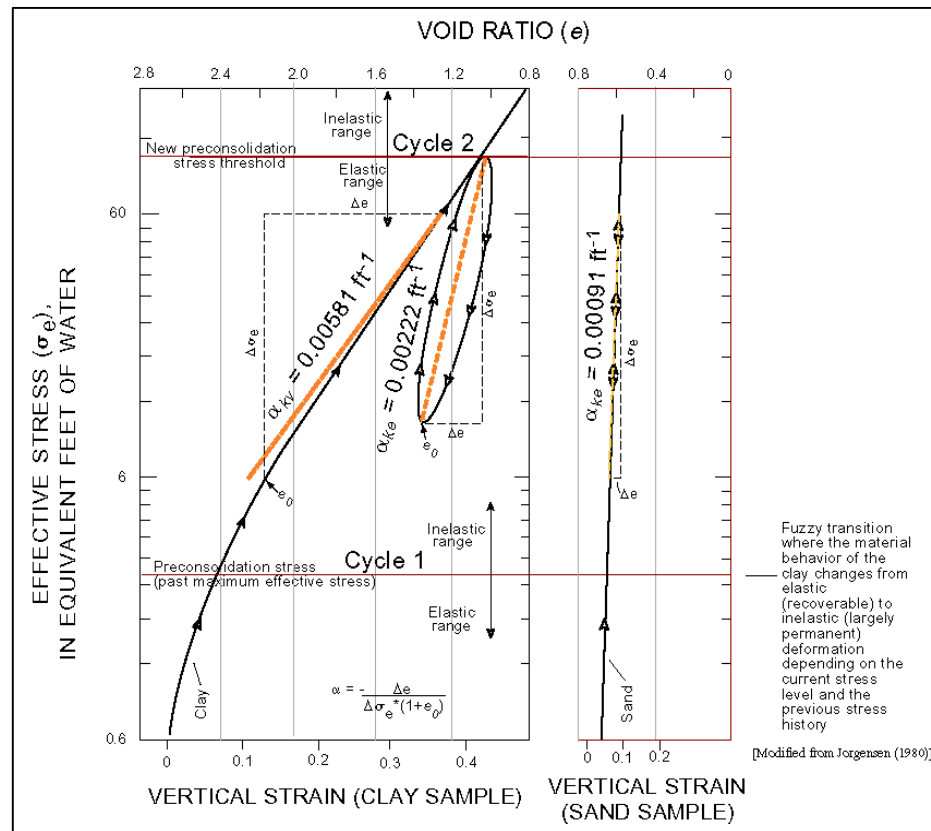
که در این رابطه σ_e تنش موثر، σ_T تنش کل و ρ فشار آب منفذی می باشد. ارتباط بین تنش موثر و فشار آب منفذی در اثر افت سطح آب زیرزمینی در شکل (۲-۲) ارائه شده است.



شکل ۲-۲: رابطه بین تنش موثر و فشار آب منفذی (اقتباس از لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۷)

در شکل (۲-۳) مقایسه بین میزان نشست در خاک ریزدانه رسی با خاصیت تراکم پذیری زیاد و خاک درشت دانه ماسه نشان داده شده است. این شکل به خوبی میزان نشست قائم بیشتر در خاک های ریزدانه

نسبت به درشت‌دانه را نشان می‌دهد. به همین دلیل خاک‌های ریزدانه از پتانسیل کاملاً بیشتری جهت نشست زمین در اثر افت سطح آب‌های زیرزمینی برخوردار می‌باشند.



شکل ۲-۳: مقایسه بین تغییر شکل قائم رس و ماسه (اقتباس از دم شناس، ۱۳۸۸)

۲-۲-۳-۲- رابطه افت سطح ایستابی و فرونشست یکنواخت زمین

ایران از جمله کشورهایی است که به دلیل کمبود منابع آب سطحی، بیشترین آب مصرفی در کشاورزی را از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌نماید. بنابراین کمبود منابع آب زیرزمینی یکی از بحران‌های حال حاضر کشور محسوب می‌گردد. در ایران اولین بار فرونشست زمین در دشت رفسنجان در سال ۱۳۴۶ همراه با پدیده لوله‌زایی در چاه‌های کشاورزی گزارش شده است (حسینی میلانی، ۱۳۷۳). بررسی فرونشست دشت شهریار- تهران نشان می‌دهد که پدیده فرونشست در اثر دو عامل افت سطح آب زیرزمینی و ضخامت زیاد

نهشته‌های ریزدانه می‌باشد. فرونشست در این دشت دارای الگوی V شکل بوده و بیشترین نرخ فرونشست حدود ۱۶ سانتی‌متر در سال می‌باشد (شمشکی و همکاران، ۱۳۸۴). برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی در دشت اشتهارد موجب نشست زمین شده است. در این منطقه نشست زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های سطح آب زیرزمینی طی دوره ۸۳-۱۳۷۹، زمین‌شناسی منطقه و مشخصات مهندسی رسوبات مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی مؤثرترین عوامل فرونشست شامل برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی، ضخامت لایه‌های رسوبی و ویژگی‌های مهندسی رسوبات می‌باشد. در طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۸۳، سطح ایستابی حدود ۵ متر افت داشته است. افت سطح آب زیرزمینی در بخش‌هایی از اشتهارد که لایه‌های زیر سطحی از جنس رس و مارن بوده باعث فرونشست بیشتری نسبت به قسمت‌هایی که رسوبات دانه درشت بوده، شده است (رنجبر و جعفری، ۱۳۸۸). فرونشست زمین در دشت مشهد ناشی از دو عامل بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان و جلوگیری از نفوذ آب برگشتی از بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب می‌باشد. پیامدهای ناشی از این پدیده با استفاده از تکنیک راداری اینترفرومتری و GPS بررسی گردیده است. بررسی نشان می‌دهد که میزان فرونشست در مناطق طوس و بلوار وکیل آباد به ترتیب ۲۰ و ۱۵ سانتی‌متر در سال بوده است (بهنیاfer و همکاران، ۱۳۸۹). افت سطح آب زیرزمینی در محدوده‌هایی از آبخوان دشت مشهد باعث نشست و جابجایی زمین شده است. آثار نشست به صورت گسیختگی و کج شدگی لوله‌های جدار نمایان شده است و سبب ایجاد مشکلاتی از جمله تخریب سازه‌های زیرسطحی گردیده است (موسوی مداح و همکاران، ۱۳۹۲). در دشت کبودر آهنگ و فامنین در استان همدان نیز فرونشست زمین و تشکیل فروچاله‌ها در اثر افت سطح آب‌های زیرزمینی گزارش شده است (Khanlari et al., 2012). در دشت مروت افت سطح آب زیرزمینی ناشی از برداشت بی‌رویه، عمق زیاد آبرفت روی بستر سنگی، تغییر ضخامت لایه‌های خاک در دامنه کوه و ضخامت زیاد لایه‌های ریزدانه رسی سبب فرونشست در دشت شده به طوری که میزان فرونشست در روستای شول به ازای ۲۱ متر افت آب به طور متوسط ۱۶/۵ سانتی‌متر تعیین شده است. با فاصله گرفتن از روستا این میزان فرونشست به علت افزایش ضخامت آبرفت، به حدود ۲۲ سانتی‌متر افزایش یافته است (رهنما و میراثی، ۱۳۹۵). فرونشست زمین در جنوب غربی تهران در اثر

برداشت بیش از حد آب زیرزمینی می‌باشد. در طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۲ سطح آب زیرزمینی ۱۱/۶۵ متر کاهش یافته است (Mahmoudpour et al., 2016). در استان یزد فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که در دوره زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶ میزان نشست زمین حدود ۲۲ سانتی‌متر برآورد شده است. نشست در این دشت به دلیل کاهش سطح آب زیرزمینی می‌باشد (Amighpey and Arabi, 2016). در دشت رفسنجان سالانه بیش از ۵ میلی‌متر زمین نشست می‌کند. در این دشت گسل‌های کواترنری، فرونشست زمین را تحت تأثیر قرار داده است. داده‌های سطح آب در این دشت نشان می‌دهد که فرونشست ناشی از استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی است که منجر به تراکم رسوبات شده و باعث تغییر شکل غیر قابل برگشت و ناپایدار آبخوان شده است. ذخیره آبخوان دشت رفسنجان در طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۴ حدود ۳۰۰ میلیون متر مکعب کاهش یافته است (Motagh et al., 2017). در دهه‌های اخیر، برداشت آب‌های زیرزمینی یکی از مهمترین علل فرونشست زمین در بسیاری از نقاط جهان است. براساس اطلاعات کارگروه فرونشست در سازمان یونسکو، قدیمی‌ترین فرونشست شناخته شده در ایالت آلبامای ایالات متحده در سال ۱۹۰۰ میلادی به وقوع پیوسته است. همچنین در شهر ونیز ایتالیا (طی سال‌های ۱۹۳۰-۱۹۷۳)، حدود ۱۵ سانتی‌متر (Gambolati et al., 1974)، در دشت ساحلی تسالونیک (شمال یونان) نشست حدود ۱۰ سانتی‌متر در سال، و در شهر لس‌بانوس-کتلمن در کالیفرنیا فرونشست حدود ۸/۸ متر تا سال ۱۹۶۹ اندازه‌گیری شده است (Larson et al., 2001). در شهر بانکوک در تایلند در سال‌های ۱۹۳۳ تا ۲۰۰۲ حدود ۲۰۵ سانتی‌متر (Phien et al., 2006) نشست رخ داده است. تغییرات ارتفاع زمین در طول سال‌های ۱۹۷۵-۲۰۰۳ در حوضه تاپیه (شمال تایوان) در اثر پمپاژ آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است. در طول این سال‌ها برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی برای مصارف آبیاری رخ داده است. نشست نامتقارن در این منطقه مرتبط با گسل نرمال نیز بررسی شده است (Chen et al., 2007). در اثر استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی در غرب تایوان فرونشست زمین رخ داده است. در این منطقه تغییرات سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از GPS، جابجایی عمودی و ارتباط آن با سطح آب زیرزمینی تجزیه و

تحلیل شده است. نتایج نشان می‌دهد افزایش و کاهش سطح آب زیرزمینی در غرب تایوان تحت تأثیر باران و خشکسالی بوده و به دلیل برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی فرونشست زمین اتفاق افتاده است (Chen et al., 2010). در جیانگسو در طول سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰، توزیع چاه‌های پمپاژ، مقدار بهره‌برداری از آب زیرزمینی و سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش مقدار بهره‌برداری از آبخوان، سطح آب زیرزمینی کاهش می‌یابد و نرخ فرونشست زمین نیز افزایش می‌یابد (Hongdong et al., 2011). فرونشست زمین در مناطق Kalochori و Sindos یونان شمالی مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی فرونشست زمین ۳۵ میلی‌متر در سال برآورد شده است. بررسی‌های انجام شده در این مناطق نشان می‌دهد که فرونشست زمین در ارتباط با هیدروژئولوژی منطقه می‌باشد. در این مناطق کاهش سطح آب زیرزمینی عامل پدیده فرونشست زمین می‌باشد (Nikos et al., 2016).

۲-۳-۲- رابطه افت سطح ایستابی و رخداد شکاف

بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و کاهش سطح ایستابی در سال‌های اخیر باعث شکاف در زمین‌های کشاورزی و ساختمان‌ها در دشت‌های بحرانی کشور شده است (Rahnema and Mirassi, 2014). در واقع افزایش بهره‌برداری باعث کاهش فشار هیدرولیکی و افزایش تنش مؤثر می‌شود، در نتیجه باعث نشست لایه‌ها می‌گردد. در این حالت شکاف‌هایی در سطح زمین ایجاد می‌شود. در غرب دشت کاشمر ایجاد شکاف‌های کششی در رابطه با نشست‌های ناهمگن سطح زمین به دلیل افت سطح ایستابی و کاهش فشار هیدرواستاتیک در محیطی است که دارای تغییر رخساره از رسوبات درشت دانه به ریزدانه می‌باشد. در این دشت ایجاد شکاف در اثر زهکشی آب از لایه‌های ریز دانه به دلیل افزایش تنش مؤثر در اثر افت فشار هیدرولیکی است. به همین دلیل آرایش دانه‌های خاک به هم خورده و چیدمان جدید باعث کاهش حجم و ضخامت عمودی لایه و در نهایت نشست زمین گردیده است (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۷). در دشت مهیار اصفهان برداشت طولانی مدت از آب‌های زیرزمینی با توسعه کشاورزی باعث فرونشست زمین و ایجاد شکاف شده است. حداکثر میزان فرونشست در سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۶ حدود ۹ سانتی‌متر در سال می‌باشد (Davoodijam et al., 2015). شکاف‌های ایجاد شده در دشت منوجان ناشی از وجود خاک‌های رسی پوک

و متخلخل و افت سطح آب زیرزمینی بوده است. وقوع خشکسالی طولانی مدت و کاهش تغذیه باعث افت سطح آب زیرزمینی و ایجاد نشست زمین در این دشت شده است (عباس نژاد و عباس نژاد، ۱۳۹۶). شکاف‌های ناشی از فرونشست در جنوب غربی دشت کاشان خسارات زیادی به ساختمان‌ها، مزارع و جاده‌ها وارد کرده است. علت اصلی این پدیده کاهش سطح آب‌های زیرزمینی به دلیل افزایش تعداد چاه‌های عمیق و پمپاژ آب‌های زیرزمینی می باشد. حداکثر نرخ فرونشست در این دشت حدود ۳/۵ سانتی متر در سال گزارش است (Ghazifard et al., 2016). طول بزرگترین شکاف ایجاد شده در آمریکا حدود ۳/۵ کیلومتر می باشد ولی اغلب شکاف‌ها طولشان به چند صد متر می رسد. این شکاف‌ها در مراحل اولیه یکسری ترک‌های کوچکی بوده که به هم متصل شده‌اند (Houzer, 1988). در دره Cedar (ایالت یوتا) شکافی در شمال شرقی و جنوب غربی ایجاد شده است. کاهش سطح آب زیرزمینی به دلیل پمپاژ آب زیرزمینی سبب تراکم رسوبات ریزدانه شده است. در واقع تراکم رسوبات عامل اصلی در رخداد فرونشست زمین شناخته شده است. بررسی‌ها نشان می دهد در صورتی که سطح آب زیرزمینی در این محل سالانه ۶۰ سانتی متر کاهش یابد، بیشترین میزان فرونشست حدود ۳ سانتی متر در سال خواهد بود (Knudsen et al., 2014).

فصل سوم

روش انجام کار

۳-۱- مقدمه

مراحل انجام کار در این پژوهش شامل مطالعات کتابخانه‌ای و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، مطالعات صحرایی و تجزیه و تحلیل اطلاعات موجود بوده که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد.

۳-۲- جمع‌آوری داده‌های کمی آب زیرزمینی و هواشناسی

بررسی کمی دشت کردی شیرازی بر اساس از داده‌های سطح آب زیرزمینی در ۶ حلقه پیزومتر حفر شده در دشت که به صورت ماهانه توسط آب منطقه‌ای استان هرمزگان اندازه‌گیری می‌شود انجام شده است. در این تحقیق از داده‌های ۱۶ ساله سطح آب زیرزمینی این پیزومترها (۱۳۷۸-۹۴) استفاده شده است. موقعیت پیزومترها در شکل ۳-۱ نشان داده شده است. همچنین به منظور تعیین مشخصات آب و هوایی منطقه که شامل داده‌های بارش و دمای هوا می‌باشد، از آمار ایستگاه‌های هواشناسی نازدشت و سرکم استفاده شده است.

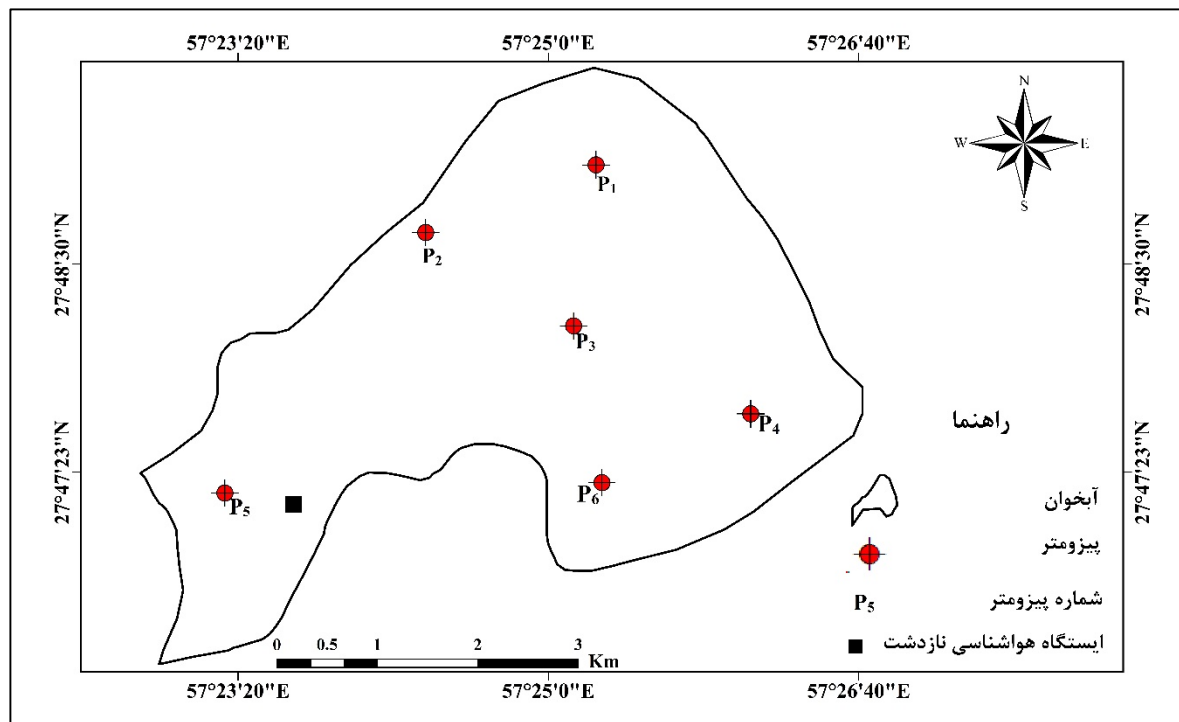
۳-۲-۱- ترسیم نقشه‌های هم‌پتانسیل و هم‌عمق سطح آب زیرزمینی آبخوان کردی شیرازی

به منظور تعیین جهت عمومی جریان آب زیرزمینی، شیب هیدرولیکی و مناطق تخلیه و تغذیه نقشه هم پتانسیل دشت تهیه شد. برای تهیه نقشه هم پتانسیل از داده‌های آبان ماه سال آبی (۱۳۹۳-۹۴) و برای ترسیم نقشه‌های هم‌عمق از داده‌های آبان ماه سال‌های ۱۳۷۸ و ۹۳ استفاده گردید. نقشه‌های هم‌پتانسیل و هم‌عمق ابتدا به صورت دستی ترسیم و سپس با استفاده از نرم افزار Arc GIS رقومی گردید.

۳-۲-۲- بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی و هیدروگراف معرف دشت

به منظور بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت کردی شیرازی طی دوره ۱۶ ساله، هیدروگراف هر یک از پیزومترها ترسیم شد. همچنین برای ترسیم هیدروگراف معرف دشت ابتدا با استفاده از نرم افزار Arc GIS 10.3 نقشه تیسن آبخوان ترسیم گردید. سپس با استفاده از نقشه تیسن مقدار مساحت هر یک از چند ضلعی‌ها محاسبه شده و برای ترسیم هیدروگراف معرف دشت مورد استفاده قرار گرفته است. به

منظور بررسی ارتباط بین تغییرات سطح آب زیرزمینی بارندگی، مقادیر بارش نیز بر روی هیدروگراف معرف نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: موقعیت پیزومترهای حفر شده در آبخوان کردی شیرازی

۳-۲-۳- تعیین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان

تعیین مقادیر قابلیت انتقال و آبدهی ویژه آبخوان براساس بافت غالب رسوبات در لاگ پیزومترهای حفر شده در دشت انجام شده است. این مقادیر بر اساس مطالعات انجام شده در مناطق مختلف کشور (کریمی ۱۳۸۹، کریمی ۱۳۹۱) در نظر گرفته شده است.

۳-۲-۴- ارزیابی بیلان آب زیرزمینی

هدف از محاسبه بیلان آب، بررسی ارتباط پارامترهای ورودی و خروجی آبخوان می‌باشد. برای ارزیابی بیلان آب زیرزمینی در آبخوان کردی شیرازی از رابطه (۳-۱) استفاده شده است:

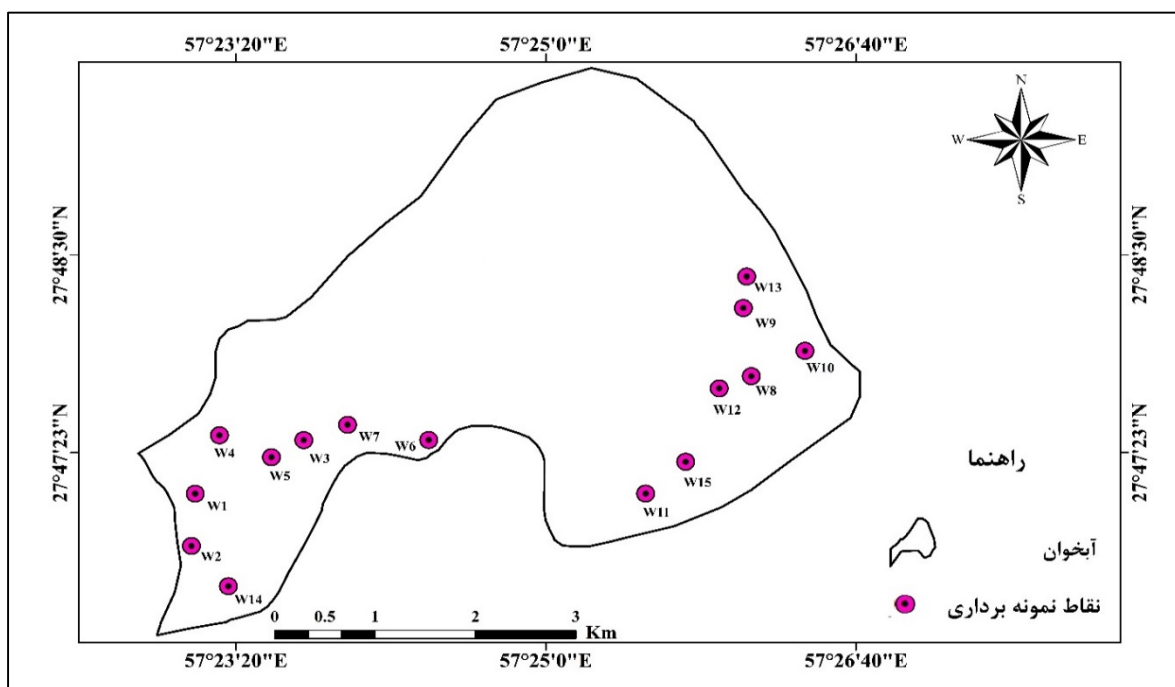
$$I - O = \pm \Delta S$$

رابطه (۳-۱)

در این رابطه I نشان دهنده ورودی‌ها، O خروجی‌ها و ΔS تغییرات ذخیره می‌باشد. تمامی ورودی‌ها و خروجی‌های آبخوان شناسایی شد، و ارتباط آنها از طریق رابطه فوق بررسی شده است.

۳-۳- تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمیایی

نمونه‌برداری آب زیرزمینی در آبخوان کردی شیرازی در ۱۵ حلقه چاه انتخابی توسط شرکت آب منطقه‌ای صورت می‌گیرد. از داده‌های حاصل از این اندازه‌گیری‌ها جهت تحلیل کیفیت آبخوان استفاده شده است. موقعیت چاه‌های انتخابی در شکل (۲-۳) نشان داده شده است. از نمودار شولر برای بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی آب و از نمودارهای استیف و پایپر برای مقایسه سریع تعداد زیادی نمونه و تعیین تیپ آب استفاده شد است. همچنین از نمودار ویلکوکس برای طبقه‌بندی کیفیت آب کشاورزی استفاده گردید. برای تهیه این نمودارها و تعیین ضریب اشباع از نرم افزارهای PHREEQC، AQQA، Chemistry و Excel استفاده شده است.



شکل ۲-۳: موقعیت نقاط نمونه‌برداری کیفی از منابع آب زیرزمینی در محدوده آبخوان کردی شیرازی

۳-۴- بازدید صحرایی و بررسی رخدادهای فرونشست در دشت

برای ترسیم نقشه‌های مورد نیاز و تهیه شکل هندسی شکاف ایجاد شده در دشت چندین بازدید صحرایی صورت گرفته است. در این بازدیدها عمق چاه‌ها و سطح ایستابی اندازه‌گیری شد. موقعیت شکاف‌ها در دشت با دستگاه GPS اندازه‌گیری شده و شکل هندسی آنها ترسیم گردید.

۳-۵- تحلیل داده‌های ژئوفیزیکی

مطالعات ژئوفیزیکی در دشت کردی شیرازی با ۲۲ سونداژ ژئوالکتریکی بر روی ۵ مقطع توسط شرکت مهندسين مشاور صحراکاو انجام گرفته است. با توجه به داده‌های مقاومت ویژه حاصل از این سونداژها پارامترهایی چون ضخامت و عمق رسوبات مختلف، عمق و لیتوژی سنگ کف تعیین گردید.

۳-۶- ترسیم نقشه هم‌افت سطح ایستابی

به منظور بررسی افت سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت کردی شیرازی طی دوره ۱۶ ساله (۱۳۷۸-۹۴)، از داده‌های سطح آب زیرزمینی در پیزومترها استفاده شده است. نقشه هم‌افت ابتدا به صورت دستی ترسیم و سپس در محیط Arc GIS 10.3 رقومی گردید.

۳-۷- ترسیم نقشه تغییرات ضخامت

با توجه به داده‌های حاصل از سونداژهای ژئوالکتریکی و عمق چاه‌های اندازه‌گیری شده در قسمت‌های مختلف، دشت نقشه تغییرات ضخامت آبرفت ابتدا به صورت دستی ترسیم و سپس در محیط Arc GIS 10.3 تهیه گردید. به علاوه جهت نشان دادن شرایط زیرسطحی در دو امتداد عمود بر شکاف و به موازات شکاف مقطع زمین‌شناسی ترسیم گردید.

۳-۸- بررسی مکانیسم رخداد شکاف

با توجه به نتایج مطالعات قبلی و بررسی روند تغییرات پارامترهای مختلف مانند روند تغییرات میزان افت سطح آب زیرزمینی، موقعیت و ضخامت لایه‌های مختلف زیر سطحی و ... محتمل‌ترین مکانیسم برای رخداد

فرونشست و ایجاد شکاف تعیین شده و بر مبنای پارامترهای مؤثر بدست آمده، مدل رخداد شکاف در دشت تهیه شد. در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین در دشت کردی شیرازی با توجه به فاکتورهای مؤثر بر آن به صورت دستی ترسیم شده و سپس با استفاده از نرم افزار Arc GIS 10.3 تهیه گردید.

فصل چهارم

ارزیابی سیدروژنولوژیکی و تحلیل
فروشت دشت کردی شیرازی

۱-۴- مقدمه

حوضه آبریز کردی شیرازی به مساحت ۱۳۱/۶ کیلومتر مربع در استان هرمزگان واقع شده که ۳۲/۹ کیلومتر مربع آن دشت و مابقی ارتفاعات می‌باشد. نبود منابع آب سطحی مناسب در محدوده مورد مطالعه وابستگی زیادی به منابع آب زیرزمینی ایجاد نموده است. در این فصل ابتدا ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی و هیدروشیمی آبخوان کردی شیرازی ارائه شده و در نهایت تجزیه و تحلیل فرونشست در این دشت انجام خواهد شد.

۴-۲- دشت کردی شیرازی

دشت کردی شیرازی در فاصله ۱۶۰ کیلومتری شمال شرقی بندرعباس قرار دارد. دشت بین طول‌های جغرافیایی "۵۷°۲۱'۴۹" تا "۵۷°۳۵' شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۲۷°۴۴'۱۱" تا "۲۷°۵۲'۰۴" شمالی واقع شده است. حوضه آبریز دشت کردی شیرازی از شمال و شرق به حوضه آبریز دشت کردی کرمانی، از غرب به حوضه آبریز دشت مسافر آباد و از جنوب به حوضه آبریز دشت رودان محدود گردیده است. این دشت در بین ارتفاعات که جنس آنها از سنگ‌های دگرگونی (منشأ رسوبی یا آذرین)، دونیت و کنگلومرا می‌باشد، قرار گرفته است.

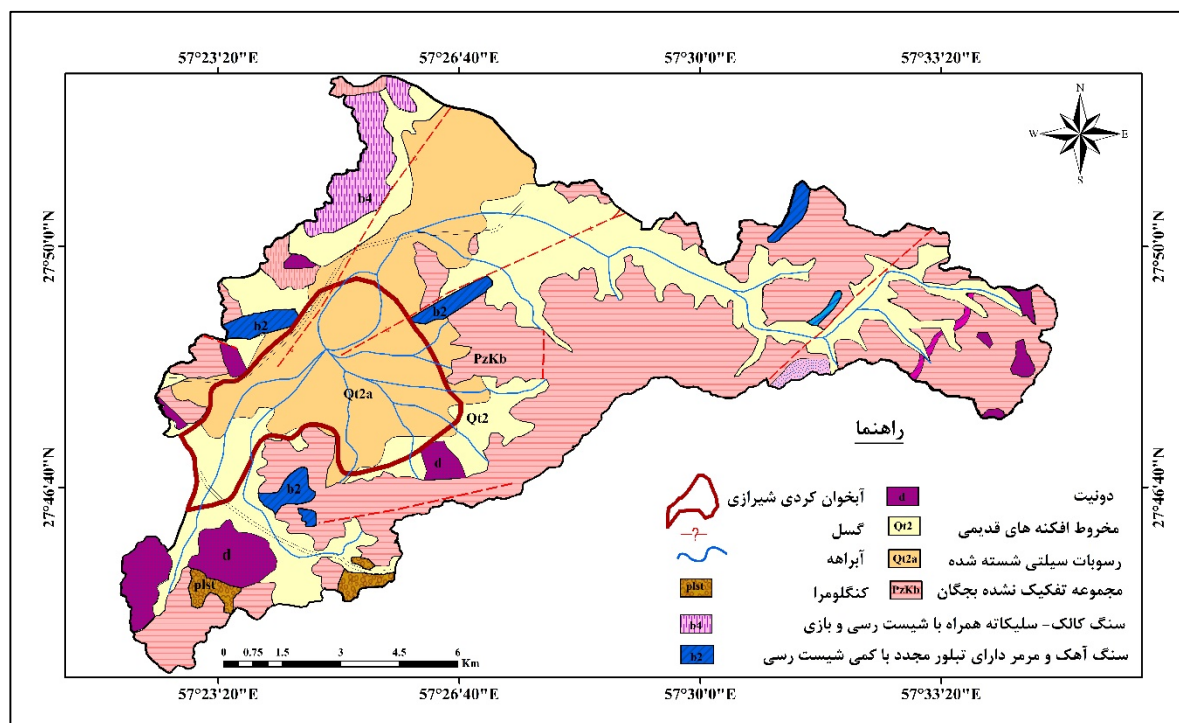
رسوبات کواترنری ناشی از فرسایش ارتفاعات در دشت گستره شده است و به طور عمده شامل مخروط افکنه‌های قدیمی (Q^{t2}) و رسوبات سیلتی شسته شده (Q^{t2a}) می‌باشد. آبرفت‌های قدیمی مخروط افکنه‌های واقع در جنوب و شرق با دانه‌بندی درشت در اندازه ماسه، گراول، سیلت و مقدار کمی رس را شامل می‌شوند. آبرفت‌های جوان در شمال و مرکز دشت رسوبات تحکیم نیافته‌ای هستند که عمدتاً ریزدانه و حاوی املاح شیمیایی نسبتاً زیادی می‌باشد. به طوری که آب‌های زیرزمینی در شمال دشت از کیفیت نامناسبی برخوردار است (شرکت آب منطقه‌ای هرمزگان). شیب توپوگرافی دشت از سمت جنوب به سمت شمال دشت کاهش می‌یابد. ضخامت آبرفت در دشت کردی شیرازی در شمال شرق ۵۰ متر و در قسمت جنوب غرب حدود ۲۰۰ متر می‌باشد (اندازه‌گیری‌های صحرائی، شرکت آب منطقه‌ای). سنگ کف این رسوبات شیست، کنگلومرا و آهک بوده و بعضی از قسمت‌ها از سیمان ضعیفی برخوردار می‌باشد (شرکت آب منطقه‌ای هرمزگان).

۴-۳- خصوصیات آبخوان کردی شیرازی

۴-۳-۱- آبخوان کردی شیرازی

دشت کردی شیرازی در بین ارتفاعات قرار گرفته و آبخوان تشکیل شده در دشت از نوع آبرفتی می باشد. منابع آبی در قسمت شمال و مرکز دشت به طور عمده در بین فضاهاى خالی رسوبات تحکیم نیافته واحد آبرفتی جوان (Q^{t2a}) قرار گرفته است. این رسوبات به عنوان مخزن آب زیرزمینی عمل کرده و آبخوان آزاد را در سراسر دشت ایجاد کرده است. مسیل‌های موجود در منطقه به سمت شمال و مرکز متمرکز می شود و نقش مؤثری در تغذیه آبخوان دارند.

از نقشه زمین‌شناسی برای تعیین واحد آبرفت (دشت) و ارتفاعات استفاده گردید. با توجه به موقعیت و تمرکز چاه‌ها و پیزومترهای حفر شده در دشت، مرز آبخوان دشت کردی شیرازی ترسیم گردید. شکل (۴-۱) محدوده آبخوان و حوضه آبریز دشت کردی شیرازی را نشان می‌دهد.



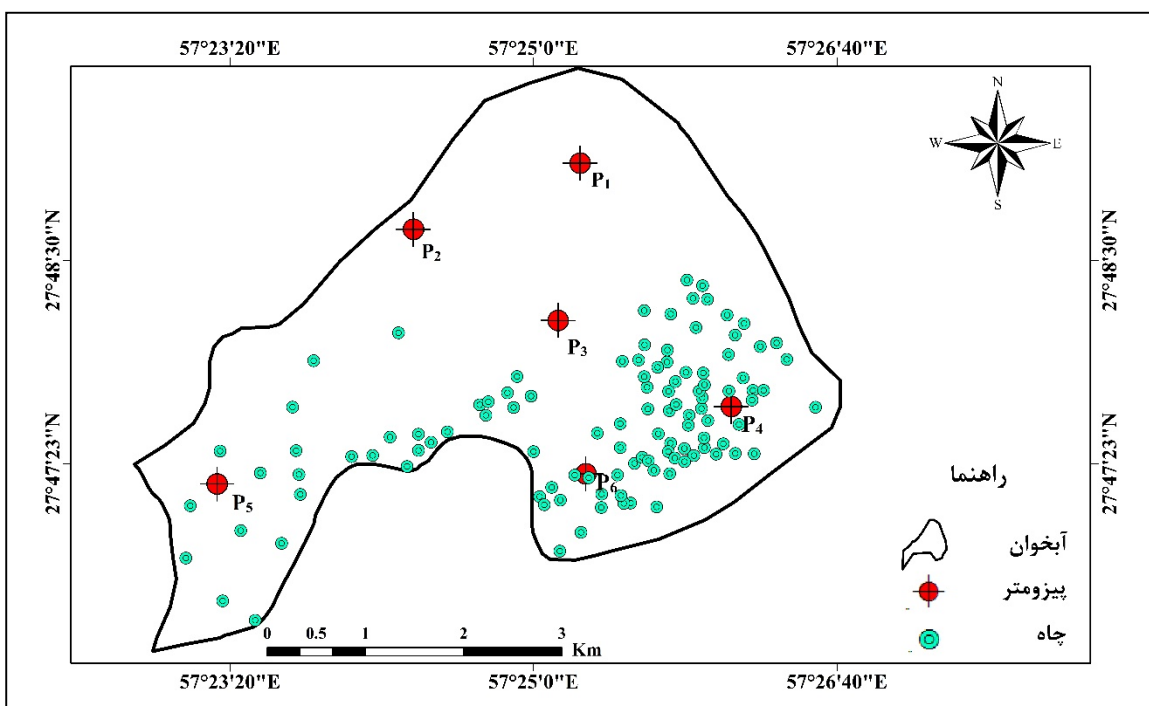
شکل ۴-۱: محدوده آبخوان آبرفتی در حوضه آبریز دشت کردی شیرازی

۴-۳-۲- موقعیت و مشخصات منابع آبی

منابع آبی دشت کردی شیرازی شامل چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق بوده که برای مصارف کشاورزی و شرب مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. براساس گزارش توجیهی تمديد ممنوعیت دشت در سال ۱۳۹۴ (شرکت آب منطقه‌ای هرمزگان، ۱۳۹۴)، چاه‌های عمیق در دشت بیشترین تعداد را به خود اختصاص داده‌اند. تعداد ۱۰۹ حلقه چاه در دشت وجود دارد که تعداد ۱۰۱ حلقه آن چاه عمیق و ۸ حلقه نیمه عمیق می‌باشد. طبق اندازه‌گیری صحرایی، حداقل و حداکثر عمق چاه‌های عمیق به ترتیب ۵۰ و ۱۲۲ متر می‌باشد. چاه‌های نیمه عمیق موجود در دشت به دلیل کاهش سطح آب زیرزمینی و پدیده خشکسالی، خشک شده‌اند. از مجموع چاه‌های موجود ۵۲ حلقه چاه فعال جهت مصارف کشاورزی (دبی متوسط ۱۴/۵ لیتر بر ثانیه) و یک حلقه چاه جهت شرب (دبی متوسط ۵ لیتر بر ثانیه) مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. مجموع تخلیه سالانه چاه‌های کشاورزی و شرب به ترتیب ۶/۵۴ و ۰/۰۵۴ میلیون متر مکعب می‌باشد. جدول ۴-۱ مشخصات چاه‌های بهره‌برداری و شکل (۲-۴) موقعیت چاه‌های بهره‌برداری در دشت را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است این دشت فاقد چشمه، قنات و رودخانه (منابع آب سطحی) می‌باشد.

جدول ۴-۱: چاه‌های بهره‌برداری در دشت کردی شیرازی و مشخصات آنها (آمار مربوط به سال آبی ۱۳۹۳-۹۴ می‌باشد)

نوع چاه	تعداد کل حلقه چاه	تعداد حلقه چاه فعال	عمق متوسط (m)	دبی متوسط (L/S)	تخلیه سالانه (MCM/y)
کشاورزی	۱۰۸	۵۲	۸۶	۱۴/۵	۶/۵۴۳
شرب	۱	۱	۷۱	۵	۰/۰۵۴
کل چاه‌ها	۱۰۹	۵۳	۷۸/۵	۹/۷۵	۶/۵۹۷



شکل ۴-۲: موقعیت چاه‌های کشاورزی در آبخوان کردی شیرازی

۴-۳-۳- ترسیم نقشه هم‌پتانسیل

نقشه هم‌پتانسیل سطح ایستابی به منظور تعیین جهت عمومی جریان آب زیرزمینی، شیب هیدرولیکی، مشخص کردن مناطق تخلیه و تغذیه آب‌های زیرزمینی ترسیم می‌گردد. برای ترسیم نقشه هم‌پتانسیل دشت کردی شیرازی از ۶ حلقه پیزومتر موجود در دشت استفاده شده است. عمق سطح ایستابی در پیزومترها به صورت ماهانه اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به ارتفاع نقطه نشانه مربوط به هر پیزومتر، ارتفاع سطح ایستابی از سطح مبنا (تراز دریا‌های آزاد) در قسمت‌های مختلف آبخوان محاسبه شده است. اطلاعات مربوط به پیزومترهای حفر شده در آبخوان در جدول (۲-۴) ارائه شده است.

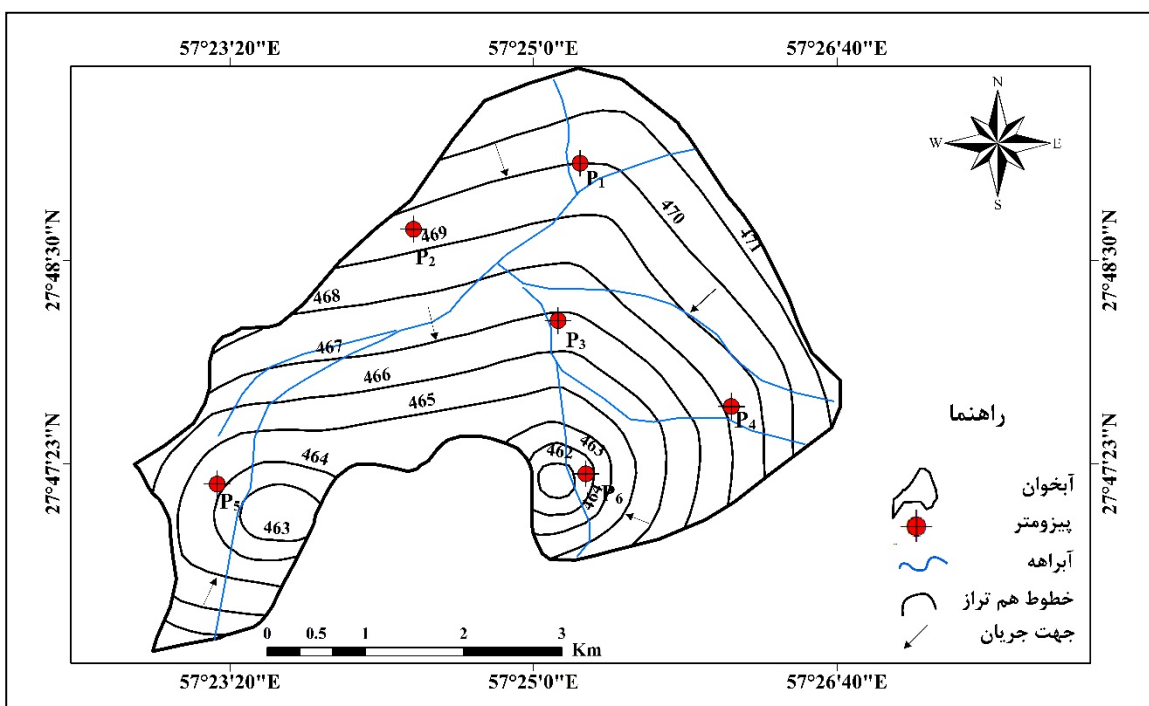
به منظور بررسی دقیق‌تر تغییرات سطح آب زیرزمینی در آبخوان کردی شیرازی، با استفاده از داده‌های سطح آب در پیزومترها، نقشه هم‌پتانسیل برای آبان ماه سال ۱۳۹۳ ترسیم گردید. با توجه به نقشه هم‌پتانسیل (شکل ۴-۳) بیشترین ارتفاع سطح ایستابی در قسمت شمالی دشت و کمترین آن در قسمت جنوبی می‌باشد. براساس نقشه مذکور جهت عمومی جریان از شمال به سمت مرکز و بخش‌های جنوب و جنوب

جدول ۴-۲: مشخصات پیزومترهای حفر شده در دشت کردی شیرازی و ارتفاع سطح ایستابی (آبان ۱۳۹۳)

علامت اختصاری	نام محل	UTM_x	UTM_y	عمق پیزومتر (m)	ارتفاع نقطه نشانه (m)	ارتفاع سطح ایستابی از سطح مبنا
						آبان ماه ۹۳
P ₁	شمال نازدشت	۵۴۱۴۵۷	۳۰۷۷۰۲۷	۷۲	۵۲۵/۹	۴۷۰
P ₂	شمال غرب نازدشت	۵۳۹۹۵۷	۳۰۷۶۳۵۱	۷۲	۵۲۶/۴	۴۶۹
P ₃	نازدشت	۵۴۱۲۶۴	۳۰۷۵۴۳۰	۷۸	۵۲۸/۵	۴۶۶/۹
P ₄	شرق نازدشت	۵۴۲۸۲۹	۳۰۷۴۵۶۴	۹۰	۵۴۲/۹	۴۶۸/۲
P ₅	جنوب غرب نازدشت	۵۳۸۱۹۵	۳۰۷۳۷۶۳	۵۸/۲	۵۳۵/۸	۴۶۴
P ₆	جنوب نازدشت	۵۴۱۵۲۰	۳۰۷۳۸۷۷	۶۰	۵۳۲	۴۶۲/۳

غربی می‌باشد. در یک بررسی دقیق‌تر در قسمت جنوب و جنوب غرب دشت اطراف پیزومترهای شماره ۵ و ۶ فرو افتادگی در سطح ایستابی آبخوان ناشی از پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری ایجاد شده است. با توجه به نقشه هم‌پتانسیل قسمت‌های شمالی دشت بیشترین نقش در تغذیه منابع آب زیرزمینی کردی شیرازی را به خود اختصاص می‌دهند. خروجی دشت در قسمت‌های جنوب و جنوب غرب توسط چاه‌های بهره‌برداری صورت می‌گیرد. با توجه به شبکه جریان ترسیم شده، آبخوان دشت کردی شیرازی به صورت یک حوضه آب زیرزمینی بسته می‌باشد.

در قسمت‌های شمال و مرکز دشت مقدار گرادیان هیدرولیکی حدود ۰/۰۰۲ می‌باشد. فاصله خطوط هم-پتانسیل نسبت به دیگر مناطق دشت بیشتر بوده که می‌تواند معرف مقدار نفوذپذیری بیشتر در این مناطق باشد. در مناطق جنوب و جنوب غرب فاصله خطوط هم‌پتانسیل به هم نزدیک می‌باشند که این موضوع می‌تواند مرتبط با افت ناشی از پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری یا کاهش احتمالی نفوذپذیری در این مناطق باشد. مقدار گرادیان هیدرولیکی در این مناطق حدود ۰/۰۰۵ می‌باشد.

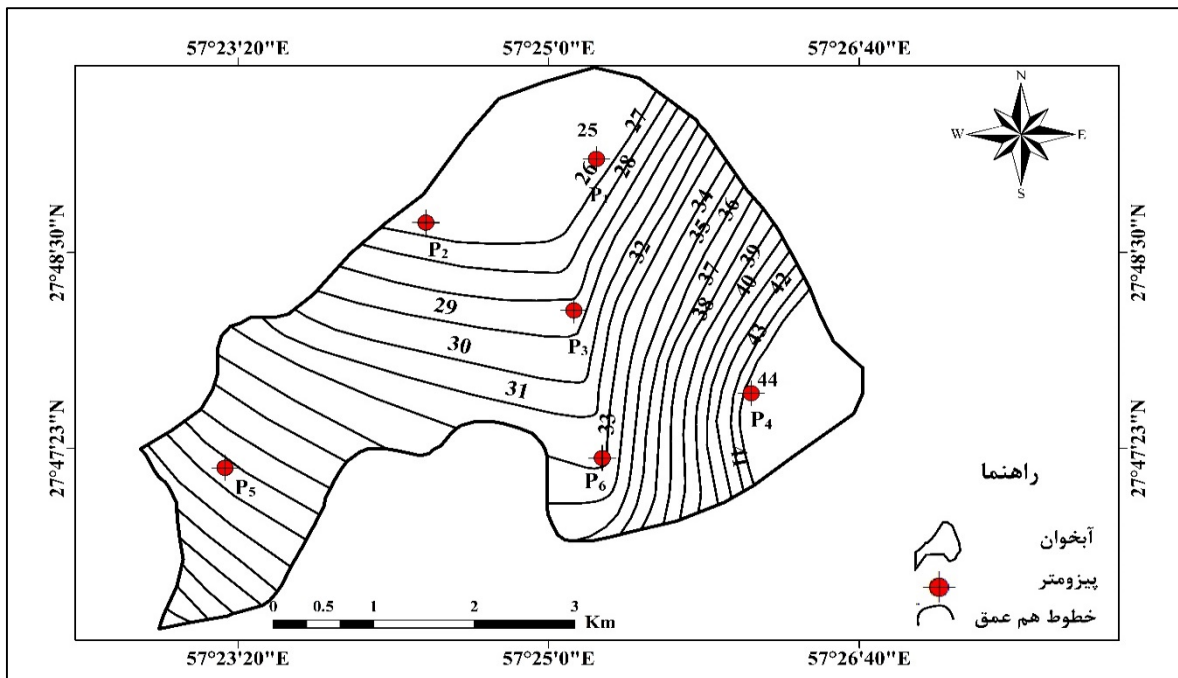


شکل ۴-۳: نقشه هم‌پتانسیل آبخوان دشت کردی شیرازی (آبان ۹۳)

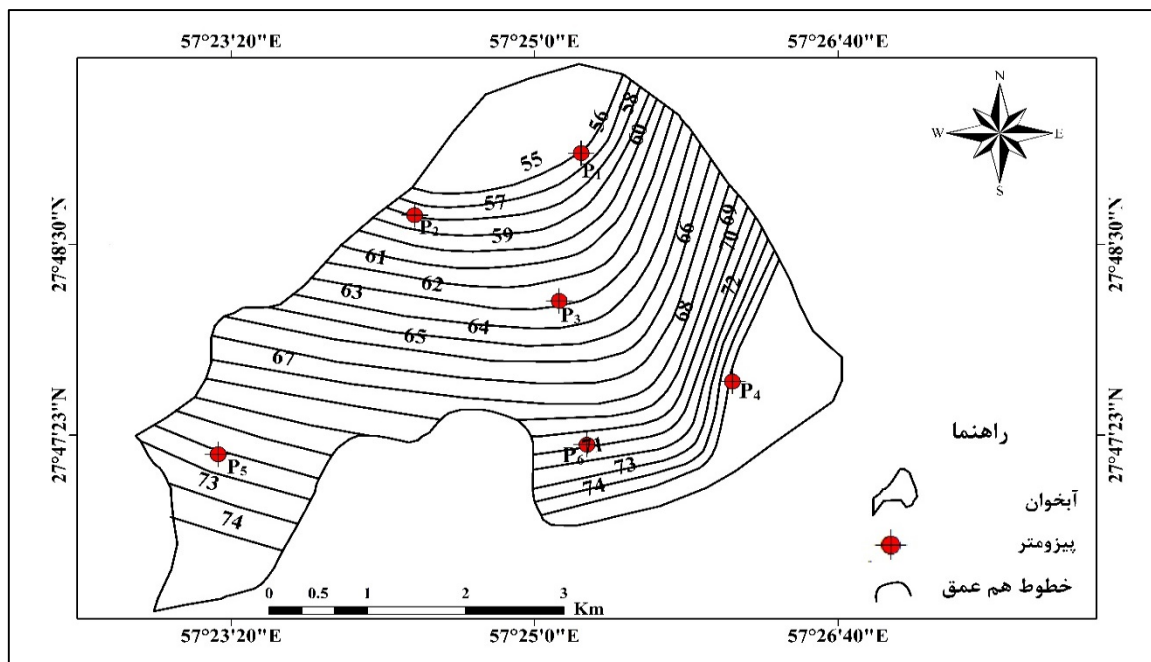
۴-۳-۴- ترسیم نقشه هم‌عمق

به منظور بررسی تغییرات عمق آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی از داده‌های عمق آب زیرزمینی در آبان ماه سال ۱۳۷۸ و ۱۳۹۳ استفاده گردید. بر اساس نقشه هم‌عمق در سال ۱۳۷۸ (شکل ۴-۴)، حداکثر عمق آب زیرزمینی در جنوب شرق در اطراف پیزومتر شماره چهار و برابر ۴۴ متر بوده و به سمت شمال دشت کاهش یافته و در اطراف پیزومتر یک، به حدود ۲۵ متر می‌رسد. نقشه هم‌عمق در سال ۱۳۹۳ (شکل ۴-۵)، حداکثر عمق آب زیرزمینی را در جنوب شرق اطراف پیزومتر شماره چهار برابر ۷۴/۷ متر و حداقل عمق آب زیرزمینی را در شمال دشت اطراف پیزومتر یک، برابر ۵۵ متر نشان می‌دهد. مقایسه نقشه‌های هم‌عمق در سال‌های ۷۸ و ۹۳ (شکل‌های ۴-۴ و ۴-۵) نشان می‌دهد، عمق آب زیرزمینی طی دوره ۱۶ ساله حدود ۳۰ متر افزایش یافته است که ناشی از افزایش چاه‌های بهره‌برداری و همچنین برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی بوده است. با استفاده از نقشه‌های هم‌عمق می‌توان میزان تبخیر از آب زیرزمینی را مشخص

نمود. با توجه به اینکه میزان تبخیر از آب زیرزمینی در اعماق بیشتر از ۳ متر، تقریباً ناچیز است، بنابراین خروجی ناشی از تبخیر آب زیرزمینی در دشت کردی وجود ندارد.



شکل ۴-۴: نقشه هم‌عمق سطح ایستابی آبخوان دشت کردی شیرازی (آبان ۷۸)



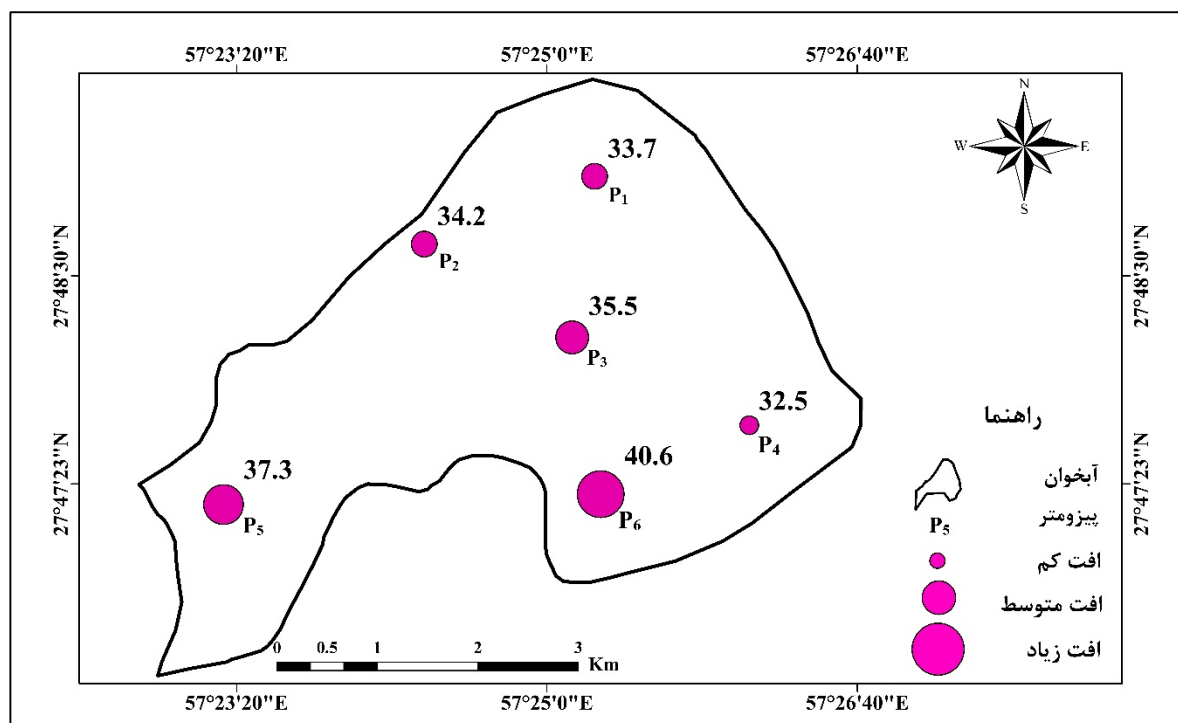
شکل ۴-۵: نقشه هم‌عمق سطح ایستابی آبخوان دشت کردی شیرازی (آبان ۹۳)

۴-۳-۵- بررسی افت سطح آب زیرزمینی

به منظور بررسی میزان افت سطح آب زیرزمینی دشت از داده‌های اندازه‌گیری شده طی سال‌های ۹۴-۱۳۷۸ استفاده شده است و افت کل سطح ایستابی در ۶ پیزومتر محاسبه شده است. افت کل در محل پیزومترها در جدول (۴-۳) ارائه شده و شکل (۴-۶) میزان افت کل در محل شش پیزومتر طی دوره ۱۶ ساله را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۳: افت سالانه سطح ایستابی در محل پیزومترهای حفر شده در دشت کردی شیرازی

علامت اختصاری	دوره آماری	مقدار افت کل (m)	نرخ افت سالانه (m)
P ₁	۱۳۷۸-۹۴	۳۳/۷	۲/۱
P ₂	۱۳۷۸-۹۴	۳۴/۲	۲/۱
P ₃	۱۳۷۸-۹۴	۳۵/۵	۲/۲
P ₄	۱۳۷۸-۹۴	۳۲/۵	۲/۰
P ₅	۱۳۷۸-۹۴	۳۷/۳	۲/۳
P ₆	۱۳۷۸-۹۴	۴۰/۶	۲/۵



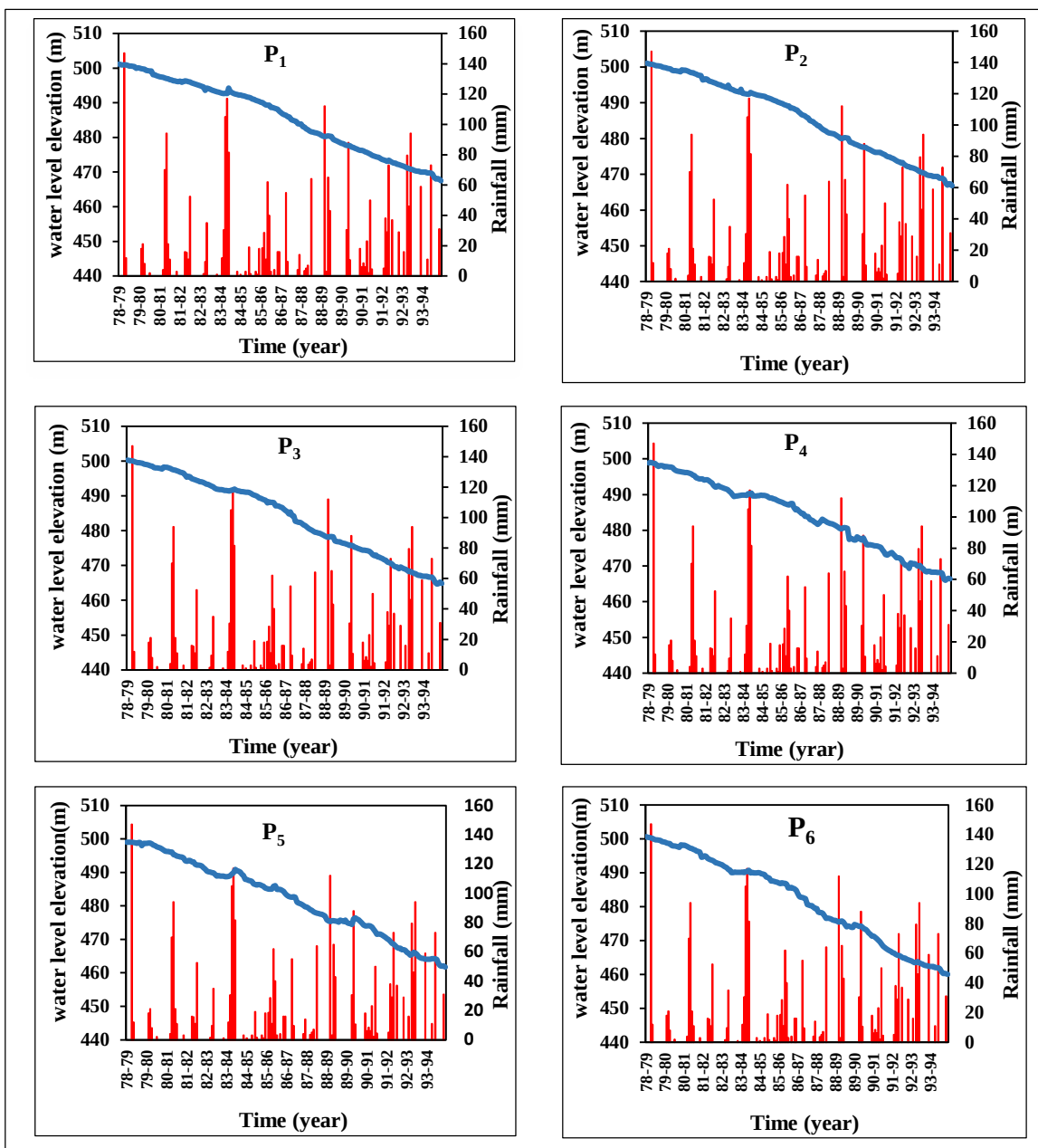
شکل ۴-۶: مقدار افت کل سطح آب زیرزمینی در محل پیزومترهای دشت کردی شیرازی (۱۳۷۸-۹۴)

میزان افت سطح آب زیرزمینی در این دوره ۱۶ ساله تغییراتی از ۳۲/۵ تا ۴۰/۶ متر را نشان می‌دهد. کمترین مقدار افت سطح آب زیرزمینی در قسمت جنوب شرق دشت ۳۲/۵ متر و بیشترین مقدار افت سطح آب زیرزمینی در قسمت جنوب دشت برابر ۴۰/۶ متر می‌باشد. در قسمت جنوب شرق دشت تعداد چاه‌های بهره‌برداری زیاد می‌باشد، لیکن به دلیل درشت‌دانه بودن رسوبات این بخش، تغذیه از بخش‌های جانبی آن زیاد بوده و بنابراین افت حداقلی در سطح آب زیرزمینی دیده می‌شود. افزایش افت در قسمت جنوبی آبخوان (محل پیزومتر P₆) در مقایسه با قسمت جنوب شرقی (محل پیزومتر P₄) به دلیل تمرکز چاه‌های بهره‌برداری و دانه‌ریز بودن رسوبات آبخوان در این بخش می‌باشد. افت در قسمت جنوب غربی آبخوان (محل پیزومتر P₅) نیز ناشی از برداشت بیش از حد آب زیرزمینی از چاه‌های بهره‌برداری در این محدوده می‌باشد.

۴-۳-۶- بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی

ارزیابی منابع آب زیرزمینی و برآورد میزان نوسانات سطح آب زیرزمینی در محدوده‌ی مورد مطالعه نیازمند دسترسی به داده‌های دقیق می‌باشد. اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی در پیزومترهای موجود در دشت صورت می‌گیرد. به منظور بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی، از هیدروگراف که تغییرات ارتفاع سطح آب زیرزمینی را نسبت به زمان نشان می‌دهد، استفاده می‌شود. داده‌های مورد استفاده شامل ارتفاع سطح آب در پیزومترها و داده‌های بارندگی طی دوره ۱۶ ساله (۱۳۷۸-۹۴) می‌باشد. هیدروگراف هر یک از پیزومترها در شکل (۷-۴) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نوسانات سطح آب در تمام پیزومترها دارای روند نزولی می‌باشد که این می‌تواند ناشی از برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی توسط چاه‌های بهره‌برداری باشد که سبب پایین رفتن سطح آب زیرزمینی در آبخوان شده است.

پیزومتر شماره ۴ در جنوب شرق دشت با افت کل ۳۲/۵ متر و متوسط نرخ افت سالانه ۲ متر کمترین افت را به خود اختصاص می‌دهد. دلیل افت کم در این پیزومتر نسبت به پیزومترهای دیگر احتمالاً مرتبط با نزدیکی آن به مرز تغذیه شمالی آبخوان و همچنین دانه درشت بودن رسوبات آن منطقه می‌باشد. پیزومتر شماره ۶ در جنوب دشت در طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۹۴، ۴۰/۶ متر سطح ایستابی آن کاهش یافته و متوسط



شکل ۴-۷: هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان دشت کردی شیرازی

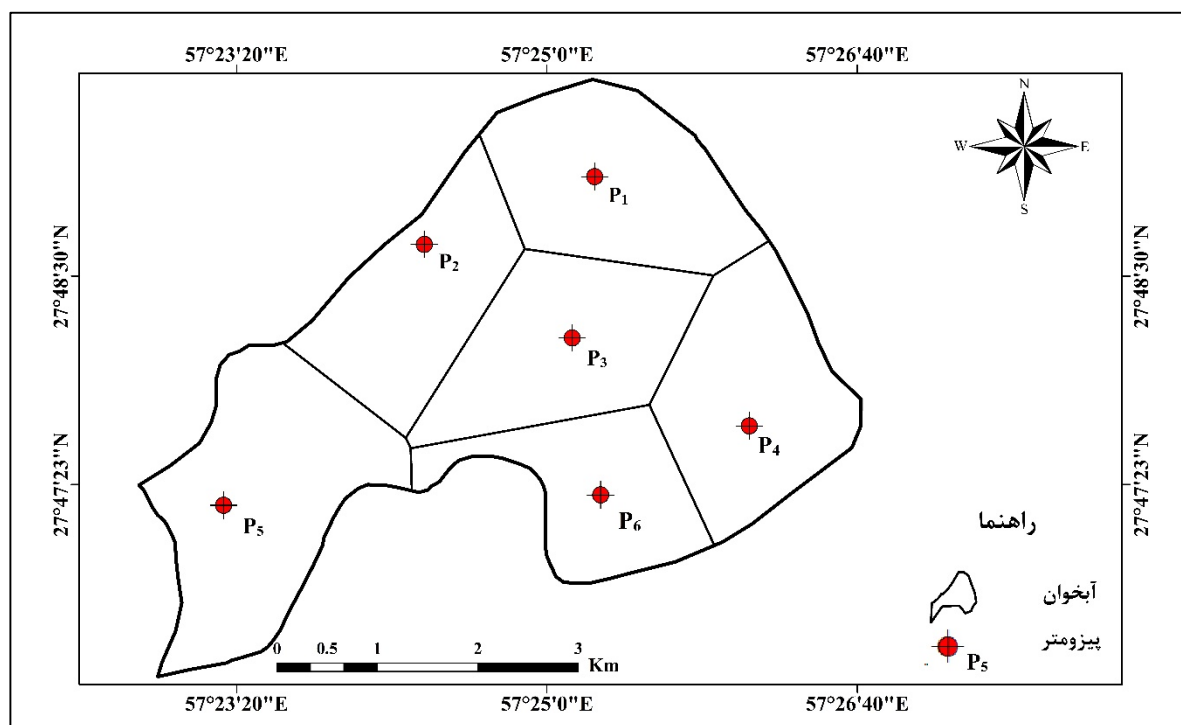
نرخ افت سالانه آن ۲/۵ متر می‌باشد. این پیزومتر بیشترین مقدار افت سطح آب زیرزمینی را در کل دشت نشان می‌دهد. با توجه به نقشه هم‌پتانسیل بیشترین خروجی دشت از این بخش بوده که به دلیل تمرکز چاه‌های بهره‌برداری اتفاق افتاده است.

برای بررسی ارتباط تغییرات سطح آب زیرزمینی با بارندگی دشت، مقدار بارندگی سالانه نیز طی دوره ۱۶ ساله بر روی هیدروگراف‌ها نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود ارتباط خوبی بین بارش و نوسانات سطح آب زیرزمینی در آبخوان دشت کردی شیرازی وجود دارد.

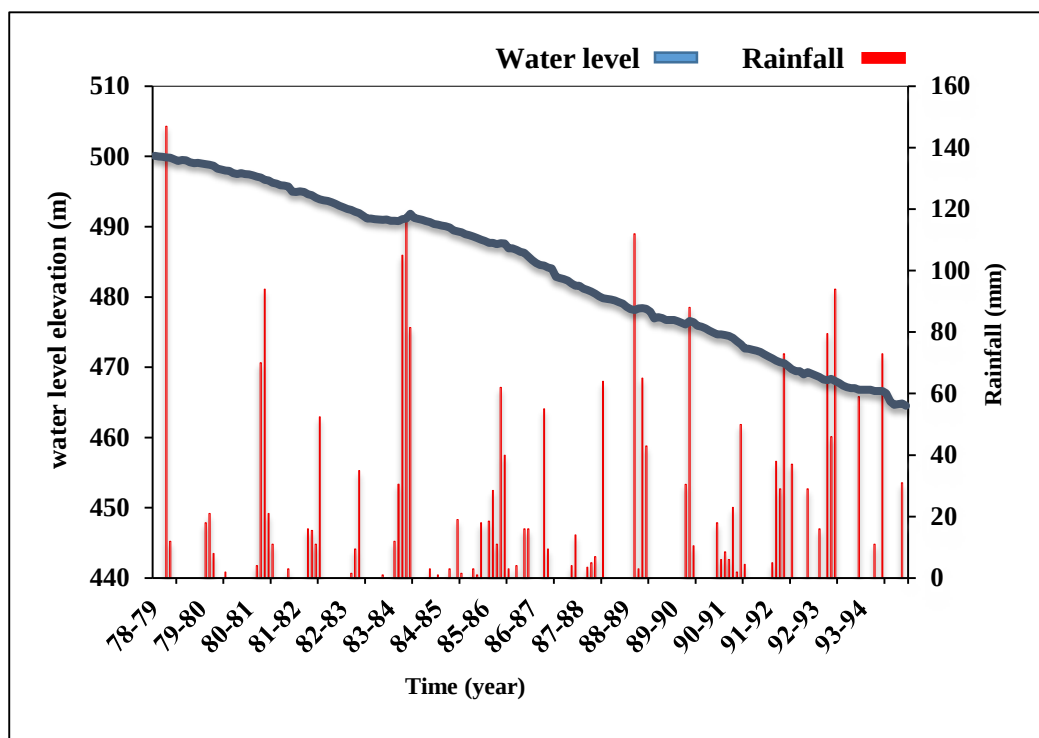
۴-۳-۷- ترسیم هیدروگراف معرف

هیدروگراف معرف نشان دهنده‌ی تغییرات کلی سطح آب زیرزمینی دشت می‌باشد. برای ترسیم هیدروگراف معرف دشت از داده‌های ماهانه سطح آب زیرزمینی ۶ حلقه پیزومتر در طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۴ استفاده شده است. ارتفاع متوسط سطح آب زیرزمینی در هر ماه از حاصلضرب ارتفاع سطح آب زیرزمینی هر یک از پیزومترهای موجود در دشت در مساحت چند ضلعی تیسن اطراف آن (شکل ۴-۸) محاسبه گردید و هیدروگراف معرف دشت ترسیم شد. همچنین به منظور بررسی ارتباط تغییرات سطح آب زیرزمینی و بارندگی، مقدار بارندگی دشت نیز بر روی هیدروگراف (شکل ۴-۹) نشان داده شده است.

با توجه به هیدروگراف معرف، سطح آب زیرزمینی در دشت، نسبت به بارندگی نوسان داشته و روند نزولی نسبت به زمان نشان می‌دهد. روند نزولی هیدروگراف معرف بیانگر افت مداوم سطح آب زیرزمینی می‌باشد. بررسی تغییرات میزان بارندگی نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر چندین دوره خشکسالی در منطقه وجود داشته است و بنابراین کاهش تغذیه به همراه افزایش برداشت بی‌رویه به عنوان عوامل اصلی باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی در دشت شده است. متوسط ارتفاع سطح آب از ۵۰۰ متر در سال ۱۳۷۸ به ۴۶۴/۵ متر در سال ۱۳۹۴ کاهش یافته است. تغییرات سطح آب زیرزمینی در طی این دوره ۱۶ ساله، ۳۵/۵ متر افت را نشان می‌دهد. براساس هیدروگراف واحد دشت، متوسط افت سالانه در دشت حدود ۲/۲ متر می‌باشد.



شکل ۴-۸: نقشه تبیین آبخوان کردی شیرازی



شکل ۴-۹: هیدروگراف معرف آبخوان دشت کردی شیرازی

۴-۳-۸- محاسبه ضرایب هیدرودینامیک آبخوان دشت کردی شیرازی

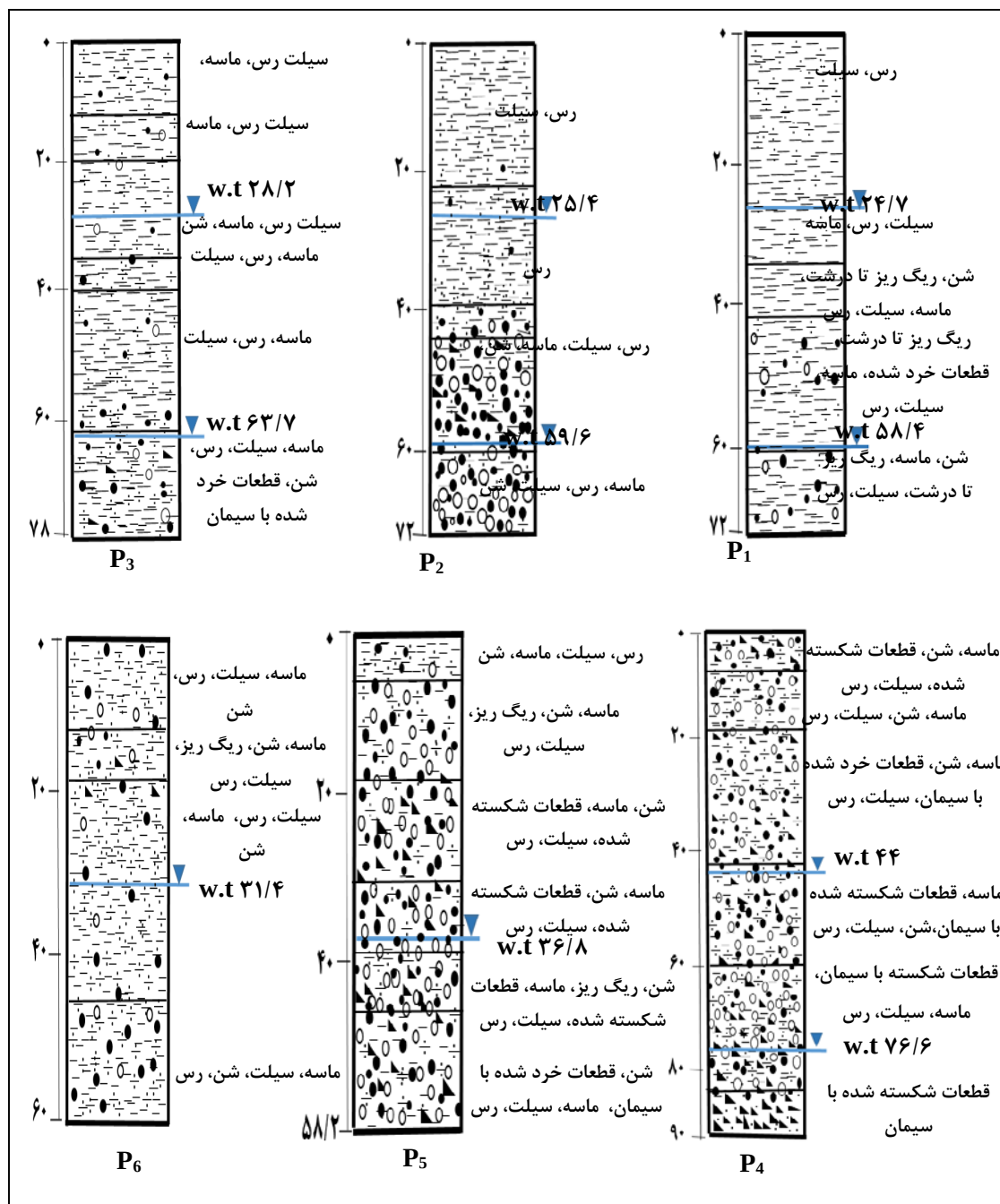
قابلیت انتقال و ضریب ذخیره دو پارامتر اساسی در ارزیابی منابع آب زیرزمینی می‌باشند. در دشت کردی شیرازی تاکنون آزمون پمپاژی انجام نشده است، بنابراین در این تحقیق ضرایب هیدرودینامیک بر اساس بافت رسوبات در لاگ‌های حفاری پیزومترها تعیین شده که در ادامه ارائه شده است.

۴-۳-۸-۱- تعیین قابلیت انتقال

قابلیت انتقال آبخوان کردی شیرازی با استفاده از لاگ حفاری پیزومترها (شکل ۴-۱۰) تعیین شده است. مقدار قابلیت انتقال هر لایه در لاگ حفاری شده با استفاده از رابطه (۴-۱) محاسبه شده است.

$$T = Kb \quad \text{رابطه (۴-۱)}$$

در این رابطه b ضخامت (m)، K هدایت هیدرولیکی (m/day) و T قابلیت انتقال (m^2/day) می‌باشد. بر اساس مطالعات تجربی برای برآورد و تخمین قابلیت انتقال در مناطق مختلف کشور (کرمی ۱۳۸۹، کرمی ۱۳۹۱) مقادیر تخمینی هدایت هیدرولیکی برای بافت غالب رسوبات در دشت‌های آبرفتی در جدول ۴-۴ ارائه شده است. با توجه به این جدول مقادیر هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال با استفاده از لاگ حفاری پیزومترهای دشت کردی شیرازی تخمین زده شده و در جدول (۴-۵) ارائه شده است. بر این اساس مقدار قابلیت انتقال آبخوان دشت کردی شیرازی، از ۸۷ تا ۳۹۶ متر مربع بر روز، متغیر بوده و متوسط آن حدود ۲۳۰ متر مربع بر روز برآورد شده است.



شکل ۴-۱۰: لاگ حفاری پیژومترها در دشت کردی شیرازی

جدول ۴-۴: مقادیر تخمینی هدایت هیدرولیکی رسوبات مختلف (کرمی ۱۳۸۹، کرمی ۱۳۹۱)

هدایت هیدرولیکی (m/day)	بافت غالب رسوب
۱۲	گراول
۸-۶	ماسه
۰/۵	سیلت
۰/۲	رس

جدول ۴-۵: مقادیر هدایت هیدرولیکی براساس بافت رسوبات (زیر سطح ایستابی) در لاگ پیزومترها و قابلیت انتقال آبخوان کردی شیرازی

نام پیزومتر	بافت غالب رسوب	ضخامت زون اشباع (m)	هدایت هیدرولیکی (m/day)	قابلیت انتقال (m ² /day)
P ₁	ریگ ریز- شن- ماسه- سیلت- رس	۳۶/۶	۷	۲۵۶/۳
P ₂	رس- ماسه- سیلت- کمی شن	۳۰/۴	۵	۱۵۱/۹
P ₃	ماسه- سیلت- رس- شن- قطعات شکسته	۲۶/۳	۵	۱۳۱/۶
P ₄	قطعات شکسته همراه با سیمان- ماسه- سیلت- رس	۲۳/۵	۸	۱۸۷/۶
P ₅	شن- قطعات شکسته همراه با سیمان- ماسه- سیلت- کمی رس	۵۵/۹	۸	۴۴۷
P ₆	ماسه- سیلت- شن- رس	۴۳	۵	۲۱۵

۴-۳-۸-۲- تعیین آبدهی ویژه

با توجه به اینکه مقادیر دقیق آبدهی ویژه در دشت کردی شیرازی بر اساس آزمون پمپاژ وجود ندارد، در این تحقیق آبدهی ویژه بر اساس بافت رسوبات در لاگ حفاری پیزومترها تعیین می‌شود. مقدار تخمینی آبدهی ویژه بر اساس نتایج مطالعات تجربی در مناطق مختلف کشور (کرمی ۱۳۸۹، کرمی ۱۳۹۱) در جدول (۴-۶) ارائه شده است. مقدار آبدهی ویژه دشت کردی شیرازی با توجه به بافت غالب رسوبات در لاگ حفاری پیزومترها تعیین شده و در شکل (۱۱-۴) نشان داده شده است. مقدار آبدهی ویژه آبخوان بین ۵ تا ۷ درصد متغیر بوده و متوسط آن ۶ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۶: تخمین آبدهی ویژه صحرایی براساس بافت‌های غالب رسوبات (کرمی ۱۳۸۹، کرمی ۱۳۹۱)

بافت غالب رسوب	آبدهی ویژه (درصد)
گراول	۱۰
ماسه	۸
ماسه و رس	۶
رسوبات مختلط	۴
رس	۲

۴-۳-۹- بیان آب زیرزمینی

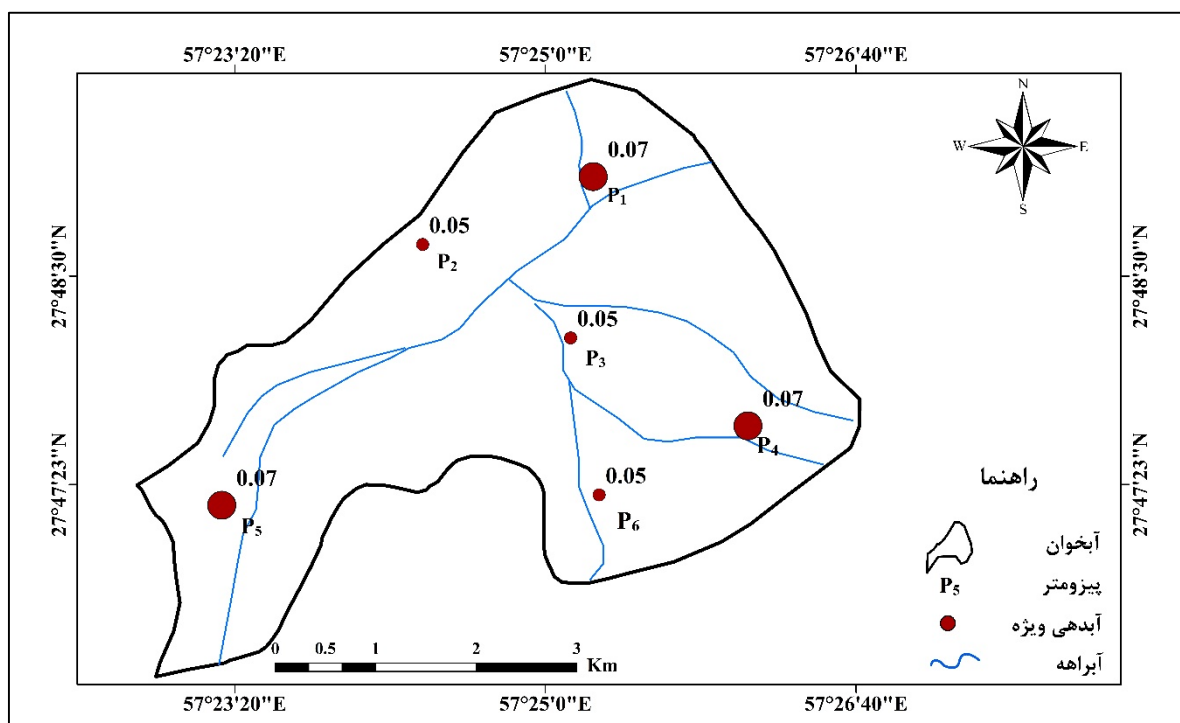
بررسی و مطالعه تبادلات آب در یک محدوده یا منطقه که بر اصل بقاء ماده در چرخه آب تأکید دارد بیان نامیده می‌شود. بر طبق این تعریف کلیه آب‌هایی که در یک زمان معین وارد یک محدوده خاص می‌گردند در این منطقه یا به مصرف می‌رسند یا ذخیره می‌شوند و یا به حالت‌های مختلف از محدوده خارج می‌شوند. در واقع بیان آب زیرزمینی، توازن هیدروژئولوژیکی می‌باشد، یعنی توازن بین ورودی و خروجی‌های یک سیستم را بررسی می‌کند (Todd and Mays, 2005). در محاسبات بیان آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه از رابطه (۲-۴) استفاده می‌شود:

$$I - O = \pm \Delta S \quad \text{رابطه (۲-۴)}$$

که در این رابطه I جریان‌های ورودی، O جریان‌های خروجی از سیستم و ΔS تغییرات ذخیره در آبخوان می‌باشد.

۴-۳-۹-۱- محدوده بیان آب زیرزمینی

مساحت کل حوضه آبریز کردی شیرازی حدود ۱۳۱/۶ کیلومتر مربع برآورد شده است. محدوده بیان، آبخوان دشت کردی شیرازی بوده که مساحت آن از طریق پلیگون‌بندی تیسن (شکل ۴-۸)، حدود ۱۸/۸۳ کیلومتر مربع می‌باشد.



شکل ۴-۱۱: مقادیر آبدهی ویژه آبخوان کردی شیرازی، تعیین شده بر اساس بافت غالب رسوبات در لاگ پیزومترها

۲-۹-۳-۴- دوره زمانی بیلان

در این مطالعه با توجه به آمار و اطلاعات موجود و داده‌های سطح آب در پیزومترها، بیلان آبخوان برای سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ محاسبه شده است.

۳-۹-۳-۴- پارامترهای مختلف بیلان

مؤلفه‌های ورودی به آبخوان به طور عمده شامل آب نفوذی از بارش، آب‌های برگشتی (کشاورزی و شرب) و ورودی زیرزمینی می‌باشد. همچنین مؤلفه‌های خروجی شامل تخلیه ناشی از بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در محدوده بیلان می‌باشد. با توجه اینکه محدوده بیلان یک حوضه بسته آب زیرزمینی می‌باشد، در نتیجه خروجی آب زیرزمینی برابر با صفر می‌باشد. همچنین با توجه اینکه عمق سطح ایستابی در تمامی نقاط آبخوان بیشتر از ۵ متر می‌باشد، لذا مقدار تبخیر و تعرق برابر با صفر می‌باشد.

الف - مؤلفه‌های ورودی به آبخوان

الف-۱) تغذیه ناشی از نفوذ بارندگی در سطح دشت

با توجه به بافت رسوبات دشت که در قسمت شمال و مرکز دانه ریز و در قسمت جنوب شرق تا جنوب غرب رسوبات دانه درشت نیز وجود دارند، میزان نفوذ آب بارندگی برای کل دشت ۲۰ درصد در نظر گرفته شده است. میزان بارندگی در سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ در محدوده بیلان ۱۱۵ میلی‌متر بوده است. بنابراین مجموع حجم آب تغذیه ناشی از بارندگی طبق رابطه (۳-۴) برابر ۰/۴۳ میلیون متر مکعب برآورد شده است.

$$Q_p = P I A \quad \text{رابطه (۳-۴)}$$

در این رابطه، Q_p تغذیه ناشی از بارندگی (m^3)، P بارندگی (m)، I درصد نفوذ باران (%) و A مساحت محدوده بیلان (m^2) می‌باشد.

$$Q_p = 115 \times 10^{-3} \times 20 \times 18/83 \times 10^6 = 0/43 \text{ Mm}^3$$

الف-۲) جریان‌های زیرزمینی ورودی به آبخوان

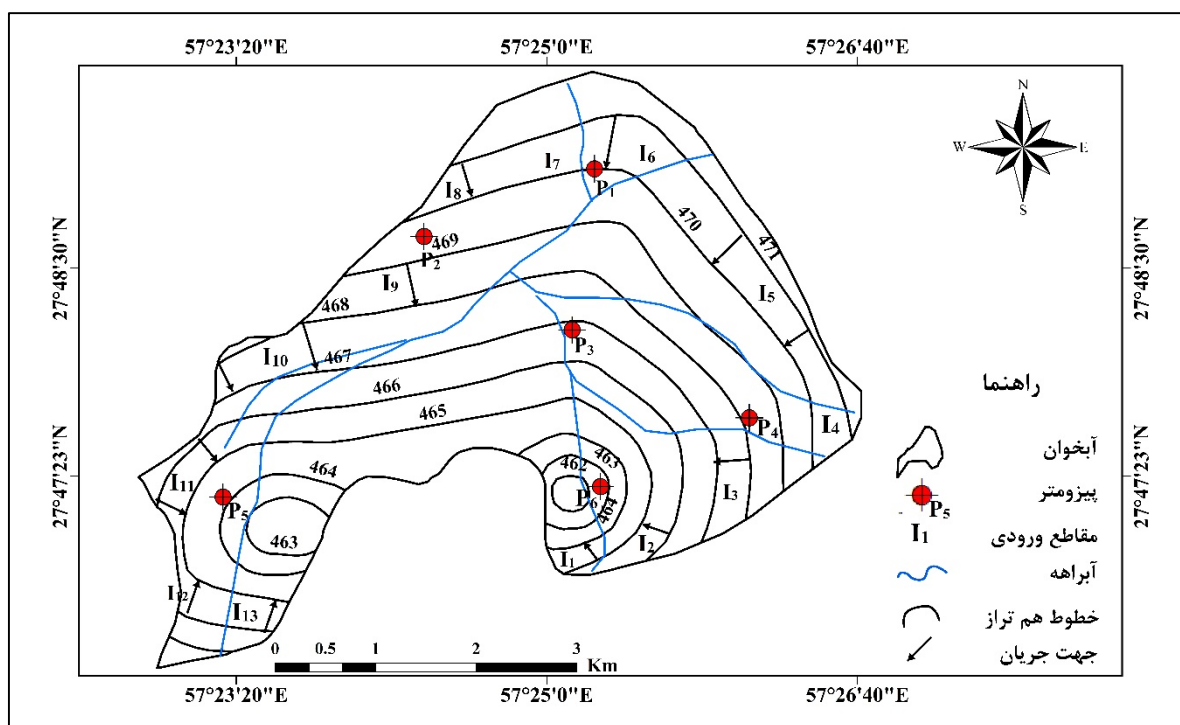
به منظور محاسبه جریان ورودی زیرزمینی به آبخوان از نقشه هم‌پتانسیل آبان ماه ۱۳۹۳ (شکل ۴-۱۲) استفاده شده است. بر روی نقشه هم‌پتانسیل مقاطع ورودی جریان با علامت I مشخص شده است. لازم به ذکر است کانال‌های (لوله‌های) جریان بر اساس ترسیم عمود خطوط جریان بر منحنی‌های هم‌پتانسیل ایجاد شده است. دبی ورودی از هر مقطع با استفاده از رابطه داری (۴-۴) محاسبه شده است.

$$Q_i = T i W \quad \text{رابطه (۴-۴)}$$

Q_i دبی ورودی به آبخوان (m^3/day)، T متوسط قابلیت انتقال آبخوان (m^2/day)، i شیب هیدرولیکی در محدوده لوله جریان و W عرض مقطع جریان (m) می‌باشد. بر اساس محاسبات انجام گرفته (جدول ۴-۷) کل حجم ورودی زیرزمینی به آبخوان دشت کردی شیرازی برابر ۲/۷ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است.

الف-۳) تغذیه ناشی از آب برگشتی به آبخوان

تغذیه ناشی از آب برگشتی به محدوده بیلان شامل آب‌های برگشتی کشاورزی و شرب می‌باشد. با توجه به بافت رسوبات و همچنین نوع کشت محصولات و سیستم آبیاری غرقابی، ضریب ۱۵ درصد برای آب برگشتی کشاورزی در نظر گرفته می‌شود. همچنین برای آب برگشتی شرب ضریب ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است. با توجه به آمار تخلیه سالانه، حجم آب برگشتی در بخش کشاورزی و شرب از روابط (۴-۵) و (۴-۶) محاسبه شده است.



شکل ۴-۱۲: نقشه هم‌پتانسیل آبخوان کردی شیرازی (آبان ۱۳۹۳)، که در آن مقاطع ورودی

با علامت I مشخص شده است.

حجم آب برگشتی کشاورزی و شرب به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۰۲۷ میلیون متر مکعب در سال تخمین زده شده است. در نتیجه مجموع حجم آب برگشتی به آبخوان حدود یک میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است.

$$Q_i = Q_A I$$

رابطه (۴-۵)

در این رابطه، Q_i حجم آب برگشتی کشاورزی، Q_A حجم آب تخلیه شده توسط چاه‌های کشاورزی و I درصد نفوذ آب برگشتی کشاورزی می‌باشد.

$$Q_I = 6/54 \times 10^6 \times 15^{-10} = 0/98 \text{ Mm}^3/\text{year}$$

جدول ۴-۷: مشخصات مقاطع ورودی آب زیرزمینی به آبخوان و محاسبه جریان

مقاطع ورودی	W (m)	i	T (m ² /day)	Q _i (m ³ /day)	Q _i (MCM/y)
I ₁	373/5	0/005	230	429/5	0/16
I ₂	593/5	0/004	230	546	0/20
I ₃	376/5	0/0034	230	294/4	0/11
I ₄	899	0/0034	230	703	0/26
I ₅	1226/5	0/003	230	846/3	0/31
I ₆	1525/5	0/0022	230	771/9	0/28
I ₇	1398	0/0023	230	739/5	0/27
I ₈	360/5	0/0026	230	215/6	0/08
I ₉	750	0/0024	230	414	0/15
I ₁₀	803/5	0/002	230	369/6	0/13
I ₁₁	611	0/0041	230	576/2	0/21
I ₁₂	1126	0/0036	230	932/3	0/34
I ₁₃	645/5	0/0028	230	415/7	0/15
کل ورودی زیرزمینی (میلیون متر مکعب در سال)					2/7

$$Q_{sw} = Q_D RF \quad \text{رابطه (۴-۶)}$$

در این رابطه، Q_{sw} حجم آب برگشتی شرب، Q_D حجم آب تخلیه شده برای مصارف شرب و RF درصد نفوذ آب برگشتی ناشی از مصارف شرب می‌باشد.

$$Q_{sw} = 0/54 \times 10^6 \times 50^{-10} = 0/27 \text{ Mm}^3/\text{year}$$

ب) مؤلفه‌های خروجی از آبخوان

ب-۱) خروجی ناشی از پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری

با توجه به آمار و اطلاعات مربوط به سال ۱۳۹۴ محدوده بیلان کردی شیرازی دارای ۱۰۹ حلقه چاه می‌باشد، که از این تعداد ۵۲ حلقه چاه فعال مربوط به بخش کشاورزی و ۱ حلقه چاه جهت مصرف شرب پمپاژ می‌گردند. حجم بهره‌برداری چاه‌های کشاورزی در این محدوده حدود ۶/۵۴ میلیون متر مکعب در سال و حجم بهره‌برداری از چاه شرب حدود ۰/۰۵۴ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. بنابراین حجم کل بهره‌برداری توسط چاه‌های پمپاژ حدود ۶/۶ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد.

$$Q_{EX} = 6/54 \times 10^6 + 0/054 \times 10^6 = 6/6 \text{ Mm}^3/\text{year} \quad \text{رابطه (۴-۷)}$$

ج) محاسبه تغییر در حجم ذخیره

تغییر در حجم ذخیره با استفاده از رابطه (۴-۸) محاسبه می‌شود.

$$\Delta V = A \times S_y \times \Delta H \quad \text{رابطه (۴-۸)}$$

A مساحت آبخوان (m^2)، S_y آبدهی ویژه، ΔH اختلاف ارتفاع سطح آب (m) و ΔV تغییرات حجم ذخیره (MCM/y) می‌باشد. مقدار افت در سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ برای محدوده بیلان ۲/۲۷ متر، متوسط آبدهی ویژه با توجه به بافت رسوبات ۰/۰۶ و مساحت آبخوان ۱۸/۸۳ کیلومتر مربع می‌باشد. بر این اساس مقدار تغییر در حجم ذخیره آبخوان ۲/۶- میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است.

$$\Delta S = 18/83 \times 10^6 \times 0/06 \times (-2/27) = -2/6 \text{ Mm}^3/\text{year}$$

اجزای بیلان در جدول (۴-۸) ارائه شده است. برطبق این جدول تفاوت بین ورودی و خروجی‌ها برابر ۲/۵- میلیون متر مکعب در سال محاسبه شده، در صورتی که مقدار تغییر در حجم ذخیره حدود ۲/۶- میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. اختلاف مشاهده شده ناشی از خطاهای محاسباتی باشد. این اختلاف مقداری ناچیز بوده و در نتیجه نتایج حاصل از بیلان دشت قابل قبول می‌باشد.

جدول ۴-۸: محاسبه بیلان آبخوان دشت کردی شیرازی در سال آبی ۹۴-۱۳۹۳

تخلیه سالانه (میلیون متر مکعب)	تغذیه سالانه (میلیون متر مکعب)	اجزای بیلان
	۰/۴	تغذیه ناشی از نفوذ بارندگی
	۲/۷	تغذیه ناشی از جریان ورودی آب زیرزمینی
	۱	تغذیه ناشی از آب برگشتی کشاورزی و شرب
	۴/۱	مجموعه عوامل تغذیه در محدوده بیلان
- ۶/۶		تخلیه توسط چاه‌های بهره‌برداری
۰		جریان خروجی از آب زیرزمینی
- ۶/۶		مجموع عوامل تخلیه در محدوده بیلان
-۲/۵		تفاوت ورودی و خروجی

۱۰-۳-۴- بررسی کیفی آب زیرزمینی

ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی نقش بسیار مهمی در طرح‌های توسعه منابع آب کشور دارد. به منظور بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی هر ساله نمونه‌برداری از منابع آب انتخابی دشت توسط آب منطقه‌ای استان هرمزگان صورت می‌گیرد. موقعیت منابع انتخابی آبخوان دشت کردی شیرازی در شکل (۲-۳) نشان داده شده است. نتایج آنالیزهای شیمیایی مربوط به این چاه‌ها در سال ۱۳۹۴ در جدول (۹-۴) ارائه شده است. پارامترهای اندازه‌گیری شامل هدایت الکتریکی (EC)، pH و یون‌های اصلی می‌باشد. همچنین مقادیر کل املاح جامد محلول (TDS) و سختی کل (TH) نیز محاسبه شده است.

۱-۱۰-۳-۴- هدایت الکتریکی منابع آب زیرزمینی در آبخوان کردی شیرازی

در شکل (۱۳-۴) مقدار هدایت الکتریکی در چاه‌های انتخابی آبخوان نشان داده شده است. با توجه به تغییرات هدایت الکتریکی چاه‌های نمونه‌برداری به دو گروه ۱ و ۲ تقسیم می‌شوند. گروه ۱ شامل چاه‌های W₁₄, W₆, W₇, W₅, W₄, W₃, W₂, W₁ که در قسمت جنوب غربی دشت واقع شده‌اند. گروه ۲ شامل چاه‌های W₁₅, W₁₃, W₁₂, W₁₁, W₁₀, W₉, W₈ که در قسمت شرق تا جنوب دشت قرار دارند. حداقل، حداکثر و

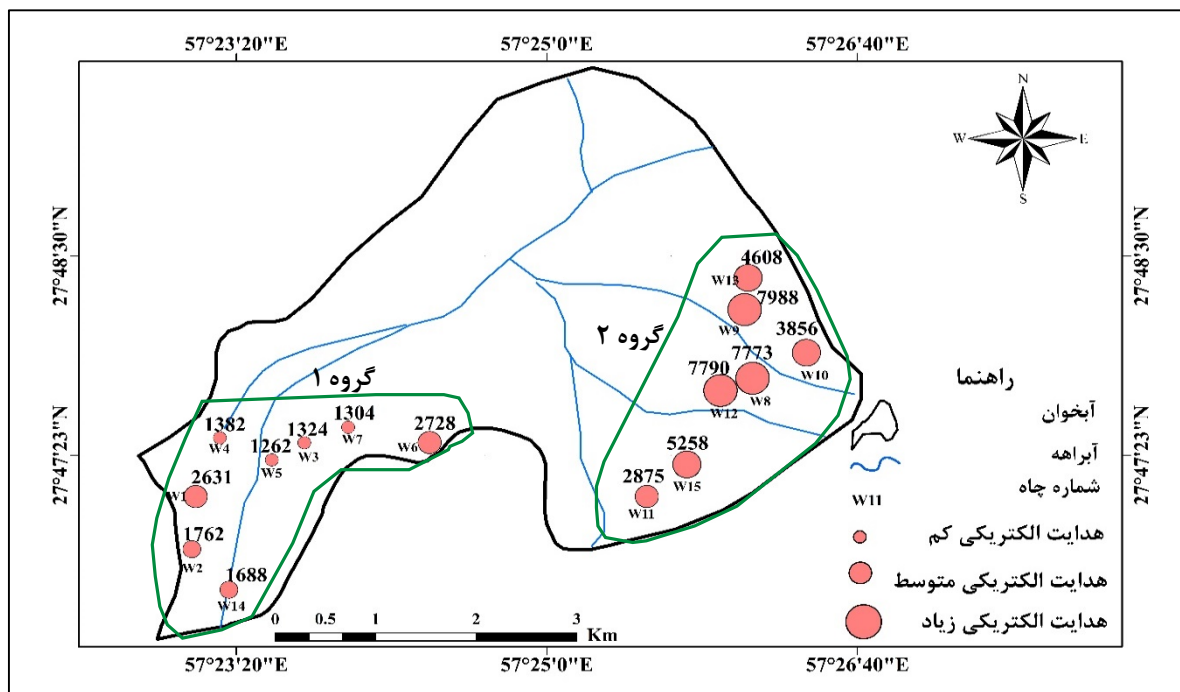
متوسط مقدار هدایت الکتریکی در گروه یک به ترتیب، ۱۲۶۲، ۲۷۲۸ و ۱۷۶۰ میکروموس بر سانتی متر می باشد. در این قسمت از دشت، رسوبات دانه درشت بوده و آب های سطحی و زیر سطحی از کوه هایی که جنس آنها دونیت بوده به سمت دشت سرازیر شده، به همین دلیل مقدار هدایت الکتریکی پایین می باشد. حداقل مقدار هدایت الکتریکی در گروه دو برابر ۲۷۸۵ میکروموس بر سانتی متر، حداکثر مقدار هدایت الکتریکی ۷۹۸۸ میکروموس بر سانتی متر و متوسط هدایت الکتریکی حدود ۵۷۲۳ میکروموس بر سانتی متر می باشد. بالا بودن مقدار هدایت الکتریکی به دلیل وجود مجموعه بجگان (سنگ های شیستی) در این قسمت از دشت می باشد. همچنین منابع انتخابی در قسمت شرق دشت به لحاظ زمین شناسی در رسوبات رسی و سیلتی قرار گرفته اند که این رسوبات می تواند در افزایش شوری منابع آب زیرزمینی نقش داشته باشند.

۲-۱۰-۳-۴- تغییرات pH منابع آب زیرزمینی در آبخوان کردی شیرازی

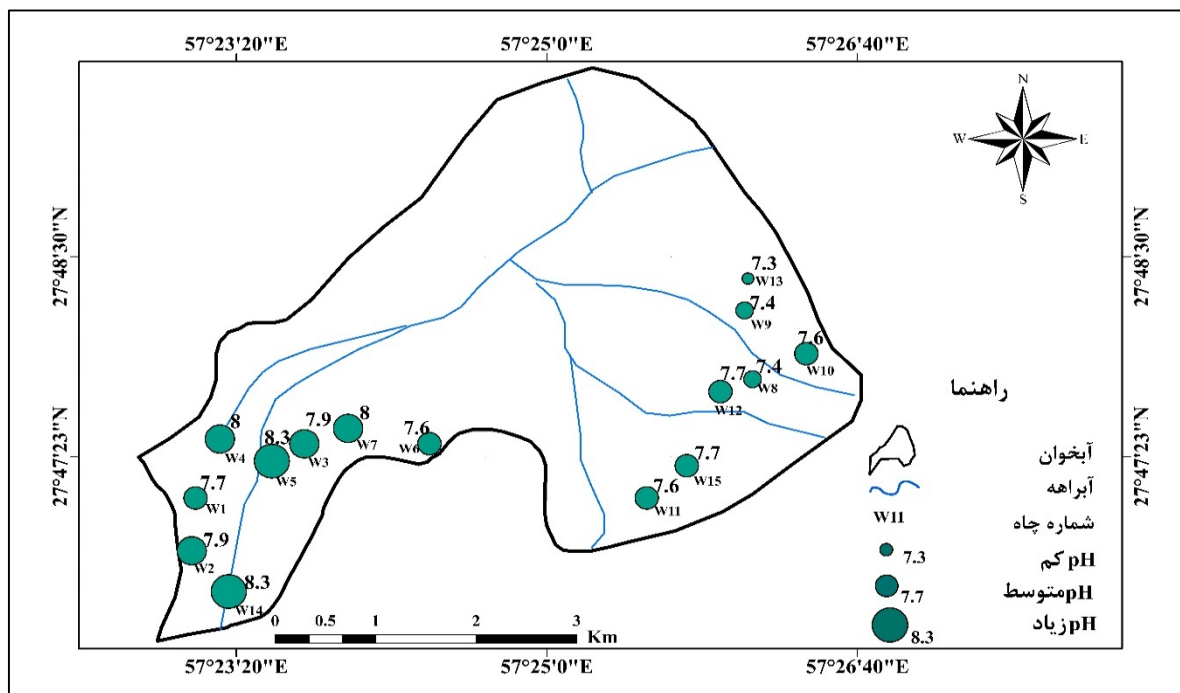
شکل (۴-۱۴) تغییرات مقدار pH را در آبخوان کردی شیرازی نشان می دهد. متوسط pH در چاه های گروه دو حدود ۷/۵ و متوسط آن در چاه های گروه یک حدود ۷/۹ می باشد. پایین بودن مقدار pH بخش شرقی احتمالاً به دلیل املاح زیادتر در نمونه ها بوده که می تواند زمینه را برای رسوب گذاری کانی کلسیت و بنابراین افزایش اسیدیته فراهم نماید.

جدول ۴-۹: پارامترهای شیمیایی در چاه‌های انتخابی دشت کردی شیرازی (۱۳۹۴)

چاه	UTM_x	UTM_y	EC ($\mu s/cm$)	HCO_3^- (meq/l)	Cl^- (meq/l)	SO_4^{2-} (meq/l)	Ca^{2+} (meq/l)	Mg^{2+} (meq/l)	Na^+ (meq/l)	pH	TDS (mg/l)	TH (mg/l)
W_1	۵۳۷۹۵۳	۳۰۷۳۵۴۱	۲۶۳۱	۱/۴	۲۱	۳/۹	۶/۳۹	۸/۵۸	۱۱/۳۶	۷/۶۸	۱۶۸۴	۷۵۲
W_2	۵۳۷۹۲۱	۳۰۷۲۹۹۶	۱۷۶۲	۲/۱	۱۱/۲۵	۴/۲۶	۳/۱۹	۴/۱۱	۱۰/۳	۷/۹	۱۱۲۸	۳۶۷
W_3	۵۳۸۹۰۹	۳۰۷۴۱۰۲	۱۳۲۴	۲/۶	۶/۹	۳/۷۳	۲/۵۵	۳/۷۹	۶/۸۸	۷/۸۵	۸۴۷	۳۲۰
W_4	۵۳۸۱۶۵	۳۰۷۴۱۵۰	۱۳۸۲	۲/۵	۷/۲	۴/۱۱	۲/۵۵	۳/۴۷	۷/۷۸	۷/۹۷	۸۸۴	۳۰۴
W_5	۵۳۸۶۲۴	۳۰۷۳۹۲۳	۱۲۶۲	۱/۷	۷	۳/۹۱	۱/۹۲	۴/۴۲	۶/۲۶	۸/۲۸	۸۰۸	۳۲۰
W_6	۵۴۰۰۱۲	۳۰۷۴۱۰۷	۲۷۲۸	۳/۶	۱۶/۵	۷/۱۷	۵/۷۵	۵/۳۷	۱۶/۱۳	۷/۵۸	۱۷۴۶	۵۶۰
W_7	۵۳۹۲۹۵	۳۰۷۴۲۶۳	۱۳۰۴	۳/۲	۵/۹	۳/۹۳	۱/۹۲	۲/۶۸	۸/۴۲	۷/۹۷	۸۳۵	۲۳۲
W_8	۵۴۲۸۵۶	۳۰۷۴۷۸۲	۷۷۷۳	۳/۷	۵۶/۵	۱۷/۴۹	۱۵/۱۷	۱۳/۴۲	۴۹/۰۵	۷/۳۹	۴۹۷۵	۱۴۴۰
W_9	۵۴۲۷۸۴	۳۰۷۵۴۹۲	۷۹۸۸	۴/۶	۵۷/۲۵	۱۷/۹۹	۱۵/۱۷	۱۳/۴۲	۵۱/۲	۷/۳۸	۵۱۱۲	۱۴۴۰
W_{10}	۵۴۳۳۲۹	۳۰۷۵۰۴۸	۳۸۵۶	۲/۷	۲۶/۵	۹/۳۴	۷/۰۳	۶/۶۳	۲۴/۸۵	۷/۶۱	۲۴۶۸	۶۸۸
W_{11}	۵۴۱۹۲۸	۳۰۷۳۵۵۵	۲۷۸۵	۳/۷	۱۷/۵	۶/۶۴	۵/۱۱	۵/۳۷	۱۷/۳۴	۷/۶۱	۱۷۸۲	۵۲۸
W_{12}	۵۴۲۵۷۴	۳۰۷۴۶۵۴	۷۷۹۰	۳	۵۹/۵	۱۵/۳۶	۱۷/۵۶	۷/۹	۵۲/۳۵	۷/۶۹	۴۹۸۶	۱۲۸۰
W_{13}	۵۴۲۸۱۲	۳۰۷۵۸۲۰	۴۶۰۸	۳/۷	۲۹/۵	۱۲/۸۵	۷/۸۲	۵/۵۳	۳۲/۶۵	۷/۲۷	۲۹۴۹	۶۷۲
W_{14}	۵۳۸۲۴۹	۳۰۷۲۵۷۷	۱۶۸۸	۱/۶	۱۱/۲	۴/۰۷	۱/۷۶	۵/۲۱	۹/۸۹	۸/۲۸	۱۰۸۰	۳۵۲
W_{15}	۵۴۲۲۸۰	۳۰۷۳۸۸۸	۵۲۵۸	۳/۲	۳۶	۱۳/۳۴	۱۲/۷۷	۷/۱۱	۳۲/۶۱	۷/۶۶	۳۳۶۵	۱۰۰۰
Max			۷۹۸۸	۴/۶	۵۹/۵	۱۷/۴۹	۱۷/۵۶	۱۳/۴۲	۵۲/۳۵	۸/۲۸	۵۱۱۲	۱۴۴۰
Min			۱۲۶۲	۱/۴	۷	۳/۷۳	۱/۹۲	۳/۴۷	۶/۳	۷/۲۷	۸۴۷	۳۰۴
Ave			۳۶۰۹	۲/۹	۲۴/۷	۸/۵	۷/۱	۶/۵	۲۲/۵	۷/۷۴	۲۳۱۰	۶۸۴



شکل ۴-۱۳: تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در آبخوان کردی شیرازی



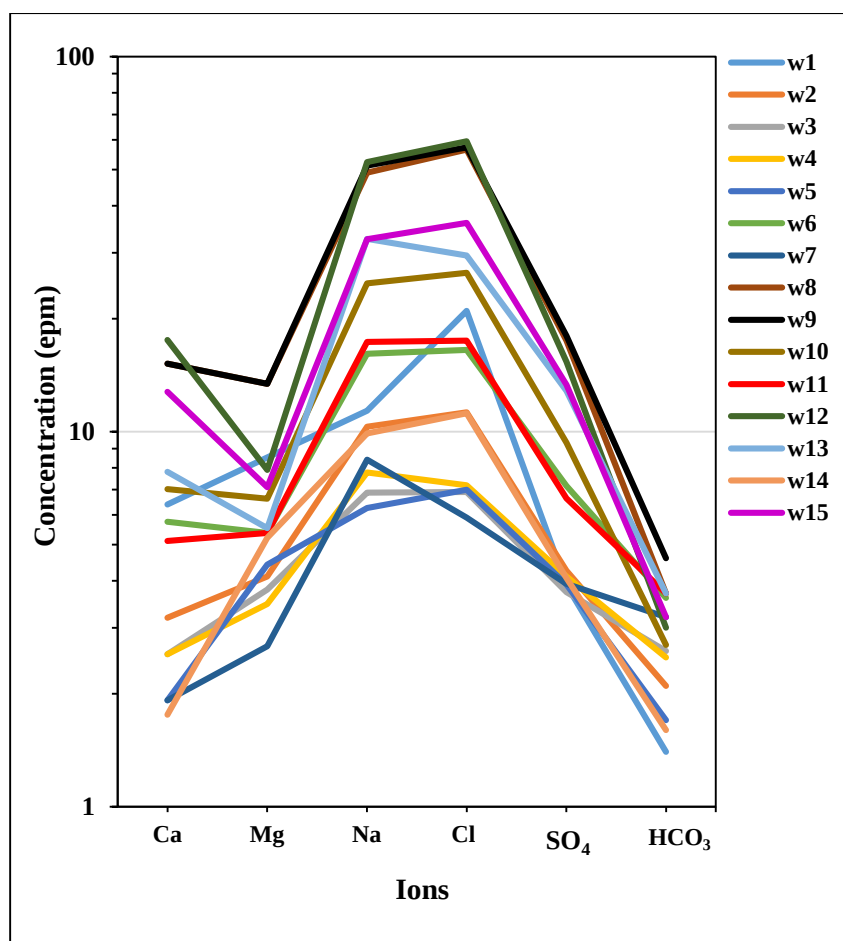
شکل ۴-۱۴: تغییرات مکانی pH در آبخوان کردی شیرازی

۳-۱۱-۳-۴- یون‌های اصلی در آبخوان کردی شیرازی

به منظور بررسی تیپ آب زیرزمینی و تغییرات یون‌ها در آبخوان کردی شیرازی از نمودارهای شولر، استیف و پایپر استفاده شده است.

الف) نمودار شولر

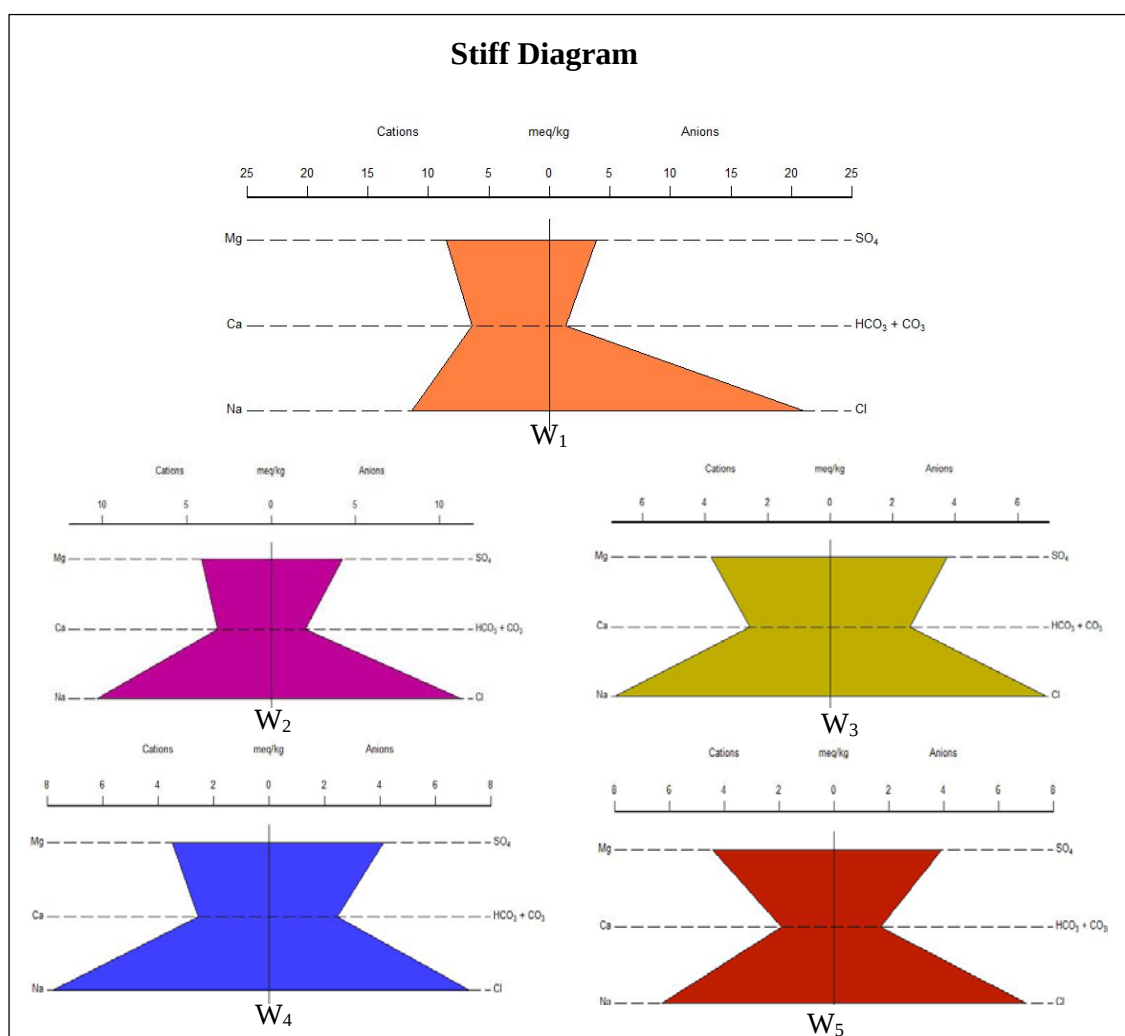
نمودار شولر به منظور بررسی یکسان بودن یا نبودن منشأ نمونه‌ها، بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی آب و مقایسه نمونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به (شکل ۴-۱۵)، همه نمونه‌ها روند یکسانی دارند که نشانگر منشأ یکسان آنها می‌باشند. یون‌های کلر و سدیم به صورت غالب در نمونه‌ها دیده می‌شود و تیپ آب کلروره- سدیک می‌باشد.



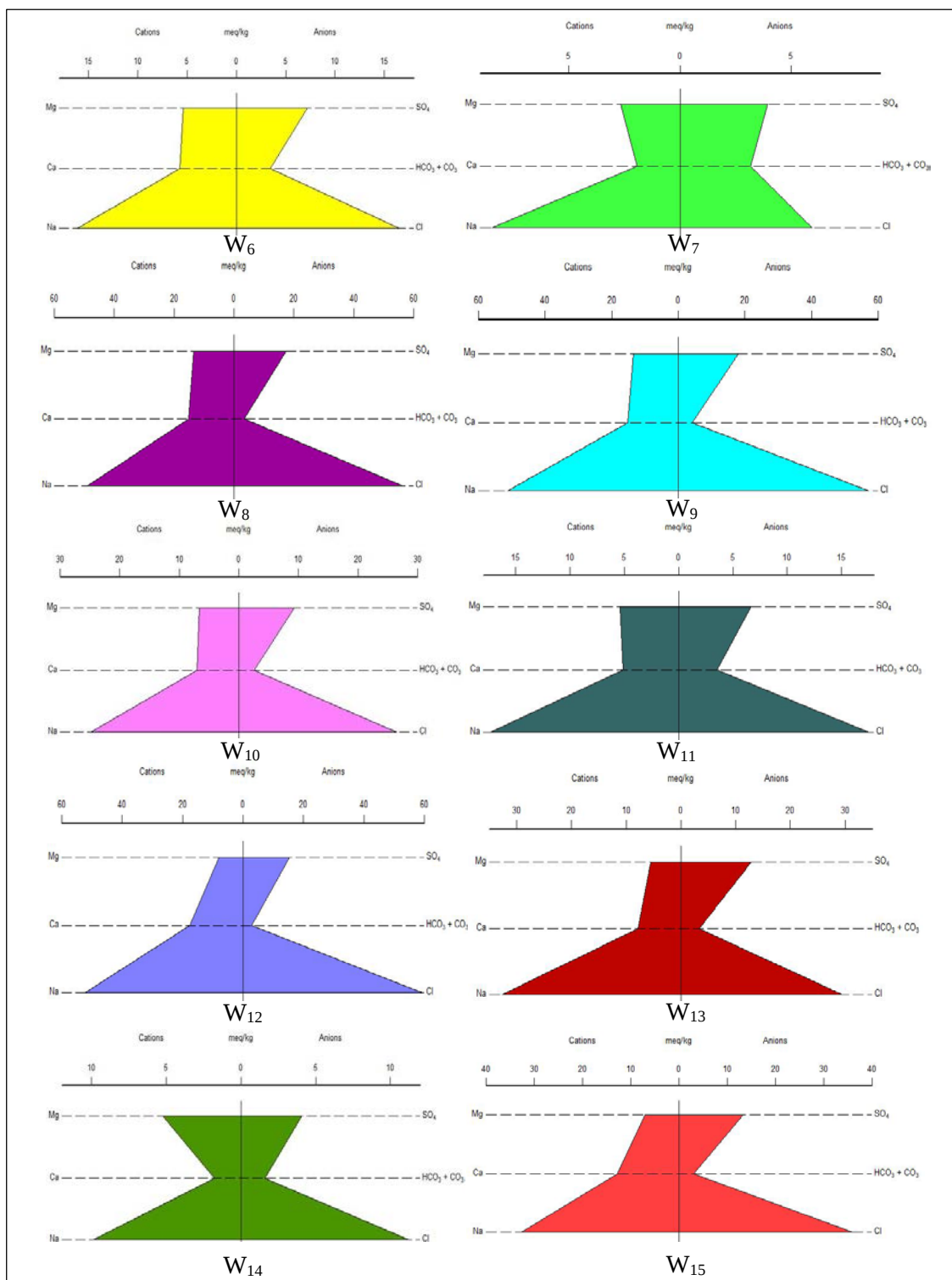
شکل ۴-۱۵: نمودار شولر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی

ب) نمودار استیف

جهت تعیین تیپ و رخساره آب زیرزمینی در دشت کردی شیرازی از نمودار استیف (Stiff) استفاده شده است (شکل ۴-۱۶). این نمودار برای مقایسه سریع و آسان ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی با منشأهای متفاوت می‌باشد و ترکیب شیمیایی غالب نمونه‌ها را تعیین می‌کند. تیپ آب زیرزمینی بر اساس نمودارهای استیف در آبخوان کلروره- سدیک می‌باشد که نشان دهنده منشأ یکسان منابع آب زیرزمینی می‌باشد.



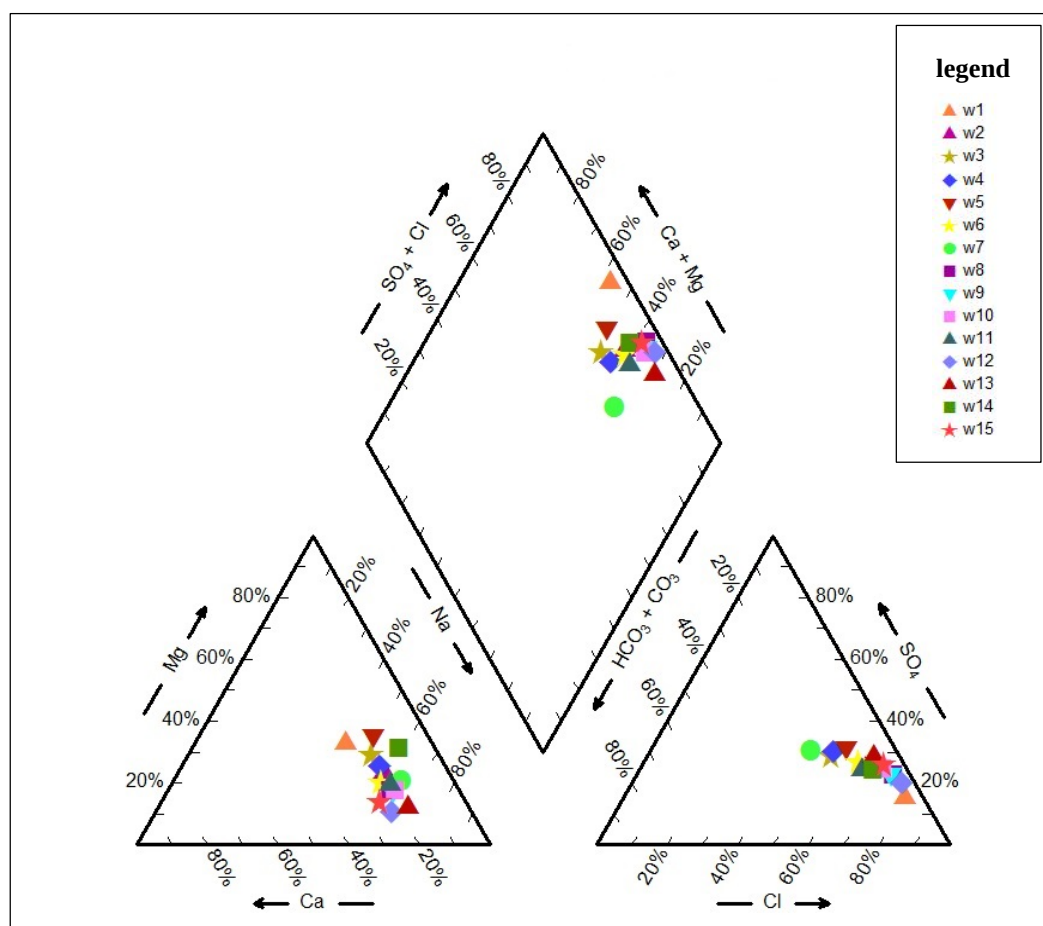
شکل ۴-۱۶: نمودار استیف چاه‌های انتخابی دشت کردی شیرازی



شکل ۴-۱۶: ادامه

ج) نمودار پایپر

نمودار پایپر مشخصات شیمیایی آب را برحسب غلظت نسبی یون‌ها نشان می‌دهد. با توجه به موقعیت نمونه‌ها بر روی نمودار، می‌توان منشأ نمونه آب را مشخص کرد. براساس نمودار پایپر (شکل ۴-۱۷)، مقدار یون‌های کلر و سدیم زیاد بوده و کلسیم و سولفات مقادیر کمتری دارند. نمونه‌های آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی عمدتاً در یک قسمت نمودار متمرکز شده‌اند. این موضوع ضمن تأیید منشأ یکسان نمونه‌ها، بیانگر عدم تغییرات در ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی در اثر سایر فرایندها نظیر تبادل یونی، اختلاط و ... می‌باشد.

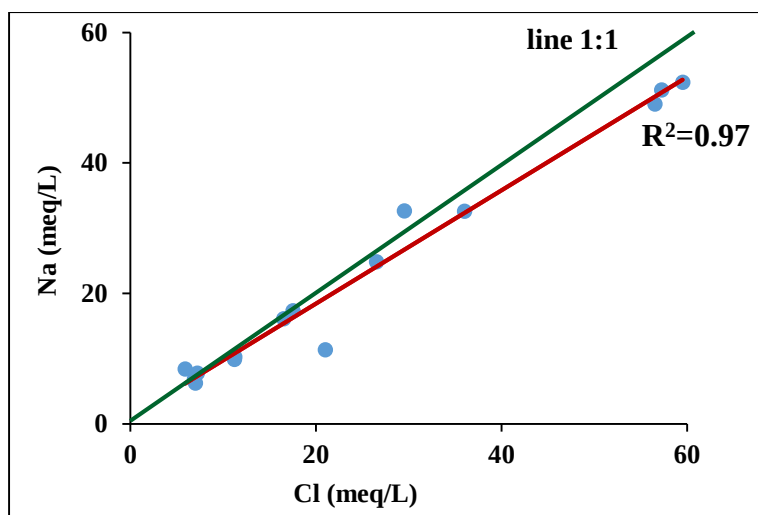


شکل ۴-۱۷: نمودار پایپر چاه‌های انتخابی دشت کردی شیرازی

۴-۱۰-۳-۴- منشأ یون‌ها در منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی

یون کلر یکی از مهمترین آنیون‌های موجود در آب است. این یون بیشترین غلظت را در بین آنیون‌های نمونه‌ها نشان می‌دهد. سه منشأ مختلف کلر شامل: (۱) کلر موجود در آب دریا‌های قدیمی، (۲) کلر حاصل از انحلال کانی هالیت و کانی‌های تبخیری، (۳) کلر موجود در نزولات جوی می‌باشد. حداقل مقدار کلر موجود در نمونه‌های آب زیرزمینی حدود ۵/۹ میلی اکی والان بر لیتر و حداکثر آن حدود ۵۹/۵ میلی اکی والان بر لیتر می‌باشد.

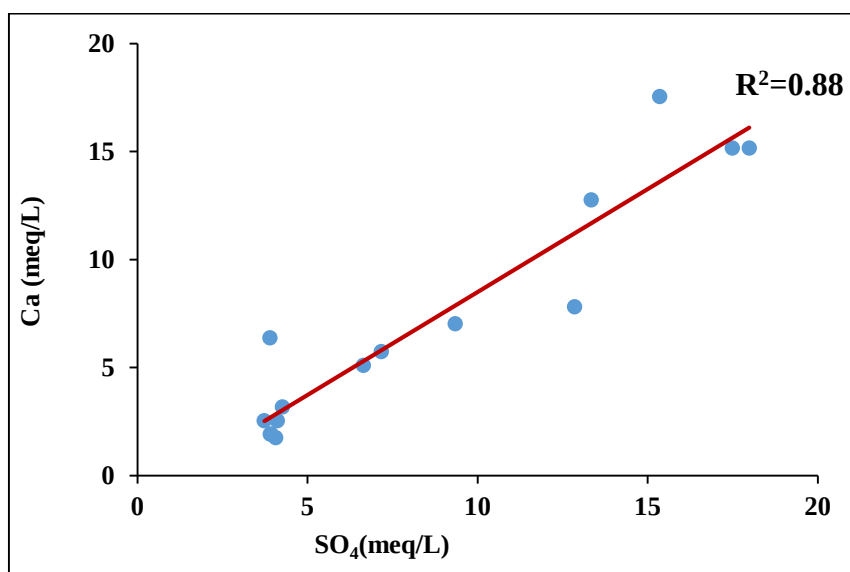
منشأ یون سدیم در آب‌های زیرزمینی انحلال هالیت می‌باشد. حداقل و حداکثر مقدار سدیم موجود در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی به ترتیب ۶/۳ و ۵۲/۴ میلی اکی والان بر لیتر می‌باشد. ارتباط یون‌های سدیم و کلر در شکل (۴-۱۸) نشان داده شده است. همبستگی بالای سدیم و کلر بیانگر نقش انحلال هالیت در افزایش غلظت یون‌های کلر و سدیم به عنوان فرایند اصلی در کیفیت آب زیرزمینی در دشت کردی شیرازی می‌باشد. قرارگیری نمونه‌ها در سمت راست خط ۱:۱ رابطه سدیم و کلر (شکل ۴-۱۸) نشان دهنده کاهش سدیم بوده که این موضوع می‌تواند مرتبط با پدیده تبادل کاتیونی باشد.



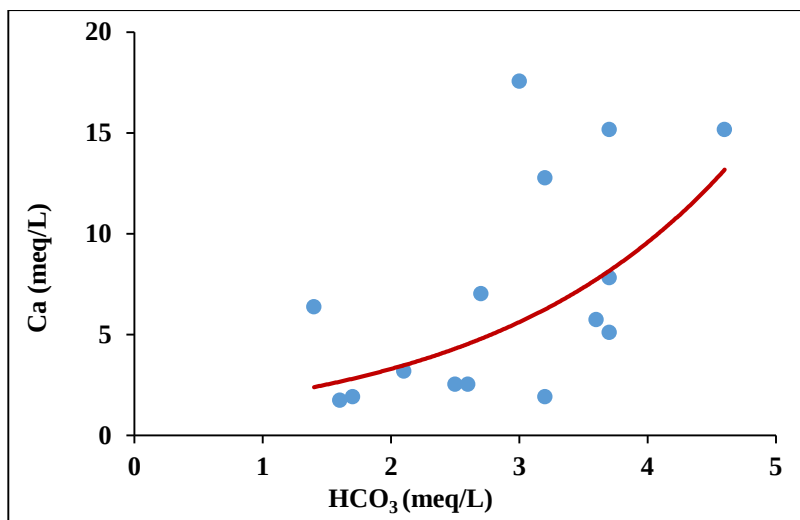
شکل ۴-۱۸: رابطه یون سدیم و کلر در منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی

حداقل و حداکثر یون سولفات در منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی به ترتیب ۳/۷ و ۱۷/۹ میلی اکای والان بر لیتر می‌باشد. رابطه یون‌های کلسیم و سولفات در شکل (۴-۱۹) نشان داده شده است. یون کلسیم با سولفات رابطه مستقیمی دارد، که نشان دهنده فرآیند انحلال ژئوپس در شیمی منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی می‌باشد.

رابطه یون کلسیم در برابر بی‌کربنات در شکل (۴-۲۰) نشان داده شده است. افزایش بیشتر یون کلسیم نسبت به بی‌کربنات می‌تواند بیانگر تأیید یون مشترک باشد. به عبارت بهتر افزایش یون کلسیم در اثر انحلال ژئوپس سبب فوق اشباع شدن محلول شده و شرایط را برای رسوبگذاری کلسیت فراهم می‌نماید. رسوب کلسیت ضمن خارج نمودن یون‌های بی‌کربنات و کلسیم، عدم توازن این یون‌ها را در محلول در پی خواهد داشت. فرایند دیگر در افزایش یون کلسیم، جایگزینی سدیم به جای کلسیم در موقعیت‌های تبادلی بوده که می‌تواند کاهش غلظت سدیم و افزایش غلظت کلسیم را در محلول در پی داشته باشد.



شکل ۴-۱۹: رابطه یون کلسیم و سولفات در منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی



شکل ۴-۲۰: رابطه یون کلسیم و بی‌کربنات در منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی

برای بررسی میزان اشباع بودن آب زیرزمینی نسبت به کانی‌های متفاوت از شاخص اشباع استفاده می‌شود. مقادیر شاخص اشباع برای کانی‌ها در (جدول ۴-۱۰) ارائه شده است. اگر شاخص اشباع برای یک کانی مثبت باشد، آب زیرزمینی نسبت به آن کانی فوق اشباع بوده و می‌تواند از محلول ته نشست نماید. اگر میزان شاخص اشباع منفی باشد، تحت اشباع می‌باشد و انحلال آن کانی روی می‌دهد. با توجه به جدول ۴-۱۰، نمونه‌ها نسبت به کلسیت، فوق اشباع بوده که نشان دهنده وجود شرایط مناسب برای رسوب این کانی می‌باشد. همه نمونه‌ها نسبت به ژیپس و هالیت تحت اشباع می‌باشند. در آبخوان دشت کردی شیرازی انحلال کانی‌های هالیت، ژیپس و رسوب کانی کلسیت از فرایندهای مؤثر در شیمی آب‌های زیرزمینی می‌باشند.

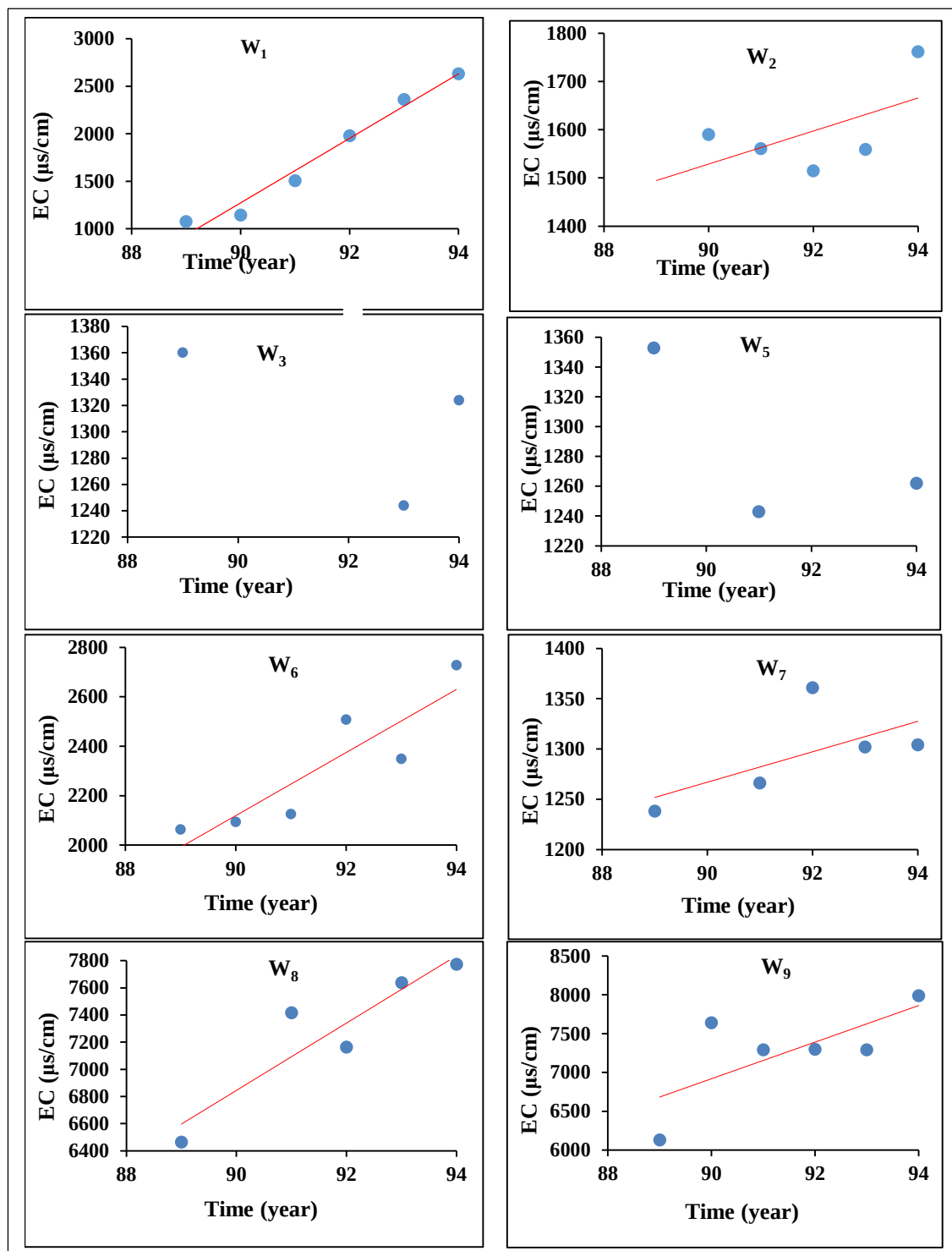
۵-۱۰-۳-۴- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی منابع آب زیرزمینی در دشت کردی شیرازی

تغییرات زمانی هدایت الکتریکی منابع آب زیرزمینی در طول سال‌های آماری ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴ ترسیم شد. با توجه به شکل (شکل ۴-۲۱) هدایت الکتریکی در نمونه‌ها در طول زمان افزایش یافته است. برای مثال در نمونه W_1 واقع در قسمت جنوب غربی دشت (چاه‌های گروه یک) مقدار هدایت الکتریکی از ۱۰۷۶

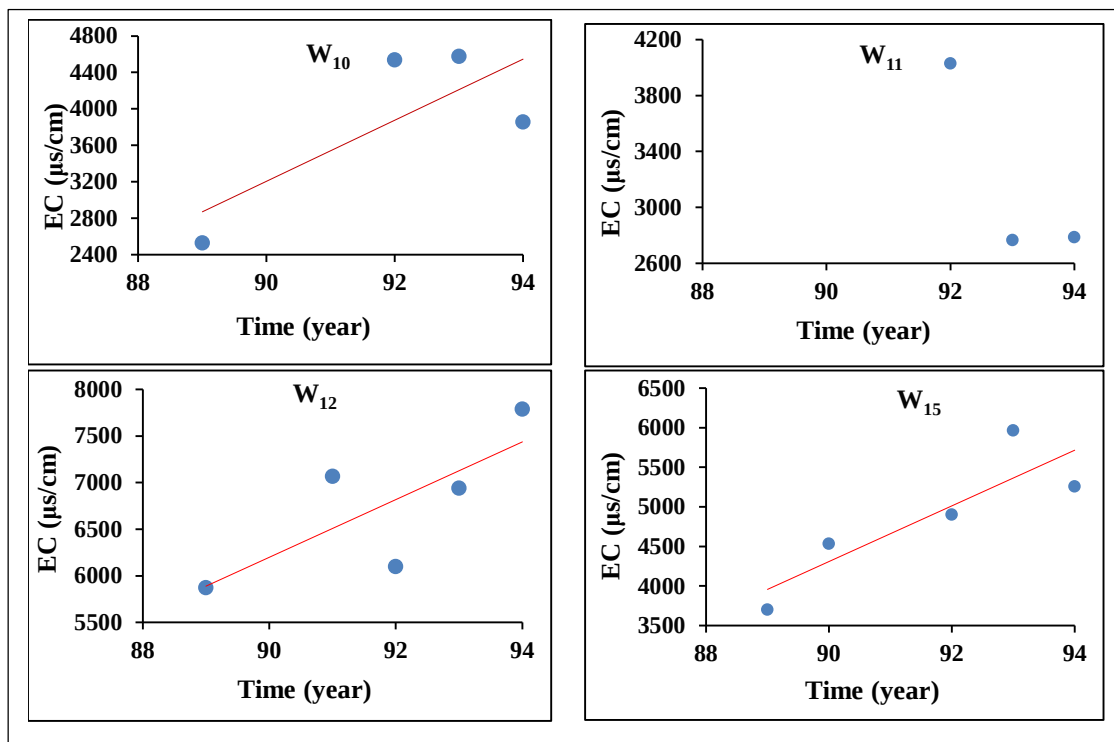
میکروموس بر سانتی متر در سال ۱۳۸۹ به ۲۶۳۱ میکروموس بر سانتی متر در سال ۱۳۹۴ افزایش یافته است. این افزایش در چاه W_9 واقع در شرق دشت (چاه های گروه دو) از ۶۱۳۲ میکروموس بر سانتی متر در سال ۱۳۸۹ به ۷۹۸۸ میکروموس بر سانتی متر در سال ۱۳۹۴ افزایش یافته است. دلیل احتمالی افزایش هدایت الکتریکی در طول زمان کاهش سطح آب زیرزمینی در اثر برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی می باشد. نتایج نشان می دهد کیفیت آب زیرزمینی در دشت کردی شیرازی به مرور زمان نامناسب تر شده است.

جدول ۴-۱۰: شاخص اشباع نسبت به کانی های مختلف در منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی

شماره	انیدریت	آراگونیت	کلسیت	دولومیت	ژیپس	هالیت
W_1	- ۱/۶۰	- ۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۳۸	- ۱/۳۸	- ۵/۳۵
W_2	- ۱/۷۴	۰/۰۶	۰/۲	۰/۶۴	- ۱/۵۲	- ۵/۶۴
W_3	- ۱/۸۵	۰/۰۳	۰/۱۸	۰/۶۵	- ۱/۶۳	- ۶/۰۲
W_4	- ۱/۸۱	۰/۱۳	۰/۲۷	۰/۸۰	- ۱/۵۹	- ۵/۹۵
W_5	- ۱/۹۵	۰/۱۴	۰/۲۹	۱/۰۶	- ۱/۷۳	- ۶/۰۵
W_6	- ۱/۳۸	۰/۱۶	۰/۳۰	۰/۷۰	- ۱/۱۶	- ۵/۳۱
W_7	- ۱/۹۳	۰/۱۲	۰/۲۶	۰/۷۹	- ۱/۷۱	- ۶/۰
W_8	- ۰/۸۷	۰/۲۴	۰/۳۸	۰/۸۳	- ۰/۶۶	- ۴/۳۶
W_9	- ۰/۸۷	۰/۳۱	۰/۴۶	۰/۹۹	- ۰/۶۵	- ۴/۳۳
W_{10}	- ۱/۲۶	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۶۰	- ۱/۰۴	- ۴/۹۳
W_{11}	- ۱/۴۶	۰/۱۵	۰/۳۰	۰/۷۴	- ۱/۲۴	- ۵/۲۵
W_{12}	- ۰/۸۵	۰/۵۱	۰/۶۵	۱/۰۹	- ۰/۶۳	- ۴/۳۰
W_{13}	- ۱/۱۲	- ۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۸	- ۰/۹	- ۴/۷۸
W_{14}	- ۲/۰۱	۰/۰۵	۰/۲۰	۰/۹۹	- ۱/۷۹	- ۵/۶۶
W_{15}	- ۰/۹۵	۰/۴۳	۰/۵۷	۱/۰۱	۰/۷۳	- ۴/۷۰



شکل ۴-۲۱: روند تغییرات هدایت الکتریکی نسبت به زمان در منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی

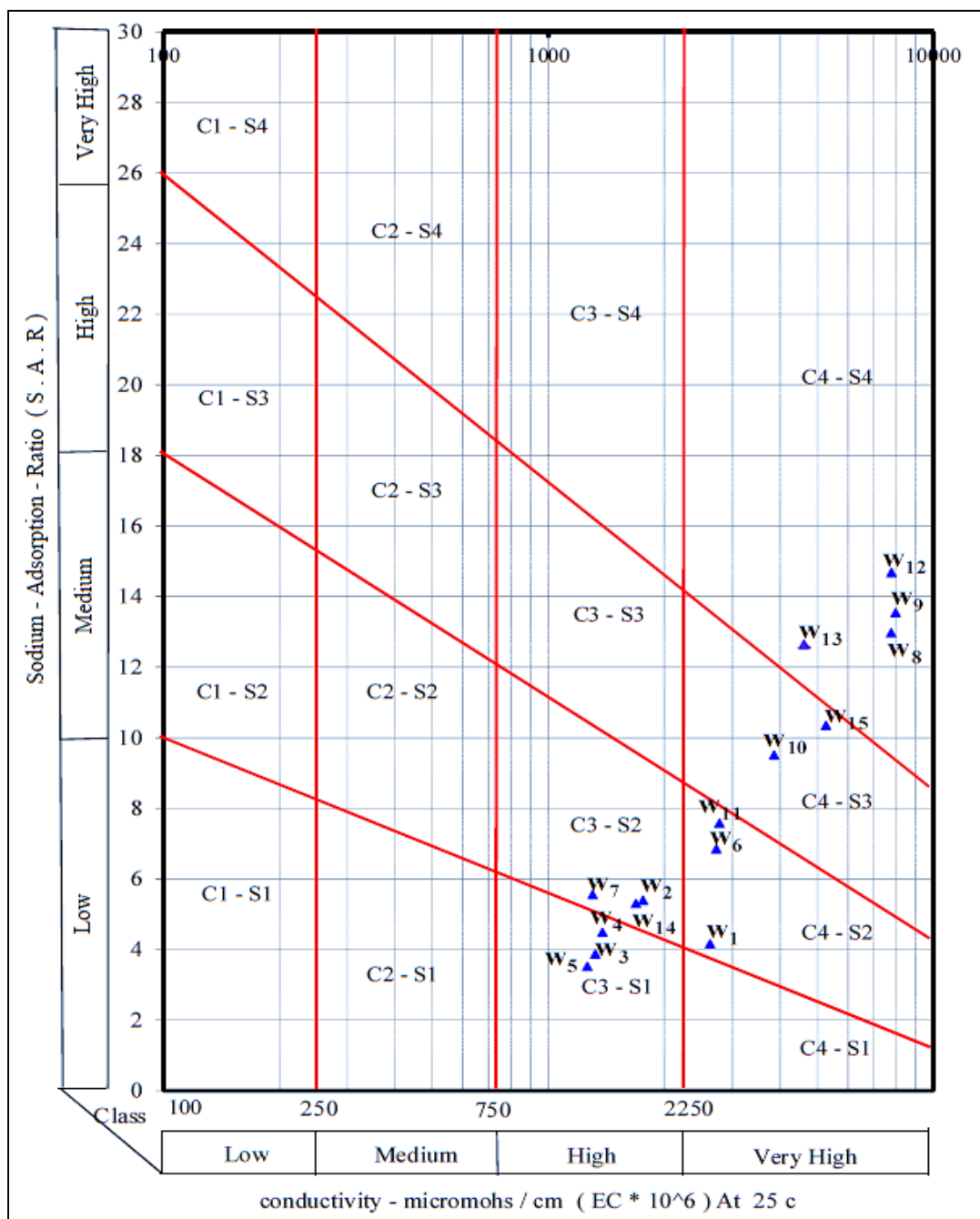


شکل ۴-۲۱: ادامه

۶-۱۰-۳-۴- بررسی کیفیت آب زیرزمینی از نظر کشاورزی

با توجه به اینکه مصرف عمده آب در دشت کردی شیرازی برای کشاورزی می‌باشد، برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی از نمودار ویلکوکس (Wilcox) استفاده می‌شود. این نمودار بر اساس نسبت جذبی سدیم (SAR) و شوری آب می‌باشد. بهترین کیفیت آب در رده C1S1 و بدترین کیفیت آن در رده C4S4 برای مصارف کشاورزی قرار می‌گیرد. نمودار ویلکوکس آبخوان کردی شیرازی در شکل (۲۲-۴) نشان داده شده است. بر اساس این نمودار نمونه‌های W₃، W₄ و W₅ در رده C3S1 و نمونه‌های W₂، W₇ و W₁₅ در رده C3S2 قرار گرفته که جز آب‌های شور محسوب می‌شوند، ولی برای کشاورزی مناسب می‌باشند. این نمونه‌ها در قسمت جنوب غرب دشت قرار دارند. نمونه‌های W₁، W₆ و W₁₁ در رده C4S2، نمونه‌های W₁₀ و W₁₅ در رده C4S3 و نمونه‌های W₈، W₉، W₁₂ و W₁ در رده C4S4 قرار می‌گیرند. در این نمونه‌ها آب خیلی شور

بوده و برای کشاورزی نامناسب می‌باشند. تقسیم‌بندی نمونه‌ها از نظر کشاورزی در جدول (۱۱-۴) ارائه شده است.



شکل ۴-۲۲: نمودار ویلکوکس نمونه‌های دشت کردی شیرازی

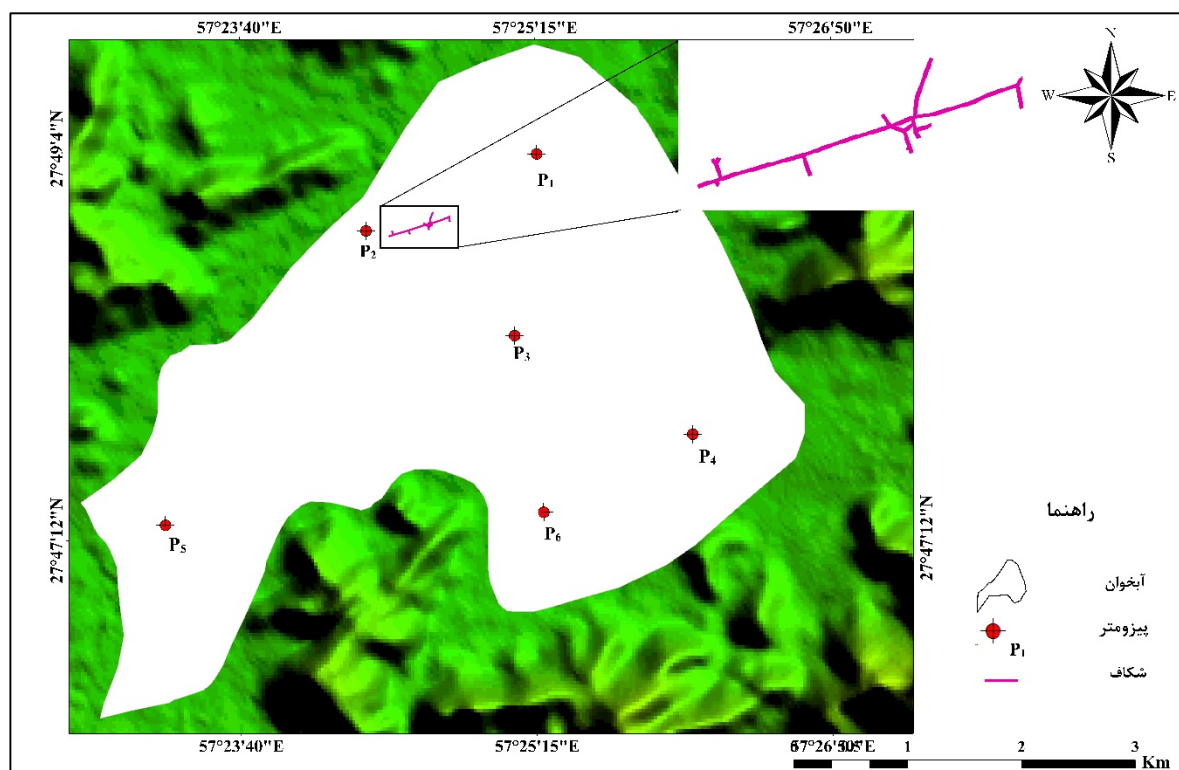
جدول ۴-۱۱: کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت کردی شیرازی از نظر کشاورزی

شماره	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	SAR (%)	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
W_1	۲۶۱۳	۴/۱۵	C4S2	خیلی شور - نامناسب برای کشاورزی
W_2	۱۷۶۲	۵/۳۹	C3S2	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W_3	۱۳۲۴	۳/۸۶	C3S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W_4	۱۳۸۲	۴/۴۸	C3S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W_5	۱۲۶۲	۳/۵۲	C3S1	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W_6	۲۷۲۸	۶/۸۴	C4S2	خیلی شور - نامناسب برای کشاورزی
W_7	۱۳۰۴	۵/۵۵	C3S2	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W_8	۷۷۷۳	۱۲/۹۷	C4S4	خیلی شور - نامناسب برای کشاورزی
W_9	۷۹۸۸	۱۳/۵۴	C4S4	خیلی شور - نامناسب برای کشاورزی
W_{10}	۳۸۵۶	۹/۵۱	C4S3	خیلی شور - نامناسب برای کشاورزی
W_{11}	۲۷۸۵	۷/۵۸	C4S2	خیلی شور - نامناسب برای کشاورزی
W_{12}	۷۷۹۰	۱۴/۶۷	C4S4	خیلی شور - نامناسب برای کشاورزی
W_{13}	۴۶۰۸	۱۲/۶۴	C4S4	خیلی شور - نامناسب برای کشاورزی
W_{14}	۱۶۸۸	۵/۳۰	C3S2	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
W_{15}	۵۲۵۸	۱۰/۳۴	C4S3	خیلی شور - نامناسب برای کشاورزی

۴-۴-۱- موقعیت جغرافیایی و مشخصات هندسی شکاف اصلی در محدوده مورد مطالعه

شکاف اصلی دشت کردی شیرازی بین طول‌های جغرافیایی $57^{\circ}24'27''$ تا $57^{\circ}24'47''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $27^{\circ}48'38''$ تا $27^{\circ}48'44''$ شمالی در محل ذخیره‌گاه جنگل مور کردی در قسمت شمال غرب دشت قرار دارد (شکل ۴-۲۳). این شکاف ابتدا در سال ۱۳۹۳ به صورت ترک‌هایی در سطح زمین ظاهر شده و در سال ۱۳۹۴ گسترش یافته است. شکاف اصلی یک شکاف بزرگ به طول ۵۶۷/۶ متر بوده که عمق آن در بعضی از قسمت‌ها تا ۵ متر اندازه‌گیری شده و دارای الگوی V شکل است. راستای شکاف در دشت شمال شرقی - جنوب غربی بوده و از نوع کششی می‌باشد. علاوه بر شکاف اصلی یک سری شکاف فرعی که

گاهاً طول آنها به ۲۰ متر می‌رسد، تقریباً عمود بر امتداد شکاف اصلی گسترش یافته‌اند. شکل (۲۴-۴) تصاویری از شکاف اصلی دشت را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۳: موقعیت و الگوی هندسی شکاف‌های ایجاد شده در دشت کردی شیرازی

۴-۴-۲- عوامل مؤثر بر فرونشست زمین در دشت کردی شیرازی

برای رخداد پدیده فرونشست دو عامل افت سطح آب زیرزمینی برای ایجاد تنش و وجود لایه‌های رسی برای تحکیم و فشردگی غیر قابل برگشت لازم است. در صورتی که این دو عامل پراکندگی غیر یکنواخت در دشت داشته باشند، باعث ایجاد نشست‌های غیر یکنواخت و به پیروی از آن تشکیل محیط‌های کششی و ایجاد شکاف خواهند شد. لذا در ادامه چگونگی پراکندگی این عوامل در دشت بررسی می‌گردد.

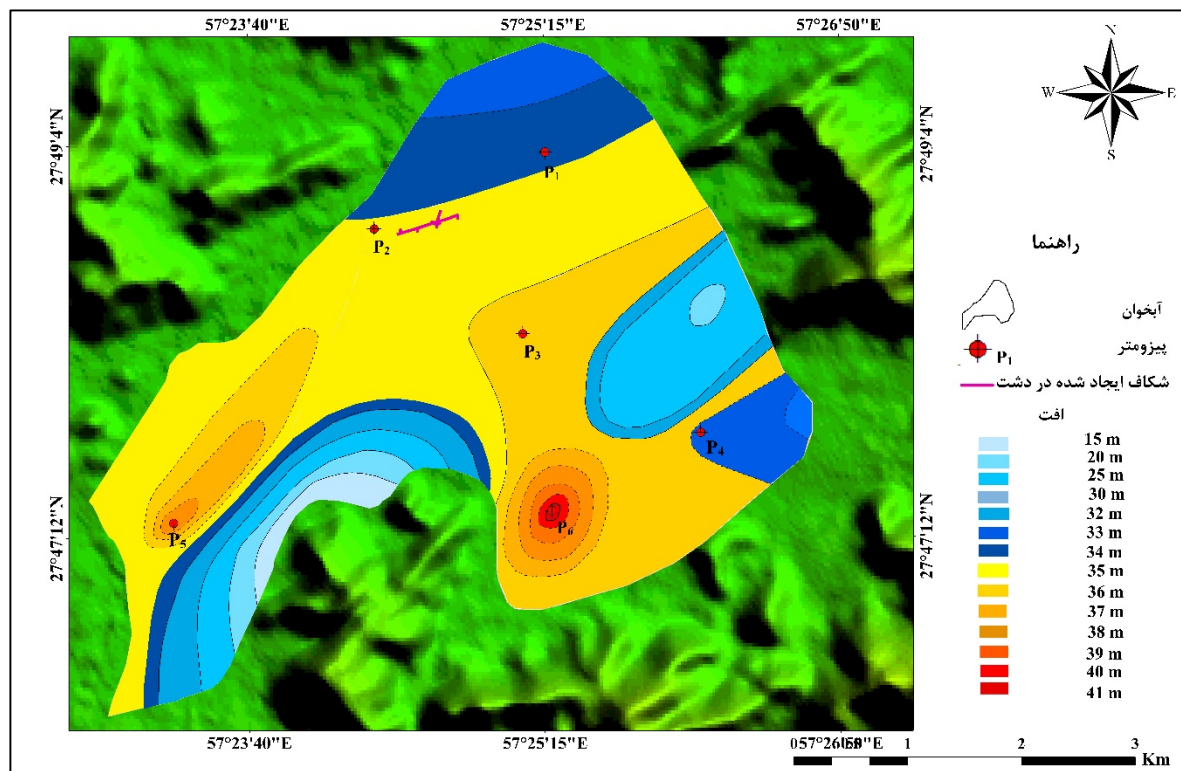


شکل ۴-۲۴: تصاویری از شکاف اصلی ایجاد شده در دشت کردی شیرازی در نقاط مختلف

۲-۴-۴-۱- افت سطح ایستابی و ایجاد تنش

فشار آب منفذی با زهکشی آب از منافذ کاهش می‌یابد، در نتیجه تنش ناشی از بار مواد بالایی به صورت تدریجی از آب منفذی به ساختار دانه‌ها انتقال می‌یابد و تبدیل به تنش مؤثر می‌شود. در منطقه غیر اشباع وزن مؤثر رسوبات تحت تأثیر فشار آب منفذی افزایش می‌یابد. به طور مثال، اگر سطح آب ۱ متر پایین بیفتد، افزایش فشار مواد بالایی به طور میانگین در حدود 1000 kg/m^2 است. ساختار دانه‌ها به دلیل تنش وارده تغییر می‌کند و تخلخل موجود در رسوبات کاهش می‌یابد. کاهش تخلخل باعث کاهش حجم رسوبات

می‌شود. در نتیجه پدیده فرونشست در سطح زمین مشاهده می‌شود (ناقلی، ۱۳۹۰). نشست زمین در دشت کردی شیرازی بر اثر بهره‌برداری بیش از حد منابع آب زیرزمینی از آبخوان به جهت مصارف کشاورزی می‌باشد. با توجه به بیلان آب زیرزمینی (جدول ۴-۸) میزان خروجی از آبخوان بیشتر از ورودی می‌باشد و در نتیجه آبخوان دشت با کسری حدود ۲/۵ میلیون متر مکعب در سال مواجه است. مقدار افت سطح آب زیرزمینی در طی دوره ۱۶ ساله بر اساس پیزومترها و چاه‌های بهره‌برداری در شکل (۲۵-۴) نشان داده شده است.



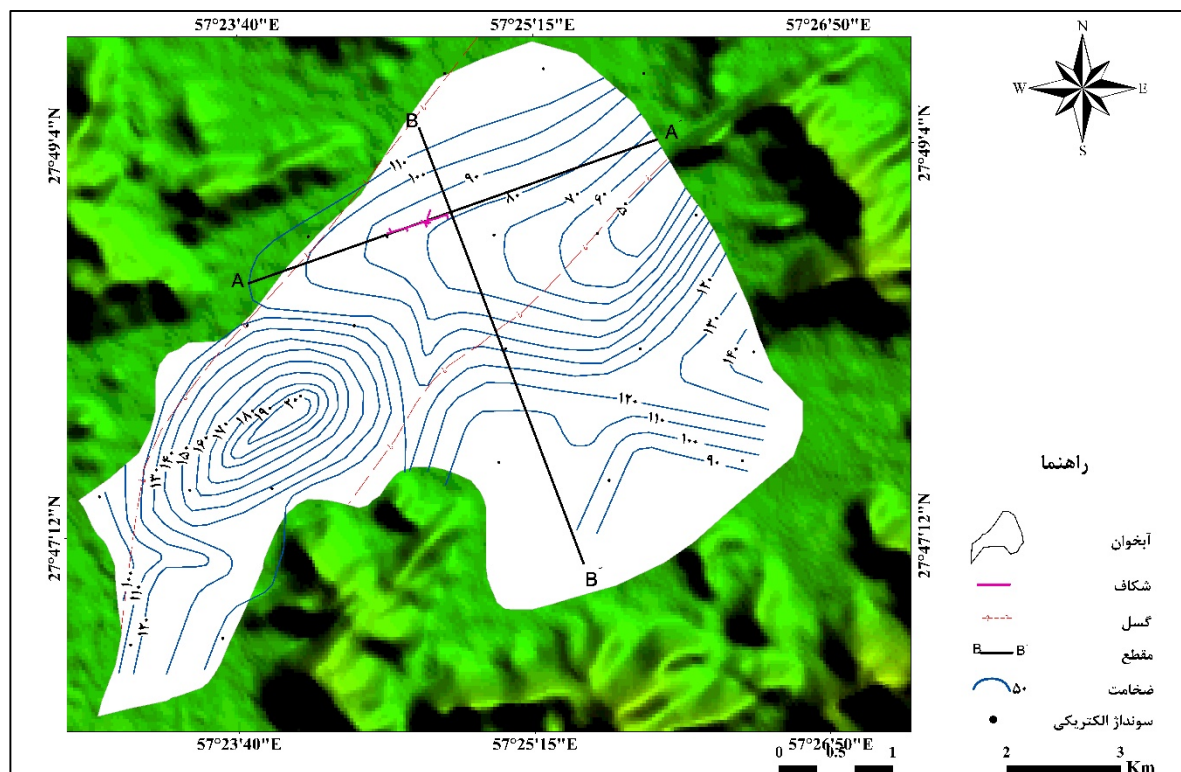
شکل ۴-۲۵: افت سطح آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف دشت کردی شیرازی (۱۳۷۸-۹۴)

با توجه به منحنی‌های هم‌افت، کمترین مقدار افت در جنوب غرب دشت به دلیل کوهپایه‌ای بودن این منطقه و تغذیه مناسب آن به دلیل درشت دانه بودن رسوبات، مشاهده می‌شود. از قسمت شمال به سمت مرکز دشت افت زیاد می‌شود. بیشترین مقدار افت اندازه‌گیری شده در قسمت جنوب دشت بوده و مقدار آن طی دوره ۱۶ ساله، ۴۰/۶ متر می‌باشد. افت زیاد در این قسمت از دشت ناشی از تمرکز چاه‌های بهره‌برداری

و ریزدانه بودن رسوبات این قسمت از دشت می‌باشد. با توجه به نقشه هم‌افت بیشترین مقدار افت سطح آب زیرزمینی در جنوب می‌باشد، این در حالی است که پدیده فرونشست در شمال دشت رخ داده است. بنابراین علاوه بر افت سطح آب زیرزمینی عامل دیگری نیز در ایجاد فرونشست منطقه نقش بازی می‌کند.

۲-۲-۴-۴- بررسی تغییرات جنس و ضخامت رسوبات در دشت کردی شیرازی

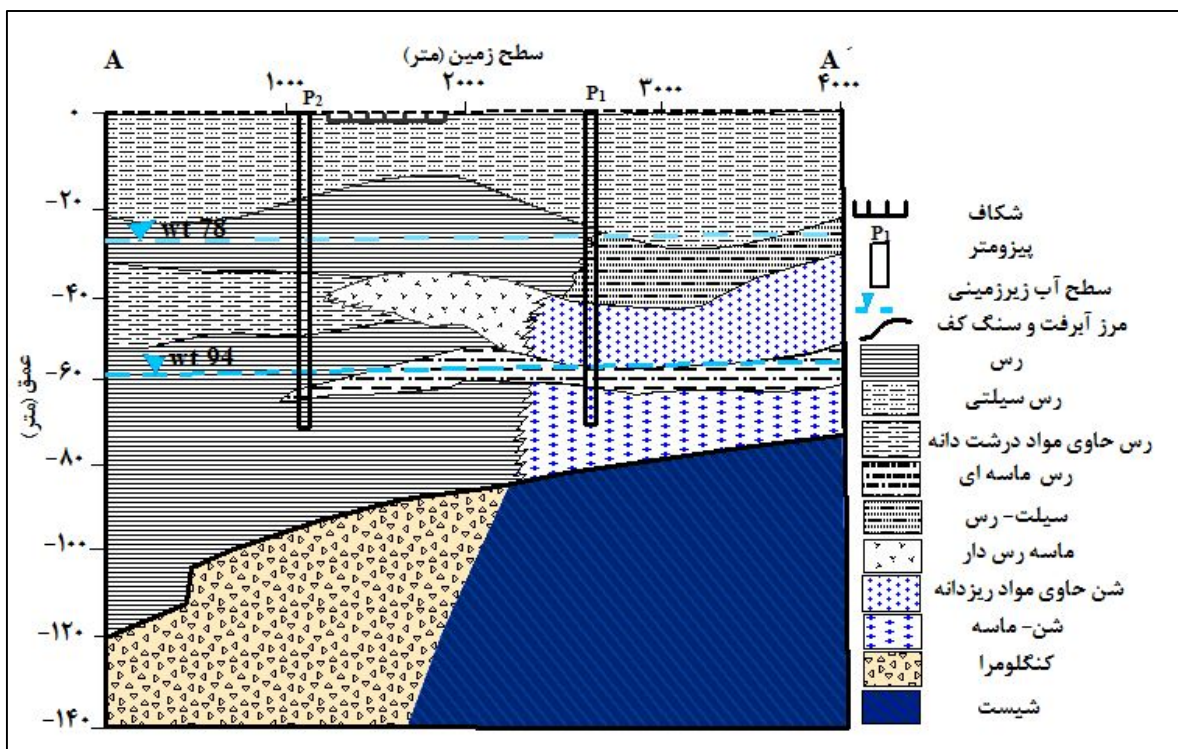
به منظور تهیه نقشه تغییرات ضخامت آبرفت، با استفاده از بازدید صحرایی، لاگ پیزومترها و سونداژهای ژئوالکتریک انجام شده در نقاط مختلف دشت و تلفیق این داده‌ها، ضخامت و نوع آبرفت در دشت تعیین گردید. بررسی اندازه رسوبات دشت بیانگر این مطلب است که در قسمت جنوب شرق دشت رسوبات دانه درشت شامل ماسه، شن، قطعات شکسته شده و کمی سیلت و رس و در قسمت غرب رسوبات ماسه، سیلت و رس، قطعات شکسته همراه با سیمان و شن می‌باشد. همچنین در قسمت شمال دشت، رسوبات شامل رس و سیلت، ماسه، ریگ و شن و در مرکز دشت، رسوبات ریزدانه رس و سیلت و مقدار کمی ماسه، شن و قطعات خرد شده همراه با سیمان وجود دارد. شکل (۴-۲۶) تغییرات ضخامت رسوبات دشت کردی شیرازی را نشان می‌دهد. بیشترین ضخامت رسوبات در قسمت غرب دشت بوده و مقدار آن تا ۲۰۰ متر می‌باشد. در قسمت‌های شمال و جنوب ضخامت به ۱۰۰ متر می‌رسد و به سمت شمال شرق ضخامت آبرفت به دلیل نزدیک شدن به کوهپایه کم می‌شود و به ۵۰ متر می‌رسد. در محدوده شکاف ایجاد شده در سطح رسوبات دشت، ضخامت آبرفت حدود ۸۵ متر می‌باشد. با توجه به سونداژ ژئوالکتریک انجام شده و همچنین شکل ۴-۲۶ که از تلفیق داده‌های سونداژهای الکتریکی و لاگ پیزومترها تهیه شده است، در دشت دو گسل شناسایی شد که دارای روند شمال شرق - جنوب غرب بوده و باعث شده حوضه رسوبی در بخش‌هایی عمیق شده و ضخامت آبرفت زیاد گردد. بررسی نقشه زمین‌شناسی نیز وجود گسل احتمالی را که در دشت وجود داشته و تا ابتدای دشت کردی شیرازی ردیابی شده را نشان می‌دهد.



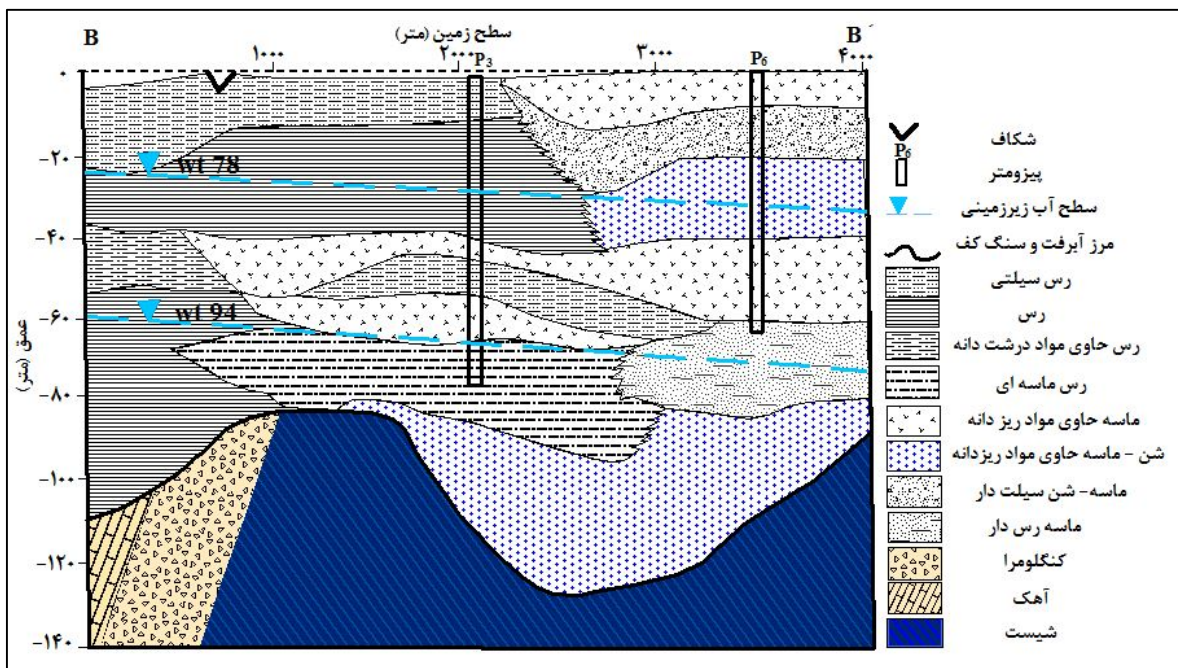
شکل ۴-۲۶: نقشه تغییرات ضخامت آبرفت دشت کردی شیرازی

۳-۴-۴- مکانسیم رخداد شکاف اصلی در دشت کردی شیرازی

با توجه به موقعیت شکاف، دو مقطع زمین‌شناسی به نام‌های AA' با راستای شمال شرق - جنوب غرب در جهت شکاف و BB' با راستای شمال غرب - جنوب شرق عمود بر جهت شکاف با استفاده از نقشه تغییرات ضخامت تهیه شد. مقاطع AA' در شکل (۴-۲۷) و BB' در شکل (۴-۲۸) نشان داده شده است. در مقطع AA' جنس سنگ بستر از شیست و کنگلومرا است. ضخامت لایه‌های ریزدانه در محدوده شکاف کمتر از جنوب غربی شکاف می‌باشد. در واقع در جنوب غربی شکاف، از سطح زمین تا سنگ بستر، رسوبات ریزدانه می‌باشند. در شمال شرق شکاف تا عمق ۳۵ متری لایه‌های ریزدانه و در اعماق بیشتر اندازه رسوبات درشت‌تر می‌شود.



شکل ۴-۲۷: مقطع زمین‌شناسی AA' با راستای شمال شرق- جنوب غرب در دشت کردی شیرازی (موقعیت مقطع در شکل ۴-۲۶ نشان داده شده است)

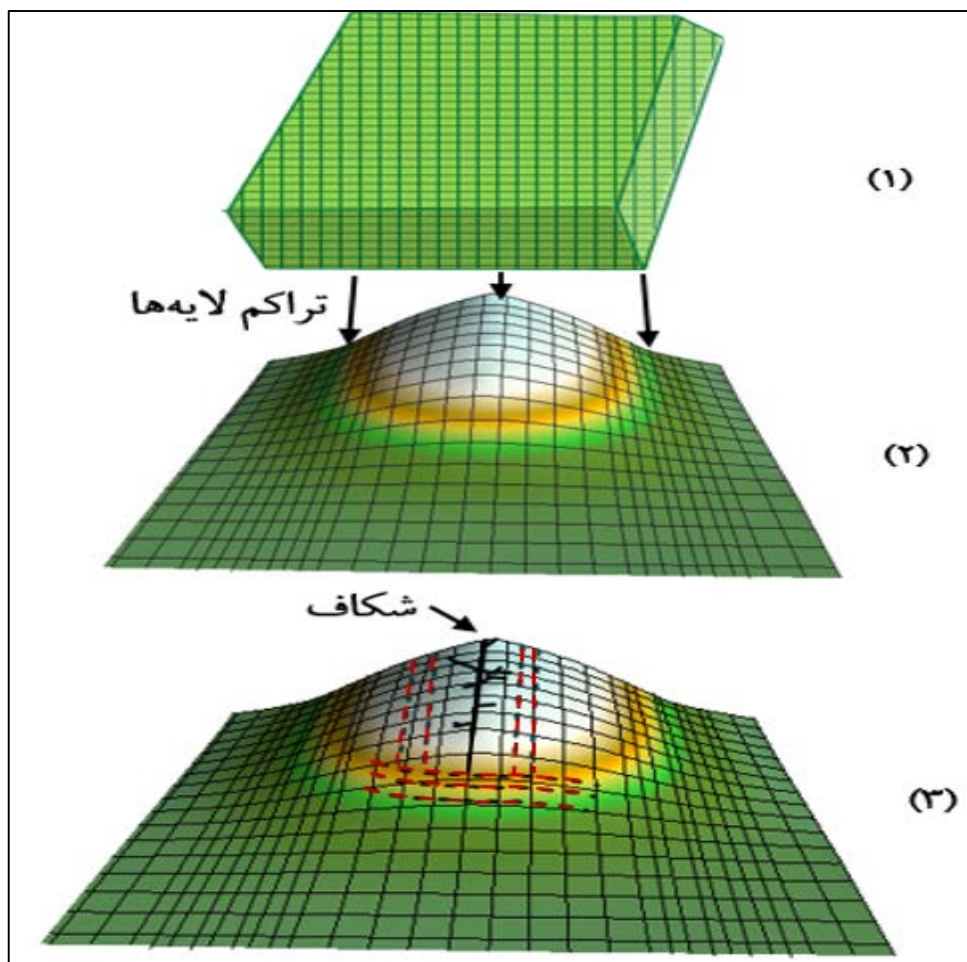


شکل ۴-۲۸: مقطع زمین‌شناسی BB' با راستای شمال شرق- جنوب غرب در دشت کردی شیرازی (موقعیت مقطع در شکل ۴-۲۶ نشان داده شده است)

در مقطع BB⁻ جنس سنگ بستر بیشتر از شیست و در بعضی قسمت‌ها کنگلومرا و آهک است. بررسی مورفولوژی سنگ کف نشان می‌دهد که در مرکز دشت به سمت شمال (حوالی شکاف ایجاد شده) سنگ کف دارای برآمدگی بوده و عمق رسوبات بالایی آن کم می‌باشد. ضخامت لایه‌های ریزدانه در قسمت شمال غرب شکاف (به سمت B) نسبت به محل ایجاد شکاف زیادتر شده ولی این افزایش ضخامت رسوبات ریزدانه در بخش جنوب شرقی شکاف تا قسمت مرکزی دشت خیلی زیاد نمی‌باشد. برآمدگی سنگ کف باعث شده تا کمترین ضخامت لایه رسی در حوالی شکاف ایجاد گردد. قسمت بالایی و پایینی این بخش به دلیل عبور گسل، ناگهان افزایش عمق داده و حوضه رسوبی عمیق‌تر شده است. بررسی وضعیت افت نشان می‌دهد که از سمت B به سمت مرکز دشت مقدار افت افزایش می‌یابد. با در نظر گرفتن روند B-B⁻ از محدوده شکاف به سمت B علیرغم اینکه افت سطح آب ۲ متر کمتر شده ولی به علت کم بودن اختلاف افت از یک طرف و ضخامت بسیار بیشتر لایه ریزدانه نسبت به محدوده شکاف، نشست در بخش بالایی (به سمت B) بیشتر بوده است. در قسمت‌های پایین شکاف به سمت مرکز دشت نیز مقدار افت سطح آب بیشتر شده و از طرفی مقداری به ضخامت لایه ریزدانه افزوده شده است. بنابراین در قسمت‌های پایین شکاف نیز نشست زمین می‌بایستی بیشتر گردد. همانطور که در مدل نشان داده شده در شکل (۴-۲۹) دیده می‌شود، اختلاف نشست باعث شده که دو طرف شکاف نشست بیشتری داشته و در نتیجه محدوده شکاف دچار تنش کششی شده و به دلیل کم بودن مقاومت کششی مصالح خاکی، عمود بر جهت تنش کششی، شکاف اصلی در دشت ایجاد گردد. در صورت تداوم افت سطح ایستابی، شکاف‌هایی نیز در آینده رخ خواهد داد که بر روی شکل نمایش داده شده است.

۴-۴-۴- آثار و عوارض نشست زمین در دشت

شکاف‌های ایجاد شده در اثر افت سطح آبهای زیرزمینی در دشت کردی شیرازی به صورت کششی در جنگل مور کردی مشاهده می‌شود. نشست زمین و گسترش این شکاف سبب از بین رفتن درختان جنگل شده است. شکل (۴-۳۰) نمونه‌هایی از این شکاف در جنگل را نشان می‌دهد. با توجه به این که جنگل مور



شکل ۴-۲۹: مدل نشست زمین در محدوده شکاف ایجاد شده در دشت کردی شیرازی (۱- حالت اولیه ۲- تراکم لایه ۳-

ایجاد شکاف)

به زمین‌های کشاورزی نزدیک است، ادامه نشست و گسترش ترک‌های موجود در اطراف شکاف اصلی زمین‌های کشاورزی را تهدید می‌کند. لذا فرونشست زمین و رخداد این شکاف‌ها می‌تواند باعث تغییر شیب و تسطیح زمین، هدر رفتن آب آبیاری، آسیب رساندن به چاه‌های کشاورزی و تحمیل هزینه‌های بیشتر به مالکان چاه‌ها و افت کیفی آب‌های زیرزمینی می‌شود. علاوه بر بخش کشاورزی، افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و فرونشست ناشی از آن می‌تواند، سبب بروز مشکلات و مخاطراتی دیگر در دشت گردد. از مهمترین این مشکلات و مخاطرات می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.



شکل ۴-۳۰: از بین رفتن درختان در جنگل مور دشت کردی شیرازی

بخش‌های زیربنایی مانند جاده‌ها و تأسیسات واقع در حریم و پیرامون روستاها مانند خطوط انتقال آب، گاز و نیرو می‌تواند دچار آسیب جدی گردند. به علاوه پتانسیل نشست باعث ایجاد ریسک در توسعه صنعتی آینده در این بخش‌ها شده و در صورت عدم توجه به این مسئله ممکن است جایابی استقرار صنایع سبک و سنگین به درستی انجام نشده و در محدوده با خطر نشست بالا احداث گردند و دچار خسارات مالی و زیست محیطی فراوانی گردند.

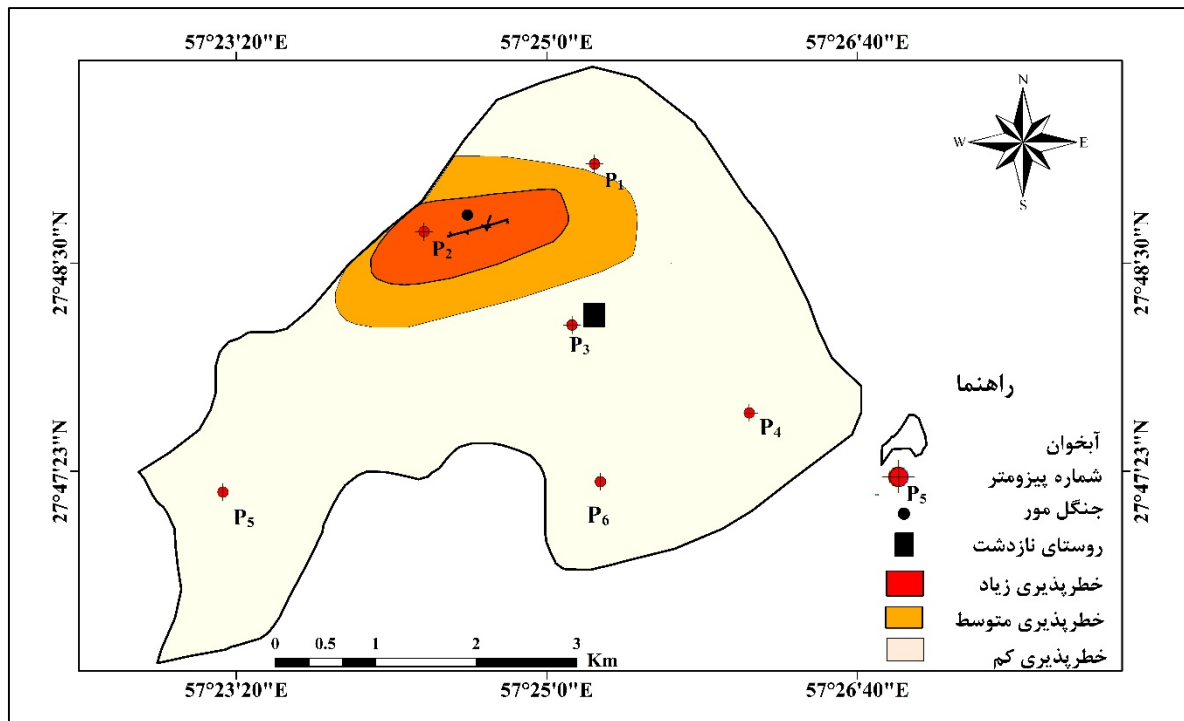
۵-۴-۴- ارزیابی خطرپذیری نشست زمین در دشت

در تهیه نقشه خطرپذیری فرونشست و شکاف از تلفیق دو عامل اصلی ایجاد کننده این پدیده، یعنی افت سطح آب زیرزمینی و دانه‌بندی رسوبات استفاده شده است. با توجه به موارد ذکر شده نقشه تقریبی

خطرپذیری فرونشست دشت ترسیم گردید (شکل ۴-۳۱). در این شکل دشت به سه پهنه بشرح زیر تقسیم گردیده است:

الف) پهنه‌های با خطر نسبی زیاد

این پهنه دارای روند شمال شرق - جنوب غرب بوده و در بخش شمال غربی دشت واقع شده است. شکاف روی داده در مرکز این بخش قرار دارد. در واقع با محدوده تحت کششی (شکل ۴-۲۹) مطابقت دارد.



شکل ۴-۳۱: نقشه پهنه‌بندی خطر در دشت کردی شیرازی

ب) پهنه‌های با خطر نسبی متوسط

این پهنه به صورت هاله‌ای هم‌روند با منطقه پرخطر می‌باشد و منطبق بر یال‌های بالا آمدگی سنگ کف می‌باشد. با توجه به بالا آمدگی سنگ کف با روند شمال شرق - جنوب غرب، پهنه با خطر متوسط نیز از این روند پیروی می‌نماید.

ج) پهنه‌های با خطر نسبی کم

در پهنه‌ی با خطر نسبی کم احتمالاً رخداد فرونشست خیلی کم است. در برخی از مناطق واقع شده در این پهنه افت سطح آب زیرزمینی نیز زیاد می‌باشد. با این وجود درشت‌دانه بودن رسوبات واقع در این پهنه مانع از نشست زیاد این مناطق می‌گردد.

فصل پنجم

نتیجہ گیری و پیشہادہ

۱-۵- مقدمه

در این فصل نتایج حاصل از تحلیل‌های هیدروژئولوژیکی و تحلیل فروشست دشت کردی شیرازی ارائه می‌شود و پیشنهادهایی جهت مطالعات آتی ارائه می‌گردد.

۵-۲- نتایج

۱- بر اساس نقشه هم‌پتانسیل آبان ماه ۱۳۹۳ جهت جریان از سمت شمال به سمت جنوب و جنوب غرب می‌باشد. حداکثر ارتفاع سطح ایستابی در شمال دشت و حداقل آن در قسمت جنوب می‌باشد. شمال دشت منطقه تغذیه آبخوان بوده و تخلیه توسط چاه‌های واقع در قسمت جنوبی انجام می‌شود.

۲- بررسی نقشه‌های هم‌عمق سال‌های ۷۸ و ۹۳ روند افزایشی عمق سطح آب زیرزمینی از شمال به سمت جنوب دشت با گذشت زمان را نشان می‌دهد.

۳- میزان افت سطح آب زیرزمینی در پیزومترهای واقع در دشت بر اساس اندازه‌گیری ماهانه محاسبه شده است. کمترین مقدار افت در قسمت جنوب شرق دشت (محل پیزومتر P4) به دلیل درشت دانه بودن رسوبات و بیشترین مقدار افت سطح آب زیرزمینی در قسمت جنوب دشت (محل پیزومتر P6) به علت برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

۴- هیدروگراف معرف آبخوان دشت کردی شیرازی دارای روند نزولی نسبت به زمان نشان می‌باشد. مقدار افت سطح ایستابی در طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۹۴ حدود ۳۵/۵ متر بوده و نرخ افت سالانه در آبخوان حدود ۲/۲ متر می‌باشد.

۵- حداقل و حداکثر مقادیر قابلیت انتقال بر اساس لاگ پیزومترها به ترتیب ۸۷ و ۳۹۶ متر مربع بر روز می‌باشد. مقدار آبدهی ویژه آبخوان بین ۵ تا ۷ درصد متغیر بوده و متوسط آن ۶ درصد برآورد شده است.

۶- با توجه به نتایج بیلان در سال آبی ۱۳۹۳-۹۴ کل ورودی به آبخوان کردی شیرازی ۴/۱ میلیون متر مکعب در سال و مقدار کل خروجی حدود ۶/۶ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. آبخوان با کسری مخزن حدود ۲/۵ میلیون متر مکعب در سال مواجه می‌باشد.

۷- بررسی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی نشان دهنده افزایش آن در قسمت شرق تا جنوب دشت در مقایسه با قسمت جنوب غربی دشت می‌باشد. بالا بودن مقدار هدایت الکتریکی می‌تواند به دلیل وجود مجموعه بجگان می‌باشد.

۸- مقدار pH در نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان، در قسمت شرق تا جنوب کمتر و متوسط آن حدود ۷/۵ و متوسط آن در جنوب غربی دشت حدود ۷/۹ می‌باشد، پایین بودن مقدار pH در گروه دو احتمالاً به دلیل املاح زیاد آب می‌باشد.

۹- با توجه به نمودار شولر، استیف و پایپر تیپ غالب آب زیرزمینی در آبخوان کلروه- سدیک می‌باشد.

۱۰- بررسی شاخص اشباع کانی‌ها نشان می‌دهد همه نمونه‌ها نسبت به کلسیت فوق اشباع و نسبت به ژیپس و هالیت تحت اشباع بوده است. انحلال کانی‌های هالیت، ژیپس و رسوب کانی کلسیت از فرایندهای مؤثر در شیمی آب‌های زیرزمینی می‌باشند.

۱۱- افزایش هدایت الکتریکی در طول ناشی از زمان ناشی از کاهش سطح آب زیرزمینی در اثر برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

۱۲- بر اساس نمودار ویلکوکس نمونه‌های آب رده‌های C3S1 و C3S2 که در جنوب غربی دشت واقع شده‌اند، جز آب‌های شور محسوب شده که برای کشاورزی مناسب می‌باشند. نمونه‌های موجود در رده‌های C4S2، C4S3 و C4S4 واقع در شرق و جنوب دشت، خیلی شور بوده و برای کشاورزی نامناسب می‌باشد.

۱۳- عوامل مؤثر بر فرونشست زمین در دشت، افت سطح آب زیرزمینی و وجود لایه‌های رسی می‌باشد. افت سطح آب زیرزمینی باعث اعمال تنش زیادی به رسوبات تشکیل دهنده آبخوان شده و تراکم و نشست را در پی داشته است.

۱۴- شکاف اصلی دشت کردی شیرازی به طول ۵۶۷/۶ متر و عمق حدود ۵ متر می‌باشد. این شکاف دارای الگوی ۷ شکل با راستای شمال شرقی- جنوب غربی بوده و از نوع کششی می‌باشد.

۱۵- بر اساس بازدیدهای صحرایی و بررسی‌های سونداژهای ژئوالکتریکی، کمترین ضخامت رسوبات حدود ۵۰ متر در قسمت شمال شرق دشت بوده و بیشترین ضخامت در غرب دشت برابر ۲۰۰ متر می‌باشد.

۱۶- تفاوت در ضخامت لایه رسی و همچنین مقدار افت سطح آب زیرزمینی باعث رخداد نشست نامتقارن شده و پهنه‌های کمتر نشست کرده نسبت به اطراف خود دچار کشش شده و شکاف در آنها رخ داده است.

۱۷- نشست زمین و گسترش شکاف ایجاد شده سبب از بین رفتن درختان جنگلی شده است. در صورت استمرار روند بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی سبب آسیب رساندن به بخش طبیعی، کشاورزی و بخش زیربنایی، تأسیسات و صنعت می‌شود.

۱۸- با توجه به نقشه خطر پذیری فرونشست، دشت کردی شیرازی به سه پهنه با خطر نسبی زیاد، متوسط و کم تقسیم گردیده است.

۵-۳- پیشنهادها

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، موارد زیر جهت مطالعات آتی و بهبود شرایط فعلی دشت کردی شیرازی پیشنهاد می‌گردد:

۱- با توجه به تداوم افت سالانه در دشت کردی شیرازی، مدیریت منابع آب افزایش یابد تا از افت بیشتر سطح آب زیرزمینی جلوگیری گردد.

۲- نظارت دقیق بر نحوه و زمان برداشت آب زیرزمینی از چاه‌های کشاورزی توسط شرکت آب منطقه‌ای استان صورت گیرد.

۳- حفر پیزومترهای جدید تا سنگ کف همراه با نمونه‌گیری خاک و آنالیز دانه‌بندی و تعیین مشخصات مهندسی خاک انجام گیرد.

۴- برای ارزیابی میزان فرونشست، ایستگاه‌های GPS دائم در دشت نصب گردند.

۵- با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و رادار مقادیر فرونشست رخ داده در بخش‌های مختلف دشت مشخص گردد.

منابع

- آقانباتی. ع، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.
- اصغری مقدم. الف، (۱۳۸۹)، "اصول شناخت آب‌های زیرزمینی" چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز.
- بهنیا فر. ا، قنبرزاده. ه، اشراقی. ع، (۱۳۸۹)، "بررسی عوامل مؤثر در فرونشست‌های دشت مشهد و پیامدهای ژئومورفیک آن"، فصل‌نامه جغرافیا و برنامه ریزی شهری چشم انداز زاگرس.
- جعفری. ح. ر، علمداری. س. ص، زاینده رودی. ا، (۱۳۹۰)، "بررسی عوامل زمین‌شناسی تأثیر گذار بر کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت جیرفت"، فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع آب واحد لاهیجان، سال چهارم، دوره چهارم.
- حسینی میلانی. م، (۱۳۷۳)، "اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی و اثرات آن"، مجموعه مقالات کنفرانس ملی منابع آب زیرزمینی سیرجان.
- دم شناس. م، (۱۳۸۸)، "بررسی نشست زمین در دشت نیشابور در اثر افت سطح آب‌های زیرزمینی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه فردوسی مشهد.
- رنجبر. م، جعفری. ن، (۱۳۸۸)، "بررسی عوامل مؤثر در فرونشست زمین دشت اشتهارد"، نشریه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال ششم.
- رهنما. ح، میراثی. س، (۱۳۹۵)، "تحلیل و ارزیابی پارامترهای مؤثر بر فرونشست زمین"، مجله علمی - پژوهشی عمران مدرس، دوره شانزدهم.
- رهنما. ه، قنبرپور. م. ح، حبیب نژاد روشن. م، دادرسی سبزواری، (۱۳۹۱)، بررسی وضعیت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی (مورد شناسی: دشت جوی، استان خراسان رضوی)، مجله جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای شماره ۳، صفحه‌های ۴۶-۳۱.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان، (۱۳۹۴)، "گزارش توجیهی تمديد ممنوعیت محدوده مطالعاتی کردی شیرازی".
- شمشکی. ا، بلورچی. م. ج، انصاری. ف، (۱۳۸۴)، "بررسی فرونشست زمین در دشت تهران - شهریار"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شیر افکن. م، جعفری. ه، (۱۳۹۲)، "ارزیابی بیلان هیدروژئولوژیکی آبخوان بهاباد در استان یزد" هشتمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه‌های ۵۵-۴۸.
- طاحونی. ش، (۱۳۸۶)، "اصول مهندسی ژئوتکنیک"، جلد اول، ویرایش دوم، مؤسسه انتشارات پارس آیین.

- عزیزاده. الف، (۱۳۹۰)، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، چاپ سی و یکم، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
- عباس نژاد. ب، عباس نژاد. ا، (۱۳۹۶)، "نشست زمین در دشت منوجان (جنوب استان کرمان): عوامل، اثرات و پهنه‌بندی"، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲۳.
- عباس‌نژاد. ا، شاهی دشت. ع، (۱۳۹۲)، "بررسی آسیب‌پذیری دشت سیرجان با توجه به برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی منطقه"، مجله جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای، شماره ۷.
- کرمی. غ، (۱۳۸۹)، "بررسی آزمون‌های پمپاژ چاه‌های گروه ۲ استان قم"، شرکت آب منطقه‌ای قم.
- کرمی. غ، (۱۳۸۹)، "پروژه مطالعاتی برآورد ضرایب هیدرودینامیک در دشت سمنان- ایوانکی".
- کرمی. غ، (۱۳۹۱)، مطالعات برآورد ضرایب هیدرودینامیک در دشت سمنان- ایوانکی"، شرکت آب منطقه‌ای سمنان.
- لشکری‌پور غ. ر، غفوری م، رستمی بارانی ح. ر، (۱۳۸۷)، "بررسی علل تشکیل شکاف‌ها و فرونشست زمین در غرب دشت کاشمر"، مجله مطالعات زمین‌شناسی، جلد ۱، شماره ۱.
- "نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ میناب"، سازمان زمین‌شناسی ایران.
- مسموعی. م، جعفری ه، امیربیگی م، (۱۳۹۳)، "تجزیه و تحلیل نوسانات بلندمدت سطح ایستابی آبخوان هرات در یک دوره بیست ساله"، اولین کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری، منابع طبیعی و توسعه پایدار، تهران.
- موسوی مداح. س. م، غفوری. م، لشکری‌پور. غ، افشار. س، (۱۳۹۲)، "بررسی پدیده نشست زمین و تأثیر آن بر روی گسیختگی لوله‌های جدار چاه‌های آب در محدوده شهر مشهد با استفاده از پهنه‌بندی تغییرات دانه‌بندی لایه‌های زمین"، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم شماره سیزدهم.
- ناقلی. س، (۱۳۹۰)، "تجزیه و تحلیل پدیده فرونشست زمین در دشت نجف آباد با شبیه‌سازی عددی آب زیرزمینی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز.

- Abdullahi M.G, Garba I, (2015), "Effect of Rainfall on Groundwater Level Fluctuation in Terengganu, Malaysia", Journal of Remote Sensing & GIS. 4:142.
- Amighpey M, Arabi S, (2016), "Studying land subsidence in Yazd province, Iran, by integration of InSAR and levelling measurements", Remote Sensing Applications: Society and Environment, 4: 1-8.
- Baghvand K, Nasrabadi T, Nabi Bidhendi Gh, Vosoog A, Karbassi A, Mehrdadi N, (2010), "Groundwater quality degradation of an aquifer in Iran central desert". journal Journal of Hydrology, 260: 264-275.
- Chan H.J, (2001), "Effect of landuse and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea" Journal of Hydrology, Volume 253, Issue 1-4: 194-210.

- Chen C. H, Wang C.H, Hsu Y.J, Yu S.B, Kuo L.C, (2010), "Correlation between groundwater level and altitude variations in land subsidence area of the Choshuichi Alluvial Fan, Taiwan", *Engineering Geology* 115: 122–131.
- Chen C.T, Hu J.CH, Lu Y, Lee J.C, Chan Y.C, (2007), "Thirty-year land elevation change from subsidence to uplift following the termination of groundwater pumping and its geological implications in the Metropolitan Taipei Basin", Northern Taiwan, *Engineering Geology* 95: 30-47.
- Davoodijam M, Motagh M, Momeni M, (2015)," Land Subsidence in Mahyar Plain, Central Iran, Investigated Using Envisat SAR Data", International Publishing.
- Hongdong F, Kazhong D, Chengyu J, Chuanguang Z, Jiqun X, (2011), "Land subsidence monitoring by D-InSAR technique, *Mining Science and Technology (China)*", 21: 869-872.
- Hoque M.M, Hoque M.M, Ahmed K.m, (2007), "Declining groundwater level and aquifer dewatering in Dhaka metropolition area Bangladesh causes quantification", *Hydrogeology journal*, 15: 1523-1534.
- Houzer T.L, (1988), man- induce land sudsidence, *Review in engineering geology* volume VI The Geological Society of America.
- Hongdong F, Kazhong D, Chengyu J, Chuanguang Z, Jiqun X, (2011), "Land subsidence monitoring by D-InSAR technique, *Mining Science and Technology*", (China) 21: 869-872.
- Ghazifard. A.,Moslehi. A.,Safeei. H., Roostaei. M., (2016), "Effects of groundwater withdrawal on land subsidende in Kashan Plain", Iran, *Bull Eng Geol Environ* 75: 1157-1168.
- Gamboliation G, Gatto P, Freeze A, (1974), "Predictive simulation of the subsidence of Venice", *Science*, 183: 849-851.
- Jan C D, Chen T H, (2007). "Effect of rainfall intensity and distribution on groundwater level fluctuations" *Journal of Hydrology*, 332, 3-4: 348-360.
- Khanlari G R, Heidari M, Momeni A. Ahmadi M, Taleb-Beydokhti A.R, (2012), "The effect of grandwater overexploitation on land subsidence and sinkhole occurences, western iran". *Quarterly jornal of Engineering Geology and hydrogeobgy*, 45: 447-456.
- Knudsen T, Inkenbrandt P, Lund W, Lowe M, Bowman S, (2014)," Investigation of land subsidence and earth fissures in Cedar valley, Iron County", special study 150 Utah geological survey.

- Larson K J, Basagaoglu H, 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, 242: 79-102.
- Mahmoudpour M, Khamsehchiyan M, Nikudel M R, 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, Nahandchi H, 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.
- Nikos S, Loannis P, Constantinos L, Paraskevas T, Anastasia K, Charalambos K, (2016), "Land subsidence rebound detected via multi-temporal InSAR and ground truth data in Kalochori and Sindos regions, Northern Greece". Engineering Geology 209: 175-186.
- Rahnema H, Mirassi S, (2014), "Crisis Management Concerning Underground Water Falling and Land Subsidence Occurrence in the Plains of Iran" Advances in Environmental Biology, 8(5): 1453-1465.
- Phien-Wej N, Giao PH, Nutalaya P, (2006), "Land subsidence in Bangkok", Thailand. Engineering Geology, 82(4): 187- 201.
- Todd D K, Mays LW, (2005), "Groundwater hydrology", John Wiley and sons, New York, P: 652.

Abstract

It is important to use groundwater in our country, which is climateally located in semi-arid to arid area. Excessive exploitation of groundwater, in particular in these areas, has had negative environmental impacts. The area of Kerdi- Shirazi plain of with an area of 131.6 km² is a part of Roodkhaneh district in the city of Roudan, located in the northeast of Hormozgan province. In the Kerdi- Shirazi plain, groundwater resources overexploitation was done by agricultural wells. Investigation of groundwater level using piezometers in the plain shows that the average groundwater level elevation has dropped from 500 meters in 1999 to 464/5 meters in 2015. Groundwater level changes during the 16-years period show a drop of 35.5 meters. The obtained results of groundwater balance during a year (2014-2015) indicate that the aquifer had a deficit of about 2.6 Mm³. The development of agriculture and groundwater resources overexploitation caused the Kerdi- Shirazi plain to be the prohibited critical plain of the province. The groundwater level drop down leads to considerable stress loading on the aquifer forming sediments and compaction and settlement of them. Consequently, a large fissure with 568 meter measured length was appeared at the north west part of the plain in 2015. The results of this study indicate that two main factors including groundwater level drop down and changes in fine-grained clay layer thickness caused unequal subsidence, creation of tensile region, and consequently occurrences of the fissure. Based on these factors, hazard map of land subsidence was prepared with three categories including high, moderate and low hazard areas.

Keywords: water table draw down, Groundwater balance, land subsidence, Kerdi- Shirazi.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M. Sc. Thesis of Hydrogeology

Hydrogeology and subsidence analysis of the Kerdi-Shirazi plain in Hormozgan Province

By:

Seyedeh Mohaddeseh Mousavi

Supervisor:

Dr Hadi Jafati

Dr Aliakbar Momeni

Advisor:

Jahangir Sepehri

January 2018