

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

هیدروژئولوژی آبخوان بهاباد در استان یزد با تأکید بر عوامل موثر بر افت سطح

ایستابی

دانشجو:

ملیحه شیرافکن

استاد راهنما:

دکتر هادی جعفری

آبان ۱۳۹۲

مقالات مستخرج از این پایان نامه:

۱- برداشت مطمئن از آبخوان بهاباد در استان یزد و نقش مصارف مختلف در آن، هفدهمین همایش

انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ۱۳۹۲

۲- ارزیابی بیلان هیدروژئولوژیکی آبخوان بهاباد در استان یزد، مجموعه مقالات هشتمین همایش انجمن

زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ۱۳۹۲

تقدیم به کهنه‌های زندگی

پدر و مادر عزیز و مهربانم

شکر و قدردانی

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قرمت و به شکر اندرش مزید نعمت، هر نفسی که فرومی رود مدحیاست و چون برمی آید مفرح ذات پس در هر نفسی دو نعمت موجودست و بر هر نعمت شگری واجب.

گرچه قلم قاصر است از بیان مطلب، اما بر خود وظیفه می دانم که از زحمات بی دریغ و ارزشمند جناب آقای دکتر مهدی جعفری، استاد گرانقدرم که افتخار راهنمایی این پایان نامه را از جانب ایشان داشتم کمال شکر را بنمایم.

در ادامه از کلیه استادان ارجمند در طول دوره تحصیل از جمله آقایان دکتر کریمی، دکتر کاظمی و دکتر طاهری شهرآیینی صمیمانه شکر و قدردانی نموده و همچنین

از کارمندان محترم دانشکده (به ویژه سرکار خانم مهندس فارسی) و کارکنان محترم شرکت آب منطقه ای نزد (به ویژه جناب آقای مهندس میرحسینی)

شکر می نمایم.

از کجینتهای زندگی، پروماد عزیزم که دعای خیرشان همواره نجات بخش من بوده کمال شکر و سپاس بیکران دارم.

چکیده

حوضه آبریز بهاباد در استان یزد بخشی از بزرگ حوضه کویر لوت بوده و آبخوانی آزاد به مساحت ۳۶۶ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد. در این مطالعه به بررسی کمیت و کیفیت این آبخوان پرداخته می‌شود. آب زیرزمینی در دشت بهاباد برای بخش‌های کشاورزی و صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. به علت وابستگی و نیاز شدید این بخش‌ها به آب زیرزمینی سالانه افت زیادی در آبخوان ایجاد می‌گردد. تجمع چاه‌های بهره‌برداری به ویژه چاه‌های صنعتی در بخش مرکزی دشت، سبب فروافتادگی در سطح ایستابی و تمرکز جریان به سمت این چاه‌ها شده در نتیجه الگوی جریان در بخش‌های جنوبی و شمالی از هم متفاوت شده است. هیدروگراف معرف آبخوان در یک دوره ده ساله میانگین افت سالانه ۶۰ سانتی‌متر برای منطقه جنوبی و ۴۰ سانتی‌متر برای منطقه شمالی دشت را نشان می‌دهد. بر اساس بیلان آب آبخوان بهاباد برای سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ میزان ورودی‌ها به آبخوان در بخش‌های جنوبی و شمالی به ترتیب ۲۰/۹ و ۶/۸ میلیون متر مکعب بوده که از مجموع خروجی‌ها که به ترتیب برای بخش‌های جنوبی و شمالی ۳۳/۹ و ۸/۶ میلیون متر مکعب است، کمتر می‌باشد. همچنین برداشت مطمئن از سفره در این سال آبی برای بخش‌های جنوبی و شمالی به ترتیب حدود ۲۲/۳ و ۳/۷ میلیون متر مکعب برآورد شده است. میزان کل آب بهره‌برداری از تغذیه طبیعی سفره و برداشت مطمئن بیشتر بوده که این موضوع سبب کسری مخزن آب زیرزمینی و بیلان منفی آبخوان شده و در نتیجه افت سطح آب زیرزمینی را در پی داشته است. برای رسیدن به برداشت مطمئن در منطقه بایستی به مدیریت برداشت جهت مصارف مختلف در هر دو بخش کشاورزی و صنعتی پرداخته شود. همچنین بررسی کیفی آبخوان بهاباد نشان می‌دهد با افزایش عمق میزان املاح و هدایت الکتریکی آبخوان افزایش یافته است در نتیجه با افزایش افت سطح آب زیرزمینی، آب برداشتی از کیفیت نامناسب‌تری برخوردار خواهد بود. تیپ غالب آب در آبخوان بهاباد از نوع کلوره- سدیک می‌باشد. میانگین هدایت الکتریکی آبخوان حدود ۴۵۰۵ میکروموس بر سانتی‌متر بوده و روند افزایشی هدایت الکتریکی بیانگر تخریب کیفیت آن با گذشت زمان می‌باشد.

کلمات کلیدی: افت سطح ایستابی، بیلان هیدروژئولوژیکی، برداشت مطمئن، آبخوان بهاباد، یزد

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جداول.....	۵.....
فهرست شکل‌ها.....	ز.....
فصل اول: مقدمه	۱.....
۱-۱- بیان مسأله و هدف از انجام تحقیق.....	۱.....
۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....	۲.....
۳-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه.....	۳.....
۱-۳-۱- ضریب اقلیمی دمارتن.....	۴.....
۲-۳-۱- نمودار امبروترمیک.....	۵.....
۴-۱- منابع آبی در حوضه آبریز بهاباد.....	۵.....
۵-۱- ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه.....	۷.....
۶-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....	۸.....
۱-۶-۱- چینه‌شناسی منطقه.....	۸.....
۱-۱-۶-۱- رسوبات پرکامبرین بالایی.....	۸.....
۲-۱-۶-۱- پرکامبرین بالایی و کامبرین زیرین.....	۹.....
۳-۱-۶-۱- نهشته‌های پالئوزوئیک.....	۱۰.....
۴-۱-۶-۱- مزوزوئیک.....	۱۰.....
۵-۱-۶-۱- سنوزوئیک.....	۱۲.....
۲-۶-۱- زمین‌شناسی ساختاری.....	۱۳.....
فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته	۱۵.....
۱-۲- مقدمه.....	۱۵.....

۱۵	۲-۲- عوامل موثر بر نوسان سطح ایستابی
۱۶	۱-۲-۲- تخلیه و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی
۱۸	۲-۲-۲- تغذیه
۲۲	۱-۲-۲-۲- تعریف آبدهی ویژه
۲۲	۲-۲-۲-۲- روش‌های اندازه‌گیری
۲۵	۳-۲- مفهوم برداشت مطمئن
۲۹	فصل سوم: روش انجام کار
۲۹	۱-۳- جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات کمی و کیفی آب زیرزمینی
۲۹	۲-۳- بررسی‌های زمین‌شناسی
۳۰	۳-۳- تحلیل داده‌های هیدروژئولوژیکی
۳۰	۱-۳-۳- ارزیابی بیلان و برداشت مطمئن آب زیرزمینی
۳۲	۲-۳-۳- تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمیایی
۳۴	فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد
۳۴	۱-۴- مقدمه
۳۴	۲-۴- دشت بهاباد
۳۵	۳-۴- آبخوان بهاباد
۳۵	۱-۳-۴- تعیین مرز آبخوان بهاباد
۳۶	۲-۳-۴- موقعیت و مشخصات منابع آبی در آبخوان بهاباد
۴۰	۳-۳-۴- نقشه‌های هم‌پتانسیل آبخوان بهاباد
۴۶	۴-۳-۴- نقشه هم‌عمق سطح ایستابی
۴۸	۵-۳-۴- نقشه هم‌افت سطح ایستابی
۵۰	۶-۳-۴- ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان بهاباد
۵۰	۱-۶-۳-۴- تعیین آبدهی ویژه (ضریب ذخیره) دشت بهاباد
۵۵	۲-۶-۳-۴- تعیین قابلیت انتقال دشت بهاباد

۵۸	۷-۳-۴- بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی
۵۹	۱-۷-۳-۴- هیدروگراف پیزومترها
۶۰	۲-۷-۳-۴- هیدروگراف معرف
۶۱	۸-۳-۴- بیلان آب زیرزمینی
۶۱	۱-۸-۳-۴- محدوده بیلان آب زیرزمینی
۶۲	۲-۸-۳-۴- دوره زمانی بیلان
۶۲	۳-۸-۳-۴- پارامترهای مختلف بیلان
۶۹	۹-۳-۴- برداشت مطمئن
۷۲	۱-۹-۳-۴- نقش چاه‌ها در افت آب زیرزمینی در بخش جنوبی آبخوان
۷۴	۱۰-۳-۴- بررسی کیفی آبخوان بهاباد
۷۶	۱-۱۰-۳-۴- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی، سختی و یونهای غالب
۷۸	۲-۱۰-۳-۴- تیپ آب در آبخوان بهاباد
۷۹	۳-۱۰-۳-۴- بررسی منشأ یون‌ها در دشت بهاباد
۸۲	۴-۱۰-۳-۴- بررسی شاخص اشباع
۸۳	۵-۱۰-۳-۴- تغییرات هدایت الکتریکی نسبت به زمان
۸۴	۶-۱۰-۳-۴- بررسی کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان بهاباد از نظر شرب و کشاورزی
۸۸	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۸۸	۱-۵- مقدمه
۸۸	۲-۵- نتایج
۹۲	۳-۵- پیشنهادها
۹۳	منابع
۹۷	پیوست‌ها

فهرست جداول

- جدول (۱-۱) آمار بارندگی و درجه حرارت برای یک دوره ۲۲ ساله ۳
- جدول (۲-۱) طبقه بندی دمارتن ۴
- جدول (۳-۱) آمار حداقل، حداکثر و متوسط ماهانه دبی رودخانه شور برای یک دوره آماری ۶
- جدول (۱-۲) مقادیر آبدهی ویژه (Johnson 1967) ۲۳
- جدول (۱-۴) چاه‌های بهره‌برداری در آبخوان بهاباد و مشخصات آن‌ها ۳۸
- جدول (۲-۴) مشخصات پیرومترهای دشت بهاباد و ارتفاع سطح ایستابی در اردیبهشت ماه ۴۱
- جدول (۳-۴) مقادیر آبدهی ویژه در مناطق مختلف دشت بهاباد ۵۱
- جدول (۴-۴) میانگین آبدهی ویژه قسمت جنوبی آبخوان بهاباد ۵۳
- جدول (۵-۴) میانگین آبدهی ویژه قسمت شمالی آبخوان بهاباد ۵۳
- جدول (۶-۴) محاسبه دبی لوله جریان بر اساس پارامترهای اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۷۴-۷۵ ۵۷
- جدول (۷-۴) محاسبه قابلیت انتقال در محل T1 با استفاده از معادله دارسی ۵۷
- جدول (۸-۴) تخمین قابلیت انتقال بین خطوط هم‌پتانسیل ۵۸
- جدول (۹-۴) مشخصات لوله‌های ورودی و خروجی جریان بر اساس نقشه هم‌پتانسیل اردیبهشت ماه ۶۶
- جدول (۱۰-۴) محاسبه تغییر حجم ذخیره با استفاده از هیدروگراف معرف در قسمت جنوبی دشت ۶۸
- جدول (۱۱-۴) محاسبه تغییر حجم ذخیره با استفاده از هیدروگراف معرف در قسمت شمالی دشت ۶۸
- جدول (۱۲-۴) محاسبه بیلان آبخوان در قسمت جنوبی و شمالی دشت ۶۸
- جدول (۱۳-۴) محاسبه ذخیره دینامیک آبخوان در منطقه جنوبی دشت ۷۰
- جدول (۱۴-۴) محاسبه ذخیره دینامیک آبخوان در منطقه شمالی دشت ۷۱
- جدول (۱۵-۴) محاسبه برداشت مطمئن در منطقه جنوبی دشت ۷۱
- جدول (۱۶-۴) محاسبه برداشت مطمئن در منطقه شمالی دشت ۷۱
- جدول (۱۷-۴) پارامترهای شیمیایی در چاه‌های انتخابی دشت بهاباد ۷۵

جدول ۴-۱۸) شاخص اشباع ۸۲

جدول ۴-۱۹) کیفیت نمونه‌ها از نظر کشاورزی ۸۷

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن..... ۲
- شکل (۲-۱) نمودار امپروترمیک منطقه بر اساس دوره آماری ۲۲ ساله..... ۵
- شکل (۳-۱) هیدروگراف متوسط ماهانه رودخانه شور در ایستگاه جعفرآباد در یک دوره آماری..... ۷
- شکل (۴-۱) نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز بهاباد..... ۱۴
- شکل (۱-۲) نمودار توزیعی میانگین افت سطح آب و کل آب استخراج شده در شهر دهاکا..... ۱۷
- شکل (۲-۲) مثلث رده‌بندی بافت برای مواد تحکیم نیافته..... ۲۴
- شکل (۳-۲) نمودار آبدی ویژه در مقابل میانگین افت ماهیانه سطح ایستابی در حوضه ترلا ادها..... ۲۵
- شکل (۱-۳) نمایش حوضه آبریز بهاباد در محیط Google Earth..... ۳۰
- شکل (۲-۳) موقعیت پیزومترهای حفر شده در دشت بهاباد واقع در حوضه آبریز بهاباد..... ۳۱
- شکل (۳-۳) نقشه موقعیت چاه‌های انتخابی جهت نمونه‌برداری کیفی از منابع آب زیرزمینی..... ۳۳
- شکل (۱-۴) حوضه آبریز بهاباد و موقعیت آبخوان بهاباد در آن..... ۳۷
- شکل (۲-۴) موقعیت چاه‌های کشاورزی، صنعتی و شرب در آبخوان بهاباد..... ۴۰
- شکل (۳-۴) نقشه هم‌پتانسیل آبخوان بهاباد در اردیبهشت ماه ۱۳۸۲..... ۴۳
- شکل (۴-۴) نقشه هم‌پتانسیل آبخوان بهاباد در اردیبهشت ماه ۱۳۹۰..... ۴۴
- شکل (۵-۴) ارتفاعات شرقی دشت بهاباد از جنس شیل و مارن..... ۴۵
- شکل (۶-۴) ارتفاعات جنوبی دشت بهاباد از جنس شیل، آهک، دولومیت، کنگلومرا و ماسه‌سنگ..... ۴۶
- شکل (۷-۴) نقشه هم‌عمق آبخوان بهاباد در اردیبهشت ماه ۱۳۹۰..... ۴۷
- شکل (۸-۴) زهکشی آب زیرزمینی توسط رودخانه شور در بخش شمالی آبخوان بهاباد..... ۴۸
- شکل (۹-۴) نقشه هم‌افت آبخوان بهاباد در یک دوره ۸ ساله..... ۴۹
- شکل (۱۰-۴) نقشه تیسن آبخوان بهاباد..... ۵۲
- شکل (۱۱-۴) رسوبات در مناطق جنوبی دشت از جنس ماسه و گراول..... ۵۴

- شکل ۴-۱۲) رسوبات در مناطق شمالی دشت از جنس سیلت و رس ۵۴
- شکل ۴-۱۳) قابلیت انتقال در بخش‌های مختلف آبخوان بهاباد ۵۷
- شکل ۴-۱۴) هیدروگراف معرف بهاباد برای قسمت جنوبی دشت ۶۰
- شکل ۴-۱۵) هیدروگراف معرف بهاباد برای قسمت شمالی دشت ۶۰
- شکل ۴-۱۶) نقشه هم‌پتانسیل آبخوان بهاباد در اردیبهشت ماه ۱۳۹۰ ۶۵
- شکل ۴-۱۷) درصد بهره‌برداری چاه‌های موجود در آبخوان بهاباد ۷۳
- شکل ۴-۱۸) تغییرات مکانی هدایت الکتریکی ۷۷
- شکل ۴-۱۹) نمودار استیف برای چاه‌های انتخابی دشت بهاباد ۷۸
- شکل ۴-۲۰) نمودار پایپر برای چاه‌های انتخابی دشت بهاباد ۷۹
- شکل ۴-۲۱) نسبت یون کلر به مجموع آنیون‌ها ۸۰
- شکل ۴-۲۲) نسبت سدیم به مجموع یون سدیم و کلر ۸۱
- شکل ۴-۲۳) نسبت کلسیم به مجموع یون کلسیم و سولفات ۸۲
- اشکال ۴-۲۴) روند تغییرات هدایت الکتریکی نسبت به زمان (۱۳۹۰-۱۳۸۱) ۸۳
- شکل ۴-۲۵) نمودار شولر نمونه‌های آبخوان بهاباد ۸۶
- شکل ۴-۲۶) نمودار ویلکوکس نمونه‌های آبخوان بهاباد ۸۷

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مسأله و هدف از انجام تحقیق

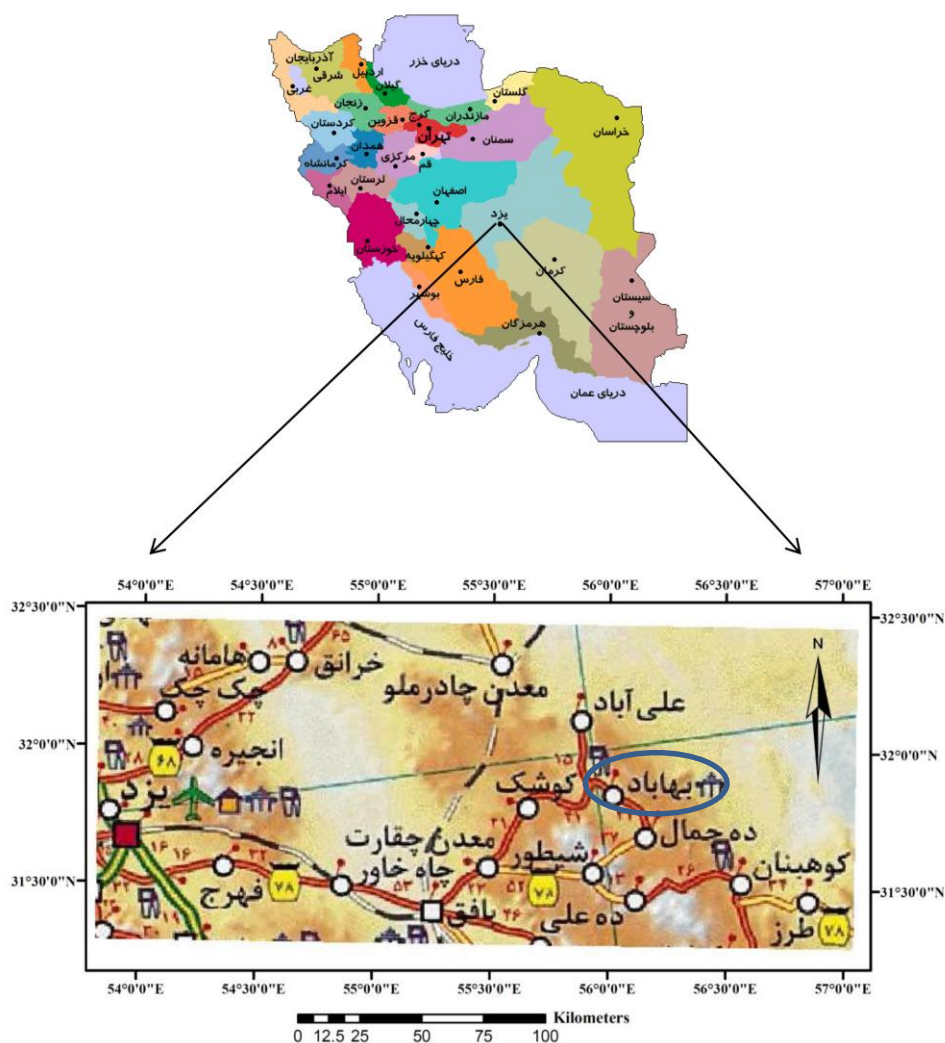
در مناطق خشک و نیمه خشک به علت فقدان منابع آب سطحی دائمی و کم بودن ریزش‌های جوی، منابع آب زیرزمینی به عنوان یک مخزن بزرگ آب شیرین برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت معرفی می‌شوند. افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش نیازهای انسانی، اقتصادی و غیره، افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی را در پی داشته است. این منابع بخشی از چرخه هیدرولوژیکی بوده که به لحاظ افزایش بهره‌برداری و دخالت انسان‌ها در آن، تغییراتی در توازن اجزای آن ایجاد شده که نتیجه آن اثرات زیان‌آوری است که به دنبال این تغییرات رخ می‌دهد. افت شدید سطح ایستابی و همچنین تخریب کیفیت آب از جمله این اثرات بوده که با گذشت زمان فزونی یافته است. لذا مدیریت صحیح ذخایر آب زیرزمینی بسیار مهم می‌باشد. بدیهی است مدیریت صحیح و استفاده بهینه از منابع آب زیرزمینی بدون شناخت کمیت و کیفیت این منابع ارزشمند آبی امکان‌پذیر نمی‌باشند.

دشت بهاباد یکی از دشت‌های مهم در استان یزد بوده که به دلیل برداشت بیش از اندازه منابع آب زیرزمینی برای مصارف مختلف صنعتی و کشاورزی دچار افت ممتد سطح ایستابی و احتمالاً تهی‌شدگی آبخوان شده است. کاهش کمی منابع آب زیرزمینی و بالا رفتن شدید املاح و تغییر در کیفیت از جمله اثرات این افت بوده که کاهش چشمگیر کشاورزی و دامپروری در این شهرستان و افزایش مهاجرت به مرکز استان را در پی داشته است. هدف از این مطالعه شناخت وضعیت کمی و کیفی این آبخوان مهم می‌باشد. همچنین به منظور جلوگیری از برداشت بی‌رویه و اثرات زیان‌آور آن، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی منابع آب زیرزمینی در قالب مطالعات بیلان و مفهوم برداشت مطمئن پایه‌ریزی شده است. در

این راستا بررسی خصوصیات کمی و کیفی آبخوان توسط نقشه‌های مربوط به آن، برآورد مؤلفه‌های بیلان و همچنین استفاده از مفهوم مدیریتی برداشت مطمئن صورت می‌گیرد.

۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شهر بهاباد در فاصله ۲۲۰ کیلومتری شرقی یزد قرار گرفته که به عنوان یکی از بزرگترین مرکز جمعیتی در استان محسوب می‌شود. مهم‌ترین راه‌های ارتباطی منطقه جاده آسفالت بهاباد- بافق و جاده بهاباد- چادرملو (که به جاده یزد- طبس متصل می‌گردد) می‌باشد. همچنین از دیگر راه‌های ارتباطی می‌توان به جاده کوهستانی ده‌جمال- کوهبنان اشاره نمود.



شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن

۱-۳- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی وضعیت اقلیمی منطقه از آمار ۲۲ ساله ایستگاه بهاباد (۸۹-۱۳۶۷) استفاده شده است. اطلاعات مربوط به میانگین ماهانه بارندگی و درجه حرارت ثبت شده این ایستگاه در جدول ۱-۱ ارائه شده است. با توجه به جدول، در این دوره آماری، بیشترین مقدار بارندگی در دی ماه و بیشینه دما در تیرماه می باشد. همچنین کمترین مقدار بارندگی در شهریورماه و حداقل دما در دی ماه رخ می دهد.

جدول ۱-۱) آمار بارندگی و درجه حرارت برای یک دوره ۲۲ ساله از سال ۸۹-۱۳۶۷ (شرکت آب منطقه ای یزد ۱۳۹۰)

درجه حرارت (درجه سانتی گراد)			بارندگی (میلی متر)		زمان (ماه)
میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	
۱۹/۸	۲۳	۱۷	۰/۹	۶/۵	مهر
۱۴/۳	۱۶/۲	۱۱/۹	۵/۴	۲۷	آبان
۸/۷	۱۱/۸	۹	۱۰/۲	۳۵	آذر
۵/۸	۹/۳	-۲/۵	۱۶/۶	۴۸/۵	دی
۷/۱	۱۱/۲	۲/۵	۱۳/۹	۳۵/۵	بهمن
۱۱/۴	۱۵/۹	۸/۶	۱۵/۹	۵۹/۵	اسفند
۱۶/۳	۱۸/۷	۱۴/۲	۱۱/۰	۳۸/۵	فروردین
۲۲/۲	۲۵/۶	۱۹	۶/۹	۳۵/۵	اردیبهشت
۲۴/۲	۲۹/۹	۲۴/۲	۰/۴	۴/۵	خرداد
۲۹/۹	۳۲/۲	۲۷/۷	۰/۲۵	۵/۵	تیر
۲۷/۷	۳۱/۷	۲۶	۰/۰۷	۱	مرداد
۲۲	۲۷/۸	۲۲	۰	۰	شهریور
۱۷/۹			۸۱/۵		متوسط

میانگین سالانه بارندگی حدود ۸۱/۵ میلی متر و متوسط دما ۱۷/۹ درجه سانتی گراد می باشد. بیش از نیمی از بارندگی سالانه در فصل زمستان بوده به طوری که میزان بارندگی زمستانه در بهاباد ۵۷ درصد بارندگی سالانه را به خود اختصاص می دهد. پس از آن فصل بهار پر باران ترین فصل در منطقه محسوب می شود. با توجه به آمار و اطلاعات ارائه شده در ایستگاه بهاباد، بیشترین میزان بارندگی

فصل اول: مقدمه

مربوط به سال‌های آماری ۱۳۷۷-۷۸ و ۱۳۸۷-۸۸ با مقدار ۱۲۰/۵ میلی‌متر و حداقل میزان آن مربوط به سال آماری ۱۳۷۸-۷۹ با مقدار ۲۸/۵ میلی‌متر می‌باشد.

جهت بررسی وضعیت اقلیمی از ضرایب و نمودارهای مختلف بسته به نوع شرایط آب و هوایی استفاده می‌شود. در این مطالعه از ضریب دمارتن و نمودار امپروترمیک استفاده شده که نتایج آن در زیر ارائه شده است.

۱-۳-۱- ضریب اقلیمی دمارتن

دمارتن (De Martonne) با توجه به میانگین دما و بارش سالیانه، ضریب اقلیمی (I) را بر اساس فرمول ۱-۱ ارائه نموده است. مقدار این ضریب وضعیت اقلیمی مناطق را مشخص می‌کند (علیزاده ۱۳۹۰). در این فرمول P متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) و T متوسط دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد) می‌باشد.

$$I = P / (T + 10) \longrightarrow I = ۸۱/۵ / (۱۷/۹ + ۱۰) \quad \text{فرمول (۱-۱)}$$

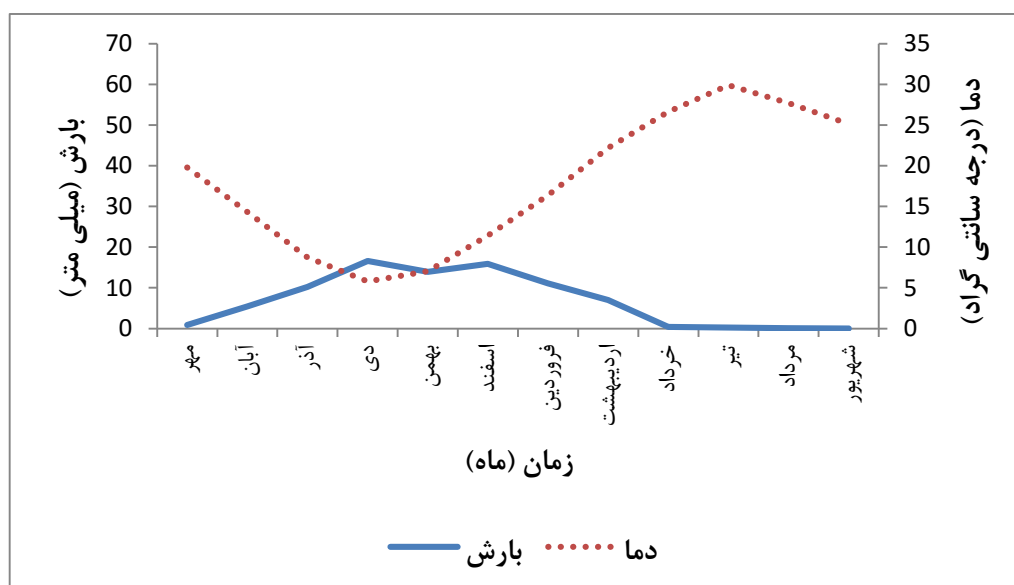
بر اساس فرمول دمارتن ۶ نوع آب و هوا طبقه‌بندی شده است (جدول ۱-۲). با توجه به فرمول ۱-۱ مقدار ضریب خشکی دمارتن برای منطقه بهاباد ۳ برآورد می‌گردد. بر اساس جدول ۱-۲ اقلیم منطقه از نوع خشک تعیین می‌گردد.

جدول ۱-۲) طبقه بندی 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

۱-۳-۲- نمودار امبروترمیک

نمودار امبروترمیک منطقه (Embrotrophic) بر اساس متوسط دما و بارش ماهانه ترسیم و در شکل ۱-۲ ارائه شده است. بر اساس این نمودار در فصل زمستان بارندگی بر دما فزونی دارد، لذا این دوره زمانی دوره مرطوب از سال می‌باشد. بقیه ماه‌های سال به عنوان ماه‌های خشک (دوره خشک) می‌باشند.



شکل ۱-۲) نمودار امبروترمیک منطقه بر اساس دوره آماری ۲۲ ساله (از سال ۱۳۸۹-۱۳۶۷)

۱-۴- منابع آبی در حوضه آبریز بهاباد

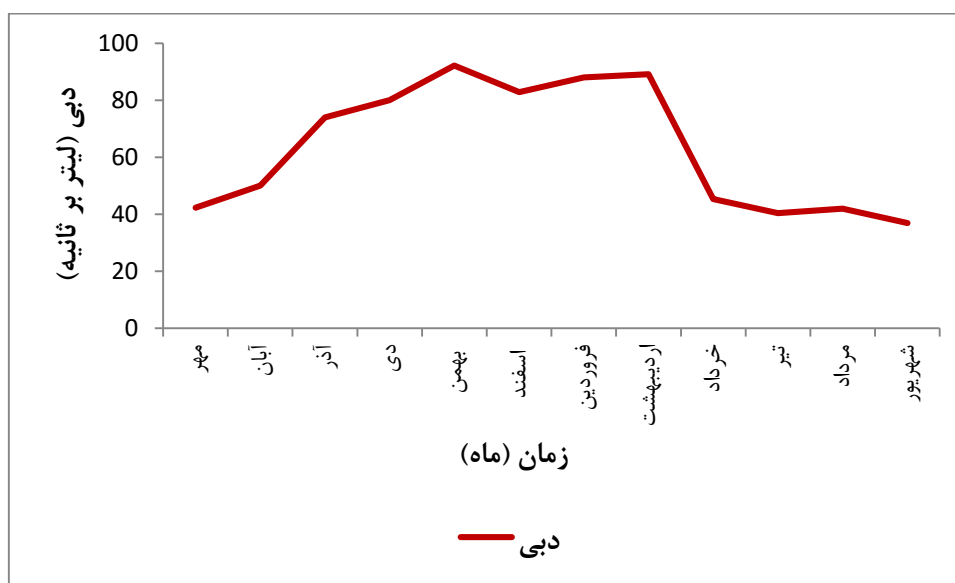
حوضه آبریز بهاباد به مساحت ۲۲۱۴ کیلومتر مربع در راستای جنوب-شمال کشیده شده است. مهم-ترین منابع آبی در این حوضه منابع آب زیرزمینی می‌باشد که سهم عمده‌ای در تأمین آب برای مصارف کشاورزی، صنعتی و آشامیدنی دارند. این حوضه در برگیرنده آبخوانی آزاد بوده که در محدوده جغرافیایی ۴۲' ۵۵° تا ۱۷' ۵۶° طول شرقی و ۴۳' ۳۱° تا ۱۲' ۳۲° عرض شمالی قرار دارد. آب‌های زیرزمینی به طور عمده توسط چاه‌های بهره‌برداری استخراج می‌شوند و به مصارف مختلف می‌رسند. درباره این مصارف در فصل ۴ به صورت کامل بحث شده است.

فصل اول: مقدمه

رودخانه شور تنها رودخانه مهم در دشت بهاباد بوده که در راستای شمالی- جنوبی کشیده شده و رژیم آبدهی آن سیلابی می‌باشد. بیش از ۳۰ مسیل کوچک و بزرگ به شاخه اصلی پیوسته و رودخانه شور را تشکیل می‌دهند. مسیل‌های عمده حوضه رودخانه شور بهاباد، آسفیج، ده‌جمال، بنستان، آبدوگی، ده‌عروس و مشیرآباد بوده که از کوه‌های جنوب و غرب بهاباد سرچشمه می‌گیرند (شرکت آب منطقه‌ای یزد ۱۳۷۵). بررسی تغییرات آبدهی رودخانه شور بر اساس آمار ارائه شده در ایستگاه هیدرومتری جعفرآباد (تأسیس شده در سال ۱۳۷۱) انجام می‌شود. این ایستگاه در سال تأسیس از نوع درجه ۴ (اشل) بوده و در سال ۱۳۸۲ با تأسیس تلفریک و لمینگراف به ایستگاه هیدرومتری درجه یک تبدیل گردیده است. متوسط، حداقل و حداکثر دبی این رودخانه برای یک دوره آماری ۱۹ ساله (از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۰) در جدول ۳-۱ و هیدروگراف متوسط ماهانه در شکل ۳-۱ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان دبی رودخانه در فصول زمستان و بهار افزایش می‌یابد. در فصول خشک که هیچ بارندگی وجود ندارد میزان متوسط دبی پایه این رودخانه ۰/۰۴ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. بخشی از آب زیرزمینی در اثر زهکشی به این رودخانه از آبخوان خارج می‌گردد.

جدول ۳-۱) آمار حداقل، حداکثر و متوسط ماهانه دبی رودخانه شور برای یک دوره آماری ۱۹ ساله (از سال ۱۳۹۰-۱۳۷۱)

زمان (ماه)	حداقل دبی (L/s)	حداکثر دبی (L/s)	میانگین دبی (L/s)
مهر	۲۷	۷۰	۴۲/۳
آبان	۳۰	۶۰	۵۰
آذر	۲۸	۴۵۰	۷۳/۹
دی	۲۷	۵۳۰	۸۰
بهمن	۳۰	۴۲۰	۹۲
اسفند	۳۰	۴۱۰	۸۲/۸
فروردین	۳۰	۳۸۰	۸۸
اردیبهشت	۲۷	۳۴۰	۸۹
خرداد	۲۶	۱۱۰	۴۵/۲
تیر	۲۵	۸۰	۴۰/۴
مرداد	۲۳	۱۰۰	۴۲
شهریور	۲۲	۵۰	۳۶/۸



شکل ۱-۳) هیدروگراف متوسط ماهانه رودخانه شور در ایستگاه جعفرآباد در یک دوره آماری ۱۹ ساله (از سال ۹۰-۱۳۷۱)

۱-۵- ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

ریخت کلی حوضه آبریز بهاباد به صورت هورست و گرابن می‌باشد. دو رشته ارتفاعات موازی در امتداد شمال غرب - جنوب شرق در منطقه گسترده شده است. در میان این ارتفاعات دشت بهاباد قرار داشته که دربردارنده پهنه‌های رسی و نمکی با ارتفاعی در حدود ۱۴۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. ضخامت این رسوبات بیش از چند ده متر نمی‌باشد (شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بهاباد، سحابی و همکاران ۱۳۷۸). بلندترین نقطه ارتفاعی کوه لک درنگر به ارتفاع ۳۰۶۹ متر در جنوب زیرحوضه و پست‌ترین آن به ارتفاع ۱۱۲۰ متر در محل خروجی رودخانه شور بهاباد قرار دارد. حدود ۵۸/۴ درصد از سطح حوضه در ارتفاع کمتر از ۱۷۵۰ متر قرار دارد و بقیه دارای ارتفاع بیش از ۱۷۵۰ متر می‌باشد. شیب توپوگرافی از ارتفاعات اطراف به سمت مرکز دشت و محل خروجی رودخانه شور کاهش می‌یابد. شیب کلی منطقه از جنوب شرق به سمت شمال غرب می‌باشد. این پدیده باعث ایجاد یکسری شبکه آبراهه‌های خشک و مسیل‌های سیلابی شده که همگی از قسمت‌های غربی، جنوبی و شرقی به طرف مرکز دشت امتداد یافته است و سپس در امتداد طول دشت ادامه داشته و در نهایت تمام آن‌ها در

منتهی‌الیه شمالی دشت (شمال روستای جعفرآباد) از حوضه آبریز بهاباد خارج می‌گردند (شرکت آب منطقه‌ای یزد ۱۳۷۵).

۱-۶- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

حوضه بهاباد از نظر زمین‌شناسی بخشی از زون ایران مرکزی و بزرگ حوضه کویر لوت می‌باشد. طبقات زمین‌شناسی موجود در حوضه بهاباد بسیار متنوع و دارای رخساره‌های متفاوتی می‌باشند. در ادامه زمین‌شناسی حوضه مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۶-۱- چینه‌شناسی منطقه

رخنمون‌های سنگی در محدوده مورد مطالعه از پایین‌ترین بخش کامبرین زیرین شروع شده و به آبرفت‌های جوان عصر حاضر خاتمه می‌یابد. بیش از ۷۰ درصد از این رخنمون‌ها را سنگ‌های مربوط به زمان مزوزوئیک تشکیل داده است. سازندهای مربوط به دوران پالئوزوئیک تنها محدود به یال غربی در جنوب مرکزی ناحیه می‌باشند که این نهشته‌ها در بخش‌های مختلف حوضه آبریز بهاباد دارای پراکندگی‌های متفاوتی می‌باشند (شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بهاباد، سحابی و همکاران ۱۳۷۸). در زیر به شرح هر کدام از واحدهای سنگی پرداخته می‌شود. مطالب زیر برگرفته از کتاب زمین‌شناسی ایران (آقاناتی ۱۳۸۳)، نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و شرکت آب منطقه‌ای استان یزد می‌باشند.

۱-۶-۱-۱- رسوبات پرکامبرین بالایی

در حوضه آبریز بهاباد نهشته‌های پرکامبرین حدود ۵ درصد از رخنمون‌های سنگی را به خود اختصاص می‌دهد (شرکت آب منطقه‌ای یزد ۱۳۷۵). کهن‌ترین نهشته‌های رسوبی در حوضه بهاباد مربوط به سازند تاشک بوده که با علامت اختصاری PCt بر روی نقشه زمین‌شناسی نشان داده شده است. جنس این رسوبات ماسه‌سنگ‌های کوارتزی و شیل‌های سیلتی با رنگ هوازده سبز تیره می‌باشد. مرز زیرین

آن سازند بنه شورو و مرز بالایی آن با دگرشیبی زاویه‌ای مشخص به وسیله سنگ‌های پرکامبرین پسین (سازند ساغند، سری ریزو) پوشیده شده است (شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اسفوردی، جمشیدی و افشاریان‌زاده ۱۳۷۰). این نهشته‌ها در ارتفاعات غربی حوضه بهاباد برونزد داشته و نقش منفی در تغذیه و کیفیت آب زیرزمینی داشته است.

سری رحمت‌آباد از دیگر تشکیلاتی است که مربوط به این دوران می‌باشد. این سری از سه عضو تشکیل شده است. عضو "Pedv" از دولومیت‌های قهوه‌ای تیره رنگ تشکیل شده که به وسیله دایک-های دیابازی و استوک‌های گابرویی قطع گردیده است. این عضو به تدریج به وسیله عضو "Ped" که از ردیف دولومیت ستبر لایه چرت‌دار با میان‌لایه‌هایی از شیل ارغوانی با ضخامت ۲۰۰ متر تشکیل شده است، پوشیده می‌شود. عضو "Pesh" از شیل و ماسه سنگ ارغوانی رنگ تشکیل شده و ضخامت آن در حدود ۲۵۰ متر می‌باشد. این نهشته‌ها در ارتفاعات غربی حوضه رخنمون دارند (شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اسفوردی، جمشیدی و افشاریان‌زاده ۱۳۷۰).

۱-۶-۱-۲- پرکامبرین بالایی و کامبرین زیرین

سری ریزو: این سری با دگرشیبی زاویه‌ای بر روی نهشته‌های قدیمی‌تر (سری مراد) قرار گرفته‌اند. جنس این نهشته‌ها اغلب از آهک، دولومیت، شیل، ماسه‌سنگ و گدازه‌های اسیدی می‌باشد. این نهشته‌ها در نقشه زمین‌شناسی با علامت‌های esh و egr نشان داده می‌شوند.

سری دزو: این سری از نظر ترکیب زمین‌شناسی بسیار مشابه سری ریزو بوده با این تفاوت که دارای سری‌های گچی می‌باشند. در نقشه زمین‌شناسی این واحدها با علامت اختصاری $edId$ و eIr نشان داده می‌شوند. این سری‌ها در ارتفاعات جنوب غربی و غربی دشت یافت می‌شوند.

سازند لالون و زاگون ($ez1$): شامل نهشته‌های آواری است که به طور پراکنده در ارتفاعات جنوب غربی، غربی و شمال غربی موجود می‌باشند. این سازند بیشتر از ماسه‌سنگ قرمز تا بنفش تشکیل گردیده ولی در بخش زیرین آن شیل‌های سیلتی و ماسه‌سنگ‌های نازک لایه میکادار نیز وجود دارد.

همچنین گدازه‌های آندزیتی با علامت (ev2) در ارتفاعات غربی حوضه نیز مربوط به این زمان زمین-شناسی می‌باشند.

۱-۶-۱-۳- نهشته‌های پالئوزوئیک

نهشته‌های پالئوزوئیک ۲۴/۱۳ درصد از تشکیلات سنگی حوضه مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهند (شرکت آب منطقه‌ای یزد ۱۳۷۵). نهشته‌هایی به سن کامبرین، اردوویسین، دونین و پرمین را شامل شده که بیشتر در ارتفاعات جنوبی، جنوب غربی و غربی دیده می‌شوند. این واحدها به طور عمده از دولومیت، آهک و ماسه سنگ تشکیل شده‌اند.

۱-۶-۱-۴- مزوزوئیک

این رسوبات حدود ۲۸/۷ درصد از کل رخنمون‌های سنگی را به خود اختصاص می‌دهد. نهشته‌های این دوران از قدیم به جدید به شرح زیر است:

الف- تریاس

سازند دولومیتی شتری (Rsh) مهم‌ترین نهشته‌های این دوره را تشکیل می‌دهد. این سازند سیمای خشن و بلند داشته که از ویژگی‌های چهره‌ساز این سازند می‌باشد. مرز پایینی آن سازند سرخ شیل و مرز بالایی آن عضو آهکی اسپهک که از آهک‌های ضخیم لایه و سفید رنگ تشکیل شده است، می‌باشد. این سازند در ارتفاعات غربی حوضه بهاباد رخنمون دارد.

ب- ژوراسیک

رسوبات آواری ژوراسیک در تمام اطراف دشت بهاباد به طور قابل ملاحظه‌ای وجود داشته و حدود ۲۴/۳۵ درصد از کل رخنمون‌های سنگی را به خود اختصاص می‌دهد. رسوبات زغال‌دار و همچنین بازمانده‌هایی از تنه درختان و ساقه گیاهان به صورت فسیل در نهشته‌های این دوره دیده می‌شود. این

رسوبات نقش منفی در کیفیت و تغذیه آب زیرزمینی داشته و در نقشه زمین‌شناسی با پیشوند J نشان داده شده است. به طور عمده سازندهای این دوره در دشت بهاباد به شرح زیر است:

سازند شمشک (Js): این نهشته‌ها به طور عمده شامل شیل، ماسه‌سنگ میکادار، ماسه سنگ کوارتزی و مقدار اندکی آهک نازک لایه، لایه‌های زغال و به طور محلی سنگ‌های ولکانیکی می‌باشند. مرز زیرین این سازند، سازند نایبند و مرز بالایی آن سازند بادامو می‌باشد. به طور عمده در ارتفاعات جنوبی و شرقی گسترده شده و همچنین در ارتفاعات شمال غربی نیز دیده می‌شود.

سازند بادامو (Jbd): با گسترش کم در ارتفاعات شمال شرقی وجود دارد. از آهک‌های اوولیتی فسیل دار و شیل تشکیل شده است. مرز بالایی آن سازند هجدک می‌باشد. فراوانی سنگواره‌های دو کفه‌ای و سرپایان به ویژه بلمنیت در بخش‌های بالایی این واحد سنگی بسیار چشمگیر است.

سازند بغمشاه (Jbg): در ارتفاعات شرقی و شمال شرقی گسترده شده و بیشتر از نوع شیل، ماسه سنگ همراه با مقدار کمی مارن بوده است که با فسیل شاخص آمونیت مشخص می‌شود. این نهشته‌ها یک واحد سنگی زودفرسا و نرم را تشکیل می‌دهند. مرز زیرین آن سازند بادامو بوده و مرز بالایی آن که با یک وقفه رسوبی و چرخه فرسایشی مشخص شده است، سازند اسفندیار می‌باشد.

سازند بیدو (Jb): ترکیبات ماسه سنگ، شیل، مارن ژیبس‌دار و مقدار کمی کنگلومرا را شامل می‌شود. این سازند در ارتفاعات شرقی دشت بهاباد دیده می‌شود. مرز پایینی آن سازند هجدک و مرز بالایی آن فرسایش یافته است.

ج- کرتاسه

سنگ‌های کرتاسه زیرین در حوضه بهاباد رخنمون چندانی ندارد و به صورت محدود و پراکنده در شمال و شمال غرب دشت بهاباد دیده می‌شود. تقریباً حدود ۳/۵ درصد رخنمون‌های سنگی را تشکیل می‌دهد. بخش مارنی رسوبات کرتاسه زیرین شامل مارن‌های خاکستری متمایل به سبز با میان لایه-های ماسه سنگ و آهک نازک لایه می‌باشد و در برخی از رخنمون‌های آن عدسی‌هایی از گچ دیده

می‌شود. این بخش با علامت اختصاری Km1 روی نقشه زمین‌شناسی مشخص شده است. بخش آهکی با لایه‌های ضخیم و خاکستری رنگ حاوی فسیل‌های اربیتولین‌دار می‌باشد که با علامت K1 روی نقشه زمین‌شناسی مشخص شده است (شرکت آب منطقه‌ای یزد ۱۳۷۵).

۱-۶-۱-۵- سنوزوئیک

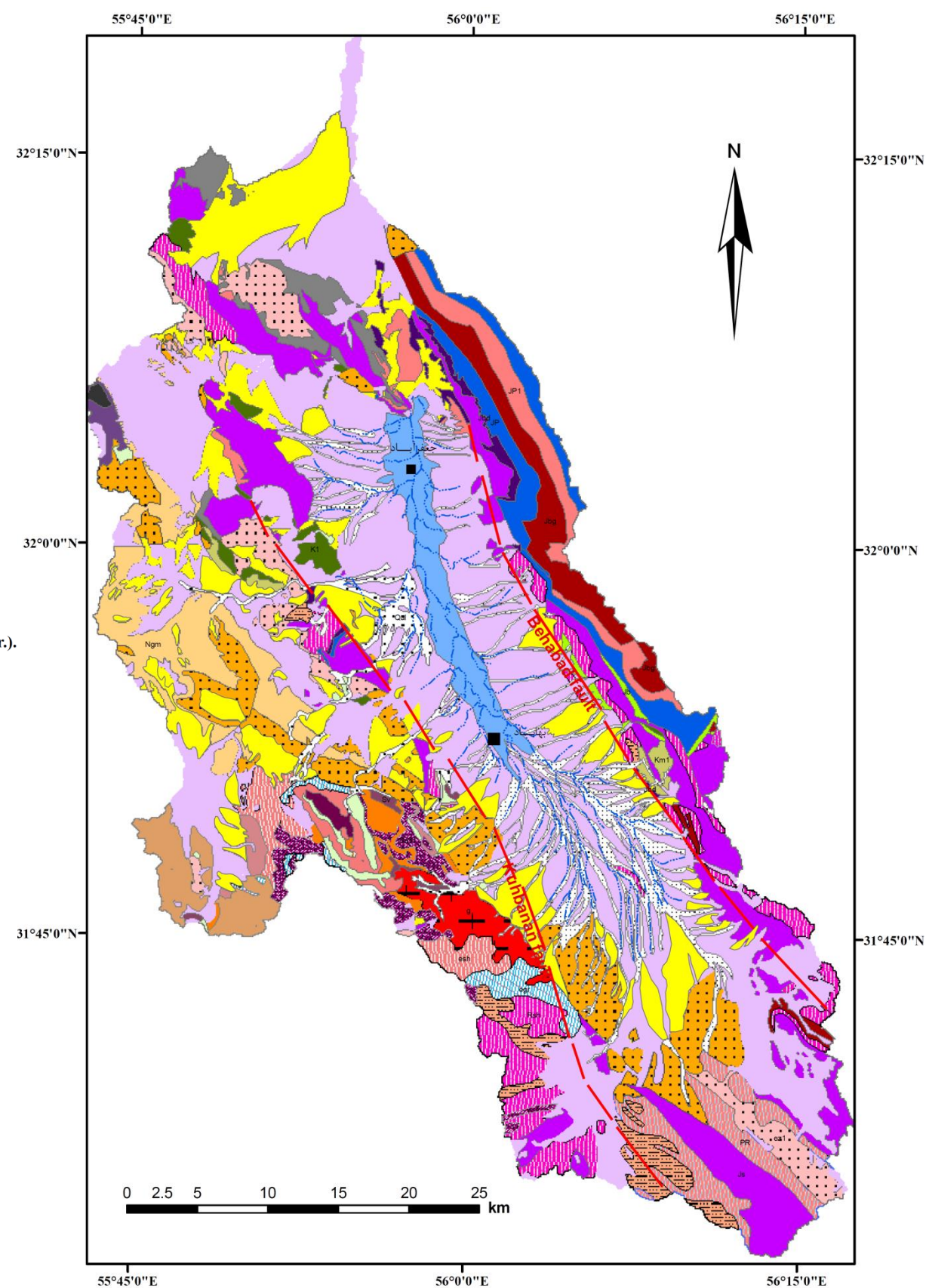
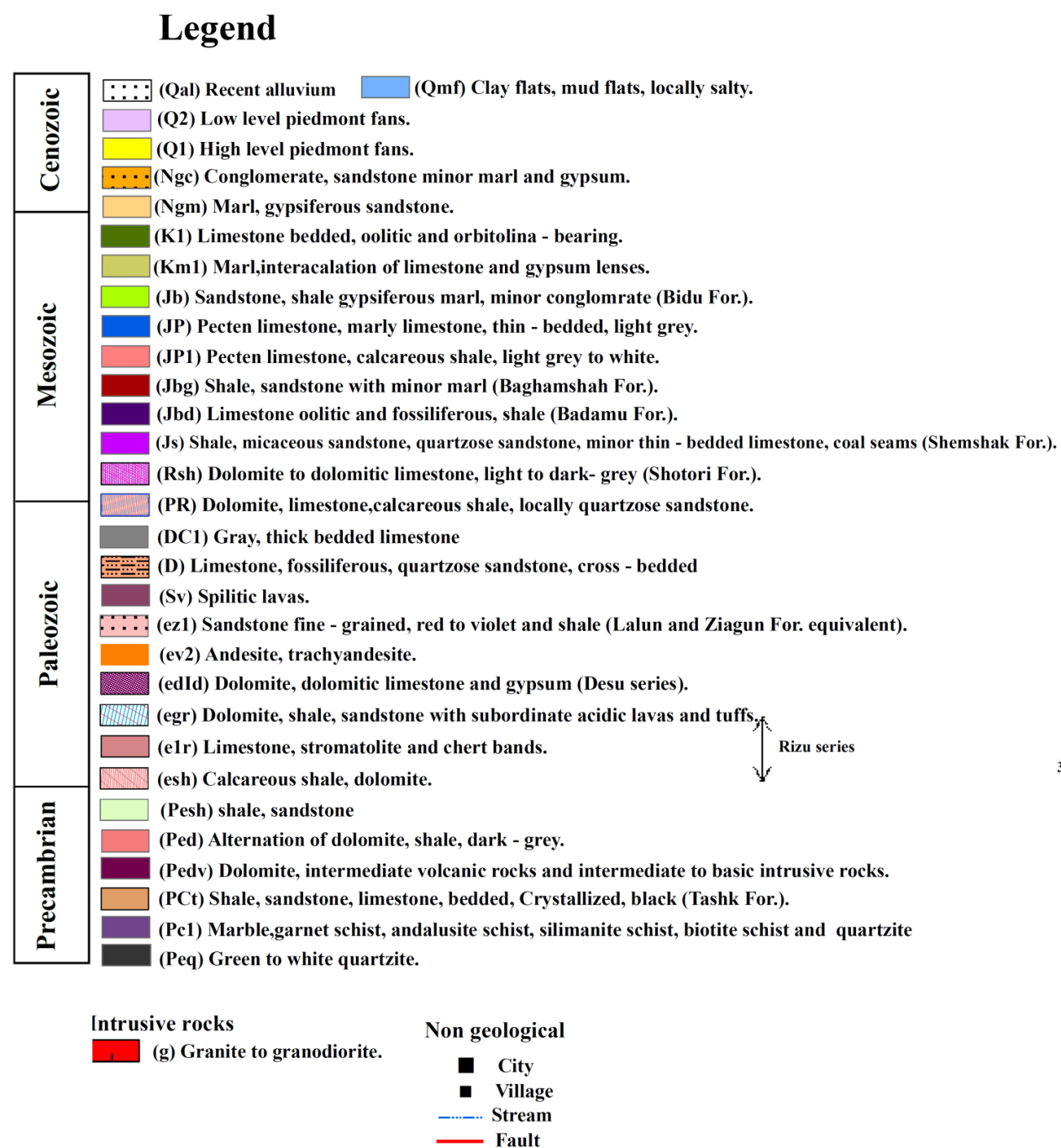
در حوضه بهاباد رسوبات ترشیاری گسترش نسبتاً زیادی داشته و حدود ۲۶ درصد از رخنمون‌های سنگی را به خود اختصاص داده است. رسوبات تبخیری و قاره‌ای نئوژن قسمت عمده این رسوبات را تشکیل می‌دهند که به طور گسترده در قسمت‌های غرب و شمال غربی دشت بهاباد رخنمون دارند. از نظر مورفولوژی به صورت تپه ماهورهای شدیداً هوازده و نرم می‌باشند. این رسوبات از مارن و کنگلومرا تشکیل شده است. در این مارن‌ها لایه‌هایی از ماسه سنگ، عدسی‌هایی از ژئوپس و لایه‌هایی از آهک نیز وجود دارند. این واحد با علامت Ngm روی نقشه زمین‌شناسی مشخص شده است. این مارن‌ها توسط کنگلومرای پلیوسن Ngc پوشیده شده‌اند. مجموعه رسوبات نئوژن کاملاً چین خورده بوده و تاقدیس و ناودیس‌هایی را به وجود آورده است (شرکت آب منطقه‌ای یزد ۱۳۷۵).

علاوه بر نهشته‌های رسوبی سنگ‌های ماگمایی که شامل سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی می‌باشند، در ارتفاعات غربی دشت بهاباد رخنمون دارند. از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به گرانیته بهاباد که به صورت توده نسبتاً بزرگی در ارتفاعات غربی دشت بهاباد رخنمون دارد، اشاره کرد. این توده آذرین با علامت g روی نقشه زمین‌شناسی مشخص شده است.

با توجه به ساختار چینه‌ای حوضه بهاباد ارتفاعات جنوب غربی و غربی به دلیل داشتن ساختار خشن و ستبر، ترکیبات دولومیتی، آهکی و همچنین توده‌های نفوذی نقش عمده‌ای را در تغذیه آب زیرزمینی دارد. ارتفاعات شرقی و شمالی به دلیل گسترش سازندهای ژوراسیک با مورفولوژی زودفرسا نقش کمتری در تغذیه آب زیرزمینی داشته است.

۱-۶-۲- زمین‌شناسی ساختاری

حوضه بهاباد بخشی از زون ایران مرکزی می‌باشد. ساختمان زمین‌شناسی این حوضه در اثر حرکات کمپرسیونی و کششی مربوط به فازهای کوهزایی کاتانگایی، سمیرین پیشین، سمیرین پسین و فازهای آلپین به وجود آمده است. گسل پشت بادام با امتداد شمال‌غرب - جنوب شرق مهم‌ترین عارضه ساختمانی در حوضه بهاباد می‌باشد. این گسل در دو طرف دره بهاباد امتداد یافته و شاخه غربی آن تا کوهبنان ادامه دارد. به همین دلیل شاخه غربی به نام گسل کوهبنان معرفی شده است. گسل پشت بادام در اثر چین‌خوردگی کاتانگایی به وجود آمده و در اثر فعالیت مجدد این گسل و گسل‌های فرعی وابسته به آن در دوران دوم حوزه گرابنی دشت بهاباد ایجاد شده و در اثر فعالیت دوره‌ای این گسل توده‌های ولکانیکی و پلوتونیکی نفوذ یافته است (شرکت آب منطقه‌ای یزد ۱۳۷۵).



شکل ۴-۱) نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز بهاباد (برگرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ راور و نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ بهاباد، شمال بهاباد، اسفوردی و چادرملو)

فصل دوم:

مروری بر مطالعات گذشته

۲-۱- مقدمه

با توسعه شهرسازی، کشاورزی و صنعت و همچنین پراکنده بودن منابع آب سطحی و بارش، نیاز بشر به منابع آب زیرزمینی به عنوان یک منبعی که دسترسی به آن آسان و به طور طبیعی عاری از آلودگی‌ها و میکروب‌ها و مواد بیماری‌زا می‌باشد، افزایش یافته است. نیاز شدید به منابع آب زیرزمینی و مدیریت نامناسب آن‌ها، افت شدید سطح ایستابی و تهی شدگی آبخوان و همچنین آلودگی و تخریب کیفیت آب را در پی داشته است. بنابراین مطالعه آب‌های زیرزمینی و شناخت منابع تخلیه و تغذیه کننده آبخوان به منظور مدیریت مناسب و هدفمند و جلوگیری از اثرات زیان‌آور ناشی از برداشت بی‌رویه ضروری می‌باشد. در این فصل مطالعات پیشین در مورد عوامل تأثیرگذار در نوسانات سطح ایستابی و مفاهیم مدیریتی مرتبط با منابع آب زیرزمینی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، ارائه شده است.

۲-۲- عوامل موثر بر نوسان سطح ایستابی

سطح آب زیرزمینی در یک سفره آزاد یا سطح پیزومتریک در سفره تحت فشار نشان‌دهنده فشار اتمسفری سفره می‌باشد. هر پدیده‌ای که تغییری در فشار آب زیرزمینی ایجاد کند، سبب تغییر در ارتفاع سطح آب زیرزمینی می‌شود. از جمله این پدیده‌ها می‌توان به تفاوت بین تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی، تغییر در جریان رودخانه‌هایی که در ارتباط با آب زیرزمینی هستند، پدیده‌های جزرو مد و

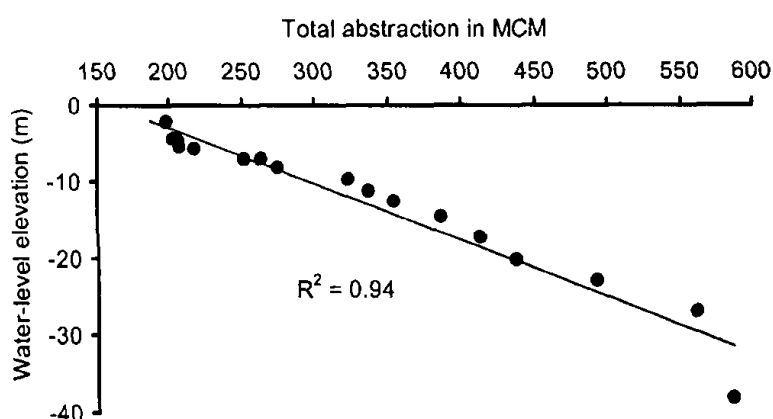
هواشناختی، شهرسازی، زلزله و بارهای خارجی اشاره نمود (Todd 2005). در این مطالعه فقط به بررسی پدیده‌های تخلیه و تغذیه که از اهمیت زیادی در مفاهیم مدیریتی آبخوان بهاباد برخوردارند پرداخته می‌شود.

۲-۱-۲- تخلیه و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی

برداشت بیش از اندازه از منابع آب زیرزمینی اثرات منفی زیست محیطی و اقتصادی را در پی دارد. از جمله اثرات منفی زیست محیطی می‌توان به تهی شدگی (معدن کاری) منابع آب زیرزمینی، نفوذ آب‌هایی با کیفیت نامناسب، کاهش بیش از اندازه جریان رودخانه‌ها و دیگر منابع آب سطحی، فرونشست زمین و آسیب ساختاری به سفره‌های آبی و لایه‌های محبوس‌کننده اشاره کرد. از اثرات منفی اقتصادی می‌توان حذف مزایای اقتصادی استفاده از منابع آب زیرزمینی زمانی که سطح آب کاهش می‌یابد، افزایش هزینه‌های مربوط به چاه‌های عمیق‌تر و سطوح عمیق‌تر پمپاژ و نقض حقابه‌های پمپاژ با توجه به بهره‌برداری ناپایدار از منابع آب زیرزمینی را نام برد (Brown et al. 1999).

در خصوص برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و اثرهای ناشی از آن مطالعات موردی زیادی صورت گرفته است. هوک و همکاران (Hoque et al. 2007) به بررسی الگوی تغییرات سطح آب در آبخوان ماسه‌ای پلیوپلیستوسن در شهر دهاکا (بنگلادش) پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که برداشت زیاد از آب زیرزمینی به وسیله چاه‌های آب در آبخوان ماسه‌ای سبب افت سطح ایستابی از حالت خطی به نمایی شده است. الگوی تغییرات سطح آب در شهر دهاکا از سال ۱۹۸۰ به بعد به طور چشمگیری از الگوی تغییرات استخراج از آب زیرزمینی تبعیت می‌کند (شکل ۱-۲). استخراج طولانی مدت و زیاد آب زیرزمینی سبب معکوس شدن گرادیان هیدرولیکی و تغییر جهت جریان آب زیرزمینی به سمت مخروط‌های افت در مرکز شهر گردید.

چنجمینگ و همکاران (Changming *et al.* 2001) در قسمت‌های شمالی دشت چین که یکی از مهم‌ترین مناطق اجتماعی، اقتصادی و کشاورزی چین است، نشان دادند که افزایش تقاضای آب به دلیل توسعه سریع شهرسازی و گسترش زمین‌های کشاورزی از تجدیدپذیری طبیعی عرضه آب فراتر رفته



شکل ۱-۲) نمودار توزیعی میانگین افت سطح آب و کل آب استخراج شده در شهر دهاکا (بنگلادش) برای سال‌های ۱۹۸۴-۲۰۰۲.

است. در نتیجه برداشت زیاد منابع آب سبب توسعه مخروط‌های افت و مشکلات زیست محیطی مانند نشست زمین و تخریب کیفیت آب و علاوه بر آن سبب کاهش تجدیدپذیری آب زیرزمینی و افزایش فاصله بین عرضه و تقاضای آب شده است. این محققین با مطالعه دشت Hebei و بررسی داده‌های مربوط به ۶۰۰ حلقه چاه مشاهده‌ای کم عمق، نشان دادند که میانگین افت سطح آب از سال ۱۹۸۳ تا سال ۱۹۹۳ حدود ۰/۴۲۵ متر می‌باشد. به طور عمومی بیشترین نرخ افت در زیر شهر و به طور شدید در مناطق آبیاری کشاورزی رخ داده است.

موسوی مداح و همکاران (۱۳۸۹) بر اساس داده‌های موجود از چاه‌های پیژومتری دشت مشهد، نشان دادند که برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، افت ۶۰ متری را در طول ۴۰ سال ایجاد نموده و نشست زمین را سبب شده است. آثار نشست به صورت شکاف‌هایی در سطح زمین، لوله‌زایی، گسیختگی و کج شدگی لوله جدار چاه‌های مشاهده‌ای ظاهر شده و مشکلاتی را برای کشاورزان ایجاد

کرده است. از دیگر مطالعات انجام شده درباره ارتباط برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و پدیده فرونشست زمین در سایر مناطق ایران می‌توان به مطالعات انجام شده در دشت کاشمر در استان خراسان رضوی که توسط لشکری پور و همکاران (۱۳۸۵) انجام شده است، اشاره نمود.

استلر و همکاران (Esteller *et al.* 2012) بیان می‌دارند که تغییرات شیمیایی در آب‌های زیرزمینی به شدت استخراج شده می‌تواند ناشی از: ۱- القاء سیستم جریان ناحیه‌ای با غلظت عناصری بالاتر از استانداردهای آب آشامیدنی ۲- تغییرات سیستم آب محلی در نتیجه القاء آلودگی‌های آبیاری و فاضلابی ۳- تولید آلودگی‌هایی از سطح در نتیجه غسل‌های ناشی از نشست زمین باشد.

به طور کلی از مطالعات بالا نتیجه می‌شود که برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی علاوه بر اثرات منفی در کمیت و کیفیت آب زیرزمینی اثرات منفی زیست محیطی را به دنبال داشته و همچنین تغییر در الگوی جریان را در پی داشته است.

۲-۲-۲- تغذیه

کمیت تغذیه یک پیش نیاز مهم برای مدیریت موثر منابع آب زیرزمینی بوده و برآورد آن برای تعیین برداشت پایدار از منابع آب زیرزمینی مورد نیاز است (Obuobie *et al.* 2012).

هیلی و کوک (Healy and Cook 2002) کمی کردن دقیق میزان تغذیه را برای مدیریت مناسب و حفاظت از منابع ارزشمند آب‌های زیرزمینی ضروری دانستند. در حالت ایده آل، برآورد تغذیه باید همراه با سطح اطمینان آماری و یا به عنوان یک طیف وسیعی از مقادیر احتمالی معرفی شود.

مقدار آب تغذیه شده به یک سفره را نمی‌توان به طور مستقیم اندازه‌گیری کرد ولی از طریق روش‌های غیر مستقیم می‌توان به میزان آن پی برد. آب زیرزمینی بخشی از چرخه هیدرولوژی است و از اندازه‌گیری اجزاء دیگر این چرخه می‌توان مقدار منابع آب زیرزمینی را برآورد کرد که به کار بردن این روش را بیلان آبی گویند (اصغری مقدم ۱۳۸۹). از جمله روش‌های دیگر که برای برآورد تغذیه آب‌های زیرزمینی فرموله شده‌اند را می‌توان به روش داریسی، روش‌های ردیابی، ایزوتوپی، موازنه

جرمی کلر (Chlorid mass balance)، تجزیه و تحلیل هیدروگراف جریان پایه و تخلیه چشمه، نوسانات سطح ایستابی و مدل سازی عددی اشاره کرد.

طبق نظر اسکانلن و همکاران (Scanlon *et al.* 2002) انتخاب یک روش مناسب اغلب دشوار است. ملاحظات مهم در انتخاب یک روش شامل مقیاس زمانی و مکانی، محدوده و سطح اطمینان برآوردهای تغذیه بر اساس روش‌های مختلف می‌باشد. از جمله عوامل دیگری که استفاده از روش‌های خاص را محدود می‌کند، هدف از مطالعه تغذیه بوده چرا که مقیاس زمانی و مکانی لازم برای تخمین تغذیه را مشخص می‌کند. اهداف معمول ارزیابی تغذیه عبارتند از ارزیابی منابع آب، نیاز به اطلاعات درباره تغذیه در مقیاس‌های بزرگ مکانی و در مقیاس‌های زمانی دهه‌ای و ارزیابی آسیب پذیری آبخوان به آلودگی که نیاز به اطلاعات دقیق درباره تغییر پذیری فضایی و جریان ترجیحی دارد. سطح اطمینان در برآورد تغذیه با استفاده از روش‌های مختلف متفاوت بوده و عدم قطعیت در هر یک از این روش‌ها نیاز به استفاده از چندین روش مختلف را برای افزایش سطح اطمینان توصیه می‌نماید. این محققین روش‌های برآورد تغذیه را بر اساس زون‌های هیدرولوژیکی مطالعاتی به روش‌های آب‌های سطحی، منطقه غیر اشباع و منطقه اشباع طبقه بندی نمودند. هر کدام از این مناطق یک مجموعه متفاوت از داده‌ها که برای برآورد تغذیه آب‌های زیرزمینی مورد نیاز است را فراهم می‌کنند. در هر یک از این مناطق هیدرولوژیکی روش‌های برآورد تغذیه به روش‌های فیزیکی، ردیاب و مدل سازی عددی طبقه بندی می‌شوند. از میان روش‌ها، روش نوسان سطح ایستابی (WTF) یکی از روش‌هایی است که به طور گسترده برای برآورد تغذیه آب‌های زیرزمینی در طیف گسترده‌ای از شرایط آب و هوایی استفاده شده است.

اسکانلن و همکاران (Scanlon *et al.* 2002) روش WTF را بهترین روش برای برآورد نرخ تغذیه در مدت زمان کوتاه در مناطقی با آبخوان آزاد کم عمق که افزایش و کاهش مشخصی را در سطح آب نشان می‌دهند، دانستند. روش‌هایی که بر اساس آب سطحی و داده‌های غیر اشباع منطقه هستند، برآوردی از پتانسیل تغذیه فراهم می‌کنند در حالی که روش‌هایی که بر اساس داده‌های نوسان آب-

های زیرزمینی هستند، برآورد واقعی تری را دارند. هیلی و کوک (Healy and Cook 2002) بیان داشته‌اند که در این روش فرضیه‌ای مربوط به حرکت آب در سراسر منطقه غیر اشباع و بنابراین حضور مسیرهای جریان ترجیحی وجود ندارد که استفاده از آن را محدود کند. همچنین این محققین استفاده گسترده از این روش را به فراوانی داده‌های سطح آب زیرزمینی موجود و سادگی برآورد نرخ تغذیه از نوسانات زمانی و یا الگوهای فضایی سطح آب نسبت داده‌اند. روش WTF تنها زمانی قادر به برآورد تغذیه است که نرخ تغذیه بیشتر از نرخ تخلیه باشد و بالا آمدگی را در سطح آب ایجاد کند. اگر نرخ تغذیه و تخلیه برابر بودند هیچ تغییری در سطح آب رخ نمی‌دهد و روش WTF تغذیه‌ای را پیش بینی نمی‌کند.

محققین زیادی در مکان‌های مختلف از این روش استفاده کردند که از جمله آن‌ها ابوبی و همکاران (Obuobie *et al.* 2012) می‌باشند. این محققین روش نوسان سطح ایستابی را در حوضه رودخانه وایت ولتا در (White Volta River basin) در غنا برای برآورد نوسانات فصلی در سطح آب زیرزمینی و سپس برآورد تغذیه به آب زیرزمینی برای سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ بکار گرفتند. نتایج این مطالعات تغییرات فصلی و مکانی زیادی در سطح آب با یک محدوده ۵۰۰۰-۱۲۴۰ میلی‌متر برای سال ۲۰۰۶ و ۶۸۰۰-۱۶۰۰ میلی‌متر برای سال ۲۰۰۷ نشان می‌دهد. بارش‌های فصلی به عنوان یک منبع اصلی برای تغذیه آبخوان در حوضه شناخته شده است که اثر خود را به صورت بالا آمدن سطح آب فقط در فصل‌های بارندگی نشان می‌دهد. تغذیه به آب‌های زیرزمینی در حوضه وایت ولتا بین ۲/۵ تا ۱۶/۵ درصد از میانگین بارش سالانه متفاوت بوده و تغذیه متوسط ۸-۷٪ تخمین زده می‌شود. تفاوت در مقدار تغذیه برای دو سال مورد مطالعه به تفاوت در توزیع بارندگی سالانه و شدت آن نسبت داده شده است.

آتا دارکوا و همکاران (Atta-Darkwa *et al.* 2013) حوضه رودخانه ادا (River Oda catchment) در غنا را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصله نشان داد که تغذیه برآورد شده بر اساس ۱۴ پیژومتر نصب شده در منطقه حدود ۴۶۷-۱۳۳ میلی‌متر (۳۱-۹ درصد از بارش سالانه) در سال ۲۰۰۹ و ۴۲۷/۹-

۴۷/۶ میلی‌متر (۳۴-۴ درصد از بارش سالانه) در سال ۲۰۱۰ می‌باشد. براساس میانگین‌گیری وزنی، میزان تغذیه در سال ۲۰۰۹ برابر ۳۴۱ میلی‌متر (۲۱ درصد متوسط بارش سالانه) و در سال ۲۰۱۰ برابر ۲۷۶ میلی‌متر (۲۲ درصد متوسط بارندگی سالانه) برآورد شد. همچنین نتایج حاصل از میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی برای سه دوره ماهانه نشان می‌دهد که ماه‌های مارس تا ماه می در سال ۲۰۰۹ و آوریل و ژوئن در سال ۲۰۱۰ بیشترین میزان تغذیه را تجربه می‌کنند.

در بررسی‌های دیگر چینی و همکاران (Chenini et al. 2008) میزان میانگین افزایش سطح آب در پیژومترهای آبخوان آزاد در حوضه مکنسی (Maknassy basin) بین ماه‌های نوامبر و می در نتیجه بارش را ۲/۹۲ متر برای سال ۲۰۰۴ و ۳/۲ متر در سال ۲۰۰۶ برآورد کردند. بنابراین تغذیه سالانه آب‌های زیرزمینی در نتیجه باران‌های موسمی برای سال ۲۰۰۴ حدود ۴۴/۵ و برای سال ۲۰۰۶ حدود ۴۸/۸ میلیون متر مکعب در سال برآورد گردید.

همچنین در مطالعات انجام شده توسط کالاهن و همکاران (Callahan et al. 2010) در حوضه کریک ترکیه (the Turkey Creek watershed) مقدار تغذیه سالانه با استفاده از روش WTF اصلاح شده به وسیله اندازه‌گیری رفتار افت سطح ایستابی برای سه نوع خاک مختلف برآورد گردید. بر این اساس میزان تغذیه برای خاک‌های ماسه‌ای دانه‌ریز در سال خشک‌سالی ۲۰۰۷ حدود ۵ میلی‌متر و برای خاک ماسه لومی در طول سال ۲۰۰۸ با شرایط طبیعی از باران حدود ۳۸ میلی‌متر برآورد شد که این مقدار حدود ۰/۴-۳ درصد از میانگین بارش سالانه است.

با توجه به مطالعات بالا مشخص می‌شود ساده‌ترین روش برای تخمین تغذیه به آب‌های زیرزمینی روش نوسان سطح ایستابی می‌باشد. این روش نیازی به هیچ پیش فرض پیچیده‌ای ندارد. میزان تغذیه در روش WTF از حاصلضرب آبدهی ویژه و میزان بالا آمدگی ارتفاع سطح آب بدست می‌آید. عدم قطعیت در برآورد، به دقت در تعیین آبدهی ویژه و گستره‌ای از فرضیات ذاتی این روش نسبت داده می‌شود (Healy and Cook 2002). برای تخمین مناسب تغذیه به روش WTF باید یک فهم مناسب از آبدهی ویژه منطقه داشته و با روش‌های اندازه‌گیری آن آشنا شد. به طور کلی تخمین

صحيح آبدهي ويژه در محاسبات تغذيه و ميزان تهيه شدگي آبخوان ضروري مي باشد. در رابطه با آبدهي ويژه و روش هاي اندازه گيري آن مطالعاتي انجام شده كه در ادامه به آن پرداخته مي شود.

۲-۲-۱- تعريف آبدهي ويژه

در تعريف معمول آبدهي ويژه يك سنگ يا خاك به عنوان نسبت حجم آبي كه پس از اشباع شدن توسط نيروي گرانش زهكشي مي گردد به كل منطقه زهكشي شده يا به صورت حجم آبي (بيان شده به صورت درصد يا كسري از حجم كل آبخوان) كه به ازاي هر تغيير واحد در سطح ايستابي از سطح مقطع واحد آبخوان آزاد شده يا به آن اضافه مي گردد، تعريف مي شود (Todd 2005).

به عبارت ساده تر، آبدهي ويژه را مي توان به عنوان بخشي از تخلخل آبخوان كه مي تواند توسط گرانش تخليه شود، تعريف كرد. اين مقدار بستگي به اندازه دانه، شكل، توزيع خلل و فرج و به وضعيت تراكمي لايه ها دارد (Gupta and Gupta 1999 cited in Obuobie *et al.* 2012).

۲-۲-۲- روش هاي اندازه گيري

مقدار آبدهي ويژه را مي توان با روش هاي مختلف ميداني و آزمايشگاهي از جمله روش هايي مانند آزمون پمپاژ، موازنه حجم، بيلان آب، روش هاي ژئوفيزيكي و آزمايش ظرفيت زراعي و يا از روابط تخلخل و نگهداشت ويژه بدست آورد (Healy and Cook 2002).

طبق نظر پريل و همكاران (Prill *et al.* 1965 cited in Healy and Cook 2002) طيف گسترده و متفاوت آبدهي ويژه در يك طبقه يكسان از بافت خاك در كتب مختلف (مانند جداول ۱-۲ و شكل ۲-۲) به ناهمگوني طبيعي در مواد زمين شناسي، تفاوت در روش هاي اندازه گيري و تا حد زيادي به مقدار زمان صرف شده در تعيين مقدار آبدهي ويژه نسبت داده شده است.

مقادير آبدهي ويژه تعيين شده از طريق اندازه گيري آزمايشگاهي تخلخل قابل زهكشي در نمونه هاي استاندارد به مقادير تعيين شده از آزمون هاي پمپاژ كه به صورت کوتاه مدت بوده ترجيح داده مي شود.

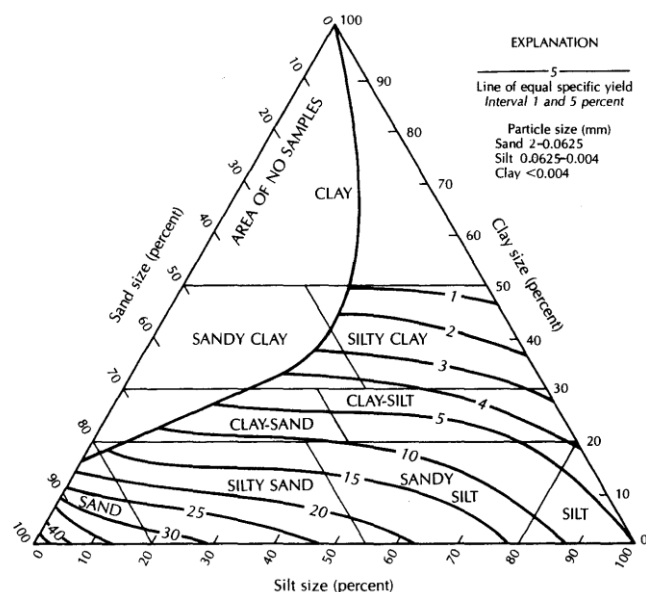
فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته

در شرایطی که مقادیر آزمایشگاهی آبدهی ویژه موجود نباشد، استفاده از مقادیر استاندارد در اسناد توصیه می شود (Lerner *et al.* 1990 cited in Obuobie 2012).

نایک و آواستی (Naik and Awasthi 2003) در منطقه‌ای از هند بر اساس روش نوسان سطح ایستابی آبدهی ویژه آبخوان را در سال‌های آبی ۱۹۸۸-۱۹۸۹ و ۱۹۹۱-۱۹۹۲ حدود ۰/۰۱۲ یا ۱/۲۰٪ برآورد کردند. با استفاده از همین روش چینی و همکاران (Chenini *et al.* 2008) در حوضه مکنسی آبدهی ویژه آبخوان را برای سال‌های آبی ۲۰۰۴-۲۰۰۵ و ۲۰۰۵-۲۰۰۶ حدود ۰/۰۱۷ تخمین زدند.

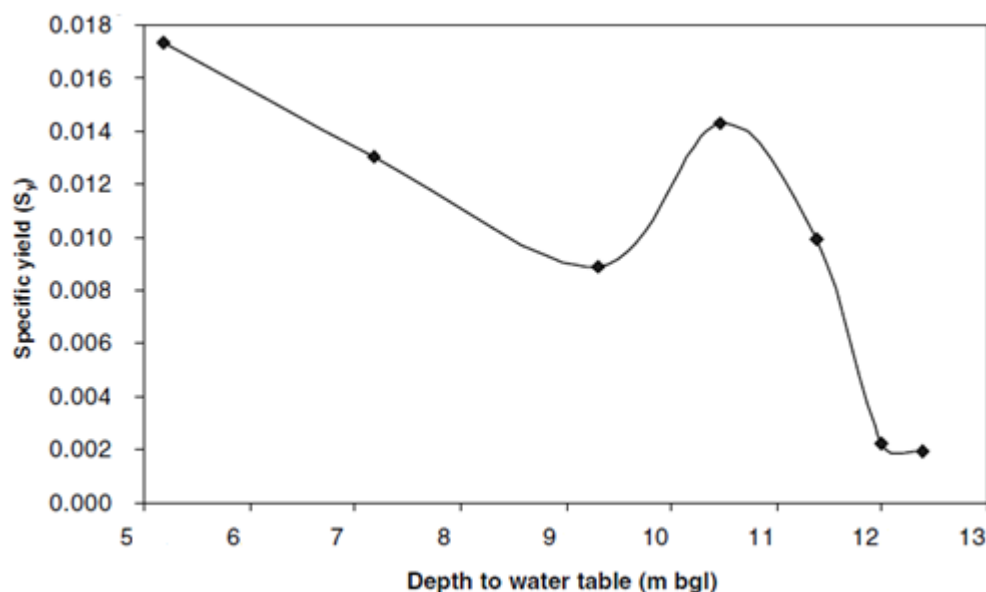
جدول ۱-۲) مقادیر آبدهی ویژه (Johnson 1967).

بافت	آبدهی ویژه	ضریب تغییرات (%)	حداقل آبدهی ویژه	حداکثر آبدهی ویژه
رس	۰/۰۲	۵۹	۰/۰۰	۰/۰۵
سیلت	۰/۰۸	۶۰	۰/۰۳	۰/۱۹
رس ماسه‌دار	۰/۰۷	۴۴	۰/۰۳	۰/۱۲
ماسه دانه ریز	۰/۲۱	۳۲	۰/۱۰	۰/۲۸
ماسه دانه متوسط	۰/۲۶	۱۸	۰/۱۵	۰/۳۲
ماسه دانه درشت	۰/۲۷	۱۸	۰/۲۰	۰/۳۵
ماسه گراول‌دار	۰/۲۵	۲۱	۰/۲۰	۰/۳۵
گراول دانه ریز	۰/۲۵	۱۸	۰/۲۱	۰/۳۵
گراول دانه متوسط	۰/۲۳	۱۴	۰/۱۳	۰/۲۶
گراول دانه درشت	۰/۲۲	۲۰	۰/۱۲	۰/۲۶



شکل ۲-۲) مثلث رده‌بندی بافت برای مواد تحکیم نیافته که ارتباط بین اندازه دانه و آبدهی ویژه را نشان می‌دهد (Johnson 1967).

سایا و آگراول (Saha and Agrawal 2006) در حوضه ترلا ادها (Torla Odha) در مناطق بازالتی دکان (Deccan basalt province) با در نظر گرفتن نسبت حجم خالص ماهانه آب خارج شده از آبخوان به حجم تهی شده آبخوان و بر اساس داده‌های ماهانه سطح آب و روش بیلان، آبدهی ویژه آبخوان را تخمین زدند و ارتباط آن با سطوح زمین‌شناسی مختلف را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که محدوده آبدهی ویژه از ۰/۰۰۱۹ در ماه می به ۰/۰۱۷۳ در ماه نوامبر با یک مقدار متوسط ۰/۰۰۹۳ تغییر می‌کند (شکل ۲-۳). ارتباط سطح آب زیرزمینی با زمین‌شناسی نشان می‌دهد که مقدار آبدهی ویژه بالاتر (۰/۰۱۷) به آبدگی از منطقه هوازده در آبخوان کم عمق مربوط بوده و آبدهی ویژه کمتر (۰/۰۰۱۹ تا ۰/۰۰۲۲) به بازالت توده‌ای که کف آبخوان کم عمق را تشکیل داده، تعلق دارد.



شکل ۲-۳) نمودار آبدهی ویژه در مقابل میانگین افت ماهیانه سطح ایستابی در حوضه ترلا ادها در مناطق بازالتی دکان

وادوریس (Vadouris 2006) در آبخوان‌های ساحلی شمال شرق کورینتیا (Korinthia) در یونان بر اساس روش بیلان آبی و افزایش سطح آب در فصل تر برای سال هیدرولوژیکی ۱۹۹۷-۱۹۹۸ آبدهی ویژه را ۱۱٪ برآورد کرد. از دیگر بررسی‌ها با استفاده از این روش می‌توان به مطالعه ترکر و همکاران (Tu'rkercr *et al.* 2012) در آبخوان یسیلکوای (Yes,ilko'y) در شبه جزیره کارپز (Karpaz) در قبرس نام برد.

۳-۲- مفهوم برداشت مطمئن

برای جلوگیری از اثرات زیان آور ناشی از برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و برقراری تعادل بین ورودی‌ها و خروجی‌های آبخوان باید یک برنامه مدیریتی مناسب داشت. پیش‌نیاز چنین برنامه مدیریتی درک مفاهیمی چون برداشت مطمئن (Safe yield)، پایداری (Sustainability) و بیلان آب زیرزمینی است که در ادامه به بحث درباره آن‌ها پرداخته می‌شود.

مفهوم برداشت مطمئن به طور معمول با توجه به جنبه های اقتصادی و قانونی توسعه آب زیرزمینی تنظیم شده است و مفهوم پایداری، جنبه های زیست محیطی را مقدم دانسته و دیدگاه جامع تری را نتیجه می دهد (Alley 2004).

در تعریف های قدیمی که از برداشت مطمئن شده نرخ پمپاژ برابر نرخ تغذیه است. اما این تعریف این واقعیت را که در دراز مدت تحت شرایط طبیعی و تعادلی، تغذیه طبیعی با عمل تخلیه از آبخوان (تبخیر و تعرق و یا تخلیه به رودخانه ها، چشمه ها و یا تخلیه از طریق تراوش) توازن یافته را نادیده می گیرد. در نتیجه اگر پمپاژ برابر با تغذیه طبیعی باشد ممکن است رودخانه ها، باتلاق ها و چشمه ها خشک شوند. در نهایت با ادامه پمپاژ در مقداری بیش از تغذیه ممکن است تخلیه و تهی شدگی آبخوان رخ دهد. (Sophocleous 1998).

به طور کلی، برداشت مطمئن از آبخوان باید بطور قابل توجهی کمتر از تغذیه باشد تا مقدار کافی آب برای حفظ هر دو کمیت و کیفیت رودخانه ها، چشمه ها، تالاب ها و اکوسیستم های وابسته به آب های زیر زمینی موجود باشد (Sophocleous 2000). در تعریف دیگری از این محقق به دستیابی و نگهداری طولانی مدت توازن بین مقدار آب زیرزمینی که به طور سالانه خارج و تغذیه شده اشاره شده است. کالف و وولی (Kalf and Woolley 2005) از مفهوم برداشت پایدار استفاده کرده و از سه مجموعه ذخیره در آبخوان نام برده است ۱- حداکثر ذخیره پایدار که در نتیجه استخراجی برابر با حداکثر ورودی به سفره (القایی و طبیعی) ایجاد می شود و حداکثر برداشت پایدار را می سازد. ۲- ذخیره معدنی ۳- ذخیره غیر قابل بازگشت. هر برداشتی بیش از حداکثر برداشت پایدار تهی شدگی فراتر از حداکثر ذخیره پایدار در آبخوان و استفاده از ذخیره معدنی را سبب می شود. بنابراین سفره دچار برداشت بیش از اندازه (over-exploitation) شده و به عبارتی برداشت ناپایدار در سفره رخ می دهد. نقش هیدرولوژیست ها در پرداختن به موضوعات پایداری شامل ارائه روش ها و درک اثرهای طولانی مدت مصرف آب زیرزمینی، اولویت های اجتماعی، فهم و پیش بینی دراز مدت اثرهای زیست محیطی و کیفیت آب و به کارگیری روش هایی برای استفاده هر دوی آب های سطحی و زیرزمینی، تغذیه

مصنوعی و استفاده مجدد از آب می‌باشد (Alley, 2004). برای اطمینان از پایداری، ضروری است که محدودیت آب بر اساس اصول هیدرولوژیکی موازنه جرم برقرار شود (Sophocleous 2000). مطالعه بیلان آب و برداشت مطمئن الزامی برای هم هستند. محققین زیادی با استفاده از معادله معرفی شده توسط نایک و آواستی (Naik and Awasthi 2003) برداشت مطمئن را به عنوان یک مفهوم مدیریتی در حوضه‌های مختلف برآورد کردند از جمله این مطالعات می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

نایک و آواستی (Naik and Awasthi 2003) در مطالعه حوضه رودخانه کوینا (Koyna River basin) در غرب هند تغذیه آب زیرزمینی را بالغ بر ۵۷ میلیون متر مکعب در سال و برداشت مطمئن را حدود ۵۸ میلیون متر مکعب در سال برآورد کردند. برداشت مطمئن شامل برداشت آب زیرزمینی به وسیله چاه‌ها برای مصرف خانگی، دام و طیور و نیازهای آبیاری (۱۶/۵۰ میلیون متر مکعب بر سال) و تخلیه طبیعی از سیستم آب زیرزمینی (جریان پایه و تخلیه چشمه بالغ بر ۳۸ میلیون متر مکعب بر سال) می‌باشد.

همچنین برآورد میزان کل ورودی، خروجی و برداشت مطمئن توسط وادوریس (Voudouris 2006) برای آبخوان ساحلی شمال شرق کورینتیا (NEastern Korinthia) در یونان به ترتیب ۲۹/۲، ۴۴/۶ و ۳۲ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد.

در حوضه کنگاور در شمال شرق استان کرمانشاه در غرب ایران میزان کل ورودی، خروجی و برداشت مطمئن به ترتیب ۵۹/۳۰، ۷۱/۵۳ و ۶۴/۲۰ میلیون متر مکعب در سال توسط طاهری تیزرو و همکاران (Taheri Tizro *et al.* 2007) برآورد شد.

و در مطالعه دیگر، ترکر و همکاران (Tu'rkerc *et al.* 2012) میزان کل ورودی، خروجی و برداشت مطمئن را در آبخوان یسیلکوای (Yesilkoy) در شبه جزیره کارپز (Karpaz) در قبرس به ترتیب ۱/۱، ۱/۶ و ۰/۸۴ میلیون متر مکعب در سال برآورد کردند.

در تمام موارد فوق استخراج از هر دو مقدار تغذیه و برداشت مطمئن آبخوان تجاوز کرده در نتیجه آبخوان دچار برداشت بیش از اندازه شده است. تحت این شرایط تخلیه ذخیره آب زیرزمینی روی داده و بنابراین پایداری آبخوان پیش بینی نمی‌شود.

فصل سوم: روش انجام کار

۳-۱- جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات کمی و کیفی آب زیرزمینی

اندازه‌گیری سطح آب در پیژومترهای حفر شده در آبخوان بهاباد و نمونه‌برداری از چاه‌های موجود در منطقه توسط شرکت آب منطقه‌ای یزد صورت می‌گیرد. در این تحقیق از آمار و اطلاعات اخذ شده از این شرکت و گزارش‌های آماری و بیلان آب زیرزمینی دشت بهاباد استفاده شده است.

۳-۲- بررسی‌های زمین‌شناسی

بررسی‌های زمین‌شناسی در محدوده حوضه آبریز بهاباد انجام شده است. تعیین حوضه آبریز بهاباد در محیط ArcGis 9.3 و بر اساس نقشه رقومی ارتفاعی (Dem) منطقه صورت گرفت. برای بررسی دقیق‌تر، تصویر تهیه شده در محیط ArcGis 9.3 به محیط Google Earth منتقل شده و عوارض مختلف بررسی شده است (شکل ۳-۱). به منظور تهیه نقشه زمین‌شناسی در محدوده حوضه آبریز از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بهاباد، شمال بهاباد، اسفوردی و چادرملو که توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده، استفاده گردید. سپس سازندها، لایه‌های زمین‌شناسی و ساختاری موجود در این نقشه‌ها که در محدوده حوضه آبریز قرار می‌گیرند شناسایی شده و نقشه زمین‌شناسی در محیط ArcGis 9.3 تهیه گردید.

۳-۳ تحلیل داده‌های هیدروژئولوژیکی

به منظور بررسی کمی آبخوان بهاباد از داده‌های اندازه‌گیری شده سطح آب زیرزمینی در ۱۴ پیزومتر که موقعیت آن‌ها در شکل ۳-۲ آمده استفاده گردید. این اندازه‌گیری‌ها به صورت ماهیانه توسط شرکت آب منطقه‌ای یزد صورت می‌پذیرد.



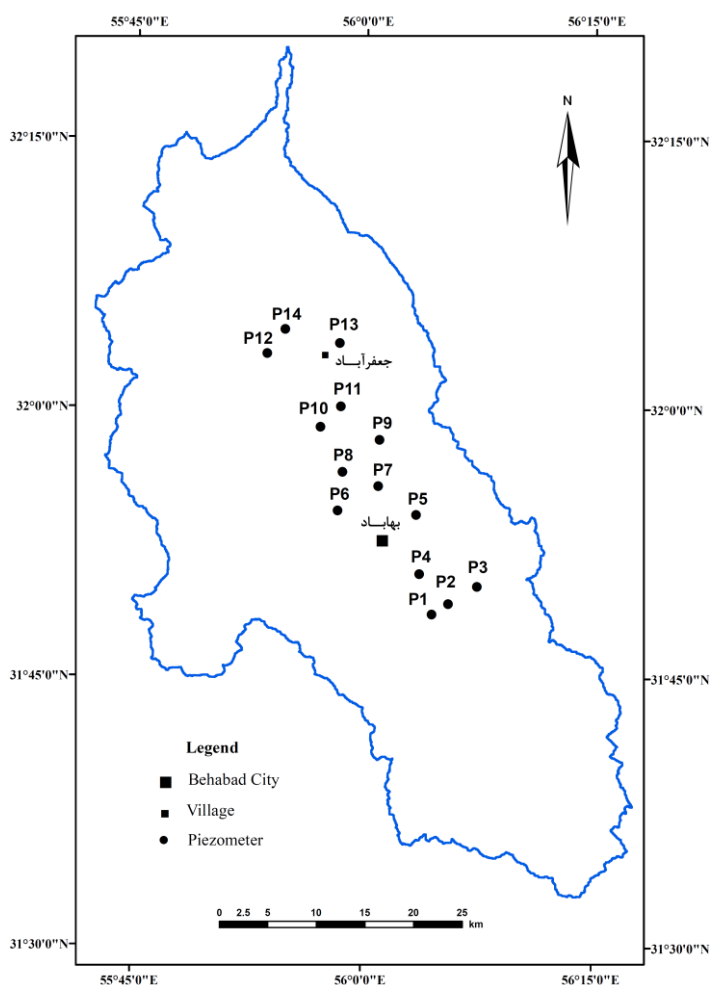
شکل ۳-۱) نمایش حوضه آبریز بهاباد در محیط Google Earth

۳-۳-۱- ارزیابی بیلان و برداشت مطمئن آب زیرزمینی

معادله بیلان شامل توازن ورودی‌ها و خروجی‌ها در سیستم آب زیرزمینی می‌باشد. با توجه به متنوع بودن مؤلفه‌های ورودی و خروجی، معادله مورد استفاده در آبخوان بهاباد به صورت معادله زیر تعریف می‌گردد.

$$(Q_{IN} + Q_P + Q_I + Q_{SW}) - (Q_{OUT} - Q_D - Q_{EX}) = \pm \Delta V \quad (۳-۱)$$

که در این معادله QIN حجم جریان‌های زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان، QP حجم آب نفوذی از ریزش‌های جوی، QI حجم آب نفوذی از آبیاری زمین‌های کشاورزی، QSW حجم آب نفوذ یافته از طریق پساب‌های شهری، روستایی و صنعتی، QOUT حجم جریان‌های زیرزمینی خروجی از محدوده بیلان، QD حجم آب زهکشی شده از آبخوان به آب‌های سطحی، QEX حجم آب تخلیه شده توسط چاه‌ها و ΔV تغییرات حجم ذخیره آبخوان در محدوده بیلان می‌باشند.



شکل ۲-۳) موقعیت پیزومترهای حفر شده در دشت بهاباد واقع در حوضه آبریز بهاباد

در این مطالعه برداشت مطمئن (Safe yield) از مفهوم مدیریتی معرفی شده توسط نایک و آواستی (Naik and Awasthi 2003) طبق معادله ۲-۳ برآورد می‌شود.

$$\text{Safe yield} = Q_{ed} + Q_{Wet} + Q_{rW} \quad (2-3)$$

در این معادله Q_{ed} ذخیره دینامیک آب زیرزمینی قابل برداشت، Q_{Wet} کل آب زیرزمینی پمپاژ شده در فصل تر و Q_{rW} کل آب برگشتی در طول سال آبی مورد نظر می‌باشد. برای محاسبه ذخیره دینامیک آب زیرزمینی از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$Q_{ed} = A \times S_y \times D_{ld} \quad (3-3)$$

که در این معادله A مساحت موثر آبخوان، S_y آبدهی ویژه و D_{ld} میانگین افت سطح آب زیرزمینی در فصل خشک (خرداد تا آذر) می‌باشد. ذخیره دینامیک آب زیرزمینی نشان‌دهنده میانگین طولانی مدت تغذیه آب زیرزمینی در شرایطی با حداکثر برداشت از سفره می‌باشد.

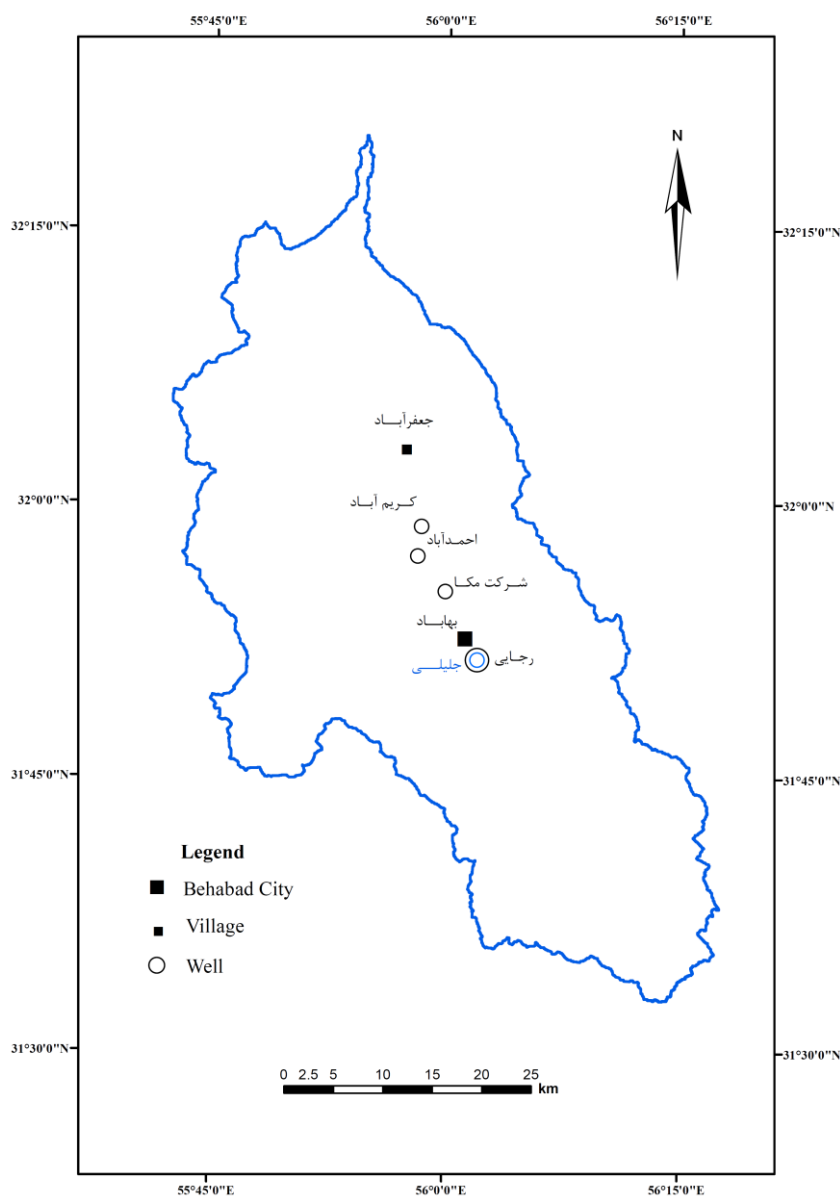
سپس برداشت مطمئن با نتایج بیلان (ورودی‌ها و خروجی‌ها) مقایسه شده است. جهت رسیدن به برداشت مطمئن در منطقه نقش مصارف گوناگون و تأثیرات آن بر افت سطح آب در آبخوان بهاباد بررسی شده است. جهت محاسبه بیلان آب زیرزمینی ضرایب هیدرودینامیکی یعنی قابلیت انتقال و ضریب ذخیره مورد نیاز است. در نقاطی از دشت که داده‌های قابلیت انتقال موجود نمی‌باشد با استفاده از روش‌های مختلف و بهره‌گیری از قانون داری به محاسبه آن‌ها پرداخته شده است. همچنین به دلیل عدم وجود داده ضریب ذخیره (معادل آبدهی ویژه در آبخوان آزاد) حاصل از آزمایش پمپاژ در دشت بهاباد از مقادیر توصیه شده در کتب علمی استفاده شده است.

۳-۳-۲- تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمیایی

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری پارامترهای اصلی آب زیرزمینی در آبخوان بهاباد در ۵ حلقه چاه انتخابی توسط شرکت آب منطقه‌ای یزد صورت می‌گیرد. از داده‌های حاصل جهت تحلیل کیفیت آبخوان استفاده شده است. موقعیت چاه‌های انتخابی در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. تهیه نقشه‌های هم-ارزش به دلیل تعداد اندک نقاط نمونه‌برداری امکان‌پذیر نبوده بنابراین مقایسه نسبی پارامترها و یون-های اصلی از روش‌های ارائه شده در محیط ArcGis 9.3 استفاده گردید. نمودارهای کیفی از قبیل

فصل سوم: روش انجام کار

نمودار پایپر و استیف جهت تعیین تیپ، رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی، مسیره‌های تکامل ژئوشیمیایی و مقایسه سریع ترکیب شیمیایی تعداد زیادی نمونه استفاده گردید. همچنین برای تعیین کیفیت آب جهت مصارف گوناگون از قبیل آشامیدنی و کشاورزی از نمودارهای شولر و ویلکاکس استفاده شد. برای تهیه این نمودارها و تعیین چند پارامتر از قبیل سختی و ضریب اشباع از نرم‌افزارهای AQQA، WATEVAL، PHREEQC استفاده شده است.



شکل ۳-۳) نقشه موقعیت چاه‌های انتخابی جهت نمونه‌برداری کیفی از منابع آب زیرزمینی، حوضه آبریز بهاباد

فصل چهارم

ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

۴-۱- مقدمه

حوضه آبریز بهاباد در استان یزد، آبخوان آزادی به مساحت ۳۶۶ کیلومتر مربع را در بر دارد که جهت مصارف مختلف کشاورزی و صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. نیاز این بخش‌ها به آب زیرزمینی به دلیل نبود منابع آب سطحی مناسب در منطقه وابستگی زیادی به منابع آب زیرزمینی ایجاد نموده است. از این رو شناخت و بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی برای تداوم حیات آن‌ها تا نسل‌های آینده در چنین منطقه خشک بسیار ضروری می‌باشد. در این فصل ویژگی و گستره آبخوان بهاباد، افت و نوسانات سطح آب زیرزمینی، جهت جریان، ارزیابی بیلان، تخمین برداشت مطمئن از آبخوان و همچنین کیفیت منابع آب زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۲- دشت بهاباد

دشت بهاباد در فاصله ۲۲۰ کیلومتری شرقی یزد بین دو سری ارتفاعات موازی، در امتداد شمال غرب و جنوب شرق کشیده است. جنس اغلب این ارتفاعات از شیل، مارن، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، آهک و دولومیت می‌باشد.

این دشت از نظر ریخت‌شناسی، گرابنی بوده و ضخامت آبرفت از مرکز به سمت حاشیه دشت کاهش یافته به طوری که چاه‌های اکتشافی حفر شده در مرکز دشت در عمق ۵۸۰ متری هنوز به سنگ کف

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

برخورد نکرده است و عمق و جنس سنگ کف آبخوان مشخص نمی‌باشد. احتمالاً در بعضی مناطق ضخامت آبرفت به ۱۰۰۰ متر هم می‌رسد (شرکت آب منطقه‌ای یزد ۱۳۷۵).

رسوبات کواترنری در بخش عمده‌ای از دشت گسترده شده است و به طور عمده شامل مخروط افکنه‌های بلند قدیمی (Q1)، آبرفت‌های جوان (Q2)، آبرفت‌های رودخانه‌ای (Qal) و رسوبات کویری می‌باشند. آبرفت‌های قدیمی مخروط افکنه‌های بلندی را تشکیل داده و از نظر دانه‌بندی ذرات دانه درشت در اندازه گراول تا ذرات رس و سیلت را شامل می‌شوند. این رسوبات، تحکیم یافته بوده و نسبت به سطح زمین مرتفع می‌باشند. آبرفت‌های جوان رسوبات تحکیم نیافته‌ای هستند که اغلب مخروط افکنه‌های پهن، کم ارتفاع و همچنین دشت‌ها و جلگه‌ها را تشکیل می‌دهند. این رسوبات در بخش‌های شمالی دشت ریز دانه و در اندازه سیلت و رس بوده و کفه رسی یا جلگه بهاباد را به وجود آورده است. آبرفت‌های رودخانه‌ای در بستر مسیل‌هایی که از ارتفاعات به سمت مرکز دشت آمده نهشته می‌شوند. این رسوبات جورشدگی خوبی نداشته و از دانه‌های درشت در اندازه قلوه تا رس و سیلت تشکیل شده‌اند. رسوبات کویری در شمال دشت بهاباد نهشته شده و عموماً از رس و سیلت و کانی‌های تبخیری گچ و نمک تشکیل می‌شوند. به دنبال کاهش شیب توپوگرافی از ارتفاعات اطراف به سمت مرکز دشت، از اندازه دانه‌ها کاسته شده به طوری که در وسط دشت پهنه‌های گلی (Qmf) که به طور محلی نمکی هستند، تشکیل شده است. به طور کلی از اندازه ذرات از جنوب دشت به سمت شمال دشت کاسته می‌شود.

۳-۴- آبخوان بهاباد

۳-۴-۱- تعیین مرز آبخوان بهاباد

آب‌های زیرزمینی در دشت بهاباد به طور عمده در بین فضاها خالی رسوبات تحکیم نیافته واحد آبرفتی جوان (Q2) قرار گرفته و این رسوبات به عنوان مخزن آب زیرزمینی عمل کرده و آبخوان آزاد را در سراسر دشت ایجاد کرده است. برای بررسی‌های هیدروژئولوژیکی لازم است مرزهای این رسوبات

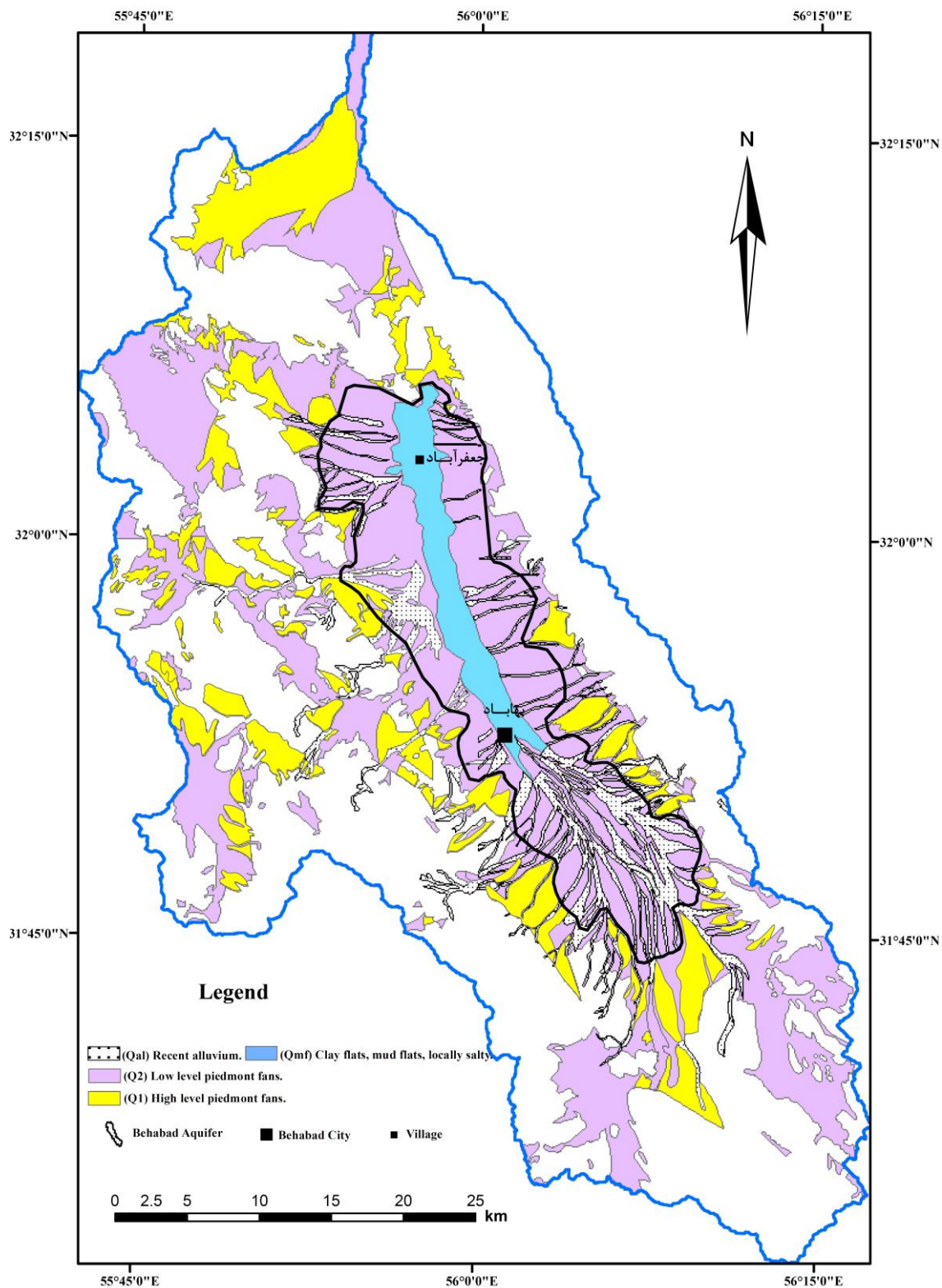
فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

حاوی آب از سایر واحدها و همچنین ارتفاعات اطراف جدا شود. بدین منظور از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ برای تعیین موقعیت واحد آبرفت‌های قدیمی (Q1) و ارتفاعات استفاده گردید. سپس این واحدها از واحد آبدار آبرفت‌های جوان (Q2) جدا شد. با توجه به این موضوع و همچنین با در نظر گرفتن موقعیت و تمرکز چاه‌ها، قنات‌ها و پیژومترهای حفر شده در آبخوان، مرز تقریبی آبخوان بهاباد ترسیم گردید. شکل ۴-۱ محدوده آبخوان بهاباد در نقشه زمین شناسی مربوط به حوضه آبریز دشت بهاباد را نشان می‌دهد.

آبخوان بهاباد از نوع آزاد بوده که در محدوده جغرافیایی $42^{\circ} 55'$ تا $17' 56^{\circ}$ طول شرقی و $31^{\circ} 43'$ تا $12' 32^{\circ}$ عرض شمالی قرار دارد. در بخش‌های شمالی آبخوان ویژگی‌های تحت فشار نیز گزارش شده است (آب منطقه‌ای یزد ۱۳۷۵). ارتفاعات واقع در جنوب و غرب دشت تغذیه کننده اصلی آبخوان می‌باشند. تمام مسیل‌های موجود در منطقه نهایتاً در شمال دشت به رودخانه شور ختم می‌شوند. این رودخانه آب زیرزمینی را در مناطق شمالی تخلیه کرده و از نوع زاینده می‌باشد.

۴-۳-۲- موقعیت و مشخصات منابع آبی در آبخوان بهاباد

منبع تأمین آب تمامی چشمه‌ها و اکثر قنات‌های موجود در حوضه آبریز بهاباد اغلب سازندهای سخت مجاور آبخوان بوده که خارج از مرز تعیین شده آن قرار گرفته و در این مرز تعیین شده تنها ۳ رشته قنات جهت مصارف کشاورزی با دبی متوسط ۱۱ لیتر بر ثانیه قرار می‌گیرند. موقعیت قنات‌ها در شکل ۴-۲ و مشخصات آن‌ها در پیوست (۱) ارائه شده است. بنابراین چاه‌های بهره‌برداری به عنوان اصلی‌ترین منابع آبی در آبخوان بهاباد معرفی می‌گردند. این منابع آبی به طور عمده شامل چاه‌های کشاورزی، صنعتی، شرب می‌باشند که مشخصات آن‌ها در پیوست (۲) ارائه شده است. اغلب این چاه‌ها عمقی بیشتر از ۱۰۰ متر داشته و از نوع چاه‌های عمیق محسوب می‌شوند.



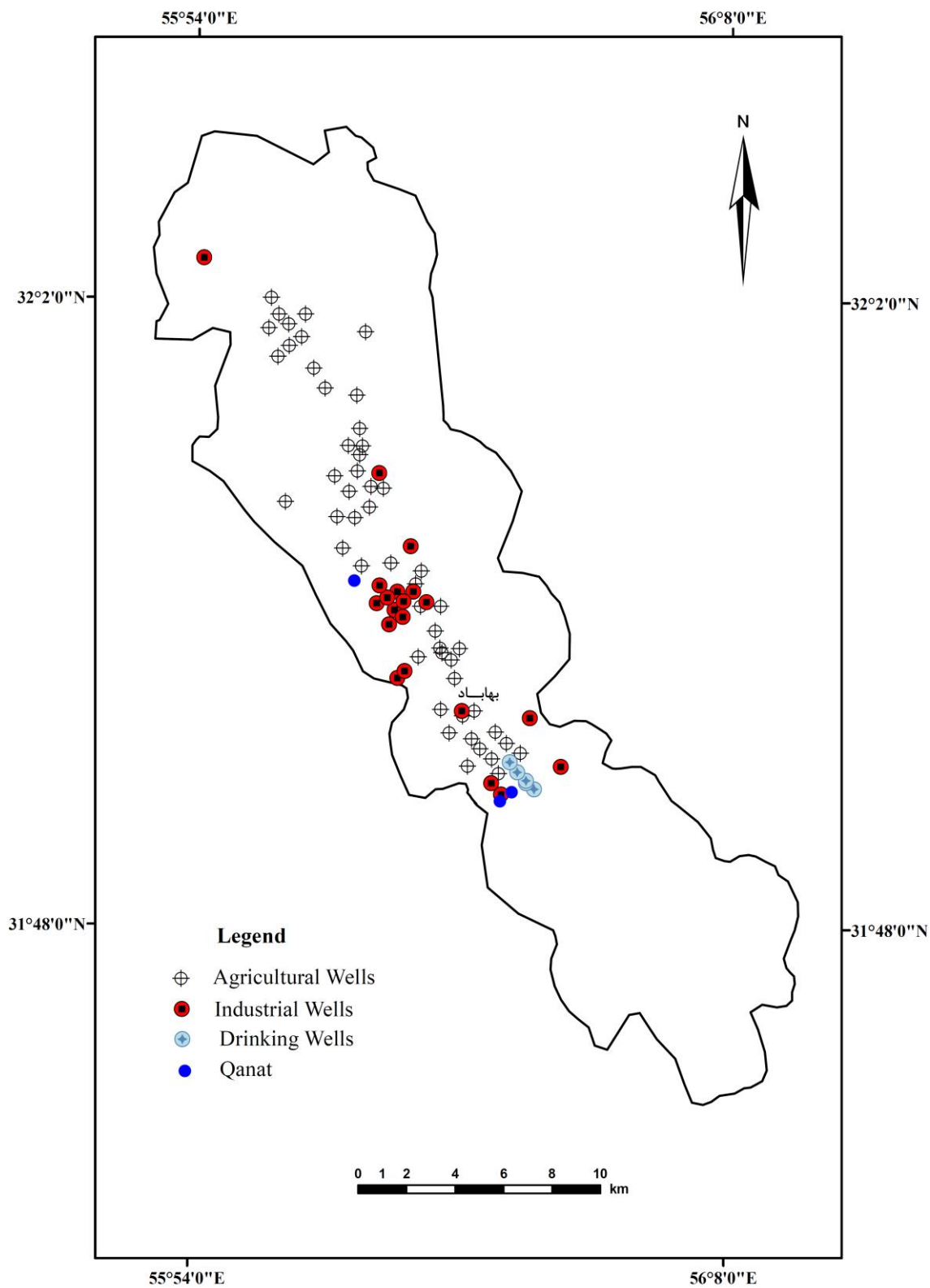
شکل ۴-۱) حوضه آبریز بهاباد و موقعیت آبخوان بهاباد در آن

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

از مجموع چاه‌های موجود ۵۱ حلقه جهت مصارف کشاورزی (دبی متوسط ۱۶/۵ لیتر بر ثانیه)، ۲۲ حلقه برای مصارف صنعتی (دبی متوسط ۱۸/۵ لیتر بر ثانیه) و ۵ حلقه جهت شرب (دبی متوسط ۲۲/۴ لیتر بر ثانیه) مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند (جدول ۴-۱). مجموع تخلیه سالانه چاه‌های کشاورزی، صنعت و شرب که موقعیت آن‌ها در شکل ۴-۲ ارائه شده است به ترتیب برابر ۲۵/۵، ۸/۴ و ۲/۵ میلیون متر مکعب می‌باشد. بر این اساس مصارف کشاورزی در درجه اول و مصارف صنعتی و شرب به ترتیب در درجات بعدی قرار می‌گیرند.

جدول ۴-۱) چاه‌های بهره‌برداری در آبخوان بهاباد و مشخصات آن‌ها (دبی متوسط و تخلیه سالانه مربوط به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ می‌باشد).

نوع چاه	تعداد حلقه چاه	عمق متوسط (متر)	دبی متوسط هر چاه (لیتر بر ثانیه)	تخلیه سالانه (میلیون متر مکعب بر سال)	درصد برداشت
کشاورزی	۵۱	۹۲/۵	۱۶/۵	۲۵/۵	۶۹/۹
صنعتی	۲۲	۱۵۶	۱۸/۵	۸/۴	۲۳/۰
شرب	۵	۹۳/۸	۲۲/۴	۲/۵	۶/۹
کل چاه‌ها	۷۸	۱۱۴/۱	۱۷/۵	۳۶/۴	-



شکل ۴-۲) موقعیت چاه‌های کشاورزی، صنعتی و شرب در آبخوان بهاباد

۴-۳-۳- نقشه‌های هم‌پتانسیل آبخوان بهاباد

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

شبکه پیزومتری آبخوان بهاباد شامل ۱۴ حلقه پیزومتر به عمق متوسط ۱۷۱/۶ متر می‌باشد (جدول ۲-۴). عمق سطح ایستابی آبخوان در این پیزومترها به صورت ماهانه (۹۰-۱۳۸۱) اندازه‌گیری می‌گردد. با توجه به ارتفاع نقطه نشانه مربوط به هر پیزومتر، ارتفاع سطح ایستابی از سطح مبنا (تراز دریا‌های آزاد) در بخش‌های مختلف آبخوان محاسبه می‌گردد.

جدول ۲-۴) مشخصات پیزومترهای دشت بهاباد و ارتفاع سطح ایستابی در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۰ و ۱۳۸۲

نام پیزومتر	مختصات بر UTM حسب		عمق پیزومتر (m)	ارتفاع نقطه نشانه (m)	ارتفاع سطح ایستابی از سطح مبنا	
	(X)	(Y)			اردیبهشت ۸۲	اردیبهشت ۹۰
P1	412399	3519654	145	1482.87	1364.27	1359.98
P2	414099	3520708	432	1481.64	1364.78	1360.63
P3	417064	3522474	252	1511.7	1364.24	1360.08
P4	411128	3523794	180	1431.73	1360.96	1356.19
P5	410800	3529880	330	1455.14	1356.18	1350.03
P6	402736	3530369	98	1421.63	1344.16	1334.7
P7	406913	3532842	63	1384.94	1347.66	1340.32
P8	403234	3534342	72	1372.97	1347.79	1342.88
P9	407049	3537607	195	1434.87	1345.4	1338.04
P10	400984	3538985	55	1358.87	1341.32	1337.71
P11	403092	3541086	210	1355.45	1338.98	1333.44
P12	395507	3546570	121	1389.5	1348.4	1343.11
P13	402974	3547607	85	1333.74	1301.68	1300.55
P14	397372	3549062	162	1371.25	1338.33	1334.66

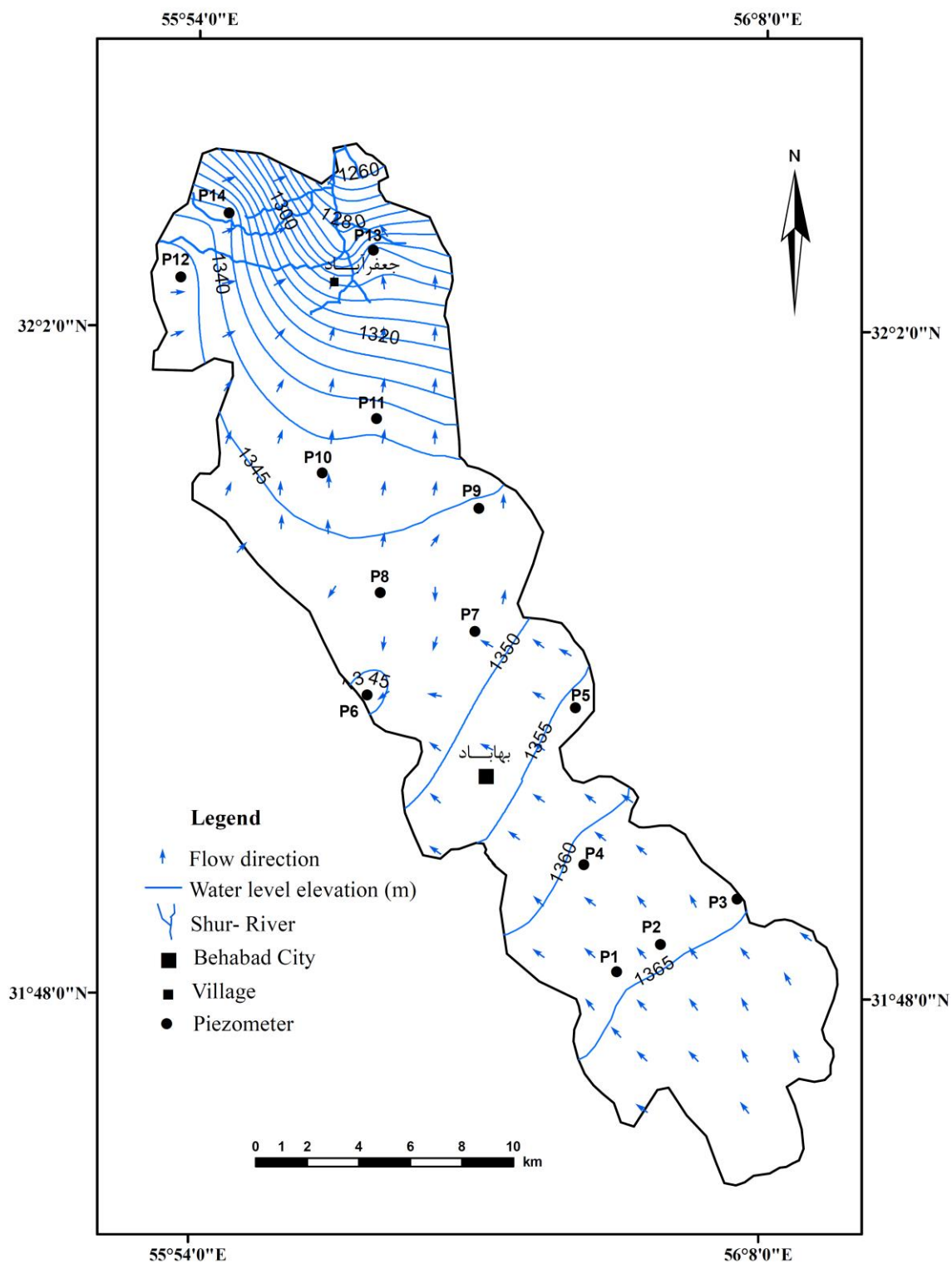
فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

به منظور تهیه نقشه‌های هم‌پتانسیل دشت بهاباد از داده‌های ارتفاع سطح ایستابی نسبت به سطح مبنا در اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۲ و ۱۳۹۰ استفاده شده است.

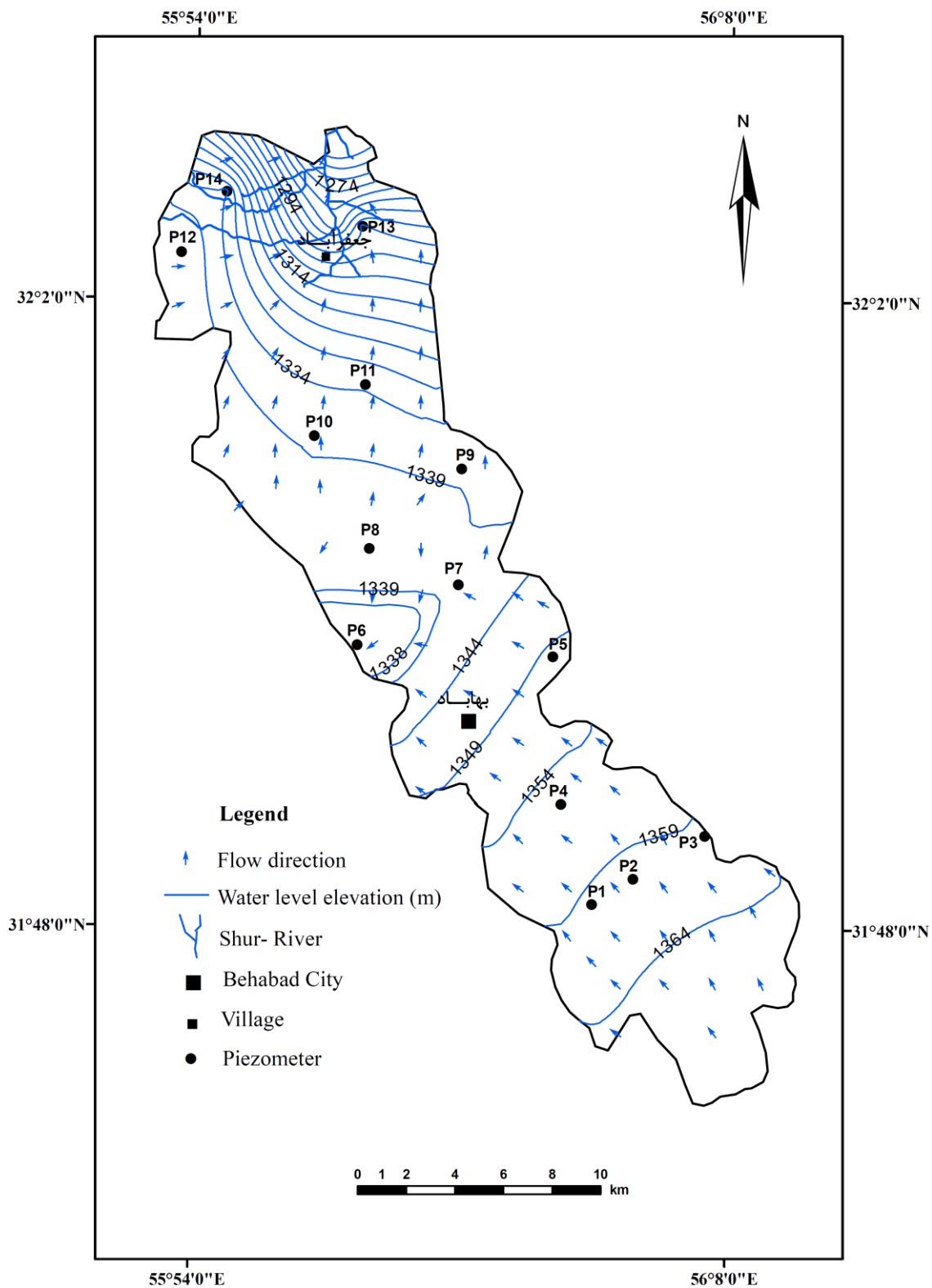
بر اساس نقشه‌های هم‌پتانسیل (شکل‌های ۴-۳ و ۴-۴) بیشترین ارتفاع سطح ایستابی در قسمت جنوبی آبخوان و کمترین آن در بخش‌های شمالی می‌باشد. بر اساس نقشه‌های مذکور جهت عمومی جریان در دشت جنوبی - شمالی بوده که از شیب سطح زمین تبعیت می‌کند. در یک بررسی دقیق‌تر جهت جریان در قسمت‌های جنوبی دشت از جنوب شرق به سمت شمال غرب بوده و در مرکز دشت (اطراف پیزومتر ۶) به دلیل وجود فروافتادگی ناشی از پمپاژ چاه‌ها، خطوط جریان به این سمت تغییر مسیر داده و به سمت حاشیه آبخوان در محل تجمع چاه‌های صنعتی (شکل ۴-۲) متمرکز شده‌اند. بالا آمدگی سطح ایستابی در محل پیزومتر ۸ که می‌تواند ناشی از تغذیه آبخوان در این منطقه باشد، به همراه مخروط افت ایجاد شده در اثر پمپاژ چاه‌های متمرکز در بخش مرکزی سبب ایجاد خط تقسیم آب زیرزمینی شده است که در تغییر مسیر جریان از روند کلی نقش داشته و عملاً دشت را به دو منطقه جنوبی و شمالی تقسیم کرده است. در بخش شمالی آبخوان جهت جریان آب زیرزمینی در راستای جنوب غربی - شمال شرقی می‌باشد.

بر اساس نقشه‌های مذکور بخش‌های جنوبی و شمال غربی آبخوان بیشترین نقش در تغذیه منابع آب زیرزمینی آبخوان بهاباد را به خود اختصاص می‌دهند. کوه‌های جنوبی و غربی دارای ارتفاعات بلند و حجم نزولات جوی بیشتر نسبت به ارتفاعات شرقی حوضه بوده (شکل‌های ۴-۵ و ۴-۶) که به عنوان ورودی‌های مهم دشت محسوب می‌شوند.

خروجی در مناطق جنوبی دشت به طور عمده توسط چاه‌های پمپاژ صورت می‌گیرد. در مناطق شمالی دشت انحناى خطوط هم‌پتانسیل در اطراف رودخانه شور نشان‌دهنده تغذیه رودخانه توسط آب زیرزمینی یا به عبارت دیگر تخلیه آبخوان از طریق رودخانه می‌باشد. خروجی از مرز و تخلیه توسط چاه‌ها از دیگر منابع تخلیه کننده آبخوان در این بخش می‌باشند.



شکل ۴-۳) نقشه هم‌پتانسیل آبخوان بهاباد در اردیبهشت ماه ۱۳۸۲



شکل ۴-۴ نقشه هم‌پتانسیل آبخوان بهاباد در اردیبهشت ماه ۱۳۹۰

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

در مناطق جنوبی دشت مقدار گرادیان هیدرولیکی (شیب سطح ایستابی) حدود ۰/۰۰۱ می‌باشد. فاصله خطوط هم‌پتانسیل نسبت به مناطق دیگر دشت بیشتر بوده که می‌تواند معرف مقدار نفوذپذیری بیشتر آبخوان در این مناطق باشد. به سمت بخش‌های شمالی و بالایی آبخوان به خصوص در اطراف رودخانه شور نزدیک شدن خطوط هم‌پتانسیل نشان‌دهنده کاهش نفوذپذیری در این مناطق می‌باشد. گرادیان هیدرولیکی در این بخش‌ها از ۰/۰۰۳ بیشتر می‌باشد.

مقایسه نقشه‌های هم‌پتانسیل مربوط به سال ۱۳۸۲ و ۱۳۹۰ بیانگر کاهش ارتفاع سطح ایستابی با گذشت زمان بوده که بیانگر افت و کاهش حجم آبخوان در طول این فاصله می‌باشد. به صورت مشخص مخروط افت ایجاد شده در اطراف پیزومتر شماره ۶ در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال ۱۳۸۲ توسعه بیشتری یافته است که این موضوع ناشی از تداوم برداشت زیاد توسط چاه‌ها به خصوص چاه‌های صنعتی در این محدوده از آبخوان می‌باشد.



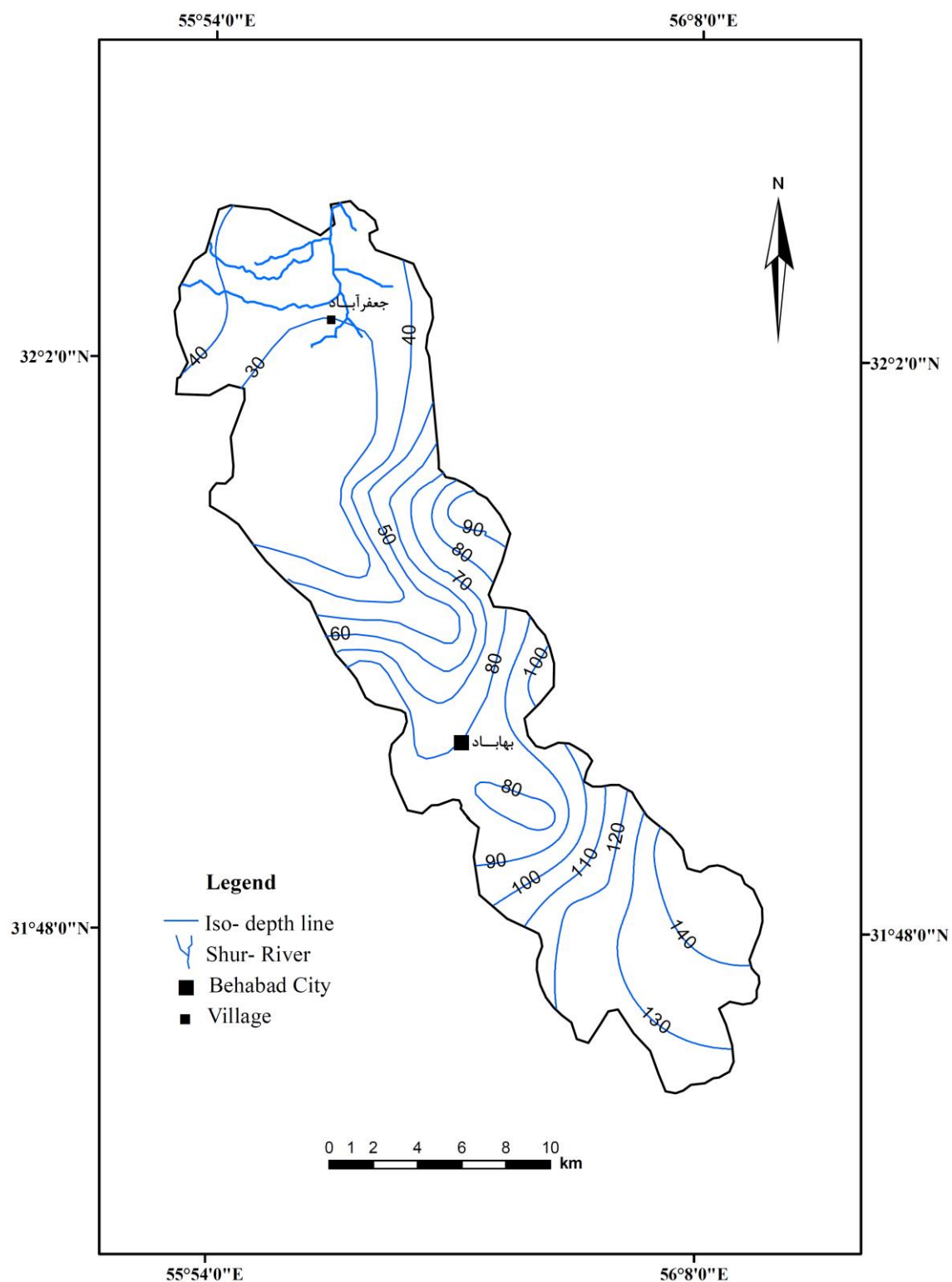
شکل ۴-۵) ارتفاعات شرقی دشت بهاباد از جنس شیل و مارن



شکل ۴-۶) ارتفاعات جنوبی دشت بهاباد از جنس شیل، آهک، دولومیت، کنگلومرا و ماسه‌سنگ

۴-۳-۴- نقشه هم‌عمق سطح ایستابی

از اتصال نقاط هم‌ارزش داده‌های عمق سطح ایستابی در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۰ نقشه هم‌عمق دشت بهاباد تهیه گردید. بر اساس نقشه هم‌عمق (شکل ۴-۷)، عمق سطح آب زیرزمینی از جنوب شرق به سمت شمال غرب و از حاشیه دشت به سمت مرکز دشت کاهش می‌یابد. حداکثر عمق سطح آب در جنوب دشت در اطراف پیزومتر شماره ۳ و برابر ۱۵۱/۶۲ متر بوده که به سمت شهر بهاباد کاهش یافته به طوری که در محدوده شهر عمق سطح ایستابی حدود ۸۰ متر می‌باشد. در نزدیکی روستای جعفرآباد در شمال آبخوان سطح آب زیرزمینی بالاتر از سطح زمین قرار گرفته که سبب تخلیه آبخوان از طریق رودخانه شور شده است (شکل ۴-۸).



شکل ۴-۷) نقشه هم‌عمق آبخوان بهاباد در اردیبهشت ماه ۱۳۹۰



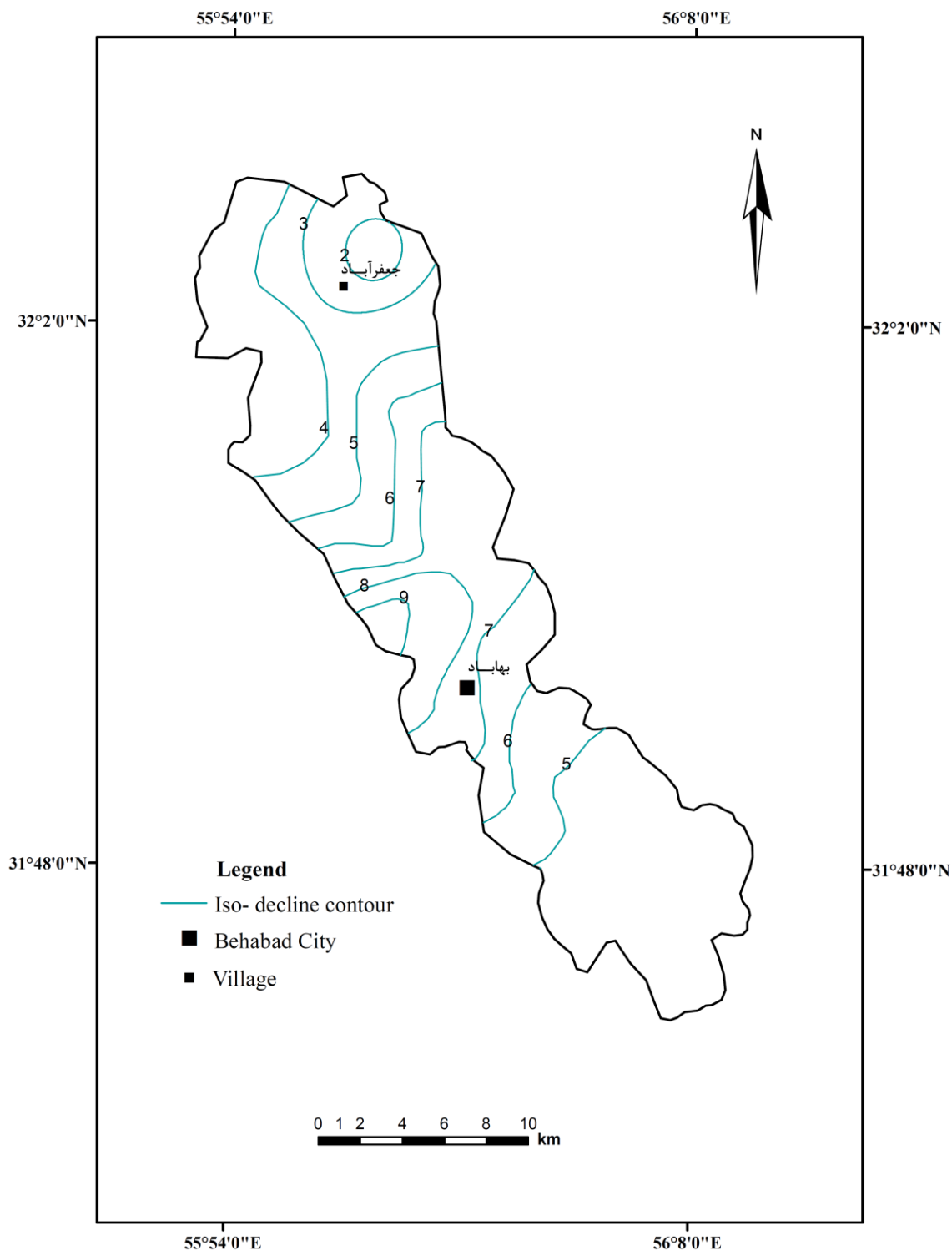
شکل ۴-۸) زهکشی آب زیرزمینی توسط رودخانه شور در بخش شمالی آبخوان بهاباد

۴-۳-۵- نقشه هم‌افت سطح ایستابی

برای مدیریت صحیح منابع آب زیرزمینی آگاهی از تغییرات دراز مدت سطح آب زیرزمینی لازم است. بدین منظور از نقشه‌های هم‌افت آب زیرزمینی در یک بازه زمانی استفاده می‌شود. افت سطح آبخوان در این بازه زمانی مورد بررسی قرار گرفته و مناطق با بیشترین و کمترین افت و دلایل مربوط به آن شناسایی می‌شود. برای تهیه نقشه هم‌افت سطح ایستابی آبخوان بهاباد از داده‌های فروردین ماه ۱۳۸۲ و اسفند ماه ۱۳۹۰ استفاده گردید (شکل ۴-۹). میزان افت سطح ایستابی آبخوان در این دوره ۸ ساله تغییراتی از ۲ تا ۹ متر را نشان می‌دهد. افت سطح آب زیرزمینی از جنوب به سمت مرکز دشت افزایش یافته و حداکثر به ۹ متر در بخش میانی دشت (به صورت محدوده بسته) می‌رسد. افت زیاد آبخوان در این بخش ناشی از تمرکز چاه‌های پمپاژ به خصوص چاه‌های صنعتی می‌باشد. بعد از محدوده با افت زیاد، میزان افت سطح آب زیرزمینی به سمت شمال دشت کاهش یافته و به حدود ۲

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

متر در اطراف روستای جعفرآباد می‌رسد. تجمع کمتر چاه‌های بهره‌برداری در این منطقه از آبخوان و همچنین تغذیه آبخوان از حاشیه شمال غربی از دلایل اصلی کاهش افت سطح ایستابی در این بخش از آبخوان می‌باشد.



شکل ۴-۹) نقشه هم‌افت آبخوان بهاباد در یک دوره ۸ ساله از فروردین ماه ۱۳۸۲ تا اسفند ماه ۱۳۹۰

۴-۳-۶- ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان بهاباد

قابلیت انتقال و ضریب ذخیره دو پارامتر اساسی در کمی کردن یا ارزیابی منابع آب زیرزمینی می-باشند. مقادیر و توزیع این ضرایب در آبخوان بهاباد در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۳-۶-۱- تعیین آبدهی ویژه (ضریب ذخیره) دشت بهاباد

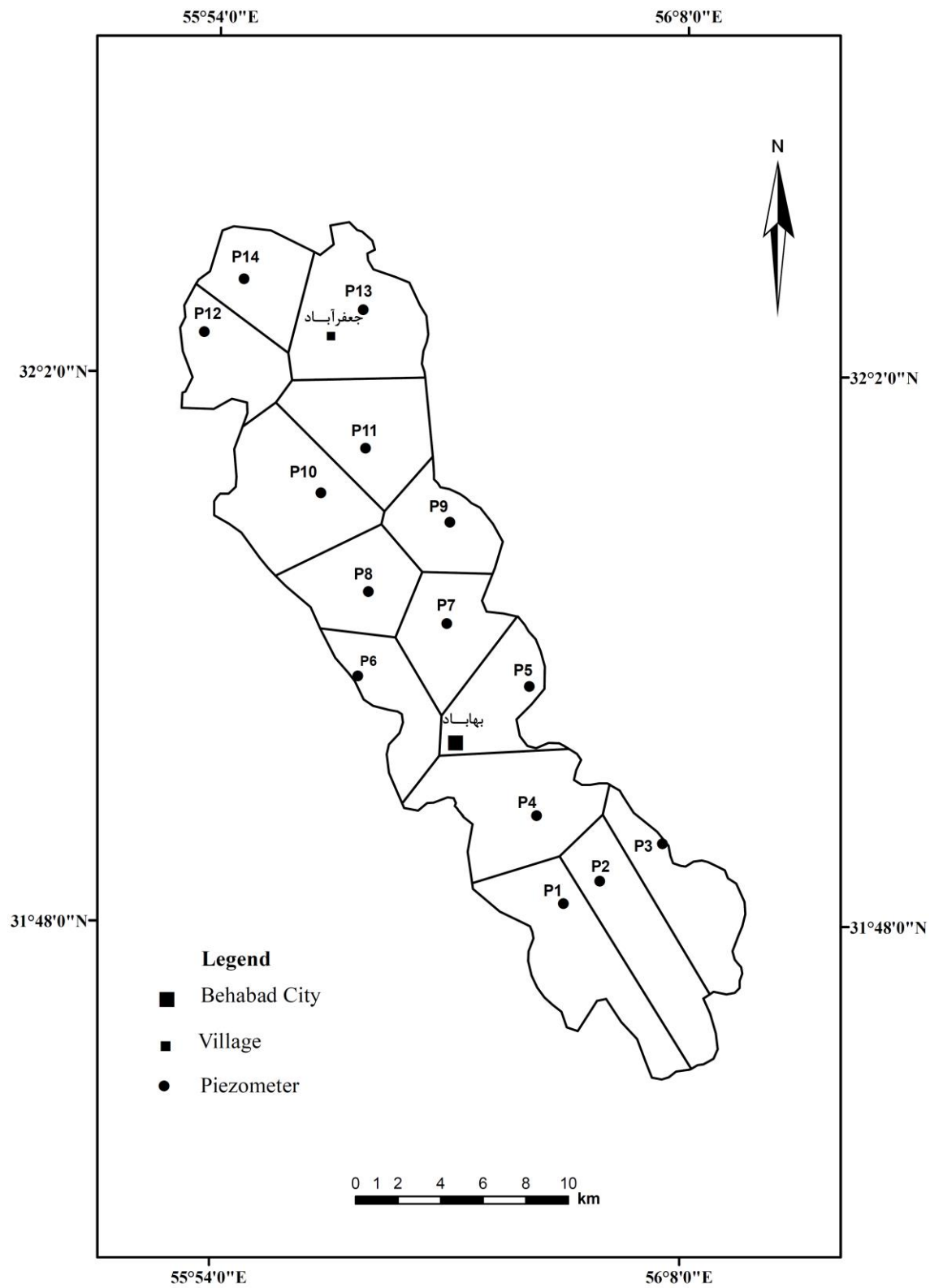
در سفره‌های آزاد ضریب ذخیره همان آبدهی ویژه می‌باشد. مقدار این پارامتر در آزمون‌های پمپاژ انجام شده در دشت بهاباد محاسبه نشده است. بنابراین در این تحقیق آبدهی ویژه بر اساس بافت خاک در لوگ‌های حفاری و با توجه به مقادیر استاندارد در مراجع معتبر (نظیر جدول ۱-۲ و شکل ۲-۲) تعیین شده است. باید به این نکته توجه داشت که مقادیر توصیه شده در این مراجع، مقادیری هستند که در شرایط آزمایشگاه و در لایه‌های همگن تخمین زده شده‌اند. این در حالی است که مقادیر آبدهی ویژه در شرایط صحرائی به دلیل تاثیرات ناشی از هوای به دام افتاده در نزدیکی سطح ایستابی، لایه لایه بودن مواد آبخوان در بالای سطح ایستابی و میزان تغییرات ارتفاع سطح ایستابی کمتر از آبدهی ویژه اندازه‌گیری شده در شرایط آزمایشگاهی بوده که از آن به عنوان آبدهی ویژه ظاهری نام برده می‌شود. آبدهی ویژه ظاهری معمولاً حدود یک سوم مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی می-باشد (McWhorter and Sunada 1977). با تعیین ترکیب عمده رسوبات در بخش‌های مختلف دشت، مقادیر آبدهی ویژه آزمایشگاهی توصیه شده در مراجع برای مناطق مختلف دشت تعیین و سپس یک سوم این مقادیر به عنوان آبدهی ویژه ظاهری در نظر گرفته شده است (جدول ۳-۴). بر این اساس بافت مواد سفره بر اساس لاگ حفاری چاه‌ها (پیوست ۳) از آبرفت غنی از سیلت و رس تا ماسه گراولی در بخش‌های مختلف متغیر بوده است که میزان آبدهی ویژه آن‌ها در شرایط آزمایشگاهی بر اساس مقادیر ارائه شده در منابع معتبر (جدول ۱-۲) به ترتیب ۰/۰۸ و ۰/۲۵ می‌باشد. طبق توضیحات فوق آبدهی ویژه ظاهری این رسوبات به ترتیب ۰/۰۲۷ و ۰/۰۸۳ می‌باشد. متوسط آبدهی ویژه آبخوان بهاباد در بخش‌های جنوبی و شمالی بر اساس میانگین وزنی آبدهی ویژه در

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

بخش‌های مختلف محاسبه شده است. ابتدا نقشه تیسن مربوط به آبخوان بهاباد تهیه شده (شکل ۴-۱۰) که مشخصات پیزومترهای مورد استفاده در نقشه تیسن در پیوست (۴) آمده است. سپس آبدهی ویژه با توجه به مساحت مربوط به هر پیزومتر متوسط‌گیری وزنی شده است. محاسبات مربوطه در جداول ۴-۴ و ۴-۵ ارائه شده است. متوسط آبدهی ویژه در بخش‌های جنوبی و شمالی به ترتیب حدود ۷ و ۳ درصد برآورد گردیده است. شکل‌های ۴-۱۱ و ۴-۱۲ به ترتیب دانه‌بندی رسوبات در بخش‌های جنوبی و شمالی را نشان می‌دهد. دانه‌بندی رسوبات به خوبی با مقادیر محاسبه شده آبدهی ویژه هماهنگی دارد.

جدول ۴-۳) مقادیر آبدهی ویژه در مناطق مختلف دشت بهاباد

نام پیزومتر	بافت مواد سفره	میانگین آبدهی ویژه آزمایشگاهی	آبدهی ویژه ظاهری
p1	ماسه گراولی، گراول ماسه‌ای، ماسه لومی	0.25	0.083
p2	ماسه گراولی، گراول ماسه‌ای، ماسه لومی	0.25	0.083
p3	ماسه گراولی، گراول ماسه‌ای، ماسه لومی	0.25	0.083
p4	ماسه گراولی، گراول ماسه‌ای، ماسه لومی	0.25	0.083
P5	ماسه لومی	0.23	0.077
P6	ماسه لومی	0.23	0.077
P7	ماسه لومی	0.23	0.077
P8	گراول رس‌دار، ماسه، سیلت، رس	0.12	0.04
P9	گراول رس‌دار، ماسه، سیلت، رس	0.12	0.04
P10	گراول رس‌دار، ماسه، سیلت، رس	0.12	0.04
p11	آبرفت غنی از سیلت و رس	0.08	0.027
p12	آبرفت غنی از سیلت و رس	0.08	0.027
p13	آبرفت غنی از سیلت و رس	0.08	0.027
p14	آبرفت غنی از سیلت و رس	0.08	0.027



شکل ۴-۱) نقشه تیسن آبخوان بهاباد

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

جدول ۴-۴) میانگین آبدهی ویژه قسمت جنوبی آبخوان بهاباد

نام پیزومتر	آبدهی ویژه	مساحت چند ضلعی تیسن (m^2)	مساحت \times آبدهی ویژه (m^2)
p1	0.083	35649648	2970804.00
p2	0.083	30601717	2550143.08
p3	0.083	25119927	2093327.25
p4	0.083	35677301	2973108.42
P5	0.077	19670291	1376920.37
P6	0.077	19122695	1338588.65
P7	0.077	21564947	1509546.29
P8	0.040	21944326	1097216.30
P9	0.040	4826460	241323.00
P10	0.040	20996703	1049835.15
متوسط آبدهی ویژه			0.073

جدول ۴-۵) میانگین آبدهی ویژه قسمت شمالی آبخوان بهاباد

نام پیزومتر	آبدهی ویژه	مساحت چند ضلعی تیسن (m^2)	مساحت \times آبدهی ویژه (m^2)
P9	0.04	4826460	241323.00
P10	0.04	20996703	1049835.15
P11	0.027	29003460	870103.8
P12	0.027	20855296	625658.88
P13	0.027	33940634	1018219.02
P14	0.027	19401768	582053.04

متوسط آبدهی ویژه	0.03
------------------	------



شکل ۴-۱۱) رسوبات در مناطق جنوبی دشت از جنس ماسه و گراول



شکل ۴-۱۲) رسوبات در مناطق شمالی دشت از جنس سیلت و رس

۴-۳-۶-۲- تعیین قابلیت انتقال دشت بهاباد

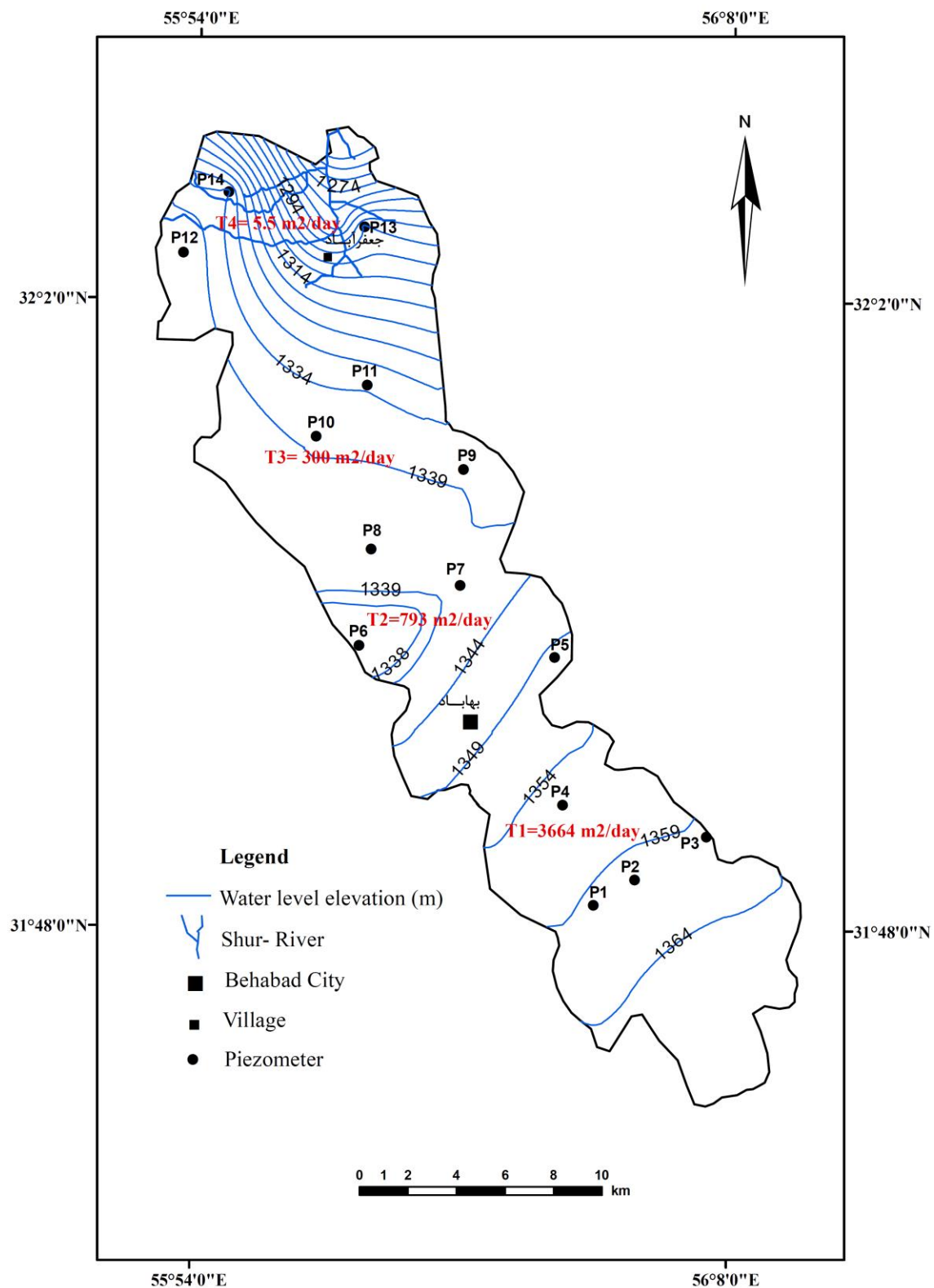
داده‌های قابلیت انتقال حاصل از آزمایش پمپاژ در تمامی نقاط دشت وجود ندارد، بنابراین ترسیم نقشه هم‌قابلیت انتقال امکان‌پذیر نمی‌باشد.

به طور کلی انتظار می‌رود قابلیت انتقال در مرکز دشت بهاباد به دلیل ضخامت زیاد آبرفت در این بخش (با توجه به ریخت گرابنی دشت) و در بخش‌های جنوب، جنوب غرب و غرب به علت دانه بندی درشت رسوبات بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داده باشد. در بخش‌های شرقی و همچنین در سمت ارتفاعات شمالی به دلیل دانه‌بندی ریز و جورشدگی بد رسوبات، مقادیر کمی برای قابلیت انتقال تخمین زده می‌شود.

قابلیت انتقال در نقاطی از آبخوان (شکل ۴-۱۳) به صورت زیر تعیین شده است:

در محل T1 با توجه به مشخص بودن قابلیت انتقال حاصل از آزمون پمپاژ در سال آبی ۱۳۷۴-۷۵ در بخش جنوبی این محل و عدم وجود چاه‌های بهره‌برداری در بین این محدوده (ثابت بودن دبی عبوری از محدوده) از کاربرد قانون داری در یک لوله جریان برای محاسبه T1 استفاده گردید. در این راستا از پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط شرکت آب منطقه‌ای یزد در سال آبی ۱۳۷۴-۷۵ استفاده شد و مقدار قابلیت انتقال در این سال محاسبه گردید (جداول ۴-۶ و ۴-۷).

قابلیت انتقال بر اساس داده‌های سال آبی ۱۳۷۴-۷۵ حدود ۳۷۲۵ محاسبه گردید. با توجه به اینکه میانگین افت سالیانه تقریباً ۰/۶ متر است، در نتیجه در طول ۱۵ سال (از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰) حدود ۹ متر افت در آبخوان رخ داده است. بنابراین مقدار فعلی قابلیت انتقال در محل مورد نظر حدود ۳۶۶۴ متر مربع بر روز تخمین زده شد.



فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

شکل ۴-۱۳) قابلیت انتقال در بخش‌های مختلف آبخوان بهاباد

جدول ۴-۶) محاسبه دبی لوله جریان بر اساس پارامترهای اندازه‌گیری شده در سال ۷۵-۱۳۷۴ در بخش جنوبی T1

W (m)	i	T (m ² /day)	Qi (m ³ /day)	Qi (m ³ /y)
10000	0.0034	773	26282	9592930
عرض لوله جریان: W		شیب هیدرولیکی: i	دبی ورودی: Qi	قابلیت انتقال: T

جدول ۴-۷) محاسبه قابلیت انتقال در محل T1 با استفاده از معادله دارسی در یک لوله جریان (داده‌های ۷۵-۱۳۷۴)

W (m)	i	Qi (m ³ /day)	Qi (m ³ /y)	T (m ² /day)
7024.5	0.001	26282	9592930	3725.476
عرض لوله جریان: W		شیب هیدرولیکی: i	دبی ورودی: Qi	قابلیت انتقال: T

مقدار قابلیت انتقال در مقاطع ورودی زیرزمینی واقع در ناحیه غربی دشت (T2) با استفاده از تخلیه سالیانه چاه‌های بهره‌برداری که در محدوده محصور بین منحنی‌های هم‌پتانسیل ۱۳۳۸ و ۱۳۳۹ قرار دارند و براساس فرمول زیر تخمین زده شده است. محاسبات مربوطه در جدول ۴-۸ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان قابلیت انتقال در محدوده محصور شده (محل T2) حدود ۷۹۲/۹ مترمربع بر روز تخمین زده شده است.

$$T = Q / [((w_1 + w_2)/2) * i] \quad (۱-۴)$$

که در این فرمول W طول خطوط کنتوری، i شیب هیدرولیکی، Q تخلیه سالانه چاه‌های واقع در منحنی‌های بسته و T قابلیت انتقال می‌باشد.

جدول ۴-۸) تخمین قابلیت انتقال بین خطوط هم‌پتانسیل ۱۳۳۸ و ۱۳۳۹

W1 (m)	W2 (m)	i	Q (m ³ /day)	T (m ² /day)
15400	18400	0.00125	16750.8	792.9
طول خطوط کنترولی: W		شیب هیدرولیکی: i	تخلیه سالانه چاه‌های واقع در منحنی‌های بسته: Qi	قابلیت انتقال: T

قابلیت انتقال در محل‌های T3 و T4 از حاصل ضرب هدایت هیدرولیکی (تعیین شده بر مبنای بافت خاک) و متوسط ضخامت اشباع آبخوان طبق فرمول زیر محاسبه شده است.

$$T = K \times b \quad (۲-۴)$$

که در این فرمول T قابلیت انتقال، K هدایت هیدرولیکی و b ضخامت آبخوان می‌باشد. بافت خاک در محل T3 از نوع گراول رس‌دار و در محل T4 عمدتاً سیلت و رس می‌باشد. با توجه به عمق متوسط آبخوان که حدود ۶۰۰ متر می‌باشد مقادیر قابلیت انتقال در محل‌های T3 و T4 به ترتیب حدود ۳۰۰ و ۵/۵ متر مربع در روز برآورد می‌گردد.

۴-۳-۷- بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی

تقاضای آب به دلیل توسعه سریع شهرسازی، گسترش زمین‌های کشاورزی و صنعت افزایش یافته به طوری که از تجدیدپذیری طبیعی عرضه آب فراتر رفته است. در نتیجه منابع طبیعی آب زیرزمینی با یک نرخ افزایشی در سراسر جهان استخراج شده و همه ساله افت زیادی در سطح آب زیرزمینی ایجاد می‌شود. به منظور بررسی افت آب زیرزمینی و نوسانات فصلی ناشی از تغذیه یا تأثیر پمپاژ در کاهش سطح آب زیرزمینی از نمودارهایی که ارتفاع سطح آب را نسبت به زمان نشان می‌دهند استفاده می‌شود. این نمودارها به عنوان هیدروگراف مشهور بوده که برای تهیه آن‌ها نیاز به داده‌های حاصل از

اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی می‌باشد. در این گراف‌ها می‌توان با اضافه کردن داده‌های بارندگی، نوسانات سطح آب را در ارتباط با بارش نیز بررسی نمود.

۴-۳-۷-۱- هیدروگراف پیزومترها

به منظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در آبخوان بهاباد از داده‌های اندازه‌گیری شده ارتفاع سطح آب در پیزومترها و داده‌های بارندگی از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰ که به ترتیب در پیوست (۵) و (۶) ارائه شده است، استفاده گردید. سپس هیدروگراف مربوط به تمامی پیزومترها ترسیم شده که در پیوست (۷) ارائه شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود نوسانات سطح آب در تمام پیزومترها از روند واحدی تبعیت نموده که نشان از قرارگیری آن‌ها در یک آبخوان می‌باشد. همچنین سیر نزولی در تمام هیدروگراف‌ها نسبت به زمان مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده بیشتر بودن برداشت در مقایسه با تغذیه آبخوان می‌باشد.

نرخ افت سطح ایستابی در پیزومترهای ۱، ۲، ۳ و ۴ که در جنوب دشت واقع شده‌اند تقریباً مشابه می‌باشد. به سمت پیزومترهای ۵ و ۶ و ۷ نرخ افت با زمان افزایش یافته و در پیزومتر شماره ۶ بیشترین افت سطح ایستابی در کل دشت مشاهده می‌گردد. همان‌طور که در بررسی نقشه‌های هم-پتانسیل گفته شد ایجاد منحنی‌های بسته در اطراف این پیزومتر ناشی از پمپاژ چاه‌های صنعتی در این منطقه می‌باشد. نرخ افت سطح ایستابی به سمت پیزومترهایی که در بالای دشت قرار دارند (پیزومترهای ۱۲ و ۱۳ و ۱۴) کاهش یافته و کمترین افت مربوط به پیزومتر شماره ۱۳ می‌باشد. قرارگیری این پیزومتر در خروجی دشت و تمرکز خطوط جریان به سمت این پیزومتر می‌تواند از دلایل این موضوع باشد. همچنین این پیزومتر نسبت به پیزومترهای دیگر کمتر تحت تاثیر چاه‌های پمپاژ قرار می‌گیرد.

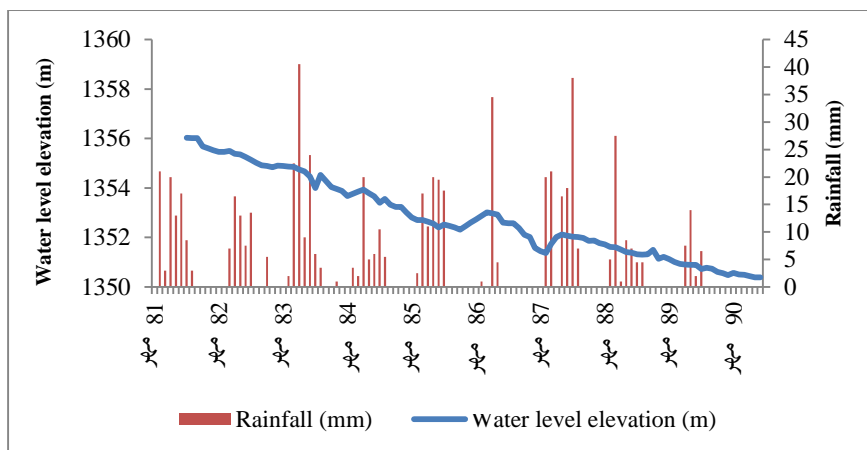
با توجه به نوسانات سطح آب در هیدروگراف‌ها مشاهده می‌شود که سطح آب در تمام پیزومترها تا سال ۱۳۸۷ واکنش کاملاً مشخصی نسبت به باران نشان می‌دهد. از سال ۸۷ به بعد نوسانات مشخصی

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

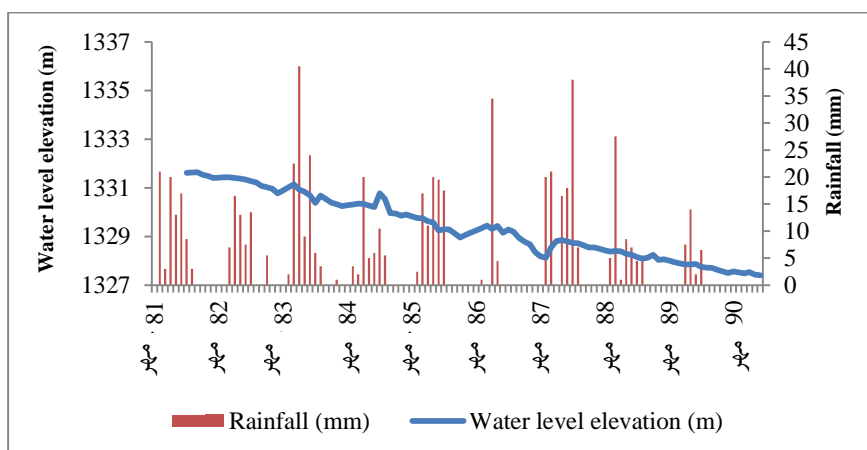
نسبت به بارش دیده نمی‌شود. این موضوع احتمالاً ناشی از لایه لایه بودن آبخوان و بنابراین تفاوت در آبدهی ویژه و همچنین کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی با افزایش عمق سطح ایستابی می‌باشد.

۴-۳-۷-۲- هیدروگراف معرف

با استفاده از مساحت چند ضلعی‌های نقشه تیسن (شکل ۴-۱۰) و آمار ماهانه سطح آب پیژومترها در فاصله سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۹۰ هیدروگراف معرف برای مناطق جنوبی (شکل ۴-۱۴) و شمالی (شکل ۴-۱۵) ترسیم شده است.



شکل ۴-۱۴) هیدروگراف معرف بهاباد برای قسمت جنوبی دشت



شکل ۴-۱۵) هیدروگراف معرف بهاباد برای قسمت شمالی دشت

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

در هر دو هیدروگراف مربوط به مناطق جنوبی و شمالی دشت، نوسان نسبت به باران و روند نزولی نسبت به زمان دیده می‌شود. افت سطح ایستابی آبخوان بهاباد در فاصله سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰ در بخش‌های جنوبی آبخوان ۵/۶ متر و در بخش‌های شمالی آبخوان حدود ۴/۲ متر می‌باشد. بر اساس این هیدروگراف‌ها میانگین افت سالیانه در منطقه جنوبی دشت ۶۰ سانتی متر و برای منطقه شمالی ۴۰ سانتی متر می‌باشد.

۴-۳-۸- بیان آب زیرزمینی

منابع آب زیرزمینی بخشی از چرخه هیدرولوژیکی بوده که به لحاظ تأمین آب برای مصارف مختلف اهمیت زیادی دارد. دخالت انسان‌ها در این چرخه سبب تغییر در توازن اجزای آن شده که نتیجه آن اثرات زیان‌آوری است که به دنبال این تغییرات رخ می‌دهد. برای جلوگیری از این اثرات مخرب بایستی شناخت و مطالعه کافی از منابع آب صورت گیرد. در این راستا ارزیابی بیان منابع آب زیرزمینی ابزار مناسبی در جهت شناخت بهتر این منابع ارزشمند می‌باشد. بیان آبی چیزی جز موازنه ماده نیست که در آن تمام ورودی‌ها، خروجی‌ها و تغییر در ذخیره در محدوده‌ای با مرزهای مشخص مورد بررسی قرار می‌گیرد (McWhorter and Sunada 1977).

۴-۳-۸-۱- محدوده بیان آب زیرزمینی

مساحت کل آبخوان بهاباد از طریق پلیگون‌بندی تیسن ۳۶۶ کیلومتر مربع برآورد شده است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد به دلیل تجمع چاه‌های بهره‌برداری در بخش مرکزی آبخوان، فروافتادگی مشخصی در منحنی‌های هم‌پتانسیل دیده می‌شود. به گونه‌ای که به نظر می‌رسد ضمن تغییر در الگوی جریان در بخش مرکزی و همچنین وجود خط تقسیم آب در این بخش، بخش‌های شمالی و جنوبی آبخوان از هم مجزا می‌باشند. در مطالعه حاضر جهت تخمین دقیق‌تر بیان، منطقه به دو بخش شمالی و جنوبی به ترتیب با مساحت ۱۳۱ و ۲۳۵ کیلومتر مربع تقسیم شده و بیان به صورت جداگانه برای هر منطقه برای سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ محاسبه شده است.

۴-۳-۸-۲- دوره زمانی بیلان

در این مطالعه با توجه به موجود بودن داده‌های سطح آب برای تمام ماه‌های سال آبی ۹۰-۸۹ بیلان آبی برای دوره زمانی مهر تا شهریور ماه این سال آبی محاسبه شده است.

۴-۳-۸-۳- پارامترهای مختلف بیلان

مؤلفه‌های ورودی به آبخوان به طور عمده آب نفوذی ناشی از بارش، آب‌های برگشتی (آبیاری، صنعت و شرب) و آب‌های ورودی از مرز را شامل می‌شود. همچنین مؤلفه‌های خروجی به طور عمده شامل خروجی از مرزهای آبخوان، چاه‌های بهره‌برداری و قنات می‌باشند. در منطقه شمالی علاوه بر موارد ذکر شده زهکشی توسط رودخانه شور نیز از مؤلفه‌های خروجی آبخوان می‌باشد.

الف- مؤلفه‌های ورودی به آبخوان

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

با توجه به دانه بندی متوسط رسوبات دشت که بیشتر از نوع ماسه و گراول در قسمت‌های جنوبی دشت و سیلت و رس در قسمت‌های شمالی می‌باشد، میزان نفوذ آب بارندگی به ترتیب برای این مناطق ۱۰ و ۵ درصد در نظر گرفته شده است. با توجه به این که کل بارش در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ برابر ۳۰ میلی‌متر بوده است، کل آب نفوذی از بارش در بخش‌های جنوبی و شمالی محدوده بیلان به ترتیب برابر ۰/۷۰ و ۰/۱۹ میلیون متر مکعب برآورد شده است.

الف-۲) جریان‌های زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

جهت محاسبه جریان‌های زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان در قسمت‌های جنوبی و شمالی از رابطه داری $Q_i = W \cdot i \cdot T$ استفاده شده است که در آن Q_i دبی ورودی از مرز، W متوسط عرض لوله جریان، i متوسط گرادیان آب زیرزمینی در محدوده لوله جریان و T ضریب قابلیت انتقال در منطقه مذکور می‌باشد. بر اساس نقشه هم‌پتانسیل اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۰ که بر روی آن نقاط ورودی و خروجی نشان داده شده است (شکل ۴-۱۶)، برای هر کدام از مناطق جنوبی و شمالی دشت به طور جداگانه ۳ ورودی قابل شناسایی می‌باشد که با علامت I مشخص شده است (جدول ۴-۹). با توجه به محاسبات انجام شده قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی دشت بیشترین میزان ورودی به آبخوان را شامل شده است که با شماره II مشخص می‌شود. کل ورودی از مرز در بخش‌های جنوبی و شمالی دشت به ترتیب ۱۴/۴ و ۵/۹ میلیون متر مکعب محاسبه شده است.

الف-۳) تغذیه ناشی از آب برگشتی

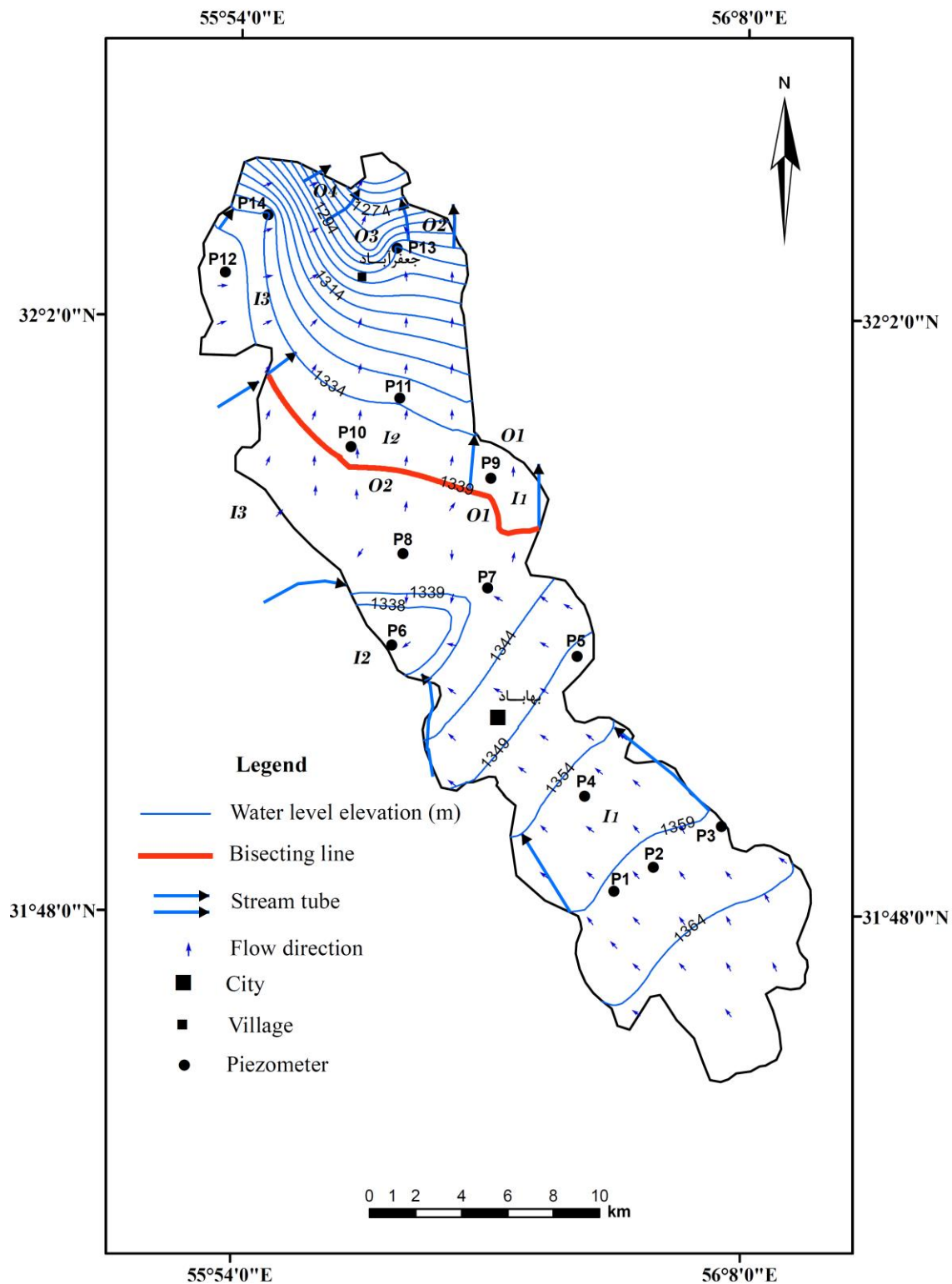
تغذیه ناشی از آب برگشتی در منطقه شامل آب‌های برگشتی کشاورزی، صنعتی و شرب می‌باشد. بر اساس بافت و دانه بندی متوسط رسوبات دشت (ماسه و گراول در قسمت جنوبی دشت و سیلت و رس در قسمت شمالی دشت) و همچنین سیستم آبیاری غرقابی منطقه ضریب ۱۵٪ برای آب برگشتی کشاورزی در مناطق جنوبی و ۱۰٪ برای منطقه شمالی دشت در نظر گرفته می‌شود. همچنین برای آب برگشتی بخش‌های صنعتی و شرب ضریب ۶۰٪ و ۵۰٪ به ترتیب برای بخش‌های جنوبی و شمالی دشت در نظر گرفته می‌شود. در این تخمین آب‌های برگشتی حاصل از مصارف چاه‌های صنعتی چادر ملو به دلیل استفاده آن در خارج از آبخوان در نظر گرفته نشده است.

ب- مؤلفه‌های خروجی از آبخوان

ب-۱) جریان‌های زیرزمینی خروجی از محدوده بیلان

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

همان طور که در بخش ورودی آب زیرزمینی گفته شد با استفاده از لوله‌های جریان، قانون دارسی و بر اساس نقشه هم‌پتانسیل اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۰ (شکل ۴-۱۶)، ۲ خروجی برای قسمت جنوبی و ۴ خروجی برای قسمت شمالی آبخوان در نظر گرفته شده که با نماد O نشان داده می‌شود. میزان کل جریان خروجی حدود ۲/۹ و ۰/۹ میلیون متر مکعب به ترتیب برای بخش‌های جنوبی و شمالی آبخوان برآورد شده است. داده‌های مربوطه در جدول ۴-۹ آورده شده است.



شکل ۴-۱۶) نقشه هم‌پتانسیل آبخوان بهاباد در اردیبهشت ماه ۱۳۹۰، مقاطع ورودی و خروجی آبخوان در بخش‌های شمالی و جنوبی به ترتیب با علامت *I* و *O* نمایش داده شده است.

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

جدول ۴-۹) مشخصات لوله‌های ورودی و خروجی جریان بر اساس نقشه هم‌پتانسیل اردیبهشت ماه سال ۸۹-۹۰

منطقه	مقاطع ورودی و خروجی	W (m)	i	T (m^2/day)	Qi (m^3/day)	Qi (m^3/y)
منطقه جنوبی دشت	I_1	7024.5	0.001	3664.5	27016.6	9861044
	I_2	5545.0	0.0018	792.9	7730.7	2821706
	I_3	10000.0	0.0016	300.0	4800.0	1752000
	کل ورودی				39547.3	14434750
	O_1	3500.0	0.0017	300.0	1829.5	667760
	O_2	9752.0	0.002	300.0	6328.8	2310017
	کل خروجی				8158.3	2977778
منطقه شمالی دشت	I_1	3500.0	0.0017	300.0	1829.5	667761
	I_2	9752.0	0.002	300.0	6328.8	2310017
	I_3	7500.0	0.0035	300.0	7987.2	2915335
	کل ورودی				16145.5	5893113
	O_1	3500.0	0.0017	300.0	1829.5	667761
	O_2	2000.0	0.006	5.5	68.8	25094
	O_3	4661.5	0.013	5.5	327.8	119667
O_4	1900.0	0.016	5.5	174.2	63571	
کل خروجی				2400.3	876092	

عرض لوله جریان: W

شیب هیدرولیکی: i

دبی ورودی: Qi

قابلیت انتقال: T

ب-۲) خروجی ناشی از زهکشی آب زیرزمینی

در قسمت‌های شمالی دشت آب زیرزمینی به وسیله رودخانه شور با متوسط دبی $0/04$ متر مکعب بر ثانیه در سال آبی $90-1389$ زهکشی می‌گردد. حجم آب زهکشی شده سالانه در حدود $1/1$ میلیون متر مکعب برآورد می‌گردد. باید توجه داشت که زهکشی از آبخوان به رودخانه تنها به بخش‌های شمالی دشت اختصاص دارد به طوری که این مؤلفه در بخش‌های جنوبی وجود ندارد.

ب-۳) خروجی ناشی از پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری و قنات‌ها

بر اساس جدیدترین داده‌های آماری که مربوط به سال 1390 می‌باشد، در آبخوان بهاباد 51 حلقه چاه کشاورزی، 22 حلقه چاه صنعتی و 5 حلقه چاه شرب وجود دارد. منطقه جنوبی دشت 35 حلقه چاه کشاورزی، 21 حلقه چاه صنعتی و تمام چاه‌های شرب را به خود اختصاص می‌دهد. کل تخلیه چاه‌ها برای این منطقه حدود $29/9$ میلیون متر مکعب برآورد شده است. همچنین در این منطقه 3 قنات فعال قرار داشته و میزان خروجی از آن حدود یک میلیون متر مکعب می‌باشد که برای مصارف کشاورزی استفاده می‌گردد. در منطقه شمالی 16 حلقه چاه کشاورزی و یک حلقه چاه صنعتی وجود دارد. کل تخلیه توسط این چاه‌ها در این منطقه حدود $6/5$ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. بیشترین مقدار بهره‌برداری را مصارف کشاورزی به خود اختصاص می‌دهد به طوری که $63/7$ و $98/5$ درصد از کل آب بهره‌برداری به ترتیب برای مناطق جنوبی و شمالی دشت در سال آبی $90-89$ را شامل شده است.

ج- محاسبه تغییر در حجم ذخیره

تغییر در حجم ذخیره با استفاده از فرمول $3-4$ برای مناطق جنوبی و شمالی آبخوان در سال آبی $90-$ 89 به ترتیب $11/20-$ و $2/02-$ میلیون متر مکعب محاسبه شده است (جدول $4-10$ و $4-11$). با توجه به جدول $4-12$ تفاوت بین ورودی و خروجی در مناطق جنوبی و شمالی به ترتیب $13-$ و $1/8-$ میلیون متر مکعب بوده در صورتی که مقادیر تغییر در حجم ذخیره برای مناطق جنوبی و

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

شمالی به ترتیب ۱۱/۲۰- و ۲/۰۲- میلیون متر مکعب است. اختلاف مشاهده شده می‌تواند ناشی از خطاهای محاسباتی و محدود بودن نقاط اندازه‌گیری ضریب قابلیت انتقال در سراسر دشت باشد. همچنین در منطقه مرکزی دشت تغذیه ناشی از سنگ کف (اطراف پیزومتر ۸) محتمل بوده که به دلیل کمبود داده‌های سطح آب در اعماق مختلف امکان محاسبه آن وجود نداشته و در نتیجه وارد محاسبات بیلان نشده است. به هر حال تفاوت موجود بین دو مقدار در حد خطای محاسبات بوده و در نتیجه نتایج بیلان برای دشت قابل قبول می‌باشد.

$$\Delta V = A \times S_y \times \Delta H \quad (3-4)$$

جدول (۴-۱۰) محاسبه تغییر حجم ذخیره با استفاده از هیدروگراف معرف در قسمت جنوبی دشت (۱۳۸۹-۱۳۹۰)

ΔH (m)	A (m)	S (%)	Δs (m^3/day)	Δs (MCM/y)
0.65	235174015	0.073	11159007	11.2

ΔH : اختلاف ارتفاع سطح آب A: مساحت مؤثر S: ضریب ذخیره سفره Δs : تغییرات ذخیره سفره

جدول (۴-۱۱) محاسبه تغییر حجم ذخیره با استفاده از هیدروگراف معرف در قسمت شمالی دشت (۱۳۸۹-۱۳۹۰)

ΔH (m)	A (m)	S (%)	Δs (m^3/day)	Δs (MCM/y)
0.51	130885365	0.03	2017654	2.0

ΔH : اختلاف ارتفاع سطح آب A: مساحت مؤثر S: ضریب ذخیره سفره Δs : تغییرات ذخیره سفره

جدول (۴-۱۲) محاسبه بیلان آبخوان در قسمت جنوبی و شمالی دشت در سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۹۰

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

منطقه	مؤلفه‌های بیلان	حجم (متر مکعب بر سال)	حجم (میلیون متر مکعب بر سال)
منطقه جنوبی دشت	ورودی آب زیرزمینی به آبخوان	۱۴۴۳۴۷۵۰	۱۴/۴
	نفوذ مستقیم حاصل از بارندگی	۷۰۵۵۲۲	۰/۷
	آب برگشتی ناشی از مصارف کشاورزی به آبخوان	۳۰۱۵۸۵۵	۳/۰
	آب برگشتی ناشی از مصارف صنعتی به آبخوان	۱۲۷۷۲۰۸	۱/۳
	آب برگشتی ناشی از مصارف آشامیدنی به آبخوان	۱۵۲۹۴۹۶	۱/۵
	کل ورودی	۲۰۹۶۲۸۳۰	۲۰/۹
	خروجی زیرزمینی از آبخوان	۲۹۷۷۷۷۸	۲/۹
	خروجی ناشی از پمپاژ چاه‌های کشاورزی	۱۹۰۵۸۷۰۲	۱۹/۰
	خروجی ناشی از پمپاژ چاه‌های آشامیدنی	۲۵۴۹۱۶۰	۲/۵
	خروجی ناشی از پمپاژ چاه‌های صنعتی	۸۳۰۰۵۳۸	۸/۳۰
	خروجی ناشی از قنات	۱۰۴۶۹۹۵	۱/۰
	خروجی ناشی از زهکشی آب زیرزمینی	۰/۰	۰/۰
	کل خروجی	۳۳۹۳۳۱۷۳	۳۳/۹
	تفاوت ورودی و خروجی	-۱۲۹۷۰۳۴۳	-۱۳
تغییر در ذخیره	-۱۱۱۵۹۰۰۷	-۱۱/۲۰	
منطقه شمالی دشت	ورودی آب زیرزمینی به آبخوان	۵۸۹۳۱۱۳	۵/۹
	نفوذ مستقیم حاصل از بارندگی	۱۹۶۳۲۸	۰/۲
	آب برگشتی ناشی از مصارف کشاورزی به آبخوان	۶۴۴۶۲۰	۰/۶
	آب برگشتی ناشی از مصارف صنعتی به آبخوان	۲۹۷۶۴	۰/۰۳
	آب برگشتی ناشی از مصارف آشامیدنی به آبخوان	۰/۰	۰/۰
	کل ورودی	۶۷۹۳۵۹۱	۶/۸
	خروجی زیرزمینی از آبخوان	۸۷۶۰۹۲	۰/۹
	خروجی ناشی از پمپاژ چاه‌های کشاورزی	۶۴۴۶۲۰۳	۶/۴
	خروجی ناشی از پمپاژ چاه‌های صنعتی	۹۹۲۱۶	۰/۰۹۹
	خروجی ناشی از قنات	۰/۰	۰/۰
	خروجی ناشی از زهکشی آب زیرزمینی	۱۱۴۰۲۲۱	۱/۱
	کل خروجی	۸۵۶۱۷۳۲	۸/۶
تفاوت ورودی و خروجی	-۱۷۶۸۱۴۱	-۱/۸	
تغییر در ذخیره	-۲۰۱۷۶۵۴	-۲/۰	

۴-۳-۹- برداشت مطمئن

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

همان‌طور که در فصل ۳ گفته شد در این مطالعه برداشت مطمئن (Safe yield) از مفهوم مدیریتی معرفی شده توسط نایک و آواستی (Naik and Awasthi 2003) طبق معادله ۳-۲ برآورد می‌شود.

برای هر پیزومتر در محدوده آبخوان مساحت مؤثر (مساحت چند ضلعی تیسن) محاسبه شده و طبق معادله ۳-۳ در آبدهی ویژه مربوط به آن مساحت و افت سطح ایستابی در پیزومتر ضرب شده و ذخیره دینامیک در اطراف هر پیزومتر محاسبه شده است (جداول ۴-۱۳ و ۴-۱۴). از جمع مقادیر مربوط به پیزومترها ذخیره دینامیک برای بخش‌های جنوبی و شمالی آبخوان به ترتیب حدود ۶/۶ و ۰/۹۹ میلیون متر مکعب برآورد شده است. پس از محاسبه ذخیره دینامیک، برداشت مطمئن با استفاده از معادله ۴-۴ محاسبه شده و برای بخش‌های جنوبی و شمالی آبخوان به ترتیب حدود ۲۲/۳ و ۳/۷ میلیون متر مکعب می‌باشد (جداول ۴-۱۵ و ۴-۱۶).

جدول ۴-۱۳) محاسبه ذخیره دینامیک آبخوان در منطقه جنوبی دشت

پیزومتر	آبدهی ویژه	مساحت مؤثر (m^2)	افت در فصل خشک (m)	ذخیره دینامیک سفره (m^3)
P1	0.083	35649648	0.37	1094801
P2	0.083	30601717	0.22	558787
P3	0.083	25119927	0.13	271044
P4	0.083	35677301	0.41	1214098
P5	0.077	19670291	0.47	711868
P6	0.077	19122695	0.57	839295
P7	0.077	21564947	0.76	1261981
P8	0.04	21944326	0.38	333554
P9	0.04	4826460	0.44	84946
P10	0.04	20996703	0.3	251960
کل				6622334

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

جدول ۴-۱۴) محاسبه ذخیره دینامیک آبخوان در منطقه شمالی دشت

ذخیره دینامیک سفره (m^3)	افت در فصل خشک (m)	مساحت مؤثر (m^2)	آبدهی ویژه	پیزومتر
234811	0.44	13341523	0.04	P9
172112	0.3	14342684	0.04	P10
172281	0.22	29003460	0.027	P11
180189	0.32	20855296	0.027	P12
91639	0.1	33940634	0.027	P13
146677	0.28	19401768	0.027	P14
997710		کل		

جدول ۴-۱۵) محاسبه برداشت مطمئن در منطقه جنوبی دشت

ذخیره دینامیک (m^3)	کل حجم آب مصرفی در فصل تر (m^3)	حجم آب برگشتی (m^3)	برداشت مطمئن (m^3)
6622334	9885152	5822559	22330044

جدول ۴-۱۶) محاسبه برداشت مطمئن در منطقه شمالی دشت

ذخیره دینامیک (m^3)	کل حجم آب مصرفی در فصل تر (m^3)	حجم آب برگشتی (m^3)	برداشت مطمئن (m^3)
997710	2046067	674385	3718163

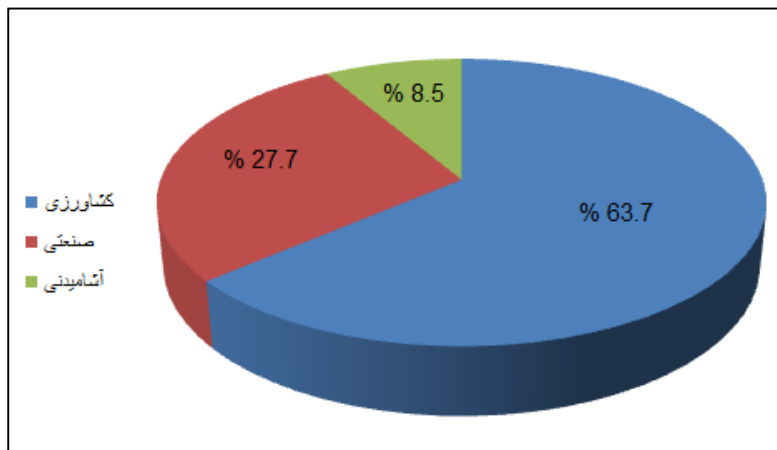
بر اساس نتایج بیلان هیدروژئولوژیکی آبخوان بهاباد در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ (جدول ۴-۱۲) میزان ورودی‌ها به آبخوان در بخش‌های جنوبی و شمالی به ترتیب ۲۰/۹ و ۶/۸ میلیون متر مکعب بوده و مقادیر خروجی‌ها به ترتیب برای این بخش‌ها ۳۳/۹ و ۸/۶ میلیون متر مکعب می‌باشد. برداشت مطمئن در منطقه جنوبی آبخوان بهاباد که برابر ۲۲/۳ میلیون متر مکعب محاسبه شده است از میزان حداکثر تغذیه طبیعی سفره (کل ورودی‌ها) که برابر ۲۰/۹ میلیون متر مکعب می‌باشد، بیشتر بوده و

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

بنابراین آبخوان بهاباد در بخش جنوبی دچار برداشت زیاد (Overexploited) شده و معدن کاری جزئی (Groundwater partial mining) در آن رخ داده است. در منطقه شمالی دشت مقدار برداشت مطمئن برابر $3/7$ میلیون متر مکعب بوده که کمتر از مجموع ورودی‌ها ($6/8$ میلیون متر مکعب) می‌باشد. در نتیجه در این بخش از آبخوان برداشت زیاد یا اصطلاحاً معدن کاری روی نداده است. به طور کلی در دشت بهاباد میزان کل خروجی سفره از برداشت مطمئن و تغذیه طبیعی به سفره بیشتر بوده در نتیجه برای رسیدن به برداشت مطمئن در منطقه بایستی تمهیدات لازم انجام شود. در این راستا لازم است نقش چاه‌های بهره‌برداری مختلف در تهی‌شدگی آبخوان مشخص گردد تا مدیریت لازم در مورد آنها صورت گیرد. با توجه به اینکه تهی‌شدگی آبخوان در اثر بهره‌برداری عمدتاً در بخش جنوبی بوده است بررسی‌ها تنها در این بخش صورت گرفته که در ادامه ارائه می‌شود.

۴-۳-۹-۱ نقش چاه‌ها در افت آب زیرزمینی در بخش جنوبی آبخوان

آب زیرزمینی در بخش جنوبی دشت به طور عمده برای مصارف صنعتی و کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. درصد استفاده هر کدام به ترتیب $27/7$ و $63/7$ درصد از کل برداشت می‌باشد (شکل ۴-۱۷). در منطقه جنوبی دشت ۲۱ حلقه چاه صنعتی با متوسط دبی لحظه‌ای $19/2$ لیتر بر ثانیه موجود می‌باشد. با توجه به شکل ۴-۴ تجمع چاه‌های صنعتی در یک منطقه سبب ایجاد مخروط افت شده و همچنین انتقال آب این چاه‌ها به خارج از آبخوان که در این صورت آب برگشتی به آبخوان وجود ندارد تاثیر زیادی را در تهی‌شدگی آبخوان داشته است. برای نشان دادن اثر انتقال آب به خارج از آبخوان فرض می‌شود که تمام آب صنعتی در داخل آبخوان مصرف می‌شود. مطابق جدول بیلان اگر آب برگشتی ناشی از صنعت (60 درصد از کل آب برداشتی) در تغذیه آبخوان نقش داشته باشد، میزان کسری مخزن آبخوان برابر $9/2$ - میلیون متر مکعب بوده که حدود $3/8$ میلیون متر مکعب نسبت به حالت قبل کمتر خواهد شد.



شکل ۴-۱۷) درصد بهره‌برداری چاه‌های موجود در آبخوان بهاباد

در آبخوان بهاباد علاوه بر چاه‌های صنعتی ۳۵ حلقه چاه کشاورزی با متوسط دبی لحظه‌ای ۱۸/۱ لیتر بر ثانیه وجود دارد. برای درک نقش چاه‌های کشاورزی در تهی‌شدگی آبخوان فرض می‌گردد میزان برداشت توسط چاه‌های صنعتی و شرب صفر بوده و تنها بهره‌برداری در منطقه جهت مصارف کشاورزی صورت می‌گیرد. در این صورت باز هم بر اساس محاسبات بیلان با حذف چاه‌های بهره‌برداری صنعتی و شرب، میزان ۵ میلیون متر مکعب کسری ذخیره مخزن در آبخوان وجود خواهد داشت. با توجه به نتایج بدست آمده ملاحظه می‌شود که چاه‌های کشاورزی و صنعتی هر یک به نوعی در تهی‌شدگی آبخوان نقش داشته به طوری که چاه‌های کشاورزی به دلیل برداشت زیاد (بیش از ظرفیت آب ورودی به آبخوان) و چاه‌های صنعتی به دلیل تمرکز در یک منطقه کوچک و انتقال آن به خارج از آبخوان در تهی‌شدگی آن سهیم می‌باشند. برای رسیدن به برداشت مطمئن در آبخوان کاهش آب استخراجی در بخش کشاورزی و افزایش آب ورودی (تغذیه) برای جبران آب انتقالی خروجی صنعتی توصیه می‌گردد. با انجام اصلاحاتی در سیستم آبیاری، تغذیه مصنوعی و استفاده از آب تصفیه شده فاضلاب‌ها می‌توان به کاهش حجم آب استخراجی و افزایش تغذیه آبخوان کمک نموده و از تهی‌شدگی مستمر آبخوان پیشگیری نمود.

۴-۳-۱۰- بررسی کیفی آبخوان بهاباد

آب زیرزمینی در مسیر حرکت خود از سنگ‌ها و کانی‌های مختلف عبور نموده و با آن‌ها واکنش می‌دهد. براساس سرعت، مسافت طی شده و نوع کانی‌ها و سنگ‌ها ترکیب آب زیرزمینی تغییر می‌یابد. در صورتی که زمان تماس آب با محیط اطراف کافی باشد، آب موجود منعکس کننده مشخصات شیمیایی آن محیط خواهد بود. به طور کلی کیفیت آب زیرزمینی می‌تواند نشانه منشا و تاریخ آن، موادی که در زیرزمین با آن‌ها در تماس بوده و دمای نواحی عمیق‌تر باشد (صداقت ۱۳۸۷).

به منظور بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی بهاباد تقریباً هر ساله در دو نوبت اسفند (یا فروردین ماه) و مرداد (یا شهریور ماه) نمونه برداری از منابع آب توسط آب منطقه‌ای استان یزد در ۵ نقطه از آبخوان صورت می‌گیرد (شکل ۳-۳). در این مطالعه از نتایج این اندازه‌گیری‌ها استفاده شده است. با توجه به تکمیل بودن داده‌ها در سال آبی ۱۳۸۶ از متوسط داده‌های اندازه‌گیری شده در ماه‌های مربوطه در این سال برای تفسیر تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی بهاباد استفاده شده است.

جدول ۴-۱۷ نتایج آنالیزهای شیمیایی مربوط به چاه‌های انتخابی در دشت بهاباد در سال ۱۳۸۶ را نشان می‌دهد.

میزان هدایت الکتریکی آبخوان بهاباد از ۲۵۲۵ تا ۵۷۰۸ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر بوده و متوسط آن ۴۵۰۵ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. تغییرات pH نیز از حدود ۷/۷ تا ۷/۹ در تغییر می‌باشد.

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

جدول ۴-۱۷) پارامترهای شیمیایی در چاه‌های انتخابی دشت بهاباد (متوسط سال آبی ۱۳۸۶)

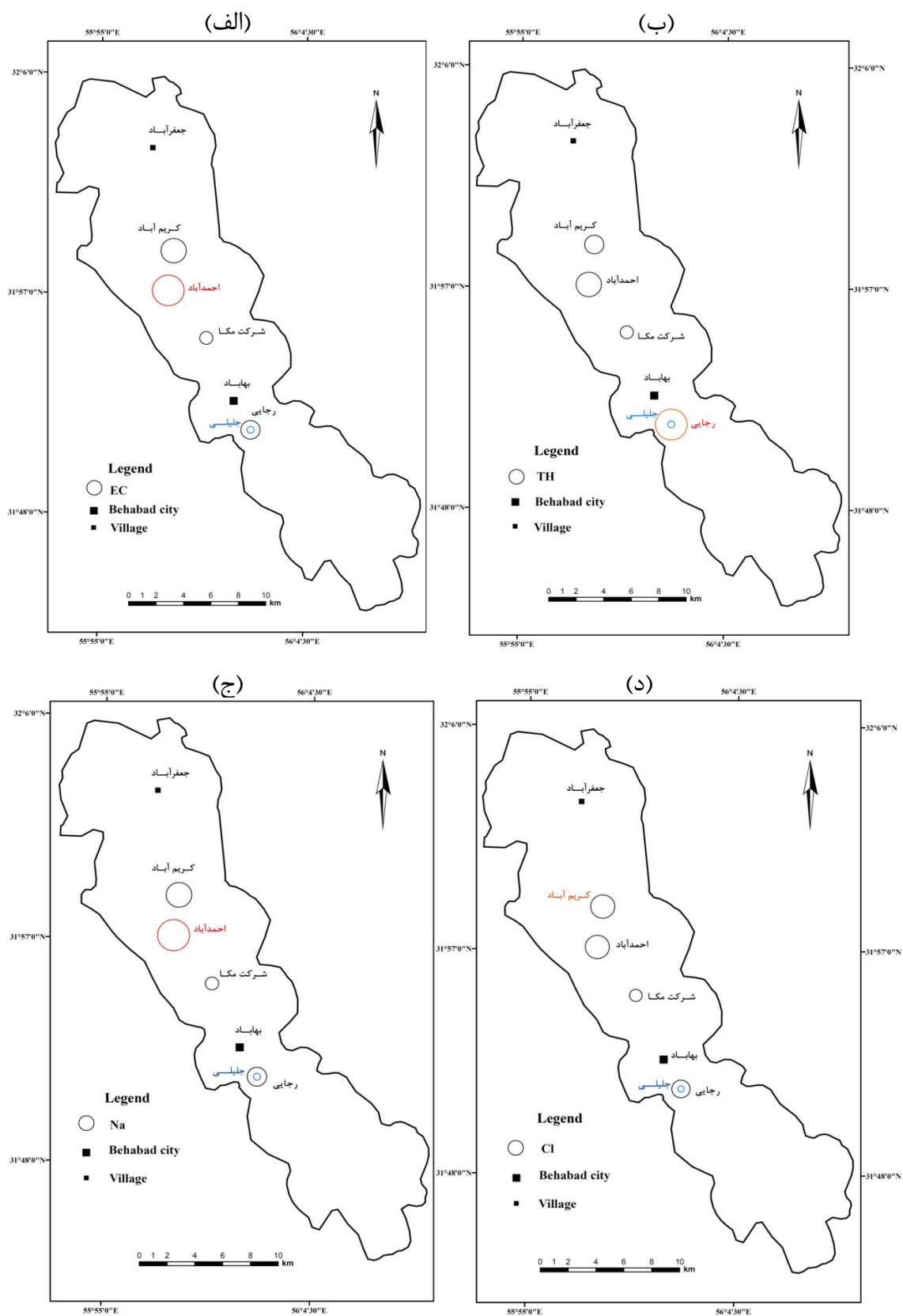
نام محل نمونه برداری	UTM		EC ($\mu\text{s/cm}$)	Ca^{2+} (meq/l)	Mg^{2+} (meq/l)	Na^+ (meq/l)	K^+ (meq/l)	HCO_3^- (meq/l)	Cl^- (meq/l)	SO_4^{2-} (meq/l)	pH	T.D.S (mg/l)	Total Hardness (mg/l)
رجایی	408582	3525015	5232	9.58	14.2	28.7	0.1	3.4	25.4	24.9	7.7	3337	1191
جلیلی	408583	3525018	2525	6.47	6.1	12.6	0.08	3.5	9.4	12.14	7.9	1627	628
شرکت مکا	405359	3531952	3726	6.76	6.6	23.5	0.09	3.6	17.6	17.0	7.7	2422	671
احمد آباد	402588	3535548	5708	8.54	11.4	36.9	0.1	3.8	29.2	23.9	7.8	3579	991
کریم آباد	402983	3538548	5335	8.19	8.1	36.5	0.08	3	30.1	20.8	7.7	3354	816

۴-۳-۱۰-۱- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی، سختی و یون‌های غالب

بر اساس نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده در محل چاه‌های انتخابی در دشت بهاباد تغییرات هدایت الکتریکی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴-۱۸ الف)). به طور معمول هدایت الکتریکی در جهت جریان آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. در آبخوان بهاباد به دلیل متعدد بودن منابع تغذیه در دشت و احتمالاً عوامل دیگری مانند عمق متفاوت نمونه برداری، این روند به صورت مشخص دیده نمی‌شود. مقایسه نمونه‌های برداشت شده از چاه‌های رجایی و جلیلی که به ترتیب مربوط به چاه‌های عمیق و نیمه عمیق می‌باشند، نشان می‌دهد که با افزایش عمق میزان هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. چاه جلیلی با توجه به عمق کمتر آن نسبت به سایر نقاط نمونه برداری کمترین هدایت الکتریکی را در آبخوان با مقدار ۲۵۲۵ میکروموس بر سانتی‌متر به خود اختصاص می‌دهد. بعد از آن کمترین هدایت الکتریکی مربوط به نمونه برداشت شده از چاه شرکت مکا می‌باشد. این موضوع احتمالاً به دلیل نزدیک بودن این چاه به منطقه تغذیه، وجود مخروط افت و به تبع آن افزایش سرعت و تمرکز جریان به این سمت می‌باشد. بیشترین میزان هدایت الکتریکی به نمونه برداشت شده از چاه احمدآباد با مقدار ۵۷۰۸ میکروموس بر سانتی‌متر مربوط می‌شود. افزایش طول مسیر جریان و قرار داشتن محل این چاه در رسوبات با بافت رسی دلیل این افزایش می‌باشد. تفاوت در هدایت الکتریکی چاه کریم‌آباد که در مجاورت چاه احمدآباد قرار دارد می‌تواند ناشی از متفاوت بودن آب‌های تغذیه‌ای و تفاوت در عمق دو چاه باشد. بایستی اشاره کرد که چاه احمدآباد در منطقه بالا آمدگی سطح ایستابی و خط تقسیم آب قرار گرفته است و بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی در این محل نیازمند اطلاعات بیشتری می‌باشد.

با توجه به شکل ۴-۱۸ ب) روند تغییرات سختی نسبت به مکان همانند پارامتر هدایت الکتریکی می‌باشد. مقادیر سختی آب زیرزمینی در دشت بهاباد تغییراتی از ۶۲۸ تا ۱۱۹۱ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم نشان می‌دهد.

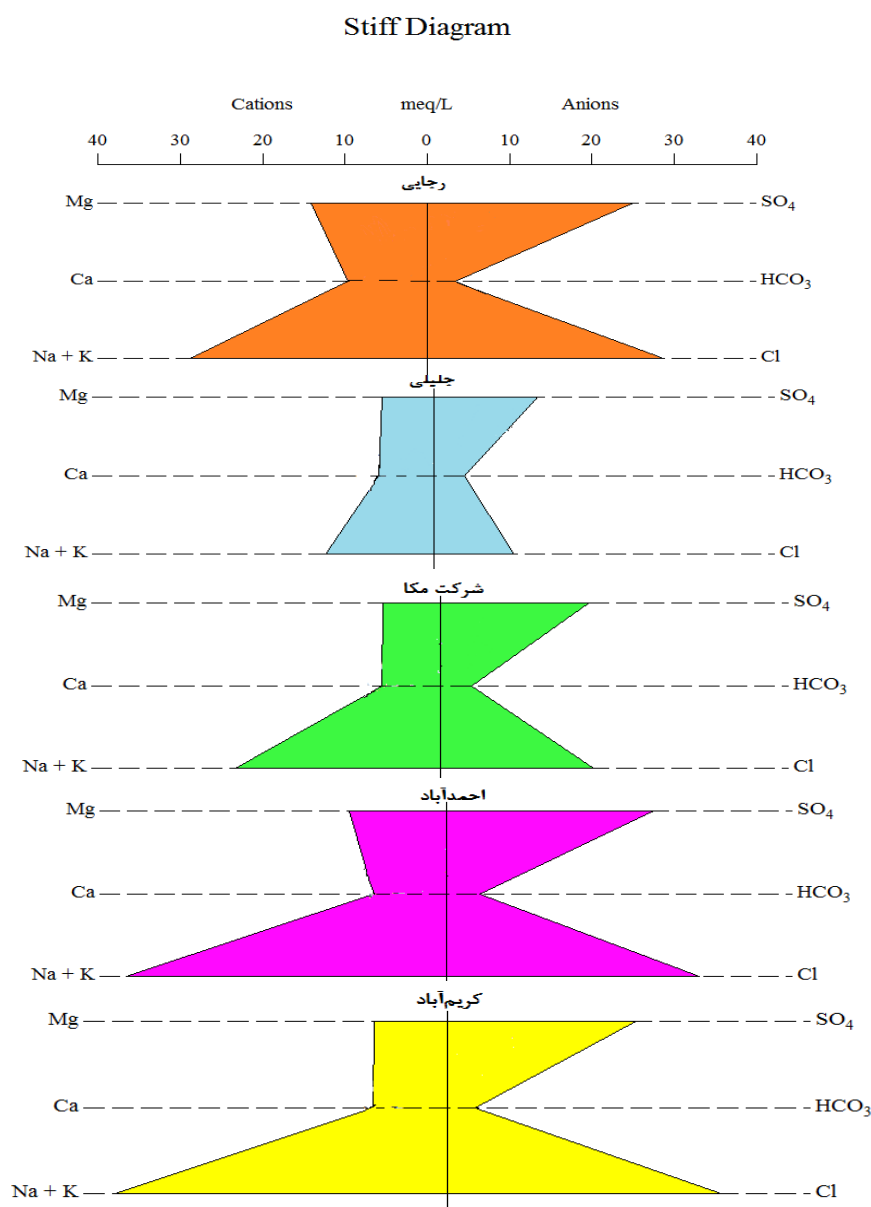
با توجه به شکل‌های ۴-۱۸ ج) و د) روند تغییرات یون سدیم و کلر نسبت به مکان همانند پارامتر هدایت الکتریکی می‌باشد.



شکل ۴-۱۸) تغییرات مکانی هدایت الکتریکی (شکل الف)، سختی (شکل ب)، سدیم (شکل ج)، کلر (شکل د) در آبخوان بهاباد

۴-۳-۱۰-۲- تیپ آب در آبخوان بهاباد

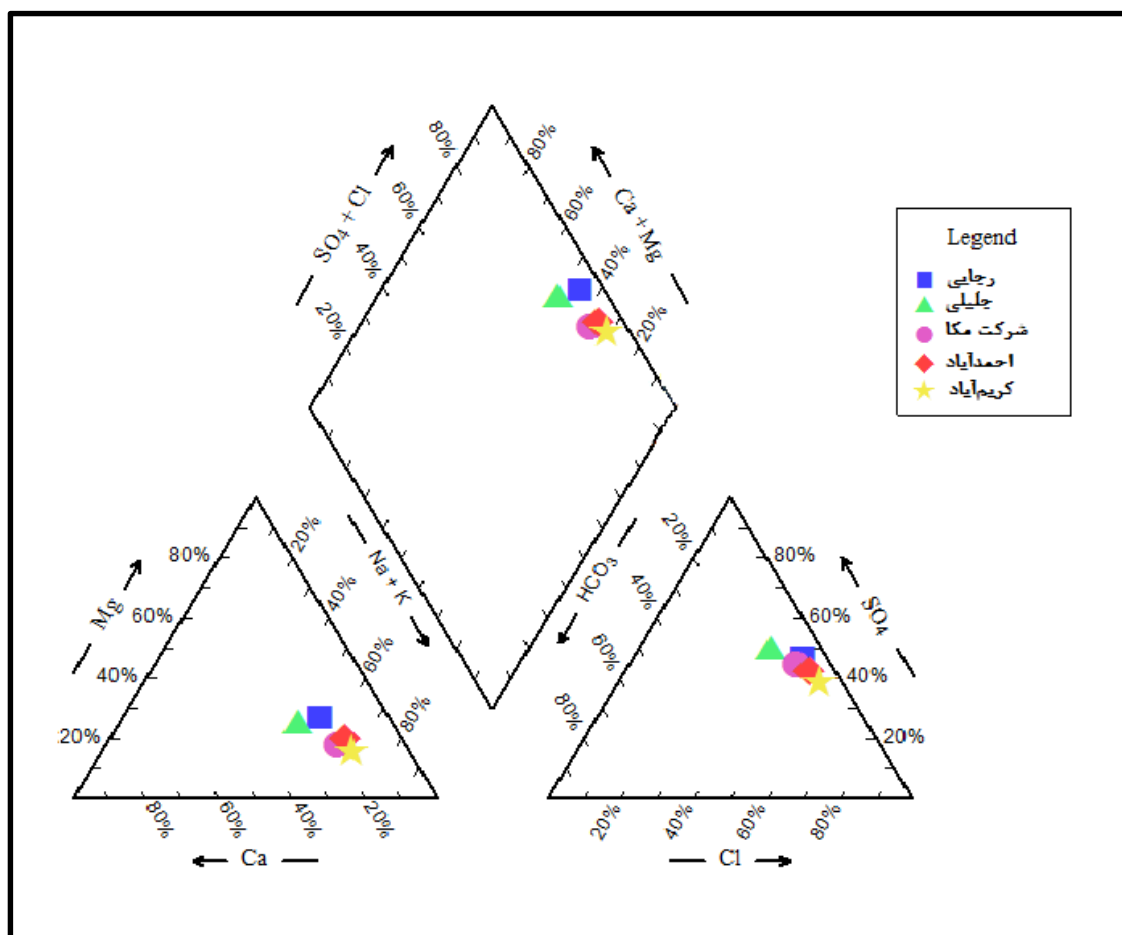
برای تعیین تیپ آب در آبخوان بهاباد از نمودار استیف استفاده گردید (شکل ۴-۱۹). این نمودار جهت مقایسه سریع ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی با منشأهای متفاوت می‌باشد. تیپ آب به جز در نمونه مربوط به چاه جلیلی که سولفات‌ها - سدیک می‌باشد در بقیه نمونه‌ها کلروره - سدیک تعیین می‌گردد. کفه‌های نمکی و رسوبات شور کننده نتوزن در آبخوان بهاباد این تیپ آبی را تأیید می‌نماید.



شکل ۴-۱۹) نمودار استیف برای چاه‌های انتخابی دشت بهاباد

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

با توجه به شکل ۴-۲۰ یون‌های سدیم و کلر به صورت غالب در نمونه‌ها وجود دارد. منشأ این یون‌ها احتمالاً رسوبات شور کننده نئوژن و کفه‌های نمکی که به صورت گسترده در دشت پراکنده هستند، می‌باشد. در نمونه مربوط به چاه جلیلی با توجه به عمق کمتر این چاه مقدار سولفات افزایش بیشتری نشان می‌دهد.



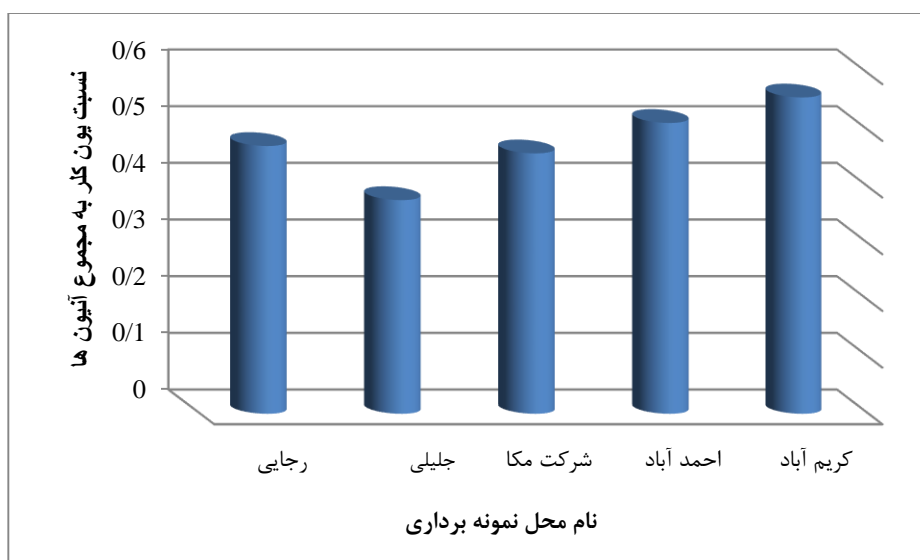
شکل ۴-۲۰ نمودار پایپر برای چاه‌های انتخابی دشت بهاباد

۴-۳-۱۰-۳-۴ بررسی منشأ یون‌ها در دشت بهاباد

در بین آنیون‌های مختلف یون کلر بیشترین غلظت را در نمونه‌ها نشان می‌دهد. منشأ یون کلر می‌تواند از انحلال هالیت، نفوذ آب شور دریا، نمک‌های اتمسفری باشد. با توجه به شرایط آبخوان در دشت بهاباد انحلال هالیت منشأ احتمالی این یون در آبخوان می‌باشد. کفه‌های نمکی موجود در مرکز دشت دلالت

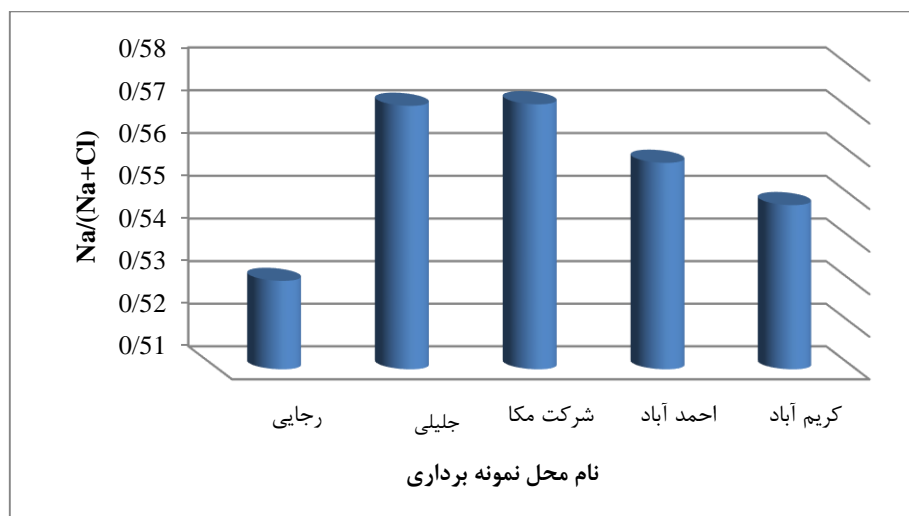
فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

بر این موضوع دارد. برای اثبات این موضوع از نسبت یون کلر به سایر آنیون‌ها در مکان‌های مختلف از دشت استفاده می‌شود. اگر این نسبت بزرگتر از $0/8$ و TDS کمتر از 100 میلی‌گرم بر لیتر باشد، منشأ نمونه آب باران است. در صورتی که این نسبت کمتر از $0/8$ باشد، هوازدگی سنگ‌ها در ایجاد ترکیب نمونه مؤثر بوده است. در مورد نمونه‌هایی که این نسبت بزرگتر از $0/8$ و TDS بیشتر از 500 میلی‌گرم بر لیتر است، آب دریا، شورابه‌ها، یا تبخیری‌ها در ایجاد ترکیب شیمیایی آب نقش داشته‌اند (Hounslow 1995). با توجه به شکل ۴-۲۱ این نسبت در چاه‌های انتخابی دشت بهاباد از $0/8$ کمتر بوده و بنابراین هوازدگی سنگ‌ها دلیل اصلی برای وجود یون کلر در منابع آب زیرزمینی بوده است.



شکل ۴-۲۱) نسبت یون کلر به مجموع آنیون‌ها

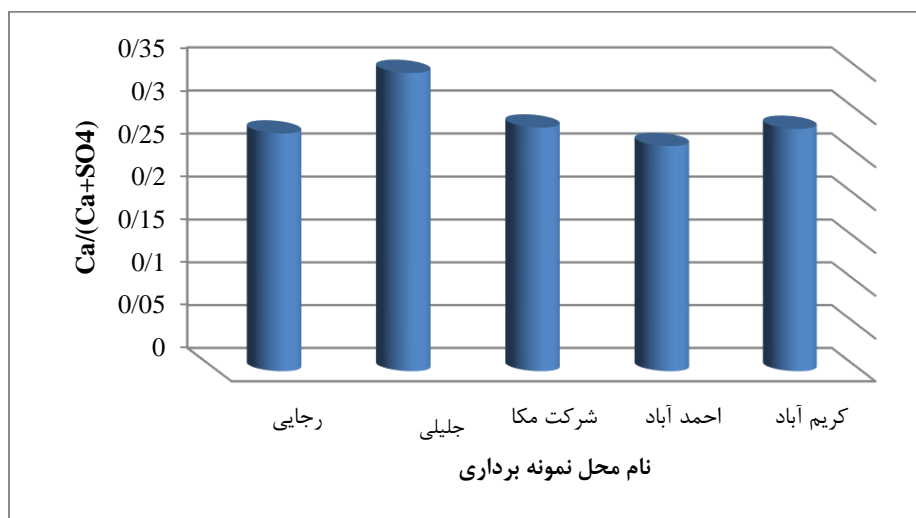
از آنجایی که نسبت یون سدیم به مجموع سدیم و کلر در تمام مکان‌ها بیشتر از $0/5$ است، بنابراین منشأ این یون احتمالاً علاوه بر انحلال هالیت، هوازدگی و تبادل یونی می‌باشد (شکل ۴-۲۲). سولفات در منطقه می‌تواند ناشی از انحلال کانی ژیپس، هوازدگی شیل‌ها و همچنین پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی باشد. به طور کلی شیل‌های ژوراسیک و تشکیلات نئوژن می‌تواند منشأ این یون در آبخوان باشد.



شکل ۴-۲۲) نسبت سدیم به مجموع یون سدیم و کلر

منشأ یون کلسیم می‌تواند از هوازگی و انحلال آهک‌های دولومیتی، کلسیت و انحلال ژپس باشد. با توجه به شکل ۴-۲۳ نسبت کلسیم به مجموع یون کلسیم و سولفات کمتر از ۰/۵ می‌باشد و نشان از خروج کلسیت از سیستم از طریق تبادل یونی می‌باشد.

منشأ یون منیزیم اغلب هوازگی دولومیت و گرانیته‌ها و همچنین یون پتاسیم، هوازگی کانی‌های فلدسپار و میکای موجود در رسوبات دشت می‌باشند. همچنین منشأ یون بیکربنات در منطقه انحلال کلسیت، واکنش دی‌اکسید کربن با آب می‌باشد.



شکل ۴-۲۳) نسبت کلسیم به مجموع یون کلسیم و سولفات

۴-۳-۱۰-۴- بررسی شاخص اشباع

با توجه به جدول ۴-۱۸ مقادیر شاخص اشباع برای کانی‌های هالیت، انیدریت و ژپس منفی می‌باشد. منفی بودن این مقادیر حاکی از اشباع نبودن این کانی‌ها در آبخوان بهاباد و انحلال احتمالی آن‌ها در افزایش یون‌های موجود در آب زیرزمینی بوده است.

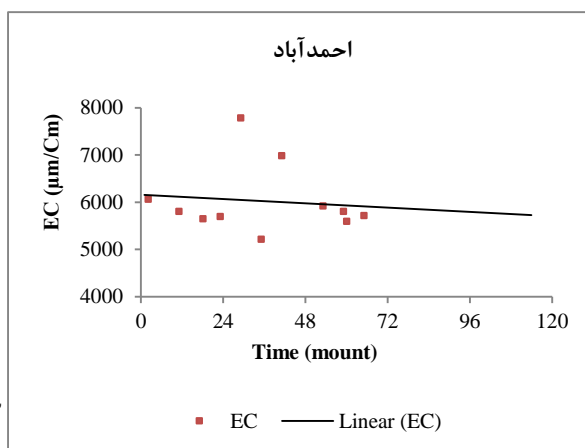
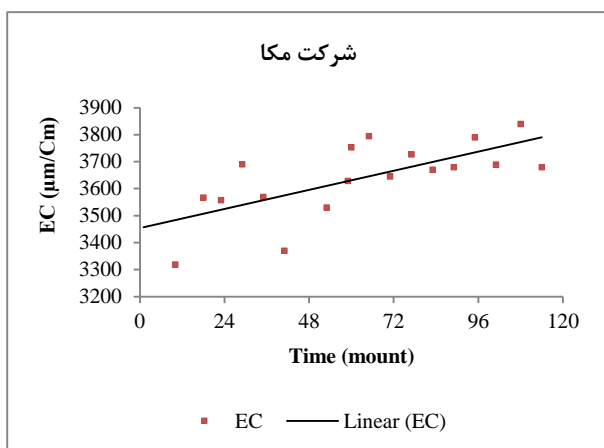
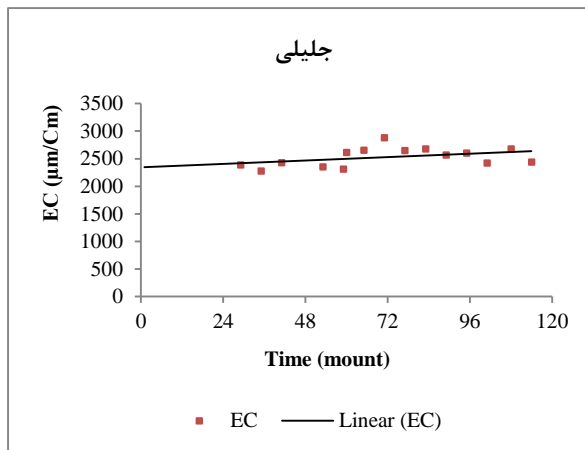
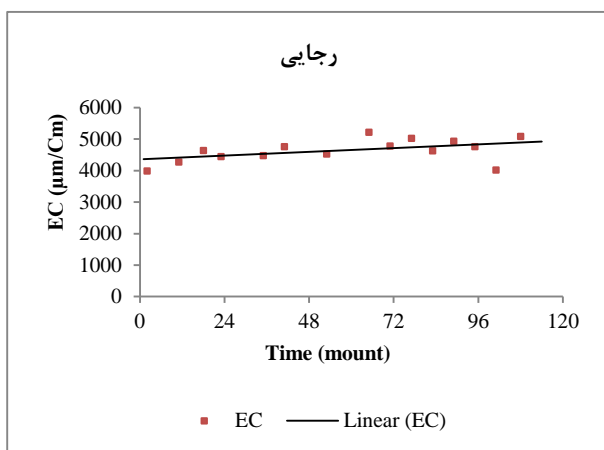
جدول ۴-۱۸) شاخص اشباع

نام محل	کلسیت	دولومیت	ژپس	انیدریت	هالیت
رجایی	0.5	1.2	-0.6	-0.9	-4.9
جلیلی	0.6	1.3	-0.9	-1.1	-5.7
شرکت مکا	0.4	0.9	-0.8	-1.05	-5.1
احمد آباد	0.6	1.3	-0.7	-0.9	-4.7

کریم آباد	0.4	0.8	-0.8	-0.97	-4.7
-----------	-----	-----	------	-------	------

۴-۳-۱۰-۵- تغییرات هدایت الکتریکی نسبت به زمان

تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در بخش‌های مختلف آبخوان بهاباد (شکل ۴-۲۴) بیانگر افزایش هدایت الکتریکی با زمان می‌باشد. به عبارت دیگر کیفیت آبخوان به مرور زمان نامناسب‌تر شده است. با توجه به افت سطح ایستابی آبخوان که قبلاً در مورد آن بحث گردید روند کاهشی کیفیت قابل انتظار می‌باشد.



اشکال ۴-۲۴) روند تغییرات هدایت الکتریکی نسبت به زمان (۱۳۹۰-۱۳۸۱)

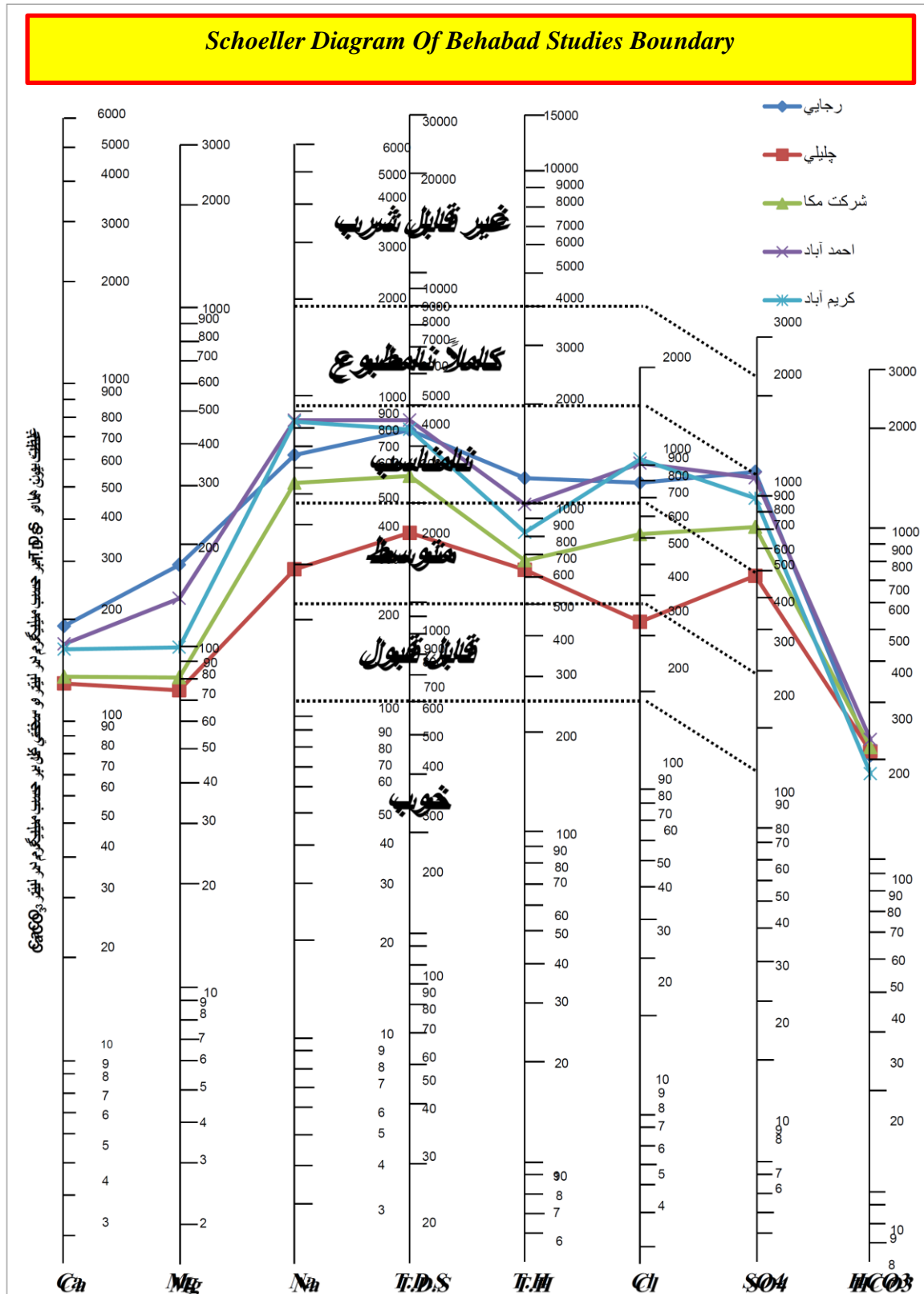
۴-۳-۱۰-۶- بررسی کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان بهاباد از نظر شرب و کشاورزی

آب زیرزمینی بسته به کیفیت و املاح محلول در آن برای مصارف گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای شرب و کشاورزی به ترتیب از نمودارهای شولر (Schoeller) و ویلکوکس (Wilcox) استفاده می‌شود. نمودار شولر به دلیل داشتن مقیاس لگاریتمی از نظر سهولت مقایسه و نشان دادن تعداد زیادی نمونه بسیار مناسب می‌باشند. شکل ۴-۲۵ وضعیت نمونه‌ها را در نمودار شولر نشان می‌دهد. به جز نمونه چاه جلیلی (به دلیل عمق کم) که در محدوده قابل قبول تا متوسط قرار گرفته سایر نمونه‌ها در محدوده متوسط تا نامناسب قرار می‌گیرند. در مجموع بهره‌برداری از آبخوان بهاباد جهت مصارف آشامیدنی پیشنهاد نمی‌گردد.

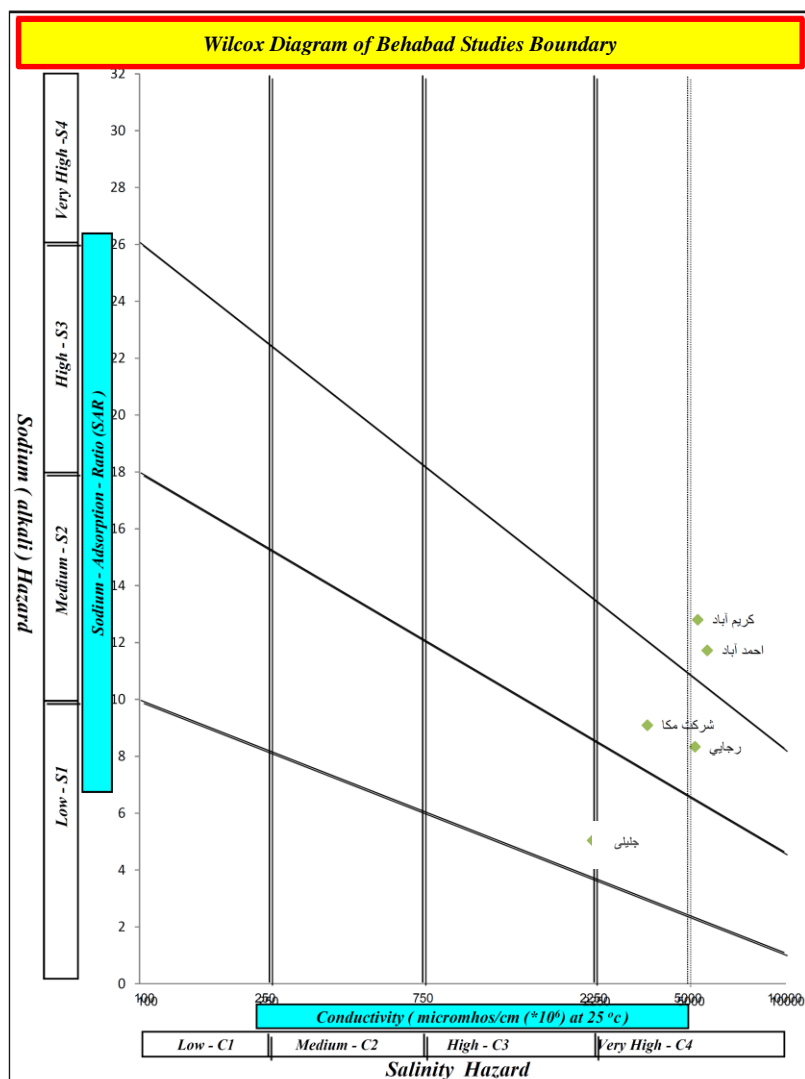
نمودار ویلکوکس بر اساس دو معیار هدایت الکتریکی (خطر شوری) و نسبت جذب سدیم (SAR) به ۱۶ رده تقسیم می‌شود. رده C1S1 بهترین کیفیت و رده C4S4 بدترین کیفیت را برای مصارف کشاورزی دارد. نمودار ویلکوکس برای متوسط ترکیب شیمیایی آبخوان بهاباد در سال ۱۳۸۶ ترسیم شده است (شکل ۴-۲۶). با توجه به نمودار، نمونه چاه جلیلی در رده C4S2، نمونه‌های رجایی و شرکت مکا در رده C4S3 و نمونه‌های احمدآباد و کریم‌آباد در محدوده C4S4 قرار گرفتند. در مجموع از نظر مصارف

فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان بهاباد

کشاورزی نامناسب می‌باشند. در جدول ۴-۱۹ تقسیم‌بندی کیفیت نمونه‌ها از نظر کشاورزی ارائه شده است.



شکل ۴-۲۵) نمودار شولر نمونه‌های آبخوان بهاباد



شکل ۴-۲۶) نمودار ویلکوکس نمونه‌های آبخوان بهاباد

جدول ۴-۱۹) کیفیت نمونه‌ها از نظر کشاورزی

نام محل نمونه برداری	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	SAR (%)	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
رجایی	5232	8.3	C4-S3	خیلی شور - نامناسب برای کشاورزی
جلیلی	2525	5	C4-S2	خیلی شور - نامناسب برای کشاورزی
شرکت مکا	3725.67	9.1	C4-S3	خیلی شور - نامناسب برای کشاورزی
احمد آباد	5708	11.7	C4-S4	خیلی شور - نامناسب برای کشاورزی
کریم آباد	5335	12.8	C4-S4	خیلی شور - نامناسب برای کشاورزی

فصل پنجم:

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- مقدمه

دشت بهاباد آبخوانی آزاد به مساحت ۳۶۶ کیلومتر مربع را در بر دارد که منبع اصلی و بسیار مهم جهت مصارف مختلف کشاورزی و صنعت می‌باشد. شناخت ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان جهت بهره‌برداری صحیح، مدیریت مناسب و تداوم این منبع مهم برای نسل‌های آینده بسیار ضروری می‌باشد. از این‌رو در این تحقیق به شناخت و بررسی کمی و کیفی آبخوان پرداخته شد. در این فصل مختصری از نتایج و پیشنهادات حاصل از این تحقیق آورده می‌شود.

۵-۲- نتایج

(۱) رسوبات کواترنری در بخش عمده‌ای از دشت بهاباد گسترده شده و کاهش اندازه دانه‌ها به دنبال کاهش شیب توپوگرافی از ارتفاعات اطراف به سمت مرکز دشت و از جنوب به سمت شمال دشت می‌باشد. ضخامت آبخوان بهاباد با توجه به ریخت‌گرایی دشت متغییر بوده و حداکثر آن در مرکز دشت می‌باشد. ارتفاعات اطراف از نظر جنس بسیار متنوع بوده و عمدتاً از شیل، مارن، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، آهک و دولومیت می‌باشند. ارتفاعات جنوبی و غربی مرتفع بوده و بیشترین نقش را در تغذیه آب زیرزمینی دارد.

(۲) بر اساس نقشه‌های هم‌پتانسیل تهیه شده در اردیبهشت ماه ۱۳۸۲ و ۱۳۹۰ برای آبخوان بهاباد به دلیل وجود دو پدیده فروافتادگی و بالا آمدگی سطح آب در مرکز آبخوان، آبخوان به دو

قسمت جنوبی و شمالی تقسیم شده است. مرز جدا کننده این دو محدوده اطراف پیزومتر شماره ۸ قرار می‌گیرد. جهت جریان در بخش جنوبی از جنوب شرق به سمت شمال غرب و در بخش شمالی در راستای جنوب غربی- شمال شرقی می‌باشد. کمترین و بیشترین گرادیان هیدرولیکی به ترتیب به بخش‌های جنوبی و شمالی اختصاص می‌یابد. این تغییرات در شیب سطح ایستابی احتمالاً به دانه‌بندی رسوبات که در بخش‌های جنوبی درشت دانه و در بخش‌های شمالی ریزدانه می‌باشند، مربوط می‌شود.

(۳) عمق سطح آب زیرزمینی از جنوب شرق به سمت شمال غرب و از حاشیه دشت به سمت مرکز دشت کاهش می‌یابد. حداکثر عمق در قسمت جنوبی حدود ۱۵۱/۶ متر بوده و در قسمت‌های شمالی سطح آب زیرزمینی با سطح زمین هم تراز شده و رودخانه شور را تغذیه می‌کند.

(۴) نقشه هم‌افت برای بازه زمانی ۹۰-۱۳۸۱ افت را در سراسر آبخوان نشان می‌دهد. حداکثر مقدار افت که حدود ۹ متر می‌باشد به منحنی‌های بسته واقع در مرکز دشت (محدوده اطراف پیزومتر شماره ۶) مربوط می‌شود. بررسی هیدروگراف پیزومترها و هیدروگراف معرف دشت نیز به خوبی افت سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهد.

(۵) در مناطق جنوبی و شمالی مواد سفره از آبرفت غنی از ماسه گراولی تا سیلت و رس در بخش‌های مختلف متغیر بوده است که میانگین آبدهی ویژه ظاهری آن‌ها بر اساس یک سوم مقادیر توصیه شده در مراجع معتبر به ترتیب ۰/۰۷۳ و ۰/۰۳ می‌باشد. همچنین میزان قابلیت انتقال برای این مناطق (جنوبی تا شمالی) بر اساس قانون دارسی و جنس خاک به طور تقریبی محاسبه شد که بین ۳۰۰۰ تا ۵/۵ متر مربع بر روز متغیر می‌باشد.

(۶) نتایج زیر با توجه به نوسانات سطح آب در هیدروگراف پیزومترها حاصل شده است:
الف) پیزومتر شماره ۶ به دلیل تمرکز چاه‌های صنعتی دارای بیشترین افت سطح ایستابی در کل دشت می‌باشد. کمترین افت مربوط به پیزومتر شماره ۱۳ بوده که به دلیل قرارگیری این

پیزومتر در خروجی دشت و تمرکز خطوط جریان به سمت آن و همچنین تأثیر کمتر چاه‌های پمپاژ نسبت به پیزومترهای دیگر می‌باشد.

ب) سطح آب در تمام پیزومترها تا سال ۱۳۸۷ واکنش کاملاً مشخصی نسبت به باران نشان می‌دهد. از سال ۸۷ به بعد این نوسانات دیده نمی‌شود. این موضوع احتمالاً ناشی از لایه لایه بودن آبخوان و بنابراین تفاوت در آبدهی ویژه و همچنین کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی با افزایش عمق سطح ایستابی می‌باشد.

ج) بر اساس هیدروگراف دشت میانگین افت سالیانه در منطقه جنوبی دشت ۶۰ سانتی متر و برای منطقه شمالی ۴۰ سانتی متر می‌باشد.

۷) بیلان آبی برای سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ محاسبه و نتایج زیر حاصل گردیده است:

الف) در بخش جنوبی ورودی‌ها شامل ورودی از مرز، نفوذ از بارش و آب‌های برگشتی بوده که مقادیر آن‌ها به ترتیب حدود ۱۴/۴، ۰/۷ و ۵/۸ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. مؤلفه‌های خروجی نیز شامل خروجی از مرز، قنات و چاه‌های بهره‌برداری به ترتیب با مقادیری حدود ۲/۹، ۱/۰ و ۲۹/۸ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. در مجموع کسری مخزن حدود ۱۱/۲ میلیون متر مکعب در سال در این قسمت از دشت دیده می‌شود که ناشی از برداشت زیاد توسط چاه‌های بهره‌برداری می‌باشد.

ب) در بخش‌های شمالی ورودی‌ها شامل ورودی از مرز، نفوذ از بارش و آب‌های برگشتی بوده که مقادیر آن‌ها به ترتیب حدود ۵/۹، ۰/۲ و ۰/۶۳ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. خروجی از مرز، چاه‌های بهره‌برداری و زهکشی توسط رودخانه شور به ترتیب با مقادیر حدود ۰/۹، ۶/۵ و ۱/۱ میلیون متر مکعب مؤلفه‌های خروجی را تشکیل داده و کسری مخزن در این بخش از دشت حدود ۲ میلیون متر مکعب بوده است.

به طور کلی ارزیابی بیلان هیدروژئولوژیکی آبخوان بهاباد حاکی از برداشت بیش از میزان تغذیه می‌باشد. این برداشت افت ممتد سطح ایستابی آبخوان را در پی داشته است.

۸) جهت مدیریت بهینه منابع آبی در بهاباد و جلوگیری از این روند کاهشی در سطح آب برداشت مطمئن برای آبخوان بهاباد محاسبه شد که برای بخش‌های جنوبی و شمالی به ترتیب حدود ۲۲/۳ و ۳/۷ میلیون متر مکعب می‌باشد. برای رسیدن به برداشت مطمئن در آبخوان کاهش آب استخراجی در بخش کشاورزی و استفاده از یک منطقه وسیع‌تر برای آب مورد نیاز بخش صنعتی و افزایش آب ورودی برای جبران آب انتقالی توسط این بخش، توصیه می‌گردد. با انجام اصلاحاتی در سیستم آبیاری و استفاده از آب تصفیه شده فاضلاب‌ها برای این اهداف می‌توان به کاهش حجم آب استخراجی از آبخوان کمک کرد.

۹) به دلیل محدود بودن نقاط نمونه برداری، تهیه نقشه‌های هم‌ارزش برای تفسیرهای کیفی آبخوان امکان‌پذیر نمی‌باشد. با توجه به تفسیر نمونه‌ها هدایت الکتریکی به دلیل متعدد بودن نقاط تغذیه در دشت و احتمالاً عوامل دیگری مانند عمق متفاوت نمونه برداری روند مشخصی را نشان نمی‌دهد. بیشترین مقدار هدایت الکتریکی به نمونه برداشت شده از چاه احمدآباد با مقدار ۵۷۰۸ و کمترین مقدار به نمونه چاه جلیلی با مقدار ۲۵۲۵ در سال آبی ۱۳۸۶ مربوط می‌شود. همچنین به طور عمده در دشت هدایت الکتریکی نسبت به زمان یک روند افزایشی را نشان می‌دهد. روند تغییرات سایر یون‌ها همانند هدایت الکتریکی بوده است.

۱۰) با توجه به نمودارهای استیف و پایپر تیپ غالب آب در چاه‌های عمیق کلروه- سدیک بوده و در چاه نیمه عمیق جلیلی تیپ آب سولفات- سدیک می‌باشد. منشأ یون‌های غالب در آبخوان به طور عمده از انحلال سازندهای اطراف بوده است.

۱۱) با توجه به نمودار شولر نمونه مربوط به چاه نیمه عمیق در محدوده قابل قبول تا متوسط و بقیه نمونه‌ها به طور عمده در محدوده نامناسب از نظر آشامیدنی قرار می‌گیرند. با توجه به نمودار ویلکوکس آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی خیلی شور و نامناسب تشخیص داده شده است.

۵-۳- پیشنهادها

به منظور بررسی‌های دقیق و جامع‌تر آبخوان بهاباد موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

- ۱) توسعه بیشتر شبکه پیزومتری در جنوب دشت جهت بررسی‌های دقیق‌تر کمی آبخوان و همچنین در مناطق شمالی دشت جهت جداسازی سفره‌های آزاد و تحت فشار
- ۲) انتخاب محل‌های انتخابی بیشتر جهت نمونه برداری هیدروژئوشیمی برای بررسی دقیق‌تر کیفیت شیمیایی آبخوان در سراسر دشت به ویژه در مناطق شمالی
- ۳) انجام تعداد زیادی آزمایش پمپاژ در سراسر دشت به منظور تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی S و T
- ۴) تمدید ممنوعیت حفر چاه‌های جدید در دشت با توجه به افت شدید سطح آب زیرزمینی و بیلان منفی در آبخوان
- ۵) ایجاد طرح‌های تغذیه‌ای مصنوعی به منظور جبران آب‌های زیرزمینی منتقل شده برای مصارف صنعتی و کاهش آب استخراجی برای مصارف کشاورزی و ایجاد اصلاحاتی در سیستم آبیاری جهت جلوگیری از تهی‌شدگی آبخوان و رسیدن به برداشت مطمئن در آبخوان
- ۶) استفاده از آب‌های زیرزمینی مناطق کم‌عمق در جنوب دشت جهت مصارف شرب
- ۷) با توجه به افت بسیار زیاد آبخوان در محل تجمع چاه‌های صنعتی، توزیع یکنواخت آن‌ها در کل دشت و کاهش برداشت توسط آن‌ها توصیه می‌گردد.

منابع

- ۱) آقاباتی، ع.، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۹۷ ص.
- ۲) اصغری مقدم، الف.، (۱۳۸۹)، "اصول شناخت آب‌های زیرزمینی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز، ۳۴۹ ص.
- ۳) جمشیدی، خ. و افشاریان‌زاده، ع.، (۱۳۷۰)، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اسفوردی"، سازمان زمین‌شناسی ایران.
- ۴) جمشیدی، ک. و موهبی، الف.، (۱۳۷۵)، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ راور"، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- ۵) چایچی، ز.، (۱۳۸۵)، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چادرملو"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۶) سبحایی، م.، میرتوحیدی، الف. و حدادان، م.، (۱۳۷۸)، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بهاباد"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۷) شرکت سهامی آب منطقه‌ای یزد، (۱۳۷۵)، "گزارش آماری و محاسبه بیلان آب زیرزمینی دشت بهاباد"، وزارت نیرو، امور مطالعات منابع آب.
- ۸) شرکت سهامی آب منطقه‌ای یزد، (۱۳۹۰)، "آماربرداری محدوده مطالعاتی یزد".
- ۹) صداقت، م.، (۱۳۸۷)، "زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)"، چاپ اول، دانشگاه پیام نور، تهران، ۲۸۹ ص.
- ۱۰) علیزاده، الف.، (۱۳۹۰)، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، چاپ سی و یکم، مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، ۹۱۲ ص.

۱۱) لشکری پور، غ، رستمی بارانی، ح، کهندل، الف. و ترشیزی، ح، (۱۳۸۵)، "افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت کاشمر"، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس.

۱۲) موسوی مداح، م، غفوری، م، لشکری پور، غ. و افشار، س، (۱۳۸۹)، "بررسی پدیده نشست زمین و تأثیر آن بر روی گسیختگی لوله‌های جدار چاه‌های آب در محدوده شهر مشهد با استفاده از پهنه‌بندی تغییرات دانه‌بندی لایه‌های زمین"، چهارمین همایش بین‌المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، تهران، انجمن ژئوتکنیک ایران.

۱۳) مهندسین مشاور یاراب شهر، شرکت سهامی آب منطقه‌ای یزد، (۱۳۸۳)، "گزارش مطالعات منابع آب حوضه آبریز رودخانه شور بهاباد (با تأکید بر خروجی جعفرآباد)"، وزارت نیرو، ۵۱ ص.

۱۴) میرتوحیدی، الف، (۱۳۸۱)، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شمال بهاباد"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Reference:

1. Alley, W.M. and Leake, S.A., (2004), "The Journey from safe yield to sustainability", *Ground water*, Vol. 42, No.1, pp. 12–16.
2. Atta-Darkwa, T., Kyei-Baffour, N., Ofori, E., Mensah, E. and Agyare, W. A., (2013), "Quantification of groundwater recharge in the river ODA catchment using the water table fluctuation", *G.J. E.D.T.*, Vol. 2(1) pp. 96-103.
3. Brown, L. J., Dravid, P. N., Hudson, N. A. and Taylor, C. B., (1999), "Sustainable groundwater resources", Heretaunga Plains, Hawke's Bay, New Zealand, *Hydrogeology Journal*, Vol. 7, pp. 440–453.
4. Callahan, T.J., Garrett, C.G. and Vulava, V.M., (2010), "The role of groundwater recharge in the water budget of Lowland watersheds", *South Carolina water resources conference*, the Columbia Metropolitan Convention Center.

5. Changming, L., Jingjie, Y. and Kendy, E., (2001), "Groundwater exploitation and its impact on the environment in the north China plain", *Water International*, Vol. 26, No. 2, pp. 265–272.
6. Chenini, I., Mammou, A.B., Turki, M.M. and Mercier, E., (2008), "Groundwater resources in Maknassy basin (central Tunisia): hydrological data analysis and water budgeting", *Geosciences Journal*, Vol. 12, No. 4, pp. 385 – 399.
7. Esteller, M.V., Rodriguez, R., Cardona, A. and Padilla-Sánchez, L., (2012), "Evaluation of hydrochemical changes due to intensive aquifer exploitation: case studies from Mexico", *Environ Monit Assess*, Vol. 184, pp. 5725–5741.
8. Fetter, C.W., (2000), "Applied hydrogeology", Fourth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, pp.588.
9. Healy, R.W. and Cook, P. G., (2002), "Using groundwater levels to estimate recharge", *Hydrogeology Journal*, Vol. 10, pp. 91–109.
10. Hoque, M.A., Hoque, M.M. and Ahmed, K.M., (2007), " Declining groundwater level and aquifer dewatering in Dhaka metropolitan area, Bangladesh: causes and quantification", *Hydrogeology Journal*, Vol. 15, pp. 1523–1534.
11. Hounslow, A.W., (1995), "Water quality data analysis and interpretation", Lewis publishers, CKC press, LLC, pp. 378.
12. Kalf, R.P. and Woolley D.R., (2005), "Applicability and methodology of determining sustainable yield in groundwater systems", *Hydrogeology Journal*, Vol. 13 pp. 295–312.
13. McWhorter, D.B. and Sunada, D.K., (1977), "Groundwater hydrology and hydraulics", Water resources publications, pp. 290.
14. Naik, P.K. and Awasthi, A.K., (2003), "Groundwater resources assessment of the Koyna River basin, India", *Hydrogeology Journal*, Vol. 11, pp. 582 – 594.
15. Obuobie, E., Diekkrueger, B., Agyekum, W. and Agodzo, S., (2012), "Groundwater level monitoring and recharge estimation in the White Volta River basin of Ghana", *Journal of African Earth Sciences*, pp. 80–86.
16. Saha, D. and Agrawal, A.K., (2006), "Determination of specific yield using a water balance approach– case study of Torla Odha watershed in the Deccan Trap province, Maharashtra State, India", *Hydrogeology Journal*, Vol. 14, pp. 625– 635.

17. Scanlon, B.R., Healy, R.W. and Cook, P. G., (2002), "Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge", *Hydrogeology Journal*, Vol. 10, pp. 18–39.
18. Sophocleous, M., (2000), "The origin and evolution of safe-yield policies in the Kansas Groundwater Management Districts", *Natural Resources Research*, Vol. 9, No. 2. pp. 99–110.
19. Taheri Tizro, A., Voudouris, K.S. and Eini, M., (2007), "Groundwater balance, safe yield and recharge feasibility in a semi-aride environment: A case study from western part of Iran", *Journal of applied sciences*, Vol. 7 (20) pp. 2967-2976.
20. Todd, D.K. and Mays, L.W., (2005), "Groundwater Hydrology", Third Edition, John Wiley and sons, New York, PP. 625.
21. Tu'rkler, U., Alsalabi, B.S. and Rizza, T., (2012), "Water table fluctuation analyses and associated empirical approach to predict spatial distribution of water table at Yesilköy/AgiosAndronikos aquifer", *Environ Earth Sci*, DOI 10.1007/s12665-012-1934-2.
22. Voudouris, K.S., (2006), "Groundwater balance and safe yield of the coastal aquifer system in North Eastern Korinthia, Greece", *Applied Geography*, Vol. 26, pp. 291–311.

پیوست‌ها

پیوست (۱): مشخصات رشته قنات‌های موجود در آبخوان بهاباد

ردیف	utm _x	utm _y	دبی (لیتر بر ثانیه)	تخلیه سالانه (میلیون متر مکعب)
1	402639	3533001	6.2	195523.2
2	409120	3524268	26.3	829396.8
3	408645	3523883	0.7	22075.2

پیوست (۲): مشخصات چاه‌های بهره‌برداری واقع در محدوده آبخوان بهاباد به تفکیک نوع مصرف

ردیف	utm _x	utm _y	دبی (لیتر بر ثانیه)	تخلیه سالانه (میلیون متر مکعب)	نوع مصرف
1	409708	3524642	4	105120	آشامیدنی
2	409708	3524723	28	735840	آشامیدنی
3	410041	3524384	20	525600	آشامیدنی
4	409359	3525092	30	788400	آشامیدنی
5	409040	3525495	30	394200	آشامیدنی

پیوست (۲): ادامه

ردیف	utm _x	utm _y	دبی (لیتر بر ثانیه)	تخلیه سالانه (میلیون متر مکعب)	نوع مصرف
1	408577	3525022	12	332294.4	کشاورزی
2	409485	3525867	22	693792	کشاورزی
3	408904	3526280	9	283824	کشاورزی
4	408293	3525640	12	332294.4	کشاورزی
5	407807	3526050	3	35704.8	کشاورزی
6	407462	3526464	6	189216	کشاورزی
7	407293	3525343	27	851472	کشاورزی
8	408454	3526744	23	651304.8	کشاورزی
9	407091	3527413	22	609206.4	کشاورزی
10	407582	3527619	19	526132.8	کشاورزی
11	406552	3526707	32	1009152	کشاورزی
12	406195	3527680	26	819936	کشاورزی
13	405267	3529840	21	662256	کشاورزی
14	406768	3528953	24	726105.6	کشاورزی
15	406630	3529723	32	1009152	کشاورزی
16	406250	3530014	7.5	207684	کشاورزی
17	406159	3530212	8.5	268056	کشاورزی
18	406974	3530185	16	504576	کشاورزی
19	405973	3530900	32	1009152	کشاورزی
20	405361	3531938	50	1576800	کشاورزی
21	406182	3531941	4	52761.6	کشاورزی
22	405163	3532851	18	283824	کشاورزی
23	405386	3533382	2.5	69228	کشاورزی
24	402928	3533603	3	94608	کشاورزی
25	404140	3533719	6.5	204984	کشاورزی

پیوست (۲): ادامه

ردیف	utm _x	utm _y	دبی (لیتر بر ثانیه)	تخلیه سالانه (میلیون متر مکعب)	نوع مصرف
26	402141	3534344	25	788400	کشاورزی
27	401918	3535627	16	504576	کشاورزی
28	402647	3535590	33	1040688	کشاورزی
29	403256	3536025	17	536112	کشاورزی
30	402417	3536671	20	630720	کشاورزی
31	403318	3536876	7	220752	کشاورزی
32	403827	3536801	16	504576	کشاورزی
33	399788	3536264	11	346896	کشاورزی
34	401821	3537323	22	665596.8	کشاورزی
35	402749	3537523	27	816868.8	کشاورزی
36	402848	3538191	23	636897.6	کشاورزی
37	402975	3538543	28	847123.2	کشاورزی
38	402380	3538562	14	423561.6	کشاورزی
39	402856	3539271	8	252288	کشاورزی
40	402742	3540633	3	94608	کشاورزی
41	401428	3540937	21	662256	کشاورزی
42	400955	3541763	16	504576	کشاورزی
43	403104	3543265	12	378432	کشاورزی
44	399484	3542251	14	441504	کشاورزی
45	399947	3542707	2	28972.8	کشاورزی
46	400465	3543058	23	725328	کشاورزی
47	399108	3543440	8	252288	کشاورزی
48	399931	3543592	12	378432	کشاورزی
49	400620	3544001	5	157680	کشاورزی
50	399522	3544000	14	441504	کشاورزی
51	399213	3544687	7	220752	کشاورزی

پیوست (۲): ادامه

ردیف	utm _x	utm _y	دبی (لیتر بر ثانیه)	تخلیه سالانه (میلیون متر مکعب)	نوع مصرف
1	396434	3546341	5	99216	صنعتی
2	408274	3524637	7	220752	صنعتی
3	408681	3524162	20	630720	صنعتی
4	411145	3525312	8	252288	صنعتی
5	407068	3527613	2	63072	صنعتی
6	409869	3527312	4	126144	صنعتی
7	409869	3527312	3	94608	صنعتی
8	404410	3528974	1	31536	صنعتی
9	404700	3529270	13	409968	صنعتی
10	404065	3531182	40	735840	صنعتی
11	404630	3531506	40	735840	صنعتی
12	404289	3531774	37	680652	صنعتی
13	403545	3532058	40	735840	صنعتی
14	404662	3532146	38	699048	صنعتی
15	404664	3532142	34.5	634662	صنعتی
16	405615	3532114	2	63072	صنعتی
17	405068	3532543	1	31536	صنعتی
18	403986	3532291	37	680652	صنعتی
19	404412	3532549	32	588672	صنعتی
20	403679	3532796	37	680652	صنعتی

21	404950	3534416	2	63072	صنعتی
22	403656	3537434	4.5	141912	صنعتی

پیوست (۳): لاگ‌های حفاری

لوگ حفاری چاه دامداری گروه هوشمندزاده

مقطع حفاری معماری	مقطع زمین معماری	مقطع سن	مقطع حفاری درگزیری	مقطع EC-PH S PHA - ۳	مقطع معماری	مقطع معماری	مقطع معماری
CG		5 10 20 30 40 50		میکرومتری برسانی متره ۶۷۲ EC=۶۷۲ سیلیکوم در لیتر ۱۵۲۵ CL=۱۵۲۵			
					$S = \frac{29 \times 5}{29} = \frac{145}{29} = 5\%$ <p>معماری</p>		

پیوست (۳): ادامه

لوگ حفاری چاه آشامیدنی شماره ۱ بهیاد

منه	سختی	مختصات	مختصات	مختصات	مختصات
متر	متر	مختصات	مختصات	مختصات	مختصات
10	TS				
20	CG				
30	TS	16"			
40	CG				
50					
60	TS				
70			۳۶۲۸		
80			۳۶۲۰		
90			۳۶۲۷		
100	GS				
110			۳۶۵۷		
120			۳۶۶۶		
130			۳۶۵۴		
140	SG		۳۵۵۲		
150			۳۶۵۰		
160	GS		۳۷۸۰		
170			۳۹۵۸		
			۳۷۴۴		
$S = \frac{18 \times 10}{102} + \frac{49 \times 10}{102} + \frac{12 \times 20}{102} + \frac{32 \times 10}{102}$			$S = \% 14,7$		
اضا: مکتب					

پیوست (۳): ادامه

لوگ حفاری چاه کشاورزی گروه احمد شفاپی

معماری	معماری	معماری	معماری	معماری	معماری	معماری
معماری	معماری	معماری	معماری	معماری	معماری	معماری
معماری	معماری	معماری	معماری	معماری	معماری	معماری
CG		5 10 15 20	12" 14"			
C		25 30 35 40 45 50 55		۲۰۰ ۱۹۵ ۱۹۵ ۲۰۰ ۱۸۰۵۰ ۱۹۵۰		
CG		60 65 70		۲۰۰ ۲۰۰		
		75 80 85 90 95 100				
				$S = \frac{18 \times 3}{17} + \frac{18 \times 5}{17}$ $S = 7.48$		
				مهندسی		

پیوست (۳): ادامه

لوگ حفاری چاه آشامیدنی شماره ۲ بهاباد

مقطع عمودی	عمق متر	ملاحظات	مقطع عمودی	عمق متر	ملاحظات
	5	TS		130	
	10	GS	← 16" →	140	
	20	TS		150	
	30	GS		160	
	40			170	
	50			180	
	60	TS	EC = 2067	180	میکروسیستم
	70	GS	2120	190	
	80	TS	2150	200	
	90	GS	2010	210	
	100	TS	2025	220	
	110	GS	2130		
	120	TS	2160		
		GS	2170		
			2130		
			2740		

$$S \cdot \frac{\sigma_{z10}}{e_A} + \frac{\tau_{z10}}{e_A} + \frac{u_{z10}}{e_A} + \frac{11z_{10}}{e_A} + \frac{\Delta z_{10}}{e_A} = \frac{\Delta e}{e_A}$$

اصفا، ۱۳۸۵

پیوست (۳): ادامه

لوگ حفاری چاه گروه فرهنگیان بهاباد

مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی
مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی	مقطع حفاری درنگردی
GS		5							
TS		10	147						
GS		15	16						
CG		20							
GS		30							
		40							
		50							
		60	25-6	میکرو سدی برپایه متری					
		70	2514	" "					
SG		80	2524	" "					
		90	2571	" "					
		100	2651	" "					
		110	2676	" "					
		120	2672	" "					
			2669						
			2609						
			2815						
			2922						

$$S = \frac{15 \times 15}{50} + \frac{25 \times 40}{50} = \frac{925}{50} = 18.5$$

میانگین

پیوست (۳):

لوگ حفاری چاه صنعتی جهاد سازندگی

منبع حفاری در گندمی	عمق به متر	مقدار شن و ماسه	میزان شیبانی EC-PHS PHA-۳°	میزان شیبانی	مقدار شن و ماسه	عمق به متر	منبع حفاری در گندمی
TS	5						
	10		۱۲"				
	15		۱۵"				
	20						
	30						
	40						
	50			۳۱۹۰	میکروسیستمی		
	55			۳۲۲۰	"		
	60			۳۲۲۰	"		
	65			۳۲۱۰	"		
70			۳۲۰۰	"			
75			۳۱۹۰	"			
80			۳۱۹۰	"			
85			۳۲۰۰	"			
90			۳۱۸۰	"			
95			۳۱۸۰	"			
100			۳۱۸۰	"			
			۳۱۴۰	"			
				$S = \frac{1.0 \times 57}{57} = 1.0$			
				مینیمم			

پیوست (۴): مشخصات پیزومترهای مورد استفاده در نقشه تیسن در آبخوان بهاباد و مساحت پلیگون اطراف آنها

قسمت جنوبی آبخوان	نام پیزومتر	مختصات بر حسب UTM		عمق پیزومتر (m)	ارتفاع نقطه نشانه (m)	مساحت پلیگون (Km ²)
		Easting (X)	Northing (Y)			
	P1	412399	3519654	145	1482.87	35.649648
	P2	414099	3520708	432	1481.64	30.601717
	P3	417064	3522474	252	1511.7	25.119927
	P4	411128	3523794	180	1431.73	35.677301
	P6	410800	3529880	330	1455.14	19.670291
	P7	402736	3530369	98	1421.63	19.122695
	P8	406913	3532842	63	1384.94	21.564947
	P9	403234	3534342	72	1372.97	21.944326
	P10	407049	3537607	195	1434.87	4.82646
	P11	400984	3538985	55	1358.87	20.996703

قسمت شمالی آبخوان	نام پیزومتر	مختصات بر حسب UTM		عمق پیزومتر (m)	ارتفاع نقطه نشانه (m)	مساحت پلیگون (Km ²)
		Easting (X)	Northing (Y)			
	P10	407049	3537607	195	1434.87	13.341523
	P11	400984	3538985	55	1358.87	14.342684
	P12	403092	3541086	210	1355.45	29.00346
	P13	395507	3546570	121	1389.5	20.855296
	P14	402974	3547607	85	1333.74	33.940634
	P15	397372	3549062	162	1371.25	19.401768

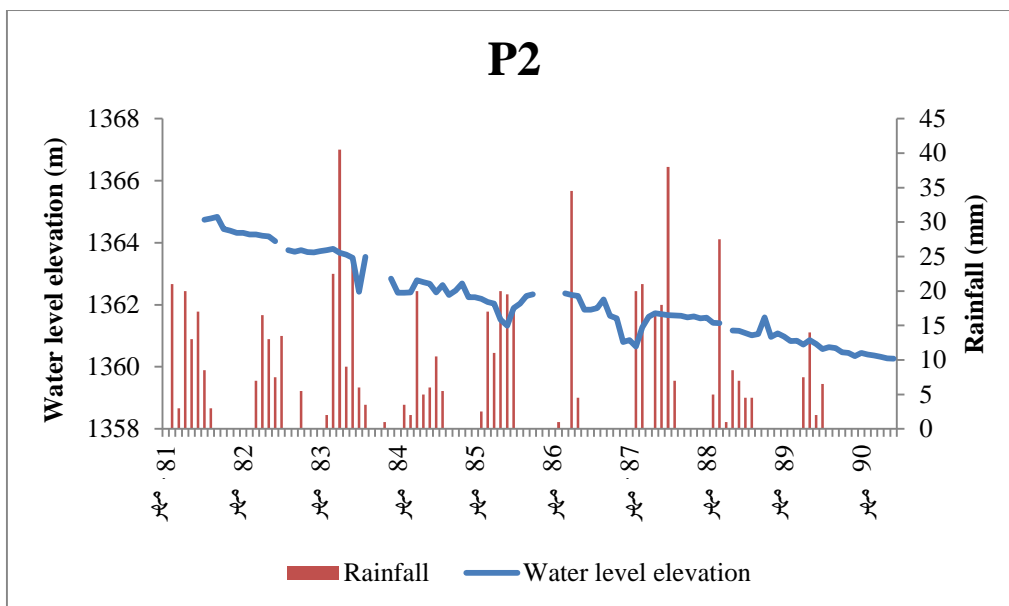
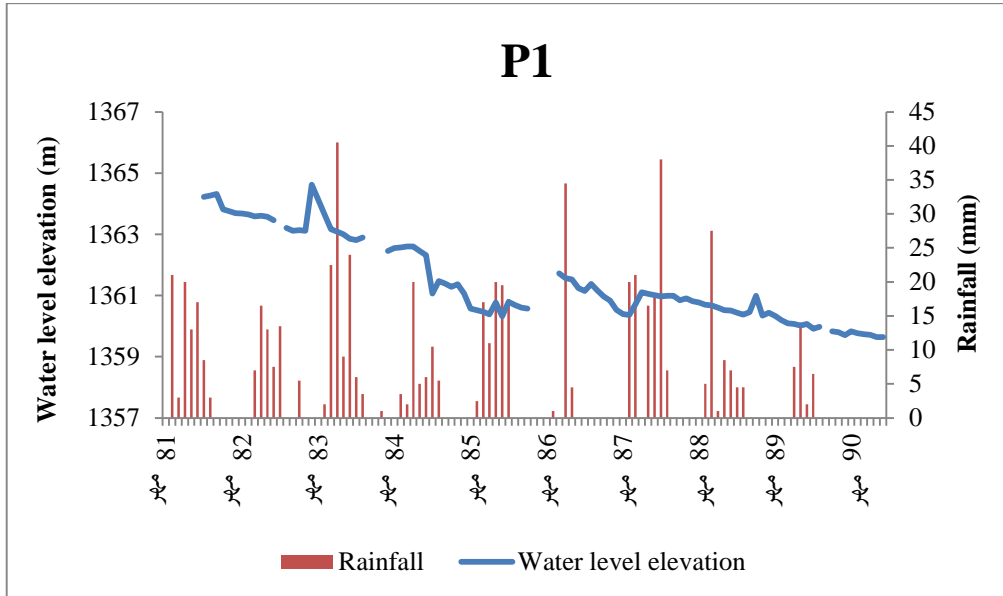
پیوست (۵): متوسط ارتفاع سطح آب زیرزمینی آبخوان بهاباد، مورد استفاده در ترسیم هیدروگراف دشت

قسمت جنوبی آبخوان	سال آبی	ارتفاع سطح آب زیرزمینی (m)											
		مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
قسمت جنوبی آبخوان	1381-82	-	-	-	-	-	-	1356.03	1356.02	1356.02	1355.68	1355.60	1355.52
	1382-83	1355.47	1355.46	1355.49	1355.39	1355.36	1355.25	1355.14	1355.02	1354.92	1354.89	1354.84	1354.90
	1383-84	1354.89	1354.87	1354.85	1354.75	1354.66	1354.46	1353.99	1354.53	1354.28	1354.03	1353.96	1353.89
	1384-85	1353.67	1353.76	1353.86	1353.94	1353.78	1353.66	1353.41	1353.55	1353.33	1353.24	1353.23	1353.01
	1385-86	1352.81	1352.71	1352.70	1352.64	1352.56	1352.40	1352.52	1352.47	1352.41	1352.32	1352.46	1352.59
	1386-87	1352.73	1352.87	1353.01	1352.98	1352.93	1352.58	1352.57	1352.58	1352.38	1352.12	1352.02	1351.57
	1387-88	1351.45	1351.37	1351.74	1352.01	1352.12	1352.07	1352.03	1352.02	1351.99	1351.86	1351.88	1351.77
	1388-89	1351.72	1351.62	1351.60	1351.52	1351.41	1351.39	1351.32	1351.31	1351.32	1351.51	1351.13	1351.22
	1389-90	1351.12	1351.01	1350.93	1350.91	1350.88	1350.89	1350.72	1350.78	1350.73	1350.61	1350.56	1350.47
1390-91	1350.56	1350.50	1350.49	1350.44	1350.39	1350.39	-	-	-	-	-	-	
قسمت شمالی آبخوان	1381-82	-	-	-	-	-	-	1331.61	1331.62	1331.64	1331.53	1331.48	1331.41
	1382-83	1331.42	1331.43	1331.42	1331.4	1331.38	1331.33	1331.28	1331.22	1331.08	1331.03	1330.96	1330.77
	1383-84	1330.89	1331.02	1331.14	1330.93	1330.84	1330.69	1330.38	1330.68	1330.54	1330.39	1330.32	1330.25
	1384-85	1330.29	1330.32	1330.36	1330.34	1330.28	1330.21	1330.77	1330.55	1329.96	1329.94	1329.85	1329.91
	1385-86	1329.82	1329.76	1329.75	1329.63	1329.58	1329.25	1329.3	1329.29	1329.13	1328.96	1329.07	1329.15
	1386-87	1329.25	1329.35	1329.44	1329.32	1329.42	1329.15	1329.29	1329.19	1328.95	1328.79	1328.68	1328.36
	1387-88	1328.18	1328.14	1328.56	1328.82	1328.86	1328.8	1328.73	1328.72	1328.64	1328.56	1328.55	1328.49
	1388-89	1328.43	1328.38	1328.4	1328.39	1328.28	1328.25	1328.16	1328.09	1328.13	1328.25	1328.03	1328.07
	1389-90	1328.01	1327.95	1327.89	1327.86	1327.85	1327.87	1327.75	1327.73	1327.71	1327.63	1327.57	1327.49
1390-91	1327.56	1327.52	1327.489	1327.54	1327.43	1327.41	-	-	-	-	-	-	

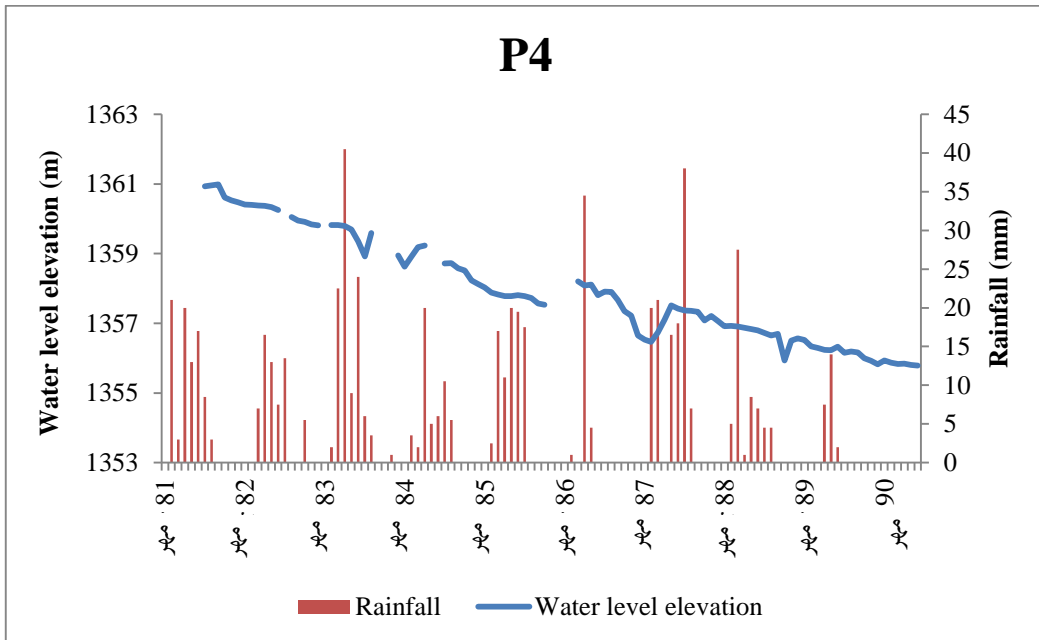
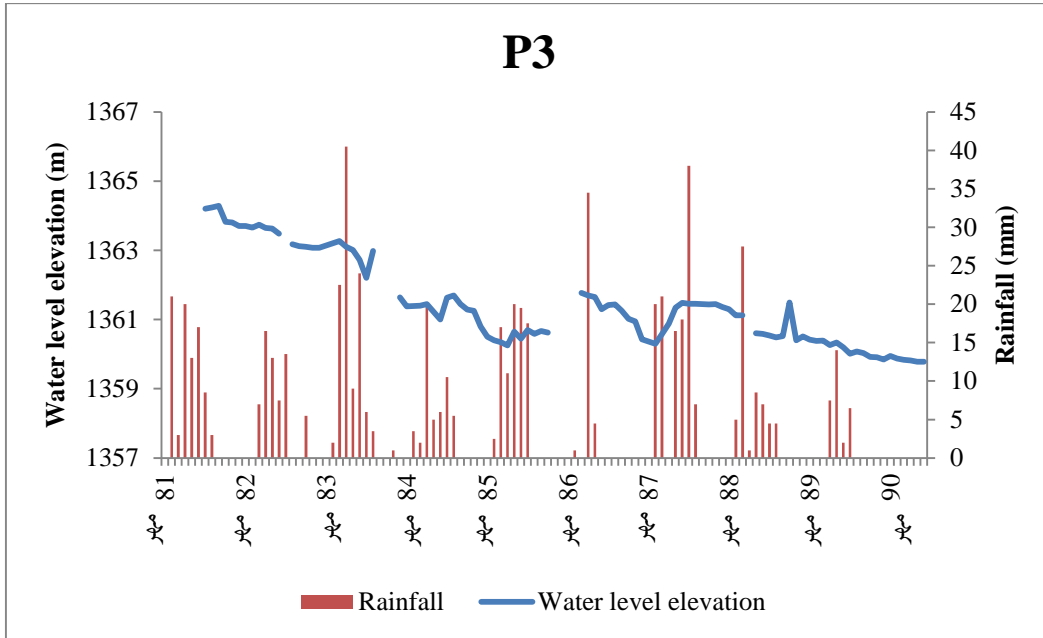
پیوست (۶): ارتفاع بارندگی ماهانه ثبت شده در ایستگاه بهاباد

سال آبی	ارتفاع بارندگی ماهانه ایستگاه بهاباد (mm)											
	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
1381-82	0	21	3	20	13	17	8.5	3	0	0	0	0
1382-83	0	0	7	16.5	13	7.5	13.5	0	0	5.5	0	0
1383-84	0	2	22.5	40.5	9	24	6	3.5	0	0	1	0
1384-85	0	3.5	2	20	5	6	10.5	5.5	0	0	0	0
1385-86	0	2.5	17	11	20	19.5	17.5	0	0	0	0	0
1386-87	0	1	0	34.5	4.5	0	0	0	0	0	0	0
1387-88	0	20	21	0	16.5	18	38	7	0	0	0	0
1388-89	0	5	27.5	1	8.5	7	4.5	4.5	0	0	0	0
1389-90	0	0	0	7.5	14	2	6.5	0	0	0	0	0
1390-91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

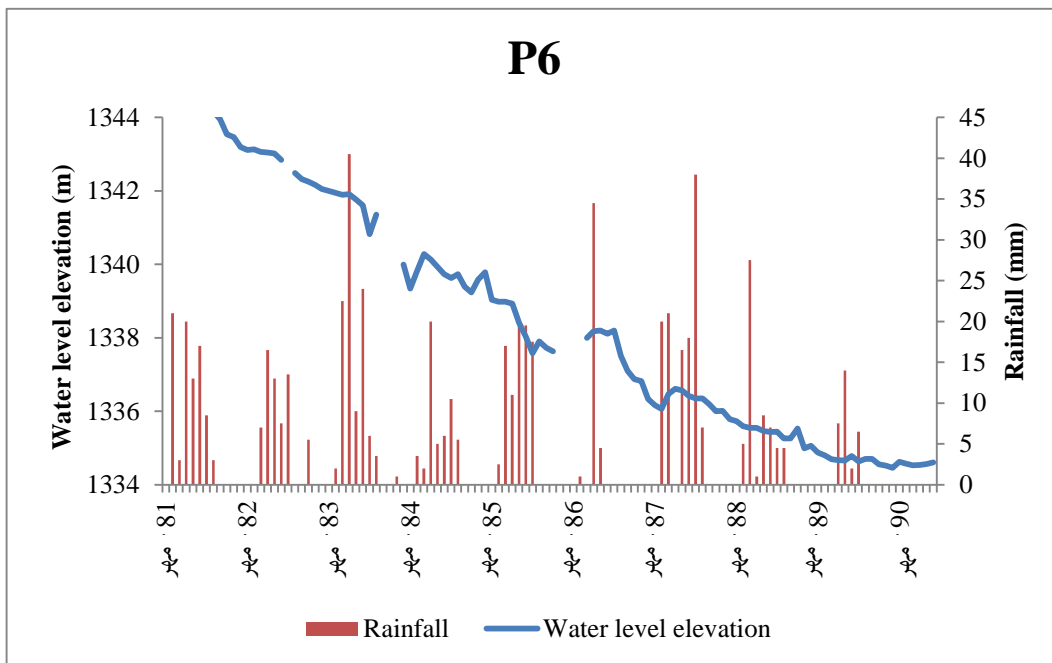
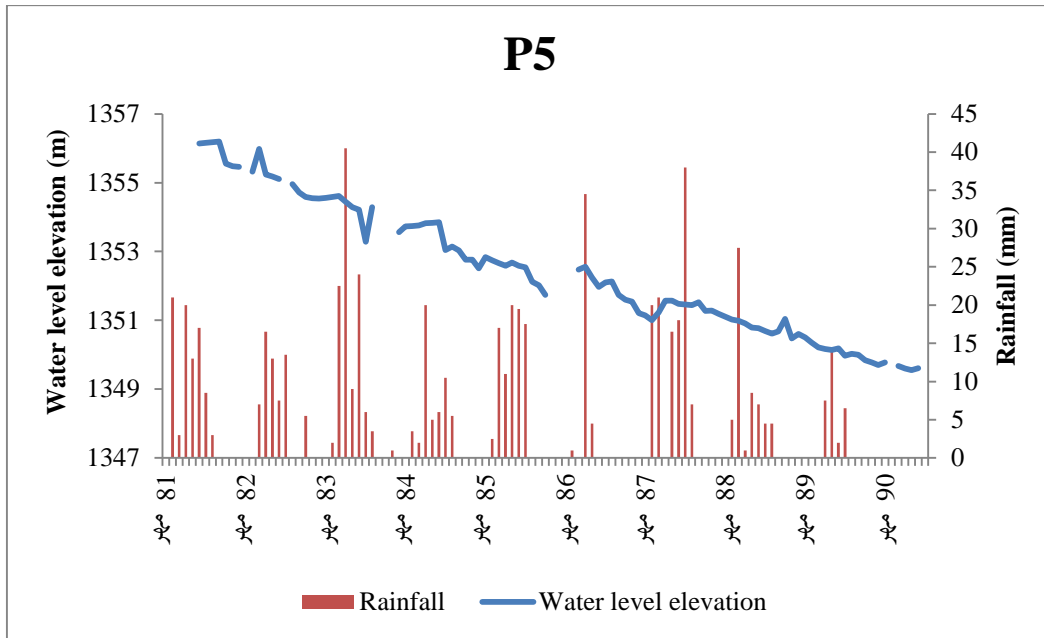
پیوست (۷): هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان بهاباد



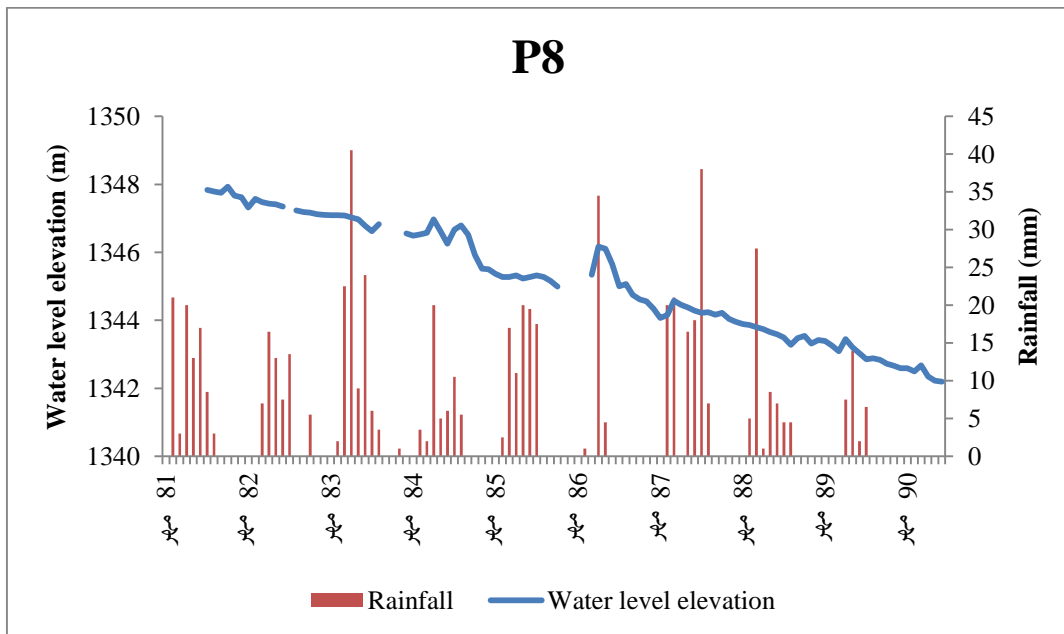
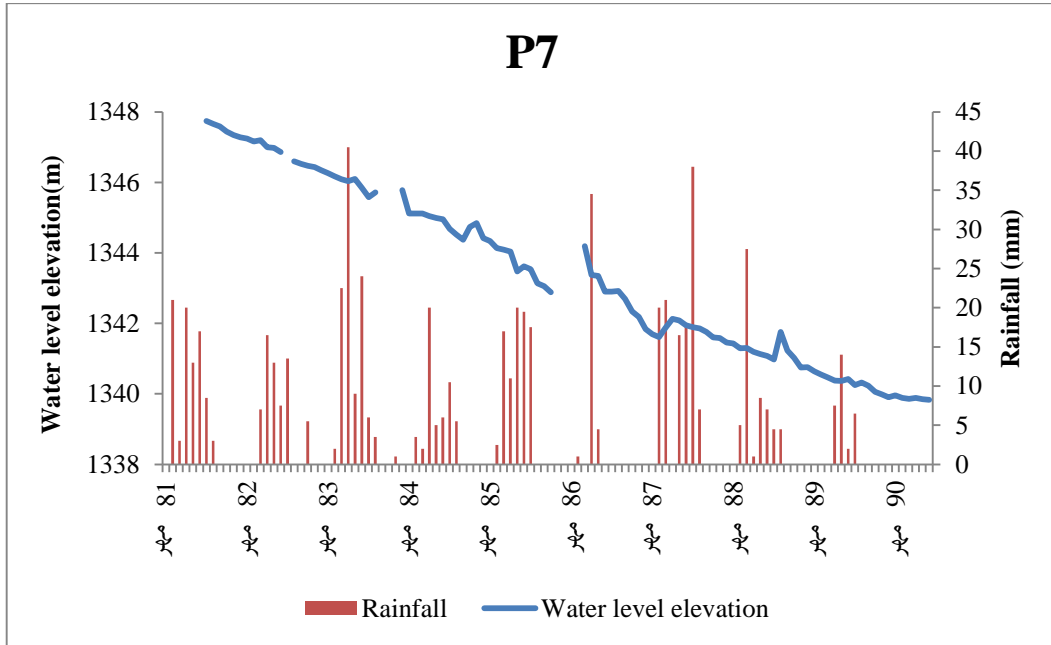
پیوست (۷): ادامه



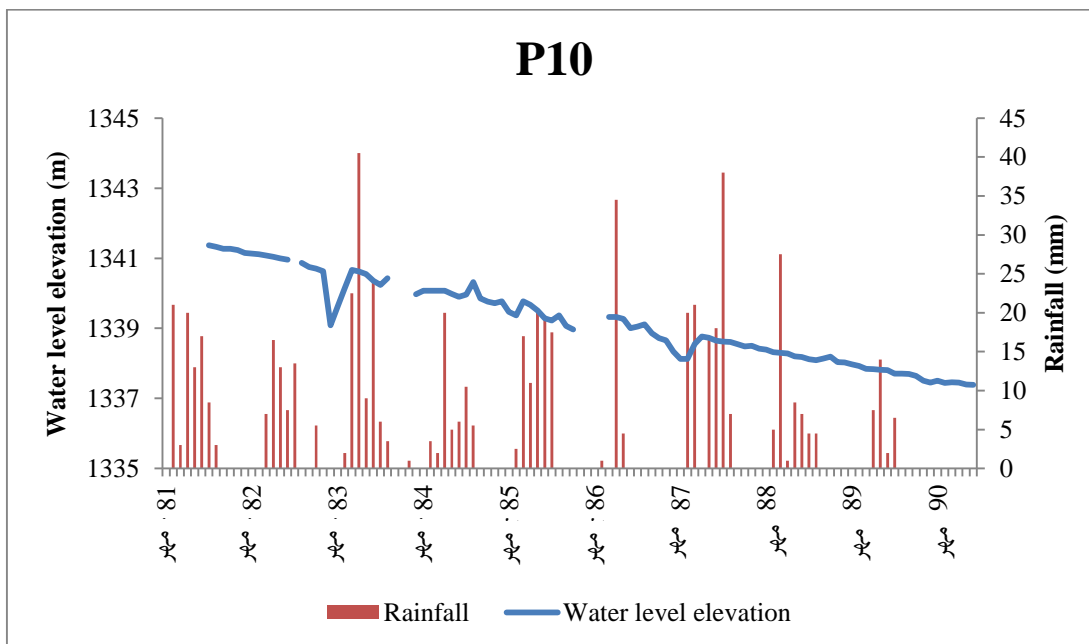
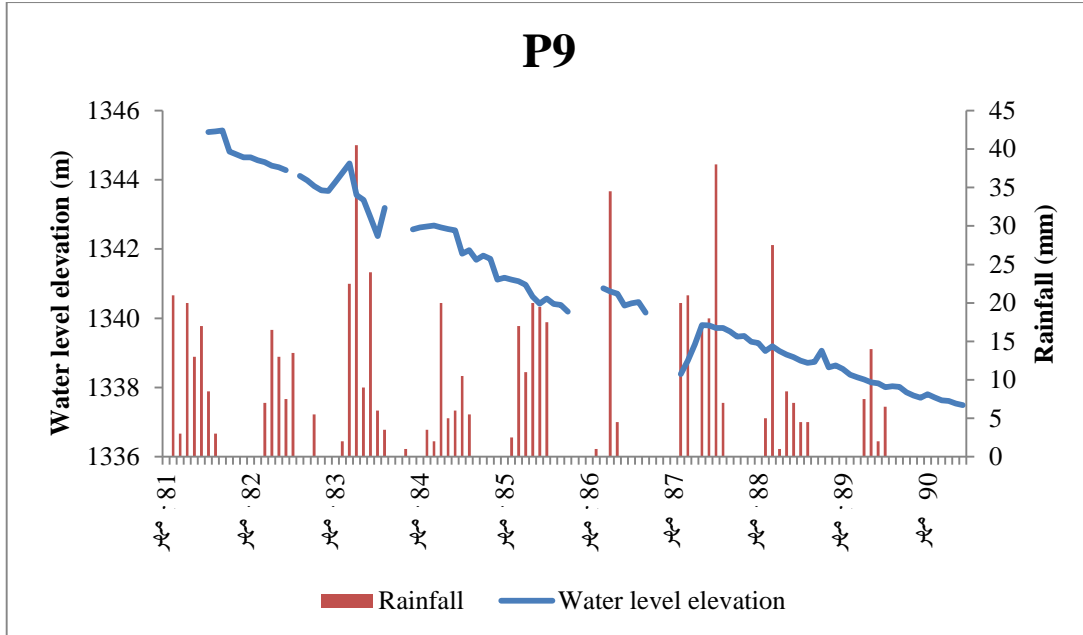
پیوست (۷): ادامه



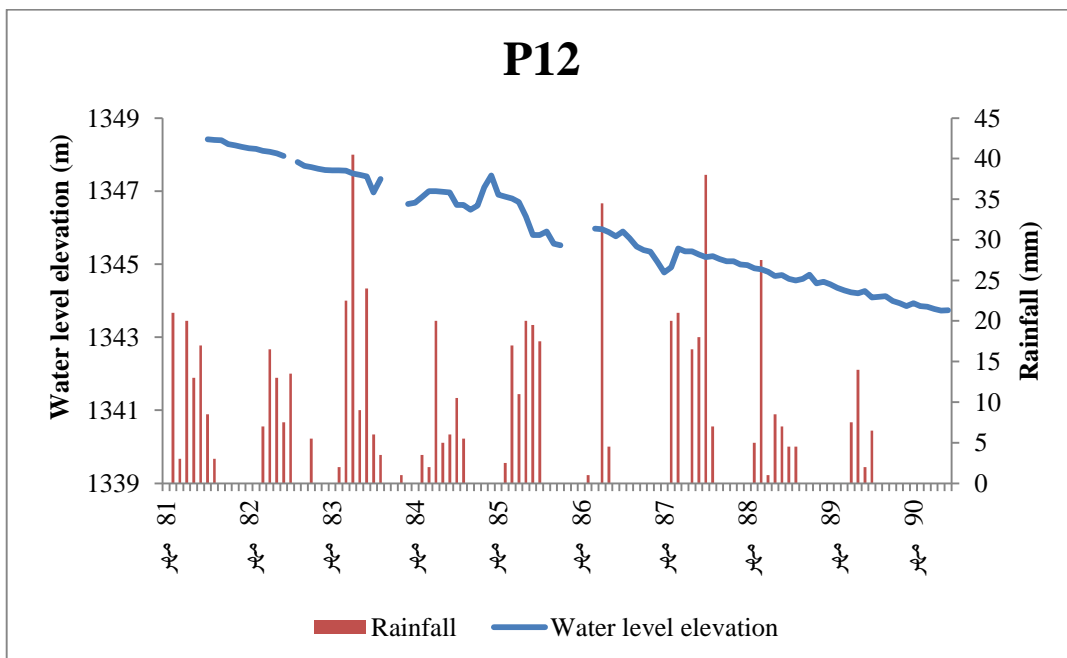
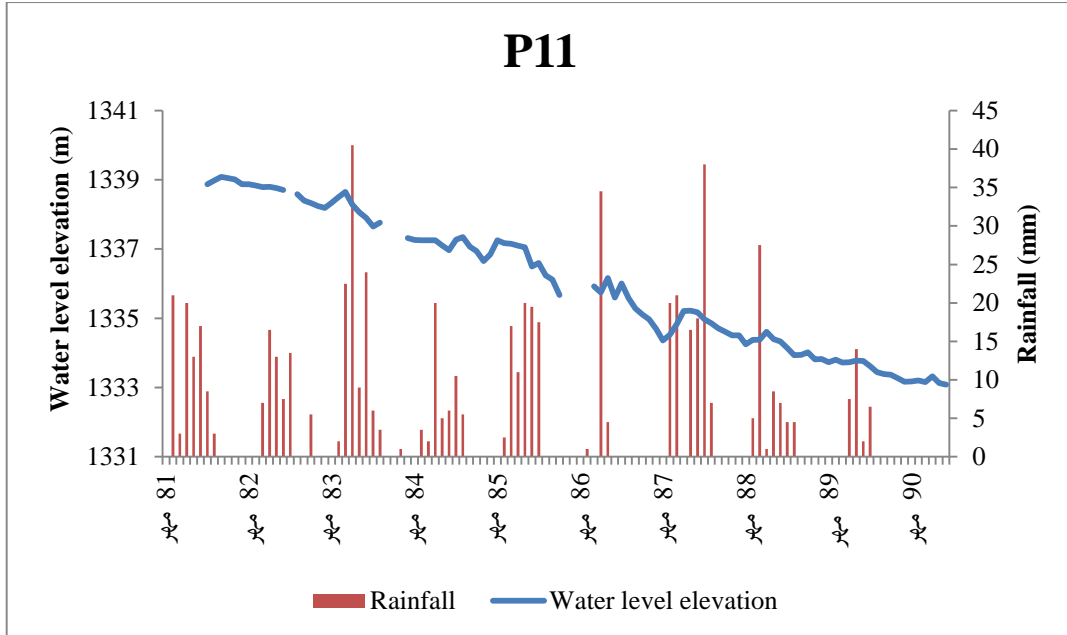
پیوست (۷): ادامه



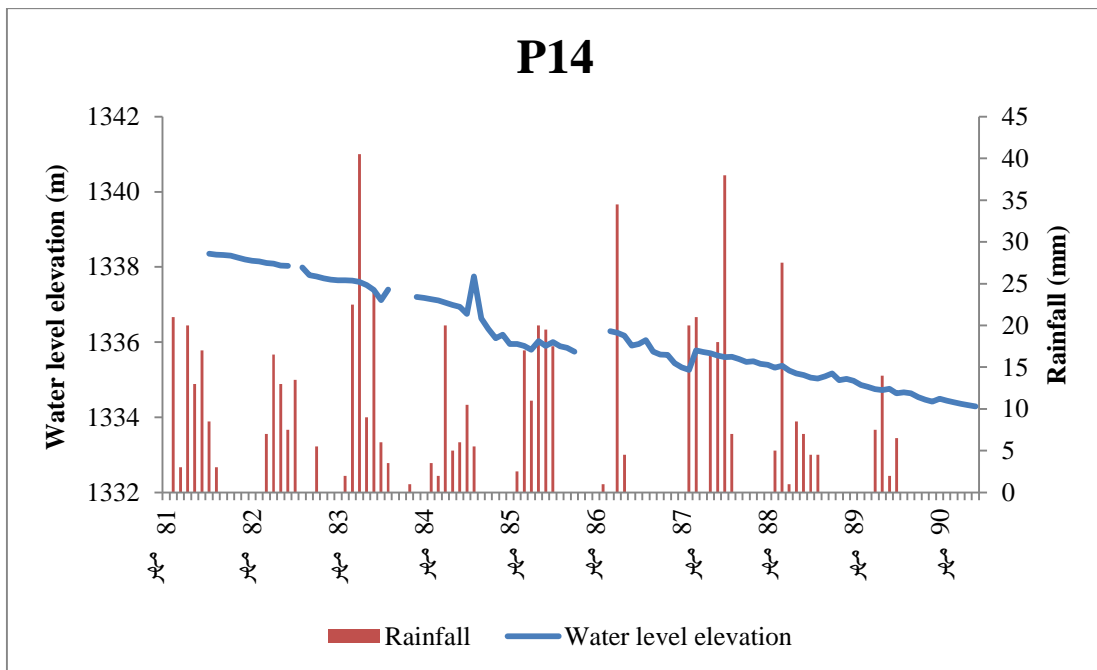
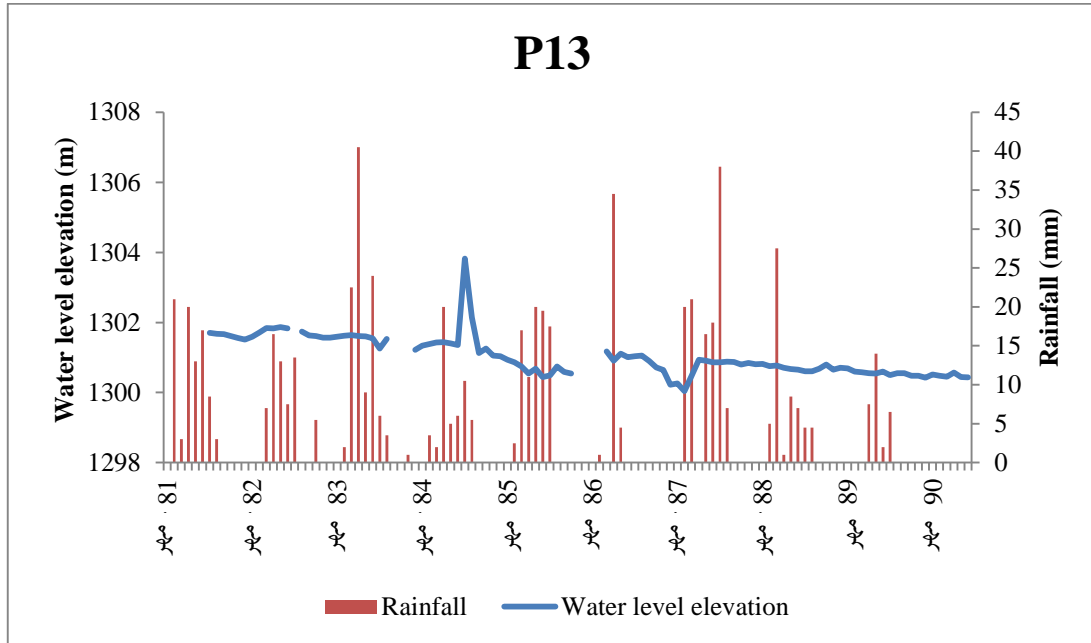
پیوست (۷): ادامه



پیوست (۷): ادامه



پیوست (۷): ادامه



Abstract

Behabad basin in Yazd province, which is a part of great basin of Kavir-Loot, encompasses an unconfined aquifer with an area of about 366 Km². The quantitative and qualitative assessments of the aquifer have been carried out in this study. Groundwater resources in Behabad plain are mainly used in agricultural and industrial sectors. Which has caused high annual drawdown in the aquifer. Concentration of the pumping wells specially industrial wells, in the central part of the aquifer has created a depression in water table in which, flow lines are focused, resulting in different patterns in flow pattern in northern and southern parts of aquifer. Representative hydrograph of the aquifer shows the average annual declines are approximately 60 and 40 cm for southern and northern parts, respectively.

Based on water balance of Behabad aquifer in water-year 1389-90, total inflows are 20.8 and 6.8 MCM, less than the total outflows of about 32.9 and 8.5 MCM in southern and northern parts, respectively. Safe yield was calculated at 22.3 and 3.7 MCM for these regions. Total discharge from the aquifer was more than the natural recharge and safe yield, causing decrease in storage and negative balance of the aquifer followed by decline in water table. Management of various uses in both agricultural and industrial sectors are necessary to attain a safe yield in the region. Evaluation of the quality of the aquifer indicate that salinity and electric conductivity increase with depth, so the quality of discharge water is being worsen as the water level is declined. Dominant water- type of Behabad aquifer is Na-Cl. The average electrical conductivity at aquifer is about 4505 $\mu\text{mohs}/\text{Cm}$ and the increasing trend of EC represent quality degradation of the aquifer with time.

Keywords: Water Table Decline, Hydrogeological Balance, Safe Yield, Behabad Aquifer, Yazd



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciences

Hydrogeology and Environmental Geology Group
MSc. Thesis

**Hydrogeology of Behabad aquifer in Yazd province with
reference to the causes of water level decline**

By

Malihe Shirafkan

Supervisor:

Dr. H. Jafari

Nov. 2013