





دانشکده علوم زمین

گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد آب‌شناسی

## بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در منطقه کردکوی

مجتبی بساکی

اساتید راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

دکتر ناصر حافظی مقدس

استاد مشاور:

دکتر ابراهیم یخکشی

بهمن ماه ۱۳۸۹

## مقالات مستخرج از این پایان نامه:

۱- بررسی خصوصیات هیدروژنولوزیکی آبخوان کردکوی، چهاردهمین همایش انجمن زمین

شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، دانشگاه ارومیه - ارومیه، شهریور ۱۳۸۹.

۲- بررسی تقلیل کیفیت آب در بعضی قسمتهای آبخوان کردکوی، همایش ملی آب با رویکرد

آب پاک، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، تهران، اسفند ۱۳۸۹.

۳- بررسی نفوذ آب شور دریای خزر در آبخوان کردکوی، همایش ملی آب با رویکرد آب پاک،

دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، تهران، اسفند ۱۳۸۹.

تقدیم به:

**دست‌های زحمتکش پدرم**

**و**

**محبت‌های بی‌دریغ مادرم**

## تقدیر و تشکر

حمد و سپاس پروردگاری که تا آنکه لطف و کرم بی کرائش اینجانب را نیز در برگرفت تا به وسع توان خویش گامی کوچک در گستره علم و معرفت بردارم و میسر گشت تا از مزرحه دانش و تجربه بزرگان و نیک اندیشان خوشه چینی کرده باشم. شاکرم که به من فرصتی داد تا از محضر اساتید بزرگوار بهره گیرم و گامی هر چند کوچک در گستره پیکران علم و معرفت بردارم.

از جناب آقای دکتر علاء حسین کرمی و دکتر ناصر حافظی مقدس اساتید راهنمای فریخته و بزرگوارم که اولین روشی، بخش و راهنمای این راه بودند و بدون رهنمودهای ارزنده ایشان، به پایان رساندن این تحقیق ممکن نبود کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم. از تمام اساتیدی که در دوران تحصیل در مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد به نحوی افتخار نگارنده در محضرشان را داشتم از جمله آقایان دکتر کاظمی، مهندس حیدر زینا، دکتر مهندسزاده، دکتر رمضانفانی، دکتر فردوست، دکتر طاهری، دکتر امیددی، دکتر دوستی ارده جانی و دکتر طاهری شهرآیین کمال تشکر را دارم. از کارکنان محترم دانشکده علوم زمین آقای مهندس میرباقری، مهندس خانعلیزاده و خانم فارسی و همچنین آقای مهندس و بقان، آقای مهندس کابلی و آقای مهندس ایزدی (سازمان آب منطقه ای گلستان) که بگاری های صمیمانه ای را با اینجانب داشته اند تشکر می نمایم. از دوستان عزیزم آقایان قاسم سلیم، مرتضی جاویدی، محمود نوری، کاظم غزنوی، مجتبی کرآوند، ابوالفضل اکرمیان، احمد بکلابادی، علی بیات، کریم عظیمی، مرتضی بساکی، محمد امیری، امیر عسکری و مجید جانفدا که در مراحل انجام این تحقیق کمک و همراهی بودند نهایت سپاسگزاری را داشته و برای همه این عزیزان آرزوی سلامتی و سعادت می نمایم. از خانواده بزرگوارم که علی رغم مشکلات فراوان همیشه همراه من بودند و مرا تحمل نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

مجتبی بساکی

## چکیده

شهرستان کردکوی در جنوب شرق دریای مازندران و در ۲۹ کیلومتری غرب گرگان واقع شده است. آب شرب شهرهای کردکوی، بندرترکمن و گمیشان از آبخوان کردکوی تامین می‌شود که اخیراً بعضی از چاههای این آبخوان شور شده‌اند. در ابتدای دشت، آبخوان از نوع آزاد و با عمق نسبتاً زیاد، در مرکز دشت آبخوان‌های تحت فشار یا نیمه تحت فشار و در انتهای دشت (در مجاورت ساحل) آبخوان‌های معلق به صورت محدود دیده می‌شود. به طور میانگین از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۸ تراز آب زیرزمینی ۵ متر پایین افتاده است. تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری شده برای پارامترهای هیدروژئوشیمی ۱۵ عدد می‌باشد. پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری شامل هدایت الکتریکی، اسیدپته و همچنین دمای آب می‌باشد. سایر پارامترهای مورد ارزیابی شامل سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، بی-کربنات، کلر و سولفات می‌باشد که در آزمایشگاه سازمان آب منطقه‌ای گلستان اندازه‌گیری شده‌اند. نتایج حاصل از بررسی هدایت الکتریکی در منطقه نشان می‌دهد که به طور کلی میزان هدایت الکتریکی از سمت جنوب و جنوب شرقی به سمت شمال و شمال غربی (از سمت ارتفاعات به سمت دریا) افزایش یافته است، که منطبق بر جهت جریان آبهای زیرزمینی است. به دلیل حفر چاههای عمیق و استخراج دائمی آب به میزان بالا برای تأمین آب شرب شهرهای کردکوی، بندر ترکمن و گمیشان آب در این قسمت با آب فسیلی مخلوط و باعث تخریب کیفیت شده است. در انتهای دشت و در قسمت شمال غرب منطقه به دلیل قرار گرفتن در منطقه تخلیه آبخوان، تبخیر از سطح آب زیرزمینی، پیشروی آب دریا و همچنین تخلیه زه‌آبهای کشاورزی در رودخانه قره سو، هدایت الکتریکی در این قسمت از آبخوان بسیار بالا است. زمان زیاد ماندگاری آب زیرزمینی از محل تغذیه تا تخلیه، نفوذپذیری کم زمین و توپوگرافی پست در قسمت شمال و شمال شرق منطقه سبب شده است که مرز مشترک آب شور و شیرین در این منطقه با شیب کم به طرف خشکی پیشروی داشته باشد و استخراج آب از چاههای عمیق باعث شوری آب در این قسمتها شده است.

**واژگان کلیدی:** کردکوی، هیدروژئولوژی، هیدروژئوشیمی، پیشروی آب دریا.

## فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فصل اول: مقدمه	
۱-۱- بیان مسأله .....	۱
۲-۱- هدف مطالعه .....	۱
۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه .....	۲
۴-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه .....	۳
۵-۱- ژئومورفولوژی منطقه .....	۶
۱-۵-۱- واحد زمین ریخت شناسی کوهستانی .....	۷
۲-۵-۱- واحد زمین ریخت شناسی تپه و ماهور .....	۷
۳-۵-۱- واحد زمین ریخت شناسی دشت .....	۷
۶-۱- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه .....	۷
۱-۶-۱- سنگ چینه شناسی منطقه مورد مطالعه .....	۸
۷-۱- زمین شناسی ساختمانی و زمین ساخت منطقه .....	۱۲
۱-۷-۱- چین‌ها و روندها .....	۱۳
۲-۷-۱- گسلها و روراندها .....	۱۳
۱-۲-۷-۱- گسلهای اصلی .....	۱۳
۲-۲-۷-۱- گسلهای فرعی .....	۱۴
۳-۷-۱- درزها و شکافها .....	۱۴
۸-۱- هیدرولوژی منطقه .....	۱۵

## فصل دوم: تاریخچه مطالعات انجام شده

- ۱۷-۲-۱- مقدمه ..... ۱۷
- ۱۷-۲-۲- عوامل موثر بر کیفیت آب ..... ۱۷
- ۱۸-۲-۲-۱- فرایندهای طبیعی تغییر کیفیت آب ..... ۱۸
- ۲۷-۲-۲-۲- عوامل غیرطبیعی موثر بر کیفیت آب ..... ۲۷
- ۳۳-۲-۳- آبخوان‌های ساحلی ..... ۳۳

## فصل سوم: روش انجام کار و تحقیق

- ۳۶-۱-۳- جمع آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز از منطقه مورد نظر ..... ۳۶
- ۳۷-۲-۳- مطالعات زمین شناسی ..... ۳۷
- ۳۷-۳-۳- نمونه برداری از آب زیرزمینی ..... ۳۷
- ۳۸-۱-۳-۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه برداری ..... ۳۸
- ۴۰-۲-۳-۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه ..... ۴۰
- ۴۰-۴-۳- جمع آوری داده‌های هیدروژئولوژیکی منطقه ..... ۴۰
- ۴۱-۱-۴-۳- تهیه نقشه‌های هم پتانسیل و هم افت سفره آبخوان ..... ۴۱
- ۴۱-۲-۴-۳- ترسیم هیدروگراف جهت بررسی نوسانات سالانه سطح آب زیرزمینی ..... ۴۱
- ۴۱-۵-۳- جمع آوری داده‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه ..... ۴۱
- ۴۱-۱-۵-۳- تهیه نقشه‌های کیفی سفره آب زیرزمینی ..... ۴۱
- ۴۲-۲-۵-۳- ترسیم نمودارهای ترکیبی ..... ۴۲
- ۴۲-۳-۵-۳- تهیه دیاگرام‌های کیفی سفره آب زیرزمینی ..... ۴۲

## فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژیکی آبخوان کردکوی

- ۴۳-۱-۴- مقدمه ..... ۴۳
- ۴۳-۲-۴- سیستم آبخوان‌ها ..... ۴۳



۴۵	۳-۴- مطالعات اکتشافی انجام شده
۴۵	۴-۴- هیدروژئولوژی سفره آب زیرزمینی
۴۵	۴-۴-۱- مقادیر قابلیت انتقال
۴۷	۴-۴-۲- مقادیر ضریب ذخیره
۴۹	۴-۴-۳- بررسی نقشه هم پتانسیل منطقه
۵۲	۴-۴-۴- بررسی نقشه افت سطح آبهای زیرزمینی
۵۴	۴-۵- بررسی نوسانات سالانه سطح آب زیرزمینی
۵۸	۴-۶- بیلان آب زیرزمینی

### فصل پنجم: بررسی هیدروژئوشیمیایی آبخوان کردکوی

۶۰	۵-۱- مقدمه
۶۰	۵-۲- بررسی خصوصیات هیدرووشیمیایی
۶۲	۵-۲-۱- بررسی قابلیت هدایت الکتریکی
۶۶	۵-۲-۲- بررسی اسیدیته
۶۷	۵-۲-۳- بررسی تغییرات یون کلر
۶۸	۵-۲-۴- بررسی تغییرات یون سدیم
۷۰	۵-۲-۵- بررسی تغییرات یون سولفات
۷۱	۵-۲-۶- نسبت کلر به مجموع آنیونها
۷۲	۵-۲-۷- نسبت سدیم به مجموع کاتیونها
۷۳	۵-۲-۸- بررسی روند تغییرات سختی آب
۷۴	۵-۳- نمودارهای ترکیبی
۷۹	۵-۴- روش رول (Revelle)
۸۱	۵-۵- شاخص‌های اشباع

- ۵-۶- بررسی زونهای غالب یونی با استفاده از نمودار پایپر..... ۸۳
- ۵-۷- بررسی تیپ آبهای زیرزمینی با استفاده از نمودار استیف..... ۸۴
- ۵-۸- بررسی علت اختلاف کیفیت آب در قسمت شرقی و غربی منطقه..... ۸۵
- ۵-۹- بررسی کیفیت آبهای زیرزمینی از نظر شرب و کشاورزی..... ۸۹

### فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادها

- ۶-۱- خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان..... ۹۲
- ۶-۲- بررسی نوسانات سالانه سطح آب زیرزمینی..... ۹۲
- ۶-۳- بیان آب زیرزمینی..... ۹۳
- ۶-۴- بررسی هیدروژئوشیمیایی آبخوان..... ۹۳
- ۶-۵- پیشنهادها..... ۹۶
- ۶-۶- منابع مورد استفاده..... ۹۷

## فهرست اشکال

عنوان	شماره صفحه
شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن	۲
شکل ۱-۲- نقشه توپوگرافی منطقه	۳
شکل ۱-۳- نمودار میانگین ۲۰ ساله دما و بارندگی سالیانه منطقه کردکوی	۵
شکل ۱-۴- نمای کلی از ژئومورفولوژی منطقه	۶
شکل ۱-۵- نقشه زمین شناسی منطقه	۱۱
شکل ۱-۶- نمایی از رودخانه کردکوی	۱۵
شکل ۲-۱- بالا آمدگی آب شور به طرف چاه بهره‌برداری	۳۰
شکل ۱-۳- محل نقاط مشاهده‌ای برای مطالعات هیدروژئولوژیکی	۳۸
شکل ۲-۳- محل نقاط نمونه برداری برای بررسی پارامترهای هیدروژئوشیمیایی	۳۹
شکل ۱-۴- وضعیت آبرفت و سفره‌های آب زیر زمینی دشت کردکوی	۴۴
شکل ۲-۴- مقادیر قابلیت انتقال بر روی نقشه زمین شناسی	۴۷
شکل ۳-۴- مقادیر ضریب ذخیره بر روی نقشه زمین شناسی کردکوی	۴۸
شکل ۴-۴- نقشه خطوط هم پتانسیل اردیبهشت ماه ۱۳۸۳	۵۰
شکل ۵-۴- نقشه خطوط هم پتانسیل اردیبهشت سال ۱۳۸۸	۵۱
شکل ۶-۴- نیمرخ سطح آب زیرزمینی از دامنه ارتفاعات به سمت دریا	۵۲
شکل ۷-۴- نقشه افت سطح آبهای زیرزمینی در دشت کردکوی	۵۳
شکل ۸-۴- هیدروگراف واحد دشت کردکوی	۵۴
شکل ۹-۴- هیدروگراف پیزومتر مفید آباد	۵۵
شکل ۱۰-۴- هیدروگراف پیزومتر کردکوی	۵۵
شکل ۱۱-۴- هیدروگراف پیزومتر شمال یساقی	۵۵
شکل ۱۲-۴- هیدروگراف پیزومتر درود محله	۵۶
شکل ۱۳-۴- هیدروگراف پیزومتر باغوکناره	۵۶

- شکل ۴-۱۴- اختلاف حداکثر و حداقل سطح آب در چاههای کردکوی ..... ۵۷
- شکل ۵-۱- نقشه هدایت الکتریکی دشت کردکوی ..... ۶۳
- شکل ۵-۲- نمودار رابطه‌ی یونهای مختلف و هدایت الکتریکی در دشت کردکوی ..... ۶۵
- شکل ۵-۳- مقادیر اسیدیتته نمونه‌ها ..... ۶۶
- شکل ۵-۴- نقشه کلر دشت کردکوی ..... ۶۸
- شکل ۵-۵- نقشه سدیم دشت کردکوی ..... ۶۹
- شکل ۵-۶- نقشه سولفات دشت کردکوی ..... ۷۰
- شکل ۵-۷- نقشه نسبت کلر به مجموع آنیونهای دشت کردکوی ..... ۷۱
- شکل ۵-۸- نقشه نسبت سدیم به مجموع کاتیونهای دشت کردکوی ..... ۷۲
- شکل ۵-۹- نمودار تغییرات سختی آب در دشت کردکوی ..... ۷۴
- شکل ۵-۱۰- نمودارهای ترکیبی دشت کردکوی ..... ۷۵
- شکل ۵-۱۱- نمودار مقادیر نسبت (Cl/TDS) نمونه‌های آب زیرزمینی کردکوی ..... ۷۷
- شکل ۵-۱۲- نمودار مقادیر نسبت کلرید به مجموع آنیونهای آب زیرزمینی کردکوی ..... ۷۸
- شکل ۵-۱۳- نمودار مقادیر نسبت بیکربنات به کلرید آب زیرزمینی کردکوی ..... ۷۹
- شکل ۵-۱۴- نمودار تغییرات کلرید نسبت به مجموع بیکربنات و کربنات ..... ۸۰
- شکل ۵-۱۵- نقشه تغییر شاخص اشباع هالیت در کردکوی ..... ۸۲
- شکل ۵-۱۶- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی در آبان ماه ۱۳۸۸ ..... ۸۳
- شکل ۵-۱۷- نمودار استیف مربوط به نمونه‌های آبان ماه ۱۳۸۸ ..... ۸۵
- شکل ۵-۱۸- تصویری از سطح مشترک آب شیرین و آب شور دریا ..... ۸۶
- شکل ۵-۱۹- شکل شماتیک از علت شوری آب چاههای شمال و شمال شرق کردکوی ..... ۸۷
- شکل ۵-۲۰- شکل شماتیک از علت شیرینی آب چاههای غرب کردکوی ..... ۸۸
- شکل ۵-۲۱- نمودار شولر نمونه‌ها در آبان ماه ۱۳۸۸ ..... ۸۹
- شکل ۵-۲۲- نمودار ویلکوکس نمونه‌ها در آبان ماه ۱۳۸۸ ..... ۹۰

## فهرست جداول

عنوان	شماره صفحه
جدول ۱-۱- میانگین بارندگی و درجه حرارت در یک دوره ۲۰ ساله در منطقه .....	۴
جدول ۲-۱- طبقه بندی اقلیمی دمارتن .....	۵
جدول ۱-۲- فراوانی نسبی مواد جامد محلول در آب .....	۱۹
جدول ۱-۴- حدود تغییرات ضریب نفوذپذیری برای برخی از رسوبات .....	۴۶
جدول ۲-۴- نتایج مربوط به آزمایشهای پمپاژ .....	۴۶
جدول ۳-۴- بار هیدرولیکی در دشت کردکوی .....	۴۹
جدول ۳-۴- مقادیر پارامترهای بیلان سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۵ .....	۵۹
جدول ۱-۵- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی چاههای منطقه .....	۶۱
جدول ۲-۵- مقادیر پارامترهای محاسبه شده چاههای منطقه .....	۶۲
جدول ۳-۵- مقادیر تغییرات کلرید نسبت به مجموع بیکربنات و کربنات برای آب چاههای منطقه ..	۸۰
جدول ۴-۵- مقادیر شاخص اشباع نمونه‌ها در دشت کردکوی .....	۸۱

## فصل اول: مقدمه

### ۱-۱- بیان مسأله

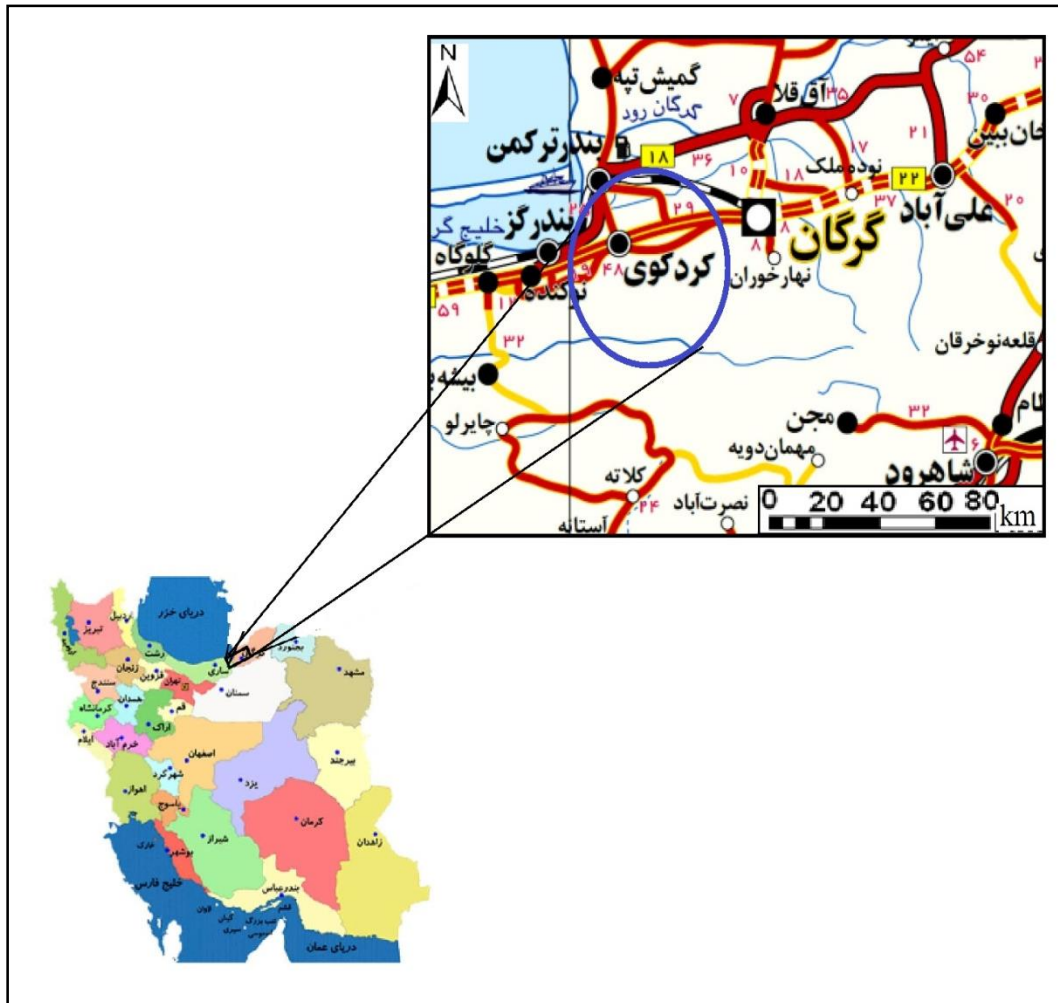
در بحث تامین منابع آب شرب دو پارامتر کمیت و کیفیت آب توأمان مورد توجه می‌باشند. در زمانهای گذشته به دلیل جمعیت پایین، آلودگی منابع آب اهمیت چندانی نداشت و از منابع موجود به راحتی و بدون نگرانی از مسائل آلودگی استفاده می‌شده است. اما امروزه با ازدیاد جمعیت و به تبع آن افزایش تقاضا برای استفاده از آب سالم برای شرب و سایر مصارف، در جلوگیری از تخریب کیفیت آب مصرفی خود دارد. آب‌های زیرزمینی از منابع ارزشمند تهیه آب برای شرب، کشاورزی و صنعت می‌باشد. با توجه به تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی که می‌تواند در اثر فعالیت‌های انسان صورت گیرد، بررسی و مطالعه این منابع به منظور حفظ کیفیت آنها ضروری است.

### ۱-۲- هدف مطالعه

آب شرب کردکوی، بندرترکمن و گمیشان از آبخوان کردکوی تامین می‌شود که اخیراً بعضی از چاه‌های این آبخوان شور شده‌اند و این پدیده در حال گسترش است. سطح آب و کیفیت آب در بخش‌های شرقی و غربی آبخوان تفاوت‌های چشمگیری دارند. هدف اصلی این تحقیق بررسی علل اختلاف کمی و کیفی آب در بخش‌های مختلف آبخوان کردکوی می‌باشد که تا کنون در این خصوص مطالعه جامعی صورت نگرفته است. با توجه به اهمیت این آبخوان به عنوان تامین کننده آب شرب سه شهر کردکوی، بندر ترکمن و گمیشان مطالعه کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی آن حائز اهمیت می‌باشد.

۱-۳- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

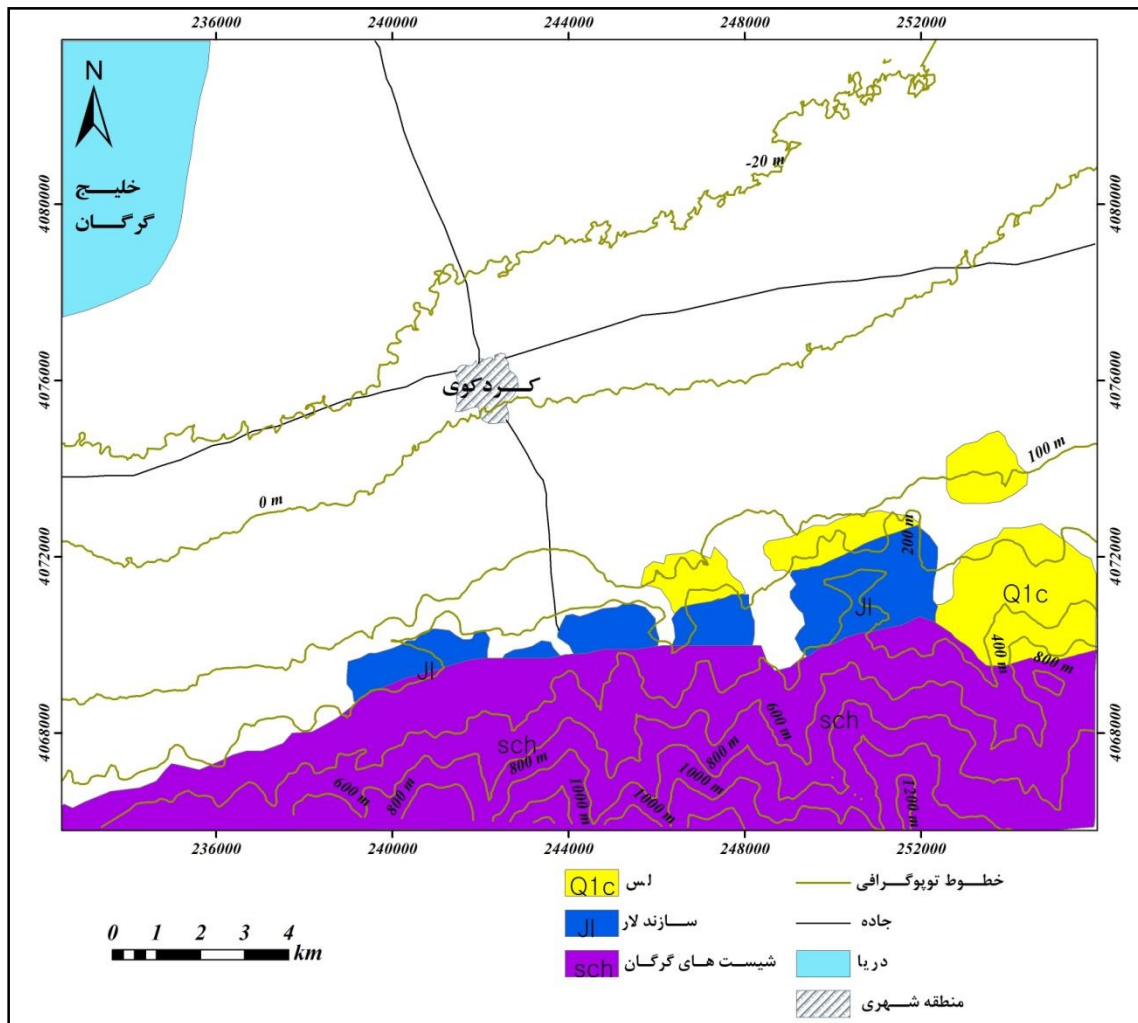
شهرستان کردکوی با مساحتی در حدود ۸۱۵ کیلومتر مربع در جنوب غرب دریای مازندران و فاصله ۲۹ کیلومتری غرب گرگان واقع شده است. موقعیت جغرافیایی آبخوان کردکوی تقریباً از  $54^{\circ} 00'$  تا  $54^{\circ} 15'$  طول شرقی و از  $36^{\circ} 45'$  تا  $36^{\circ} 50'$  عرض شمالی گسترش دارد.



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن

این شهرستان در غرب استان گلستان قرار دارد و از شمال به شهرستان بندر ترکمن، از شرق به شهرستان گرگان، از جنوب به رشته کوه‌های البرز شرقی و استان سمنان، و از غرب به شهرستان بندر گز محدود می‌باشد. شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن را نشان می‌دهد. جنوب این شهرستان را ارتفاعات البرز شرقی تشکیل می‌دهد که مهم‌ترین کوه‌های آن

درازنو و زمه کوه، چلستان، جهان نما و پلاش می باشند و حداکثر ارتفاع آن از سطح دریا به ۳۵۰۰ متر می رسد. بخش شمالی شهرستان از زمینهای هموار جلگه‌ای با شیب ملایم تشکیل شده که به خلیج گرگان، رودخانه قره سو و زمینهای بندر ترکمن منتهی می گردد. شکل (۲-۱) توپوگرافی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.



شکل ۲-۱- نقشه توپوگرافی منطقه (برگرفته از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ کردکوی)

#### ۴-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

از نظر آب و هوایی، منطقه کردکوی را می توان به دو بخش تقسیم کرد. بخش اول جلگه و دشت کردکوی که دارای آب و هوای نسبتاً ملایم، گرم و مرطوب می باشد. بخش دوم ارتفاعات جنگلی مشرف به دشت که در فصول سرد پوشیده از برف است و دارای هوایی سرد می باشد، که باعث تنوع



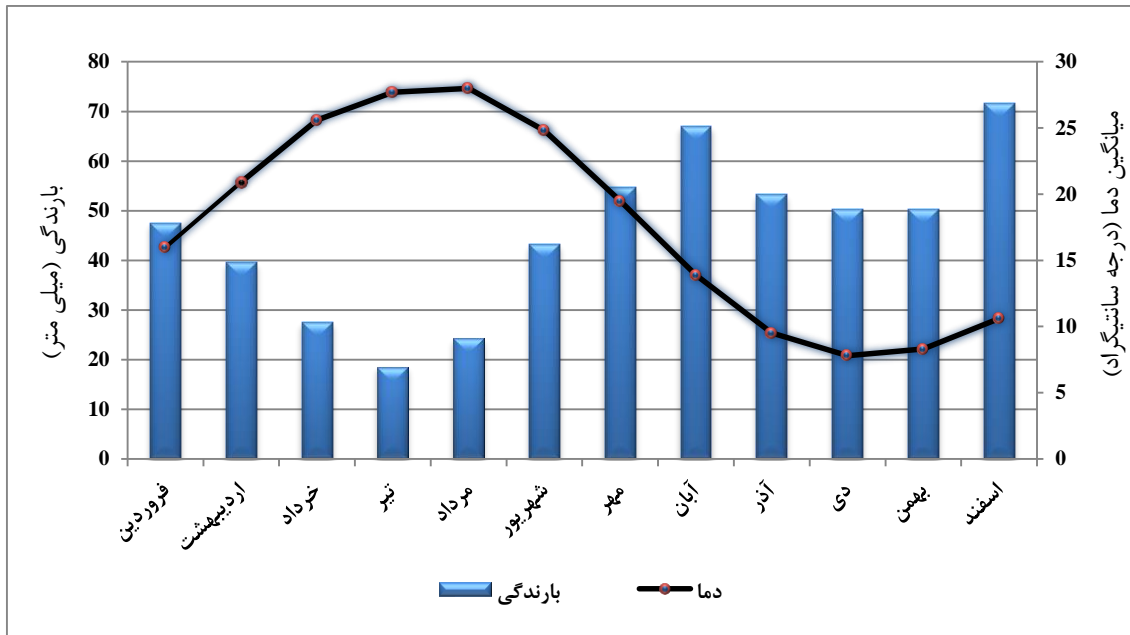
آب و هوایی در منطقه شده است. به منظور بررسی آب و هوا و اقلیم منطقه مورد مطالعه از آمار یک دوره ۲۰ ساله از ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۶ استفاده گردیده است.

جدول ۱-۱- میانگین بارندگی و درجه حرارت در یک دوره ۲۰ ساله در منطقه (برگرفته از سایت هواشناسی کشور ۱۳۸۹)

زمان (ماه)	متوسط درجه حرارت (درجه سانتی گراد)	میانگین بارندگی (میلی متر)
فروردین	۱۶/۰	۴۷/۵
اردیبهشت	۲۰/۹	۳۹/۶
خرداد	۲۵/۶	۲۷/۵
تیر	۲۷/۷	۱۸/۵
مرداد	۲۸/۰	۲۴/۳
شهریور	۲۴/۸	۴۳/۱
مهر	۱۹/۵	۵۴/۷
آبان	۱۳/۹	۶۷/۰
آذر	۹/۵	۵۳/۲
دی	۷/۸	۵۰/۳
بهمن	۸/۳	۵۰/۳
اسفند	۱۰/۶	۷۱/۷

شکل (۱-۳) و جدول (۱-۱) میانگین ۲۰ ساله دما و بارندگی سالیانه را نشان می‌دهد. در شهرستان کردکوی با توجه به شرایط آب و هوایی، بیشترین بارش در فصول پاییز و زمستان (به ویژه در ماه‌های مهر، آبان و اسفند) رخ می‌دهد. میانگین رطوبت سالیانه هوا ۷۲ درصد و میانگین بارش سالیانه در این منطقه از ۵۰۰ تا بیش از ۷۰۰ میلی‌متر تغییر می‌کند.

تابستان کردکوی گرم و مرطوب است و حداکثر درجه گرما بین ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتیگراد و حداقل درجه سرما بین ۰ تا ۵ درجه سانتیگراد بالای صفر می‌باشد. میانگین دمای ۲۰ ساله ۱۷/۷ درجه سانتیگراد، سردترین ماه سال دی ماه با میانگین دمای ۷/۸ درجه سانتیگراد و گرمترین ماه سال مرداد با میانگین دمای ۲۸ درجه سانتیگراد می‌باشد (سایت سازمان هواشناسی استان گلستان ۱۳۸۹).



شکل ۱-۳- نمودار میانگین ۲۰ ساله دما و بارندگی سالیانه منطقه کردکوی

جدول ۱-۲- طبقه بندی اقلیمی دمارتن

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

دمارتن جهت تعیین اقلیم فرمول زیر را ارائه داده است (علیزاده ۱۳۸۱):

$$I = \frac{P}{T+10} \quad \text{رابطه (۱-۱)}$$

که در آن P میانگین بارندگی سالیانه (میلی متر)، I ضریب خشکی و T متوسط دمای سالانه (درجه سانتی گراد) می‌باشد. بر اساس فرمول دمارتن ۶ نوع آب و هوا طبقه بندی شده‌اند (جدول ۱-۲). این

عدد برای کردکوی با بارندگی متوسط ۶۰۰ میلی متر ۲۱/۶ می باشد و منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه بندی دمارتن دارای آب و هوای مدیترانه‌ای می باشد.

### ۱-۵- ژئومورفولوژی منطقه

محدوده مورد مطالعه به لحاظ ژئومورفولوژی به سه واحد کاملاً مجزا تقسیم می شود.



شکل ۱-۴- نمای کلی از ژئومورفولوژی منطقه (دید به سمت جنوب)

یکی قسمت هموار یا دشت که بخش عمده از منطقه را در بر می گیرد و دوم تپه ماهورها که به صورت یک نوار در حد فاصل دشت و ارتفاعات واقع شده است و سوم قسمت کوهستانی و ارتفاعات که بخش جنوبی منطقه را شامل می شود. این تفاوت ریخت شناسی بخشهای شمالی و جنوبی را به طور عمده‌ای می توان به زمین ساخت ویژه منطقه نسبت داد به این معنی که بر اثر عملکرد گسل مازندران بخش شمالی گسل فرونشسته و در نتیجه بخش جنوبی در سرتاسر کرانه‌ی دریای خزر به صورت

ارتفاعات نمایان شده است. شکل (۱-۴) نمای کلی از ژئومورفولوژی منطقه را نشان می‌دهد. مشخصات این واحدها به صورت زیر می‌باشد:

### ۱-۵-۱- واحد زمین ریخت شناسی کوهستانی

بخش اعظم این واحد از رخساره‌هایی شامل ارتفاعات بلند (کوه‌ها و صخره‌ها) منطقه که پوشیده از جنگل است تشکیل گردیده است، به طوری که به صورت دیواری مرتفع مرز جنوبی استان گلستان را تشکیل داده است. واحدهای سنگی شیست سبز گرگان و سازندهای خوش بیلاق، مبارک، دورود، روته و لار این نوع ریخت شناسی را ایجاد کرده اند (شاه پسندزاده، ۱۳۸۲).

### ۱-۵-۲- واحد زمین ریخت شناسی تپه و ماهور

این اراضی به صورت یک نوار در حد فاصل دشت و ارتفاعات و در مجاور دامنه کوه‌ها واقع شده است. در این نواحی، دامنه‌ها اغلب با شیبی ملایم از رخنمون‌های لس، تپه‌های ماسه‌ای و تپه ماهورها تشکیل شده‌اند.

### ۱-۵-۳- واحد زمین ریخت شناسی دشت

این مناطق هموار و کم ارتفاع بوده که متشکل از آبرفتهای قدیمی و جوان می‌باشد و بخش وسیعی از منطقه را تشکیل داده است. مخروط افکنه‌ها، دشت‌های سیلابی و تپه‌های لسی متشکل از ذرات سیلت و رس بخش عمده این ریخت شناسی را تشکیل می‌دهند.

### ۱-۶- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین شناسی ساختمانی و زمین ساخت، در بخشی از زون گرگان-رشت و البرز شرقی واقع شده است. با توجه به این که قسمتی از منطقه مورد مطالعه در رشته کوه‌های البرز واقع شده است، مختصری درباره این رشته کوه‌ها ارائه می‌گردد:

رشته کوه البرز شرقی که قسمت شرق و شمال شرقی ایران را می‌پوشاند، در کمربند آلپ-همیالیا واقع شده است. امتداد این رشته کوه‌ها شمال شرقی- جنوب غربی می‌باشد. پهنای البرز شرقی از

غرب به شرق به تدریج کاهش می‌یابد. به طوریکه عرض رشته کوه‌های البرز از حدود ۱۵۰ کیلومتر در امتداد نصف النهار گرمسار، در فاصله بین دامغان و گرگان به حدود ۶۰ کیلومتر و در شرق شاهکوه به کمتر از ۳۰ کیلومتر تقلیل می‌یابد (شاه پسندزاده، ۱۳۷۱).

البرز شرقی برعکس واحد البرز میانی از چندین رشته به هم فشرده ساخته شده است، به علاوه نظم البرز میانی نیز در آن دیده نمی‌شود. در حد فاصل بین تاقدیس‌ها، دره‌های طولی امتداد یافته‌اند و عملکرد گسل‌های طولی بزرگ اختلاف ارتفاع را افزایش داده‌اند. از این رو دره‌های عمیق ساختمانی و دیواره‌های عظیم کوهستانی بین آن‌ها، چشم انداز غالب پیکرشناسی محسوب می‌شوند. بین شاهرود و دره خوش بیلاق دو رشته کوه مهم در واحد البرز شرقی تشخیص داده شده است. رشته جنوبی که نظم بیشتری دارد به شاهوار یا ابرکوه (۳۴۷۵ متر) معروف است و رشته شمالی، شاهکوه (۳۹۰۰ متر) نام دارد. شاهکوه آخرین قطعه رشته کوه البرز است و به صورت سد رفیع کوهستانی بین جلگه گرگان در شمال و شاهرود در جنوب برافراشته شده است. دنباله شاهکوه به طرف مشرق رفته رفته کوتاهتر و کم حجم‌تر می‌شود و سرانجام در شمال جاجرم به صورت تپه‌هایی در می‌آید. این تپه‌ها رابط بین رشته کوه البرز با کوه آلاداغ خراسان به حساب می‌آیند. از عوارض مهم در این فاصله گردنه خوش بیلاق است که جاده شاهرود به آزادشهر از آن می‌گذرد (آقاباتی، ۱۳۸۳).

### ۱-۶-۱- سنگ چینه شناسی منطقه مورد مطالعه

زمین شناسی محدوده مورد مطالعه را می‌توان به دو بخش زمین شناسی ارتفاعات و زمین شناسی دشت تقسیم نمود که ارتفاعات منطقه از نظر لیتولوژی تنوع بیشتری دارند و شامل سازندهای دورانهای مختلف زمین شناسی می‌باشند ولی دشت پوشیده از آبرفت می‌باشد. در زیر مختصری درباره چینه شناسی سازندهای منطقه از قدیم به جدید ارائه می‌شود:

### الف) شیست‌های سبز گرگان

قدیمی ترین سنگ‌های شناخته شده در منطقه، شیست‌های هستند که قسمت اعظم ارتفاعات مشرف به دشت را پوشش داده‌اند. در مناطقی که فرسایش رودخانه سبب محو لسه‌ها و آهک‌های ژوراسیک شده است و همچنین در حاشیه دشت شیست‌های گرگان دیده می‌شوند. سن این شیست‌ها را به پرکامبرین نسبت داده اند. از نظر لیتولوژی این مجموعه از تالک شیست تا کلریت شیست تغییر نموده و رگه‌ها از

کوارتزیت و متادیاباز نیز در آن یافت می‌شود. این شیستها کوههای کم ارتفاعی را تشکیل داده‌اند و شیب آنها عمدتاً به طرف شمال می‌باشد.

### ب) سازند لار

ژوراسیک بالایی با سنگ‌هایی که رخساره کاملاً کربناته دارند آغاز می‌شود و در زون گرگان - رشت با نام سنگ آهک لار شناخته می‌شود. این سازند در منطقه مورد مطالعه حدود ۶۰۰ متر ضخامت دارد. از نظر سنگ‌شناسی سازند لار متشکل از سنگ آهک و دولومیت قهوه‌ای است. این سازند در جنوب کردکوی از ۷۰ تا ۸۰ متر سنگ آهک‌های ماسه‌ای متوسط تا ضخیم‌لایه با سطح فرسایش حنایی تا نخودی‌رنگ و سنگ آهک‌های مارنی متوسط تا ضخیم‌لایه با سطح فرسایشی به رنگ خاکستری و سطح تازه صورتی تا آجری تشکیل شده است.

### ج) آبرفتها

از نهشته‌های دوران سنوزوئیک، تنها نهشته‌های کواترنر در منطقه وجود دارد. پادگانه‌های آبرفتی قدیمی و جدید کواترنری، مخروط افکنه‌ها و نهشته‌های دشته‌ها، نهشته‌های لسی و رسوبات در حال تشکیل در مسیر رودخانه‌ها نهشته‌های کواترنری گستره مورد مطالعاتی را تشکیل می‌دهند. بخش بسیار ناچیزی از محدوده مورد مطالعاتی در پادگانه آبرفتی قرار دارد. این پادگانه‌های آبرفتی عمدتاً از قلوه سنگ‌های درشت و ریز، شن، ماسه، سیلت و رس سخت شده‌ای تشکیل گردیده‌اند که معمولاً به وسیله افقی از خاک سطحی پوشیده شده‌اند. در کل می‌توان آبرفت‌های موجود در منطقه را به چهار گروه تقسیم کرد:

۱- مخروطه افکنه: رسوبات آبرفتی در قسمت‌های ورود به دشت به صورت مخروطه افکنه ظاهر می‌شود، این رسوبات شامل قلوه‌سنگ و شن با ضخامت‌های مختلف می‌باشد. این رسوبات در ابتدای دامنه ارتفاعات شمالی سلسله جبال البرز و در منطقه ورودی به دشت به وجود آمده‌اند. از ویژگی‌های این رسوبات، پنجه‌ای شکل و شیب نسبتاً زیاد آنهاست همچنین دانه‌بندی این رسوبات در رأس مخروطه افکنه درشت و دارای نفوذپذیری زیاد می‌باشد.

۲- آبرفت‌های میان دشتی: آبرفت‌های میان دشتی بعد از مخروطه افکنه و در ابتدای دشت قرار می‌گیرد

که دارای دانه‌بندی متوسط و غیر یکنواخت است. پتانسیل آبی این آبرفت به سبب نفوذپذیری و به ویژه تغذیه آبخوان از طریق مخروطه افکنه ارتفاعات مشرف به دشت و همچنین تغذیه مستقیم از طریق نزولات جوی بسیار خوب است.

۳- آبرفتهای پایان دشتی: آبرفتهای پایان دشتی مرحله نهایی رسوبگذاری است که بعد از آبرفتهای میان دشتی قرار می‌گیرد. این آبرفتها با توجه به شرایط رسوبگذاری دانه ریز بوده و دارای وسعت نسبتاً کم می‌باشد، به همین دلیل دارای پتانسیل آبی محدود است.

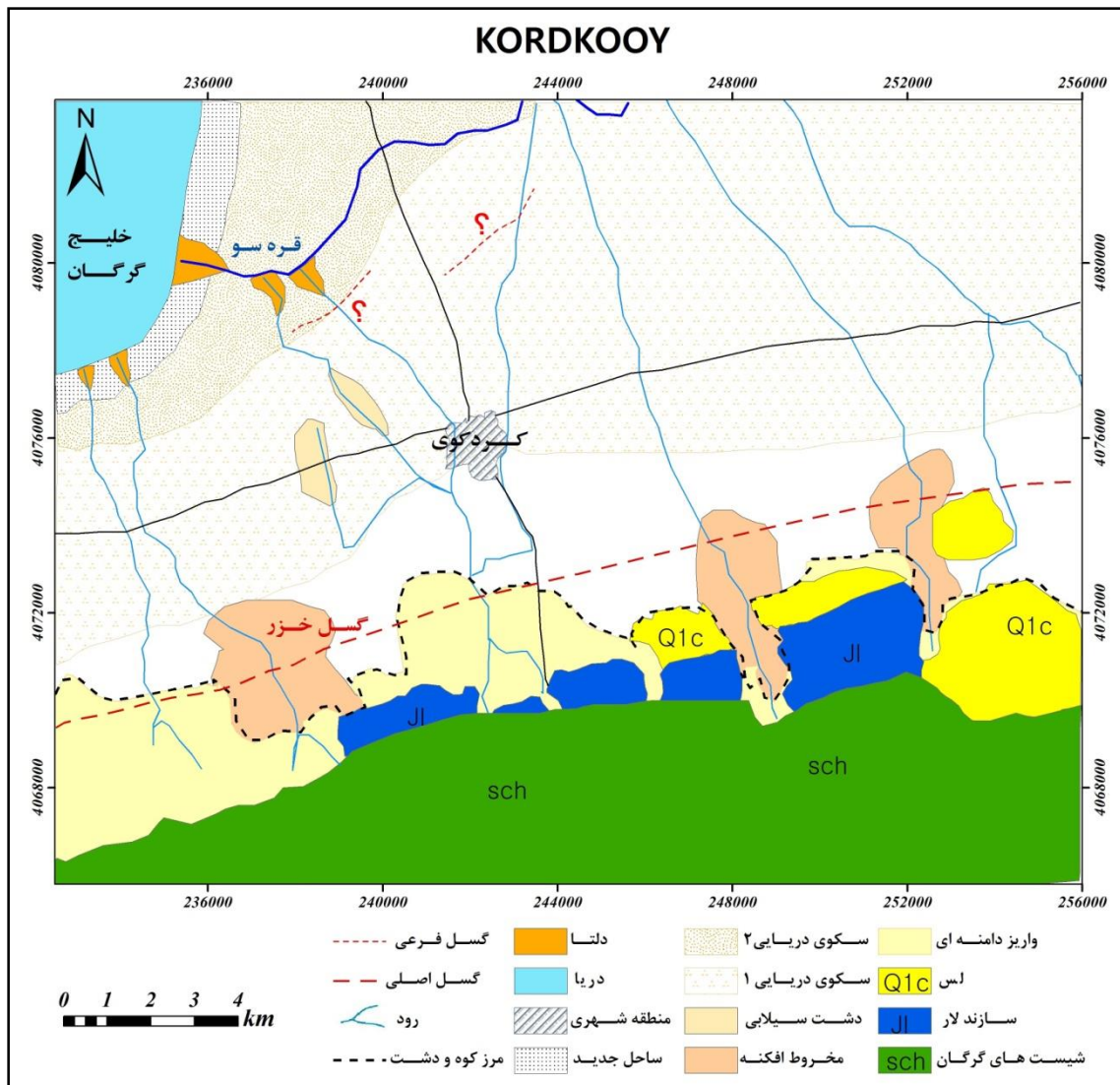
۴- رسوبات بادی و ماسه‌ای ساحلی: شامل ماسه‌های ساحلی و بادی که معمولاً از رسوبات سیلنتی و ماسه‌ای یکنواخت و کرانه‌های دریا تشکیل گردیده است. دارای منشأ آبرفتی و توسط رودخانه‌ها و زهکشهای ساحلی آورده شده که در اثر برخورد با امواج ساحلی به دانه‌های ریز ماسه‌ای تبدیل و گسترش یافته‌اند. ضخامت آنها در امتداد ساحل متغیر بوده و بستگی به مقدار پیشروی و پسروی آب دریا دارد و به صورت تپه ماهورهای ساحلی نمایان است.

رودخانه‌ها و آبراهه‌های متعددی در محدوده مورد بررسی وجود دارند که پس از پیوستن به یکدیگر رودخانه قره‌سو را تشکیل می‌دهند. توسط این رودخانه‌ها حجم زیادی از مواد فرسایشی حمل می‌گردند که به تناسب اندازه تا فواصل معینی به وسیله این آبریزها انتقال می‌یابند. قسمتهای شمالی محدوده مورد مطالعه از نهشته‌های سیلنتی و رسی پوشیده شده است که تبخیر زیاد از یک سو و بالا بودن سطح آب زیرزمینی از سوی دیگر منجر به ایجاد قشرهای نمک در بخش مذکور گردیده است.

### د) لسها

نهشته‌های بادرفتی (لسهای) جلگه گرگان در طول یکصد کیلومتر از کردکوی تا باختر آزادشهر و با عرض حدود ۶ کیلومتر گسترش دارد. رسوبات لسی یکی از گسترده‌ترین شکل رسوبات بادی هستند که معمولاً به رنگ زرد مایل به خاکستری بوده و ۷۰ تا ۹۰ درصد مواد تشکیل دهنده آنها را سیلت در بر می‌گیرد. عندلیبی (۱۳۷۱) با مطالعاتی که بر روی رسوبات لسی گرگان انجام داد سن آنها را پلیوسن- کواترنر تعیین کرد. وی منشأ لسهای شرق خزر را به واسطه وجود کوارتز، کلسیت، فلدسپات، دولومیت، میکا، رس و فقدان کانی سنگین رسوبی، احتمالاً دولومیت‌های ناخالص می‌داند.

در کوهپایه های منطقه مورد مطالعه، نهشته‌های پراکنده لس را می‌توان مشاهده نمود که ضخامت آنها از جنوب به شمال افزایش می‌یابد. شکل (۵-۱) نقشه زمین شناسی منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱- نقشه زمین شناسی منطقه (برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گرگان و بهشهر)

### ه) مخروط افکنه و پادگانه‌های آبرفتی جدید

این نهشته‌ها، اگر چه از نظر ویژگی‌های مورفولوژی با یکدیگر تفاوت‌هایی دارند ولی چون از نظر زمانی هم ارز و مربوط به کواترنر می‌باشند می‌توان آنها را مشترکاً مورد بررسی قرار داد. رودخانه‌هایی که آبریزهای شمالی جلگه گرگان را تشکیل می‌دهند در پای دامنه‌ها و دره‌ها، مخروط افکنه‌های متعددی را تشکیل داده‌اند که بزرگترین آنها مخروط افکنه‌ای است که به وسیله رودخانه زیارت تشکیل شده



که شهر گرگان بر روی این مخروط افکنه بنا شده است. مخروط افکنه‌ها و پادگانه‌های جوان بطور کلی از قله سنگ‌هایی در اندازه‌های مختلف، شن، ماسه، سیلت و رس را تشکیل شده‌اند که در اثر فرسایش ارتفاعات توسط رودخانه‌های آبریز منطقه حمل شده‌اند. این قله سنگها گردشگری خوب و جورشده‌گی متوسط تا ضعیفی را نشان می‌دهند. اندازه این رسوبات بر حسب فاصله از کوهپایه‌ها به طرف جلگه دانه ریزتر شده و تا حد رس می‌رسند. سطح دشت گرگان را لایه نازکی از سیلت و رس به ضخامت صفر تا ۵۰ متر تشکیل می‌دهد که بر روی لایه‌های متشکل از مارن‌های میوسن - پلیوسن متناوب با شن و ماسه قرار گرفته است. این لایه‌های شن و ماسه، سفره‌های آب زیرزمینی بخش جنوبی منطقه کردکوی را تشکیل می‌دهند.

### ۱-۷- زمین شناسی ساختمانی و زمین ساخت منطقه

منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات زمین ساختی در زون گرگان - رشت قرار می‌گیرد. مرز جنوبی این زون با گسل البرز مشخص می‌شود و مرز شرقی آن به واسطه نهشته‌های ضخیم بادرفتی (لس)، بصورت کاملاً تدریجی که گاهی اوقات تشخیص و تفکیک آن نیز مشکل است با زون هزارمسجد- کپه‌داغ می‌باشد (نبوی ۱۹۷۵ و بربریان ۱۹۸۴). این زون در طی دورانهای مختلف زمین شناسی تحت اثر کوهزایی و خشکی زایی قرار گرفته و در نهایت منجر به تشکیل ریخت شناسی کنونی رشته‌کوههای این زون شده است. قدیمی‌ترین سنگهای این زون، سنگهای دگرگونی با رخساره شیستی (شیست سبز گرگان) است که پی‌سنگ زمین‌های این زون را تشکیل می‌دهد. فاز کوهزایی کاتانگایی که در اینفراکامبرین عمل کرده، ضمن ایجاد دگرگونی در سنگهای پیشین (شیست‌های گرگان) موجب ایجاد برجستگی‌های کم ارتفاع و پشته مانند در نواحی شمال ایران شده و آثار آن در محدوده مورد مطالعه بخوبی نمایان است، به نحوی که واحدهای سنگی دونین بالایی (سازند خوش‌بیلاق) با مرز گسلی و یا با دگرشیبی زاویه‌دار بر روی شیست‌های گرگان قرار گرفته است و سازندهای مربوط به زمان‌های کامبرین، اردوئیسین و دونین زیرین تشکیل نشده است. شهبابی (۱۳۶۳) جنبشهای اخیر در منطقه شاهرود و گرگان را منطبق بر فاز کوهزایی تاکنون دانسته و آن را یکی از دلایل دگرگون شدن شیستهای گرگان می‌داند. ذیلاً نتایج عملکرد زمین ساخت منطقه به شرح زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

### ۱-۷-۱- چین‌ها و روندها

رشته کوه‌های منطقه مورد مطالعه که از نظر جغرافیایی بخشی از سلسله جبال البرز را تشکیل می‌دهند، رژیم تکتونیکی زون گرگان-رشت از نوع فشارشی و روند محوری چین‌های ناحیه، از گسل‌های راندگی یا معکوس با راستای شرقی- غربی تا کمی شمال شرقی- جنوب غربی تبعیت می‌کند. این روندها در بعضی نقاط به دلیل اثر گسل‌های محلی تغییر نموده و در جهات دیگری خودنمایی می‌کنند. نمونه‌ای از این روندها را در پیرگرده کوه می‌توان دید، که در این مکان نهشته‌های دوره دونین (سازند خوش بیلاق) کربونیفر (سازندهای مبارک و قشلاق) و پرمین (سازند درود) تشکیل ناودیسی را داده‌اند که محور آن دارای امتداد شمالی-جنوبی بوده و جهت زاویه به سمت جنوب است. چین‌های اصلی در منطقه را ناودیسهای جهان‌نما و تلمبار تشکیل می‌دهند که ذیلاً ویژگیهای آنها توضیح داده می‌شود.

### ۱-۷-۲- گسل‌ها و روراندها

همانطور که ذکر شد منطقه مورد مطالعه بخشی از زون گرگان-رشت می‌باشد که حد شمالی این زون گسل مازندران (خزر) و حد جنوبی آن گسل شمال البرز می‌باشد. در محدوده مورد بررسی گسل‌های متعددی وجود دارند که می‌توان آنها را به دو دسته اصلی و فرعی به شرح زیر تقسیم کرد.

### ۱-۷-۲-۱- گسل‌های اصلی

#### الف) گسل شمال البرز

این گسل به طول حدود ۴۰۰ کیلومتر و راستای انحنا دار با انحنای کلی به سمت جنوب می‌باشد. در مورد گسل شمال البرز این نکته قابل ذکر است که این گسل یکی از گسل‌های اصلی ساختار ایران زمین است و از شمال شرقی شاهرود تا آبیگ قابل ردیابی است. گسل شمال البرز یک ساختار عمده در منطقه بوده و از چندین پاره گسل تشکیل شده است. ساز و کار آن معکوس بوده و به واسطه عملکرد آن سنگ‌های متعلق به سازند شمشک (شامل شیل‌های سیاه) از جنوب بر روی سنگ‌های متعلق به میوسن، سنگ آهک‌های مارنی، مارن و مارن‌های سیلتی کرتاسه بالایی و ماسه سنگ و

مارن‌های پالئوژن - نئوژن در شمال رانده شده‌اند. شیب این گسل زیاد و به سمت جنوب است. جنبش این گسل به احتمال زیاد حداقل از پلیوسن شروع شده است (اشتوکلین، ۱۹۷۴).

### ب) گسل خزر

این گسل با راستای شمال شرق- جنوب غرب در حاشیه جنوبی دریای خزر واقع شده است که از گرگان شروع و تا لاهیجان ادامه دارد. در اثر عملکرد این گسل در ناحیه گرگان شیستهای گرگان، سازند شمشک و لار از فرورفتگی دریای خزر و دشت گرگان جدا شده‌اند. ساز و کار این گسل از نوع معکوس بوده و به واسطه عملکرد آن سنگ‌های متعلق به پلیوسن (شامل مارن و کنگلومرا به همراه افق‌های ماسه‌سنگ) از جنوب بر روی آبرفت‌های (تراس‌های رودخانه‌ای و مخروط افکنه‌های جوان) کواترنری در شمال رانده شده‌اند. به عقیده بربریان (۱۹۸۳) از اواخر نئوژن تا کنون (حدود ۲ میلیون سال اخیر)، رسوبات دو طرف گسل خزر نسبت به هم دست کم در حدود ۳۰۰۰ متر جابجا شده است. این گسل با شیب کلی به سمت جنوب در بخش شرقی دارای راستای شمال شرقی- جنوب غربی و در بخش غربی خود دارای راستای شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد.

### ۱-۷-۲-۲- گسل‌های فرعی

علاوه بر گسل‌های اصلی که نقش تعیین کننده را در زمین ساخت منطقه مورد مطالعه دارند تعدادی گسل فرعی دیگر نیز وجود دارند که برخی از آنها شاخه‌های فرعی گسل‌های اصلی هستند. اگرچه به اهمیت گسل‌های اصلی نمی‌باشند ولی مجموعه آنها همراه با گسل‌های اصلی سیستم شکستگیهای منطقه را تشکیل می‌دهند. روند عمومی این گسلها در حالت عادی کم و بیش در امتداد گسل‌های اصلی است ولی بسیاری از آنها نیز در جهات مختلف امتداد دارند که می‌توانند از عوامل گذر آب‌های سطحی به اعماق و تغذیه کننده مخازن آب‌های زیرزمینی باشند.

### ۱-۷-۳- درزها و شکافها

یکی از پدیده‌های تکتونیکی حاصل از حرکات کوهزایی، ایجاد درز و شکاف در سنگهای مقاوم می‌باشد که با توجه به سیستم‌های فشاری (Compressional) و کششی (Tensional) در آنها ایجاد می‌شود. تنوع لیتولوژیکی حاکم بر منطقه مورد مطالعه و وجود سازندهایی که دارای سنگهای مقاوم هستند و

اینکه این سازندها به دفعات تحت تاثیر حرکات تکتونیکی قرار گرفته‌اند، سیستم‌های درز و شکاف را در سنگهای منطقه به خصوص سازندهای کربناته (سازندهای خوش بیلاق، مبارک، لار و ...) توسعه فراوان داده‌اند. این درز و شکافها همراه با گسل‌ها و ناپیوستگیها از عوامل اصلی گذر آبهای سطحی به عمق و تغذیه کننده آبخوانهای زیرزمینی می‌باشند.

### ۸-۱- هیدرولوژی منطقه

منابع آب سطحی در شهرستان کردکوی شامل رودخانه‌هایی است که عموماً از دامنه کوههای البرز سرچشمه گرفته و پس از طی مسیر خود به خلیج گرگان می‌ریزند. طول این رودخانه‌ها زیاد نبوده و همه آنها دارای بستری با شیب تند و سنگلاخی است.



شکل ۱-۶- نمایی از رودخانه کردکوی

اصلی ترین رودخانه شهرستان، غازمحل (کردکوی) نام دارد این رودخانه در جنوب شهرستان کردکوی قرار گرفته و حداکثر ارتفاع حوضه آن ۲۶۲۶ متر از سطح دریای آزاد می‌باشد. رودخانه بنبند و تیله‌سری شاخه‌های اصلی تشکیل دهنده آن می‌باشند که به فاصله ۵ کیلومتری جنوب

کردکوی و در شمال پارک جنگلی این شهر، به یکدیگر می‌پیوندند. مجموع آبدهی رودخانه‌های محدوده مورد مطالعه در محل ورود به دشت در حدود  $32/4$  میلیون متر مکعب در سال است. متوسط آبدهی سالیانه رودخانه‌های کردکوی، باغو، میاندره و بالاجاده به ترتیب در حدود  $7/97$ ،  $6$ ،  $5$  و  $4/5$  میلیون متر مکعب می‌باشد (شرکت مهندسی مشاور خزرآب ۱۳۸۶). رودخانه کردکوی از غرب شهرستان کردکوی گذشته و پس از طی حدود  $7$  کیلومتر به قره‌سو می‌پیوندد.

## فصل دوم: تاریخچه مطالعات انجام شده

### ۲-۱- مقدمه

منابع آب زیرزمینی بهترین و در اکثر مناطق ایران تنها منبع تامین کننده آب شرب و کشاورزی باشند. با افزایش جمعیت و به تبع آن افزایش بهره‌برداری از این منابع و کم بودن تغذیه طبیعی نسبت به میزان برداشت، افت سطح ایستابی و کاهش کیفیت آب روز به روز بیشتر می‌شود. هدف از این فصل بررسی عوامل موثر بر تغییرات خواص هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوانهای آبرفتی و خصوصیات آبخوانهای ساحلی توسط محققین دیگر می‌باشد. این فصل شامل بررسی عوامل موثر بر کیفیت و کمیت آبخوان‌های آبرفتی و بررسی خواص آبخوان‌های ساحلی می‌باشد.

### ۲-۲- عوامل موثر بر کیفیت آب

منشاء اصلی آب های سطحی و زیرزمینی، نزولات جوی است. آب باران آبی است نسبتاً خالص، مواد محلول در آن را بین ۱۰ تا ۲۰ میلی گرم در لیتر برآورد می‌کنند. مقدار مواد محلول در آب با دوری و نزدیکی به دریا تغییر می‌کند به این ترتیب که در نزدیکی سواحل دریا مقدار مواد محلول بیشتر و در مناطق کوهستانی مقدار آن کمتر می‌باشد. کیفیت آب، حاصل شرایط طبیعی شیمیایی و فیزیکی آب و همچنین تغییراتی است که ممکن است در اثر فعالیت‌های بشری در آن ایجاد شود (Price, 2004). به طور کلی، کیفیت آب زیرزمینی به طور عمده توسط دو عامل طبیعی و انسانی تحت تأثیر قرار

می‌گیرد. (۱) فرایندهای طبیعی، به عنوان مثال سنگ شناسی، سرعت جریان آب زیرزمینی، کیفیت آب تغذیه شده، همکنش آب با سنگ و خاک، همکنش با انواع دیگر آبخوان‌ها و غیره؛ (۲) فعالیت های مربوط به دخالت انسان، از جمله کشاورزی، صنعت، توسعه شهری، افزایش بهره برداری از منابع آب (Chan, 2001).

کیفیت آبها به ویژه آبهای زیرزمینی نتیجه کلیه فرایندها و واکنشهایی است که از زمان تشکیل و تراکم آب در اتمسفر تا زمانی که توسط چاه، قنات یا چشمه از زیرزمین خارج می‌شوند، بر روی آن عمل کرده است. این فاصله زمانی ممکن است در حد روز یا چندین سال طول بکشد. کیفیت آب زیرزمینی می‌تواند نشانه منشأ و زمان تماس موادی که در زیرزمین در مسیر حرکت آبها بوده و حتی بیانگر دمای نواحی عمیق‌تر باشد (احمد پور ۱۳۸۴).

## ۲-۱- فرایندهای طبیعی تغییر کیفیت آب

عوامل طبیعی موثر بر کیفیت آب زیرزمینی عبارتند از: شرایط هیدروژئولوژیکی، شرایط زمین شناسی حاکم بر منطقه، تکامل هیدروشیمیایی آب در جهت حرکت آن از محل تغذیه به تخلیه، ساختارهای زمین شناسی، نوع رسوبات تشکیل دهنده سفره آب زیرزمینی، تبخیر از سطح ایستابی و در مواردی نیز تاثیر آبهای سطحی منطقه و شرایط اکسیداسیون و احیای حاکم بر سفره. هر کدام از موارد ذکر شده در بالا با یکدیگر بر کیفیت آب زیرزمینی موثر می‌باشند ولی در بعضی موارد به تنهایی به عنوان عامل اصلی تاثیرگذار بر کیفیت آب عمل می‌کنند (ولایتی، ۱۳۸۶).

فرایند تکامل شیمیایی آب یک عامل موثر در تغییر کیفیت آب از محل تغذیه به تخلیه می‌باشد که بر اساس این فرایند مقدار مواد محلول بر حسب زمان و عمق افزایش می‌یابد (چیت سازان، ۱۳۷۵). آب کاملاً شور آبی است که کل املاح محلول در آن (البته عمدتاً NaCl) معادل یا بیشتر از ۱۴۰۰۰ میلی گرم در لیتر باشد. همچنین اگر مقدار کلر از ۴۰ گرم در لیتر بیشتر شود بیانگر انحلال مستقیم نمک طعام در آب می‌باشد و ممکن است ناشی از حل نمک موجود در سازندهای زمین شناسی یا از کودهای شیمیایی و سایر مواد حاوی نمک بوده باشد (ولایتی ۱۳۸۵).

زمانی که آب زیرزمینی از درون سنگهای آذرین و دگرگونی عبور می‌کند، مقدار بسیار کمی مواد کانی

## فصل دوم: تاریخچه مطالعات انجام شده

به آب اضافه می‌شود زیرا این سنگها عموماً از کانیهای غیر قابل انحلال تشکیل شده‌اند ولی زمانی که آب از درون سنگهای رسوبی یا رسوبات ناپیوسته عبور می‌کند، به علت وجود مواد انحلال‌پذیر فراوان در این سنگها، کیفیت آب تغییر می‌کند. فراوان‌ترین کاتیونهای موجود در آب زیرزمینی، سدیم و کلسیم می‌باشد و فراوان‌ترین آنیونها، بیکربنات و سولفات می‌باشد. معمولاً میزان یون کلر در آب زیرزمینی کم است، ولی ممکن است در اثر نشت یا تماس با آبهای فسیل یا نفوذ آب دریا یا وجود لایه‌های تبخیری میزان این یون افزایش یابد. تقریباً تمام سختی آب ناشی از یونهای کلسیم و منیزیم محلول می‌باشد. استانداردهای آب آشامیدنی بر اساس دو معیار تعیین شده‌اند: اول وجود طعم‌ها، بوها و رنگ‌های نامطبوع در آب و دوم وجود موادی که تأثیرهای فیزیولوژیک زیان‌آور دارند (صداقت ، ۱۳۷۳). جدول ۱-۲ نشان دهندهٔ فراوانی نسبی مواد جامد محلول در آب می‌باشد.

جدول (۱-۲) فراوانی نسبی مواد جامد محلول در آب (Bowen 1980)

یونهای اصلی (1- 1000 mg/litre)	یونهای ثانویه (0.01-10 mg/litre)	عناصر فرعی (0.0001-0.1 mg/litre)	عناصر نادر ( < 0.001 mg/litre)
Na <sup>+</sup> Ca <sup>2+</sup> Mg <sup>2+</sup> Bicarbonate Sulphate Chloride Silica	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> Sr <sup>2+</sup> K <sup>+</sup> Carbonate Nitrate Fluoride Boron	Al <sup>3+</sup> Sb <sup>3+</sup> As <sup>3+</sup> Ba <sup>2+</sup> Bromide Cadmium Chromium Cobalt Copper Germanium Iodide Lead Lithium Manganese Molybdenum Nickel PHosphate Rubidium Selenium Titanium Uranium Vanadium Zinc	Be <sup>2+</sup> Bi <sup>3+</sup> Cerium Caesium Gallium Gold Indium Lanthanum Niobium Platinum Radium Ruthenium Scandium Silver Thallium Thorium Tin Tungsten Ytterbium Yttrium Zirconium



با مطالعه منشاء شوری آب زیرزمینی دشت آذر شهر در استان آذربایجان شرقی مشخص گردید که دلایل متفاوتی در بخشهای مختلف منجر به شوری آب زیرزمینی این منطقه می‌شود که انحلال نهشته‌های نمکی موجود در سفره، تبخیر آب زیرزمینی، برداشت بیش از حد از سفره آب زیرزمینی و نفوذ آب دریاچه ارومیه از جمله این عوامل می‌باشد (علی نژاد و علاف نجیب ۱۳۸۲). در تغییر طبیعی کیفیت آب زیرزمینی به طور عمده خصوصیات هیدروژئولوژیکی و نوع رسوبات آبخوان، سازندهای زمین شناسی و ساختارهای زمین شناسی مطرح می‌باشند.

### الف) نقش خصوصیات هیدروژئولوژیکی در کیفیت آب زیرزمینی

منظور از خصوصیات هیدروژئولوژیکی، خصوصیات آبخوان از قبیل جنس آبخوان، نوع آبخوان، ضرایب هیدرولیکی و عمق سطح ایستابی می‌باشد که این خصوصیات در سرعت جریان و کیفیت آب زیرزمینی تأثیر دارد (کلانتریان ۱۳۸۸). در مناطقی از دشت گرگان که سطح تراز آب زیرزمینی در عمق کمی واقع گردیده است، نوسانات تراز آب زیرزمینی در پاسخ به بارش نسبت به مناطق عمیق سریعتر واکنش نشان می‌دهد. میزان نفوذ عمقی تابع عمق تراز آب زیرزمینی می‌باشد، در مناطقی از حوضه که عمق تراز آب زیرزمینی زیاد می‌باشد میزان نفوذ عمقی بیشتر است (ناصری و سرور ۱۳۸۴). مطالعه و بررسی خصوصیات کیفی دشت زیدون توسط کلانتری و زارعی (۱۳۸۴) نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در جهت حرکت آب زیرزمینی تحت تکامل هیدروژئوشیمیایی قرار می‌گیرد و تیپ آب این سفره آبرفتی از کلروسدیوکلسیک به کلروسدیک تغییر می‌کند. شرایط هیدروژئولوژیکی حاکم بر سفره مهمترین عامل ایجاد این تغییرات می‌باشد. به طوریکه در سفره آزاد و آبرفتی موجود در مناطق جنوبی به دلیل کوتاه بودن زمان ماندگاری، غلظت یون کلر و سدیم کم است. ولی در سفره محبوس واقع در بخش مرکزی به دلیل وجود یک لایه محبوس کننده، حرکت آب کند بوده و تکامل هیدروژئوشیمیایی ضمن نفوذ عمقی آب باران رخ می‌دهد و در نتیجه غلظت سدیم و کلر در آب افزایش پیدا می‌کند. انحلال هالیت و تبادل یونی کانیهای رسی موجود در رسوبات نیز از جمله عوامل دیگری است که منجر به افزایش یون کلر در آب زیرزمینی این منطقه می‌شود. بررسی محمدی فتیده (۱۳۸۵) در دشت آبرفتی املش، رودسر و کلاچای نشان می‌دهد که وجود آبهای شور در اعماق کم مربوط به ورود آبهای نیمه شور دریای خزر نبوده و مربوط به آبهای شور فسیلی است. به همین دلیل

گاهی در چاههای حفر شده با عمق کم نیز به آبهای شور برخورد می‌شود که در مواردی به صورت آرتزین می‌باشد. با بررسی نوسانات سطح آب چاههای مشاهده‌ای معلوم شد که از زمان شروع فصل زراعت که با برداشت آب برای جبران کمبود آب آبیاری همراه است، سطح آب زیرزمینی شروع به افت می‌نماید و در تابستان، معمولاً در شهریور دارای حداکثر افت می‌باشد (دوره کم آبی)، سپس سطح آب به تدریج بالا آمده در اواخر اسفند و اوایل بهار افت آب به حداقل می‌رسد (دوره پر آبی)، افت آب متوسط به طور معمول در اوایل زمستان رخ می‌دهد.

### ب) نقش سازندهای زمین شناسی در کیفیت آب زیرزمینی

نوع و غلظت نمکهای موجود در آبهای زیرزمینی به محیط، حرکت و سرچشمه آن بستگی دارد. آب زیرزمینی ضمن عبور از خاک، موادی که از تجزیه خاک و سنگ حاصل می‌شود را با خود می‌برد و به این طریق به مقدار نمک خود می‌افزاید. به علت نامحلول بودن نسبی عناصر تشکیل دهنده سنگهای آذرین، آب زیرزمینی که از این گونه سنگها عبور میکند، تنها مقدار کمی از مواد معدنی را در خود حل می‌کند. انحلال سنگهای رسوبی بیشتر از سنگهای آذرین است این خاصیت، به همراه فراوانی سنگهای رسوبی در پوسته زمین، موجب شده است که قسمت اعظم مواد محلول آبهای زیرزمینی از سنگهای رسوبی حاصل شود. کاتیونهای سدیم و کلسیم و آنیونهای بیکربنات و سولفات نسبت به بقیه کاتیونها و آنیونها در آبهای زیرزمینی بیشتر هستند. در مناطقی که سنگ آهک وجود دارد، معمولاً یونهای کلسیم و کربنات در اثر حل شدن سنگ آهک دولومیت به آب زیرزمینی اضافه می‌شوند (ولایتی ۱۳۸۵).

با مطالعه منشأ شوری آب زیرزمینی دشت آبدان در استان بوشهر مشخص گردید که این دشت به وسیله آبراهه‌ها و دره‌های عمیق ارتفاعات شمال و شمال شرقی تاقدیس نمک تغذیه می‌شود و در شمال شهر آبدان در محل تراکم چاهها، اختلاط دو آب با کیفیت متفاوت وجود دارد. دو تیپ عمده آب زیرزمینی در دشت آبدان، سولفات- کلسیک و کلروره- سدیک می‌باشد که دلایل آن به ترتیب، وجود انحلال ژپس و تبخیر از سطح آب زیرزمینی می‌باشد (شریف زاده و همکاران ۱۳۸۷). با استفاده از نسبت  $Na/Cl$  بر حسب میلی اکی والان بر لیتر می‌توان منشأ آزاد کننده یونهای سدیم و کلر را تعیین کرد. اگر این نسبت بیشتر از یک باشد، سدیم احتمالاً از هوازگی سیلیکاتها منشأ گرفته

است و اگر این نسبت برابر یک باشد، انحلال هالیت منبع اصلی تأمین سدیم و کلر می‌باشد. این روش معمولاً برای داده‌هایی با  $pH > 5$  استفاده می‌شود، چرا که  $pH$  کمتر از ۵ باعث متلاشی شدن کانیهای رسی شده و بر مقادیر یونها تاثیر می‌گذارد (Meyback, 1987).

مطالعه و بررسی خصوصیات هیدروشیمیایی دشت مرند توسط خالقی و همکاران (۱۳۸۸) نشان داد که در بین کاتیونها، یونهای قلیایی خاکی  $Mg^{2+}$  و  $Ca^{2+}$  غلبه دارد و در میان آنیونها نیز کلراید بیشتر است. همچنین مقادیر بالای عناصر قلیایی در بخشهای غربی دشت مرند به وجود رسوبات تبخیری میوسن نسبت داده می‌شود و آب زیرزمینی در این دشت ماهیت شیرین تا لب شور و خنثی تا قلیایی دارد. مطالعه و بررسی منشاء شوری آب زیرزمینی دشت فیض آباد در استان خراسان رضوی توسط جودی و همکاران (۱۳۸۷) نشان داد که تیپ غالب نمونه‌های محدوده مورد مطالعه کلروره- سدیک می‌باشد و عوامل شوری در اکثر نمونه‌ها مشابهت دارد. منشاء شوری آب دشت در نتیجه انحلال کانی‌های تبخیری مانند هالیت و ژیپس موجود در سنگ بستر با لیتولوژی مارن‌های نئوژن می‌باشد و وجود کوپر نمک به عنوان یک کفه نمکی در جنوب غربی منطقه منبع دیگر فراهم کننده هالیت و دیگر نمکها می‌باشد. فرایندهای تبادل کاتیونی در تغییر مقادیر بعضی یونها (مخصوصاً سدیم) تأثیرگذار است. بهره‌برداری بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی منطقه، باعث ادامه روند توسعه شوری و افت سطح ایستابی شده است. با زیاد شدن عمق، رسوبات دانه ریزتر می‌شوند و با توجه به لیتولوژی سنگ بستر (مارن و کانیهای تبخیری) می‌توان نتیجه گرفت آبهای عمیق‌تر باید دارای  $EC$  و  $TDS$  بیشتری باشند.

با مطالعه کیفیت آب زیرزمینی دشت قوچان مشخص شد که عواملی از قبیل سازندها و گسلهای موجود در منطقه، بر روی کیفیت آب زیرزمینی دشت قوچان موثر می‌باشند. در دشت قوچان مارنهای موجود در سازند شوریجه باعث افت کیفیت آب زیرزمینی شده است در حالی که در مناطقی از همین سازند که توسط گسلها تغذیه صورت گرفته است غلظت کلر در آب کم شده است. بنابراین در این دشت ساختارهای تکتونیکی در منطقه باعث بهبود کیفی منابع آب و در مقابل سازندهای زمین شناسی عامل اصلی تخریب کیفیت آب زیرزمینی می‌باشند (بهزادی‌فر و همکاران ۱۳۸۳).

ج) نقش رسوبات در کیفیت آب زیرزمینی

کیفیت آب زیرزمینی در آبرفت‌های مختلف به شدت متغیر است. دلیل این مطلب از این قرار است که رسوبات تشکیل دهنده سفره آب زیرزمینی از نظر جنس و انحلال پذیری با یکدیگر کاملاً متفاوتند. ممکن است بخش بالایی سفره آب زیرزمینی، که غیر اشباع است، تفاوت سنگ شناسی زیادی با سفره داشته باشد. برای مثال آب زیرزمینی در رسوبات غیر آهکی وقتی که توسط خاک حاوی گراول‌های آهکی پوشیده شده باشد دارای سختی نسبتاً بالایی خواهد بود (Bogli, 1976). ماتس (Matthess, 1973) اعتقاد دارد که کیفیت آب زیرزمینی در رسوبات ماسه بستگی به مواد تشکیل دهنده آنها دارد. مواد خالص بدون سیمان طبیعی قابل حل، ایجاد آب زیرزمینی با مواد محلول بسیار کم می‌نمایند. pH این آب‌ها به دلیل عدم وجود مواد بازی و حضور فشار جزئی گاز دی اکسید کربن در هوای موجود در سازند، بین ۵ تا ۶ قرار می‌گیرد. مقدار کم مواد محلول در آب زیرزمینی به ویژه سدیم، کلر و سولفات که مقدارشان می‌تواند از میزان کربنات کلسیم و منیزیم نیز کمتر باشد عمدتاً از نزولات جوی وارد آبخوان می‌شود.

جریان‌های سطحی چون با سرعت نسبتاً زیادی از روی سازندهای زمین شناسی عبور می‌کنند فرصت کمتری می‌یابند تا کانی‌های با قابلیت انحلال را حل نموده و با خود حمل کنند ولی نفوذ آب در زمین و حرکت کند آن به ویژه از میان خلل و فرج رسوبات آبرفتی و نیز عبور از میان درزه و شکاف و پدیده‌های کارستی به آب فرصت می‌دهد که مواد بیشتری را در خود حل کند. آب هر قدر از محل تغذیه دور شده و به محل تخلیه نزدیک‌تر می‌شود به مقدار املاح آن افزوده می‌گردد. در زهکش دشت‌ها، این قبیل آب شور را می‌توان در خروجی دشت مشاهده کرد (ولایتی ۱۳۸۵).

چون در رسوبات آبرفتی نفوذپذیری از نوع بین دانه‌ای است، معمولاً آب‌های زیرزمینی با این رسوبات به طور واضحی به حد تعادل می‌رسند و آبخوان زیرزمینی را تشکیل می‌دهند. همچنین به دلیل سرعت کم آب و بر اساس روند تکامل کیفیت از نظر غلظت عناصر محلول، در طول مسیر حرکت آب از محل تغذیه به محل تخلیه میزان املاح موجود در آنها به تدریج افزایش می‌یابد (عصاری و همکاران ۱۳۸۶). بررسی تغییرات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی سفره آزاد هرמידال (Hermidale) در کشور آمریکا نشان داد که به دلیل دانه ریز بودن تشکیلات سفره که از جنس سیلت فیلیتی با بین لایه‌هایی از

ماسه فیلیتی می‌باشد، نرخ جریان آب زیرزمینی کند شده و در نتیجه میزان هدایت الکتریکی در جهت حرکت آب افزایش پیدا کرده است. افزایش هدایت الکتریکی در این منطقه یا در نتیجه مخلوط شدن آب شیرین زیرزمینی با آب شور است و یا در نتیجه فرایند تبخیر آب در مناطقی که عمق برخورد به آب زیرزمینی کم می‌باشد. در بعضی از مناطق نیز هدایت الکتریکی از روند عمومی پیروی نکرده و کم می‌شود که این رفتار بیانگر مخلوط شدن آب زیرزمینی با آب شیرین سطحی در نتیجه تغذیه در آن منطقه می‌باشد. از نظر هیدروژئوشیمی آنیون غالب موجود در آب منطقه کلر و کاتیون غالب نیز سدیم و پتاسیم می‌باشد (Khider and Mc Phail 2005).

شورچ و وواتاز (Schurch and Vuataz 2000) برای تعیین ناهمگنی در سفره‌های آبرفتی از لاگ هیدرووشیمیایی چند پارامتری، شامل پارامترهای (هدایت هیدرولیکی، دما، اکسیژن محلول، کدورت، pH و Eh) توسط دستگاه آنالیز کیفی آب به نام (TURUT\_ 611) استفاده کردند. آنها اظهار کردند که ترکیب اطلاعات زمین شناسی و لاگ‌های هیدرووشیمیایی چند پارامتری، کمک زیادی در شناسایی ناهمگنی‌های طبیعی در سفره‌های آبرفتی می‌نماید.

میزان تخلخل سنگ‌های رسی، مارنی و سیلتی در اثر فشار مکانیکی که به عمق قرار گرفتن آنها در زیر لایه‌های پوششی بستگی دارد، به نحو چشمگیری کاهش می‌یابد. حرکت آب در این سنگ‌ها به دلیل تخلخل مفید کم به کندی صورت می‌گیرد. در نتیجه آب به مدت طولانی در میان سنگ باقی می‌ماند و املاح آن افزایش می‌یابد. به همین دلیل آب زیرزمینی در این مناطق دارای املاح فراوان بوده و گاهی املاح محلول آنها از چند گرم در لیتر نیز تجاوز می‌کند (ولایتی ۱۳۸۶). کلانتریان (۱۳۸۶) با بررسی خصوصیات هیدرووشیمیایی سفره آب زیرزمینی تنکابن به این نتیجه رسید که روند عمومی افزایش هدایت الکتریکی در جهت جریان آب زیرزمینی می‌باشد. ولی در بعضی از نقاط روند فوق الذکر وجود ندارد به این ترتیب که در بعضی از قسمت‌ها به طور ناگهانی مقدار هدایت الکتریکی افزایش پیدا کرده است و دلیل عمده آن وجود مارنهای لجنی است که به صورت موردی در دشت یافت می‌شوند.

(د) نقش ساختارهای زمین شناسی در کیفیت آب زیرزمینی

در اثر فعالیت گسل خزر، سازندهای زمین شناسی قدیمی در مجاورت رسوبات آبرفتی عهد حاضر قرار گرفته است. همبندی سازندهای قدیمی با رسوبات آبرفتی، موجب اختلاط آبهای فسیلی با کیفیت نامطلوب با آب آبخوانهای آبرفتی شده است. منابع آبی با کیفیت مناسبتر از لحاظ پارامترهای فیزیکی و شیمیایی اعم از EC، TDS، pH و برخی از کاتیونها و آنیونهای اصلی، در امتداد جنوبی گسل خزر قرار گرفته‌اند. در بخش شمالی گسل خزر، در محدوده زون گسل افزایش قابل توجه در میزان EC و TDS رخ داده است که پس از طی مسافتی عمود بر امتداد گسل خزر در جهت شمال مجدداً از میزان مقادیر یاد شده کاسته می شود (ناصری و سرور، ۱۳۸۴). در مطالعه کیفیت آب زیرزمینی دشت ابرکوه یزد، مشخص گردید که ساختارهای زمین شناسی مانند گسلها که در شکل گیری رسوبات تراورتنی در این دشت موثر می‌باشند به صورت غیر مستقیم بر کیفیت آب زیرزمینی تاثیر می‌گذارند (روزبه و همکاران ۱۳۸۵).

پورکرمانی و همکاران (۱۳۸۷) با مطالعه و بررسی تأثیر ساختاری گنبد نمکی قلعه گچی بر شوری آب های زیرزمینی دشت داریون به این نتیجه رسیدند که نقش گسل بمو در پیشروی شوری آبهای زیرزمینی چشمگیر می‌باشد. این گسل با امتداد خاوری - باختری از قسمت شمالی دشت داریون عبور می‌کند و محل برخورد آن با گسل‌های ایزدخواست و مهرویان باعث بالا آمدن گنبد نمکی ایزدخواست شده است. قسمت شمال شهر داریون نسبت به قسمت جنوبی دشت دارای آب زیرزمینی با میزان املاح بیشتری است. میزان هدایت الکتریکی در این قسمت نیز بیشتر می باشد. این منطقه با محل گذر گسل بمو همخوانی دارد و این تغییرات تحت تأثیر این گسل پدید آمده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در خط گسلی پیشروی آبهای شور بیشتر از قسمت های دیگر منطقه می‌باشد. مطالعه و بررسی کیفیت آب زیرزمینی در گرگان توسط رقیمی و همکاران (۱۳۸۵) نشان داد که وجود گسل خزر در شمال گرگان باعث ایجاد تغییرات شدیدی در غلظت یونها و نمایه‌های اشباع آب زیرزمینی این منطقه شده است.

دهقانی (۱۳۸۸) با مطالعه وضعیت آبهای زیرزمینی دشت آبرفتی تهران و عملکرد عوامل ساختاری به این نتیجه رسید که گسلها از نظر آبدار بودن بسیار متنوع هستند، برخی گسلها سدهایی در برابر

حرکت آبهای زیرزمینی هستند در حالی که گروهی دیگر گذرگاههای مناسبی برای انتقال آب زیرزمینی می‌باشند. عملکرد گسلها بستگی به ماهیت مواد زون گسلش دارد. گسلهای موجود در شن و ماسه‌های تحکیم نیافته بنا به دلایل زیر تشکیل سدهایی را می‌دهند:

۱- گوژرسی که شامل موادی با نفوذپذیری بسیار کم است که در طول گسل به وجود می‌آید. این مواد حاصل خردشدگی شدید قطعات سنگی و تبدیل آنها به پودر در اثر حرکت در طول گسلها هستند که میزان گسترش و توسعه آنها بستگی به مقدار جابجایی در طول گسل دارد.

۲- حرکت طولی گسل آبخوانها را جابجا می‌کند به طوری که لایه‌های شن و ماسه در یک سوی گسل ممکن است در مقابل لایه‌های رس و ماری در سوی دیگر قرار بگیرد که حرکت آب را در سراسر گسل به طور وسیعی کاهش می‌دهد. در برخی از مکانها در آبرفتها گسلها در عمق نفوذناپذیر و در سطح نفوذپذیر هستند. در چنین مکانهایی گسلها به مثابه سدهای زیرزمینی عمل می‌کنند، یعنی آب را تا ارتفاع معینی پشت خود نگه می‌دارند و وقتی سطح آب از حد معینی گذشت از بخش فوقانی سرریز می‌شوند.

محمدی‌زاده (۱۳۸۵) موفق به مشخص کردن مسیر گسل در محدوده شهر سیرجان با استفاده از جریان آبهای زیر زمینی شد. او پس از ترسیم منحنی میزان برای سطح آب چاهها در محدوده شهر مشاهده کرد که در منطقه شمال شهر سیرجان در مسیر جاده سیرجان- شهر بابک خطوط منحنی میزان سطح آب به شدت به هم نزدیک شده‌اند و با استفاده از خصوصیات منحنی میزان به این نتیجه رسید که در این منطقه یک اختلاف ارتفاع در مسیر حرکت آبهای زیرزمینی در لایه‌های زیرین زمین وجود دارد که دلیل آن عملکرد یک گسل می‌باشد. ملایی و همکاران (۱۳۸۰) با مطالعه و بررسی نقش گسل قطر- کازرون در هیدروژئولوژی آبخوان برازجان به این نتیجه رسیدند که هیدروگراف واحد دشت برازجان علی‌رغم برداشتهای بی رویه و کاهش بارندگی مخصوصاً در سالهای اخیر، نه تنها افت قابل ملاحظه‌ای از خود نشان نداده، بلکه در بعضی نقاط بالا آمدن سطح آب زیرزمینی را به همراه داشته است. شرق این آبخوان توسط گسل قطر- کازرون از ارتفاعات زاگرس تفکیک شده است. وجود آنومالی در نقشه تراز آب زیرزمینی دشت، بیانگر بهم ریختگی آبخوان در قسمت شرقی می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه دمای آب چاههای موجود در قسمت شرقی دشت

بیشتر از دمای چاههای دیگر است، عامل اصلی تغذیه این آبخوان در قسمت شرقی گسل قطر - کازرون تشخیص داده شد.

### ۲-۲-۲- عوامل غیرطبیعی موثر بر کیفیت آب

مشکلات کیفی آب زیرزمینی در مناطقی با تراکم جمعیتی بالا که توسعه شهرنشینی و صنعتی نیز دارند، حادثتر است. کیفیت آب زیرزمینی نتیجه عملکرد فرایندها و واکنشهای متنوعی است و در این میان بررسیهای ژئوشیمیایی درک بهتری از تغییرات احتمالی کیفیت آب زیرزمینی فراهم کنند. به همین دلیل استفاده از این روشها رو به گسترش است. علاوه بر عوامل طبیعی، عوامل غیرطبیعی دیگری از قبیل برداشت بی رویه، ورود فاضلابها، آبهای ناشی از آبیاری زمینهای کشاورزی، گورستانها و غیره می تواند بر روی کیفیت آبهای زیرزمینی تأثیر داشته باشند (خالقی و همکاران، ۱۳۸۷).

### الف) برداشت بی رویه

ترابی (۱۳۷۸) در بررسی شور شدن آبهای زیرزمینی شمال دشت کاشان نشان داده که متوسط سطح ایستابی در طی سالهای ۱۳۴۴ تا ۱۳۷۶، حدود ۱۶ متر افت داشته و علاوه بر آن هدایت الکتریکی متوسط منطقه در همین مدت از ۴۳۵۰ میکروموس بر سانتیمتر به ۶۹۳۰ میکروموس بر سانتیمتر بالغ گردیده است، در ادامه وی برداشت بیش از حد مجاز را علت عمده این موضوع دانسته است. ولایتی (۱۳۸۶) در یک بررسی تحت عنوان تأثیر برداشت آب از چاهها در شور شدن آبخوان دشت جنگل (تربت حیدریه) نشان داد افزایش هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در حواشی روستای جنت آباد از ۵۰۰ میکروموس بر سانتیمتر در سال ۱۳۶۶ به ۶۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر در سال ۱۳۷۵، ناشی از اضافه برداشت از آبخوان بوده است.

مطالعه و بررسی تأثیر آب شور دریاچه ارومیه بر روی کیفیت آب زیرزمینی دشت ملکان توسط جعفرزاده و همکاران (۱۳۸۶) نشان داد که بهره برداری بیش از حد مجاز از سفره آب زیرزمینی باعث افت و نزول کیفیت آب زیرزمینی در مناطق ساحلی و همجوار با آب شور دریاچه ارومیه نظیر دشت ملکان شده و این مسئله باعث هجوم آب شور به سمت سفره آب زیرزمینی شده و شوری آب شیرین



سفره در مناطق ساحلی را به دنبال داشته است و نسبت آنیونهای نمونه‌های برداشت شده در مناطق ساحلی همخوانی خوبی با آب دریاچه ارومیه دارد. طی مطالعاتی که کامرا و همکاران (Kamra et al. 2000) در بلوک گوهانا واقع در استان هاویانا هند انجام داد، در این ناحیه لایه‌های آب شیرین بر روی زون‌های آب شور قرار گرفته‌اند و پمپاژ بیش از حد آب زیرزمینی باعث ورود آب شور به لایه‌های آب شیرین می‌شود و کیفیت آب را تخریب می‌کند. بنابراین باید روشهای پمپاژ به صورت کنترل شده انجام شود.

### ب) پیشروی آب شور دریا

اکثریت آب‌های زیرزمینی عمیق، از نظر کیفیتی در اساس با یکدیگر مشابه‌اند و بدون تفاوت زیاد در محل‌های مختلف زمین ظاهر می‌شوند. با این وجود مقدار سدیم و کلر آنها همواره بین همه آنیون‌ها و کاتیون‌های دیگر استیلا دارد. در این قبیل آبها غلظت  $\text{Ca}^{2+}$  و  $\text{Mg}^{2+}$  نیز زیاد بوده ولی غلظت  $\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{CO}_3^{2-}$  و  $\text{HCO}_3^-$  کاهش نشان می‌دهند. تیپ اینگونه آب‌ها از نوع کلروره سدیک یا کلسیک می‌باشد. تفاوت آب، وقتی آب‌های تعویض شدنی بی‌کربنات سدیم در یک منطقه ظاهر می‌شود اهمیت می‌یابد. تشکیل چنین نوعی از آب اغلب حاصل فعل و انفعال تعویض یونی بین آب زیرزمینی نرمال از نوع  $\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_4$  است که با آب داری  $\text{Na}^+$  زیاد یا به عبارت دیگر آب شور، قابل تعویض یونی است. اگر در استخراج آب زیرزمینی به آب نوع کربنات کلسیم برخورد کنیم در آن صورت این خطر وجود خواهد داشت که در اثر استخراج مداوم آب شیرین، جبهه آب شور پیشروی نماید (Richter and Lillish, 1975). عمل تعویض یونی معکوس نیازمند وجود یک کانی رسی با قابلیت تعویض یونی کلسیم (معمولاً مونتموریلونیت) و محلول آبی با مقدار زیادی سدیم است. تاثیر تعویض یونی معکوس معمولاً در زمان نفوذ آب شور دریا یا در اثر آلودگی حاصل از نفوذ شورابه‌های نفتی مشاهده می‌شود. اگر منیزیم نسبت به کلر در کانی رسی بیشتر نگه داشته شود در این صورت ممکن است آب با تیپ کلرید کلسیم تولید شود، بنابراین تیپ آب  $\text{CaCl}_2$  ممکن است جهت شناخت مناطق آلوده به شورابها مورد استفاده قرار گیرد. آبهای زیرزمینی که کلر قابل توجهی دارند اگر سدیم بالایی نیز داشته باشند دلالت بر منشاء دریایی آنها خواهد بود، اما اگر میزان کلر از سدیم تجاوز کند پدیده تبادل یونی صورت گرفته است (کردوانی ۱۳۷۱). قادر و زارع (۱۳۸۷) برای منشاء کلر در آبهای

زیرزمینی، چهار مورد مختلف ارائه کرده‌اند. اول این که کلر موجود در آب دریاهاى قدیمی که مابین لایه‌های رسوبی به دام افتاده‌اند و به نام آب‌های فسیل خوانده می‌شوند. دوم این که کلر حاصل از انحلال کانی نمک و سایر کانیهای تبخیری کلردار منشاء کلر آبهای زیرزمینی است. سومین منشاء کلر موجود در آبهای زیرزمینی به نزولات جوی مربوط می‌شود. آخرین منشاء کلر موجود در آبهای زیرزمینی مربوط به انحلال مواد جامد ناشی از فعل و انفعالات گازهای موجود در جو، خصوصاً در نواحی خشک می‌باشد. کلر از یونهای شاخص غیر واکنشی است یعنی تحت تأثیر تبادل یونی، جذب یونی و تبادلات بیولوژیک و فعالیتهای رادیواکتیو قرار نمی‌گیرد. با توجه به این ویژگیها و همچنین حلالیت بالای نمکهای این یون در آب، جدا شدن این یون از آب مشکل است و تنها راه آن یخبندان یا تبخیر بسیار زیاد آب می‌باشد.

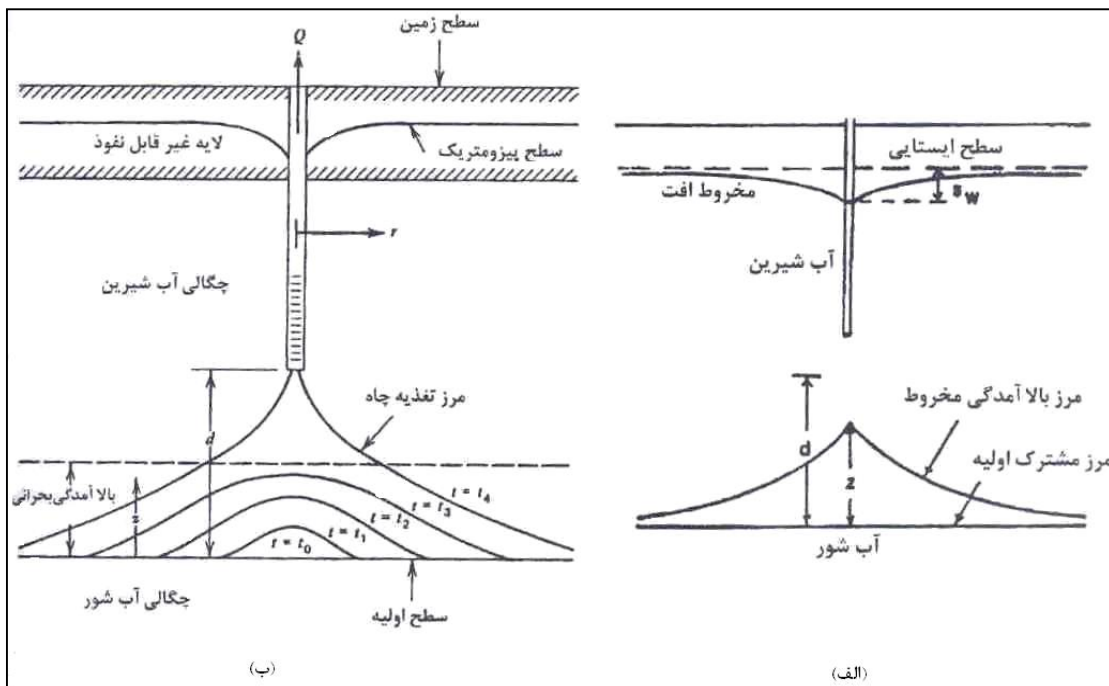
کارانت (Karanth, 2001) در تحقیقاتش در سواحل آمریکا اظهار نموده است که وقتی آب شیرین از آبخوان‌های ساحلی توسط چاه پمپاژ می‌شود مرز مشترک آب شیرین و شور ممکن است به صورت یک مخروط به طرف بالا صعود نماید که آن را "پدیده بالا آمدگی مخروطی شکل آب شور" می‌نامند (شکل ۱-۲) و رابطه علمی آن به صورت زیر است.

$$Z = \frac{\rho_f Q}{2\pi D (\rho_s - \rho_f) K_f} \quad \text{رابطه (۱-۲)}$$

که در رابطه فوق،  $Z$  بالا آمدگی جبهه آب شور،  $\rho_f$  چگالی آب شیرین،  $\rho_s$  چگالی آب شور،  $Q$  دبی پمپاژ،  $K_f$  هدایت هیدرولیکی سفره و  $D$  فاصله کف چاه تا مرز اولیه آب شیرین و شور می‌باشد. بالا آمدگی مخروط و ورود آب شور در چاه هنگامی اتفاق می‌افتد که مرز اولیه آب شور و شیرین ( $Z$ ) تا نصف فاصله بین کف چاه و مرز اولیه آب شور و شیرین بالا آید. در چنین شرایطی وضعیت بحرانی شده و آب شور می‌تواند وارد چاه شود.

یکی از شاخص‌های مهم در زمینه پیشروی جبهه آب شور به طرف جبهه آب شیرین تغییرات مقدار  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  در آب چاه‌ها است. به محض مشاهده افزایش مقدار این نمک باید دانست که جبهه آب شور در حال پیشروی است و باید تدابیر لازم اتخاذ شود. یکی از عملی‌ترین و بهترین روشهای جلوگیری، کاهش دبی چاه خواهد بود. در آبخوانهای ساحلی در محل تخلیه آب زیرزمینی به دریا به

علت تفاوت در چگالی آب دریا و آب شیرین، یک فصل مشترک و یا ناحیه انتقالی بین دو سیال در آبخوان بوجود می‌آید. به علت دانسیته بیشتر آب دریا معمولاً آب دریا به صورت گوه وارد آبخوان می‌گردد. تغییرات سطح آب دریا همواره یکی از عوامل موثر بر پیشروی آب شور در آبخوانهای ساحلی می‌باشد (صداقت ۱۳۸۶).



شکل ۲-۱ - بالا آمدگی آب شور به طرف چاه بهره‌برداری. (الف) سفره آزاد، (ب) سفره محبوس

با مطالعه هیدروشیمی منابع آب زیرزمینی سروستان در جنوب شرقی دریاچه مهارلو توسط جهانشاهی و همکاران (۱۳۸۶) مشخص شد که با توجه به نحوه افزایش هدایت الکتریکی و یون  $Cl^-$  آبهای زیرزمینی از سمت دشت به سمت دریاچه و غالب بودن تیپ کلروره در منطقه مورد مطالعه تاثیر آب شور دریاچه بر کیفیت آب زیرزمینی سفره حاشیه آن به صورت پدیده نفوذ آب شور دریاچه به علت وجود شیب هیدرولیکی، کاملاً مشهود است. البته بجز این دو پدیده بعلت اینکه سطح آب زیرزمینی به سطح زمین نزدیک است (مخصوصاً نواحی حاشیه دریاچه) تبخیر عامل مضاعفی در افزایش غلظت یونها شده است. از آنجایی که در این ناحیه دو منبع آب، یکی با شوری بالا و دیگری

آب کارستی با کیفیت خوب (چشمه کارستی با هدایت الکتریکی ۵۵۰ میکروموس بر سانتیمتر) وجود دارد آب زیرزمینی منطقه حاصل اختلاط این دو منبع آب می‌باشد. درصد آب شیرین محاسبه شده در هر یک از چاههای بهره‌برداری، مبین کاهش از سمت دشت به سمت دریاچه می‌باشد که بیان‌کننده تاثیر آب شور دریاچه مهارلو بر سفره حاشیه است.

روشهای مختلفی برای تشخیص نفوذ آب شور در آبخوانهای ساحلی و چاههای آب وجود دارد که مهمترین آنها عبارتند از:

۱- روش رول (Revelle) که بر پایه نسبت غلظت یون کلر به مجموع یونهای بیکربنات و کربنات استوار است. روش رول معیار خوبی برای ارزیابی و تشخیص آلودگی آبهای زیرزمینی به وسیله آب دریا یا آبهای فسیلی است. این روش براساس معادله ۲ استوار می‌باشد:

$$\frac{Cl^{-}}{HCO_3^{-} CO_3^{-2}} \quad \text{رابطه (۲-۲)}$$

که در آن  $Cl^{-}$ ،  $CO_3^{-2}$ ،  $HCO_3^{-}$  به ترتیب غلظت یونهای کلر، کربنات و بیکربنات بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.

یونهای بیکربنات و کربنات معمولاً فراوان‌ترین یونهای موجود در آبهای زیرزمینی هستند و در آب دریا به مقدار جزئی وجود دارند، در مقابل مقدار یون کلر در آب دریا بیش از یونهای دیگر بوده اما در آب زیرزمینی معمولاً کم است. بنا بر نظر رول افزایش نسبت یون کلرید به مجموع یونهای بیکربنات و کربنات می‌تواند دلیل خوبی بر نفوذ آب دریا در سفره‌های آبدار ساحلی باشد (صداقت ۱۳۷۳).

۲- نمودارهای ترکیبی که بر اساس غلظت یونهای اصلی در برابر غلظت آنیونها و کاتیونها استوار می‌باشد. نمودارهای ترکیبی وسیله‌ای جهت نمایش اطلاعات حاصل از آنالیز شیمیایی می‌باشند. این

نمودارها که بر اساس توزیع یک جفت پارامتر اندازه‌گیری شده بر روی محورهای افقی و عمودی

۳- تهیه می‌شوند، دارای حالات مختلفی می‌باشند، که هر یک تفسیر مشخصی خواهند داشت.

الف) یک دسته (خوشه): در صورتی که پس از توزیع داده‌ها، نقاط به صورت یک دسته تجمع پیدا کنند نشان‌دهنده وجود یک منبع تغذیه‌کننده است، در واقع نقاط از یک سفره آب تغذیه شده‌اند.

ب) دو دسته: حالتی که نقاط روی نمودار در دو محل تجمع پیدا کنند، نشانه وجود دو منشاء مختلف و دو منبع تغذیه کننده متفاوت می باشند.

ج) حالت خطی: اگر نقاط توزیع شده حالت خطی پیدا کنند نشانه اختلاط دو آب شور و شیرین خواهد بود. البته این حالت را می توان به دو شکل کلی مورد بررسی قرار داد:

۱- حالتی که در نتیجه برون یابی خط به مبدا محورها (محل دو عمود بر هم) برخورد نماید (نشان دهنده رقیق شدن آب شور توسط آب شیرین است).

۲- حالتی که در نتیجه برون یابی، خط به یکی از محورها برخورد نماید نشانه اهمیت آن پارامتر نسبت به دیگر یونها می باشد.

د) حالت سه گوش مثلثی: این حالت در نتیجه اختلاط سه نوع آب مختلف تشکیل می شود که بسته به نوع یونهای مورد بررسی، تفسیر خواهد شد.

و) توزیع اتفاقی: این حالت که مربوط به نمونه هایی با ترکیبات مختلف و از منابع متفاوت می باشد، جهت بررسی کیفی مفید نبوده و چون احتمال خطا در اندازه گیری آنها وجود دارد، می بایست مجدداً مورد اندازه گیری قرار گیرد.

۴- تهیه مقاطعی عمود بر ساحل دریا که تغییرات کیفی آب را نشان می دهد، این روش برای تعیین موقعیت کلی سطح مشترک آب شور و شیرین نیز مفید می باشد.

۵- اندازه گیری میزان یون برم، از این روش زمانی که اختلاط به وسیله آب فسیلی صورت گرفته باشد استفاده می شود (قره محمودلو ۱۳۸۷).

### ج) فاضلابهای شهری، صنعتی و پسابهای کشاورزی

فعالیت های انسانی از عوامل بسیار مهم در تعیین کیفیت آبهای سطحی و زیرزمینی می باشند. این عوامل تأثیر خود را از راههای گوناگون و از طریق آلودگی جوی، تخلیه پسابها، استفاده از مواد آلاینده شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی، خاکهای فرسایش یافته و کاربری اراضی و دیگر موارد بر کیفیت آب می گذارند (Sillanpaa et al. 2004).

احتشامی و شریفی (۱۳۸۵) معتقدند که برای انتقال آلودگی در آبهای زیرزمینی سه عامل وجود دارد که عبارتند از: الف) انتقال، که توسط جریان آب زیرزمینی صورت می‌گیرد. ب) پخش، که توسط پخش مولکولی و اختلاط مکانیکی است. ج) فرایند تأخیر، که توسط عمل جذب صورت می‌گیرد. به طور کلی غلظت عناصر آهن، منگنز، نیتрат، فسفات و آمونیاک در دشت نسبت به سازند سخت بالاتر بوده که نتیجه آسیب پذیری آبخوان به منابع آلاینده در دشت نظیر کشاورزی، دامداری و مناطق مسکونی و صنایع می‌باشد و افزایش مقدار کاتیونها و آنیونها می‌تواند به دلیل فاکتورهای مختلف طبیعی و مصنوعی باشد (آرمان پور و همکاران ۱۳۸۶).

ناصری و همکاران (۱۳۸۵) با مطالعه و بررسی عوامل موثر بر تغییرات مکانی غلظت یون نیترات در حوضه قره سو به این نتیجه رسیدند که چاههای سفره آزاد نسبت به چاههای تحت فشار بیشتر در معرض آلودگی به نیترات قرار گرفته‌اند. این مساله نشان می‌دهد که منبع سطحی عامل ورود نیترات به آبخوان است.

طباطبایی و همکاران (۱۳۸۶) با مطالعه و بررسی عوامل موثر بر غلظت یونهای نیترات و فسفات در حوضه گرگانرود به این نتیجه رسیدند که چشمه‌ها و منابع آبی که از سازند سخت استخراج می‌شوند دارای هیچگونه آلودگی به نیترات و فسفات نمی‌باشند و چاههای نیمه عمیق دارای بیشترین مقادیر آلودگی می‌باشند که علت آن تراوش فاضلابهای خانگی و انسانی و نفوذ سریعتر مواد آلاینده به آنها می‌باشد. چاههای عمیق دارای آلودگی کمتری نسبت به چاههای نیمه عمیق هستند و به طور کل هر چه عمق چاهها در منطقه افزایش می‌یابد غلظت نیترات کمتر می‌شود ولی در مناطقی که از کود شیمیایی استفاده می‌شود ممکن است غلظت آن افزایش چشمگیری داشته باشد.

### ۲-۳- آبخوان‌های ساحلی

با توجه به قرار داشتن منطقه مطالعاتی در ساحل دریا به صورت جداگانه مطالبی در زمینه آبخوانهای ساحلی در ذیل آورده شده است. در مناطق ساحلی سفره‌ی آب شیرین بر روی سفره‌ی آب شور قرار

دارد. بهره برداری بیش از حد مجاز از سفره‌های آب شیرین سبب کاهش فشار آب شیرین بر آب شور گردیده در نتیجه سفره‌ی آب شور پیشروی نموده و سبب شور شدن چاهها می‌شود. در کلیه نقاطی که سفره‌های آب ساحلی با آبهای شور دریاها، دریاچه‌ها و غیره در تماس است، به واسطه شرایط خاص طبیعی آبهای شیرین به سمت آبهای شور جریان دارد و در این جهت تخلیه می‌شود به عبارت دیگر، یک جریان آب شیرین از خشکی به سمت دریا، دریاچه و غیره جریان دارد مگر آنکه با بهره برداری بیش از حد از منابع آب شیرین این حالت تغییر کند. در موارد حاد حتی جریان مخالف، ایجاد می‌شود، یعنی آب شور به سمت ساحل جریان پیدا می‌کند. پیشروی آبهای شور نیز ممکن است در نتیجه تاثیر عوامل غیرطبیعی، مانند حفر چاه، حفر کانال، احداث سیستم فاضلاب و یا معبرها و مجاری دیگر زیرزمینی صورت گیرد و آبهای شور از این راه‌ها، به سمت ساحل به حرکت در می‌آید و مشکل بزرگی در تامین آب شیرین برای ساکنان این مناطق به وجود می‌آید (دیانتی تیلکی و فلاح ۱۳۸۸).

آب موجود در سفره‌های ساحلی مقداری به آب دریا و مقداری نیز به آب فسیل مربوط می‌باشد. آب فسیل آبی است که همزمان با ته نشست رسوبات سفره تشکیل می‌شود. ترکیب شیمیایی آب فسیل با گذشت زمان نسبت به ترکیب اولیه خود تغییر می‌کند. به طور معمول آبهای فسیل در اعماق رسوبات ساحلی قرار دارند. در آب فسیل، کاتیونهای کلسیم، سدیم و پتاسیم با گذشت زمان کاهش پیدا می‌کند. در بین کاتیونها بیشترین کاهش مربوط به منیزیم و در بین آنیونها هم کلرید و کربنات بیشترین مقدار کاهش را دارند اما یون سولفات در این بین افزایش می‌یابد. این تغییرات به عواملی نظیر احیای باکتریایی یونهای سولفات به دلیل افزایش پیوسته در غلظت بیکربنات، کاهش یون کلسیم به دلیل رسوب کربنات کلسیم و کاهش یونهای منیزیم به دلیل تشکیل کانی کلریت می‌باشد (جعفرزاده و همکاران ۱۳۸۶).

با مطالعه و بررسی تغییرات شوری نسبت به عمق و تعیین مرز تداخل آب شور و شیرین در یک آبخوان ساحلی واقع در حاشیه شمال غربی دریاچه مهارلو مشخص شد که تغییرات ارتفاع سطح آب دریاچه مهارلو به علت تغذیه و تخلیه (تبخیر) سبب جابجایی منطقه تداخل آب شور و شیرین در طول سال می‌گردد. با توجه به خشکسالی حاد سال ۸۷-۸۶ و پایین رفتن بیش از حد سطح آب دریاچه، EC در عمق پیزومترهای نزدیک به دریاچه کاهش چشمگیری در ماههای خرداد، تیر و

شهریور یافته است که به دلیل عقب نشینی زون شور و خارج شدن انتهای پیزومترها از محدوده آبهای شورتر است (قادر و زارع ۱۳۸۷).

همزمان با عقب نشینی آب دریای خزر جبهه آب شیرین ناشی از ارتفاعات شروع به شستشو و عقب راندن آب شور از رسوبات نموده، اما این شستشو به طور کامل صورت نگرفته و در برخی از مناطق آب شور به صورت زون‌های فسیلی در داخل آبخوان‌های ساحلی باقی مانده است. مطالعات زمین شناسی و هیدروژئولوژی انجام شده در آبخوان‌های ساحلی دریای خزر وجود برخی زون‌های آب شور ناشی از عقب نشینی دریای خزر را به اثبات رسانده است. زون‌های مذکور در برخی مناطق در تعادل با آب زیرزمینی و یا در زیر آبخوان می‌باشند. افزایش چشمگیر چاه‌های برداشت آب با توجه به عمق بالای آنها در برخی مناطق موجب از بین رفتن تعادل بین آب شور و شیرین و نفوذ آب شور به داخل چاه‌ها شده است (Kaboli, 2003). میزان شوری آب فسیلی موجود در رسوبات دریایی زیر آبخوان ساحل دریای مازندران از شوری فعلی آب دریای خزر بیشتر می‌باشد. همچنین پیشروی دو دهه اخیر دریای خزر طی سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۷۵ منجر به بالا آمدن تراز سطح آب دریا به میزان ۲/۵ متر گردیده است (قره محمودلو ۱۳۸۷).



## فصل سوم: روش انجام کار و تحقیق

در این فصل کلیه کارهایی که جهت بررسی کمی و کیفی سفره آب زیرزمینی در شهرستان کردکوی انجام شده است، به طور مختصر ارائه می‌گردد. به طور کلی در انجام این تحقیق کارهای زیر انجام شده است:

- جمع‌آوری آمار و اطلاعات مرتبط با کمیت و کیفیت آب در آبخوان کردکوی.
- تهیه نقشه زمین شناسی منطقه با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ گرگان.
- نمونه‌برداری از تعدادی از چاههای عمیق و نیمه عمیق با پراکندگی مناسب طی دو مرحله.
- بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی آبخوان و روند تغییرات کیفی و کمی آن.

### ۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز از منطقه مورد نظر

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمیایی سفره آب زیرزمینی به اطلاعات و آمار پایه نیاز می‌باشد که از اساسی‌ترین این اطلاعات نقشه جغرافیایی و توپوگرافی منطقه می‌باشد. با استفاده از گزارشهای موجود در سازمان آب منطقه‌ای گلستان ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی و خصوصیات سفره آب زیرزمینی شناسایی شد. برای تعیین مشخصات آب و هوایی منطقه که شامل مقدار بارندگی، درجه حرارت، درصد رطوبت و تبخیر می‌باشد از آمار ایستگاههای هواشناسی موجود در منطقه استفاده شد.

### ۳-۲- مطالعات زمین شناسی

جهت تعیین محدوده مورد مطالعه و شناسایی خصوصیات عمومی منطقه نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برای منطقه مورد مطالعه تهیه شده است که در تهیه این نقشه، از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور و مطالعات صحرایی استفاده شده است. برای پردازش داده‌های دورسنجی و تشکیل لایه‌های مورد نیاز و تهیه نقشه نهایی از نرم افزار Arc Gis 9.3 استفاده شده است. اطلاعات چینه شناسی موجود در این تحقیق از ورقه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گرگان و بهشهر برگرفته شده است.

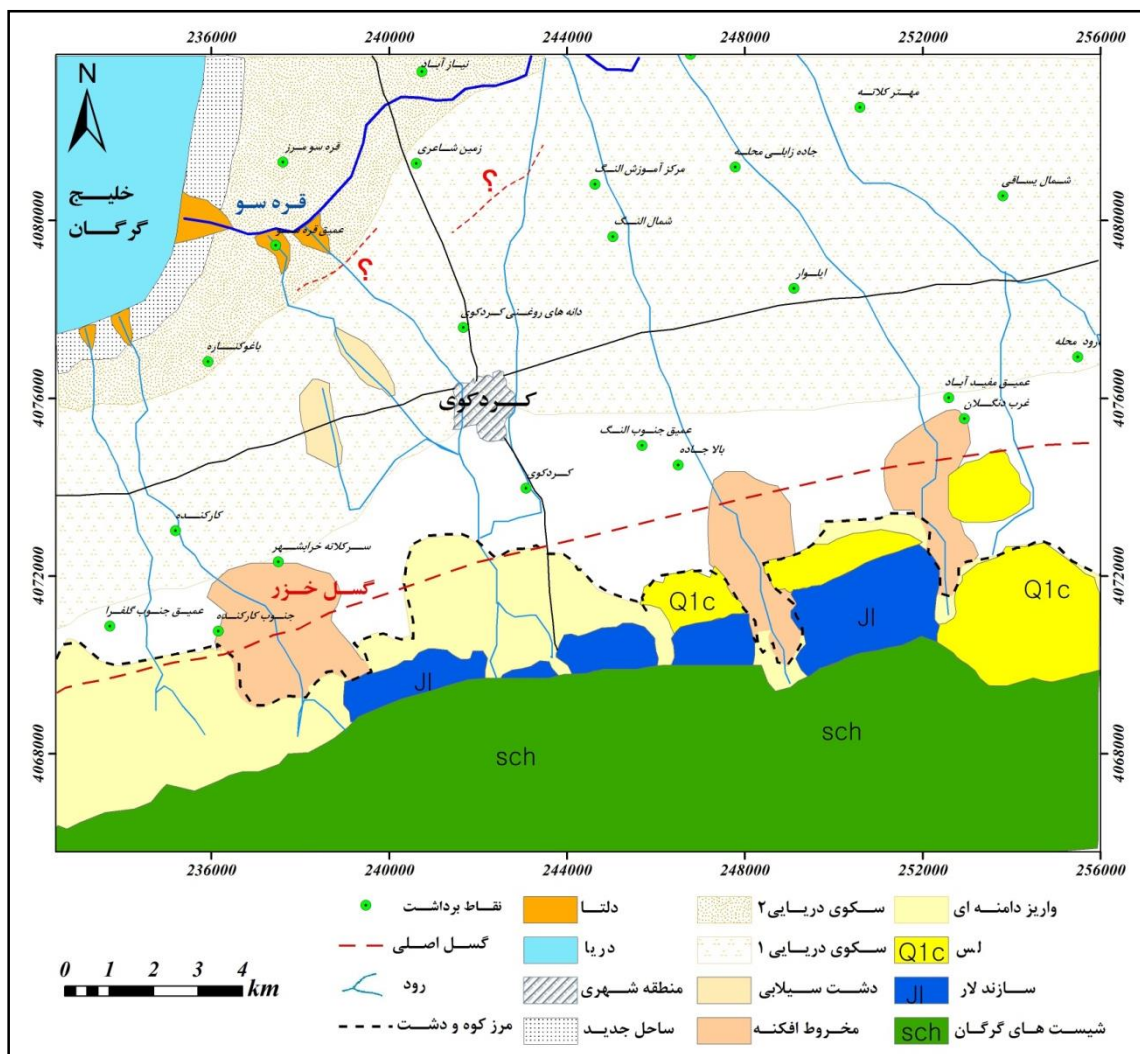
### ۳-۳- نمونه برداری از آب زیرزمینی

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی موجود در منطقه از چاههای عمیق و نیمه عمیق موجود در منطقه نمونه برداری شد. محدوده نمونه برداری به دلیل اهمیت آب موجود در دشت کردکوی بیشتر از همه‌ی مناطق این دشت برای دقت بیشتر و دقیقتر بودن تحقیق نمونه برداری صورت گرفت. شکل (۱-۳) موقعیت چاههای نمونه برداری در منطقه را نشان می‌دهد. برای نمونه برداری از ظرفهای پلاستیکی ۲۵۰ میلی لیتری استفاده شد و ظرف نمونه قبل از نمونه برداری سه مرتبه با آب شستشو داده شد. به منظور جلوگیری از آلوده شدن آب با هرگونه عامل خارجی دو نمونه آب از هر چاه برداشته شد، که در یکی پارامترهای محیطی از قبیل درجه حرارت، هدایت الکتریکی و اسیدیتته اندازه‌گیری شد و در نمونه دوم را محکم بسته و پس از شماره گذاری به آزمایشگاه آب فرستاده شد تا مورد آنالیز شیمیایی قرار گیرد. در آزمایشگاه غلظت کاتیونها و آنیونهای اصلی محلول در آب که شامل یونهای سولفات، کلر، بیکربنات، پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری پارامترهای محیطی از قبیل هدایت الکتریکی و اسیدیتته در محل نمونه برداری انجام شد که دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی مربوط به شرکت HACH و اسیدیتته با استفاده از دستگاه pH متر مدل SUNTEX-710 انجام شد. پس از دریافت نتایج آنالیز شیمیایی پارامترهایی از قبیل کل املاح جامد محلول، درصد جذب سدیم، درصد سدیم، سختی کل و برخی از نسبت‌های یونی از قبیل سدیم به کل کاتیونها و کلر به کل آنیونها و همچنین برخی از پارامترهای آماری برای آنها محاسبه شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده را می‌توان به دو دسته پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل

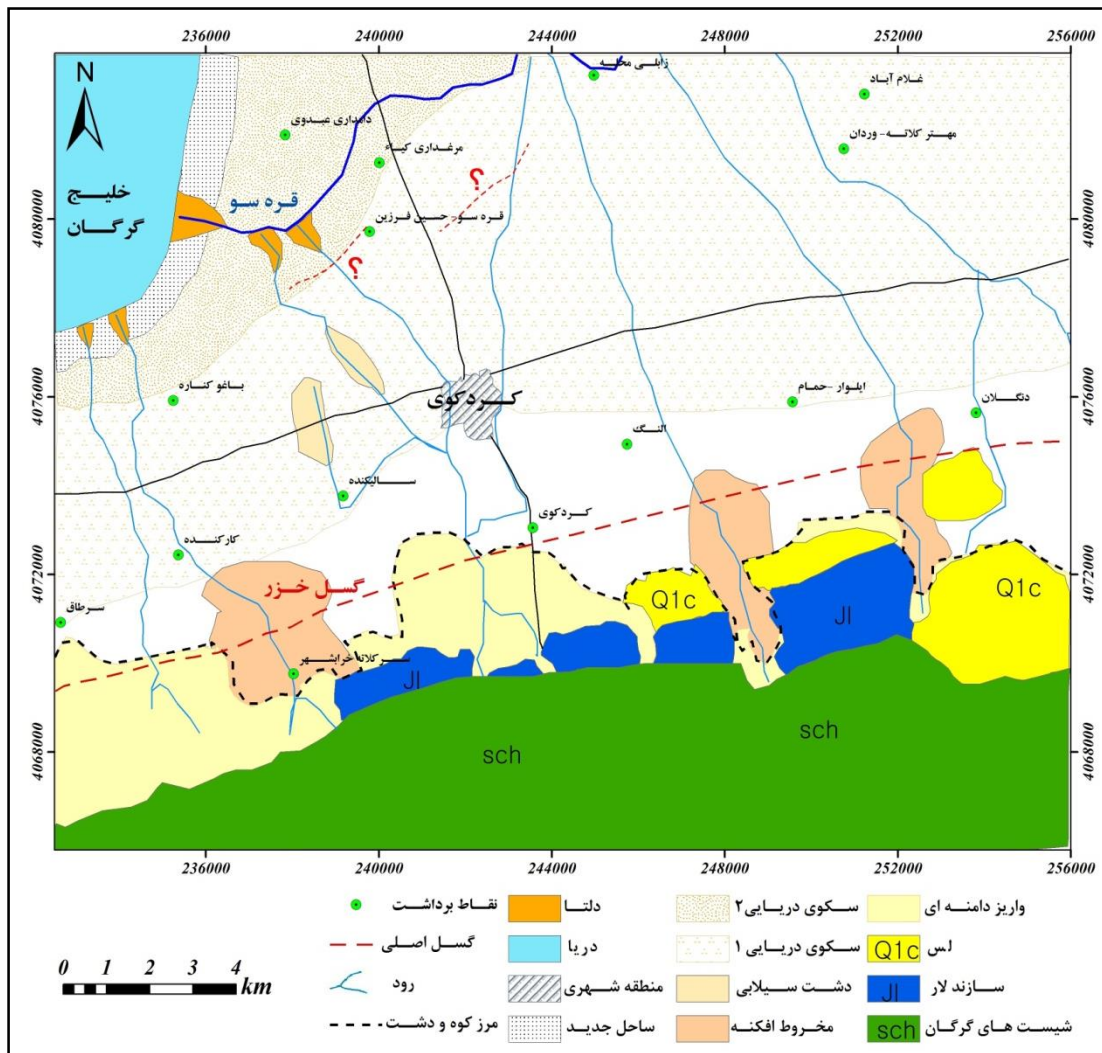
نمونه برداری که شامل هدایت الکتریکی و اسیدپته می باشد و پارامترهای اندازه گیری شده در آزمایشگاه که غلظت کاتیونها و آنیونها اصلی است، تقسیم کرد.

### ۳-۳-۱- پارامترهای اندازه گیری شده در محل نمونه برداری

چاههایی که پارامترهای هیدرولیکی و هیدروژئوشیمیایی آنها اندازه گیری شد با یکدیگر متفاوتند که شکل های (۳-۱) و (۳-۲) به ترتیب چاههایی که پارامترهای هیدرولیکی و هیدروژئوشیمیایی اندازه گیری شده اند را نشان می دهند.



شکل ۳-۱- محل نقاط مشاهده ای برای مطالعات کمی سفره



شکل ۳-۲- محل نقاط نمونه برداری برای بررسی پارامترهای هیدروژئوشیمیایی

هدایت الکتریکی و اسیدیتته در محل نمونه برداری اندازه گیری شده اند که نحوه اندازه گیری این دو پارامتر به طور مختصر در زیر آورده شده است:

### الف) اندازه گیری هدایت الکتریکی آب

مقدار هدایت الکتریکی (EC) برای تمام نمونه های آب در محل نمونه برداری، توسط دستگاه هدایت سنج الکتریکی مربوط به شرکت HACH اندازه گیری شده است. دقت این دستگاه برای اندازه گیری هدایت الکتریکی کمتر از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر، برابر با ۱ میکروموس بر سانتیمتر و در محدوده بزرگتر از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر، برابر با ۱۰ میکروموس بر سانتیمتر می باشد.

پس از اندازه گیری هدایت الکتریکی آب زیرزمینی و ثبت موقعیت جغرافیایی چاه های نمونه برداری

منطقه به وسیله GPS، موقعیت قرارگیری کلیه چاهها و مقدار هدایت الکتریکی هر یک در نرم افزار Arc Gis 9.3 پلات شده نقشه هدایت الکتریکی منطقه بر اساس آنها ترسیم گردید.

### ب) اندازه‌گیری اسیدیتته آب

اندازه‌گیری مقدار اسیدیتته (pH) آب همانند هدایت الکتریکی در محل نمونه برداری انجام شده است. برای اندازه‌گیری اسیدیتته از دستگاه pH متر مدل SUNTEX-710 استفاده شده است. دقت این دستگاه برای اندازه‌گیری pH برابر با ۰/۰۱ واحد می‌باشد.

### ۳-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

اندازه‌گیری کاتیونها و آنیونهای اصلی شامل یونهای سولفات، کلر، بیکربنات، پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم برای کلیه نمونه‌ها در آزمایشگاه آب انجام شده است. پس از دریافت نتایج آزمایشگاه پارامترهای آماری، درصد خطای آزمایش، درصد جذب سدیم (SAR)، درصد سدیم، کل املاح جامد محلول، سختی کل، ضریب تغییرات و برخی از نسبت‌های یونی محاسبه شد و نمودارهای کیفی برای آنها ترسیم گردید. جهت ترسیم نمودارهای کیفی مذکور از نرم افزارهای Phreeqc، Chemistry و Rockwork استفاده شد. همچنین بر اساس موقعیت جغرافیای چاههای نمونه برداری موجود در منطقه و مقدار عناصر مختلف از جمله سدیم و کلر نقشه‌های کیفی مربوطه با استفاده از نرم افزار Arc Gis 9.3 ترسیم گردید. همچنین نمودارهای مربوط به برخی از نسبت‌های یونی از قبیل سدیم به مجموع کاتیونها، کلر به مجموع آنیونها و نمودارهای ترکیبی مختلف نیز برای نمونه‌ها ترسیم گردید.

### ۳-۴- جمع آوری داده‌های هیدروژئولوژیکی منطقه

بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه بر اساس اطلاعات موجود در سازمان آب منطقه‌ای گلستان صورت گرفته است. این اطلاعات شامل آزمایشات پمپاژ مربوط به ۱۸ حلقه چاه موجود در منطقه، داده‌های سطح آب زیرزمینی در نقاط مختلف و همچنین گزارش بیلان سال ۱۳۸۵ دشت کردکوی می‌باشد.

### ۳-۴-۱- تهیه نقشه‌های هم پتانسیل و هم افت سفره آبخوان

به منظور تعیین جهت عمومی حرکت آب در آبخوان آبرفتی شهرستان کردکوی، نقشه هم پتانسیل دشت تهیه شده است. برای مقایسه سطح آب زیرزمینی در دراز مدت، نقشه‌های هم پتانسیل از داده‌های ۵ ساله پیزومترهای دشت تهیه شده است. برای ترسیم نقشه هم پتانسیل از داده‌های اردیبهشت ماه سالهای ۱۳۸۳ و ۱۳۸۸ استفاده شد. برای ترسیم نقشه هم افت باید داده‌های همه چاهها در یک بازه زمانی یکسان باشند که داده‌های منطقه مورد نظر از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۸ کامل بوده و در این بازه زمانی ترسیم گردید.

### ۳-۴-۲- ترسیم هیدروگراف جهت بررسی نوسانات سالانه سطح آب زیرزمینی

تغییرات سطح سفره آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه بر اساس اندازه‌گیری‌های ۲۳ حلقه چاه مشاهده‌ای از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸ مورد بررسی قرار گرفت و هیدروگراف مربوط به آنها ترسیم گردید. به منظور بررسی رابطه تراز آب با بارندگی، با استفاده از آمار بارندگی ایستگاههای هواشناسی موجود در منطقه، مقادیر بارندگی نیز در این هیدروگرافها ترسیم شد. همچنین برای بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در دراز مدت، هیدروگراف واحد دشت نیز با استفاده از داده‌های موجود ترسیم شد.

### ۳-۵- جمع آوری داده‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه

به منظور بررسی کیفی آبهای زیرزمینی دشت کردکوی هر ساله در دو نوبت، اردیبهشت ماه و آبان ماه، نمونه برداری از چاههای انتخابی توسط سازمان آب منطقه‌ای گلستان صورت می‌گیرد. در این تحقیق نیز با توجه به امکانات و شرایط موجود از ۱۵ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق موجود در منطقه در آبان ماه ۱۳۸۸ (فصل خشک) نمونه برداری شد. در این تحقیق برای بررسی کیفیت آبهای زیرزمینی منطقه از نمونه‌برداری هر ساله دشت استفاده شده است.

### ۳-۵-۱- تهیه نقشه‌های کیفی سفره آب زیرزمینی

داده‌های اندازه‌گیری شده در محل نمونه برداری و آزمایشگاه برای استفاده در مراحل بعد جمع‌بندی و

طبقه‌بندی شده و با استفاده از این داده‌ها پارامترهای مورد نیاز نیز محاسبه شدند. به کمک این داده‌ها نقشه هدایت الکتریکی، کلر، سدیم، سولفات، نسبت کلر به مجموع آنیونها، نسبت سدیم به مجموع کاتیونها و شاخص اشباع هالیت برای دشت کردکوی رسم شد.

### ۳-۵-۲- ترسیم نمودارهای ترکیبی

در مطالعات هیدروژئوشیمیایی به منظور تشخیص نوع فرایندهای شیمیایی و تعیین منشأ و اختلاط آنها از نمودارهای ترکیبی یا دو متغیره استفاده می‌شود. بدین منظور نمودار آنیونها و کاتیونهای مختلف آب در مقابل TDI ترسیم شدند. همچنین جهت تعیین فرایندهای غالب در ایجاد ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی از نمودارهای دو متغیره  $Ca^{2+}+Mg^{2+}$  در مقابل  $SO_4^{-}+HCO_3^{-}$  و  $(Ca^{2+}+Mg^{2+})-(SO_4^{-}+HCO_3^{-})$  در مقابل  $Na^{+}-Cl^{-}$  استفاده شد. برای بررسی شوری آب زیرزمینی در این دشت، نسبت (Cl/TDS) برای نمونه‌های منطقه محاسبه و دیاگرام آن ترسیم گردید. برای ارزیابی و تشخیص آلودگی آب زیرزمینی به وسیله دریا نیز از روش رول (Revelle) که نسبت یون کلرید به مجموع یونهای بیکربنات و کربنات است، استفاده شده است.

### ۳-۵-۳- تهیه دیاگرام‌های کیفی سفره آب زیرزمینی

علاوه بر موارد فوق با استفاده از داده‌های موجود و پارامترهای محاسبه شده، دیاگرام‌های کیفی آب زیرزمینی ترسیم شدند. جهت تعیین نوع آب‌ها، رخساره‌های هیدرووشیمیایی و مسیرهای تکامل ژئوشیمیایی، مقایسه سریع ترکیب شیمیایی، تعیین تیپ، قابلیت شرب و تعیین استانداردهای کیفیت آب برای کشاورزی در آبخوان کردکوی، دیاگرام‌های پایپر (Piper)، استیف (Stiff)، شولر (Schoeller) و ویلکوکس (Wilcox) ترسیم شدند.

## فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژیکی آبخوان کردکوی

### ۴-۱- مقدمه

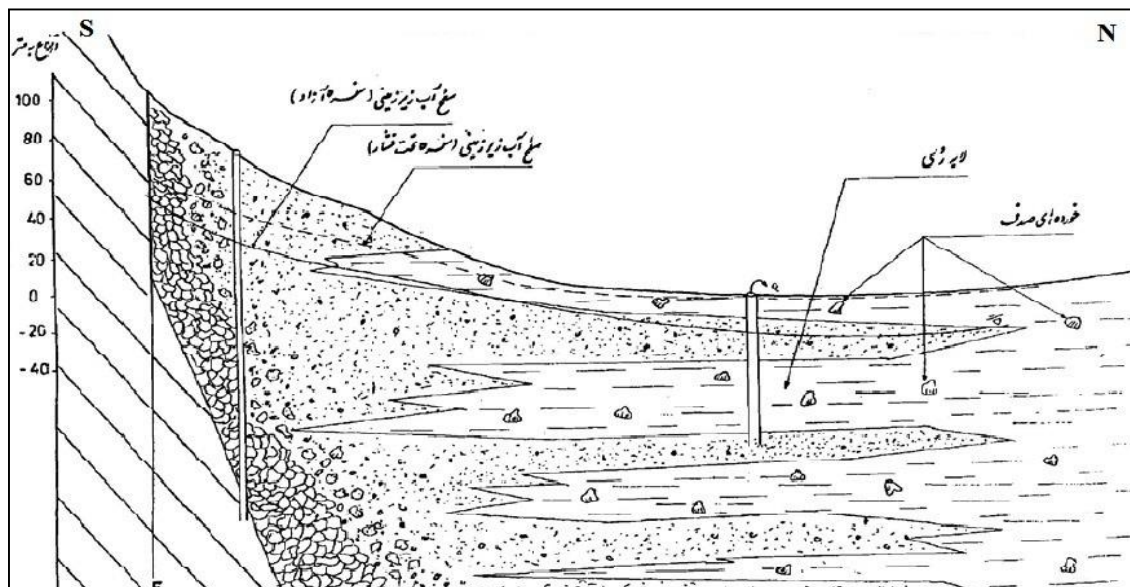
شهرستان کردکوی از سه بخش کوهستانی، تپه ماهور و دشت تشکیل شده است. در بخش کوهستانی عمدتاً شیستهای سبز و سنگهای آهکی رخنمون دارند. تپه ماهورها اغلب با شیبی ملایم از رخنمونهای لس و تپه‌های ماسه‌ای تشکیل شده‌اند ولی رسوبات دشت عمدتاً ساحلی و دلتایی می‌باشد. رسوبات آبرفتی دشت دارای دو منشأ می‌باشند. منشأ رودخانه‌ای و رسوبات واریزه‌ای که از تشکیلات حاشیه دشت منشأ گرفته‌اند و رسوباتی که منشأ دریایی دارند و مربوط به سواحل قدیمی دریای خزر می‌باشد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که هر چه از جنوب به سمت شمال پیش می‌رویم از اندازه ذرات کاسته می‌شود و تغییر در اندازه دانه‌ها و جنس لایه‌های رسوبی را که حاصل پیشروی و پسروی دریا می‌باشد در عمق آبرفت می‌توان مشاهده نمود.

### ۴-۲- سیستم آبخوان‌ها

جهت شناخت خصوصیات هندسی و هیدرودینامیکی آبخوان، داشتن اطلاعاتی مانند ضخامت آبرفت، عمق آبخوان، جنس سنگ کف و ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان ضروری می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در اکثر قسمت‌های دشت سیستم سفره‌های آب زیرزمینی شامل سفره‌های تحت فشار، نیمه تحت فشار، معلق و آزاد می‌باشند. با توجه به وضعیت آبرفت که در ارتباط مستقیم با تشکیل سفره آب زیرزمینی می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت که در نواحی جنوبی دشت یک سفره آب زیرزمینی و در بقیه دشت چندین سفره آب زیرزمینی وجود دارد (شرکت مهندسی مشاور خزرآب، ۱۳۸۶).



در ابتدای دشت سفره از نوع آزاد و با عمق آب زیرزمینی نسبتاً زیاد و در مرکز دشت به علت وجود لایه‌های رسی و مارنی به صورت سفره‌های تحت فشار یا نیمه تحت فشار و در انتهای دشت (در مجاورت ساحل) سفره‌های معلق به صورت محدود دیده می‌شود. ضخامت آبرفت دشت تاکنون در حد حفاریهای انجام شده و بررسی‌های ژئوالکتریکی مشخص نگردیده و مسلماً بیش از چند صد متر در دشت می‌باشد. در حاشیه ارتفاعات جنوبی کردکوی با توجه به نتایج حفاریهای موجود (مانند چاه متعلق به فرهنگیان) نشان می‌دهد که ضخامت آبرفت در حدود ۲۰۰ متر بوده و سنگ کف را نیز طبقات شیستی تشکیل می‌دهد. شکل (۱-۴) وضعیت آبرفت و سفره‌های آب زیرزمینی دشت را بطور شماتیک نشان می‌دهد.



شکل (۱-۴) وضعیت آبرفت و سفره‌های آب زیرزمینی دشت کردکوی (شرکت مهندسی مشاور خزرآب، ۱۳۸۶)

نتایج حاصل از حفاریهای انجام شده در سطح دشت نشان می‌دهد که علاوه بر سفره‌های موجود، در تمام دشت یک سفره سطحی وجود دارد که سطح برخورد به آب در این سفره به طور متوسط ۷ متر بوده و در بخشهای شمالی دشت به سطح زمین نزدیک گردیده و منطقه باتلاقی را به وجود آورده است. حد جنوبی سفره‌های آب زیرزمینی در کردکوی منطبق بر مرز بین رسوبات آبرفتی جدید و سازندهای زمین شناسی حاشیه دشت می‌باشد و حد شمالی آن در تماس با دریا، حد جدایی آب شور

و شیرین است. از جهت شرقی و غربی حد و مرزی نمی‌توان بین ذخایر آبی زیرزمینی قائل شد، چون این منابع در ارتباط با هم بوده و تا حدودی دارای ارتباط هیدروژئولوژیکی می‌باشند.

### ۳-۴- مطالعات اکتشافی انجام شده

بررسی مقاومت ویژه ظاهری منطقه نشان می‌دهد که تغییرات مقاومت از بیش از ۷۰ اهم متر در جنوب کردکوی و شمال روستای بالا جاده تا کمتر از ۵ اهم متر در نزدیک دریا متغیر می‌باشد. بیشترین مقاومت ویژه مربوط به ابتدای مخروط افکنه‌ها (بیش از ۷۰ اهم متر) به دلیل تجمع مواد آبرفتی دانه درشت می‌باشد که به تدریج به سمت کردکوی به حدود ۲۰ تا ۳۰ و به سمت دریا از مقاومت ویژه رسوبات کاسته می‌شود و به حدود ۵ اهم متر می‌رسد (مهندسین مشاور خزرآب ۱۳۸۶). این تغییرات مقاومت ویژه به دلیل ریزدانه شدن رسوبات و وجود لایه‌های آب شور می‌باشد. کاهش ناگهانی مقاومت در جنوب شهر کردکوی می‌تواند به دلیل وجود لایه بسیار دانه ریز یا عدسی‌های نسبتاً بزرگ آب شور فسیلی باشد که در محدوده جنوب و شرق شهر کردکوی و حتی روستای النگ دیده می‌شود (مهندسین مشاور خزرآب ۱۳۸۶).

### ۴-۴- هیدروژئولوژی سفره آب زیرزمینی

#### ۱-۴-۴- مقادیر قابلیت انتقال

قابلیت انتقال پارامتری است که قابلیت عبور آب را در تمام ضخامت لایه آبدار نشان می‌دهد. قابلیت انتقال طبق رابطه (۱-۴) از حاصلضرب ضریب نفوذپذیری (K) در ضخامت سفره (D) بدست می‌آید.

$$T = DK \quad \text{رابطه (۱-۴)}$$

مقدار ضریب نفوذپذیری در رسوبات و سنگها به اندازه و تعداد فضاها خالی و نحوه ارتباط آنها با هم بستگی دارد. حدود تغییرات ضریب نفوذپذیری برای برخی از رسوبات در جدول (۱-۴) نشان داده شده است. با توجه به رابطه‌ی مسقیم بین ضریب نفوذپذیری و قابلیت انتقال این اعداد به قابلیت انتقال قابل تعمیم می‌باشند.

## فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژیکی آبخوان

جدول ۴-۱- حدود تغییرات ضریب نفوذپذیری برای برخی از رسوبات (Bouwer, 1978)

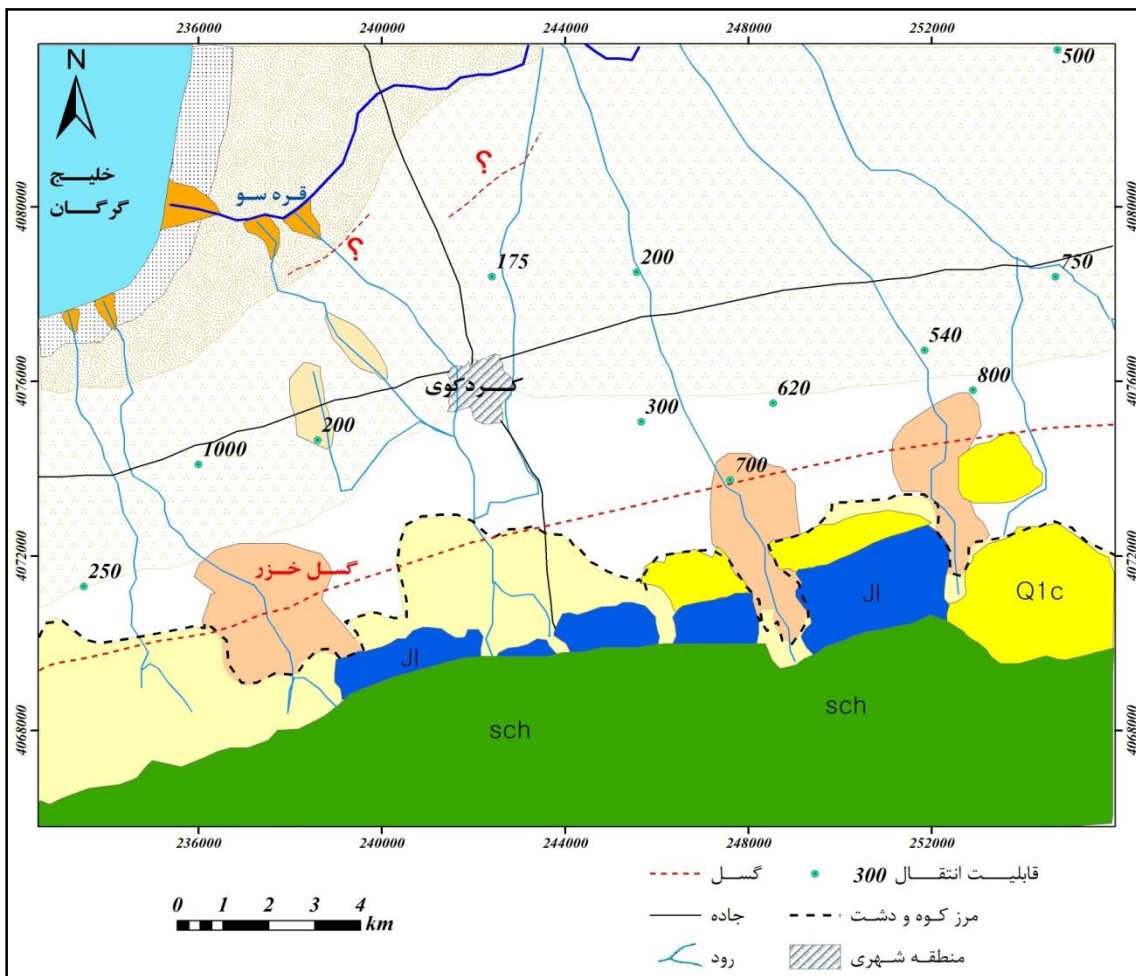
نوع رسوب	حدود تغییرات ضریب نفوذپذیری (m/day)
خاکهای رسی (سطحی)	۰/۰۱ - ۰/۲
لایه‌های رسی عمیق	۱۰ <sup>-۸</sup> - ۱۰ <sup>-۲</sup>
ماسه دانه ریز	۱-۵
ماسه دانه متوسط	۵-۲۰
ماسه دانه درشت	۲۰-۱۰۰
گراول	۱۰۰-۱۰۰۰
مخلوط ماسه و گراول	۵-۱۰۰
مخلوط رس، ماسه و گراول	۰/۰۰۱ - ۰/۱

به منظور پایش وضعیت سفره آب زیرزمینی و تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان ابرفتی منطقه از داده‌های آزمایش پمپاژ مهندسیین مشاور پایاب لوئیز برجر (۱۳۶۷) و نتایج آزمایش پمپاژ چاههای پیژومتری شرکت آب منطقه‌ای گلستان طبق جدول (۴-۲) استفاده شده است.

جدول شماره ۴-۲- نتایج مربوط به آزمایش‌های پمپاژ (مهندسیین مشاور پایاب لوئیز برجر، ۱۳۶۷)

ردیف	نام چاه	عمق چاه (متر)	مختصات UTM (متر)		T(m <sup>2</sup> /day)
			X	Y	
۱	گل افرا	-	۲۳۳۵۰۰	۴۰۷۱۳۰۰	۲۵۰
۲	کارکنده	-	۲۳۶۰۰۰	۴۰۷۴۱۰۰	۱۰۰۰
۳	سالیکنده	۶۵	۲۳۸۶۰۰	۴۰۷۴۶۶۰	۲۰۰
۴	کردکوی	-	۲۴۲۴۰۰	۴۰۷۸۴۰۰	۱۷۵
۵	شمال النگ	۱۲۰	۲۴۵۵۶۰	۴۰۷۸۵۰۰	۲۰۰
۶	النگ	۱۶۳	۲۴۵۶۶۰	۴۰۷۵۰۸۰	۳۰۰
۷	شمال بالا جاده	-	۲۴۷۶۰۰	۴۰۷۳۷۴۰	۷۰۰
۸	شمال ایلوار	-	۲۵۱۶۴۰	۴۰۸۵۳۰۰	۲۸۵
۹	شمال خراب مسجد	-	۲۵۱۸۴۰	۴۰۷۶۷۲۰	۵۴۰
۱۰	مهتر کلاته	۱۸۰	۲۵۲۴۸۰	۴۰۸۵۸۴۰	۲۸۰
۱۱	میاندره	۱۰۲	۲۵۲۹۰۰	۴۰۷۵۸۰۰	۸۰۰
۱۲	درود محله	۱۰۰	۲۵۴۷۰۰	۴۰۷۸۴۰۰	۷۵۰
۱۳	شمال یساقی	۱۸۰	۲۵۴۷۴۰	۴۰۸۳۶۰۰	۵۰۰
۱۴	اسبو محله	۱۴۷	۲۵۸۶۰۰	۴۰۷۶۶۰۰	۷۲۵
۱۵	کلاجان قاجار	-	۲۵۹۲۰۰	۴۰۷۸۸۵۰	۵۹۵
۱۶	کلا سنگیان	-	۲۵۹۵۵۰	۴۰۷۷۱۰۰	۸۰۰

محل چاههای پمپاژ فوق الذکر بر روی نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه ترسیم شده است (شکل ۴-۲). بر اساس شکل (۴-۲) ملاحظه می‌شود که مقادیر قابلیت انتقال منطقه دارای روند مشخصی نیست ولی در مجموع مقادیر این پارامتر هیدرودینامیکی از سمت ارتفاعات (جنوب) که درشت دانه‌تر و دارای نفوذپذیری بالاتر است به سمت رودخانه قره سو که ریز دانه‌تر و نفوذپذیری پایینتری است مقدار آن کاهش می‌یابد. به این ترتیب که مقادیر این پارامتر از حدود ۷۰۰ متر مربع بر روز در جنوب منطقه تا حدود ۱۷۵ متر مربع بر روز در شمال منطقه متغیر می‌باشد.



شکل ۴-۲- مقادیر قابلیت انتقال بر حسب متر مربع بر روز روی نقشه زمین شناسی

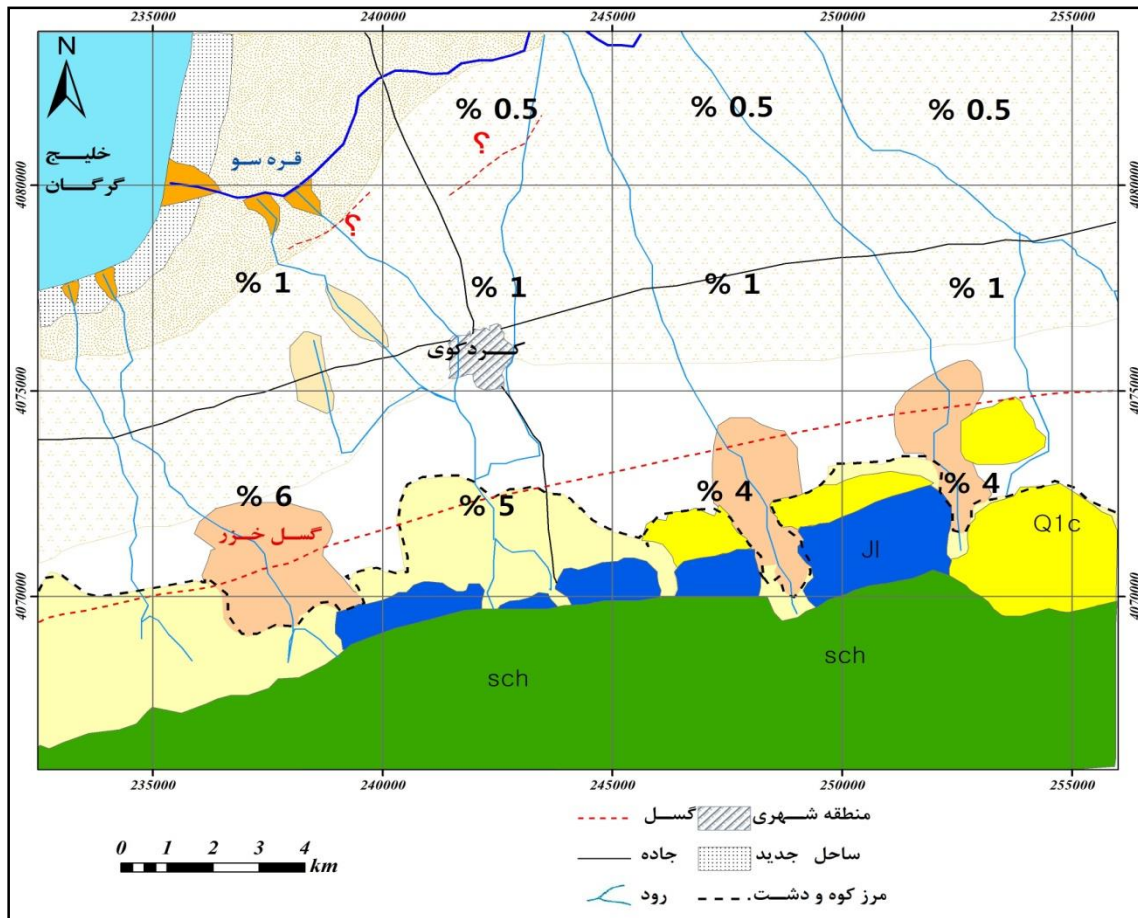
#### ۴-۴-۲- مقادیر ضریب ذخیره

ضریب ذخیره یکی دیگر از پارامترهای هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی است و عبارت است از حجم آبی که یک منشور قائم از لایه آبدار به سطح مقطع واحد می‌تواند جذب یا آزاد کند تا سطح آب

در آن به اندازه‌ی واحد پایین یا بالا رود. ضریب ذخیره در آبخوانهای آزاد معادل آبدهی ویژه است که طبق رابطه (۲-۴) از تقسیم حجم آب آزاد شده ( $V_y$ ) به حجم منطقه زهکشی شده ( $V_t$ ) بدست می‌آید.

$$T = \frac{V_y}{V_t} \quad \text{رابطه (۲-۴)}$$

ضریب ذخیره آبخوانهای تحت فشار از  $10^{-3}$  تا  $5 \times 10^{-7}$  و در لایه‌های آبدار آزاد از  $0.2$  تا  $0.3$  تغییر می‌کند (شمسائی ۱۳۸۱). برای تعیین ضریب ذخیره سفره، حفر چاههای مشاهده‌ای در مجاورت چاه در حال آزمایش پمپاژ ضروری می‌باشد. آزمایش پمپاژ و تعیین ضریب ذخیره در محدوده مطالعاتی توسط شرکت مشاور پایاب لوئیز برجر (۱۳۶۷) انجام شده است. شکل (۳-۴) مقدار ضریب ذخیره در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴- مقادیر ضریب ذخیره بر روی نقشه زمین شناسی کردکوی

## فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژیکی آبخوان

با توجه به شکل مذکور ملاحظه می‌شود که مقادیر این پارامتر از سمت جنوب که نشانگر دانه‌بندی درشت و نفوذپذیری خوب رسوبات می‌باشد به سمت شمال که با کاهش دانه‌بندی و نفوذپذیری رسوبات همراه است، مقادیر ضریب ذخیره کاهش پیدا می‌کند.

### ۴-۴-۳- بررسی نقشه هم پتانسیل منطقه

به منظور تعیین جهت عمومی حرکت آب زیرزمینی در سفره آب زیرزمینی کردکوی، نقشه هم پتانسیل این منطقه در دو بازه زمانی تهیه شده است. برای ترسیم منحنی‌های هم پتانسیل از آمار سطح آب در اردیبهشت ماه سالهای ۱۳۸۳ و ۱۳۸۸ استفاده شده است. داده‌های سطح آب مربوط به سالهای ۱۳۸۳ و ۱۳۸۸ در جدول (۴-۳) ارائه شده است.

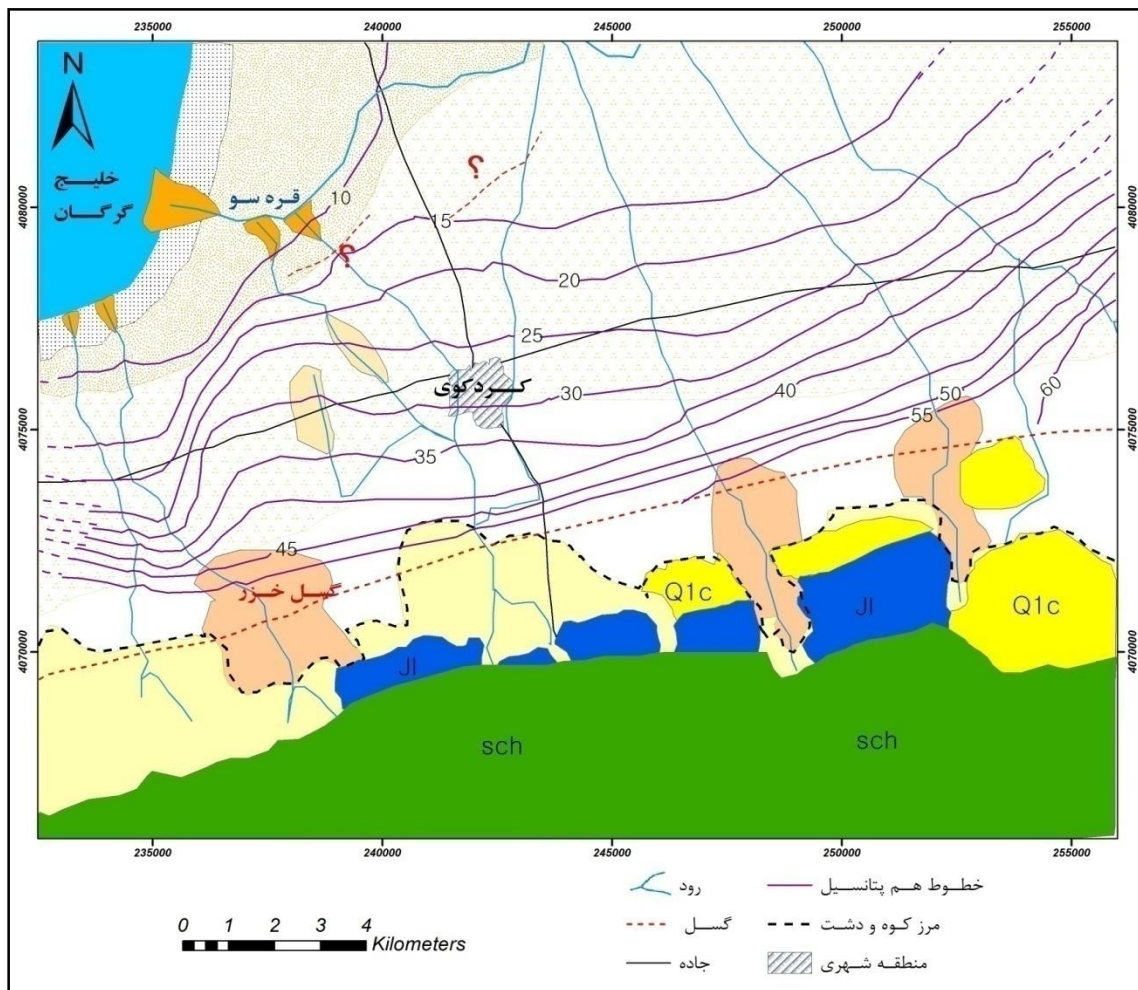
جدول ۴-۳- بار هیدرولیکی در دشت کردکوی (نسبت به دریای مازندران)

نام پیزومتر	سطح تراز آب سال ۱۳۸۳	سطح تراز آب سال ۱۳۸۸	نام پیزومتر	سطح تراز آب سال ۱۳۸۳	سطح تراز آب سال ۱۳۸۸
ایلوار	19.96	17.43	عمیق جنوب النگ	29.054	20.78
باغو کناره	6.28	5.96	عمیق جنوب گل‌فرا	50.03	45.77
بالاجاده	41.832	40.3	عمیق قره سو	9.79	8.6
جاده زابلی محله	8.41	7.4	عمیق مفید آباد	43.251	51.181
جنوب کارکنده	50.41	48.32	غرب دنگلان	54.53	52.31
دانه های روغنی کردکوی	18.68	18.24	قره سو مرز	*	3.14
درود محله	59.35	53.72	کارکنده	22.321	22.37
زابلی محله	*	7.65	کردکوی	35.367	34.54
زمین شاعری	8.82	8.62	مرکز آموزش النگ	5.39	6.29
سرکلاته خرابشهر	42.5	38.89	مهتر کلاته	10.323	9.69
شمال النگ	14.64	14.35	نیاز آباد	8.31	6.51
شمال یساقی	22.316	28.3			

با توجه به اینکه تراز آب زیرزمینی در منطقه نسبت به آبهای آزاد منفی می‌باشد، برای ملموس بودن داده‌ها سطح دریای مازندران به عنوان سطح مبنا در نظر گرفته شده است. تقریباً در تمامی پیزومترها مقادیر بار هیدرولیکی در اردیبهشت ماه ۱۳۸۸ در مقایسه با اردیبهشت ماه ۱۳۸۳ به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرده است. شکل (۴-۴) نقشه هم پتانسیل دشت کردکوی را در سال ۱۳۸۳ و

## فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژیکی آبخوان

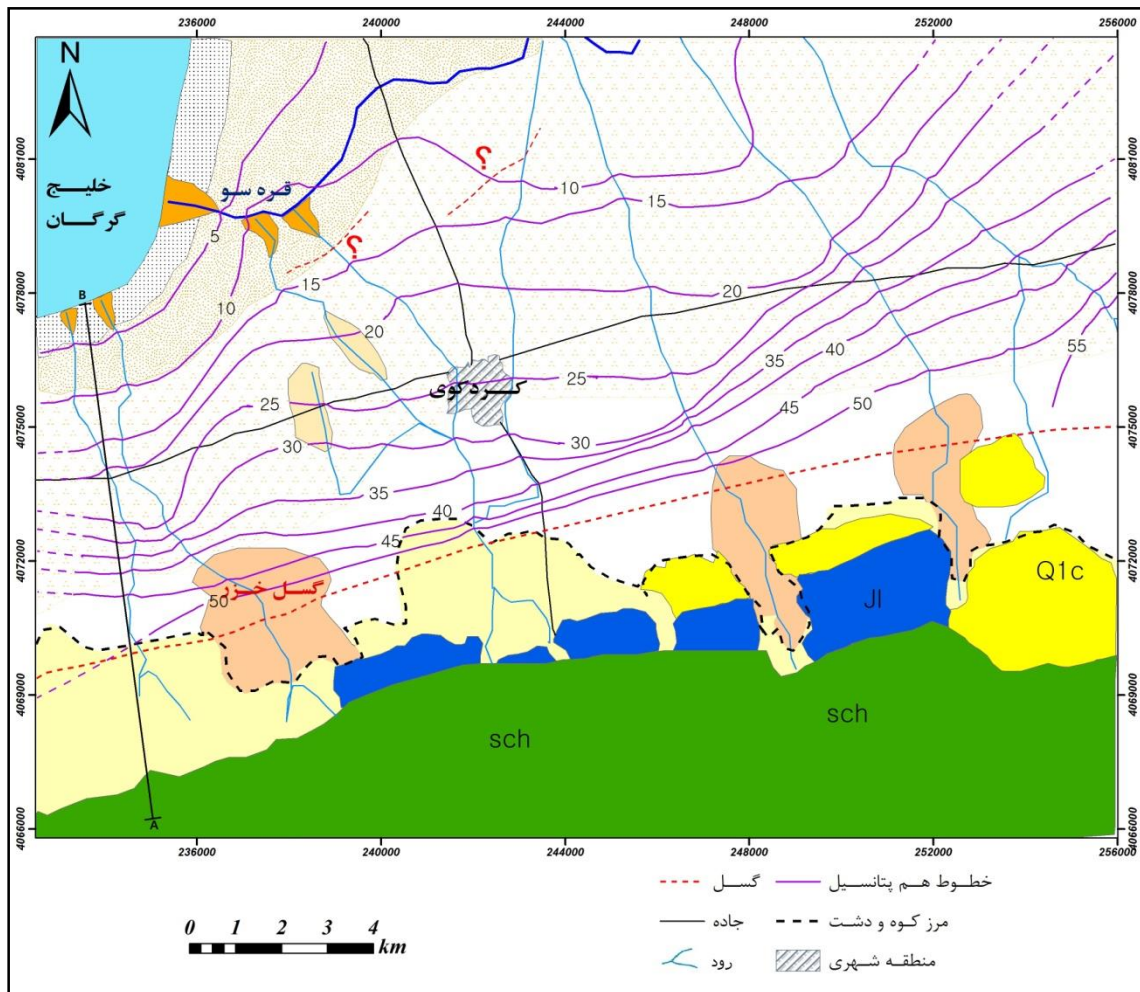
شکل (۴-۵) نقشه هم پتانسیل را در سال ۱۳۸۸ نشان می‌دهد. بر اساس نقشه مذکور همانطور که ملاحظه می‌شود حرکت عمومی آب از سمت جنوب شرق به شمال غرب می‌باشد. مناطق تغذیه، ارتفاعات جنوبی دشت و مخروط افکنه رودخانه‌ها می‌باشد و رودخانه قره سو در شمالی ترین بخش محدوده مورد مطالعه زهکش اصلی دشت بوده و کلیه جریانات به سمت این رودخانه در حرکت بوده و آبهای زهکشی شده نهایتاً توسط این رودخانه به دریای مازندران می‌ریزند.



شکل ۴-۴- نقشه خطوط هم پتانسیل اردیبهشت ماه ۱۳۸۳

بر اساس نقشه‌های ترسیم شده ملاحظه می‌شود که حداکثر ارتفاع سطح آب از دریای خزر مربوط به سال ۱۳۸۳ و در جنوب شرق منطقه و کمترین ارتفاع سطح آب مربوط به سال ۱۳۸۸ در شمال غرب منطقه می‌باشد. گرادیان هیدرولیکی از جنوب به سمت شمال کاهش می‌یابد لذا بیشترین گرادیان در

محدوده مطالعاتی مربوط به مناطق جنوبی بوده و کمترین آن نیز مربوط به مناطق شمالی دشت در محدوده رودخانه قره سو می‌باشد. با توجه به خطوط هم پتانسیل مشخص می‌شود که رودخانه‌های جاری در منطقه که از ارتفاعات جنوبی دشت سرچشمه می‌گیرند تغذیه کننده سفره آب زیرزمینی می‌باشند.



شکل ۴-۵- نقشه خطوط هم پتانسیل اردیبهشت سال ۱۳۸۸

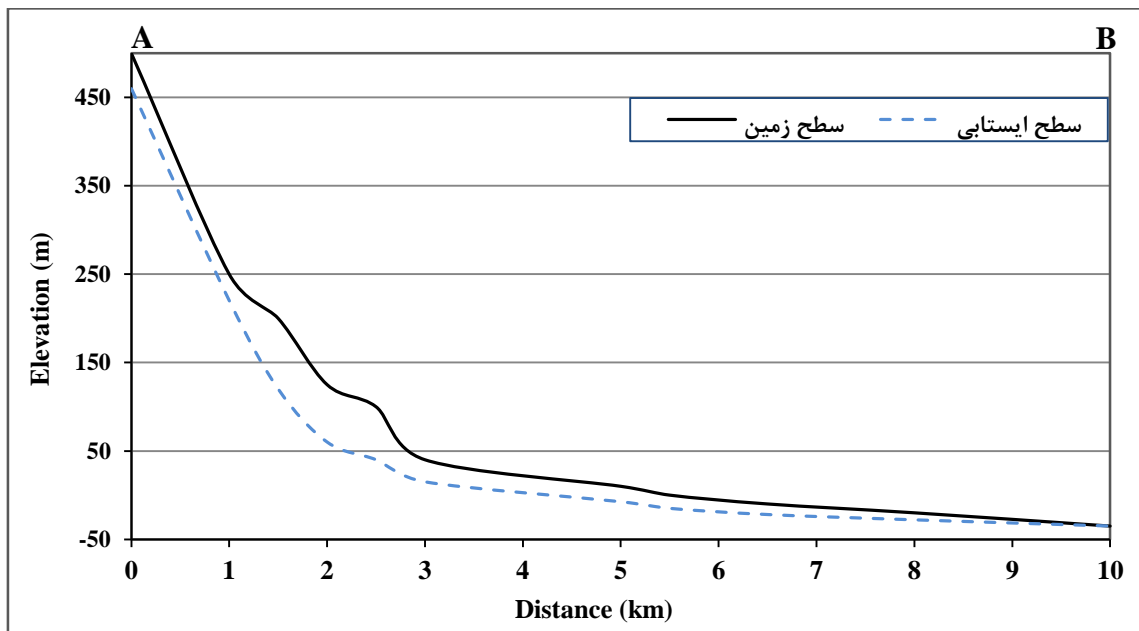
با توجه به شیب هیدرولیکی زیاد در جنوب دریای مازندران حجم زیادی از آب زیرزمینی در این منطقه به دریا می‌ریزد (Kazemi and Tsunogai, 2009). پروفیل AB (شکل ۴-۶) برای دید کلی از توپوگرافی و سطح آب زیرزمینی رسم شده است. برای بدست آوردن میزان تقریبی تخلیه آب زیرزمینی در دریای مازندران از قانون داریسی استفاده شده است. به این منظور در منطقه تخلیه، ۳۰



## فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژیکی آبخوان

متر از ضخامت آبخوان در نظر گرفته شده است و هدایت هیدرولیکی  $۳/۳۳$  متر بر روز و گرادبان هیدرولیکی  $۰/۰۰۶$  متر بر آورد شده است، همچنین بر اساس قانون دارسی نرخ تخلیه آب زیرزمینی به دریا در هر متر از ساحل برابر  $۰/۶$  متر مکعب بر روز می باشد (Kazemi and Tsunogai, 2009). طبق قانون دارسی میزان تخلیه آب زیرزمینی از منطقه مورد مطالعه برابر است با:

$$Q = K.A.I = ۳/۳۳ \times ۳۰ \times ۸۰۳۰ \times ۰/۰۰۶ = ۴۸۱۳/۱۳۸۲ \text{ m}^3/\text{day} \quad \text{رابطه (۳-۴)}$$



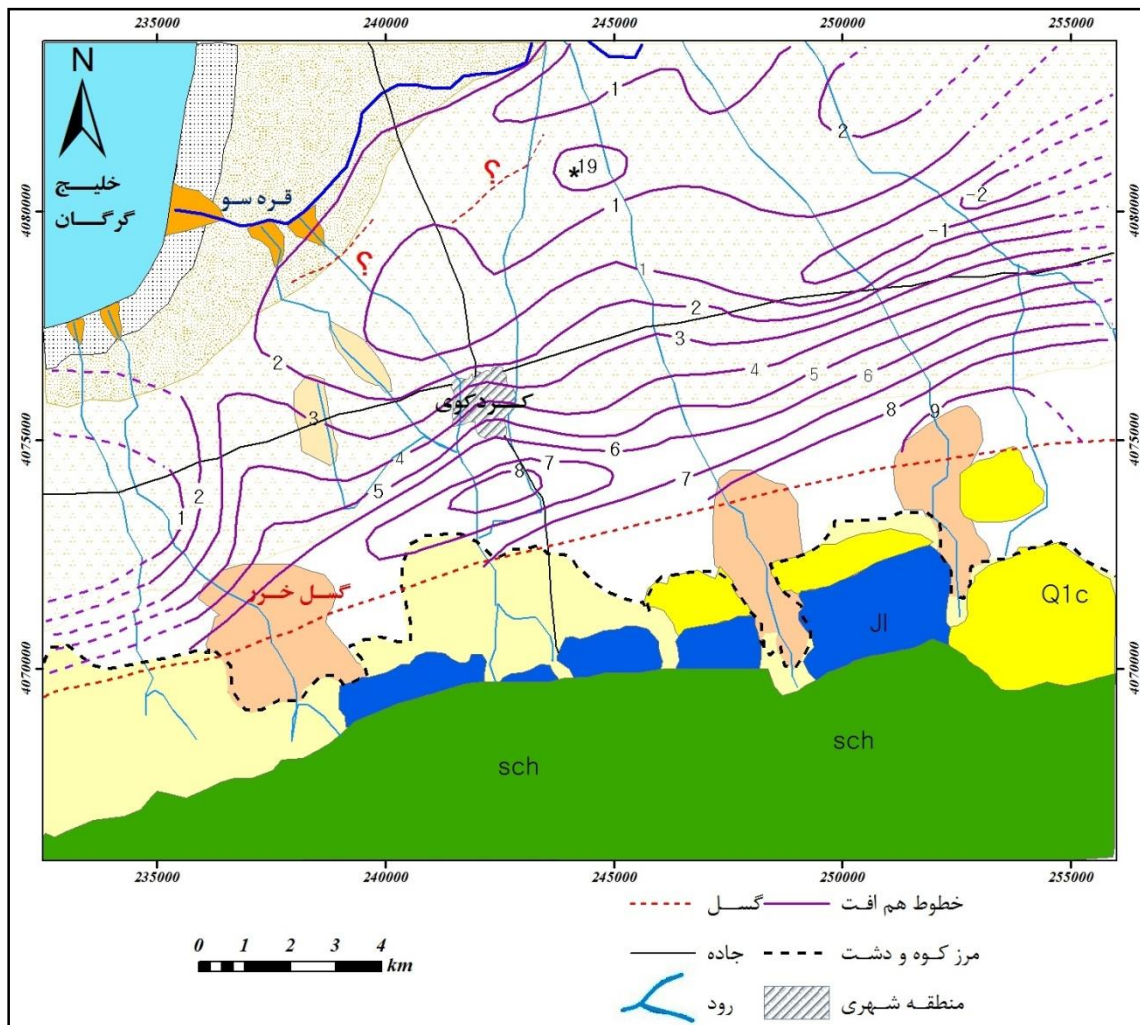
شکل ۴-۶- نیمرخ سطح آب زیرزمینی از دامنه ارتفاعات به سمت دریا

### ۴-۴-۴- بررسی نقشه افت سطح آبهای زیرزمینی

یکی دیگر از پارامترهای لازم برای بررسی هیدروژئولوژی سفره آب زیرزمینی بررسی و مقایسه مقدار افت سطح آب زیرزمینی می باشد که به این منظور نقشه افت آبخوان ترسیم گردید. برای ترسیم نقشه افت باید داده های همه چاهها در یک بازه زمانی یکسان باشند که داده های منطقه مورد نظر از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۸ کامل بوده و در این بازه زمانی ترسیم گردید. شکل (۴-۷) نقشه افت منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

بر اساس نقشه افت مشاهده می شود که در بعضی از نقاط بالا آمدگی سطح آب داریم. میزان افت در نقاط مختلف دشت متفاوت می باشد و به جز چاه مرکز آموزش النگ که با ۱۹ متر افت بیانگر نفوذ در

سفره معلق می‌باشد حداکثر افت، در جنوب شرق کردکوی و به میزان ۹ متر می‌باشد و حداکثر بالا آمدگی نزدیک به ۳ متر می‌باشد. حفر چاههای کشاورزی و همچنین چاههای متعدد آب شرب برای شهرهای کردکوی، بندر ترکمن و گمیشان و استحصال آب از این چاهها در قسمت جنوب و جنوب شرق شهر کردکوی باعث حداکثر افت در این قسمت از منطقه شده است. علت بالا آمدگی آب در نزدیکی مناطق مسکونی منطقه، ورود پسابها و فاضلابهای شهری به سفره آب زیرزمینی می‌باشد. در تعدادی از چاهها که در حریم رودخانهها قرار دارند و از طریق آب رودخانه تغذیه می‌شوند نیز مقداری بالا آمدگی مشاهده می‌شود.

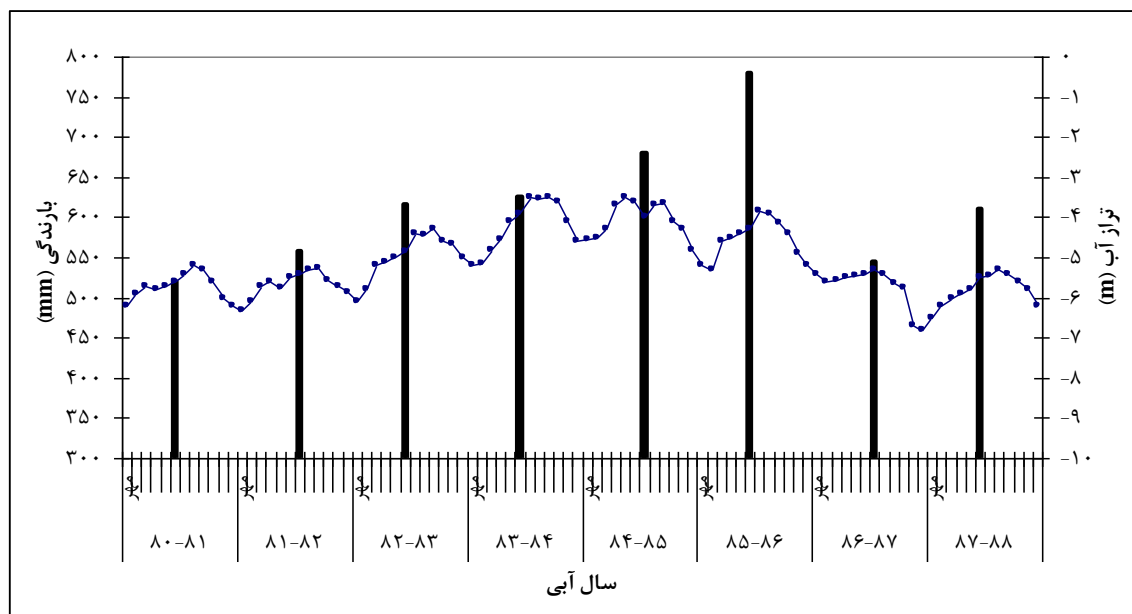


شکل ۴-۷- نقشه افت سطح آبهای زیرزمینی در دشت کردکوی

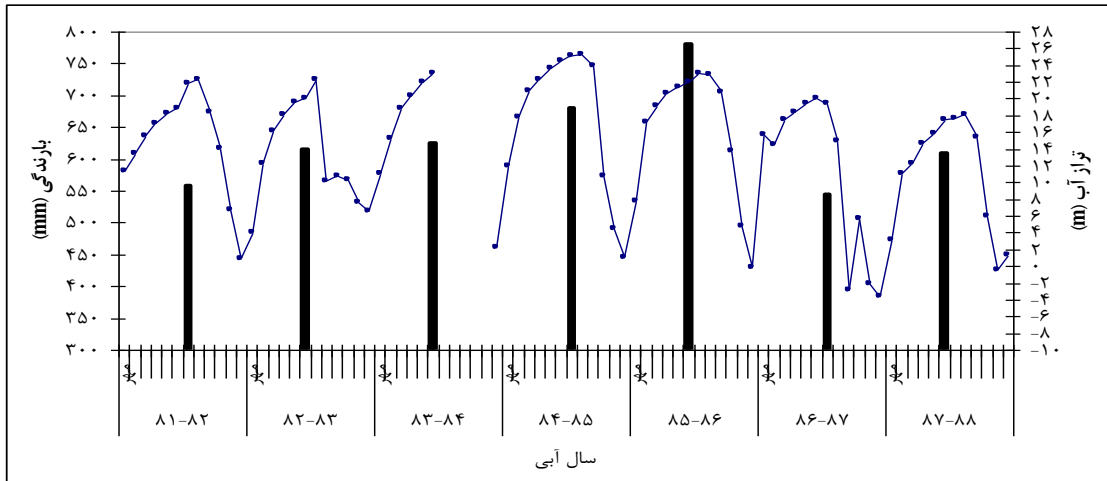
#### ۴-۵- بررسی نوسانات سالانه سطح آب زیرزمینی

تغییرات سطح سفره آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه بر اساس اندازه‌گیریهای ۲۳ حلقه چاه مشاهده‌ای از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸ مورد بررسی قرار گرفت و هیدروگراف مربوط به آنها ترسیم گردید. همچنین برای بررسی تغییرات سطح آب در کل دشت نمودار هیدروگراف واحد دشت نیز ترسیم شد که در شکل (۴-۸) آمده است.

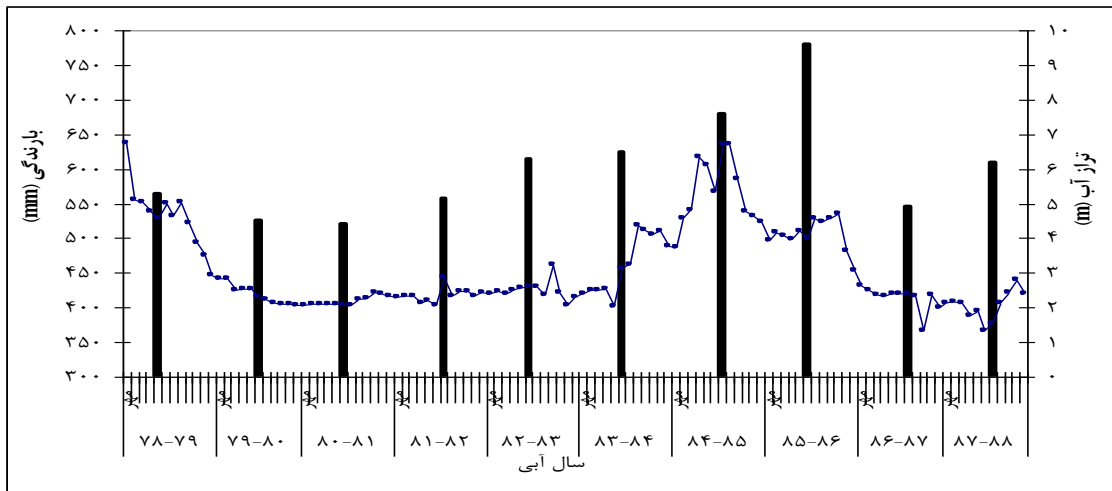
به منظور بررسی رابطه تراز آب با بارندگی، با استفاده از آمار بارندگی ایستگاههای هواشناسی موجود در منطقه، مقادیر بارندگی نیز در این هیدروگرافها ترسیم شد. به طور کلی کلیه نمودارهای نوسانات آب زیرزمینی تناوبی از حداقل و حداکثر سطح آب را نسبت به فصل نشان می‌دهند. وجه تمایز در هیدروگرافهای مذکور فقط در تغییرات ارتفاع حداکثر و حداقل سطح آب و اختلاف در زمان وقوع آنها می‌باشد. در اغلب چاهها حداقل سطح آب در ماههای شهریور و مهر و نقطه حداکثر نیز اسفند و فروردین می‌باشد که دلیل آن برداشت و عدم برداشت آب از این چاهها می‌باشد. به علت تشابه اکثر هیدروگرافها با یکدیگر و کامل نبودن داده‌های سطح ایستابی در برخی از چاهها، هیدروگراف برخی از چاهها در زیر آورده شده است (شکل‌های ۴-۹ تا ۴-۱۳).



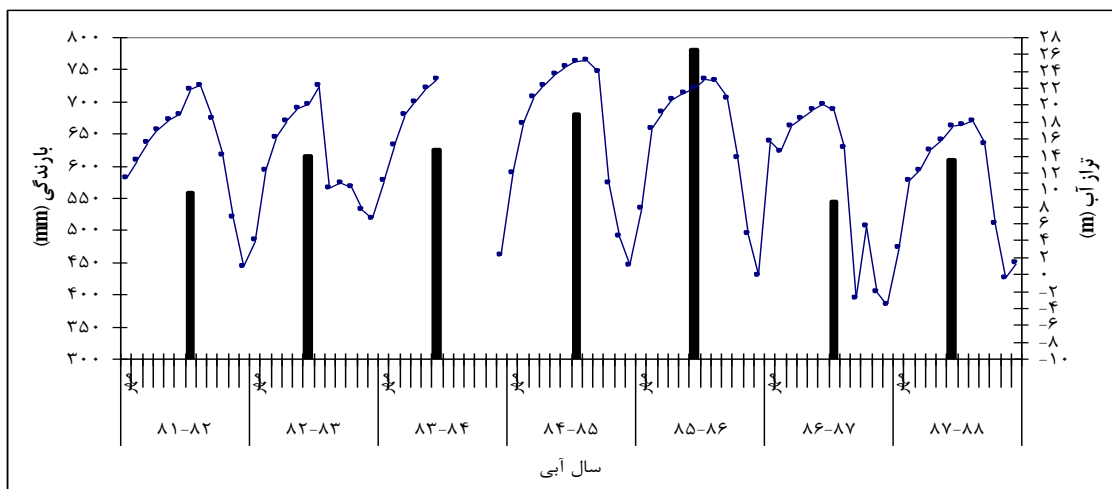
شکل ۴-۸- هیدروگراف واحد دشت کردکوی



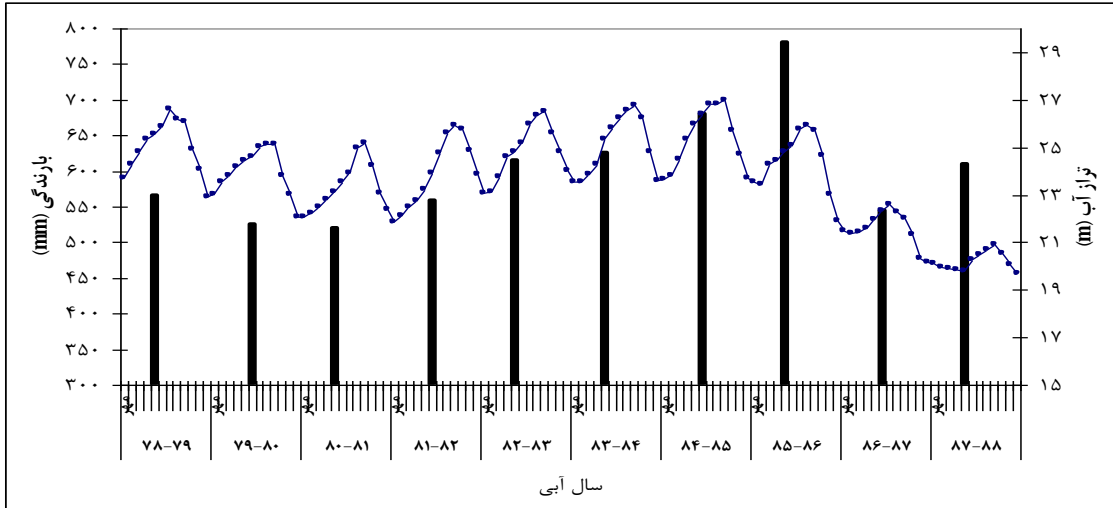
شکل ۹-۴- هیدروگراف پیزومتر مفید آباد



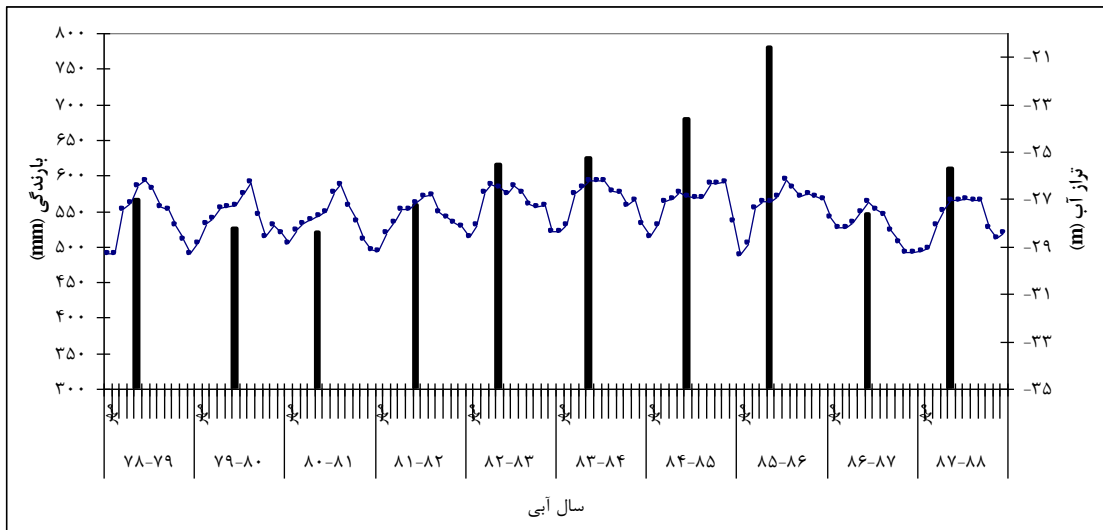
شکل ۱۰-۴- هیدروگراف پیزومتر کردکوی



شکل ۱۱-۴- هیدروگراف پیزومتر شمال یساقی



شکل ۴-۱۲- هیدروگراف پیزومتر درود محله



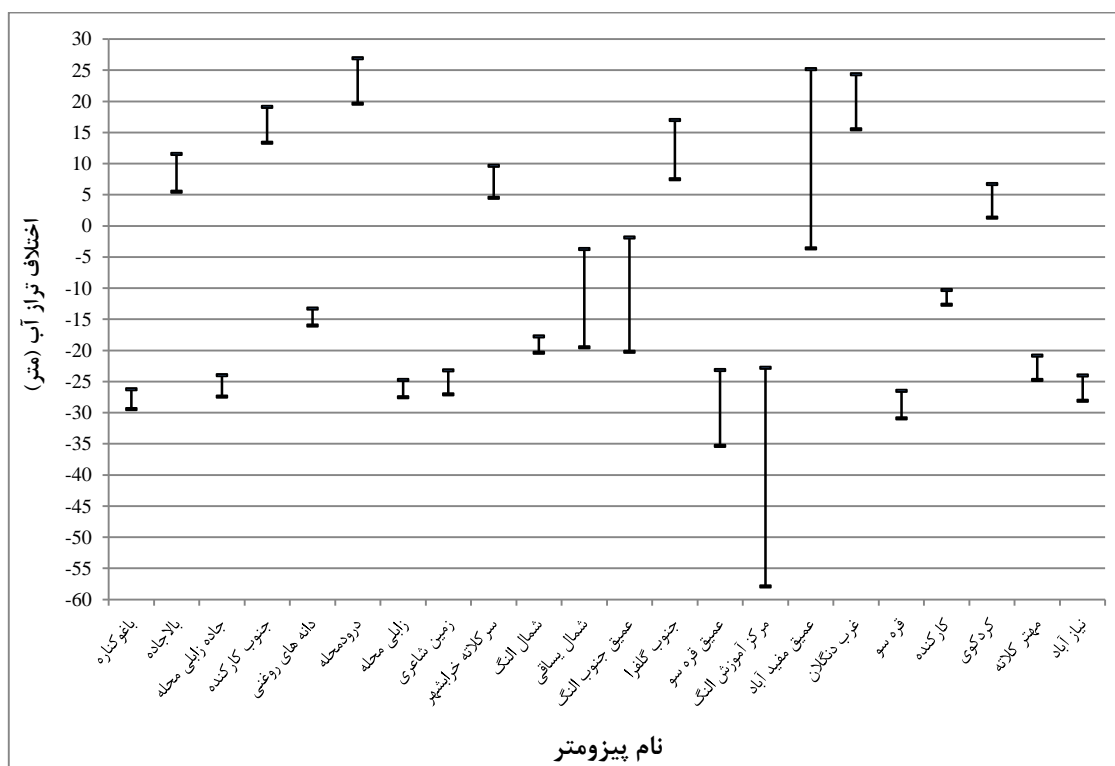
شکل ۴-۱۳- هیدروگراف پیزومتر باغوکناره

همان طور که هیدروگراف واحد دشت نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی به صورت مستقیم با بارندگی تغییر می‌کند. روند کلی هیدروگراف در طول سالهای ۱۳۸۵-۱۳۸۰ سیر صعودی و در طول سالهای ۱۳۸۸-۱۳۸۵ سیر نزولی نشان می‌دهد که می‌توان آن را به میزان نزولات جوی در این سالها نسبت داد.

در تعدادی از چاههای موجود در شرق محدوده مثل درود محله و شمال یساقی حداقل هیدروگراف در شهرپور است اما نقطه حداکثر آن بر خرداد منطبق می‌باشد که بیانگر کوتاه بودن فصل خشک

## فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژیکی آبخوان

می‌باشد که دلیل عمده آن قرار داشتن این چاهها در حاشیه رودخانه شמושک و تغذیه سطحی از رودخانه می‌باشد. در چاههای انتهایی دشت، مثل باغوکناره به دلیل تغذیه دائمی زیرزمینی و تأثیر ناچیز بارندگی و تغذیه سطحی، دارای روند تکراری و منظمی می‌باشد. میزان تغذیه سفره توسط جریانهای سطحی در نواحی جنوبی دشت که دارای آبرفت دانه درشت و نفوذپذیر می‌باشد قابل توجه بوده و در اواسط و شمال دشت به سبب دانه ریز بودن آبرفت تغذیه سطحی ناچیز است.



شکل ۴-۱۴- اختلاف حداکثر و حداقل سطح آب در چاههای کردکوی

روند کلی هیدروگراف اغلب چاهها در طول سالهای ۱۳۸۵-۱۳۸۰ سیر صعودی و در طول سالهای ۱۳۸۱-۱۳۷۹ و ۱۳۸۸-۱۳۸۵ سیر نزولی نشان می‌دهد که می‌توان آنرا به میزان نزولات جوی در این سالها نسبت داد ولی در چاههای عمیق اثر بارندگی ناچیز می‌باشد. چاههای عمیق دارای نوسانات شدید سالیانه می‌باشند که از دلایل این نوسان ناچیز بودن ضریب ذخیره آبخوان می‌باشد. با توجه به تفاوت میزان نوسان سطح آب در چاههای مختلف دشت کردکوی، اختلاف حداکثر و حداقل سطح آب برای مقایسه با یکدیگر در شکل (۴-۱۴) رسم شده است. طبق این شکل بیشترین

اختلاف در چاههای عمیق دیده می‌شود که در آبخوانهای معلق بوده و با توجه به رسوبات ریز دانه منطقه ضریب ذخیره پایینی دارند. همچنین در اکثر پیژومترها اختلاف نقاط حداقل و حداکثر در حد یک متر می‌باشد.

#### ۴-۶- بیان آب زیرزمینی

بیان آب از پارامترهای اساسی آبشناسی است و با تعیین مقادیر کمی اجزاء آن می‌توان تأثیر دخالت انسان در چرخه طبیعی آب و نحوه صحیح بهره‌برداری از منابع آب را روشن کرد. با توجه به معادله بیان آب، می‌توان آبدهی مجاز یا برداشت بیش از حد از آب زیرزمینی را، با توجه به شرایط موجود یا در هر شرایط خاصی در آینده تعیین نمود. در محاسبه بیان آبهای زیرزمینی محدوده مطالعاتی کردکوی از معادله زیر استفاده شده است:

$$\text{رابطه (۴-۴)} \quad (Q_{IN} + Q_P + Q_R + Q_I + Q_{SW}) - (Q_{OUT} - Q_{EX} - Q_D - Q_{ET}) = \pm \Delta V$$

که در این رابطه:

$Q_{IN}$  = حجم جریان آبهای زیرزمینی ورودی به محدوده بیان

$Q_P$  = حجم آب نفوذ یافته از ریزشهای جوی

$Q_R$  = حجم آب نفوذ یافته از جریانهای سطحی

$Q_I$  = حجم آب نفوذ یافته از آبیاری زمینهای کشاورزی و باغات

$Q_{SW}$  = حجم آب نفوذ یافته از طریق پسابهای شهری و روستایی و صنعتی

$Q_{OUT}$  = حجم جریان آبهای زیرزمینی خروجی از محدوده بیان

$Q_{EX}$  = حجم آب تخلیه شده توسط چاه، چشمه و قنات

$Q_D$  = حجم آب زهکشی شده از سفره آبهای زیرزمینی

$Q_{ET}$  = حجم آب تبخیر و تعرق از سفره آب زیرزمینی

$\Delta V$  = تغییرات حجم ذخیره سفره آبهای زیرزمینی در محدوده بیان می‌باشد.

## فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژیکی آبخوان

برای محاسبات بیلان و برقراری رابطه فوق، اندازه‌گیری‌های مستقیم، محاسبات به وسیله معادلات، استفاده از نتایج تجربی و در برخی مواقع از تخمین پارامترهای مختلف استفاده می‌شود. مساحت محدوده بیلان حدود ۱۲۲/۷ کیلومتر مربع می‌باشد که برای سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ توسط شرکت خزرآب محاسبه شده است. بر اساس مقادیر مختلف پارامترهای بیلان و طبق رابطه (۴-۴) تغییرات حجم مخزن در محدوده مورد مطالعه بدست آمده است.

$$\Delta V = [58.4 - 59.63] = -1.23 \text{ (Mm}^3/\text{year)}$$

جدول ۴-۳- مقادیر پارامترهای بیلان سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ (شرکت مهندسی مشاور خزرآب ۱۳۸۶)

ردیف	عوامل تغذیه	حجم آب (Mm <sup>3</sup> /year)	عوامل تخلیه	حجم آب (Mm <sup>3</sup> /year)
۱	حجم جریان آبهای زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان	۴۲/۸۵	حجم جریان آبهای زیرزمینی خروجی از محدوده بیلان	۱۰/۶۳
۲	حجم آب نفوذ یافته از آبیاری زمین‌های کشاورزی و باغات	۳/۵۲	حجم آب تخلیه شده توسط چاه، چشمه و قنات	۳۹/۷۹
۳	حجم آب نفوذ یافته از طریق پسابهای شهری و روستایی و صنعتی	۳/۲۳	حجم آب زهکشی شده از سفره آبهای زیرزمینی	۶/۷۵
۴	حجم آب نفوذ یافته از جریانهای سطحی	۳/۳۷	حجم آب تبخیر و تفرق از سفره آب زیرزمینی	۲/۴۷
۵	حجم آب نفوذ یافته از ریزشهای جوی	۵/۴۳		
	جمع	۵۸/۴		۵۹/۶۳

با توجه به  $\Delta V$  منفی در دشت میزان جریانهای خروجی (طبیعی و مصنوعی) و تخلیه بیشتر از میزان جریانهای ورودی (طبیعی و مصنوعی) و تغذیه می‌باشد. دلیل این مسئله کاهش مقدار بارندگی در سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ و همچنین افزایش بهره‌برداری از تعداد زیادی از چاههای منطقه است. لازم به ذکر است که این رقم بیلان منفی، رقم قابل توجهی نمی‌باشد و با توجه به وسعت دشت نسبتاً کم می‌باشد.



## فصل پنجم: بررسی هیدروژئوشیمیایی آبخوان کردکوی

### ۵-۱- مقدمه

آب زیرزمینی به عنوان اصلی ترین منبع ذخیره آب شیرین مورد استفاده بشر می‌باشد. به دلیل اهمیت آبهای زیرزمینی، تعیین خصوصیات کیفی آن جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت و همچنین ارزیابی پارامترهای موثر بر تغییر کیفیت بسیار ضروری می‌باشد. مطالعه شیمی آبهای زیرزمینی اطلاعاتی از زمین شناسی و رسوبات منطقه و همچنین منشاء آن با توجه به چرخه آب ارائه می‌دهد. به منظور بررسی کیفی آبهای زیرزمینی دشت کردکوی هر ساله در دو نوبت، اردیبهشت ماه و آبان ماه، نمونه برداری از چاههای انتخابی توسط سازمان آب منطقه‌ای گلستان صورت می‌گیرد. در این تحقیق برای بررسی کیفیت آبهای زیرزمینی منطقه از نمونه برداری هر ساله دشت و تعدادی نمونه برداشت شده‌ی دیگر استفاده شده است. با توجه به اینکه مقادیر پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده در طی سال ۱۳۸۸ تفاوت زیادی با یکدیگر ندارند (کمتر از ۱۰٪)، فقط از آنالیز شیمیایی آبان ماه ۱۳۸۸ برای بررسی تغییرات کیفیت آب دشت کردکوی استفاده شده است.

### ۵-۲- بررسی خصوصیات هیدرووشیمیایی

به منظور بررسی خصوصیات کیفی آبخوان آبرفتی کردکوی از ۱۵ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق موجود در منطقه در آبان ماه ۱۳۸۸ (فصل خشک) نمونه برداری شد (شکل ۳-۲). پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری شامل هدایت الکتریکی، اسیدیته و همچنین دمای آب می‌باشد.

جدول ۵-۱- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی چاههای منطقه

علامت اختصاری	نام محل نمونه برداری	UTM		EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Ca <sup>2+</sup> (meq/l)	Mg <sup>2+</sup> (meq/l)	Na <sup>+</sup> (meq/l)	K <sup>+</sup> (meq/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	Cl <sup>-</sup> (meq/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq/l)	درصد خطا
		X	Y									
w1	النگ	245740	4074928	603	3.8	2.3	0.52	0.01	5.6	0.5	0.42	0.84
W2	ایلوار - حمام	249565	4075881	1576	6.2	4.5	4.03	2.5	10.2	3.6	3.33	0.29
W3	باغو کناره	235244	4075918	690	3.7	2.6	0.62	0.01	6.2	0.5	0.25	0.14
W4	دامداری عبدوی	237829	4081896	4040	4	6	30.5	0.1	8.8	31.8	0.04	0.05
W5	دنگلان	253811	4075635	615	4	2.2	0.54	0.03	6	0.5	0.29	0.15
W6	زابلی محله	244968	4083236	732	1.5	3.4	3.05	0.06	6.5	1	0.5	0.06
W7	سالیکنده	239176	4073770	1759	4.8	3.6	3.97	0.4	13	2.5	3.12	0.4
W8	سرطاق	232645	4070917	560	3.1	2.5	0.35	0.01	5	0.4	0.56	0
W9	سرکلاته خرابشهر	238028	4069764	993	8.2	1.1	0.93	0.23	7.4	1.7	1.16	0.97
W10	غلام آباد	251226	4082810	703	2	3.6	1.54	0.04	5.8	0.8	0.62	0.28
W11	قره سو فرزین	239788	4079718	2630	12.6	2.2	10.42	1.36	9	8.2	9.15	0.43
W12	کارکنده	235364	4072440	682	3.4	2.8	0.62	0.01	6	0.5	0.33	0
W13	کردکوی	243558	4073050	1368	3.7	3.6	6.42	0.04	5.1	8.3	0.42	0.22
W14	مرغداری کیا	240013	4081268	2130	1.5	1.5	18.44	0.06	7.8	13.4	0.17	0.3
W15	مهتر کلاته- وردان	250750	4081582	1620	1.8	7.2	8.64	0.08	11.4	3.1	3.16	0.17

## فصل پنجم: بررسی هیدروژئوشیمی آبخوان

سایر پارامترهای مورد ارزیابی شامل سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات، کلر و سولفات می‌باشد که در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده‌اند. برای ترسیم نقشه‌های کیفی و برخی نمودارها با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی، به پارامترهایی نیاز است که قبل از ترسیم این اشکال محاسبه شدند. جداول (۱-۵) و (۲-۵) به ترتیب خصوصیات هیدروژئوشیمیایی چاههای منطقه در آبان ماه ۱۳۸۸ و پارامترهای محاسبه شده مورد نیاز را نشان می‌دهد.

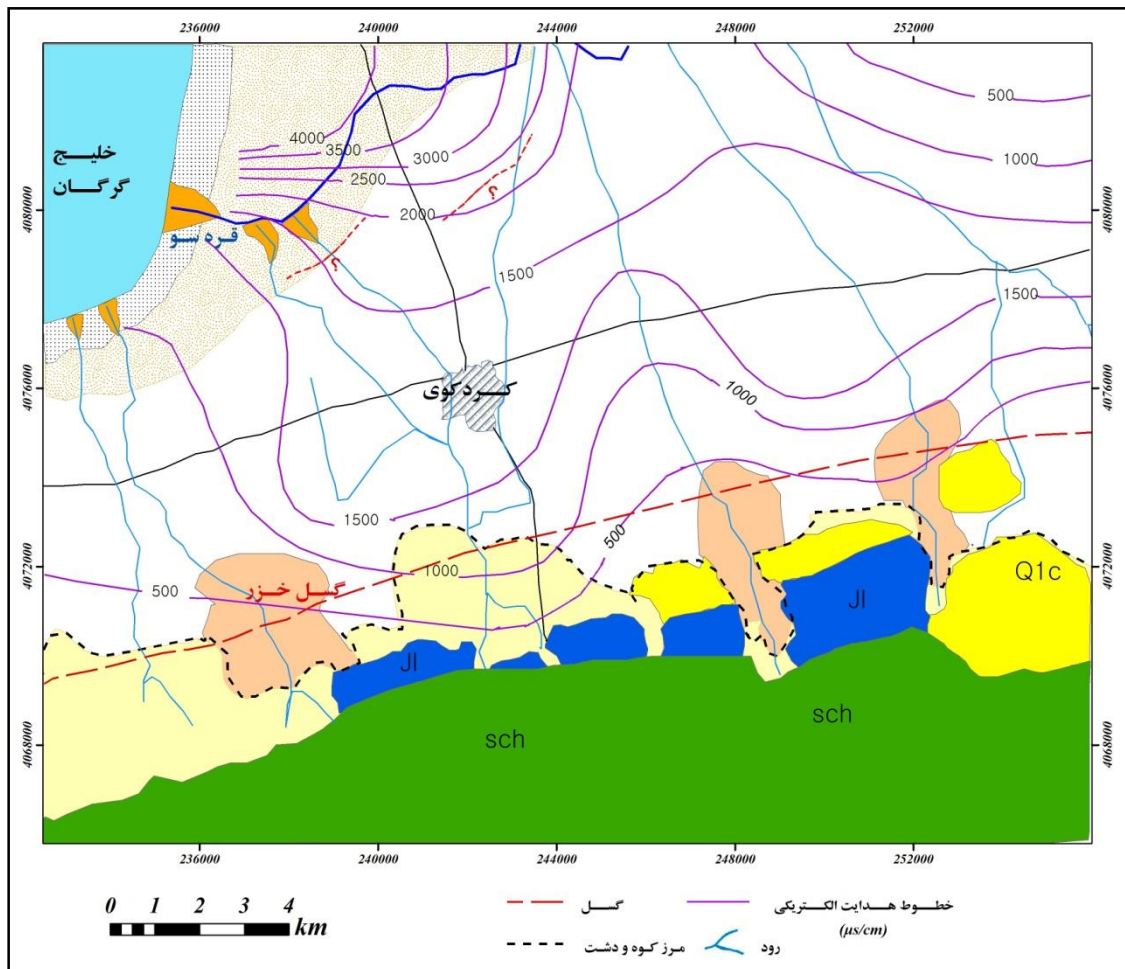
جدول ۲-۵- مقادیر پارامترهای محاسبه شده چاههای منطقه

محل نمونه برداری	SAR	قلیائیت (mg/l)	سختی کل mg/l CaCO <sub>3</sub>	T.D.I (meq/l)	T.D.S (mg/l)	Na Σ cation	Cl Σ anion
النگ	0.3	12.35	303.35	13.15	368	0.08	0.08
ایلوار - حمام	1.74	190.19	531.84	34.36	963	0.23	0.21
باغو کناره	0.35	14.65	313.17	13.88	422	0.09	0.07
دامداری عبدوی	13.64	705.4	496.04	81.24	2383	0.75	0.78
دنگلان	0.31	13.59	308.4	13.56	376	0.08	0.07
زابلی محله	1.95	72.49	242.8	16.01	445	0.38	0.13
سالیکنده	1.94	340.91	417.48	37.39	1072	0.21	0.13
سرتاق	0.21	8.44	278.26	11.92	342	0.06	0.07
سرکلانه خرابشهر	0.43	30.36	463.83	20.72	605	0.09	0.17
غلام آباد	0.92	36.98	277.65	14.4	428	0.21	0.11
قره سو - حسین فرزین	3.83	292.7	737.88	52.93	1592	0.39	0.31
کارکنده	0.35	14.65	308.06	13.66	418	0.09	0.07
کردکوی	3.36	149.22	362.55	27.58	875	0.47	0.6
مرغداری کباء	15.06	426.46	148.98	42.87	1384	0.86	0.63
مهتر کلاته - وردان	4.07	201.84	445.43	35.38	976	0.49	0.18

### ۲-۵-۱- بررسی قابلیت هدایت الکتریکی

قابلیت هدایت الکتریکی (EC) معیاری است که جهت سنجش توانایی یک محلول برای انتقال الکتریسیته به کار می‌رود. همچنین به دلیل اینکه این فاکتور تابعی از حضور یونهای موجود در یک محلول می‌باشد و با کل مواد جامد حل شده در آب (TDS) رابطه مستقیم دارد، یکی از مهمترین خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی به شمار می‌رود. عوامل تأثیرگذار بر روی قابلیت هدایت الکتریکی

آب بسیار زیاد می‌باشد از جمله می‌توان به لیتولوژی و زمین شناسی آبخوان، مدت زمان اقامت آب در داخل آبخوان و سرعت حرکت آب در زمین، بارش‌های جوی، زه‌آبهای کشاورزی، ورود فاضلاب‌ها و روانابهای مختلف از جمله پسابهای شهری و صنعتی اشاره نمود. در شکل (۵-۱) نقشه هدایت الکتریکی منطقه مطالعاتی نشان داده شده است.



شکل ۵-۱- نقشه هدایت الکتریکی دشت کردکوی

با توجه به اینکه غلظت املاح موجود در آب زیرزمینی در جهت حرکت آب افزایش می‌یابد و همان‌طور که نقشه هدایت الکتریکی نشان می‌دهد به طور کلی میزان هدایت الکتریکی از سمت جنوب و جنوب شرقی به سمت شمال و شمال غربی (از سمت ارتفاعات به سمت دریا) افزایش یافته است، که این جهت منطبق بر جهت جریان آبهای زیرزمینی است. افزایش هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در

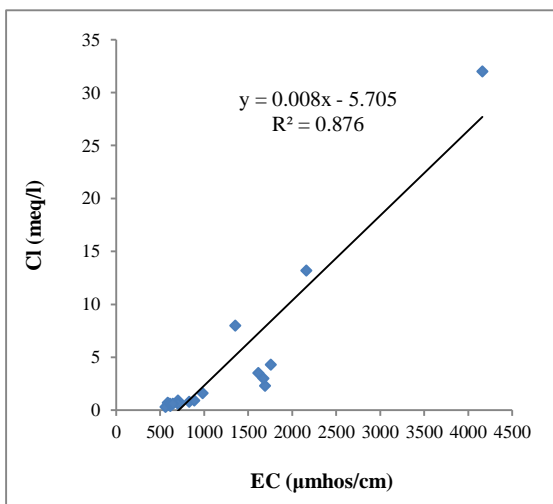
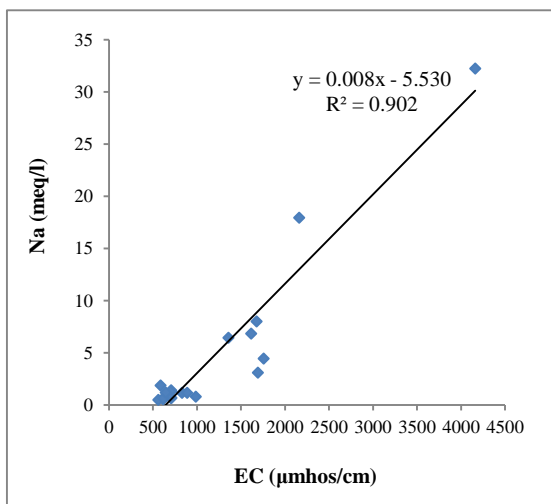
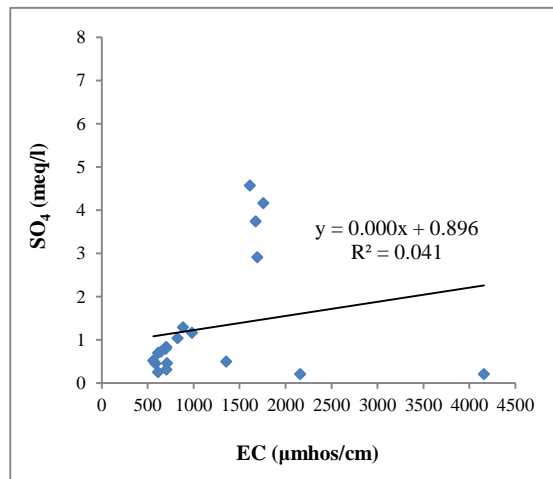
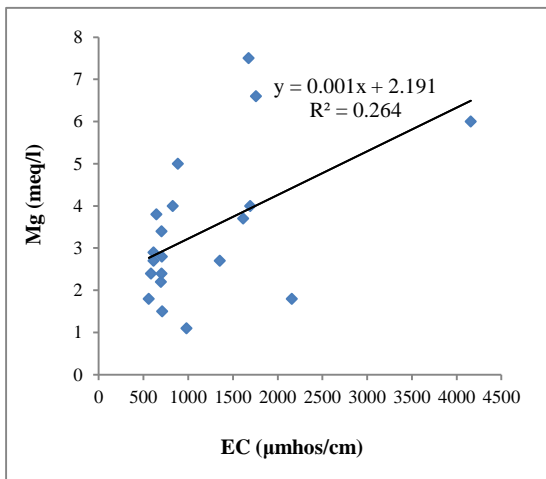
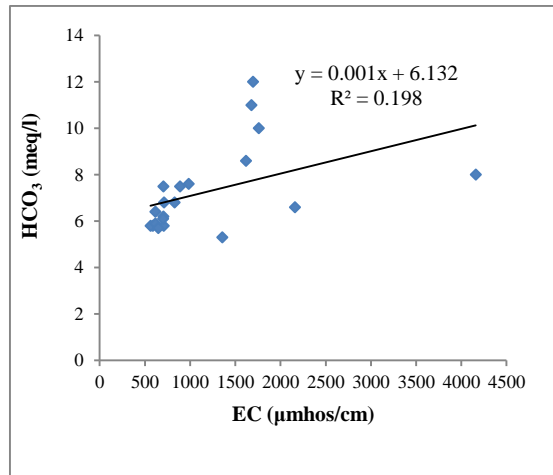
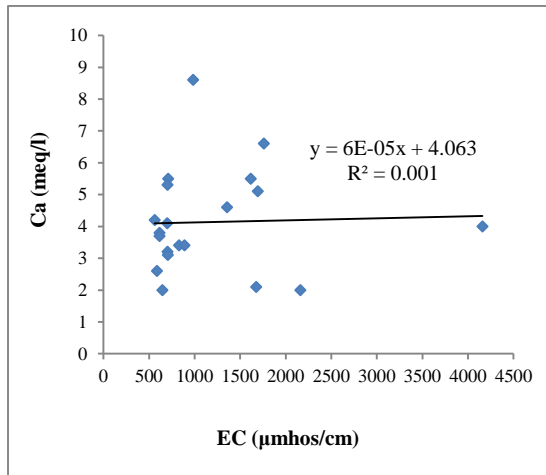
همه جا از روند یکسانی برخوردار نیست و در بعضی از موارد از روند کلی تبعیت نمی‌کند که دلیل آن پیشروی آب دریا در گذشته و بر جای ماندن رسوبات ریز دریایی و آبهای فسیلی می‌باشد.

بر اساس داده‌های موجود میزان هدایت الکتریکی دشت کردکوی از ۵۶۰ تا ۴۰۴۰ میکروموس بر سانتیمتر تغییر می‌کند. در نواحی جنوبی به دلیل نزدیک بودن به محل تغذیه و منشاء گرفتن از رسوبات مخروط افکنه‌ای، آبهای زیرزمینی هدایت الکتریکی پایین و کیفیت مناسبی دارند. همچنین در شمال شرق منطقه به دلیل قرار داشتن چاهها در بستر رودخانه و تغذیه آبخوان از طریق رودخانه شמושک که موجب شسته شدن رسوبات از املاح شیمیایی دریای قدیمی و پاکسازی آنها به سمت رودخانه قره سو شده است، آب زیرزمینی دارای هدایت الکتریکی پایین و کیفیت مناسب می‌باشد. در جنوب شهر کردکوی ملاحظه می‌شود که خطوط هدایت الکتریکی به یکدیگر نزدیک می‌باشند که حکایت از افزایش هدایت الکتریکی دارد.

به دلیل حفر چاههای عمیق و استخراج دائمی آب به میزان بالا برای تأمین آب شرب شهرهای کردکوی، بندر ترکمن و گمیشان آب در این با آب فسیلی مخلوط و باعث افت کیفیت شده است. در انتهای دشت و در قسمت شمال غرب منطقه به دلیل قرار گرفتن در منطقه تخلیه آبخوان، تبخیر از سطح آب زیرزمینی، پیشروی آب دریا و همچنین تخلیه زه‌آبهای کشاورزی در رودخانه قره سو، هدایت الکتریکی در این قسمت از آبخوان بسیار بالا است.

لازم به ذکر است طبق استاندارد ایران مقدار مجاز هدایت الکتریکی برای آب آشامیدنی ۱۵۰۰ میکروموس بر سانتیمتر می‌باشد که بجز بخش حاشیه ارتفاعات منطقه مورد مطالعه سایر مناطق دارای مقادیر بالاتر از حد استاندارد می‌باشند.

به منظور تعیین ارتباط بین هدایت الکتریکی با سایر یونها نمودار تغییرات یونهای کلسیم، منیزیم، سدیم، بیکربنات، سولفات و کلر در برابر هدایت الکتریکی رسم شده است. شکل (۵-۲) این نمودارها را نشان می‌دهد.

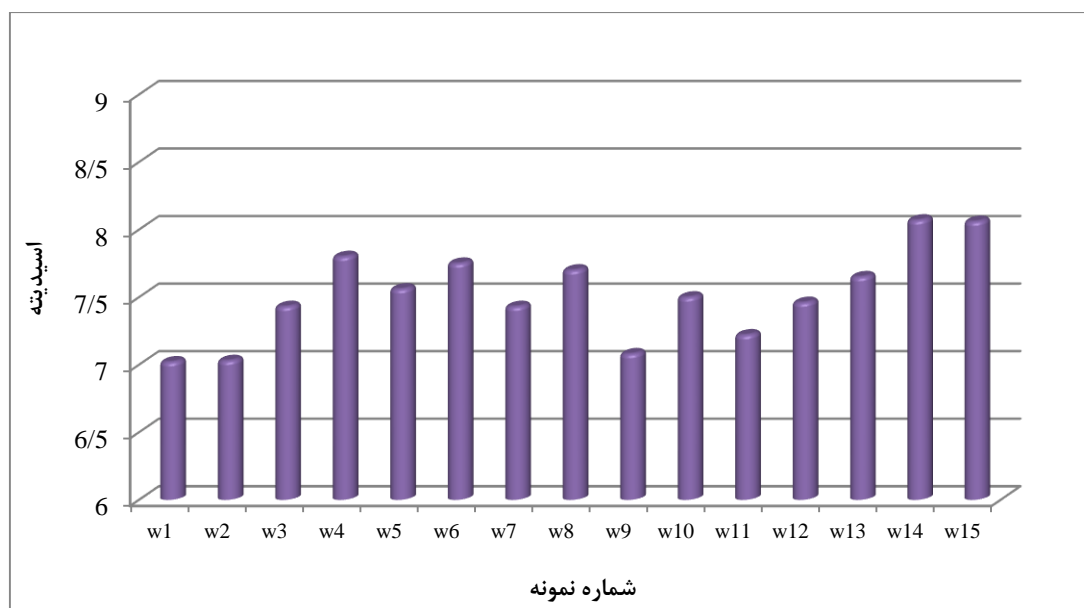


شکل ۵-۲- نمودار رابطه‌ی یونهای مختلف و هدایت الکتریکی در دشت کردکوی

بر اساس نمودارهای ترسیم شده و بر پایه آنالیزهای برداشت شده در محدوده مورد مطالعه بین میزان هدایت الکتریکی و یونهای مختلف همبستگی وجود دارد. در بین یونهای مختلف، سدیم و کلر دارای بیشترین همبستگی و بعد از این یونها منیزیم و سولفات با هدایت الکتریکی دارای بیشترین همبستگی می‌باشند ولی بقیه یونها تغییرات کاملاً یکنواختی را با هدایت الکتریکی نشان نمی‌دهند. این موضوع احتمالاً به خاطر پدیده‌هایی نظیر تبادل کاتیونی، جذب یونی و دیگر عوامل می‌باشد و این اتفاق در مورد یونهای بی‌کربنات و کلسیم، در نمودارها به وضوح قابل مشاهده است.

### ۵-۲-۲- بررسی اسیدیته

اسیدیته (pH) که نشانگر یون هیدروژن در آب می‌باشد از مهمترین خواص فیزیکوشیمیایی آب است که می‌تواند بر روی انحلال مواد و همچنین فعالیت بیولوژیکی آن اثر بگذارد. اهمیت اندازه‌گیری اسیدیته از این جهت است که قدرت حلالیت آب با اسیدیته تغییر می‌کند.



شکل ۵-۳- مقادیر اسیدیته نمونه‌ها

مقدار اسیدیته آب به عواملی مانند میزان دی‌اکسید کربن محلول در آب، مقدار آنیون‌های بی‌کربنات و کربنات و همچنین درجه حرارت آب وابسته است. با افزایش مقدار دی‌اکسید کربن محلول در آب

مقدار اسیدیته کاهش و با افزایش مقدار بیکربنات و کربنات مقدار آن افزایش می‌یابد، همچنین درجه حرارت آب دارای اثر معکوس بر روی اسیدیته آب می‌باشد. میزان اسیدیته نمونه‌های آب زیرزمینی در شکل (۳-۵) نشان داده شده است. مقدار مجاز اسیدیته‌ی آب آشامیدنی بین  $6/5$  تا  $8/5$  می‌باشد و همان طور که دیده می‌شود اسیدیته نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد نظر بین  $7/02$  تا  $8/07$  متغیر می‌باشد.

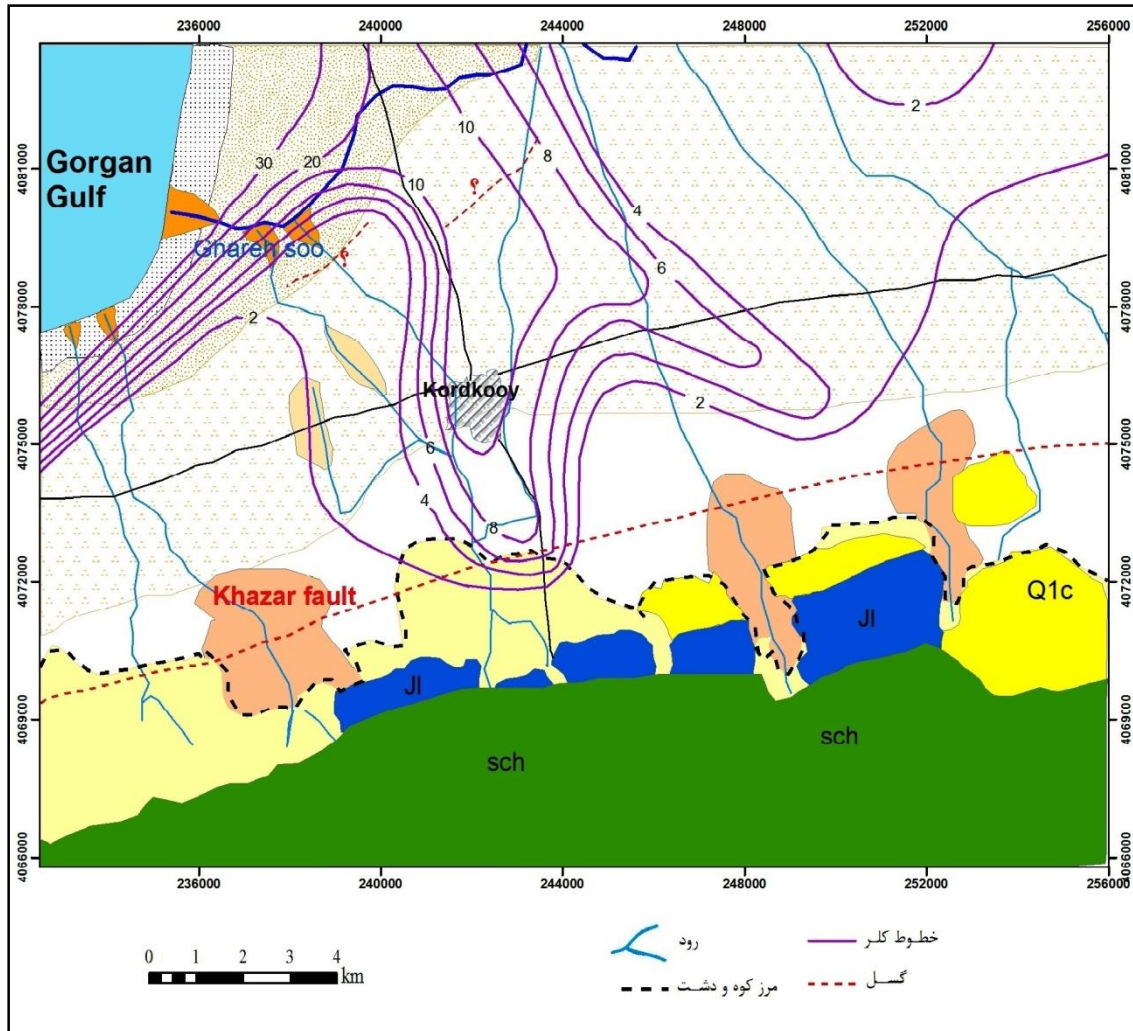
### ۵-۲-۳- بررسی تغییرات یون کلر

در آبهای زیرزمینی برای کلر، سه منشاء مختلف می‌توان در نظر گرفت: (۱) کلر موجود در آب دریاها، قدیمی که بین لایه‌های رسوبی به دام افتاده‌اند (آب‌های فسیل). (۲) کلر حاصل از انحلال کانی نمک و سایر کانیهای تبخیری کلردار. (۳) کلر موجود در آب نزولات جوی. از آنجایی که یون کلرید عمدتاً به صورت ترکیبات سدیم و منیزیم در طبیعت وجود دارد و با توجه به حلالیت قابل توجه این این ترکیبات در آب، مقادیر قابل ملاحظه‌ای از این یون در آب زیرزمینی وجود دارد. شکل (۴-۵) نقشه کلر دشت کردکوی را نشان می‌دهد.

مقدار مجاز کلر آب آشامیدنی کمتر از  $7/04$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. در محدوده مورد مطالعه در برخی نقاط غلظت یون کلر موجود در نمونه‌های آب زیرزمینی بیش از حد مجاز است. میزان غلظت این یون در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه بین  $0/4$  تا  $31/8$  میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر می‌باشد. بر اساس این نقشه کمترین غلظت کلر در منطقه، مربوط به جنوب، جنوب شرق و شمال شرقی می‌باشد. با توجه به نقش ارتفاعات جنوبی منطقه در تغذیه آبخوان و رودخانه شموشک در شرق منطقه، پایین بودن میزان کلر در این قسمت‌ها توجیه‌پذیر می‌باشد. بیشترین غلظت کلر نیز مربوط به شمال غربی منطقه می‌باشد. با توجه به اینکه جهت حرکت آب زیرزمینی از سمت کوه به دریا (جنوب و جنوب شرق به شمال و شمال غرب) می‌باشد، غلظت کلر نیز در این جهت افزایش یافته و شیب منحنی‌ها نیز افزوده می‌شود. همچنین عمق کم آب زیرزمینی در این قسمت و تبخیر از سطح آب زیرزمینی و پیشروی آب دریا از دیگر عوامل افزایش میزان کلر در شمال غرب منطقه می‌باشند. در جنوب شهر کردکوی نیز به دلیل برداشت بی‌رویه از چاههای عمیق برای شرب شهرهای کردکوی،



بندر ترکمن و گمیشان خطوط هم کمر به یکدیگر نزدیک شده و بیانگر تغییرات بسیار زیاد مقدار کلر در فاصله اندک می باشد.

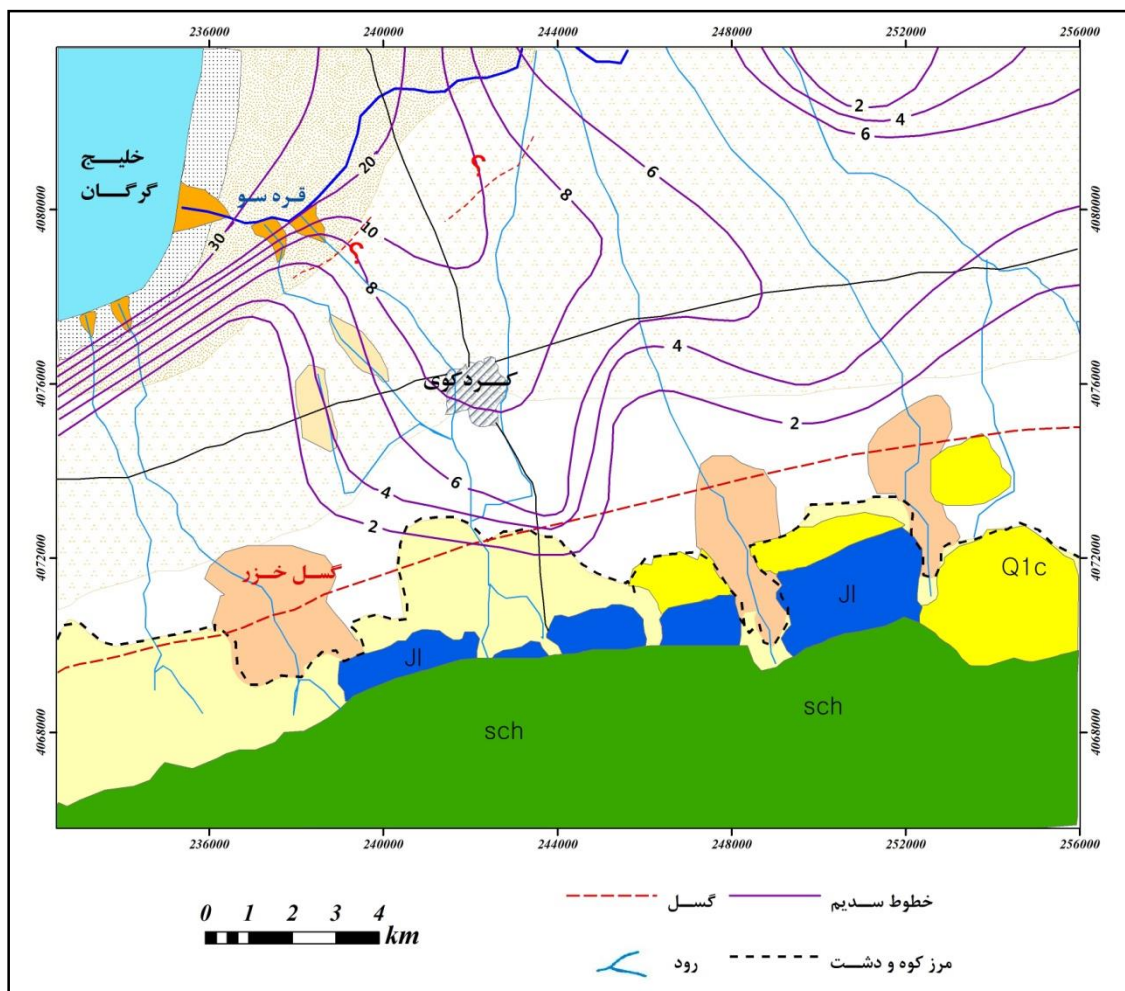


شکل ۵-۴- نقشه کلر دشت کردکوی

#### ۵-۲-۴- بررسی تغییرات یون سدیم

سدیم به صورت طبیعی از فلدسپارها (آلبیت)، کانی های رسی و سنگهای تبخیری منشاء می گیرد. شکل (۵-۵) نقشه سدیم آبخوان کردکوی را نشان می دهد. بر اساس شکل مذکور، حداقل میزان غلظت این یون ۰/۳۵ میلی اکی والان بر لیتر است که در ابتدای آبخوان (قسمت جنوبی منطقه) و در

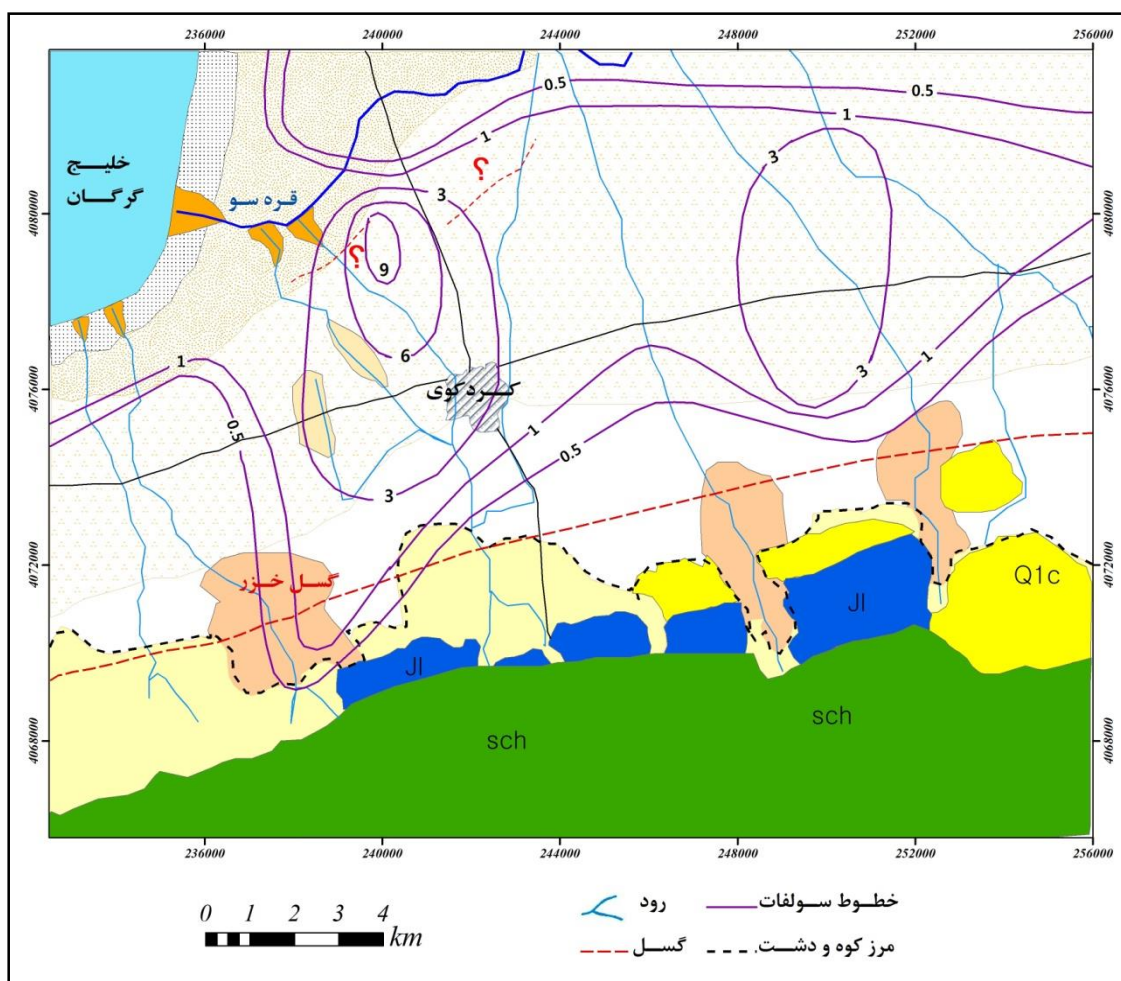
حاشیه ارتفاعات دیده می‌شود و بیشترین غلظت آن ۳۰/۵ میلی اکی والان بر لیتر است که در خروجی آبخوان در شمال غرب منطقه دیده می‌شود. با توجه به نقشه سدیم منطقه ملاحظه می‌شود که روند تغییرات سدیم نیز مطابق با روند عمومی تغییرات هدایت الکتریکی و کلر می‌باشد، یعنی از سمت جنوب، جنوب شرق و شمال شرق به سمت شمال و غرب مقدار آن افزایش می‌یابد. همچنین همانند کلر در جنوب شهر کردکوی نیز به دلیل برداشت بی رویه خطوط هم سدیم به یکدیگر نزدیک شده و بیانگر افزایش مقادیر سدیم در این قسمت دشت می‌باشد.



شکل ۵-۵- نقشه سدیم دشت کردکوی

۵-۲-۵- بررسی تغییرات یون سولفات

سولفات یک یاز آنیونهای اصلی است و از منابع مختلف می‌تواند در آبهای سطحی و زیرزمینی نفوذ کند. منشاء سولفات در آبهای زیرزمینی ناشی از اکسیداسیون سولفیدها، ژیپس و انیدریت و همچنین ورود فاضلابهای شهری و صنعتی است. مقدار مجاز سولفات آب آشامیدنی کمتر از  $۸/۳۳$  میلی اکی والان بر لیتر می‌باشد که غلظت این یون فقط در نمونه قره سو احتمالاً به علت وجود ژیپس در رسوبات و ورود فاضلابهای شهری و پسابهای کشاورزی به رود قره سو بیشتر از مقدار مجاز می‌باشد. شکل (۵-۶) نقشه سولفات دشت کردکوی را نشان می‌دهد. حداقل میزان غلظت این یون  $۰/۰۴$  میلی اکی والان بر لیتر و بیشترین غلظت آن  $۹/۱۵$  میلی اکی والان بر لیتر است که هر دو در شمال غرب منطقه دیده می‌شود.

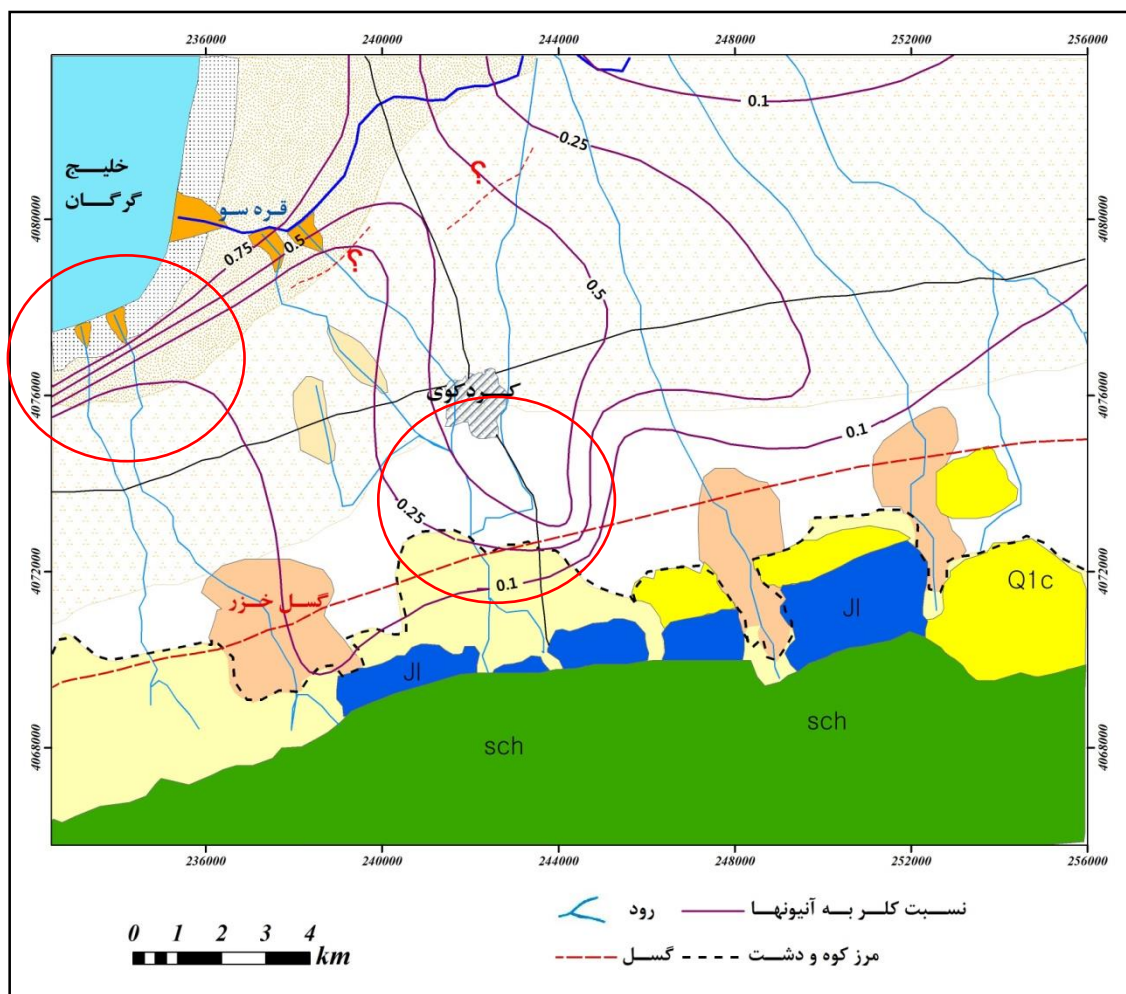


شکل ۵-۶- نقشه سولفات دشت کردکوی

وجود یک گسل فرعی و انحلال ژپس در این قسمت و همچنین ورود فاضلابهای شهری و روستایی باعث شده که در مرکز دشت بیشترین غلظت سولفات را داشته باشیم. در حاشیه جنوبی دشت به علت عدم وجود کانیهای حاوی سولفات و پوشیده بودن منطقه از جنگل، امکان کشاورزی و شهرنشینی وجود ندارد و به همین دلیل آب این قسمت سولفات اندکی دارد. حاشیه شمالی دشت نیز به دلیل عبور رود قره سو و شستن رسوبات توسط این رود دارای حداقل سولفات می باشد.

### ۵-۲-۶- نسبت کلر به مجموع آنیونها

همانطور که قبلاً ذکر شد پس از دریافت نتایج آنالیز نمونه‌ها برخی از نسبتهای یونی مانند کلر به مجموع آنیونها محاسبه شد. شکل (۵-۷) نقشه نسبت یون کلر به مجموع آنیونها را نشان می دهد.

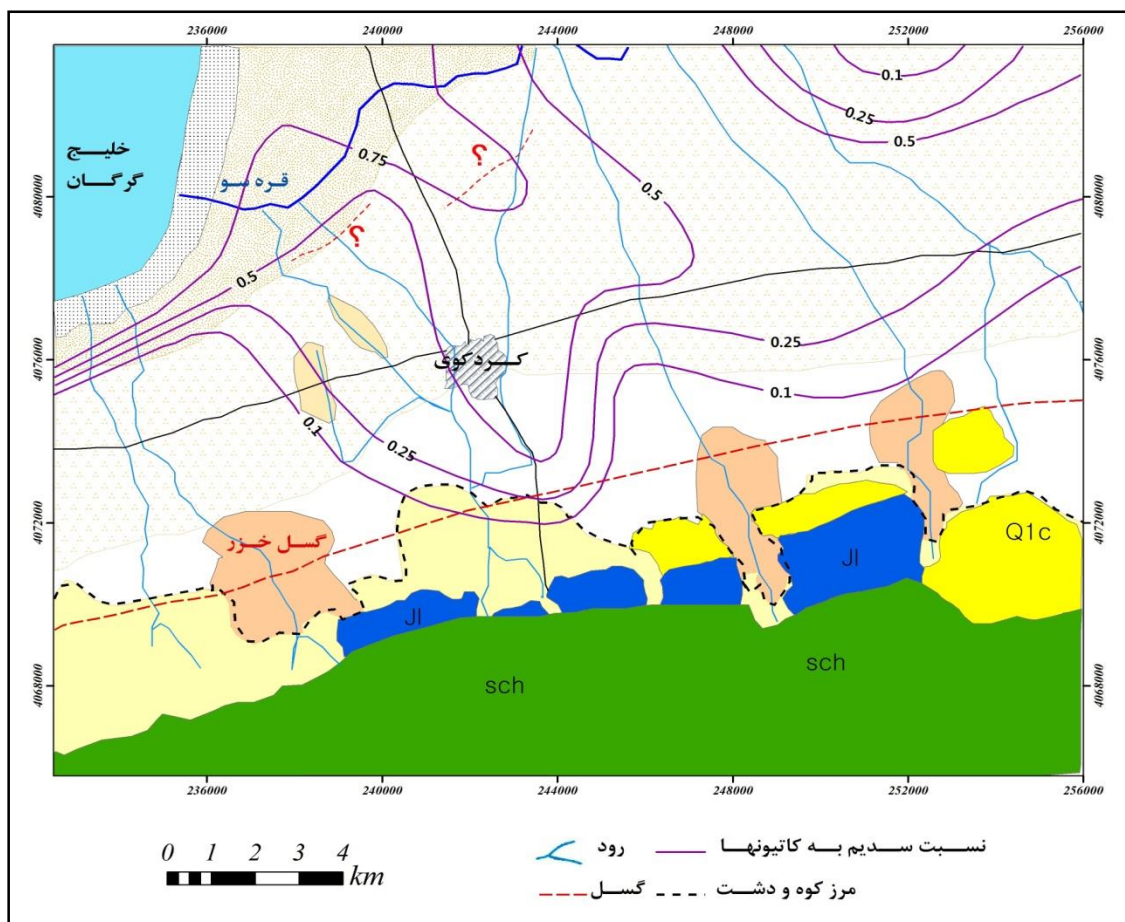


شکل ۵-۷- نقشه نسبت کلر به مجموع آنیونهای دشت کردکوی

بر اساس محاسبات انجام شده حداقل نسبت کلر به مجموع آنیونها ۰/۰۷ می باشد که در جنوب منطقه و در حاشیه ارتفاعات دیده می شود و حداکثر این نسبت ۰/۷۸ است که در خروجی آبخوان و در شمال غرب منطقه مورد مطالعه مشاهده می شود. روند افزایش نسبت کلر به مجموع آنیونها مانند روند تغییرات هدایت الکتریکی بوده و نقاطی که در شکل مشخص شده اند، در جنوب شهر کردکوی به علت برخورد به آب فسیلی و در شمال غرب منطقه نیز به دلیل پیشروی آب دریا این نسبت افزایش نشان می دهد.

### ۵-۲-۷- نسبت سدیم به مجموع کاتیونها

افزایش نسبت سدیم به مجموع کاتیونها مانند افزایش نسبت کلر به مجموع آنیونها نشان دهنده تخریب کیفیت آب زیرزمینی در یک منطقه می باشد.



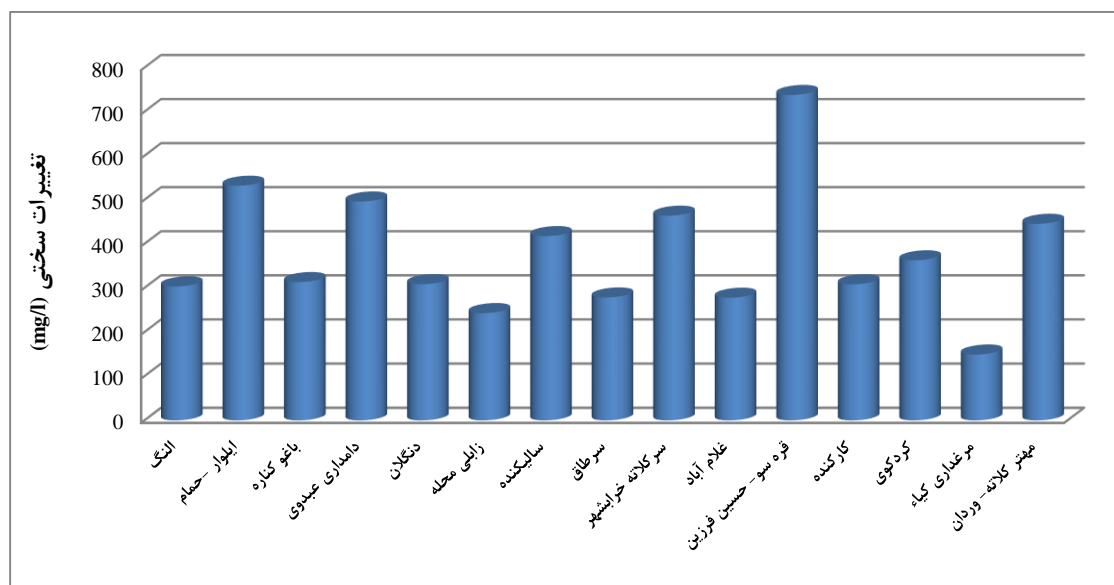
شکل ۵-۸- نقشه نسبت سدیم به مجموع کاتیونهای دشت کردکوی

روند تغییرات نسبت سدیم به مجموع کاتیونها مانند روند تغییرات نسبت کلر به مجموع آنیونها می‌باشد (شکل ۵-۸). به این ترتیب که حداقل نسبت سدیم به مجموع کاتیونها ۰/۰۶ می‌باشد که در جنوب منطقه و در حاشیه ارتفاعات دیده می‌شود و حداکثر این نسبت ۰/۷۵ است که در خروجی آبخوان و در شمال غرب منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. نقشه نسبت سدیم به مجموع کاتیونها نشان می‌دهد که این نسبت نیز دارای روندی مشابه با روند تغییرات کلر به مجموع آنیونها می‌باشد و تا حدودی نیز مشابه روند تغییرات هدایت الکتریکی و سدیم می‌باشد. پایین بودن این نسبت در جنوب منطقه به علت تغذیه از ارتفاعات و آب باران و همچنین دانه درشت بودن رسوبات در این قسمت از منطقه می‌باشد. با توجه به دانه درشت بودن و بالا بودن قابلیت انتقال رسوبات جنوب منطقه، زمان ماندگاری آب کوتاه بوده و فرصت کافی برای انحلال مواد مختلف وجود ندارد و در نتیجه آب نفوذی به سفره آب زیرزمینی دارای املاح پایینی می‌باشد.

### ۵-۲-۸- بررسی روند تغییرات سختی آب

همانطور که در قبل ذکر شد پس از دریافت نتایج آنالیز نمونه‌ها برخی از پارامترها مانند سختی محاسبه شد. شکل (۵-۹) نمودار تغییرات سختی را نشان می‌دهد. بر اساس محاسبات انجام شده غلظت یونهای  $Ca^{+2}$  و  $Mg^{+2}$  بر حسب میلی گرم بر لیتر است و TH یا سختی کل بر حسب میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم می‌باشد. بر اساس محاسبات مذکور حداقل سختی در نمونه‌های آب زیرزمینی مربوط به چاه مرغداری کیاء و برابر ۱۴۸/۹۸ میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم می‌باشد. همچنین حداکثر سختی در نمونه‌های آب زیرزمینی، مربوط به چاه قره سو و برابر ۷۳۷/۸۸ میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم می‌باشد. بر اساس طبقه بندی تاد (Todd, 2009) آب با سختی کمتر از ۷۵ میلی گرم بر لیتر را آب نرم و آب با سختی بیش از ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر را به عنوان آب سخت می‌شناسند.

همانطور که در نمودار ملاحظه می‌شود بیشترین سختی را چاه قره سو حسین-فرزین و کمترین مقدار را مرغداری کیاء داراست که هر دو در شمال غرب منطقه مطالعاتی قرار دارند. اکثر نمونه‌ها در محدوده خیلی سخت قرار گرفته‌اند.



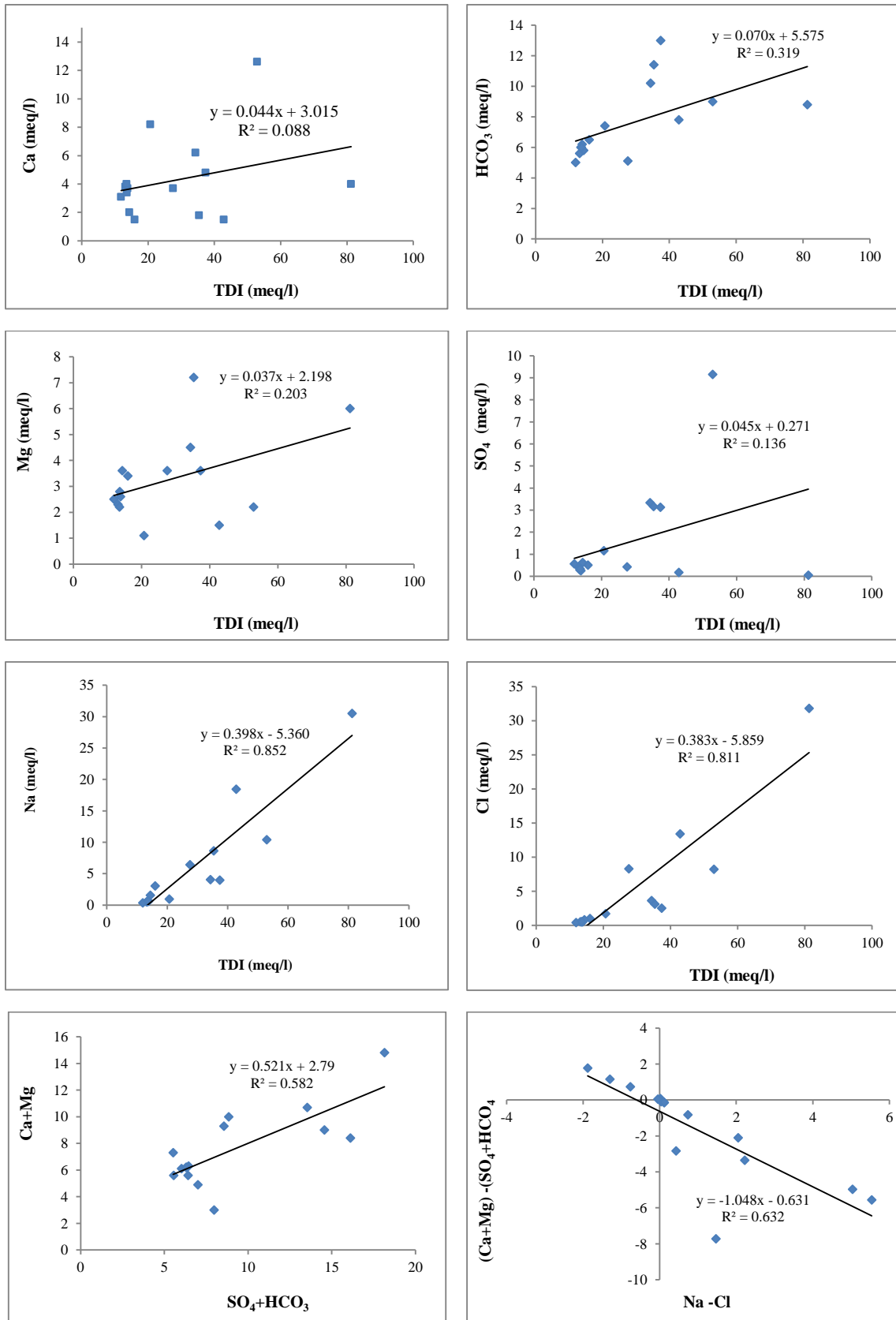
شکل ۵-۹- نمودار تغییرات سختی آب در دشت کردکوی

### ۵-۳- نمودارهای ترکیبی

در مطالعات هیدروژئوشیمیایی به منظور تشخیص نوع فرایندهای شیمیایی و تعیین منشأ و اختلاط آنها از نمودارهای ترکیبی یا دو متغیره استفاده می‌شود. در شکل (۵-۱۰) نمودارهای ترکیبی دشت کردکوی نشان داده شده است. طبق نظر مازور (Mazor, 2004) اگر در نمودار بی کربنات نسبت به مجموع یونهای محلول (TDI)، مقدار بی کربنات بیش از ۱۰ میلی اکی والان بر لیتر باشد نشان دهنده وجود سنگ آهک و دولومیت در منطقه است.

در نمودارهای رسم شده سه عدد از نمونه‌ها دارای بی کربنات بیش از ۱۰ میلی اکی والان بر لیتر می‌باشند. طبق نمودارهای ترسیم شده با افزایش TDI مقدار منیزیم و کلسیم افزایش می‌یابد که بیانگر وجود کربنات کلسیم و کربنات منیزیم در منطقه می‌باشد.

نمودار ترکیبی بین سولفات و TDI همبستگی خیلی کمی را نشان می‌دهد که نشان دهنده عدم وجود ژپس در منطقه می‌باشد. با نزدیک شدن به دریا، مقدار کلرید و سدیم در مقایسه با TDI افزایش زیادی را نشان می‌دهد که این امر می‌تواند در اثر انحلال (NaCl) در آبهای منطقه باشد (Mazor, 2004).



شکل ۵-۱۰- نمودارهای ترکیبی دشت کردکوی



همانطور که در شکل دیده می‌شود دو یون کلر و سدیم الگوی خطی نشان می‌دهند و خط برازش این دو یون محور TDI را قطع می‌کند و بیانگر این است که آب اختلاطی نسبت به آب آبخوان دارای غلظت بیشتری از یونهای سدیم و کلر می‌باشد.

جهت تعیین فرایندهای غالب در ایجاد ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی از نمودارهای دو متغیره  $Ca^{2+}+Mg^{2+}$  در مقابل  $SO_4^{-}+HCO_3^{-}$  و  $(Ca^{2+}+Mg^{2+})-(SO_4^{-}+HCO_3^{-})$  در مقابل  $Na^{+}-Cl^{-}$  استفاده می‌شود. نمودار دو متغیره  $Ca^{2+}+Mg^{2+}$  در مقابل  $SO_4^{-}+HCO_3^{-}$  نشان دهنده غالب بودن انحلال ژپس، کلسیت و دولومیت است.

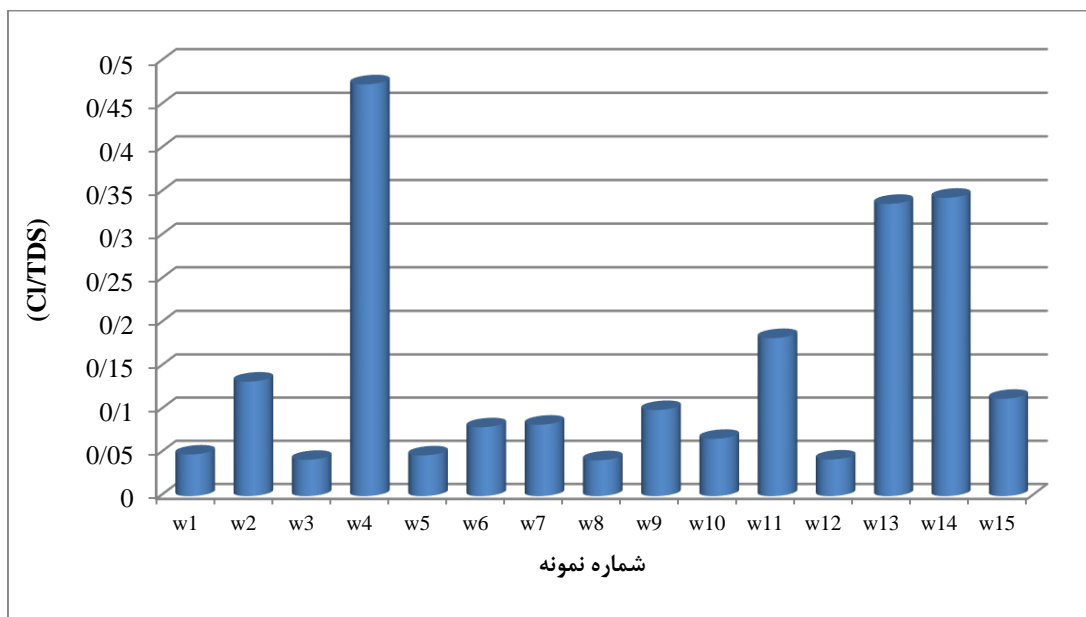
اگر غلظت  $SO_4^{-}+HCO_3^{-}$  در نمونه‌هایی که روی خط راست قرار می‌گیرند کمتر از ۱۰ میلی اکی والان بر لیتر باشد بیانگر غالب بودن انحلال کلسیت و دولومیت، و در صورتی که این غلظت بیشتر از ۱۰ میلی اکی والان بر لیتر باشد نشانگر غالب بودن انحلال ژپس می‌باشد. در نمونه‌هایی که در پایین و بالای خط قرار می‌گیرند به ترتیب فرایند تبادل یونی و تبادل یونی معکوس غالب می‌باشد (Mazor, 2004). با توجه به نمودار مذکور غلظت نمونه‌هایی که بر روی خط راست قرار گرفته‌اند کمتر از ۱۰ میلی اکی والان بر لیتر است. این نمونه‌ها مربوط به نواحی تغذیه (حاشیه ارتفاعات) می‌باشند و انحلال کلسیت صورت گرفته است. نمونه‌هایی که در بالای خط راست قرار گرفته‌اند مربوط به قسمت انتهایی دشت (مناطق تخلیه) هستند که دانه ریز شدن رسوبات، وجود کانیهای رسی و احتمال نفوذ آب شور امکان انجام واکنش تبادل یونی معکوس را فراهم آورده است.

در نمودار  $(Ca^{2+}+Mg^{2+})-(SO_4^{-}+HCO_3^{-})$  در مقابل  $Cl^{-}-Na^{+}$ ، اگر انحلال کلسیت، دولومیت یا ژپس رخ دهد مقدار باید به صفر نزدیک شود فرایند تبادل یونی و تبادل یونی معکوس در نمونه‌های واقع بر خط با شیب ۱- صورت گرفته است (Mazor, 2004). اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی کردکوی بر روی خط تبادل یونی قرار گرفته‌اند.

### الف) نسبت (Cl/TDS)

برای تشخیص شور بودن آب روشهای گوناگونی وجود دارد که یکی از روشهای مناسب برای تشخیص شوری آب در مناطق غیر دریایی نسبت کلر به TDS می‌باشد. نسبت (Cl/TDS) در آب‌های شور مناطق غیر دریایی بالاتر از ۰/۱ می‌باشد (Vengush, 2005).

برای بررسی شوری آب زیرزمینی در این دشت، نسبت فوق برای نمونه های منطقه محاسبه و نمودار آن در شکل (۵-۱۱) ترسیم گردیده است. همانطور که در شکل دیده می شود اکثر نمونه ها دارای آب شیرین می باشند و مقادیر این شاخص فقط در جنوب شهر کردکوی، شمال غرب و قسمتی از شمال شرق آبخوان بیشتر از ۰/۱ می باشد که بیانگر این مطلب است که در این قسمتها با مشکل شوری آب زیرزمینی مواجه هستیم.

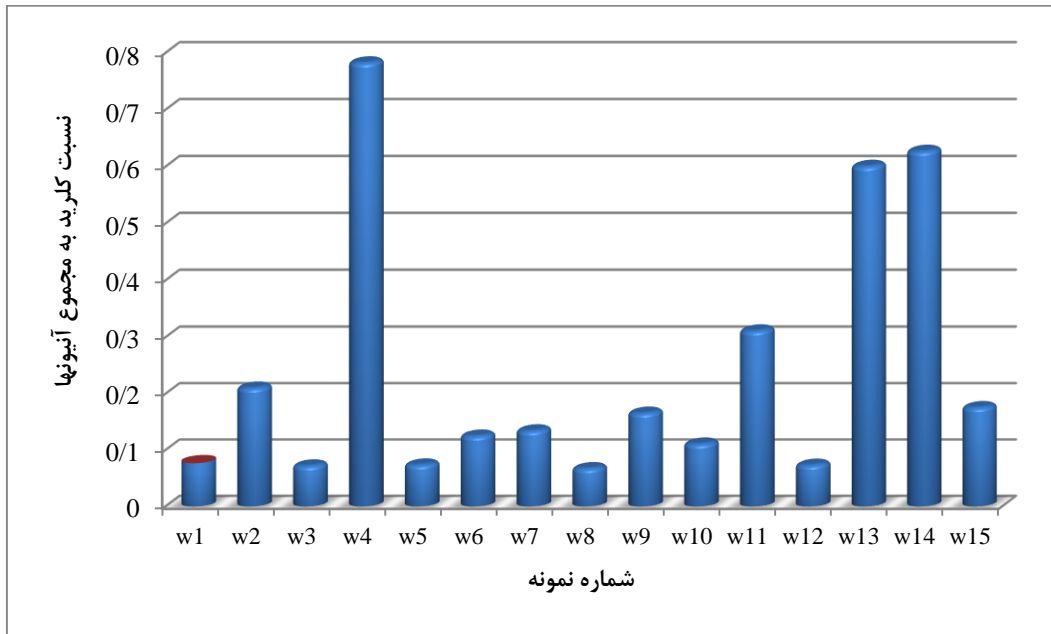


شکل ۵-۱۱- نمودار مقادیر نسبت (Cl/TDS) نمونه های آب زیرزمینی کردکوی

### ب) نسبت کلرید به مجموع آنیونها

از نسبت  $Cl^-/HCO_3^- + SO_4^- + Cl^-$  می توان به منشأ آنومالی های موجود در دشت پی برد. در صورتی که این نسبت کمتر از ۰/۸ باشد، هوازگی سنگها در ایجاد ترکیب نمونه مورد نظر موثر بوده است. اگر این نسبت بزرگتر از ۰/۸ و TDS نمونه کمتر از ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر باشد، منشأ نمونه از آب باران است. در مورد نمونه هایی که این نسبت بزرگتر از ۰/۸ و TDS بیشتر از ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر است، آب دریا، شورابه ها، یا تبخیری ها در ایجاد ترکیب نقش داشته اند (Hounslow, 1995). نسبت کلرید به مجموع آنیونها برای نمونه های منطقه، محاسبه و نمودار آن در شکل (۵-۱۲) ترسیم گردیده است. با

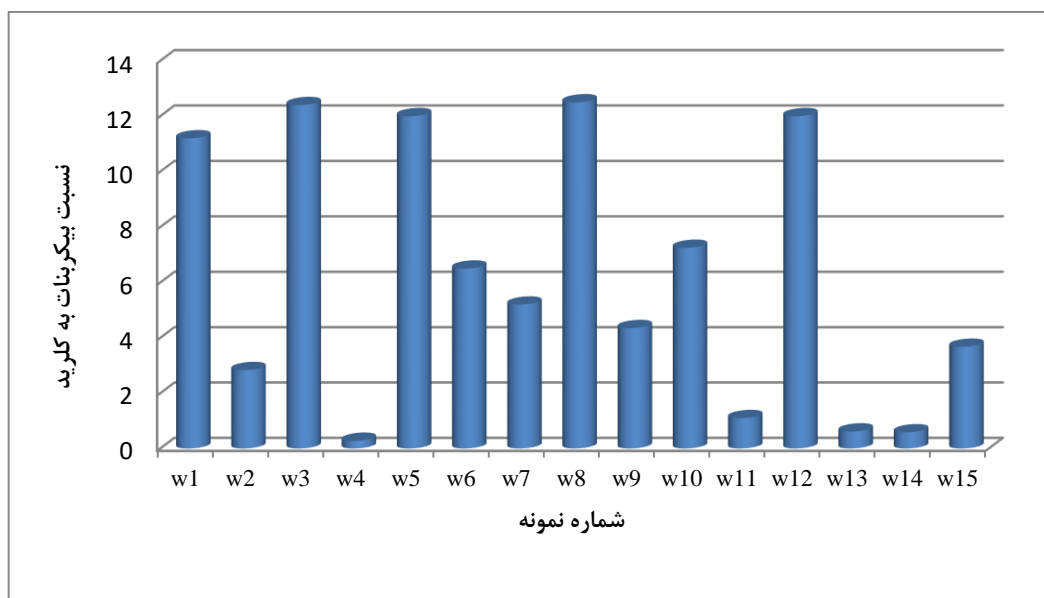
توجه به شکل بالا این نسبت در همه نمونه‌ها کمتر از ۰/۸ است و بیانگر تأثیر هوازدگی سنگها در ایجاد ترکیب نمونه مورد می‌باشد.



شکل ۵-۱۲- نمودار مقادیر نسبت کلرید به مجموع آنیونهای آب زیرزمینی کردکوی

### ج) نسبت بیکربنات به کلرید

یکی دیگر از نسبت‌هایی که برای مطالعه نفوذ آب شور در آبخوان‌های ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرد، نسبت  $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$  است (Bennetts, 2006). با توجه به شکل (۵-۱۳) این نسبت در نمونه‌های ابتدای دشت (النگ، سرطاق، دنگلان و باغوکنازه) بیشتر از ۱۰ می‌باشد و در تعدادی از نمونه‌های منطقه تخلیه و جنوب شهر کردکوی (دامداری عبدوی، مرغداری کیا، قره سو-حسین فرزین و کردکوی) این نسبت کمتر از ۱ می‌باشد. مقادیر کم این نسبت در نمونه‌های منطقه تخلیه دشت و جنوب شهر کردکوی بر اختلاط آب شور با آب زیرزمینی دلالت دارد.



شکل ۵-۱۳- نمودار مقادیر نسبت بی‌کربنات به کلرید آب زیرزمینی کردکوی

#### ۵-۴- روش رول (Revelle)

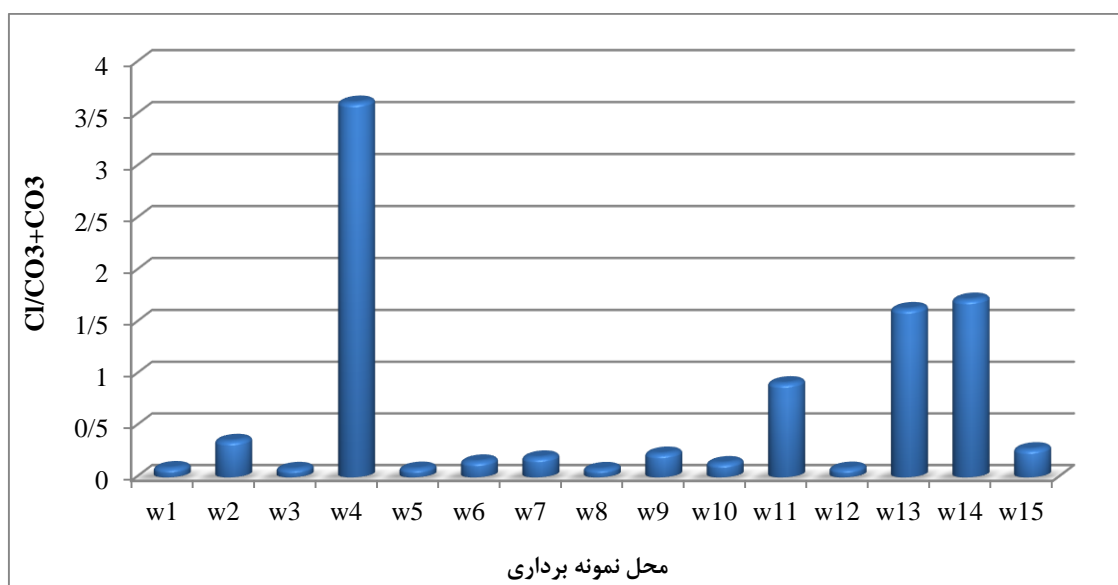
برای تشخیص آلودگی لایه‌های آبدار ساحلی، تنها نمی‌توان به افزایش مقدار کل نمکهای محلول متکی بود. زیرا این افزایش ممکن است موقتی و به علل دیگری باشد. بنا به نظر رول نسبت یون کلرید به مجموع یونهای بی‌کربنات و کربنات ( $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^-$ ) معیار خوبی برای ارزیابی و تشخیص آلودگی آب زیرزمینی به وسیله دریاست. یون کلرید در آب دریا بیشتر از یونهای دیگر وجود دارد، در حالی که مقدار آن در آب زیرزمینی معمولاً کم است. در مقابل یون بی‌کربنات، که معمولاً فراوانترین یون موجود در آبهای زیرزمینی است، در آب دریا به مقدار جزئی وجود دارد. بنابراین افزایش نسبت فوق می‌تواند دلیل بر نفوذ آب دریا در لایه‌های آبدار ساحلی باشد. البته عوامل دیگری نیز ممکن است این نسبت را تغییر دهند، ولی معمولاً در نمونه‌های یک چاه این عوامل کمتر اهمیت پیدا می‌کنند. بدین منظور نسبت مذکور برای چاههای دشت کردکوی محاسبه شده است (جدول ۵-۳). بر اساس شکل (۵-۱۴) بیشترین مقدار نسبت کلر به بی‌کربنات و کربنات در آب چاه دامداری عبدوی (۳/۶۱۳)، مرغداری کیاء (۱/۷۱۷) و چاه کردکوی (۱/۶۲۷) می‌باشد که چاههای مرغداری کیاء و دامداری عبدوی در شمال غرب منطقه و در نزدیکی ساحل دریای خزر می‌باشد. در شمال غرب منطقه و در نزدیکی ساحل

## فصل پنجم: بررسی هیدروژنوشیمی آبخوان

دریای خزر به خاطر برداشت بیش از حد از آبخوان، جهت جریان در این نواحی معکوس شده و باعث نفوذ آب شور دریا به آبخوان ساحلی گردیده است.

جدول ۵-۳- مقادیر تغییرات کلرید نسبت به مجموع بیکربنات و کربنات برای آب چاههای منطقه

محل نمونه برداری	النگ	ایلوار - حمام	باغو کناره	دامداری عبدوی	دنگلان	زایلی محله	سالیکنده	سرطاق
$\frac{Cl}{HCO_3 + CO_3}$	0.089	0.352	0.080	3.613	0.083	0.153	0.192	0.08
محل نمونه برداری	سرکلاته خرابشهر	غلام آباد	قره سو - حسین فرزین	کارکنده	کردکوی	مرغداری کیاء	مهتر کلاته - وردان	*
$\frac{Cl}{HCO_3 + CO_3}$	0.229	0.137	0.911	0.083	1.627	1.717	0.271	*



شکل ۵-۱۴- نمودار تغییرات کلرید نسبت به مجموع بیکربنات و کربنات

اما با توجه به فاصله چاه کردکوی با ساحل دریا برداشت بیش از حد و استخراج آبهای فسیلی دلیل عمده این نسبت می باشد. چاههای جنوب و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه به خاطر اینکه فاصله بیشتری از دریا داشته و تغذیه آنها توسط سازندهای آهکی اطراف صورت می گیرد میزان یون کلر در

مقایسه با سایر چاهها کمتر می باشد و برعکس به خاطر وجود سازندهای آهکی مقدار بیکربنات بالایی داشته در نتیجه این نسبت در حد پایینی می باشد.

### ۵-۵- شاخص های اشباع

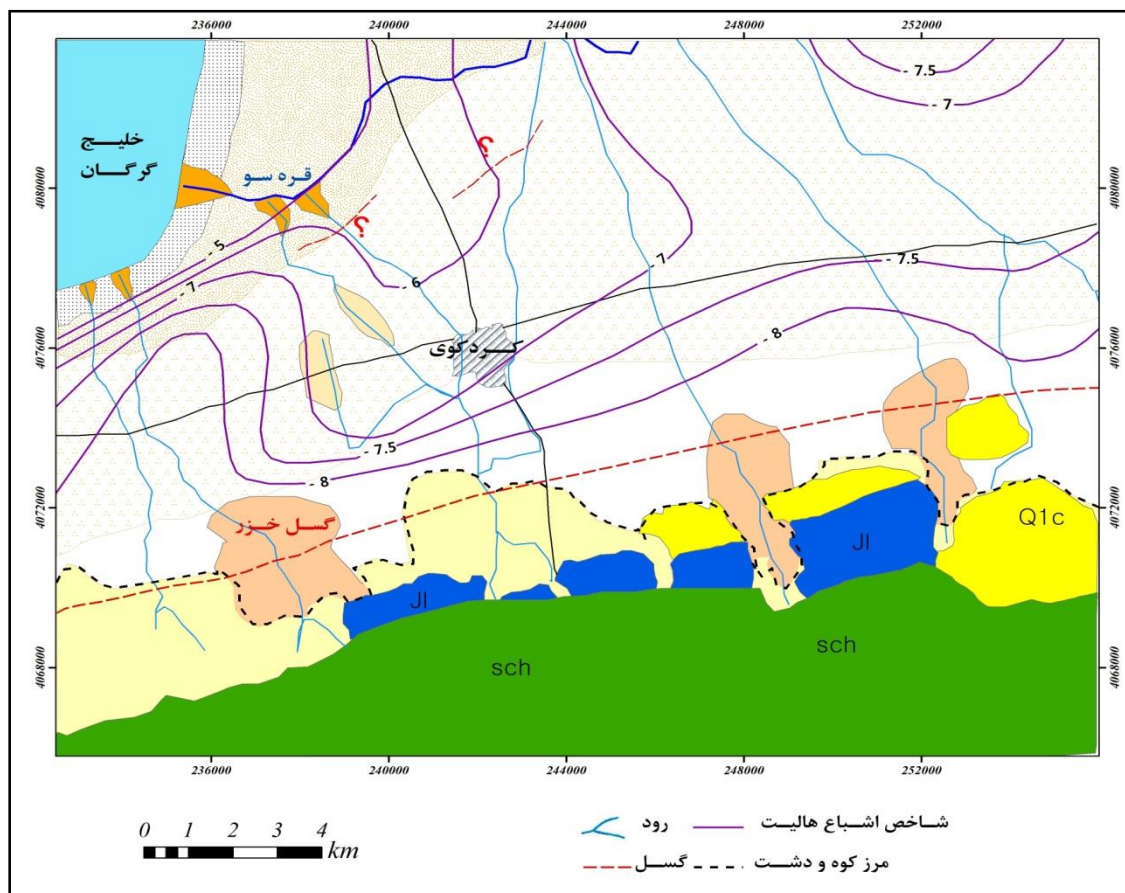
به منظور محاسبه شاخص های اشباع کلسیت، دولومیت، ژپس و هالیت در منطقه مورد مطالعه از نرم افزار (Phreeqc) استفاده شد. اگر شاخص اشباع نسبت به یک کانی مثبت باشد بیانگر اشباع بودن آب زیرزمینی نسبت به آن کانی است و آب زیرزمینی نمی تواند این کانی را در خود حل کند و این کانی رسوب می کند و در صورتی که شاخص اشباع نسبت به یک کانی منفی باشد یعنی این کانی می تواند در آب زیرزمینی حل شود.

جدول ۵-۴- مقادیر شاخص اشباع نمونه ها در دشت کردکوی

شماره نمونه	شاخص اشباع کلسیت	شاخص اشباع دولومیت	شاخص اشباع ژپس	شاخص اشباع هالیت
W1	1.21	2.28	-2.29	-8.24
W2	1.64	3.26	-1.4	-6.54
W3	0.84	1.65	-2.54	-8.18
W4	-0.04	0.24	-3.6	-4.76
W5	-0.02	-0.17	-2.43	-8.24
W6	-0.42	-0.36	-2.62	-7.19
W7	0.26	0.52	-1.51	-6.71
W8	-0.2	-0.37	-2.24	-8.52
W9	0.32	-0.09	-1.62	-7.49
W10	-0.34	-0.3	-2.41	-7.54
W11	0.44	0.25	-0.75	-5.8
W12	-0.09	-0.14	-2.45	-8.18
W13	-0.18	-0.24	-2.4	-5.97
W14	-0.42	-0.71	-3.19	-5.32
W15	-0.22	0.3	-1.93	-6.28

همانطور که در جدول (۴-۵) مشاهده می شود نتایج نشان می دهد که شاخص اشباع کلسیت و دولومیت اکثر نمونه ها منفی می باشد و تعداد کمی از نمونه ها مثبت می باشند.

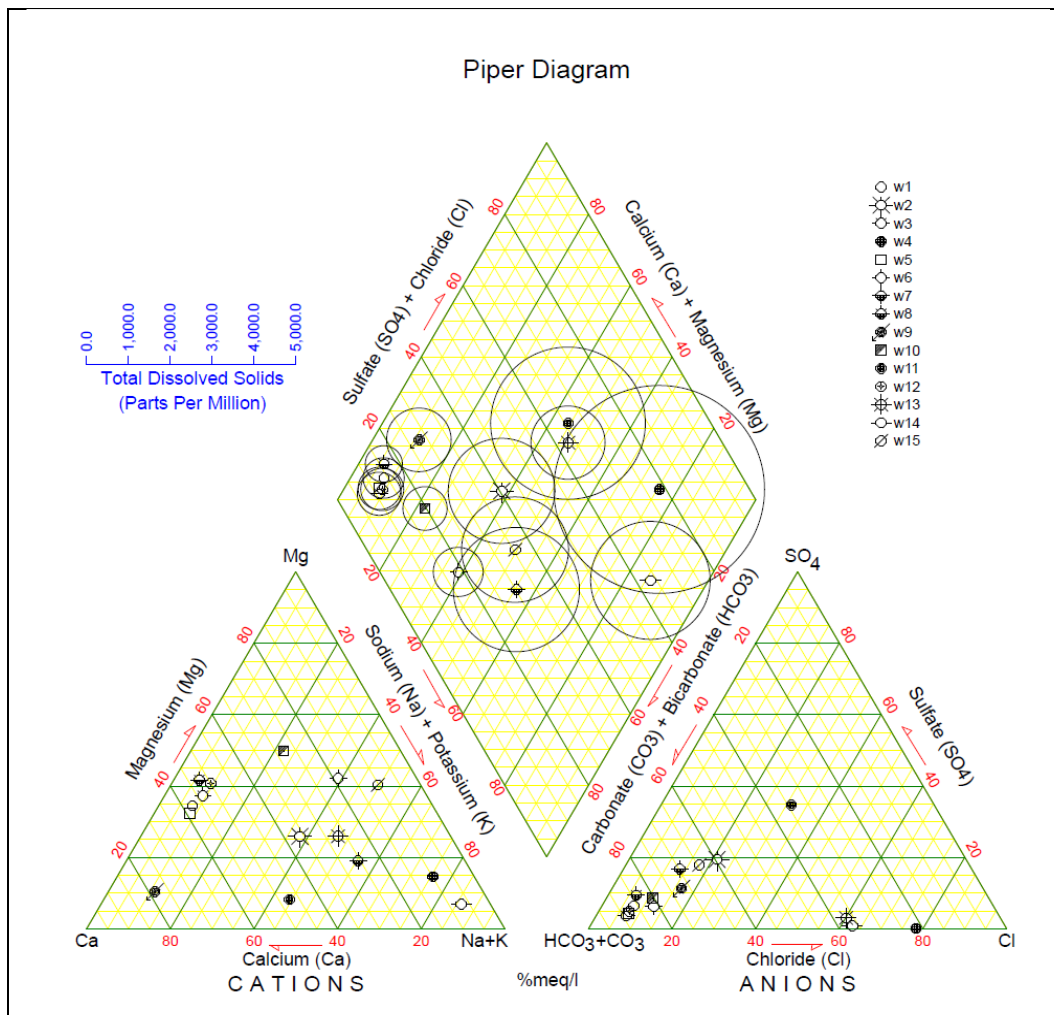
با توجه به اینکه اولین کانی که در آب به حد اشباع می‌رسد کلسیت می‌باشد اما به دلیل محدود بودن سازندهای آهکی در منطقه که به صورت محدود در جنوب و جنوب شرق منطقه وجود دارند فقط نمونه‌های برداشت شده از این مناطق اشباع از کلسیت و دولومیت می‌باشند. مقادیر شاخص اشباع ژیپس و هالیت نشان می‌دهد که آب زیرزمینی منطقه نسبت به این دو کانی غیر اشباع است. شکل (۵-۱۵) نقشه تغییر شاخص اشباع هالیت در کردکوی را نشان می‌دهد. بر اساس شکل مذکور ملاحظه می‌شود که از نظر درجه اشباع تمام منطقه نسبت به هالیت غیر اشباع است ولی در حالت کلی از سمت جنوب به سمت شمال و شمال غرب این شاخص بیشتر می‌شود. بیشترین مقدار شاخص اشباع در منطقه مربوط به شمال غرب منطقه (نزدیک ساحل) به دلیل پیشروی آب دریا و جنوب شهر کردکوی به دلیل برداشت از آبهای فسیلی می‌باشد. همچنین ارتفاعات جنوبی دشت تأثیرپذیری کمتری از آب دریا داشته و حداقل شاخص اشباع مربوط به این منطقه می‌باشد.



شکل ۵-۱۵- نقشه تغییر شاخص اشباع هالیت در کردکوی

### ۵-۶- بررسی زون‌های غالب یونی با استفاده از نمودار پایپر

نمودارهای پایپر (Piper) عمدتاً جهت تعیین نوع آب‌ها، رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی و مسیرهای تکامل ژئوشیمیایی در آبخوان‌ها تهیه می‌گردند. نحوه استفاده از این نمودارها بدین ترتیب می‌باشد که کاتیونها به صورت درصدی از کل کاتیونها و بر حسب میلی اکی والان بر لیتر در مثلث سمت چپ و آنیونها نیز به همان صورت در مثلث سمت راست رسم می‌شوند، سپس از نقطه کاتیونی موازی با محور منبسط و از نقطه آنیونی موازی با محور سولفات به سطح لوزی که در وسط دوتا مثلث قرار گرفته‌اند خطوط مستقیمی یکی برای آنیون و دیگری برای کاتیون امتداد می‌یابد و تقاطع این دو خط، نشان دهنده ترکیب یون اصلی بر پایه درصد می‌باشد (Fetter, 1999).



شکل ۵-۱۶- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی در آبان ماه ۱۳۸۸



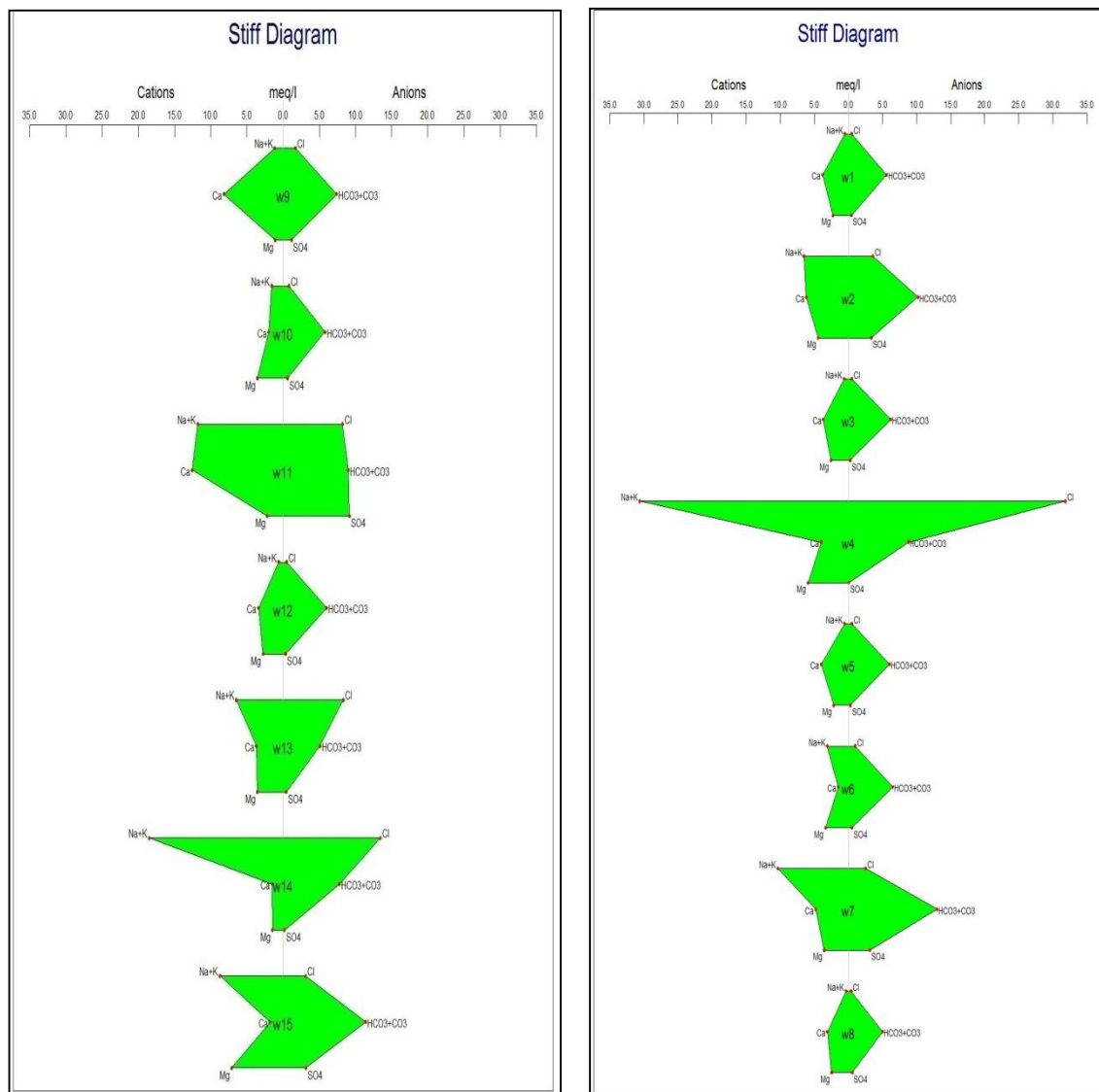
شکل (۵-۱۶) رسم تمامی نمونه‌ها را در نمودار پایپر نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار موارد زیر قابل تفسیر می‌باشد:

اکثر نمونه‌ها دارای کربنات و سدیم بالا و سولفات و منیزیم خیلی کمی هستند. اکثر نمونه‌ها در نزدیک به رأس سمت چپ لوزی قرار دارند که آب شیرین و مطلوبی است، همچنین چاههای قره سو-حسین فرزین، کردکوی، مرغداری کپاء و دامداری عبدوی در نزدیک به رأس سمت راست لوزی قرار دارند که به طور کلی جزء آبهای خیلی شور می‌باشند.

### ۵-۷- بررسی تیپ آبهای زیرزمینی با استفاده از نمودار استیف

یکی از نمودارهای مناسب جهت مقایسه سریع ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی و تعیین تیپ نمونه‌های آب نمودار استیف (Stiff) می‌باشد. با توجه به شکل کلی به دست آمده از نمودار استیف می‌توان تا حدی به محیط (نوع سنگ‌ها یا رسوبات) که آب از آنجا منشأ گرفته است پی برد. نمودارهای استیف ترسیمی برای نمونه‌های برداشتی، نشان می‌دهد که اکثر نمونه‌ها سدیم و کلسیم بالایی در مقایسه با دیگر کاتیونها دارند.

نمونه‌های برداشت شده از قسمت‌های شمال غربی دشت (چاههای دامداری عبدوی و مرغداری کپاء) به دلیل شوری بالا ترکیبی شبیه آب دریا را نشان می‌دهد. با توجه به نمودارهای رسم شده (شکل ۵-۱۷) برای نمونه‌ها، ۵ تیپ آب در منطقه قابل تمایز است که به ترتیب فراوانی عبارتند از: بی‌کربناته کلسیک (۶ نمونه)، بی‌کربناته سدیک (۳ نمونه)، کلرو سدیک (۳ نمونه)، بی‌کربناته منیزیک (۲ نمونه)، سولفات کلسیک (۱ نمونه). در کل می‌توان گفت تیپ آب از سمت ارتفاعات جنوبی به سمت دریای خزر به ترتیب به کربناته، سولفات و کلروره تغییر می‌کند.

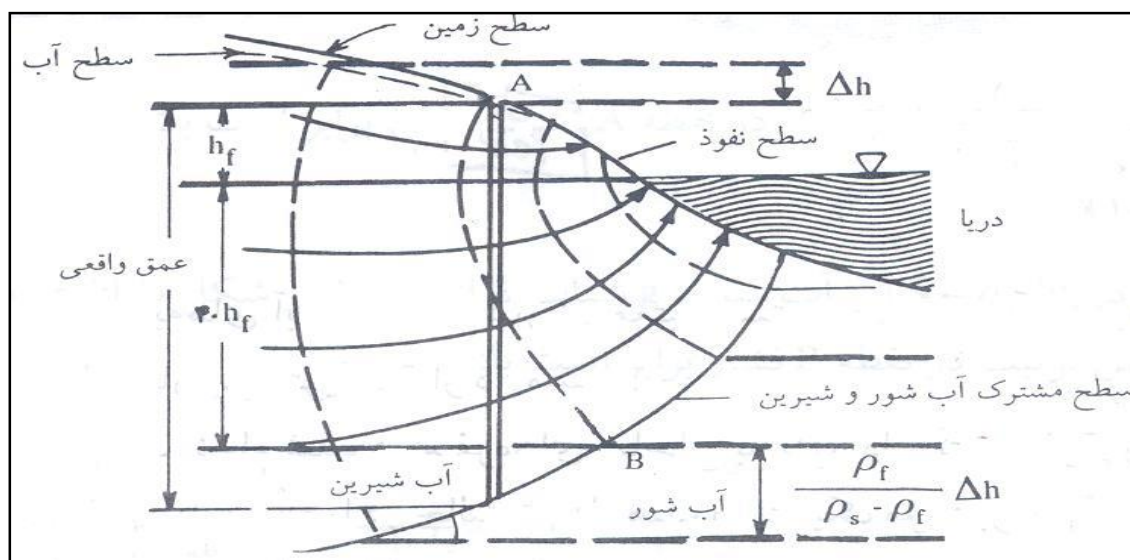


شکل ۵-۱۷- نمودار استیف مربوط به نمونه‌های آبان ماه ۱۳۸۸

### ۵-۸- بررسی علت اختلاف کیفیت آب در قسمت شرقی و غربی منطقه

در منطقه مورد مطالعه، جریان آب شیرین از کوهپایه‌ها و نواحی ساحلی به طرف دریا در حال حرکت بوده و نهایتاً در آن تخلیه می‌شود. به طور طبیعی یک حالت تعادل بین آب شیرین در بالا و آب شور در زیر آن وجود دارد. آب شیرین نواحی ساحلی و آب شور دریا را می‌توان به عنوان دو سیال مخلوط نشدنی با دانسیته‌های متفاوت در نظر گرفت. بنابراین هر جا که این دو سیال در کنار هم قرار گیرند، می‌توان سطحی بین آن دو تصور نمود که آن را سطح مشترک آب شور و شیرین می‌گویند.

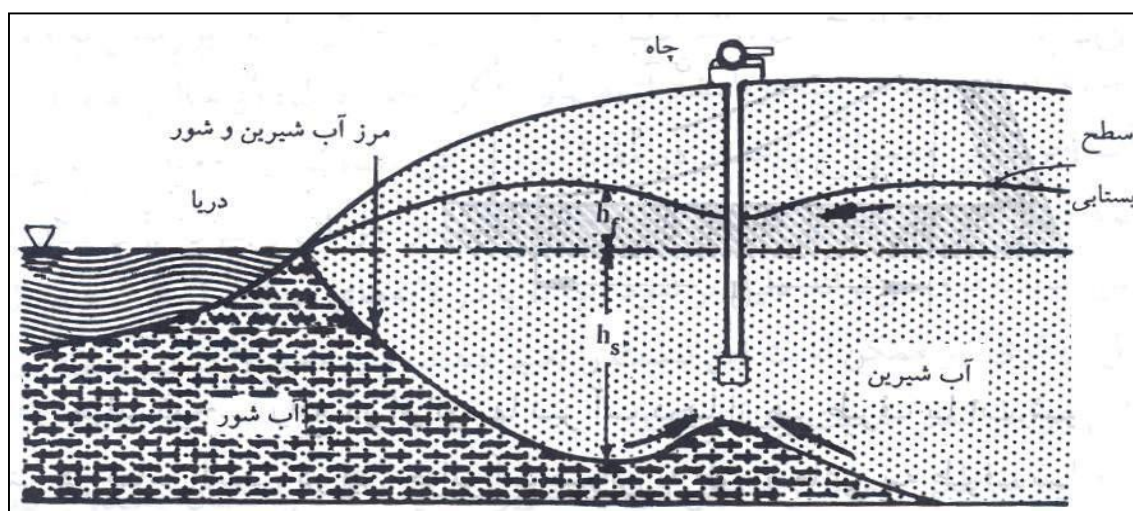
بنابر نظر گیبن و هرزبرگ (Ghyben and Herzberg, 1888) در چاههای نزدیک به ساحل، آب شور در زیر زمین در همان تراز آب دریا قرار ندارد و به ازای هر یک متر آب شیرین در بالای تراز دریا، تقریباً ۴۰ متر آب شیرین نیز در زیر تراز دریا و در بالای آب شور قرار گرفته است. شیب سطح مشترک بین آب شور و آب شیرین تابعی از اختلاف دانسیته بین آنها، و موقعیت آن نیز بستگی به دبی تخلیه آب شیرین و اختلاف تراز آب در ساحل و خشکی دارد. شکل (۵-۱۸) تصویری از سطح مشترک آب شیرین و آب شور است که به کمک خطوط هم جریان و خطوط هم پتانسیل نشان داده شده است. آب شیرین که در امتداد سطح مشترک جریان دارد دارای یک حرکت رو به بالا می باشد.



شکل ۵-۱۸- تصویری از سطح مشترک آب شیرین و آب شور دریا (نقل از صداقت ۱۳۷۳)

با توجه به شرایط خاص زمین شناسی و توپوگرافی در شمال و غرب شهر کردکوی به نظر می رسد اختلاف مشخصی در شکل و موقعیت سطح مشترک آب شور و شیرین وجود دارد. به طوری که در شمال کردکوی توپوگرافی پست بوده و از نظر زمین شناسی نیز در گذشته این منطقه پهنه‌ی جزر و مدی و محیط کم عمق تبخیری بوده است، لذا کیفیت آب در این منطقه پایین و نزدیک به آب دریا می باشد. در چاههای قسمت شمالی و شمال شرقی منطقه به دلیل فاصله زیاد چاهها با منطقه تغذیه و نفوذپذیری ناچیز رسوبات این قسمت، زمان ماندگاری آب در خاک بسیار زیاد می باشد و آب شیرین با سرعت خیلی کمی به سمت دریا در حرکت می باشد. زمان زیاد ماندگاری آب از محل تغذیه تا

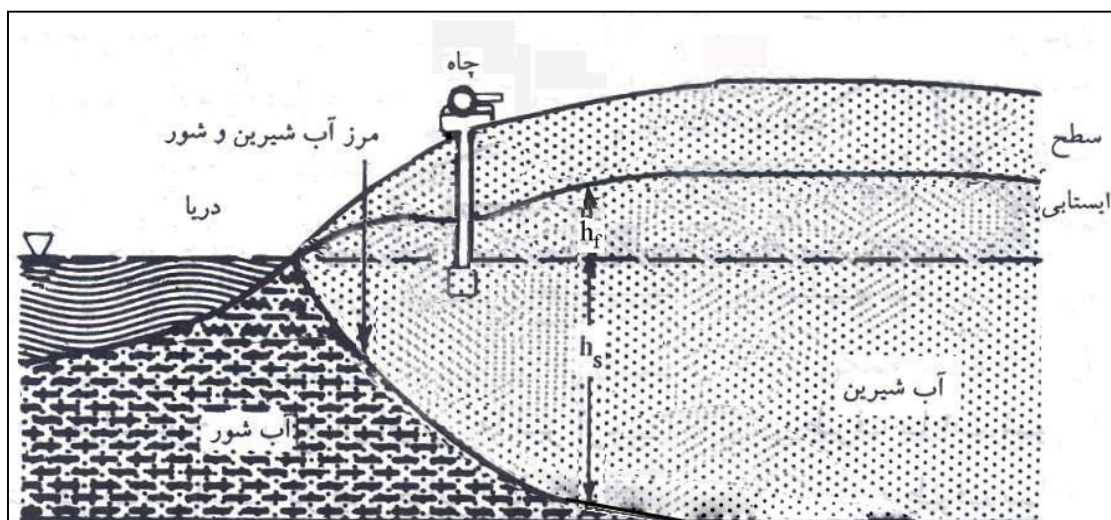
تخلیه، نفوذپذیری کم زمین و توپوگرافی پست در این قسمت سبب شده است که مرز مشترک آب شور و شیرین در این منطقه با شیب کم به طرف خشکی پیشروی داشته باشد و با اندکی تغییر در تراز آب شیرین پیشروی زیادی در خشکی صورت گیرد. در شکل (۵-۱۹) به صورت شماتیک این پدیده نشان داده شده است. از طرفی به علت وجود دریاچه‌های آب شور، ترکمن صحرا و زه‌آبهای کشاورزی در شمال غرب استان گلستان کیفیت آبهای سطحی بسیار بد می‌باشد که بر روی آب زیرزمینی تأثیر گذاشته و به علت آبدهی پایین چاهها در محدوده شمال و شمال شرق کردکوی از چاههای عمیق استفاده می‌شود که سبب پیشروی سریع آب شور و کاهش کیفیت سفره شده است.



شکل ۵-۱۹- شماتیک از علت شوری آب چاههای شمال و شمال شرق کردکوی

چاه نیمه عمیق باغوکناره در نزدیکی ساحل قرار دارد و آب آن دارای کیفیت بالایی است که بیانگر برداشت از لایه آب شیرین می‌باشد. در قسمت غرب کردکوی با توجه به اختلاف بیشتر سطح آب شیرین و تراز دریا، نفوذپذیری بالاتر زمین و کیفیت بالاتر آب شیرین به دلیل ماندگاری کم آن در خاک، آب شیرین با سرعت بیشتری نسبت به بقیه نقاط به سمت دریا در حرکت می‌باشد و به نظر می‌رسد مرز بین آب شور و شیرین دارای شیب تندی می‌باشد. عمق چاه باغوکناره هم سطح با آب دریا می‌باشد و آب برداشتی به میزان ناچیز می‌باشد که باعث شده است که استخراج آب فقط از آب شیرین باشد. همانطور که در شکل (۵-۲۰) نشان داده شده است حرکت مرز مشترک با برداشت آب

شیرین در این قسمت کندتر صورت می‌گیرد، لذا کیفیت آب تاکنون تغییری نداشته است. در حال حاضر به علت آبدهی خوب این این چاهها نیازی به چاه عمیق در این قسمت نمی‌باشد. در این قسمت از منطقه نیز در صورت استفاده از چاههای عمیق و برداشت زیاد آب، نهایتاً پیشروی آب شور دریا و کاهش کیفیت آبخوان را خواهیم داشت.

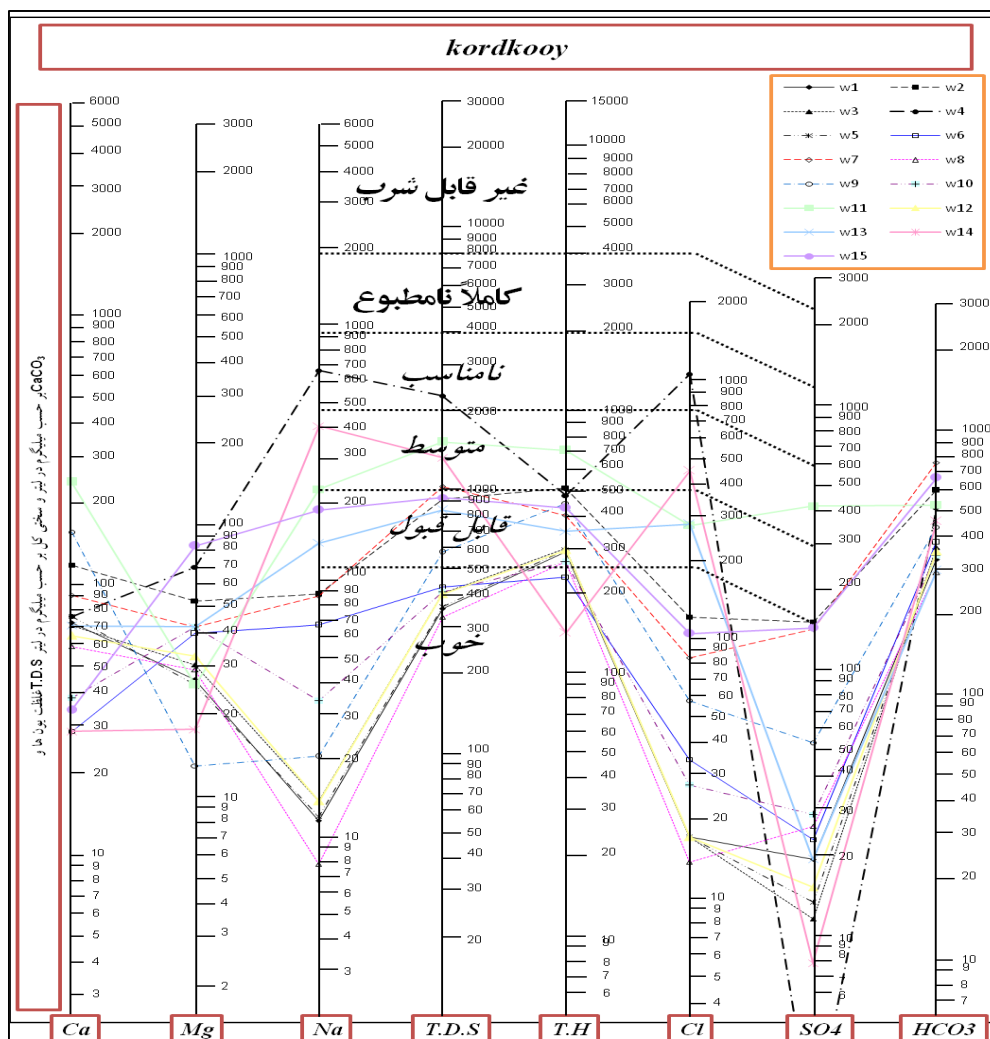


شکل ۵-۲۰- شکل شماتیک از علت شیرینی آب چاههای غرب کردکوی

- در نهایت می‌توان گفت دلایل اختلاف کیفیت آب در قسمت شرقی و غربی کردکوی عبارتند از:
- عمق برداشت آب که در سمت شرق منطقه چاهها عمیق، و در سمت غرب منطقه نیمه عمیق می‌باشند.
  - نفوذپذیری آبخوان در سمت شرق کمتر از غرب است و دلیل آن نوع رسوبات و فاصله‌ای است که از قسمت کوهستانی وجود دارد.
  - نزدیکتر بودن سمت شرق به ساحل قدیم به علت توپوگرافی پست‌تر نسبت به قسمت غرب.
  - خطواره شمالی-جنوبی که از لبه خلیج گرگان می‌گذرد و احتمالاً در تغییر ضخامت آبرفت در سمت شرق و غرب تأثیر گذار بوده است که با بررسی ضخامت سفره در دو طرف احتمالی آن مشخص خواهد شد.

### ۵-۹- بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر شرب و کشاورزی

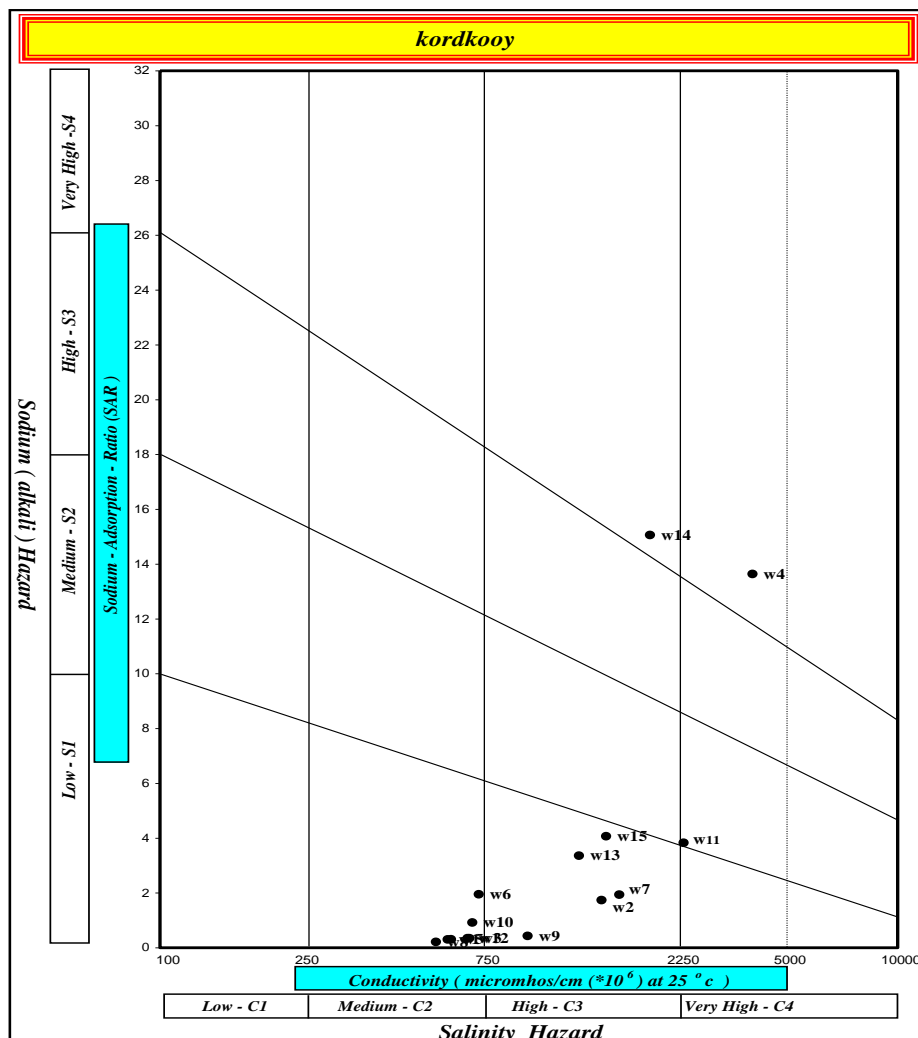
به منظور بررسی نمونه‌ها از لحاظ قابلیت شرب، نتایج تجزیه شیمیایی کلیه نمونه‌ها بر اساس نمودار شولر (Schoeller) سنجیده شده است. با توجه به مقیاس لگاریتمی، از نظر سرعت عمل، سهولت مقایسه و نمایش تعداد زیادی نمونه در یک نمودار و همچنین نمایش غلظت یونها این نمودار، یکی از بهترین نمودارها برای سنجش کیفیت آب از نظر شرب می‌باشد. آبهای زیرزمینی با توجه به میزان کل املاح محلول، در یکی از طبقات ۱ تا ۶ که معرف قابلیت شرب می‌باشند، قرار می‌گیرد. شکل (۵-۲۱) وضعیت نمونه‌ها را در نمودار شولر نشان می‌دهد. با توجه به نمودار شولر به غیر از نمونه‌های مرغداری کياء و دامداری عبدوی بقیه نمونه‌ها در محدوده مجاز برای شرب قرار دارند.



شکل ۵-۲۱- نمودار شولر نمونه‌ها در آبان ماه ۱۳۸۸

دو پارامتر مهمی که در تعیین استانداردهای کیفیت آب برای کشاورزی در نظر گرفته می‌شوند شامل غلظت کل نمک‌های محلول (درجه شوری آب) و غلظت یون سدیم می‌باشد. غلظت بالای سدیم باعث کاهش نفوذپذیری خاک به طور غیر مستقیم بر رشد گیاه اثر منفی می‌گذارد. این اثرات ناشی از جانشینی یون‌های کلسیم و منیزیم توسط یون‌های سدیم در رسها و کلوئیدهای خاک است. میزان این جانشینی را می‌توان با نسبت جذب سدیم (SAR) برآورد کرد که با فرمول زیر بیان می‌شود:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad \text{رابطه (۵-۱)}$$



شکل ۵-۲۲- نمودار ویلکوکس نمونه‌ها در آبان ماه ۱۳۸۸

جهت تعیین کیفیت آبهای زیرزمینی از نظر کشاورزی از نمودار ویلکوکس (Wilcox) استفاده می‌شود. این نمودار بر اساس دو معیار هدایت الکتریکی (خطر شوری) و نسبت جذب سدیم (SAR) به ۱۶ رده تقسیم شده است. رده C1S1 بهترین کیفیت و رده C4S4 بدترین کیفیت را برای مصارف کشاورزی دارا می‌باشند. نمودار ویلکوکس برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت کردکوی در آبان ماه ۱۳۸۸ ترسیم شده است (شکل ۵-۲۲). طبق این نمودار، نمونه‌های برداشت شده از چاههای دامداری عبدوی، مرغداری کیا و قره سو-حسین فرزین به ترتیب در رده C4-S4، C3-S4 و C4-S2 قرار دارند که برای کشاورزی نامناسب می‌باشند. به جز این سه نمونه بقیه نمونه‌ها قابل استفاده یا مناسب برای کشاورزی می‌باشند.



## فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

### ۶-۱- خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان

بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه بر اساس اطلاعات ۱۸ حلقه چاه از سازمان آب منطقه‌ای گلستان صورت گرفته است. حرکت عمومی آب از سمت جنوب شرق به شمال غرب می‌باشد. گرادیان هیدرولیکی از جنوب به سمت شمال کاهش می‌یابد لذا بیشترین گرادیان در محدوده مطالعاتی مربوط به مناطق جنوبی بوده و کمترین آن نیز مربوط به مناطق شمالی دشت در محدوده رودخانه قره سو می‌باشد که علت این امر جریان و شیب بیشتر با سطح زمین در مناطق جنوبی دشت می‌باشد. حداکثر افت، در جنوب شرق کردکوی و به میزان ۹ متر می‌باشد و حداکثر بالا آمدگی ۳ متر و در شمال شرق منطقه می‌باشد.

قابلیت انتقال منطقه دارای روند مشخصی نیست ولی در مجموع مقادیر این پارامتر هیدرودینامیکی از سمت ارتفاعات (جنوب) که درشت دانه‌تر و دارای نفوذپذیری بالاتر است که از حدود ۷۰۰ متر مربع در روز به سمت رودخانه قره سو که ریز دانه‌تر و نفوذپذیری کمتری را شامل می‌شود، به مقدار ۱۷۵ متر مربع در روز کاهش می‌یابد.

### ۶-۲- بررسی نوسانات سالانه سطح آب زیرزمینی

حداقل سطح آب در ماههای شهریور و مهر و حداکثر تراز آب نیز اسفند و فروردین می‌باشد که دلیل آن برداشت و عدم برداشت آب از این چاهها می‌باشد. روند کلی هیدروگراف واحد در طول سالهای ۱۳۸۵-۱۳۸۰ سیر صعودی و در طول سالهای ۱۳۸۸-۱۳۸۵ سیر نزولی نشان می‌دهد که می‌توان آن را به میزان نزولات جوی در این سالها نسبت داد. میزان تغذیه سفره توسط جریانهای سطحی در

نواحی جنوبی دشت که دارای آبرفت دانه درشت و نفوذپذیر می‌باشد قابل توجه بوده و در اواسط و شمال دشت به سبب دانه ریز بودن آبرفت تغذیه سطحی ناچیز است. چاههای عمیق دارای نوسانات شدید سالیانه می‌باشند که با توجه به وجود سفره‌های معلق در منطقه، که احتمالاً برخورد به سفره معلق و ناچیز بودن ضریب ذخیره آبخوان از دلایل این نوسان می‌باشد.

### ۳-۶- بیان آب زیرزمینی

بر اساس مقادیر مختلف پارامترهای بیان تغییرات حجم مخزن در محدوده مورد مطالعه برای سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ برابر با ۱/۲۳- میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. با توجه به اینکه مقدار  $\Delta V$  منفی می‌باشد در دشت میزان جریانهای خروجی (طبیعی و مصنوعی) و تخلیه بیشتر از میزان جریانهای ورودی (طبیعی و مصنوعی) و تغذیه می‌باشد. دلیل این مسئله کاهش مقدار بارندگی در سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ و همچنین افزایش بهره‌برداری از تعداد زیادی از چاههای منطقه است. لازم به ذکر است که این رقم بیان منفی، در مقایسه با دیگر مناطق کشور رقم قابل توجهی نمی‌باشد و با توجه به وسعت دشت نسبتاً کم می‌باشد.

### ۴-۶- بررسی هیدروژئوشیمیایی آبخوان

به منظور بررسی کیفی آبهای زیرزمینی دشت کردکوی از ۱۵ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق موجود در منطقه در آبان ماه ۱۳۸۸ (فصل خشک) نمونه برداری شده است. با استفاده از داده‌های موجود ترسیم نمودارهای مختلف کیفی نتایج حاصله به صورت مختصر در زیر ارائه می‌گردد:

#### الف) نتایج حاصل از بررسی هدایت الکتریکی در منطقه

هدایت الکتریکی از سمت جنوب و جنوب شرقی به سمت شمال و شمال غربی (از سمت ارتفاعات به سمت دریا) افزایش یافته است، که این جهت منطبق بر جهت جریان آبهای زیرزمینی است. افزایش هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در همه جا از روند یکسانی برخوردار نیست و در بعضی از موارد از روند کلی تبعیت نمی‌کند که دلیل آن پیشروی آب دریا در گذشته و بر جای ماندن رسوبات ریز دریایی و

آبهای فسیلی می‌باشد. در قسمت شمال غرب منطقه به دلیل تماس طولانی‌تر آب با خاک، پیشروی آب دریا و همچنین تخلیه زه‌آبهای کشاورزی در رودخانه قره‌سو، هدایت الکتریکی آبخوان بسیار بالا است.

### ب) نتایج حاصل از بررسی نمودارهای ترکیبی

در نمودارهای رسم شده از یونهای مختلف در مقابل TDI مشخص شد با افزایش TDI مقدار منیزیم و کلسیم افزایش می‌یابد که بیانگر وجود کربنات کلسیم و کربنات منیزیم در منطقه می‌باشد. نمودار ترکیبی بین سولفات و TDI همبستگی خیلی کمی را نشان می‌دهد که نشان دهنده عدم وجود ژپس در منطقه می‌باشد. با نزدیک شدن به دریا، مقدار کلرید و سدیم در مقایسه با TDI افزایش زیادی را نشان می‌دهد که این امر می‌تواند در اثر انحلال (NaCl) در آبهای منطقه باشد.

با توجه به نمودار مذکور غلظت نمونه‌هایی که بر روی خط راست قرار گرفته‌اند کمتر از ۱۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. این نمونه‌ها مربوط به نواحی تغذیه (حاشیه ارتفاعات) می‌باشند و انحلال کلسیت صورت گرفته است. نمونه‌هایی که در بالای خط راست قرار گرفته‌اند مربوط به قسمت انتهایی دشت (مناطق تخلیه) هستند که دانه ریز شدن رسوبات، وجود کانیهای رسی و احتمال نفوذ آب شور امکان انجام واکنش تبادل یونی معکوس را فراهم آورده است.

نمودارهای دو متغیره  $Ca^{2+}+Mg^{2+}$  در مقابل  $SO_4^{-}+HCO_3^{-}$  نشان می‌دهد که نمونه‌هایی که در پایین و بالای خط قرار می‌گیرند به ترتیب فرایند تبادل یونی و تبادل یونی معکوس غالب می‌باشد. غلظت نمونه‌هایی که بر روی خط راست قرار گرفته‌اند کمتر از ۱۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. این نمونه‌ها مربوط به نواحی تغذیه (حاشیه ارتفاعات) می‌باشند و انحلال کلسیت صورت گرفته است. نمونه‌هایی که در بالای خط راست قرار گرفته‌اند مربوط به قسمت انتهایی دشت (مناطق تخلیه) هستند که دانه ریز شدن رسوبات، وجود کانیهای رسی و احتمال نفوذ آب شور امکان انجام واکنش تبادل یونی معکوس را فراهم آورده است.

نسبت (Cl/TDS) در آبهای شور مناطق غیر دریایی بالاتر از ۰/۱ می‌باشد. اکثر نمونه‌ها دارای آب شیرین می‌باشند و مقادیر این شاخص فقط در جنوب شهر کردکوی، شمال غرب و قسمتی از شمال

شرق آبخوان بیشتر از ۰/۱ می‌باشد که بیانگر این مطلب است که در این قسمت‌ها با مشکل شوری آب زیرزمینی مواجه هستیم.

### ج) نتایج حاصل از بررسی روش رول

بر اساس نمودار رول بیشترین مقدار نسبت کلر به بیکربنات و کربنات در آب چاه دامداری عبدوی (۳/۶)، مرغداری کیا (۱/۷) و چاه کردکوی (۱/۶) می‌باشد که چاههای مرغداری کیا و دامداری عبدوی در شمال غرب منطقه و در نزدیکی ساحل دریای خزر می‌باشد. در شمال غرب منطقه و در نزدیکی ساحل دریای خزر به خاطر برداشت بیش از حد از آبخوان، جهت جریان در این نواحی معکوس شده و باعث نفوذ آب شور دریا به آبخوان ساحلی گردیده است. اما با توجه به فاصله چاه کردکوی با ساحل دریا برداشت بیش از حد و استخراج آبهای فسیلی دلیل عمده این نسبت می‌باشد. چاههای جنوب و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه به خاطر اینکه فاصله بیشتری از دریا داشته و تغذیه آنها توسط سازندهای آهکی اطراف صورت می‌گیرد میزان یون کلر در مقایسه با سایر چاهها کمتر می‌باشد و برعکس به خاطر وجود سازندهای آهکی مقدار بیکربنات بالایی داشته در نتیجه این نسبت در حد پایینی می‌باشد.

### د) علت اختلاف کیفیت آب در قسمت شرقی و غربی منطقه

در چاههای قسمت شمالی و شمال شرقی منطقه به دلیل فاصله زیاد چاهها با منطقه تغذیه و نفوذپذیری ناچیز رسوبات این قسمت، زمان ماندگاری آب در خاک بسیار زیاد می‌باشد و آب شیرین با سرعت خیلی کمی به سمت دریا در حرکت می‌باشد. زمان زیاد ماندگاری آب از محل تغذیه تا تخلیه، نفوذپذیری کم زمین و توپوگرافی پست در این قسمت سبب شده است که مرز مشترک آب شور و شیرین در این منطقه با شیب کم به طرف خشکی پیشروی داشته باشد و با اندکی تغییر در تراز آب شیرین پیشروی زیادی در خشکی صورت گیرد. همچنین به علت وجود دریاچه‌های آب شور و ترکمن صحرا در شمال شرق منطقه کیفیت آبهای سطحی بسیار بد می‌باشد که بر روی آب زیرزمینی تأثیر گذاشته است و به علت آبدهی پایین چاهها در محدوده شمال و شمال شرق کردکوی از چاههای عمیق استفاده می‌شود که سبب پیشروی سریع آب شور و کاهش کیفیت آب زیرزمینی شده است. در

قسمت غرب کردکوی با توجه به اختلاف بیشتر سطح آب شیرین و تراز دریا، نفوذپذیری بالاتر زمین و کیفیت بالاتر آب شیرین به دلیل ماندگاری کم آن در خاک، آب شیرین با سرعت بیشتری نسبت به بقیه نقاط به سمت دریا در حرکت می‌باشد و به نظر می‌رسد مرز بین آب شور و شیرین دارای شیب تندی می‌باشد. به علت وجود رودخانه‌های دائمی در غرب کردکوی کیفیت آبهای سطحی بسیار خوب می‌باشد که بر روی آب زیرزمینی تأثیر گذاشته و همچنین به علت آبدهی خوب چاهها در این قسمت از چاههای نیمه عمیق استفاده می‌شود که سبب برداشت از آب شیرین و حفظ کیفیت آن شده است.

### ۵-۶- پیشنهادها

- ۱- برای بررسی بهتر وضعیت آبخوان، در کل سطح دشت کردکوی پیژومترهای جدیدی با پراکندگی مناسب در قسمتهای مختلف دشت حفر شود و ضمن حفاری لاگ زمین شناسی چاه نیز با دقت بالا رسم شود تا اطلاعات بیشتری پیرامون آبخوان بدست آید.
- ۲- انجام مطالعات دقیق ژئوفیزیکی در منطقه برای تفکیک سفره‌های متعدد موجود در منطقه.
- ۳- انجام آزمایشات سن سنجی و ایزوتوپی از آبهای شور استحصالی از آبخوان تا بتوان مشخص کرد که منشأ آب شور، مربوط به آب فسیلی یا آب دریا می‌باشد.
- ۴- برای نتیجه‌گیری بهتر از مشخصات هیدروژئولوژیکی منطقه، تعداد آزمایشات پمپاژ با پراکندگی بهتر و تعداد بیشتری در منطقه صورت گیرد.
- ۵- منابع سطحی منطقه، مورد بررسی دقیق‌تر قرار گیرند تا در صورت امکان با ذخیره سازی آبهای سطحی، از یک طرف از هدر رفتن آنها در فصول غیر زراعی جلوگیری شده و از طرف دیگر جایگزین بخشی از مصارف آبهای زیرزمینی گردند.
- ۶- به منظور عدم برخورد به آب شور موجود در اعماق زیاد باید عمق برداشت آب در چاههای منطقه کاهش یابد.
- ۷- بهترین و موثرترین راه برای جلوگیری از پیشروی بیشتر آب شور دریا، کاهش برداشت از آبخوان کردکوی می‌باشد.

## منابع مورد استفاده

- احمدی پور، م. رئیسی، ع. اصغری مقدم، ا. (۱۳۸۴). هیدروژئولوژی چشمه های کارستی تاقدیس سبزپوشان. بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- اسناد و گزارشهای سازمان آب منطقه ای گلستان، ۱۳۸۸.
- آقازاده، ن. و اصغری مقدم، ا. (۱۳۸۷). ارزیابی هیدروژئوشیمیایی آبهای زیرزمینی منطقه سلماس و تعیین کیفیت آنها برای مصارف مختلف، مجله علوم پایه دانشگاه اصفهان، نسخه ۳۴، شماره ۵، ص ۷۹-۹۸.
- آقاناتی، ع. (۱۳۸۳)، زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰۷ صفحه.
- باقری، ص. کاظمی، غ. اصغری مقدم، ا. (۱۳۸۶). تاثیر سازندها وساختارهای زمین شناسی منطقه سراب بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی، یازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.
- بهزادی فر، م. نخعی م. لشکری پور غ. (۱۳۸۳). بررسی و ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت قوچان با استفاده از GIS. هشتمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. شاهرود، ص ۴۱۳-۴۰۴.
- پورکرمانی م، آرین م، (۱۳۷۶). لرزه خیزی ایران، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۳۴۸ صفحه.
- ترابی، ع. (۱۳۷۸). بررسی روند شور شدن آبهای زیرزمینی شمال دشت کاشان، مجله بیابان، جلد چهارم، شماره ۲. ص ۱-۲۲.
- جعفرزاده ف، کاظمی غ، اصغری مقدم ا، (۱۳۸۶)، تاثیر آب شور دریاچه ارومیه بر روی کیفیت آب زیرزمینی دشت ملکان و تعیین منشاء آنومالی سولفات، یازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۳۸-۴۷.
- جهانشاهی ر، زارع م، رئیسی ع، بهادری ف، (۱۳۸۶)، مطالعه هیدروشیمی منابع آب زیرزمینی منطقه واقع در جنوب شرقی دریاچه مهارلو، یازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.

- خالقی ع، رجبی ج، شهرکی ف، (۱۳۸۷). کمینه سازی مصرف آب و تولید پساب به روش برنامه ریزی ریاضی، دوازدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، ص ۴۳۶-۴۲۱.
- چیت سازان، م. سیدیپور، م. صفری، ح.، (۱۳۸۳)، مطالعات سازند سخت تاقدیس کوه سفید، سازمان آب و برق خوزستان، ۱۱۸ صفحه.
- درویش زاده، ع. (۱۳۷۴)، زمین شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، ۹۰۱ صفحه.
- دهقانی، ر.، (۱۳۸۸)، بررسی وضعیت آبهای زیرزمینی دشت آبرفتی تهران در برخورد با عوارض زمین ساختی (گسل ها)، فصلنامه پیام عمران، شماره ۲۷، ص ۳۲-۲۷.
- دیانتی تیلکی، ر. فلاح، ف. (۱۳۸۸). بررسی روند تغییرات هدایت الکتریکی و سختی آبهای زیرزمینی در منطقه ساحلی شهرستان ساری. دوازدهمین همایش بهداشت محیط ایران. انشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، ص ۱۰۹۷-۱۰۸۴.
- رقیمی م، رحیمی ع، قره محمدلو م، شاه پسندزاده م، سید خادمی س، م، (۱۳۸۵) تاثیر عوامل زمین شناسی در کیفیت شیمیایی منابع آب آشامیدنی گرگان، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پانزدهم، ص ۱۹۲-۱۸۱.
- روزبه م. دهقان منشادی ب. میرحسینی م. (۱۳۸۵). تحلیل کیفی آبهای زیرزمینی دشت ابرکوه، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- شاه پسندزاده ، م. (۱۳۷۱). تحلیل ساختاری و تفسیر محیط رسوبی مجموعه سنگهای دگرگونی گرگان، دانشگاه تربیت معلم تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی، ۲۹۷ صفحه.
- شرکت مهندسی مشاور زیستاب، ۱۳۷۰، گزارش مطالعات مرحله اول منابع آب گمیشان و خطوط انتقال، ذخیره و شبکه توزیع شهرهای آق قلا و گمیشان، ۷۲ صفحه.
- شرکت مهندسی مشاور فرپاک، (۱۳۷۶)، مطالعات منابع تأمین آب کردکوی، ۵۴ صفحه.
- شریف زاده، ب. محمدی، ض. زارع، م. (۱۳۸۷)، بررسی فرایندهای اثرگذار بر هیدروشیمی آبخوان دشت آبدان در استان بوشهر. دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. اهواز، ص ۲۴۹-۲۴۳.
- شمسانی، ا. (۱۳۸۱)، هیدرولیک جریان اب در محیطهای متخلخل. جلد دوم، مهندسی آبهای زیرزمینی، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ۵۵۹ صفحه.
- صداقت، م. (۱۳۷۳). زمین و منابع آب، جلد اول، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران، ۳۶۷ صفحه.

- عباس نژاد، ا. (۱۳۷۷)، بررسی شرایط و مسائل زمین شناسی محیط زیست دشت رفسنجان، فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ص ۳۱۰-۳۰۳.
- عساری م، جهانخواه ک، مهر نهاد ه، کهدویی م. (۱۳۸۶). بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت آبهای زیرزمینی دشت یزد. کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. تهران.
- علی نژاد ع، علاف نجیب م. (۱۳۸۲)، بررسی منشاء شوری آبخوان دشت آذرشهر، بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، تهران، ص ۴۱۲-۴۱۰.
- عزیزاده، ا (۱۳۸۰)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، ص ۷۷۴-۷۶۸.
- فنونی، ب. (۱۳۶۸). بررسی علل افت سطح آب چاه های شرب شهر گرگان، اداره کل آبیاری گرگان، گزارش داخلی، ۸۲ صفحه.
- قادر، ف. زارع، م. (۱۳۸۷)، بررسی تغییرات شوری نسبت به عمق تعیین مرز تداخل آب شور و شیرین در یک آبخوان ساحلی واقع در حاشیه شمال غربی دریاچه مهارلو. دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. اهواز، ص ۲۴۲-۲۳۵.
- قره محمودلو م، رقیمی م، طهماسبی ا، (۱۳۸۷)، استفاده از مطالعات هیدروژئوشیمی برای تشخیص نفوذ آب شور در چاه های آب (مطالعه موردی شهر ساری)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پانزدهم، شماره چهارم، ص ۸۲-۷۳.
- کابلی، ا. (۱۳۸۲)، مطالعه کمی و کیفی آبخوان آبرفتی ساری، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۷۹ صفحه.
- کلانتری ن. زارعی ح. (۱۳۸۴) بررسی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت زیدون. هشتمین همایش انجمن علمی زمین شناسی. شاهرود، ص ۵۴۳-۵۳۳.
- کردوانی، پ. (۱۳۷۱). منابع و مسائل آب در ایران. جلد دوم، نشر قومس، ۵۲۰ صفحه.
- کلانتریان، س، ف. بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی سفره آب زیرزمینی تنکابن، (۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۸ صفحه.



- محمد زاده ح. کاظمی گلیان ر. علایی م. (۱۳۸۱). بررسی هیدروشیمیایی آبهای زیرزمینی دشت شیروان و نقش آن در توسعه و گسترش شهر شیروان. هفتمین همایش علوم زمین، دانشگاه اصفهان، ص ۱۲۳-۱۱۲.
- محمدی زاده، م. (۱۳۸۵). مشخص کردن مسیر گسل در محدوده شهر سیرجان با استفاده از جریان آبهای زیر زمینی، اولین همایش مقاوم سازی لرزه‌ای، تهران، ص ۲۱۷-۲۱۰.
- محمدی فتیده، م. (۱۳۸۵)، بررسی امکانات منابع آب های زیر زمینی و عوامل مؤثر بر پتانسیل های منابع آب در مناطق مختلف شرق استان گیلان، همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ص ۱۴۲-۱۲۲.
- محمودلو، م. (۱۳۸۵)، مطالعه کیفیت آب آشامیدنی در محدوده ساری، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۵۹ صفحه.
- ملایی، م. کلانتری، ن. رئیسی، ع. (۱۳۸۰). نقش گسل قطر - کازرون در هیدروژئولوژی دشت برازجان، پنجمین همایش انجمن علمی زمین شناسی ایران، دانشگاه تهران، ص ۴۲۰-۴۱۶.
- مهندسین مشاور خزرآب، (۱۳۸۶)، مطالعات تامین آب و مطالعات مرحله اول و دوم جمع آوری، انتقال، ذخیره و شبکه توزیع آب شرب شهرهای کردکوی، بندر ترکمن، گمیشان و روستاهای مسیر، ۱۳۵ صفحه.
- مهندسین مشاور طوس آب، (۱۳۸۸)، مطالعات تعیین محل چاه به منظور تامین ۶۰ لیتر بر ثانیه آب زیرزمینی و تجهیز، احداث اتاقک و خطوط جمع آوری و انتقال چاه های سالیکنده در جنوب غرب کردکوی، ۶۸ صفحه.
- موسوی روح‌بخش م. (۱۳۸۰). تحلیل چینه شناسی حوضه جنوب شرقی دریای خزر، چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. دانشگاه تبریز، ص ۱۳۹-۱۳۷.
- ناصری ح. علیجانی ف. (۱۳۸۱). هیدروشیمی و آلودگی آبخوان آبرفتی ایذه، ششمین همایش انجمن علمی زمین شناسی ایران، کرمان، ص ۷۱-۶۵.
- ناصری ح، علیجانی ف. (۱۳۸۱). مطالعه هیدروژئوشیمی و آلودگی آب های زیرزمینی دشت ایذه. واحد تحقیقات و استانداردهای مهندسی آب، سازمان آب و برق خوزستان، ۵۷۰ صفحه.

- ناصری، ح. سرور، ع. (۱۳۸۴). نقش گسل خزر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیائی آبهای زیرزمینی (مطالعه موردی: محدوده ساری- گرگان)، نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، ص ۱۰۳-۹۲.

- نقشه راههای استان گلستان، مقیاس ۱:۳۰۰۰۰۰، مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی.

- نقشه زمین شناسی گرگان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۵.

- نودهی، سلیمه، بررسی اثرات زیست محیطی سد شهید رجایی ساری، (۱۳۸۶)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۴۱ صفحه.

- ولایتی، س. (۱۳۸۶). هیدروژئولوژی سازندهای نرم و سخت، انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد، ۲۵۴ صفحه.

- Bowen, H.J.M., (1979), "Environmental Chemistry of the Elements", Academic Press, New York. (In: Bradli, H. B., (2005), "Heavy Metals in the Environment", Elsevier Ltd, Vol, 6).
- Back, W., (1966 ) Hydrochemical facies and groundwater flow pattern in northern part of Atlantic coastal plain. U.S. Geol. Surv. Prof, 498 p.
- Bennetts, D.A., et al. 2006. Understanding the Stalinization process for groundwater in an area of south-eastern Australia using hydro chemical and isotopic evidence. Journal of Hydrology, Vol 323: 178-192.
- Boegli, A. (1976), Karsthdrographie und Physische Spelaeologie, Springer-Verlag.
- Chan, H. J. (2001). Effect of landuse and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea. Journal of Hydrology, 253, 194-210.
- Fetter, C.W., Jr Associates. 1999. Contaminant Hydrogeology, second edition. Prentice Hall, Inc, 592 pp.
- Freeze, R.A., and J.A. Cherry, 1979. Ground Water, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 691P.
- Hounslow, A.W. 1995. Water quality data analysis and interpretation. Lewis publishers, CKC press, LLC:378 p.

- Jackson, M.L. 1975. Soil chemical analysis, advanced course. Univ. Wiscon. College of Agric, Dep of Soil, Madison, Wis.
- James Jackson , Mark Allen & Manuel Berberian , 2002, Active tectonics of the South Caspian Basin, *Geophys.J.Int.*,Vol.148,214-241.
- Kamra, S.K., Mongia, A.D., Singh, O.P., Boonstra, J., 2000. Hydraulic and geo-chemical characterization of saline groundwater aquifers through pumping test studies. In: Proceedings of the International Conference on Managing Natural Resources for Sustainable Agricultural Production in the 21st Century, Extended Summaries of Voluntary Papers on Natural Resources, Vol. 2, New Delhi, 14–18 February, pp. 534–535.
- Karanath, K.R. (2001), Ground Water Assessment Development and Management. John Wiley & Sons, New York, 474P.
- Kazemi, G. A., Tsunogai, U. (2009). Groundwater discharge into the Caspian Sea from the Iranian coast and its importance. In: Taniguchi et al., (Editors).From Headwater to the Ocean.Taylor and Francis, London, 631-636 p.
- Khider K. and McPhail D.C. (2005) Hydrogeology and Hydrogeochemistry in the Hermidale area, NSW Regolish 2005- Ten years of CRC LEME, pp 165-169.
- Matthes, G. (1973), Die Beschaffenheit des Grundwassers, gebueder Borntraeger, Gebueder Borntraeger. Berlin. Stuttgart. (In: Kabata-Pendias A., Mukherjee, A. B.,(2007), “Trace Elements from Soil toHuman”, Springer Berlin Heidelberg New York).
- Mazor, E., (2004). Applied Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology,Third Edition. John Wiley & Sons, New York, 274P.
- Meyback, M. (1987), Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads. *American Journal of Science*, 287, 401–428.
- Piper, A.m., 1944. A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analysis.*Transaction of the American Geophysical Union*, 25, 6, 914-923.
- Price, M, 2004, Introducing Groundwater. Routledge Publisher, USA, 212-223p.
- Richter, W. and Lillich, W. (1975), Abriss der Hydrogeologie Schweizerbartsh Verlagbuchhand-lung, Stuttgart. ( In: Kabata-Pendias A., Mukherjee, A. B.,(2007), “Trace Elements from Soil toHuman”, Springer Berlin Heidelberg New York).
- Schürch, M. & Vuataz, F. D. 2000: Groundwater components in the alluvial aquifer of the alpine Rhine River valley, Bois de Finges area, Wallis Canton, Switzerland. *Hydrogeology Journal*, 8/5: 549-563.
- Stiff, H.A. (1951) “The interpretation of chemical water analysis by means of pattern, S.I. petrol tech 3.p.p. 15-17.

- Todd, D. K. ed. 2005. Groundwater Hydrology (3rd edn). John Wiley and Sons Inc. New York, USA. 535 pp
- Vengosh, A. (2005). Salinization and Saline Environments. environmental geochemistry. Volume 9, 333-365p.
- Wilcox, LV. (1955). Classification and use of irrigation water. USDA, Circular 969. Washington, DC.,USA.
- World Health Organization (2006). Guidelines for Drinking water Quality.Vol. 1:Recommendations (second edition). WHO, Geneva.

## **Abstract**

Kordkooy county is located in the south east of Caspian sea and 29 km West of Gorgan. Drinking water of Kordkooy, Bandartorkman and Gomishan cities comes from the Kordkooy aquifer which experiences salination recently. There is a deep unconfined aquifer in the beginning of the plain, semi-confined and confined aquifers in the middle of plain and some perched aquifer in the end of plain (near sea). Evaluation of isopotential maps shows that main groundwater flow occurs from the South East to North and North West. Measured Parameters in the field are electrical conductivity, pH and water temperature. Other parameters evaluated included Sodium, Potassium, Calcium, Magnesium, Bicarbonate, Chloride and Sulfate, which have been measured by Golestan Regional Water Authority laboratory. The results of electrical conductivity in the region show that, electrical conductivity has increased from the South and South East toward the North and North West (from heights to sea) which is relatively similar to the groundwater flow direction. Due to the drilling of deep wells and heavy pumping to supply drinking water for Kordkooy, Bandartorkman and Gomishan cities, water in this part is mixed with connate water and results in low quality water. At the end of the plain in the North West of region due to aquifer discharge, evaporation from water table, progressive of sea water and discharging ag, returned water into Ghareh-soo river, electrical conductivity of the aquifer is very high in this area. The long residence time of groundwater from recharge region to discharge region, low permeability and smooth topography of North and North East parts of region causes salt-fresh water boundary, advance to plain side and extracted water from the deep wells is believed to be the causes salinity of water in these parts.

**Key words:** Kordkooy, Hydrogeology, Hydrogeochemistry, Sea water intrusion.



**Shahrood University of Technology**  
**Faculty of Earth Sciences**  
**Hydrogeology and Environmental Geology Group**  
**M. Sc. Thesis**

# **Investigation on the quantity and quality of groundwater resources in Kordkooy area**

**Mojtaba Basaki**

**Supervisors:**

**Dr.G.H. Karami**

**Dr.N. Hafezi Moghaddas**

**Advisor:**

**Dr.E. Yakhkeshi**

**February 2011**