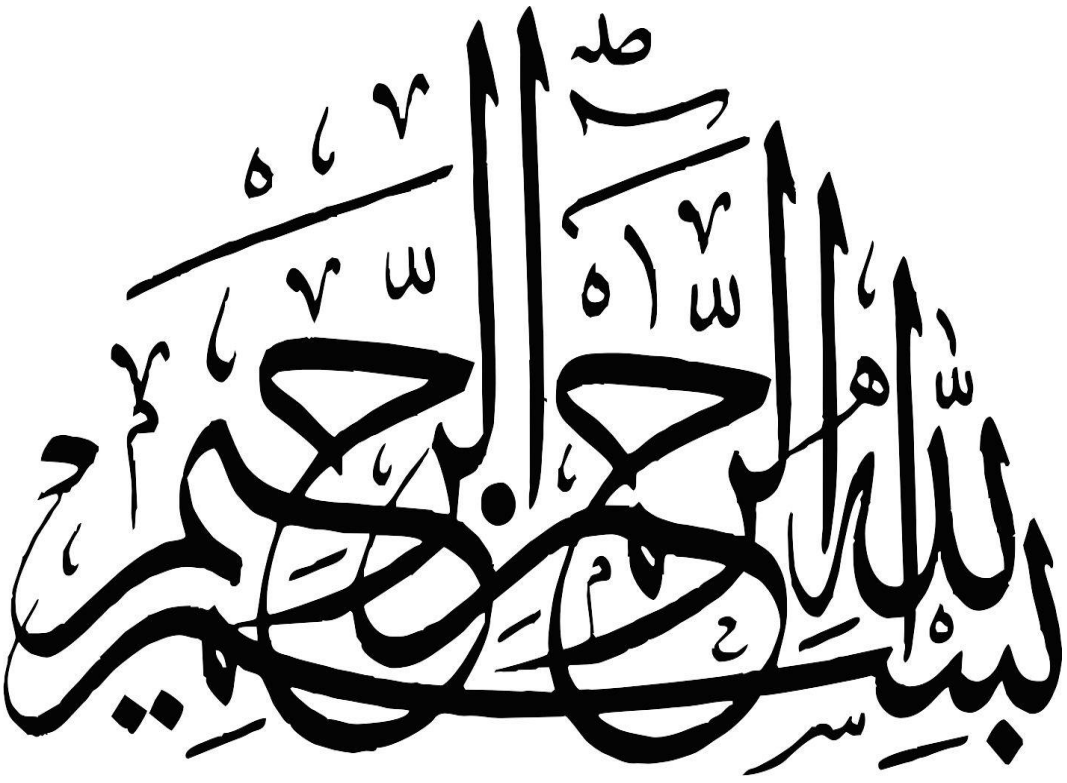

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی

اثر طرح تعادل‌بخشی بر رفتار هیدروژئولوژیکی دشت رخ، خراسان رضوی

نگارنده: امیرجواد دانش‌پژوه

استاد راهنما

دکتر رحیم باقری

دی ۱۳۹۸

شماره: ۹۸.۱۲.۴۱۶
تاریخ: ۹۸/۱۲/۳

باسمه‌تعالی

دانشگاه صنعتی شاهرود
مدیریت تحصیلات تکمیلی

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

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای امیرجواد دانش‌پژوه با شماره دانشجویی ۹۶۳۳۹۵۴ رشته زمین شناسی گرایش آب‌شناسی تحت عنوان اثر طرح تعادل‌بخشی بر رفتار هیدروژئولوژیکی دشت رخ، خراسان رضوی که در تاریخ ۱۳۹۸/۱۱/۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹ – ۱۸ ☑
ج) درجه خوب: نمره۱۷/۹۹– ۱۶ ☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۵/۹۹-۱۴ ☐
ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐
نوع تحقیق: **نظری** ☐ **عملی** ☑

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	دکتر رحیم باقری	استادیار	
۲- استادراهنمای دوم	ـ	ـ	
۳- استاد مشاور	ـ	ـ	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر افشین قشلاقی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر غلامحسین کرمی	دانش‌یار	
۶ـ استاد ممتحن دوم	دکتر هادی جعفری	دانش‌یار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز امیری

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: از طرف: مسعود علی‌پور اصل ۹۸/۱۲/۳

دانشکده علوم زمین
آموزش
دانشگاه صنعتی شاهرود

تقدیم اثر

این پایان‌نامه را ضمن تشکر و سپاس بی‌کران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می‌نمایم:

–به همسر مهربانم که در تمام طول تحصیل همراه و همگام من بوده تا بتوانم در کمال آرامش و آسایش به تهیه و تنظیم پایان نامه بپردازم.

-به فرزندانم دلبندم که در طول دوران تحصیل، زمان کمتری برای آنها وقت گذاشتم.

تشکر و قدردانی

سپاس خدای بزرگ را که مرا یاری رساند تا بتوانم این مقطع تحصیلی را به پایان رسانده و گامی در راستای اعتلای علم بردارم.

در اینجا لازم است از استاد راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر رحیم باقری که وجودشان همیشه قوتی برای انجام کارهایم بوده و بدون شک انجام این پایان‌نامه بدون کمک و راهنمایی‌های ارزنده ایشان امکان پذیر نبوده، تشکر خالصانه خود را داشته باشم. و از اساتید گرامی جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی و دکتر هادی جعفری که زحمت داوری این پایان‌نامه را داشتند نیز سپاسگزارم.

همچنین از استادان گرامی که در طول دوران تحصیلم افتخار کسب علم را در محضرشان داشته‌ام، جناب آقایان دکتر کرمی، دکتر جعفری و دکتر باقری، نهایت سپاسگزاری را دارم.

تعهد نامه

اینجانب امیرجواد دانش‌پژوه دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی گرایش آب‌شناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه اثر طرح تعادل‌بخشی بر رفتار هیدروژئولوژیکی دشت رخ، خراسان رضوی تحت راهنمائی جناب آقای دکتر رحیم باقری متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارایه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا «Shahrood University » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تاثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

امضای دانشجو: امیرجواد دانش‌پژوه

مالکیت نتایج و حق نشر

- **کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به‌نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.**
- **استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.**

چکیده

دشت رخ با مساحت ۲۱۸۲ کیلومترمربع در استان خراسان رضوی و در شمال شرق ایران قرار دارد. آب زیرزمینی این دشت توسط حدود ۳۲۰ حلقه چاه برداشت می‌گردد که در سال‌های اخیر به علت کاهش بارندگی و در پی آن افزایش بی‌رویه برداشت‌ها، سطح آب زیرزمینی افت زیادی داشته است. به منظور حفظ و مدیریت پایدار آبخوان رخ، طرح تعادل‌بخشی به صورت نصب کنتور هوشمند و مسدود کردن چاه‌های غیرمجاز از سال ۱۳۹۳ در حال انجام است. هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر فعالیت‌های طرح تعادل‌بخشی بر رفتار هیدروژئولوژیکی و کیفی آبخوان می‌باشد. جهت کلی جریان آب زیرزمینی از شرق دشت (منطقه تغذیه) به سمت غرب دشت می‌باشد. در دوره‌های مختلف زمانی در بخش غربی دشت، کمترین افت و در بخش شرقی، بیشترین افت به دلیل تجمع چاه‌های با دبی بالا وجود دارد. میزان افت در چهار دوره ۳ ساله (۹۴-۹۷) و ۱۱ ساله (۸۶-۹۷) و ۱۶ ساله (۷۰-۸۶) و ۲۷ ساله (۷۰-۹۷) بررسی گردید و در تمامی دوره‌ها بجز دوره سه ساله با نرخ متوسط ۶۵ سانتیمتر افت داشته ولی در دوره سه ساله که مربوط به سال‌های اخیر بوده نرخ افت کمتری حدود ۴۰ سانتیمتر داشته است و همچنین روند تغییرات افت در چاه‌های پیزومتری به دلیل کنترل برداشت‌های بی‌رویه در سال‌های اخیر تقریباً افقی شده است که این می‌تواند حاکی از تاثیر طرح تعادل‌بخشی باشد. در دشت رخ هدایت الکتریکی در جهت جریان افزایش می‌یابد. با توجه به مقادیر هدایت الکتریکی دشت به سه زون تقسیم‌بندی گردید که در بخش جنوبی به دلیل برداشت‌های بی‌رویه از آبخوان هدایت الکتریکی افزایش یافته است و در سال‌های اخیر بعد از اجرای طرح این روند افزایش شوری کمتر شده است. با توجه به بررسی انجام شده بعد از اجرای طرح تعادل‌بخشی و نصب کنتورهای هوشمند بر روی چاه‌های کشاورزی انرژی مصرفی و ساعت کارکرد چاه‌ها کاهش یافته است و در برخی از بخش‌های دشت تعدادی از قنوات خشک شده به دلیل جلوگیری از بهره‌برداری حدود ۱۴۰ حلقه چاه غیرمجاز، مجدد فعال شده است. بررسی بیلان آب زیرزمینی در دوره های مختلف نشان داد که کسری مخزن در اثر اعمال طرح تعادل‌بخشی در سال‌های اخیر کمتر شده و نشانگر تاثیر این طرح در کنترل میزان برداشت و بالتبع کاهش افت آبخوان شده است.

کلمات کلیدی: طرح تعادل‌بخشی، هیدروژئولوژی، بیلان، دشت رخ

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱
۱-۱-تعریف مسأله و ضرورت انجام تحقیق ۲
۱-۲- موقعیت جغرافیایی دشت مورد مطالعه ۳
۱-۳- توپوگرافی حوضه آبریز دشت رخ ۴
۱-۴- اقلیم‌شناسی منطقه ۵
۱-۵- زمین‌شناسی دشت مورد مطالعه ۶
۱-۵-۱- چینه‌شناسی دشت رخ ۶
۱-۵-۱-۱- مزوزوئیک (دوران دوم) ۶
۱-۵-۱-۲- سنوزوئیک (دوران سوم) ۷
۱-۵-۱-۳- رسوبات کواترنری ۹
۱-۵-۲- زمین‌شناسی ساختمانی ۱۰
۱-۶- زمین‌شناسی ریخت‌شناسی ۱۱
۱-۷- هیدرولوژی حوضه آبریز دشت رخ ۱۱
۱-۸- هیدروژئولوژی حوضه دشت رخ: ۱۳
۱-۹- اثرات واحدهای زمین‌شناسی رخنمون یافته ۱۳
فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین درخصوص خصوصیات کمی و کیفی منابع آب و اثر طرح تعادل‌بخشی ۱۵
۲-۱- مقدمه ۱۶
۲-۲- عوامل مؤثر بر تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی ۱۶
۲-۲-۱- تأثیر خشک‌سالی ۱۶
۲-۲-۲- تأثیر بارندگی ۱۸
۲-۲-۳- تأثیر بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی ۱۹
۲-۳- عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی ۲۲
۲-۳-۱- اثر بهره‌برداری بیش از حد بر کیفیت آب زیرزمینی ۲۳
۲-۳-۲- اثر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی ۲۳
۲-۴- روش‌های مؤثر بر مدیریت آبخوان‌ها ۲۵
۲-۴-۱ روش‌های مدل‌سازی آبخوان ۲۵
۲-۴-۲ تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی ۲۹
۲-۴-۲-۱ معرفی طرح تعادل‌بخشی: ۲۹
۲-۵- روش‌های بررسی اثرات طرح تعادل‌بخشی ۳۴
۲-۵-۱-روش بیلان آب زیرزمینی ۳۴
۲-۵-۲- خصوصیات هیدروشیمیایی ۳۵
۲-۶- مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه ۳۶
فصل سوم: روش انجام کار ۳۹
۳-۱- مقدمه ۴۰

۳-۲- جمع‌آوری آمار و اطلاعات کمی و کیفی دشت رخ ۴۰
۳-۳- نقشه زمین‌شناسی دشت رخ ۴۰
۳-۴- بررسی تغییرات خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه ۴۱
۳-۴-۱- هیدروگراف معرف آبخوان آبرفتی رخ ۴۱
۳-۴-۲- نقشه هم‌پتانسیل سطح آب زیرزمینی آبخوان رخ ۴۱
۳-۴-۳- نقشه افت سالانه سطح آب زیرزمینی ۴۱
۳-۴-۴- بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی ۴۲
۳-۴-۵- بررسی بیلان محدوده ۴۲
۳-۵- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی محدوده مورد مطالعه ۴۳
فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژی و اثر طرح تعادل‌بخشی در دشت رخ ۴۵
۴-۱- مقدمه ۴۶
۴-۲- وضعیت محدوده مطالعاتی دشت رخ ۴۶
۴-۳- هیدروژئولوژی آبخوان دشت رخ ۴۷
۴-۳-۱- بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل دشت ۴۷
۴-۳-۲- بررسی دشت بر اساس افت ۵۳
۴-۳-۳ تغییرات تراز سطح آب پیزومترها ۵۷
۴-۳-۴ بررسی تغییرات مکانی و تراز سطح آب پیزومترها ۵۷
۴-۴-بررسی تغییرات هدایت الکتریکی (EC) ۶۱
۴-۵ - هیدروگراف واحد دشت ۶۶
۴-۶- چاه‌های اکتشافی و آزمایش پمپاژ ۶۸
۴-۶-۱- حفاری‌های اکتشافی ۶۸
۴-۶-۲-آزمایش‌های پمپاژ ۶۹
۴-۷- بررسی وضعیت بیلان منطقه مورد مطالعه ۶۹
۴-۷-۱- بیلان هیدروژئولوژی ۶۹
۴-۷-۲- بیلان هیدروژئولوژی آبخوان رخ ۷۰
۴-۷-۲-۲- بیلان سال ۹۶-۹۷ (بعد از اجرای طرح) ۷۳
۴-۷-۳ بررسی تغییرات حجم ذخیره آبخوان رخ (بیلان هیدروگراف) ۷۶
۴-۸ بررسی اثرات طرح تعادل‌بخشی ۷۷
۴-۸-۱- فعالیت نصب کنتور بر روی چاه‌ها ۷۷
۴-۸-۲- فعالیت انسداد چاه غیرمجاز ۷۹
۴-۸-۳- کاهش روند افت در چاه‌های پیزومتر ۸۱
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۸۳
۵-۱- بررسی رفتار هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه ۸۴
۵-۱-۱- نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل دشت ۸۴
۵-۱-۲- نتایج حاصل از بررسی میزان افت سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت رخ ۸۴

۵-۱-۳- نتایج حاصل از بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در پیزومترها ۸۴
۵-۱-۴- نوسانات سالانه سطح آب زیرزمینی ۸۵
۵-۲- نتایج بررسی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی ۸۵
۵-۳- نتایج بررسی فعالیت‌های طرح تعادل‌بخشی ۸۵
۵-۴ پیشنهادها ۸۶
منابع ۸۷

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان تربت‌حیدریه و جلگه‌رخ ۴
شکل ۱-۲- موقعیت جغرافیایی دشت مورد مطالعه و راه دسترسی ۵
شکل ۱-۳- نقشه توپوگرافی دشت مورد مطالعه ۶
شکل ۱-۴- زمین‌شناسی دشت مورد مطالعه ۱۱
شکل ۱-۵- نقشه موقعیت آبراهه‌های دشت مورد مطالعه..... ۱۲
شکل ۴-۱: نقشه موقعیت دشت رخ..... ۴۷
شکل ۴-۲: نقشه موقعیت چاه‌های پیزومتر دشت رخ..... ۴۸
شکل ۴-۳: نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی دشت رخ در شهریور ماه سال ۱۳۷۱..... ۵۰
شکل ۴-۴: نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی دشت رخ در شهریور ماه سال ۱۳۸۶..... ۵۰
شکل ۴-۵: نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی دشت رخ در شهریور ماه سال ۱۳۹۷..... ۵۱
شکل ۴-۶: نقشه تقسیم‌بندی تراز سطح آب زیرزمینی دشت رخ در شهریور ماه سال ۱۳۷۱ ..... ۵۱
شکل ۴-۷: نقشه تقسیم‌بندی تراز سطح آب زیرزمینی دشت رخ در شهریور ماه سال ۱۳۸۶ ..... ۵۲
شکل ۴-۸: نقشه تقسیم‌بندی تراز سطح آب زیرزمینی دشت رخ در شهریورماه سال ۱۳۹۷ ..... ۵۲
شکل ۴-۹: نقشه زون‌بندی افت ۳ ساله (۹۰-۹۳) و موقعیت چاه‌ها بر حسب دبی..... ۵۴
شکل ۴-۱۰: نقشه زون‌بندی افت ۳ ساله (۹۴-۹۷) و موقعیت چاه‌ها بر حسب دبی..... ۵۴
شکل ۴-۱۱: نقشه زون‌بندی افت ۱۱ ساله (۸۶-۹۷) و موقعیت چاه‌ها بر حسب دبی ۵۵
شکل ۴-۱۲: نقشه زون‌بندی افت ۱۶ ساله (۷۰-۸۶) و موقعیت چاه‌ها بر حسب دبی ۵۵
شکل ۴-۱۳: نقشه زون‌بندی افت ۲۷ ساله (۷۰-۹۷) و موقعیت چاه‌ها بر حسب دبی..... ۵۶
شکل ۴-۱۴: نقشه زون‌بندی افت ۲۷ ساله (۷۰-۹۷) و موقعیت چاه‌ها بر اساس عمق ۵۶
شکل ۴-۱۵: نمودار تغییرات سطح آب ۵۸
شکل ۴-۱۶: نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی دشت در شهریور ماه ۱۳۹۷ و خط پروفیل تغییرات مکانی ۵۹
شکل ۴-۱۷: نمودار تغییرات مکانی تراز سطح آب..... ۶۰
شکل ۴-۱۸: نمودار تغییرات مکانی افت..... ۶۰
شکل ۴-۱۹: موقعیت چاه‌های انتخابی دشت رخ..... ۶۲
شکل ۴-۲۰: نقشه زون‌بندی دشت بر حسب مقادیر هدایت الکتریکی در سال ۱۳۸۶..... ۶۴
شکل ۴-۲۱: نقشه زون‌بندی دشت بر حسب مقادیر هدایت الکتریکی در سال ۱۳۹۷..... ۶۴
شکل ۴-۲۲: نقشه هم EC دشت رخ با مقادیر هدایت الکتریکی سال ۱۳۹۷ و خط پروفیل تغییرات مکانی ۶۵
شکل ۴-۲۳: نمودار تغییرات مکانی و زمانی هدایت الکتریکی..... ۶۵
شکل ۴-۲۴: نمودار کموگراف تغییرات EC در دشت رخ..... ۶۶
شکل ۴-۲۵: نقشه تیسن‌بندی دشت رخ با استفاده از اطلاعات پیزومترها..... ۶۷
شکل ۴-۲۶: هیدروگراف معرف دشت رخ ۶۷
شکل ۴-۲۷: ستون زمین شناسی چاه اکتشافی جلگه رخ ۶۸
شکل ۴-۲۸: نمودار انرژی مصرفی چاه‌های کشاورزی ۷۸
شکل ۴-۲۹ : نمودار مجموع تقاضای مصرفی میانگین چاه‌های کشاورزی..... ۷۹

شکل ۴-۳۰: نمودار مقایسه آبدهی قنات‌ها قبل و بعد از عملیات انسداد.....۸۰
شکل ۴- ۳۱: موقعیت چاه‌های غیر مجاز و قنات‌ها ۸۱
شکل ۴-۳۲ : نمودار روند افت در دوره‌های مختلف ۸۲

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱ فعالیت‌های طرح احیا و تعادل‌بخشی ۳۱
جدول ۴-۱: مختصات سطح آب پیزومترها در شهریور ماه سال ۷۱ و ۸۶ و ۹۷ ..... ۴۹
جدول ۴-۲ مشخصات چاه‌های انتخابی در دشت رخ ۶۳
جدول ۴-۳- محاسبه آب ورودی و خروجی زیرزمینی در آبخوان رخ ۷۱
جدول ۴-۴- نتایج بیلان هیدروکلیماتولوژی ۷۲
جدول ۴-۵- خلاصه نتایج حاصل از محاسبات بیلان جزء به جزء آبخوان آبرفتی رخ سال ۹۲-۹۱ ..... ۷۳
جدول ۴-۶- محاسبه آب ورودی به آبخوان رخ سال ۹۶-۹۷ ..... ۷۴
جدول ۴-۷- محاسبه آب خروجی از آبخوان رخ ۷۴
جدول ۴-۸ - نتایج بیلان هیدروکلیماتولوژی ۷۵
جدول ۴- ۹ خلاصه نتایج حاصل از محاسبات بیلان جزء به جزء آبخوان آبرفتی رخ سال ۹۶- ۹۷ ..... ۷۶
جدول ۴- ۱۰ تغییرات حجم در سالهای قبل و بعد از اجرای طرح تعادل‌بخشی ۷۷
جدول ۴-۱۱ قنات‌های محدوده نسر ۸۰

فصل اول: مقدمه

مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین نیازهای بشری است که به صورت چشمه، رودخانه و آب زیرزمینی در طبیعت وجود دارد و از آن می‌توان بهره برد. در قرن اخیر، در کنار رشد جمعیت، پیشرفت‌های تکنولوژیکی و کشاورزی انگیزه بیشتری را برای افزایش سطح زیر کشت آبی فراهم کرده است. این امر به ویژه از دهه ۱۳۴۰ به بعد منجر به حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق گردیده است. بهره‌برداری از قنات‌ها و چاه‌های دستی در افت سطح ایستابی تأثیر چندانی ندارد. اما حفر چاه عمیق با مکش بالا منجر به افت شدید سطح آب زیرزمینی گردیده است تا جایی که امروزه اکثر دشت‌های کشور با بحران کاهش سطح آب زیرزمینی روبرو هستند. مباحث و مطالعاتی که پیرامون موضوع آب به‌عنوان محوری‌ترین اجزای توسعه پایدار صورت پذیرفته به دلیل مدیریت ضعیف، ناکارآمد و ناپایدار آب می‌باشد. مدیریت ضعیف آبیاری نیز در ایران منجر به افزایش تقاضا برای این نهاده حیاتی و همچنین هدر رفتن مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای از آن گردیده است. مسائل مدیریتی بایستی در چهارچوب برنامه‌ریزی چند هدفه بررسی گردد که در این‌گونه موارد روش‌های متعددی جهت تصمیم‌گیری پیشنهاد شده است.

۱-۱-تعریف مسأله و ضرورت انجام تحقیق

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. کمبود آب در آغاز هزاره سوم و در دهه دوم قرن ۲۱ به یکی از اساسی‌ترین معضلات بشر تبدیل گشته و مرزهای سیاسی و فرهنگی و اعتقادی نمی‌توانند آن را محصور سازد و آینده حیات بشری را مورد تهدید قرار داده است (Gertner.2007). در سال‌های اخیر فشار به منابع آب زیرزمینی کشور جهت تأمین آب مورد نیاز بخش‌های مختلف فزونی یافته است. همچنین به دلیل کاهش نزولات آسمانی در سال‌های گذشته و کم شدن حجم منابع آب سطحی و گسترش سطح زیر کشت محصولات با نیاز آبی بالا و برداشت‌های بی‌رویه از طریق حفر چاه‌های غیرمجاز، منابع آب زیرزمینی این دشت با خطر نابودی مواجه شده است (اسدبیگی، ۱۳۹۵). کمبود آب، به ویژه آب با کیفیت خوب یکی از عوامل مهم بازدارنده توسعه کشاورزی و اقتصادی و اجتماعی در اکثر کشورهای در حال توسعه، به خصوص کشورهای واقع شده در کمربند خشک و نیمه‌خشک و گرم جهان است (شریفی،۱۳۸۷). وزارت نیرو بر اساس برنامه‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت و در راستای استفاده بهینه از این منابع ارزشمند طرحی را ارائه داده که بر این اساس در سال ۱۳۹۳ طرح ملی " احیا و تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی کشور" در شورای عالی آب تصویب گردید که در آن وزارت نیرو با همکاری سایر ارگان‌های ذی‌ربط (به خصوص جهاد کشاورزی) موظف به احیاء و تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی کشور و حفاظت هر چه بیشتر از آبخوان‌های کشور

گردیده است. از مهم‌ترین بخش‌های این طرح می‌توان به نصب دستگاه کنتور حجمی و هوشمند آب و برق به منظور کنترل برداشت چاه‌ها، انسداد چاه‌های غیرمجاز، طرح تغذیه مصنوعی و استفاده از پساب در کشاورزی و.. اشاره کرد. بنابراین با توجه به محوری بودن آب در برنامه‌های توسعه پایدار هر منطقه، مدیریت منابع محدود آب زیرزمینی یک امر ضروری بوده که بیش از گذشته احساس می‌گردد. مدیریت صحیح آبخوان نیاز به شناخت وضعیت هیدروژئولوژیکی موجود و همچنین تغییرات آن در شرایط مختلف دارد.

حوضه آبریز دشت رخ بخشی از حوضه آبریز کویر مرکزی در شمال شرق ایران واقع شده و یکی از دشت‌های استان خراسان رضوی بوده که در جنوب این استان قرار دارد. در این دشت تعداد ۴۶۴ حلقه چاه فعال با حجم ۱۷۵ میلیون مترمکعب و ۱۷۰ رشته قنات با حجم ۱۲ میلیون مترمکعب و تعداد ۲۷۸ چشمه با حجم ۱۰/۶ میلیون مترمکعب وجود دارد. در دهه اخیر در اثر افزایش سطح زیر کشت و توسعه غیراصولی کشاورزی و بدون در نظر گرفتن توازن بین تغذیه و تخلیه آبخوان دشت، از چاه‌های بهره‌برداری بی‌رویه برداشت غیرمجاز صورت گرفته که این امر منجر به ایجاد شرایط بحرانی در آبخوان شده است. یکی از راهکارهای اجرایی در جهت حفظ و کنترل کیفی و کمی این آبخوان، اجرای برخی از فعالیت‌های طرح تعادل‌بخشی می‌باشد. اجرای این طرح می‌تواند بر روی شرایط هیدروژئولوژیکی این آبخوان اثر گذاشته باشد که در طول این تحقیق با محاسبه بیلان آب زیرزمینی برای دوره قبل و بعد از شروع اجرای طرح می‌توان به بررسی اثرات این طرح پرداخت. بنابراین، هدف از انجام این تحقیق، مطالعه هیدروژئولوژی آبخوان دشت رخ در راستای اثرات انجام فعالیت‌های طرح تعادل‌بخشی در این محدوده در دوره‌های مختلف می‌باشد.

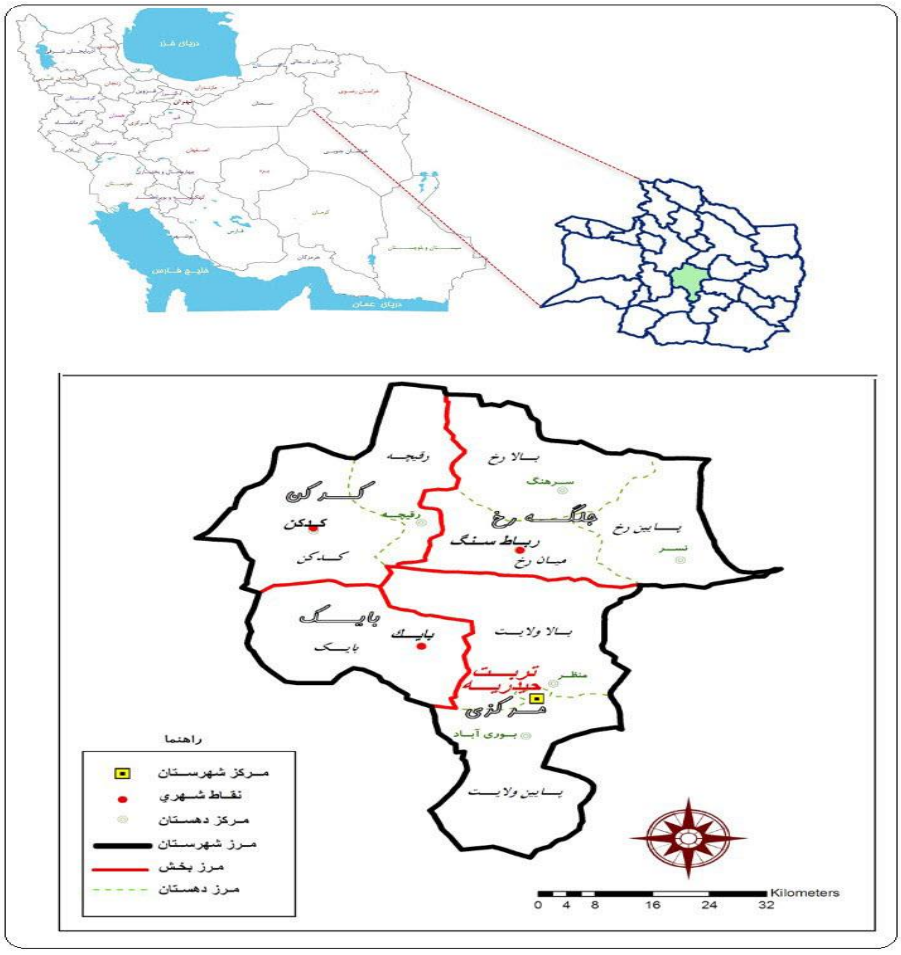
۱-۲- موقعیت جغرافیایی دشت مورد مطالعه

از نظر تقسیمات سیاسی، دشت رخ شامل بخش جلگه رخ به مرکزیت شهر رباط‌سنگ، بخش کدکن به مرکزیت شهر کدکن و قسمت بسیار جزئی از بخش بایگ شهرستان تربت‌حیدریه می‌باشد (شکل ۱-۱).

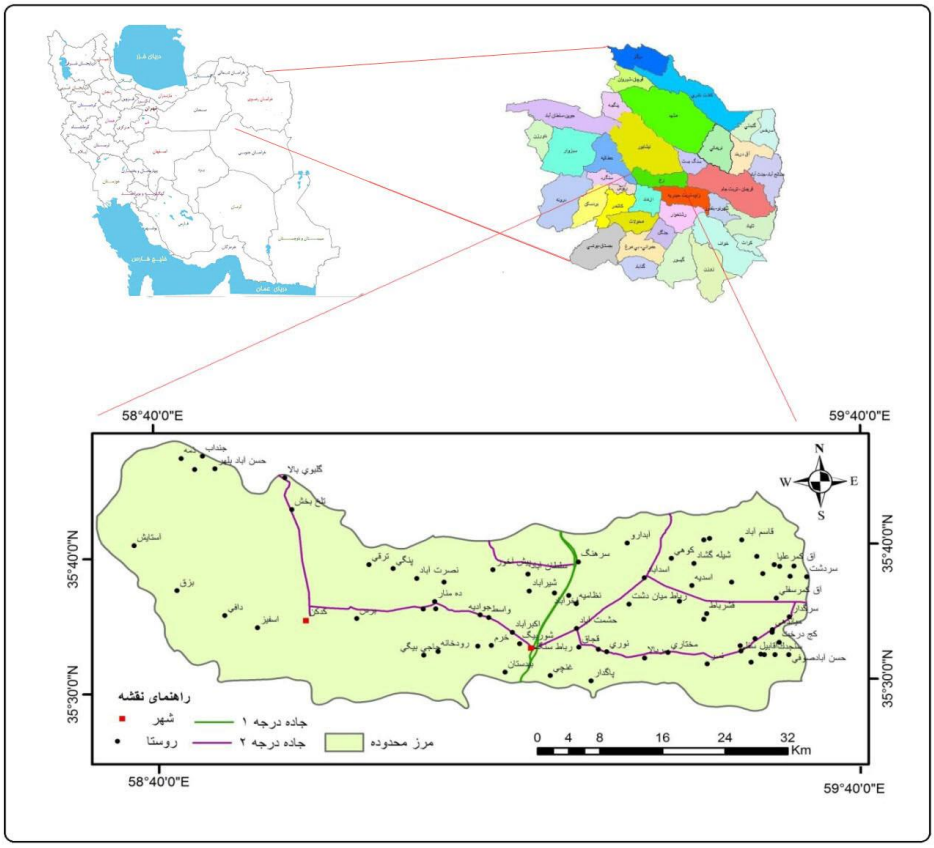
حوضه آبریز دشت رخ با مساحت ۲۱۸۲ کیلومترمربع در بخش شمال‌شرقی حوضه آبریز کویر مرکزی ایران و در شمالی‌ترین قسمت شهرستان تربت‌حیدریه بین عرض جغرافیایی ۳۵ درجه ۲۸ دقیقه تا ۳۵ درجه ۴۹ دقیقه شمالی و طول ۵۸ درجه ۳۵ دقیقه تا ۵۹ درجه ۳۵ دقیقه شرقی قرار دارد. این حوضه از شمال به حوضه آبریز کشف‌رود - هریرود و از شمال‌غرب و غرب به حوضه آبریز کال شور و کویر مرکزی، از جنوب به حوضه آبریز بیابان لوت و از شرق به حوضه آبریز نمک‌زار خواف محدود می‌شود (شکل ۱-۲).

۱-۳- توپوگرافی حوضه آبریز دشت رخ

جهت و امتداد دشت شرقی‌غربی است. که قسمت شرقی سطح دشت نسبت به قسمت غربی آن مرتفع‌تر می‌باشد. قسمت شمالی حوضه از نظر توپوگرافی دارای پراکندگی بیشتر و شیب ملایمی است اما قسمت جنوبی کوهستانی با دره‌های نسبتاً پرشیب می‌باشد. کوه ملکان با ارتفاع ۲۹۵۸ متر بلندترین نقطه ارتفاعی حوضه و شهرستان تربت‌حیدریه در حاشیه جنوب‌شرقی دشت با ۱۳۷۸ متر پست‌ترین نقطه محدوده مورد مطالعه است. ارتفاعات منطقه مورد مطالعه شامل ارتفاعات جنوبی که همچون دیواری بلند دشت رخ را از دشت‌های زاوه-تربت‌حیدریه و ازغند جدا ساخته است. ارتفاعات شمالی، دشت رخ را از حوضه‌های آبریز



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان تربت‌حیدریه و جلگه‌رخ

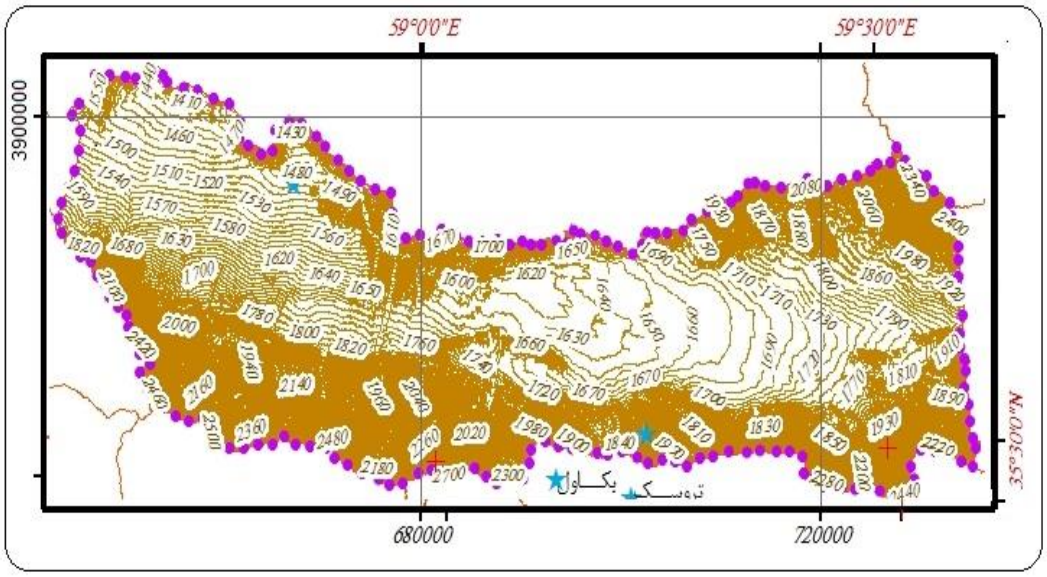


شکل ۱-۲- موقعیت جغرافیایی دشت مورد مطالعه و راه دسترسی

دشت‌های نیشابور و سنگ‌بست جدا می‌کند. مساحت ارتفاعات در دشت مورد مطالعه حدود ۷۹ هزار کیلومترمربع و مساحت دشت ۱۱۰۰ کیلومترمربع می‌باشد (شکل ۱-۳).

۱-۴- اقلیم‌شناسی منطقه

در محدوده مورد مطالعه دو ایستگاه باران‌سنجی وزارت نیرو، دو ایستگاه باران‌سنجی سازمان هواشناسی و یک ایستگاه کلیماتولوژی سازمان هواشناسی وجود دارد. میانگین دمای سالانه دشت در حدود ۲۵ درجه است. دشت رخ با میانگین بارش سالانه ۲۸۰ میلی‌متر جزء مناطق کم بارش قلمداد شده و با توجه به استعداد کشاورزی منطقه با کمبود منابع آبی روبروست. بیشترین بارندگی در سال‌های آبی ۵۷-۵۸ و ۷۱-۷۲ و ۷۶-۷۷ به ترتیب با بارندگی ۴۰۵، ۴۶۰ و ۵۳۲ میلی‌متر رخ داده است. دشت مذکور از نظر اقلیمی در قلمرو اقلیم خشک تا نیمه‌خشک قرار دارد. میزان بارندگی در ارتفاعات ۳۷۶ میلی‌متر و در دشت ۲۹۰ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۱-۳- نقشه توپوگرافی دشت مورد مطالعه

۱-۵- زمین‌شناسی دشت مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در زون زمین‌شناسی ایران مرکزی واقع شده است و پیچیده‌ترین و گسترده‌ترین زون زمین‌شناسی ایران است و در طی دوره‌های زمین‌شناسی تحولات بسیاری را پشت سر گذاشته است.

۱-۵-۱- چینه‌شناسی دشت رخ

تشکیلات زمین‌شناسی از پرکامبرین تا عهد حاضر در سطح آن رخنمون دارد. افیولیت ملانژها، رسوبات تخریبی‌آواری و رسوبات آبرفتی، واحدهای زمین‌شناسی رخنمون یافته در سطح محدوده می‌باشند. در ادامه وضعیت چینه‌شناسی و زمین‌ساخت منطقه شرح داده شده است.

۱-۵-۱-۱- مزوزوئیک (دوران دوم)

واحد usr

واحد چینه سنگی فوق با سن کرتاسه تحتانی در محدوده مطالعاتی و در نوار مرزی زیر حوضه های رخ و نیشابور و نیز در غرب زیر حوضه نیشابور گسترش دارد که سهم بخش میانی محدوده بیش از سایر نقاط است. روند آن در بخش میانی تقریبا شرقی-غربی بوده به طوری که کنتاکت شمالی و جنوبی آن پادگانه‌های جوان آبرفتی و کنتاکت‌های غربی-شرقی آن با واحد ucm شامل سرپانتینیت، گدازه، دیاباز، گرانوفیرها است

واحد ucm

این واحد چینه سنگی شامل سرپانتینیت، گدازه، دیاباز، گرانوفیر با سن کرتاسه میانی بوده و رخنمون سطحی این واحد بیشتر در ناحیه نوار مرزی بین حوضه‌های دو گانه رخ و نیشابور است و اندکی از پراکندگی‌ها در بخش جنوبی زیر حوضه رخ نیز ملاحظه می‌شود. نواحی بسیار وسیعی از مرزهای این واحد در تماس با پادگانه‌های جوان و قدیمی آبرفتی یا واحدهای Qt2 و Qt2 است و به سبب وسعت نسبتا زیاد و شدت تکتونیزه بودن ارتباط تنگاتنگی با تغذیه سفره و آبخوان دارد.

واحد ugb

این واحد چینه سنگی شامل سنگ‌های گابرو و دیوریت با قدمت کرتاسه میانی بوده و به صورت پراکنده در محدوده ملاحظه می‌شود به طوری که در جنوب زیر حوضه رخ و در نوار مرزی زیر حوضه‌های رخ و نیشابور گسترش دارد و در نواحی مرکزی و جنوبی به صورت محاط شده در واحد ucm است.

۱-۵-۱-۲- سنوزوئیک (دوران سوم)

واحد PEs

این واحد متعلق به پالئو-ائوسن یوده و شامل ماسه سنگ و سنگ آهک نومولیتی در شمال‌غربی زیر حوضه آبریز رخ رخنمون دارد و از مشخصه‌های بارز آن تمرکز در یک محدوده از حوضه و عدم پراکندگی آن است. با توجه به ماهیت لیتولوژیکی از نفوذپذیری نسبتا کم برخوردار بوده و به لحاظ ذخیره سازی سازندی نسبتا فقیر می باشد.

واحد Em1

مارن و گچ‌های خاکستری و قرمز این واحد آواری متعلق به ائوسن بوده و در جنوب‌شرق منطقه و عمدتا به صورت محدوده نواری در جنوب زیر حوضه رخ با راستای شرقی- غربی کشیده شده است. عمده کنتاکت این مارن و گچ‌های خاکستری و قرمز با واحد Ngst و Eos در جنوب حوضه می‌باشد.

واحد Eos

این واحد آذرآواری متعلق به دوره ائوسن و در جنوب منطقه رخنمون و گسترش داشته و روندی شرقی‌غربی دارد. به لحاظ سنگ‌شناسی شامل کنگلومرا با پبلهای ولکانیکی بوده و از نفوذپذیری نسبتا متوسط برخوردار است و دارای پتانسیل محدود آب زیرزمینی می‌باشد از طرفی به سبب وجود طبقات کنگلومرایی اثرات منفی کمی بر کیفیت منابع آب حوضه خواهد داشت.

واحد Ean

این واحد آذرین نفوذی در جنوب‌غربی و غرب رخنمون داشته و شامل آمفیبول آندزیت و تراکی پیروکسن آندزیت است. رخنمون‌های این واحد عمدتا در ارتباط با واحد Eos و پادگانه‌های آبرفتی Qt2 است. این واحد از نفوذپذیری بسیار کم برخوردار بوده و فاقد ذخیره سازندی آب زیرزمینی می‌باشد.

واحد Et

این واحد شامل مارن و مارن‌های قرمز رنگ در جنوب‌غربی زیر حوضه رخ قرار داشته و در مجاورت واحد Eos می‌باشد و به دلیل مارن‌های گچ‌دار اثرات منفی زیادی بر کیفیت منابع آب دارد. این واحد نیز نفوذپذیری خیلی کم داشته و فاقد ذخیره آب زیرزمینی می‌باشد.

واحد Osc

این واحد آواری با لیتولوژی ماسه‌سنگ خاکستری رنگ، کنگلومرا و سیلتستون متعلق به الیگومیوسن بوده و جوان‌ترین واحد پالئوژن می‌باشد و در جنوب و جنوب‌شرقی زیر حوضه رخ قرار دارد. کنتاکت اصلی این واحد با واحدهای Eos و Em1 می‌باشد.با توجه به ماهیت لیتولوژیکی از نفوذپذیری کمی برخوردار است و فاقد ذخیره قابل توجه آب زیرزمینی می‌باشد.

واحد Ngst

این واحد به کنگلومرای نئوژن معروف بوده و اولین یا قدیمی‌ترین واحد نئوژن است. کنگلومرا و ماسه سنگ‌های این واحد به طور پراکنده در نوار جنوبی زیر حوضه رخ گسترش داشته و معمولا از یک سو با رسوبات ائوسن (خصوصا واحد Eos) در ارتباط است و از سوی دیگر در تمام طول خود در کنتاکت عادی با پادگانه‌های آبرفتی جوان و قدیمی (Qt1 و Qt2) است. این واحد با توجه به طبقات ضخیم تا متوسط کنگلومرا و ماسه‌سنگ از نفوذپذیری نسبتا متوسط تا کم برخوردار بوده و دارای ذخیره آب زیرزمینی می‌باشد ولی به سبب وجود پراکندگی زیاد و گسترش‌های طولی و لیتولوژی مارن در واحد مزبور به عنوان سنگ کف مخزن سفره آب زیرزمینی در منطقه نقش داشته و ذخیره سازندی آن قابل توجه نبوده و اثرات کیفی متوسط تا بدی بر منابع آب دارد.

واحد Plqc

کنگلومرای پلیو-کواترنر این واحد با سیمان ضعیف و چین خورده بوده و در جنوب‌شرق زیر حوضه رخ گسترش دارد. مرزهای این واحد عمدتا در تماس با پادگانه‌های آبرفتی جوان و قدیمی (Qt1 و Qt2) و واحد Em1 و Ngst است. این واحد به سبب سیمان ضعیف نقش سنگ بستر را دارد. بنابراین

آب‌های نفوذ یافته در گستره آبرفت‌های جوان و قدیمی در این نواحی بر روی کنگلومرای پلیوسن-کواترنر ذخیره شده و ذخایر آبرفتی قابل توجهی را به لحاظ کمی و کیفی تشکیل می‌دهند.

۱-۵-۱-۳- رسوبات کواترنری

واحد Qt1

نهشته‌های آبرفتی قدیمی در قسمتهای مختلف منطقه در حاشیه دشت و همچنین در ارتفاعات مشرف به آنها گسترش دارد. در محدوده رخ نهشته‌های آبرفتی قدیمی گسترش قابل توجهی در حواشی ارتفاعات شمالی و جنوبی دارد.

این نهشته‌ها از قطعات مختلفی از عناصر متشکله سازندها و واحدهای زمین‌شناسی قدیمی‌تر با جورشدگی نسبتا بد در زمینه رسی و رسی سیلتی و غیره تشکیل یافته است . پتانسیل ذخیره آبرفتی در این نهشته‌ها با توجه به ذرات تشکیل دهنده و نوع سیمان و نسبتا دانه‌ریز بودن آن، نسبتا محدود می باشد و اغلب ذخیره آبرفتی آنها (ارتفاعات) توسط چشمه‌ها و قنات‌ها تخلیه می‌گردد.

این آبرفت‌ها همچنین در تماس با مارن‌های گچ‌دار، ماسه‌سنگ و سیلتستون متعلق به واحد Ngst، می‌باشد. بنابراین رواناب نفوذی از گستره این واحد با کیفیت خوبی همراه نبوده و ضمن نفوذ ، اثرات منفی برکیفیت آب‌های ذخیره شده در مخازن آبرفتی (Qt2) برعهده دارد. نهشته‌های مزبور در حد قلوه سنگ و ریگ همراه با تخته سنگ بوده که با جورشدگی نسبتا بد در زمینه رسی تشکیل یافته است.

واحد Qt2

نهشته‌های آبرفتی جدید بخش مرکزی منطقه را تشکیل می‌دهدکه سفره غنی آب زیرزمینی را نیز در خود جای داده و بیشترین وسعت را در میان سازندها و واحدهای زمین‌شناسی قابل رخنمون در منطقه به خود اختصاص داده است. در میان گستره آبرفت‌های جدید در بخش مرکزی زیر حوضه رخ، رخنمونی از واحدهای زمین‌شناسی ماقبل کواترنر وجود ندارد. بنابراین با توجه به بررسی‌های زمین‌شناسی سفره دشت رخ به صورت یکپارچه و واحد می‌باشد.

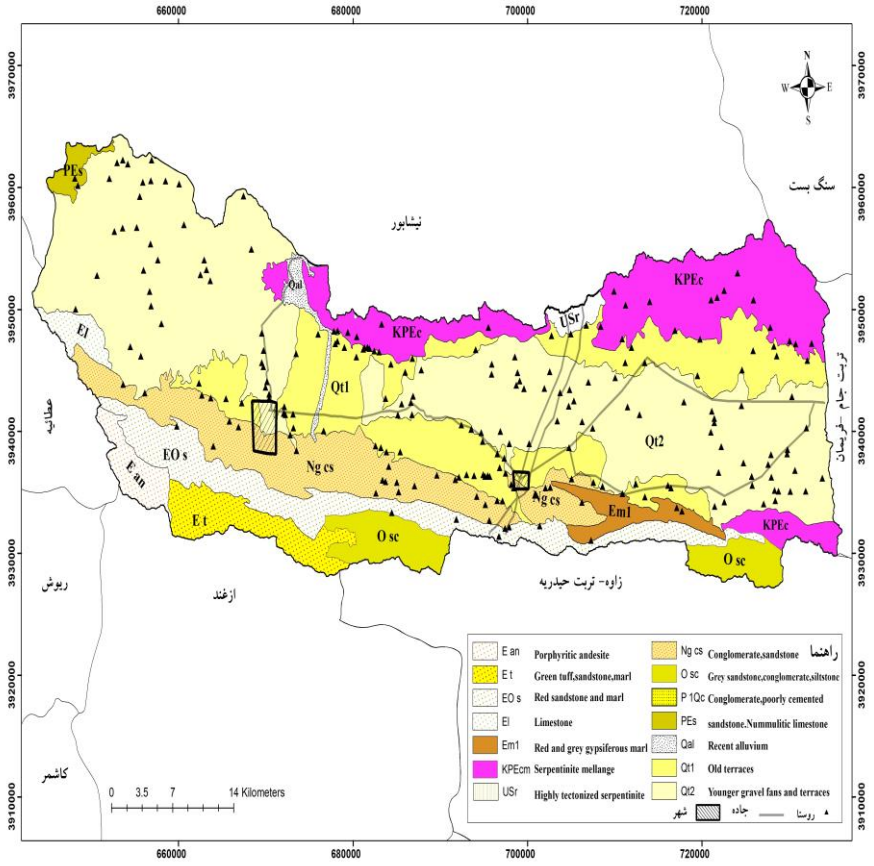
اندازه ذرات متشکله این آبرفت‌ها که از نفوذپذیری نسبتا زیادی برخوردار بوده کمتر از نهشته‌های آبرفتی Qt1 بوده و عموما در حد سیلت، ماسه، رس و بعضا شن و ریگ می‌باشد. با توجه به ضخامت زیاد این نهشته‌ها و قرارگیری بر روی سنگ بسترهای نفوذناپذیر و یا با نفوذپذیری خیلی کم، سفره‌های غنی از آب زیرزمینی را به صورت مجزا در منطقه به وجود آورده است.

واحد Qal

نهشته‌های جوان منطقه عمدتا در بستر رودخانه و همچنین مسیل‌ها و کال‌های اصلی که به رودخانه ها می‌پیوندد، واقع شده است. این نهشته‌ها از ماسه، شن، ریگ، سنگ‌ریزه، قطعات و گراول‌های سنگی با گردشدگی نسبتا خوب بدون سیمان تشکیل یافته و به سبب نفوذپذیری زیاد تا بسیار زیاد، بستر مناسبی جهت تغذیه طبیعی ناشی از جریان‌های سیلابی می باشد.

۱-۵-۲- زمین‌شناسی ساختمانی

وجود رخنمون واحدهای سنگی سلطانیه، لالون، بهرام و غیره مربوط به پوسته قاره‌ای در جنوب گسل بینالود و زیر پهنه بینالود و عدم وجود این واحدهای سنگی و واحدهای سنگی جوان‌تر به سن مزوزوئیک با رخساره مربوط به سکوی قاره‌ای در گستره مورد مطالعه همراه با گسترش وسیع مجموعه افیولیتی و پیش‌رونده قرارگرفتن سنگ‌نهشته‌های تخریبی ائوسن بر روی افیولیت‌ها نشان می‌دهد که به احتمال زیاد این منطقه فاقد پی‌سنگ قاره‌ای بوده و دارای یک پی‌سنگ افیولیتی است. این پی‌سنگ به سمت بخش‌های جنوبی‌تر (خارج از) محدوده تا آبادی عباس‌آباد واقع در شمال شهرستان تربت‌حیدریه ادامه دارد. پوسته اقیانوسی در این پی‌سنگ افیولیتی با توجه به سن کامپانین-مائستریشتین سنگ‌نهشته‌های آهکی پلاژیک آن در کرتاسه پایانی هنوز به صورت بخشی از ژرف‌دریای نئوتتیس باز و رسوب‌گذاری در آن صورت می‌گرفته است. حرکات کوهزایی بعد از کرتاسه پایانی و قبل از ائوسن سبب بسته شدن ژرف‌دریای نئوتتیس و چین‌خوردگی و برون‌زد مجموعه افیولیتی گردیده، به طوری که به دلیل بالا آمدگی و برجستگی قدیمی زمین‌ریخت حاصل از این چین‌خوردگی و تشکیل حوضه‌های رسوبی متفاوت در گستره مورد مطالعه رخساره‌های متفاوتی از سنگ‌های رسوبی تخریبی ائوسن-الیگوسن به طور پیش‌رونده بر روی این مجموعه افیولیتی قرارگرفته است.



شکل ۱-۴- زمین‌شناسی دشت مورد مطالعه

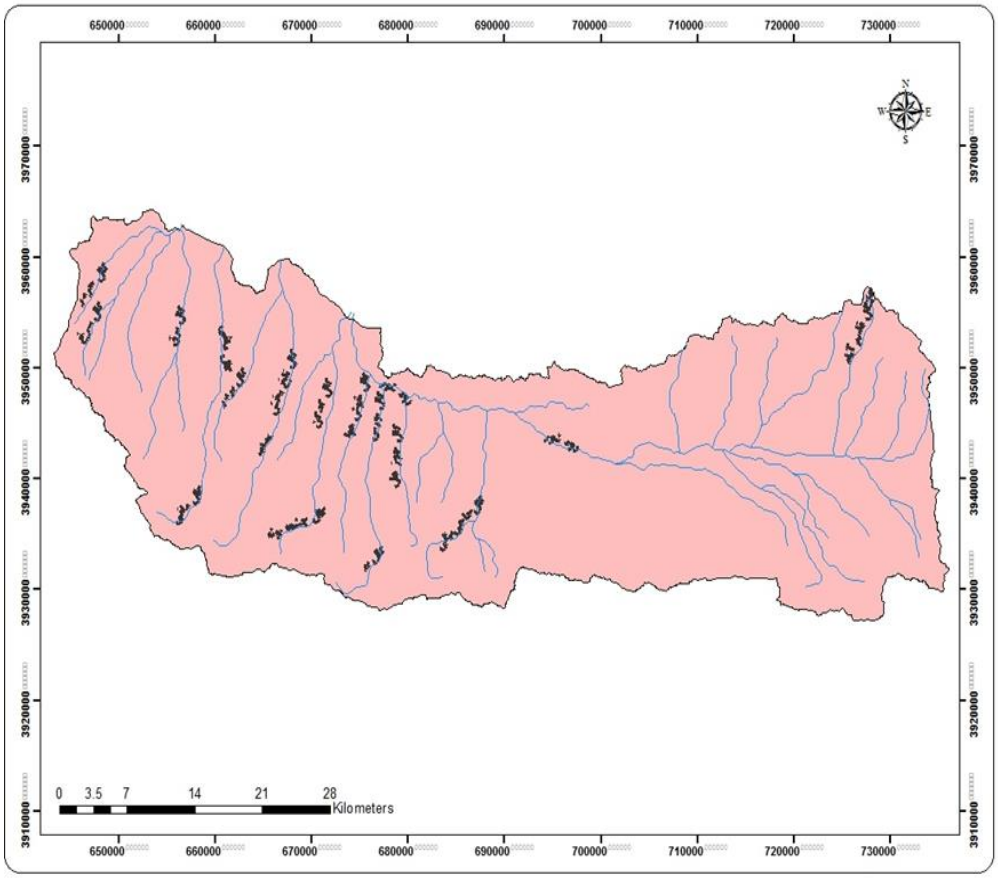
۱-۶- زمین‌شناسی ریخت‌شناسی

مورفولوژی محدوده مورد مطالعه در بخش‌های شمال و جنوبی اکثراً به صورت تشکیلات ارتفاع‌ساز می‌باشد. کهن‌ترین سازند بررسی شده در محدوده مطالعاتی شامل آمیزه‌های افیولیتی به سن کرتاسه و جوان‌ترین سازندها نیز نهشته‌های آبرفتی عهدحاضر و نهشته‌های بستر رودخانه‌ای است که در مناطق پست و هموار دشت نهشته شده‌اند.

۱-۷- هیدرولوژی حوضه آبریز دشت رخ

در حوضه مورد مطالعه جریانات سطحی از نوع فصلی بوده و چند ماهی از سال آبدار هستند. از رودخانه‌های فصلی منطقه می‌توان به رودخانه کدکن، حاجی‌بیگی، برس، خوش‌هوا، اسفیز، دافی، نسر و رودشور رخ اشاره کرد. رودخانه نسر از ارتفاعات جنوبی منطقه (کوه‌جام) سرچشمه گرفته و در امتداد جنوب جریان یافته و پس از طی مسافتی در محل دره کلوزمانند، با تغییر جهت به سمت شمال حوضه ادامه پیدا می‌کند. مساحت حوضه رودخانه مذکور ۴۰ کیلومترمربع و طول آبراهه اصلی آن ۱۱ کیلومتر است. رودخانه حاجی‌بیگی و کال رودخانه از ارتفاعات جنوبی منطقه از دامنه شمالی کوه‌های شصت‌دره در جنوب‌غرب و شرق کوه‌های بکاوی در جنوب‌شرق حوضه، سرچشمه گرفته و

پس از طی مسافتی، در شمال مرکز حوضه رودخانه یاد شده به هم پیوسته و به سمت شمال حوضه جریان پیدا می‌کند. مساحت حوضه رودخانه مذکور ۵۶ کیلومترمربع و طول آبراهه اصلی آن ۱۱ کیلومتر است. رودخانه دافی از ارتفاعات جنوبی منطقه، کوه‌گچ در جنوب‌غربی حوضه این رودخانه سرچشمه گرفته و به جهت شرق جریان می‌یابد و بعد از حدود ۱/۵ کیلومتر به جهت شمال تغییر مسیر داده و با همین جهت به سمت خروجی حوضه ادامه می‌یابد. مساحت حوضه این رودخانه ۳۷/۷ کیلومترمربع، طول آبراهه اصلی آن ۱۶ کیلومتر است. رودخانه اسفیز از ارتفاعات جنوب‌غربی کوه چهل تن سرچشمه گرفته است. این رود از ابتدا تا انتها با جهت جنوبی‌شمالی جریان می‌یابد و از سمت شمال حوضه خود به رودشور رخ (کال شور) ملحق می‌شود. مساحت حوضه آبگیر این رودخانه 46کیلومترمربع و طول آبراهه اصلی آن ۹/۵ کیلومتر است. رودخانه کدکن از دامنه شمالی کوه‌های جنوبی منطقه و از شرق کوه چهل‌تن، در جنوب‌شرقی شهر کدکن با جهت شرقی‌غربی سرچشمه گرفته و سپس در شمال کوه چهل‌تن، به جهت شمال تغییر مسیر داده و با همان جهت پس از مشروب کردن اراضی کشاورزی و باغات در شمال‌غربی منطقه مورد مطالعه به رودشور رخ می‌پیوندد. وسعت حوضه این رودخانه ۳۵ کیلومترمربع، طول آبراهه اصلی آن ۹/۴ کیلومتر است.



شکل ۱-۵- نقشه موقعیت آبراهه‌های دشت مورد مطالعه

۱-۸- هیدروژئولوژی حوضه دشت رخ:

از منابع آب زیرزمینی به سه شکل قنات، چشمه و چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق بهره‌برداری می‌شود. چاه‌های عمیق در ابتدا به صورت مکمل در کنار قنات‌ها بودند، اما در مدت زمان کوتاهی جایگزین آن‌ها شدند. از آنجا که از ابتدای گسترش چاه‌های عمیق بدون توجه به بیلان آب سفره‌های آب زیرزمینی صورت می‌گرفت، برداشت آب از میزان تغذیه سالیانه آن‌ها بیشتر شده و آب بیش از ظرفیت سفره از آن استخراج می‌شد. ادامه این روند تاکنون باعث افت شدید و گسترده سطح آب سفره، کاهش منابع آب زیرزمینی، کاهش آبدهی چاه‌ها، نشست زمین، پیدایش حفره‌های زیاد، ایجاد درز و شکاف‌های وسیع و عمیق در اراضی کشاورزی و نهایتاً منجر به خشک شدن چاه‌ها و قنات‌های بسیاری گشته است.

۱-۹- اثرات واحدهای زمین‌شناسی رخنمون یافته

یکی از مهم‌ترین عوامل در تعیین کمیت و کیفیت آب زیرزمینی، جنس و گسترش واحدهای زمین‌شناسی است. در این میان واحدهای آبرفتی و آهکی (در صورت گسترش پدیده کارست در آن‌ها) چه به لحاظ کمی و چه کیفی تأثیر مثبتی در منابع آب زیرزمینی دارند. واحدهایی چون گچ و مارن باعث تخریب کیفیت آب زیرزمینی می‌شوند و به لحاظ کیفی این منابع را تحت تأثیر قرار می‌دهند. سنگ‌های دگرگونی و آذرین ذاتاً سنگ‌هایی سخت و نفوذناپذیر هستند ولی در صورت ایجاد تخلخل ثانویه (گسترش درز و شکاف‌ها و شکستگی‌های ناشی از گسلش) می‌توانند منابع آبی مناسبی باشند. بیشتر مساحت این محدوده توسط رسوبات آبرفتی و مخروط‌افکنه‌ها پوشیده شده است.

در سطح محدوده مطالعاتی رخ تشکیلات سنگی رخنمون یافته به لحاظ پتانسیل کارستی شدن و توسعه انحلالی ضعیف می‌باشند ولی از طریق فرآیندهای تکتونیکی (گسل‌ها و درزه‌ها) و هوازدگی شیمیایی، میزان خلل و فرج در آن‌ها افزایش یافته و برخی تشکیلات از نفوذپذیری قابل‌توجهی برخوردار شده‌اند. نزولات جوی قابل‌توجه و برف‌گیر بودن ارتفاعات نیز عامل اصلی در بالا بردن قابلیت آبدهی این رسوبات می‌باشد. به دلیل هوازدگی شیمیایی سنگ‌های افیولیتی نیز عمدتاً به سرپانتینیت تبدیل شده و کیفیت آب خروجی از چشمه‌های موجود در این تشکیلات خوب بوده و میزان املاح آن‌ها اندک است. گسل‌خوردگی تشکیلات ماسه‌سنگی و کنگلومرایی در ارتفاعات جنوبی و نزولات جوی قابل‌توجه در این ناحیه باعث گردیده این رسوبات از نفوذپذیری قابل‌توجهی برخوردار باشند و کیفیت آب خروجی این رسوبات با توجه به میزان املاح تبخیری موجود در آن‌ها متفاوت است. ولی به طور کلی آب‌های خروجی از این تشکیلات ماسه‌سنگی کنگلومرایی مناسب هستند. در محدوده رباط‌سنگ و سرگل، رسوبات مارنی گچی ائوسن و نئوژن از نفوذپذیری اندکی برخوردار بوده و در محل تماس با آب‌های سطحی و زیرزمینی، تخریب کیفیت آب‌های این محدوده را سبب می‌شوند.

فصل دوم:

مروری بر مطالعات پیشین درخصوص خصوصیات کمی و کیفی منابع آب و اثر طرح تعادل‌بخشی

۲-۱- مقدمه

کمبود منابع آب قابل دسترسی در جهان یکی از چالش‌های اساسی پیش روی بشر، به ویژه نسل‌های آینده است. این مشکل برای کشورهایی همچون ایران که دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک می‌باشد از دیرباز وجود داشته است. این مشکل در کشور ما به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی و شرایط طبیعی نامساعد، عدم بهره‌وری مناسب و تلفات زیاد آب در بخش‌های مختلفِ کشاورزی، شرب، بهداشت و صنعت، به‌صورت مضاعف دیده می‌شود. از منابع آبی مهم، سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشند که به دلیل استفاده بی‌رویه از این منابع سطح سفره‌های آب زیرزمینی دچار افت قابل‌ملاحظه‌ای شده‌اند. نوسانات سطح آب زیرزمینی با عوامل متعددی در ارتباط است که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تغییرات اقلیمی، میزان بارندگی و نفوذ، تبخیر از سطح سفره‌های آب زیرزمینی، برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی در جهت نیاز به توسعه و فعالیت‌های مختلف انسانی در زمینه‌ی کشاورزی - صنعت و تبادل آب رودخانه‌ها با آبخوان‌های آبرفتی اشاره نمود. افت سطح آب زیرزمینی سبب افزایش غلظت املاح تشکیل‌دهنده آب شده و این مسئله سبب کاهش کیفیت آب می‌شود، افت آب همچنین سبب نفوذ آب‌های شور به آبخوان، نشست زمین در اثر خالی شدن منافذ خاک، افزایش عمق چاه‌ها و کاهش دبی رودخانه‌های زهکش می‌شود (Panda et al.۲۰۰۷). در آبخوان به دلیل شرایط خاص طبیعی و هیدرولیکی، آب‌های شیرین به سمت آب‌های شور جریان یافته و بر روی آن قرار می‌گیرند، مگر آنکه با بهره‌برداری بیش از حد از سفره‌های آب شیرین، تعادل هیدرواستاتیکی تغییر کرده و آب‌های شور به سمت آب‌های شیرین جریان یابند. این پدیده به خوبی در بسیاری از حوضه‌های استان خراسان رضوی نیز مشاهده می‌شود. از سوی دیگر نبود مقررات، ضوابط، استانداردها و قوانین کافی در جهت کنترل برداشت از منابع آب و همچنین عدم اعمال سیاست‌های تشویقی و تنبیهی و عدم توجه به صرفه‌جویی، موجب شده است که بهره‌برداران بر ادامه برداشت بی‌رویه از منابع آبی و کاربرد ناصحیح آن با بازده بسیار پایین اصرار بورزند.

۲-۲- عوامل مؤثر بر تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی

عوامل بسیار زیادی بر عمق سطح آبهای زیرزمینی تأثیرگذار هستند که از این عوامل می‌توان به خشک‌سالی‌های پی در پی، کاهش بارندگی سالیانه و برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب اشاره کرد که در بیشتر موارد اثر هم زمان این عوامل کمیت منابع آب یک منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

۲-۲-۱- تأثیر خشک‌سالی

پدیده خشک‌سالی در طول دوره وقوع خود، منابع آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد به طوری که طی آن مقدار بارش‌ها در منطقه مورد نظر از میانگین درازمدت آن برای منطقه کمتر است.

به عبارتی خشک‌سالی وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دماست که ممکن است در هر شرایط اقلیمی به وجود آید. بنابراین پدیده خشک‌سالی ممکن است علاوه بر مناطق خشک و کم بارش، در مناطق مرطوب نیز رخ بدهد.

همچنین خشک‌سالی یک پدیده مطلق نبوده و نشان‌دهنده کمبود رطوبت نسبی می‌باشد، در این صورت افزایش تقاضای آب نیز می‌تواند خشک‌سالی ایجاد کند حتی در شرایطی که بارندگی به طور طبیعی بوده باشد. از مهم‌ترین علائم این پدیده می‌توان به کاهش جریانات سطحی، افت سطح آب زیرزمینی و کاهش رطوبت خاک اشاره نمود (علیزاده ۱۳۹۰).

در بررسی عوامل مؤثر در تغییر نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت کهریز، میزان بارندگی، تبخیر از سطح آب زیرزمینی و میزان نفوذ آب از رودخانه‌ها توسط اصغری مقدم و همکاران (۱۹۳۲) مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج نشان‌دهنده وقوع پدیده خشک‌سالی بوده است. همچنین با بررسی میزان تخلیه از آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی مشخص گردید که میزان تخلیه از آبخوان دشت کهریز بیش از مقدار مجاز بوده و این امر در کنار سایر عوامل هواشناسی و زمین‌ساختی باعث کاهش شدید سطح آب زیرزمینی و پس از آن کاهش کیفیت آب و وقوع پدیده تهاجم شوری از سوی دریاچه به این مناطق گردیده است.

شکیبا و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی خشک‌سالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI پرداخته و عنوان کرده‌اند در سال‌های گذشته شاخص‌های متعدد خشک‌سالی بررسی شده و ضرورتاً هرکدام از این شاخص‌ها با یکی از چهار نوع خشک‌سالی مرتبط است.

صبوحی و شیرزادی (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای با عنوان کاربرد برنامه‌ریزی چند هدفه، در مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه ساوجبلاغ، میزان تخصیص بهینه آب را در منطقه تعیین و درصد تغییرات آن را با شرایط موجود مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که مقدار بهینه پمپاژ در ماه‌های گرم سال افزایش می‌یابد. افزون بر آن، سطح زیر کشت محصولات زراعی در سال خشک نسبت به سال مرطوب به طور محسوسی کاهش را نشان داد.

پیترز و همکاران (Peters et al. 2008) به منظور بررسی چگونگی تأثیر خشک‌سالی بر منابع آب زیرزمینی،۱۰ زنجیره زمانی ۱۰۰۰ ساله را از تغذیه و تخلیه آب‌های زیرزمینی را با استفاده از روش نمونه‌گیری نزدیک‌ترین همسایه تولید کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که طول دوره خشک‌سالی با استفاده از روش مقادیر حدی با دوره بازگشت طولانی بر تخلیه بیشتر از تغذیه اثر دارد. آن‌ها در تحقیق خود نشان دادند کمبود بارندگی در سراسر سیستم هیدرولوژیکی باعث خشک‌سالی می‌شود.

همچنین خشک‌سالی‌های هواشناسی باعث کاهش سطح آب زیرزمینی شده و تعداد خشک‌سالی‌ها علت جابجایی توزیع خشک‌سالی‌ها می‌باشد.

صفی‌خوانی و همکاران (۱۳۹۵) به منظور بررسی تأثیر خشک‌سالی بر منابع آب زیرزمینی در دشت مشهد از شاخص SPI استفاده نمودند. یکی از بخش‌های متأثر شده از شرایط بلندمدت خشک‌سالی منابع آب زیرزمینی است که کمتر از سایر بخش‌ها مورد توجه می‌باشد. در این مطالعه طولانی‌ترین دوره خشک‌سالی، تعداد ماه‌های مواجه با خشک‌سالی و بزرگی خشک‌سالی بررسی و سپس بر اساس شاخص SPI تأثیر خشک‌سالی بر تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی منطقه بررسی شد. به منظور بررسی تأثیر خشک‌سالی بر منابع آب زیرزمینی نوسانات ماهانه SPI و سطح آب زیرزمینی در طی دوره آماری ۲۰ ساله محاسبه و ضریب همبستگی بین دو پارامتر مذکور نیز محاسبه شد. نتایج نشان داد که در دوره آماری مورد مطالعه تمام ایستگاه‌ها در منطقه با خشک‌سالی مواجه بوده‌اند. همچنین از بین معیارهای مورد توجه در شاخص SPI، معیار مجموع بزرگی خشک‌سالی (DM) معیار مناسب‌تری جهت نشان دادن وضعیت خشک‌سالی در منطقه تشخیص داده شد. در رابطه با تأثیر خشک‌سالی بر منابع آب زیرزمینی نیز مشخص شد خشک‌سالی‌های روی داده در افت سطح آب زیرزمینی تأثیر بسزایی گذاشته‌اند.

مقیمی و همکاران (۱۳۹۶)، ارزیابی اثرات خشک‌سالی (هواشناسی) بر تغییرات سطح ایستابی را در دشت بیجار، استان کردستان بررسی نمودند. در این تحقیق با استفاده از داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی و مقایسه آن با تراز آب زیرزمینی، تأثیر خشک‌سالی بر منابع آب زیرزمینی دشت بیجار مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه شدت، تداوم، درجه و پایان خشک‌سالی که وابسته به مقیاس زمانی هستند با روش شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) بررسی شده است. با به کارگیری بازه‌های زمانی ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ماهه خشک‌سالی‌های اتفاق افتاده در طول آماری ۸ ساله (۱۳۸۷ تا ۱۳۹۴) در محدوده دشت و با توجه به دوره‌های فراگیر خشک‌سالی تأثیر آن بر تغییرات سطح ایستابی مورد بررسی قرار گرفته است. با ترسیم هیدروگراف واحد و مقایسه‌ی آن با دوره‌های خشک‌سالی، نتایج نشان داد علاوه بر خشک‌سالی (اثرات طبیعی) فعالیت‌های انسانی از قبیل استفاده بیش از حد کشاورزان از منابع آب و برداشت‌های بی‌رویه، حفر چاه‌های غیرمجاز تأثیر داشته است.

۲-۲-۲- تأثیر بارندگی

مهم‌ترین منابع آب تجدیدپذیر ناشی از بارندگی می‌باشد و هرگونه تغییر در آن می‌تواند منابع آبی مناطق مختلف و به دنبال آن چرخه هیدرولوژی و اکوسیستم را تحت ثاثیر قرار دهد. معمولاً تمام آب ناشی از بارندگی به تغذیه آبخوان زیرزمینی منجر نمی‌شود، بلکه میزان تغذیه واقعی که به درون آبخوان صورت می‌گیرد به عواملی از قبیل مقدار نفوذ آب به درون زمین، میزان رطوبت اولیه خاک یا

ضریب اشباع خاک، عمق سطح ایستابی و هدایت هیدرولیکی افقی و عمودی منطقه غیراشباع بستگی دارد.

بارندگی از اساسی‌ترین پارامترهای هواشناسی بوده و بیشترین نقش را در شکل‌گیری منابع آب هر منطقه دارد. به طور کلی میزان بارندگی و تغییرات آن یکی از عوامل مهم کنترل‌کننده سطح آب زیرزمینی می‌باشد به طوری که با افزایش میزان بارش حجم آب بیشتری وارد آبخوان شده و در نتیجه میزان تغذیه افزایش می‌یابد، که این عامل اثر خود را به صورت بالا آمدن سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد و برعکس با کاهش میزان بارندگی حجم تغذیه به آبخوان کمتر شده و موجب پایین رفتن سطح آبخوان می‌گردد، آب‌های زیرزمینی تنها منبع آب در مناطق خشک بوده در نتیجه کمیت و کیفیت آب تغذیه‌ای در این مناطق به طور اساسی به مقدار پمپاژ و برداشت از این آب‌ها بستگی دارد. علاوه بر این منشأ طبیعی تغذیه سفره در مناطق خشک محدود به نفوذ در طی سیلاب می‌باشد که معمولاً نامنظم بوده و مقدار کمی هم دارد (Oren et al. ۲۰۰۴).

نادریان‌فر و همکاران (۱۳۹۰) به نقل از ایزدی و همکاران ضمن بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز نیشابور تحت شرایط اقلیمی مختلف به این نتیجه رسیدند که ضریب همبستگی خطی بین بارندگی و سطح آب با تأخیر ۱۰ ماهه برابر ۰/۲۹ است که پراکندگی مشاهده شده در تغییرات سطح ایستابی توسط بارش را توجیه می‌کند و نقل کرده‌اند دلایل مختلفی برای این همبستگی پایین بین سطح آب زیرزمینی و بارندگی وجود دارد.

۲-۲-۳- تأثیر بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی

برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی یکی دیگر از چالش‌ها در بخش آب است در حال حاضر در بسیاری از نواحی کشور سطح سفره‌های آب زیرزمینی افت کرده و با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی تشدید شده و خسارات غیرقابل جبرانی را بر منابع آب زیرزمینی کشور همچون پایین آمدن سطح سفره‌های آب زیرزمینی، افزایش هزینه آب، کاهش سطح تأمین آب، فشردگی خاک، کاهش کیفیت آب و نشست زمین وارد آورده است.

مرندی و همکاران (۱۳۸۸)، برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و تأثیر آن بر نشست زمین را در شهر کرمان بررسی نموده‌اند. در این تحقیق به اثرات مخرب برداشت‌های بی‌رویه از آب‌های زیرسطحی در شهر کرمان و نشست‌های پدید آمده، پرداخته شده است. مطالعات نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر سطح آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف شهر کرمان دچار نوسان شده است. این تغییرات ناشی از پدیده خشک‌سالی، رشد جمعیت، افزایش تعداد کارخانه‌های صنعتی، توسعه کشاورزی در منطقه و ... می‌باشد. این عوامل باعث افزایش تعداد چاه‌های عمیق حفر شده در شهر شده است. نتایج به دست

آمده نشان می‌دهد که در قسمت‌هایی که برداشت از آب‌های زیرزمینی شدت بیشتری داشته، میزان نشست بیشتر بوده و به بیش از ۱۰ سانتیمتر در سال می‌رسد و در مناطقی که برداشت از آب‌های زیرزمینی کمتر بوده، مقدار نشست‌ها نیز کمتر بوده است.

رودریگرز (Rodriguez.2012) در بررسی آبخوان منطقه مورسیا (Murcia) واقع در نواحی نیمه‌خشک جنوب‌شرق اسپانیا، دریافت که سطح ایستابی در این آبخوان به علت بهره‌برداری بی‌رویه از سفره‌ی آب زیرزمینی، سالانه دارای افتی شدید، در حدود 5 متر می‌باشد. این امر منجر به کاهش ذخیره‌ی آبخوان، خشک شدن برخی از چاه‌ها و چشمه‌ها، افزایش هزینه‌ی پمپاژ به دلیل افزایش عمق آب زیرزمینی و تغییر تیپ آب زیرزمینی از سدیم بی‌کربنات به سدیم کلرید در این ناحیه گردیده است.

تندیسه و همکاران (۱۳۹۰) رفتار خصوصیات هیدرژئولوژیکی آبخوان دشت مشهد را در یک دوره ۱۵ ساله (۹۰-۷۵) مورد بررسی قرار دادند. برای این کار از اطلاعات چاه‌های اکتشافی و داده‌های بلندمدت ۴۳ حلقه چاه پیزومتر استفاده کردند و به کمک آن به رسم نقشه‌های هم‌پتانسیل و هم‌افت و همچنین هیدروگراف معرف دشت پرداختند. بررسی‌های انجام شده حاکی از پایین بودن سطح آب زیرزمینی در بخش جنوبی دشت مشهد به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

لشکری‌پور و همکاران (۱۳۸۷) در تحقیقی به منظور بررسی برداشت‌های بی‌رویه در دشت کاشمر به این نتیجه رسیدند به دلیل برداشت بیش از اندازه از منابع آب زیرزمینی سطح آب سالیانه حدود هشتاد سانتیمتر افت خواهد داشت.

دهقان و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی اثرات برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در دشت رفسنجان انار پرداخته‌اند. بر اساس نتایج تحقیقات موجود، برداشت بی‌رویه آب در سه دهه گذشته منجر به کاهش متوسط ۹۰ سانتیمتر در سال سطح آب زیرزمینی در دشت شده است. در کنار این کاهش کمی، کیفیت آب نیز به طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافته است. در کنار این دو مورد، کاهش سطح آب زیرزمینی باعث تراکم خاک و نشست زمین شده که در مناطقی از این شهرستان منجر به ایجاد ترک و شکاف در ساختمان‌ها گردیده است.

اژدری و کاظمی (۱۳۹۲) به بررسی روند خصوصیات آبخوان دشت شاهرود پرداخته و از داده‌های سطح آب ۲۹ حلقه چاه پیزومتر و همچنین داده‌های شیمی آب آنالیز شده برای ۳۱ حلقه چاه انتخابی در دشت استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی منطقه و همچنین کاهش بارندگی، موجب کاهش تراز آب زیرزمینی در یک دوره ۱۶ ساله (۲۰۰۳-۱۹۹۳) و افت ۱۱/۴ متر شده است. که این مقدار افت معادل کاهش ۲۱۶ میلیون مترمکعب

آب از ذخیره آبخوان می‌باشد. همچنین در این تحقیق مشخص شد که شوری آب زیرزمینی در سال‌های مختلف متفاوت بوده ولی در طول زمان دارای یک روند افزایشی می‌باشد، به طوری که در این دوره ۱۶ ساله هدایت الکتریکی ۲۴ درصد افزایش یافته است. در نتیجه تخلیه و برداشت از منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین عامل خروجی آب بوده که شامل پمپاژ چاه و تخلیه به وسیله قنات و چشمه می‌باشد، این امر موجب کاهش ذخیره منابع آب شده و در نتیجه تخریب کیفی آبخوان‌های تحت تأثیر را در پی خواهد داشت.

مسلمی (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به ارزیابی بحران آب زیرزمینی در دشت جغین و توکهور در استان هرمزگان پرداخته است. در این تحقیق، نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت جغین و توکهور در طی دوره آماری ۲۰ ساله (از سال آبی ۷۱-۷۰ تا ۹۰-۸۹) با استفاده از هیدروگراف واحد مورد بررسی قرار گرفت، سپس به بررسی جامع وضعیت افت سطح آب‌های زیرزمینی و با در نظر گرفتن عوامل اساسی اثرگذار و آسیب‌های ناشی از آن پرداخته شده است و در نهایت با شناسایی عمده پارامترهای مؤثر و نظر به روند بحرانی کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، راه‌کارهای مدیریتی مناسب در جهت کنترل و مقابله با این بحران ارائه شده است. نتایج سطح آب در ۳۰ حلقه چاه مشاهده‌ای بیانگر آن است که متوسط افت آب زیرزمینی در حوضه جغین و توکهور، برای مدت مورد مطالعه برابر ۸/۱۶ متر بوده است و در صورت ادامه روند کنونی شرایط تغذیه و تخلیه و عدم انجام اقدامات جدی و عملی جهت کاهش برداشت بی‌رویه، طی ۱۰ سال آینده سطح آب زیرزمینی این دشت، بیش از ۴/۲ متر دیگر افت خواهد داشت، با حفاظت آب در کشاورزی و تهیه الگوی کشت بهینه، کنترل میزان پمپاژ آب و قیمت‌گذاری آب در بخش کشاورزی می‌توان میزان افت سطح آب زیرزمینی و پیامدهای ناشی از آن را به حداقل رساند.

عباس‌نژاد و شاهی‌دشت (۱۳۹۲) در بررسی نتایج مطالعه دشت سیرجان نشان می‌دهد برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی دشت، پیامدهایی همچون تغییر کیفیت آب زیرزمینی، افزایش مصرف انرژی استحصال آب زیرزمینی، افزایش آسیب‌پذیری دشت نسبت به خشک‌سالی، نشست زمین، از بین رفتن اکوسیستم منطقه و خشک شدن باغات و ... را به دنبال داشته است.

خدایی و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی مقدار افت سطح آب آبخوان دشت کبودرآهنگ طی یک دوره‌ی ۱۱ ساله (۱۳۷۸-۱۳۸۹) به این نتیجه رسیدند که سطح آب زیرزمینی در این دوره به طور متوسط ۱۵ متر افت داشته است (۱/۲۵ متر در سال). بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی (به میزان بیش از ۴۰ متر) در نواحی مرکزی دشت اتفاق افتاده که دلیل اصلی آن بهره‌برداری بی‌رویه از سفره‌ی آب زیرزمینی در این ناحیه و تا حدودی نیز کاهش بارندگی بوده است.

کماسی و همکاران (۱۳۹۷)، پیامدهای برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی آبخوان شهر الشتر را بررسی نمودند، در این تحقیق یک مطالعه‌ی موردی پیرامون برداشت‌های بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در شهر الشتر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداخته شده است. این پژوهش نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر سطح آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف شهر الشتر دچار نوسان شده است. این تغییرات ناشی از پدیده خشک‌سالی، رشد جمعیت، توسعه کشاورزی در منطقه و... می‌باشد. این عوامل باعث افزایش تعداد چاه‌های عمیق حفر شده در شهر شده است. نتایج به دست آمده از پژوهش نشان‌دهنده نوسانات سطح آب زیرزمینی در قسمت‌هایی از دشت بسیار زیاد بوده است. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که با ادامه روند کنونی در ۱۸ سال آینده، سطح آب سی و سه درصد کاهش یافته و آب زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه دچار افت شدید تراز می‌گردد.

۲-۳- عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی

کیفیت آب عبارتی است که برای توصیف ویژگی‌های زیستی شیمیایی و فیزیکی آب با توجه به تناسب آب با کاربری مناسب آن استفاده می‌شود. آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازمندی‌های مهم در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب و حفاظت و کنترل آن‌ها می‌باشد (Vengosh. 2014). به طور کلی کیفیت آب زیرزمینی توسط دو عامل طبیعی و انسان‌زاد کنترل می‌شود. عوامل طبیعی شامل واکنش آب با سنگ، کیفیت آب تغذیه‌ای، سرعت جریان آب زیرزمینی و عوامل انسان‌زاد شامل مواردی همچون کشاورزی، صنعت، برداشت‌های بی‌رویه می‌باشد (Chan. 2001). کیفیت آب زیرزمینی به دلیل تغییر در شرایط مختلف از جمله شرایط آب و هوایی، مدت زمان ماندگاری آب در آبخوان، جنس سازندهای زمین‌شناسی مسیر و تغذیه آب زیرزمینی توسط آب سطحی تغییر می‌کند (Panda *et al.* 2007). یکی از آشکارترین پدیده‌های تخریب کیفیت آبهای زیرزمینی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شوری است. شوری آب همچنین توسط هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتیمتر) تعریف می‌شود (Ayenew *et al.* 2008) به طور معمول مقدار نمک‌های کل محلول در آب‌های زیرزمینی هر منطقه بیشتر از آب‌های سطحی آن منطقه می‌باشد، که دلیل آن زمان طولانی تماس آب با مواد تشکیل‌دهنده آبخوان و انحلال آن‌ها می‌باشد، از همین رو از مناطق تغذیه به مناطق تخلیه میزان نمک‌های محلول نیز افزایش پیدا می‌کند، همچنین با افزایش عمق مقدار شوری نیز بیشتر می‌شود. میزان شوری به طور گسترده‌ای متفاوت بوده و در برخی موارد یک پدیده بلندمدت در ارتباط با فرآیندهای زمین‌شناسی و در مواردی نتیجه فعالیت‌های انسانی می‌باشد. در طول قرن گذشته، بسیاری از سفره‌های آب زیرزمینی و رودخانه‌های سراسر جهان به سطوح بالایی از شوری رسیده‌اند و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در بسیاری از مناطق جهان تا حد زیادی به درجه و میزان این پارامتر بستگی دارد (Vengosh 2014).

۲-۳-۱- اثر بهره‌برداری بیش از حد بر کیفیت آب زیرزمینی

کیفیت آب استخراجی یکی از عوامل تعیین‌کننده در میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی می‌باشد. برداشت بی‌رویه از ذخایر آب زیرزمینی سبب افزایش درجه شوری و تخریب کیفیت این منابع با گذشت زمان می‌گردد. شور شدن آب زیرزمینی در حال تبدیل‌شدن به یک مشکل بسیار جدی در سرتاسر جهان می‌باشد، به گونه‌ای که مسئله افزایش شوری به عنوان رایج‌ترین نوع آلودگی آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود. افزایش درجه شوری آب زیرزمینی باعث از دست رفتن کیفیت آن برای مقاصد مختلف شده و نهایتاً سبب غیرقابل استفاده شدن و از دست رفتن این منابع می‌گردد (Glynn and Plummer 2005).

نجف‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی خصوصیات آبخوان دشت مه‌ولات در استان خراسان رضوی نشان دادند که روند رو به رشد تعداد چاه‌های بهره‌برداری از راه‌های مختلف همچون اراضی و در کنار آن کاهش بارش و خشک‌سالی‌های اخیر، سبب افت سطح آب زیرزمینی در منطقه شده است که به دنبال آن پیشروی جبهه‌های آب شور از کویرهای مجاور در جنوب و غرب منطقه مطالعاتی را از طریق مسیل‌ها و کانال‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد و کیفیت سفره آب زیرزمینی کاهش می‌یابد.

سهرابی و همکاران (۱۳۹۸)، در بررسی اثرات تغییرات تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های استان کرمان بر پدیده فرونشست، به این نتیجه رسیدند که تغییرات تراز آب زیرزمینی در چند سال اخیر در تمامی دشت‌های استان کرمان همراه با کاهش تراز آب زیرزمینی همراه بوده است با توجه به اینکه برداشت بی‌رویه و عدم تغذیه مناسب عامل اصلی این تغییرات می‌باشد. اثرات این تغییرات در اکثر دشت‌های استان کرمان سبب پدیده فرونشست گردیده است. در این تحقیق پتانسیل فرونشست دشت‌های استان کرمان بر اساس بررسی تغییرات درازمدت تراز آب زیرزمینی بررسی می‌گردد. بر اساس بررسی‌های انجام شده بیشترین تغییرات تراز آب زیرزمینی به صورت سالیانه مربوط به دشت صوغان به میزان ۹۹/۱ متر و کمترین این تغییرات مربوط به دشت کویر هرات با حدود ۱۴ متر در سال می‌باشد. همچنین بر اساس نمودارهای درازمدت هدایت الکتریکی در بیشتر دشت‌های استان کرمان میزان افزایش این پارامتر قابل مشاهده می‌باشد. این موضوع بر اثرات مخرب کاهش تراز آب زیرزمینی بر کیفیت آبخوان‌های مورد مطالعه دلالت دارد.

۲-۳-۲- اثر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی

سازندهای زمین‌شناسی نقش اساسی در غلظت‌های پایه املاح موجود در آب‌های سطحی و زیرزمینی دارند.

این تأثیرات بسته به جنس، گسترش و زمان تماس آب با سازندهای مختلف متفاوت خواهد بود. آبهای‌سطحی و زیرزمینی در مسیر عبور از سازندهای مختلف، همواره با محیط پیرامون خود، جانشینی یونی یا تبادل کاتیون و آنیون صورت می‌دهند طی این تبادل، برخی از عناصر سنگ‌ها در آب حل شده و بالعکس بعضی عناصر آب در خلل و فرج سنگ‌ها رسوب می‌کنند. بنابراین کیفیت آب‌ها با گذر از واحدهای سنگی و ساختار طبیعی زمین دچار تغییر می‌شود.

طباطبایی و همکاران (۱۳۹۸)، به مطالعه پهنه‌بندی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت سیدان فاروق واقع در استان فارس پرداخته است. در این مطالعه، تغییرات مکانی برخی از پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت سیدان فاروق شامل هدایت الکتریکی، کلر، منیزیم، سولفات و مجموع جامدات محلول را در سال‌های آماری ۱۳۸۲-۱۳۹۶ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصله نشان داد که هدایت الکتریکی آب زیرزمینی از جنوب به شمال دشت افزایش یافته که علت این امر تأثیر سازندها می‌باشد. در شمال دشت آب زیرزمینی از کیفیت مناسب برخوردار بوده اما در جنوب دشت هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار هدایت الکتریکی نیز در محلی به نام جنوب کره تاوه‌ای واقع در شمال دشت به میزان ۱۶۸۷ میکروموهس بر سانتیمتر مشاهده می‌گردد.

غالم‌دخت بندری و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی ارزیابی کیفیت هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی حوضه سیاهو، شمال شرق شهر بندرعباس پرداخته‌اند. در مطالعه حاضر، کیفیت هیدرژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی در حوضه سیاهو شهرستان بندرعباس از نظر شرب، کشاورزی و صنعت مطالعه شده است. بدین منظور پارامترهای ویژگی کیفی مربوط به سه حلقه چاه عمیق، سه دهنه چشمه، یک رشته قنات آبدار و یک نمونه آب سطحی به عنوان داده ورودی استفاده شد. ویژگی‌ها و نمودار تعیین کیفیت آب با استفاده از نرم‌افزارهای Aq.qa و AquaChem ارزیابی شدند. آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در رده آب‌های خیلی سخت قرار دارند و بر اساس نمودار پای پر (PIPER) رخساره هیدروشیمیایی غالب منطقه از نوع سولفاته کلسیک و کلروره‌سدیک هستند. با توجه به شاخص کیفی ویلکاکس (Willcox) و شولر (Schuller) آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در حد متوسط و از نظر شرب در حد قابل قبول قرار گرفت. از نظر ضریب اشباع (SI) منابع آبی موجود خورنده تا رسوب‌گذار است. داده‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد یکی از مشکلات منابع آبی موجود در حوضه سیاهو مقدار بالای نمک و مواد محلول بوده که نشان‌دهنده تأثیر بسزای سازندهای زمین‌شناسی تبخیری، شیلی، کربناتی و گنبد نمکی بر منابع آب زیرزمینی و کاهش کیفیت منابع آب است.

هدری و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت الشتر پرداخته‌اند، در این پژوهش اثر سازندهای زمین‌شناسی در کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان

الشتر بررسی شده است. بنابراین ۳۳ نمونه از آب‌های زیرزمینی در محدوده آبخوان جمع‌آوری شده است. نتایج نشان می‌دهد که میزان هدایت الکتریکی در غرب و شمال غرب آبخوان کاهش می‌یابد، زیرا در این محل تغذیه آبخوان از ارتفاعات آهکی و دولومیتی شمال و شمال‌غرب منطقه صورت می‌گیرد. قسمت میانی و جنوب‌شرقی آبخوان به دلیل قرار گرفتن در مسیر رودخانه گیرنده الشتر، مقادیر هدایت الکتریکی بالا می‌باشند. مناطق با pH کمتر از ۳/۷ در محدوده شهری و قسمت شرقی آبخوان می‌باشند، در مناطق شهری فاضلاب‌ها و پساب‌های شهری بر کاهش pH تأثیر می‌گذارند. در حاشیه غربی آبخوان pH افزایش یافته که می‌تواند ناشی از انحلال واحدهای آهکی و دولومیتی شمال آبخوان باشد. تیپ آب به دلیل سازندهای آهکی بی‌کربنات می‌باشد. با توجه به نتایج، بیشترین عامل مؤثر بر کیفیت آب سازندهای آهکی منطقه می‌باشد.

با توجه به مطالعات فوق، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تخریب کیفیت و کاهش سطح آب‌های زیرزمینی برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، اثر سازندهای زمین‌شناسی، تبخیر و کاهش نزولات جوی و میزان بارندگی می‌باشد.

علاوه بر موارد ذکر شده، عوامل انسانی و طبیعی بسیار زیادی در چرخه آب دخالت داشته که در اکثر موارد اثر هم‌زمان این پارامترها موجب کاهش سطح آبهای زیرزمینی و همچنین تخریب کیفیت آن می‌گردد.

۲-۴- روش‌های مؤثر بر مدیریت آبخوان‌ها

۲-۴-۱ روش‌های مدل‌سازی آبخوان

آب‌های زیرزمینی همواره به عنوان یکی از مهم‌ترین ذخایر آب شیرین قابل استفاده انسان مطرح هستند. این منابع به طور عمده از طریق حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق، چشمه‌ها و قنات‌ها مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. هدف از مدیریت آب‌های زیرزمینی در یک محل، در واقع بیش‌ترین استفاده ممکن از آب‌های زیرزمینی برای رفع نیازهای استفاده‌کنندگان در داخل و احتمالاً خارج از محدوده منطقه مورد مطالعه می‌باشد. از این‌رو در سال‌های اخیر مدل ریاضی آب زیرزمینی به عنوان روشی ارزان و سریع در بررسی چگونگی حرکت، بیلان و مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی پیشرفت قابل‌توجهی داشته است. جهت اعمال مدیریت بهتر بر منابع آب موجود، استفاده از مدل‌های کامپیوتری برای شبیه‌سازی آبخوان و به کار بردن سناریوهای مختلف به عنوان مهم‌ترین ابزار می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

شیخی‌بیگلری (۱۳۹۷) مدیریت آبخوان دشت میان‌آب شوشتر را با استفاده از مدل‌سازی آب زیرزمینی بررسی نموده است. منطقه مورد مطالعه دشت میان‌آب شوشتر واقع در استان خوزستان

می‌باشد که بین شهرستان‌های شوشتر و بندقیر در فاصله تقریباً ۴۰ کیلومتری شمال اهواز بین طول جغرافیایی ۲۸°۸۰′ تا ۳۱°۳۰′ و عرض جغرافیایی ۳۵°۰۲′ تا ۳۵°۴۸′ شمالی قرار گرفته است. منطقه مذکور به صورت جزیره‌ای بین رودخانه‌های گرگر و شطیط در شرق و غرب آن محصور شده است. در این تحقیق مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار GMS10.1وMODFLOW2000 برای سال آبی ۹۵-۹۶ در حالت پایدار و ناپایدار انجام و سپس تحت واسنجی قرار گرفت. مدل پایدار و ناپایدار آب زیرزمینی این منطقه به ترتیب با خطای RMSE 62و ۰/۹۵ متر کالیبره و تحت واسنجی قرار گرفت. بر اساس مدل آب زیرزمینی بیلان حجمی دشت مثبت ۲/۳ میلیون مترمکعب در سال محاسبه شد. از مدل آب زیرزمینی دشت جهت مدیریت منابع آب زیرزمینی استفاده شد. بدین منظور سناریوهای مختلف مدیریتی جهت پیش‌بینی رفتار و وضعیت آبخوان در شرایط متفاوت هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی مورد آزمایش قرار گرفت. در سناریو اول با توجه به وضعیت کنونی منطقه و بدون اعمال تنش هیدرولوژیکی، مقدار پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری ۲۰ درصد اضافه شد که منجر به منفی شدن بیلان به مقدار حدود ۳۳/۴ میلیون مترمکعب در سال و افت سطح ایستابی شد. سناریوی دوم در قالب کاهش ۲۰ درصدی پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری صورت گرفت که باعث افزایش تراز سطح ایستابی آب زیرزمینی در منطقه شد. بیلان محاسبه شده در این سناریو برابر ۲۲/۲ میلیون مترمکعب در سال محاسبه شده است. سناریوی سوم مدیریتی تحت عنوان پیش‌بینی وضعیت آبخوان در اثر افزایش پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری در شرایط خشک‌سالی و ترسالی مورد مطالعه قرار گرفت که بیلان آب زیرزمینی دشت در حالت خشک‌سالی برابر منفی ۳۶/۲ میلیون مترمکعب در سال و در حالت ترسالی منفی ۳۵/۱ میلیون مترمکعب در سال محاسبه شد. بنابراین افزایش پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری در هر حالتی از شرایط هیدرولوژیکی باعث منفی شدن بیلان آب زیرزمینی می‌شود. در نهایت در سناریوی آخر تأثیر توسعه و تکمیل شبکه آبیاری زهکشی دشت در قسمت جنوبی منطقه به وسیله مدل بر روی آبخوان مورد بررسی قرار گرفت که بر اساس نتایج مدل توسعه کانال‌های آبیاری در اراضی جنوبی موجب تغذیه آبخوان از طریق آب برگشتی شده که این امر منجر به بالا آمدگی سطح ایستابی در این قسمت می‌شود، همچنین بیلان حجمی دشت برابر با مثبت ۴/۳ میلیون مترمکعب در سال محاسبه شد. بنابراین مطالعه و احداث دقیق زهکش در اراضی جنوب دشت به منظور جلوگیری از بالا آمدگی آب زیرزمینی و همچنین عدم ماندابی شدن زمین‌ها امری بسیار مهم و حائز اهمیت می‌باشد.

اسدی‌اصل (۱۳۹۶) هیدروژئولوژی و مدیریت آبخوان دشت رومشگان را با استفاده از شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی آبخوان در دشت رومشگان از آبخوان‌های مهم استان لرستان را بررسی نموده است. متوسط بارش سالانه در این دشت ۳۵۲ میلی‌متر به ثبت رسیده است. در چند سال اخیر سطح ایستابی آبخوان به میزان نسبتاً زیادی افت داشته است که علت اصلی آن ناشی از تغذیه ناکافی

آبخوان و بهره‌برداری زیاد است. توجه به چگونگی توزیع زمانی و مکانی بارش و نیز رواناب در سطح کشور، فقدان رطوبت کافی و جریان‌های سطحی دائمی در اکثر نواحی، موجب گردیده که آبخوان‌ها، عمده‌ترین منابع آب تأمین نیازهای آبی کشور را تشکیل دهند. بهره‌برداری بهینه آب زیرزمینی مستلزم اعمال مدیریت و نظارت دقیق است. از آنجایی که استخراج آب زیرزمینی افت قابل‌توجه سطح آب زیرزمینی را به دنبال دارد، مهم‌ترین مسئله در مدیریت آبخوان، کنترل پمپاژ بیش از حد مجاز و جلوگیری از ورود انواع آلودگی به آب‌های زیرزمینی می‌باشد. در نتیجه پیش‌بینی عکس‌العمل آبخوان نسبت به اثرات پمپاژ آب‌های زیرزمینی و تغذیه آب‌های زیرزمینی و غیره به منظور کنترل کیفیت و کمیت آب زیرزمینی ضروری است. این مهم به نوبه خود باعث توسعه همه جانبه و کاربرد وسیع مدل‌های آب زیرزمینی شده است. هدف اصلی مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی، شبیه‌سازی شرایط غالب بر آبخوان است. در این راستا مدل آب‌های زیرزمینی دشت رومشگان تهیه شده است. هدف از تهیه مدل دشت رومشگان بررسی جزئیات کامل‌تر دشت به منظور تخمین پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان، ارائه بیلان هیدروژئولوژیکی دشت و بررسی سناریوهای مختلف بهره‌برداری از آبخوان است. همچنین تعیین محل چاه‌های بهره‌برداری جدید در شرایط بحرانی یکی دیگر از اهداف مدل دشت است. بدین منظور مدل جریان آبخوان دشت رومشگان در حالت ماندگار (مهر ۱۳۹۱) و ناماندگار (مهر ۱۳۹۱ تا شهریور ۱۳۹۲) به روش اتوماتیک و دستی (سعی و خطا) واسنجی شد. پس از بهینه‌سازی پارامترهای هیدروژئولوژیکی، مدل برای دوره زمانی مهر ۱۳۹۲ تا اسفند ۱۳۹۲ صحت‌سنجی گردید و میزان مجذور میانگین خطا (RMS) برای حالت ماندگار، ناماندگار و دوره صحت‌سنجی به ترتیب ۰/۰،۹۱/۴۹ و ۰/۹ به دست آمد. در ادامه با توجه به نتایج شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی، تغییرات تراز سطح ایستابی آبخوان رومشگان در ۱۰ سال بعد از سال ۹۱-۹۲، پیش‌بینی شده است، که افت قابل‌توجه تراز سطح ایستابی در آبخوان مذکور مشاهده می‌شود، در نهایت در جهت مدیریت کمی آبخوان و جلوگیری از رسیدن آبخوان به وضعیت بحرانی، طرح حذف چاه‌های کشاورزی در محدوده مطالعاتی، و انتقال آب مورد نیاز جهت مصارف کشاورزی از سد و رودخانه سیمره به دشت رومشگان، مورد بررسی قرار گرفت.

اسدی (۱۳۹۶) به بررسی مدیریت تلفیقی آب‌های سطحی و زیرزمینی در جهت احیای آبخوان‌ها در دشت مرند پرداخته است. در این تحقیق با به‌کارگیری مدل شبیه‌سازی WEAP و مدل شبیه‌سازی آب‌های زیرزمینیGMS ، مصارف دشت مرند مورد ارزیابی قرار گرفت. واسنجی دو مدل بر اساس یک دوره ۱۰ ساله از سال ۱۳۸۰-۱۳۸۹ و اعتبار سنجی آن برای یک دوره ۳ ساله از سال ۱۳۹۰-۱۳۹۲ انجام گرفت. سپس سناریوهای مختلف مدیریتی از جمله تأمین آب شرب مرند با اعمال محدودیت در بهره‌برداری از چاه‌های شرب، افزایش راندمان آبیاری در بخش کشاورزی، اجرای سیستم فاضلاب، دو ترکیب از سناریوهای فوق، جهت کاهش تقاضای آب و بهبود وضعیت آبخوان در نظر

گرفته شد. بر اساس این سناریوها پیش‌بینی‌ها برای یک دوره ۲۳ ساله انجام و اثرات آن بر روی منابع آب دشت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به کارگیری هم‌زمان راهبردهای مختلف مدیریت مصرف آب، بهتر از حالت استفاده منفرد از هرکدام از آن‌ها، باعث بهبود و احیای آبخوان و برداشت آب از منابع مختلف را کاهش می‌دهد. شاخص اعتمادپذیری تأمین آب در سناریو مرکب کلی، برای بخش‌های مختلف شرب شهری، روستایی، کشاورزی و صنعت به ترتیب ۱۰۰، ۱۰۰، ۶۴/۷، ۷۴/۶ درصد برآورد گردید. همچنین وضعیت آبخوان نیز با تغذیه سالانه ۰/۲۹ میلیون مترمکعب بهبود یابد و می‌تواند از تعادل نسبی بین برداشت و تغذیه آبخوان برخوردار باشد.

محمدی و همکاران (۱۳۸۹) مؤلفه‌های موثّر بر مدیریت آب کشاورزی را مورد بررسی قرار دادند، هرچند این مطالعه در شهرستان زرین‌دشت از شهرستان‌های استان فارس به صورت عمده انجام شد اما جامعه مورد بررسی دیدگاه کشاورزان منطقه را شامل می‌شد. در این مطالعه سیاست‌های حمایتی دولت مهم‌ترین مؤلفه در نظر گرفته شد چرا که این مؤلفه باعث بررسی امکان واگذاری برنامه‌ها و سیاست‌گذاری‌ها به سایر بخش‌ها و نظارت بر آن‌هاست، هر چند این مطالعه بر عدم اعتماد به بخش خصوصی تأکید دارد اما آنچه به نظر می‌رسد در این مطالعه نقش دولت نقش نظارتی در نظر گرفته شده است. جلوگیری دولت از حفر بی‌رویه چاه‌های جدید و تصویب قوانین، از مواردی هستند که دولت می‌تواند نقش خود را در راستای بهبود مصرف آب اعمال کند و مؤلفه‌های موثّر بعدی که کشاورزان در امر مدیریت آب آن‌ها را بسیار مهم می‌دانند مهارت و تخصص کارشناسان بخش ترویج و آبیاری است.

مدیریت آبخیزداری استان خراسان (۱۳۸۰) به مطالعات مدیریت منابع طبیعی حوضه آبریز کال شور جنوبی (مرحله شناسی) پرداخته‌اند. این مدیریت بررسی‌هایی را در مورد هیدرولوژی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، پوشش گیاهی، هواشناسی، کشاورزی و بهره‌برداری زراعی، فرسایش و رسوب، حیات‌وحش و به طور کلی آبخیزداری انجام داده است.

اصغری مقدم و آقازاده (۱۳۸۵) به ارزیابی هیدروژئولوژیکی و مدیریت منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت هرزندات با استفاده از مدل ریاضی پرداختند. در این تحقیق به منظور ارزیابی هیدروژئولوژیکی و شناخت بهتر آبخوان و در راستای آن مدیریت منابع آب زیرزمینی و بهره‌برداری بهینه از این منابع با استفاده از اطلاعات قبلی و مطالعات صحرایی، مدل تفهیمی و ریاضی آبخوان تهیه گردید. پس از صحت‌سنجی مدل و کالیبراسیون داده‌ها نتایج نشان داد که از این مدل می‌توان به منظور مدیریت منابع آب زیرزمینی و بهره‌برداری بهینه از آن‌ها در محدوده مورد مطالعه استفاده کرد.

۲-۴-۲ تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی

متأسفانه در سال‌های اخیر به دلیل رشد جمعیت، گسترش کشاورزی، توسعه مناطق شهری، افزایش روزافزون شهرک‌های صنعتی و همچنین دخالت عوامل طبیعی همچون کاهش بارندگی‌ها و خشک‌سالی‌های پی در پی برداشت از منابع آب زیرزمینی افزایش چشمگیری یافته است. این روند به گونه‌ای است که میزان تغذیه در شرایط طبیعی با میزان تخلیه و برداشت از آبخوان‌ها برابر نیست و ادامه پیدا کردن این روند منجر به کاهش مکرر سطح ایستابی در آبخوان‌ها و منفی شدن بیلان آبهای زیرزمینی خواهد شد و در نتیجه شاهد فرونشست در دشت‌ها، نفوذ آب شور به آبخوان‌های شیرین و مسائلی از این قبیل خواهیم بود. در چنین شرایطی ابتدا با روش مدیریتی سازه‌ای مانند تغذیه مصنوعی برای تعادل‌بخشی اقدام گردید که این موضوع نتیجه مثبتی در بر نداشت. بنابراین از سال ۹۳ با مدیریت غیرسازه‌ای و یک سری اقدامات و فعالیت‌های به هم پیوسته نسبت به تعادل‌بخشی منابع و مصارف اقدام گردید که با مدیریتی جامع و یکپارچه از تخریب کامل آبخوان‌ها جلوگیری صورت گیرد. و بایستی برای کنترل سطح ایستابی، برداشت از آب‌های زیرزمینی را کاهش داده و یا مقدار برداشت برابر با مقدار تغذیه سفره باشد. همچنین لازم است پایش کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی به طور مداوم و جدی در تمامی مناطق به ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک که وابستگی بیشتری به منابع آب زیرزمینی دارند انجام شود.

به طور کلی مدیریت بهینه آبخوان در راستای تعادل‌بخشی شامل مجموعه‌ای از تمهیدات فنی، اداری و قانونی است که برقراری تعادل بین عرضه (تغذیه آبخوان) و تقاضای آب (تخلیه آبخوان) را هدف قرار می‌دهد. با توجه به شرایط بحرانی دشت‌های کشور و وابسته بودن حیات اقتصادی و اجتماعی مردم به منابع آب زیرزمینی، به‌کارگیری روش‌های تعادل‌بخشی آبخوان جهت حفظ و کنترل بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی لازم به نظر می‌رسد. در این راستا ۱۶ فعالیت تعریف گردیده و مطالعه امکان نصب کنتورهای هوشمند بر روی چاه‌ها برای کنترل میزان بهره‌برداری همراه با تعیین مشخصات و منابع تأمین کنتور و همچنین جلوگیری از حفر چاه‌های غیرمجاز و مسدود نمودن چاه‌های محفوره غیرمجاز و اطلاع‌رسانی و مدیریت مشارکتی از ارکان تعادل‌بخشی آبخوان‌ها محسوب می‌گردد.

۲-۴-۲-۱ معرفی طرح تعادل‌بخشی:

با توجه به وضعیت بحرانی افت سطح آب زیرزمینی و کسری مخزن دشت‌ها که به زیرساخت‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی خسارت‌های جبران‌ناپذیری را تحمیل می‌کند و با توجه به تأکیدات شورای عالی آب علاوه بر پروژه‌های سازه‌ای مانند تغذیه مصنوعی و احداث بند بر مسیل‌ها و رودخانه‌ها، مدیریت غیرسازه‌ای به منظور حفظ و حراست از منابع ارزشمند آب زیرزمینی نیز ضرورت

دارد. این مهم برای ایجاد تعادل بین منابع و مصارف آبهای زیرزمینی با انجام یک سری اقدامات هماهنگ و به هم پیوسته اجرایی خواهد بود. که این فعالیت‌ها در جدول ۲-۱ ارائه شده است.

در این طرح فعالیت‌های ۱ و ۲ و ۳ و ۵ و ۶ و ۸ و ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ توسط شرکت‌های آب منطقه‌ای انجام می‌گیرد و فعالیت ۴ با سازمان زمین‌شناسی کشور و فعالیت ۶ با سازمان جهاد کشاورزی و فعالیت ۱۶ با اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری صورت می‌گیرد.

کبیری و نظری (۱۳۹۶) به ارزیابی اثربخشی طرح احیا و تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی پرداخته‌اند. برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در بسیاری از نقاط ایران و جهان سبب افت شدید سطح آب شده است. آمار ارائه شده در منابع آب ایران وضع دشوار روند افت سالانه آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. اما در این بین طرح تعادل بخشی، نقطه‌ی امیدی است که به توان با اجرای آن بحران به وجود آمده در منابع آب زیرزمینی را تا حدی تسکین بخشیده و با ارتقای اثربخشی این طرح، دشت‌های بحرانی را بهبود بخشید. بنابراین طرحی با این اهمیت و وسعت اگر بدون مطالعات امکان‌سنجی فنی، اجتماعی و نهادی آغاز و ادامه یابد، ممکن است موجبات شکست در طرح، بی‌اعتمادی بیشتر بین بهره‌برداران و متولیان آب، از بین رفتن سرمایه اجتماعی و در نهایت تخریب منابع آب را فراهم نماید.

فتحی و زیبایی (۱۳۹۱) با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی آرمانی به تعیین الگوی بهینه کشت، استراتژی و روش آبیاری بهینه در جهت پایداری منابع آب دشت فیروزآباد فارس پرداختند. نتایج حاصل از مطالعه آنان نشان داد که انتخاب استراتژی‌های کم آبیاری و به‌کارگیری دستگاه‌های آبیاری بارانی منجر به کاهش برداشت از آب زیرزمینی در مقایسه با شرایط کنونی می‌شود.

جدول ۲-۱ فعالیت‌های طرح احیا و تعادل‌بخشی

ردیف	عنوان پروژه
۱	حفر چاه‌های پیزومتری در دشت‌ها
۲	نصب تجهیزات اندازه‌گیری بر روی منابع آب و چاه‌های پیزومتری و اکتشافی
۳	تهیه بیلان بانک اطلاعاتی محدوده‌های مطالعاتی
۴	پهنه‌بندی و بررسی مخاطرات کشور ناشی از فرونشست زمین در محدوده‌های مطالعاتی
۵	ایجاد استقرار بازارهای محلی آب
۶	ایجاد تشکل‌های آب‌بران و انجام حمایت‌های فنی و مالی از آن‌ها
۷	به روز نمودن سند ملی آب
۸	خرید چاه‌های کم بازده کشاورزی برای تعادل‌بخشی
۹	روی آن‌هاGPSساماندهی شرکت‌های حفاری و نصب
۱۰	جایگزینی پساب چاه‌های ممنوعه کشاورزی در دشت‌های ممنوعه
۱۱	تقویت استقرار گروه‌های گشت و بازرسی
۱۲	تهیه نصب کنتورهای حجمی هوشمند آب و برق از سامانه پایش
۱۳	اطلاع‌رسانی و فرهنگ‌سازی
۱۴	کنترل و نظارت پر و مسلوب المنفعه نمودن چاه‌های فاقد پروانه و مغایر با مصالح عمومی
۱۵	اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب در دشت‌های ممنوعه
۱۶	مطالعه و اجرای پروژه‌های آبخیزداری

علی پور و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی طرح احیاء و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت پایلوت ممنوعه بحرانی نیشابور) پرداخته‌اند. فشار ناشی از نیازهای روزافزون آب از یک طرف و محدودیت منابع موجود از طرف دیگر مسئولین رده بالای کشور ایران را وادار به اعمال مدیریت علمی و عملی در منابع آب زیرزمینی کرده است. اکثر دشت‌ها در کشور بحرانی است و این بحران در حال تشدید می‌باشد. بنابراین اجرای طرح احیا و تعادل‌بخشی دشت‌ها که یکی از مصوبات شورای عالی آب است به عنوان راهکار برون‌رفت از بحران به تمامی شرکت‌های آب منطقه‌ای کشور اعلام شده است، اما این طرح با چالش‌ها و مشکلاتی روبه‌رو است که موجب عدم رسیدن به هدف فوق خواهد شد. در

این مقاله به بررسی وضعیت این طرح در دشت ممنوعه بحرانی نیشابور به عنوان یکی از دشت‌های پایلوت این طرح در استان خراسان رضوی پرداخته می‌شود و بر اساس داده‌ها و آمار موجود چهار سناریو احیای آبخوان نتیجه‌گیری شده است.

رحمانی (۱۳۹۵) مشکلات مربوط به بهره‌برداری از منابع آب به طور اعم و منابع آب زیرزمینی به طور اخص پدیده نو ظهوری در کشور ما محسوب نمی‌شود. نگاهی به روند توسعه بهره‌برداری از منابع آب بیانگر عوارض نامطلوب کاهش حجم مخازن آبرفتی از چهار دهه گذشته است. دستاوردهای چنین پدیده نامطلوبی که مترادف با توسعه اقتصادی– اجتماعی در سطح کشور می‌باشد معمولاً نادیده انگاشته شده است. نگاه یک‌جانبه به توسعه کشاورزی و عدم رعایت الگوی مصرف از جانب متولیان امر کشاورزی از عوامل اصلی بروز پدیده نامطلوب افت مستمر در سطح آبخوان‌های آبرفتی کشور محسوب می‌شود. با توجه به نقش تعیین کننده آب زیرزمینی در تأمین آب مورد نیاز برای مصارف مختلف از جمله شرب، صنعت و کشاورزی در مناطق مختلف کشور ارزش و اهمیت آن بر همگان روشن می‌باشد. عدم توجه به تغییرات کمی و کیفی این منابع حیاتی تبعات جبران‌ناپذیری را برای کشور به همراه خواهد داشت و بیم آن می‌رود که حیات و مدنیت بخش گسترده‌ای از کشور را به مخاطره انداخته و آینده‌ای مبهم برای مردمان ایران‌زمین رقم بخورد. وزارت نیرو با توجه به این موضوع و با عنایت به مصوبات شورای عالی آب مبنی بر ارائه طرحی برای مقابله با این بحران اقدام به تهیه طرح احیاء و تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی که مشتمل بر پانزده پروژه اجرایی است نمود و این پروژه‌ها از سال ۱۳۹۴ در کل کشور اجرایی شده است.

گودرزی و همکاران (۱۳۹۵) رشد و گسترش جمعیت از یک سو و تأمین آب برای تهیه مواد غذایی جمعیت در حال رشد از سوی دیگر در دهه‌های اخیر باعث بروز اختلاف‌های جدی در میان بهره‌برداران از منابع آب شده است به جهت محدودیت این منابع، ضرورت بهره‌برداری پایدار از این منابع مشهود است. مصارف کشاورزی که بالغ بر ۹۰ درصد مصارف آب کشور است. سهم عمده‌ای از برداشت‌های آب زیرزمینی که خود بیش از ۶۰ درصد است را به خود اختصاص داده است. هم اکنون حدود ۱۱۰ میلیارد مترمکعب کسری مخزن در آبخوان‌های کشور حادث شده و این موضوع باعث گردیده تا وزارت نیرو در راستای طرح احیاء و تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی هوشمندسازی کنتورهای چاه‌های کشاورزی را در دستور کار خود قرار دهد. در این طرح میزان بازگشت سهم اضافه آب که به آبخوان بر می‌گردد با استفاده از ابزار مهندسی و به صورت کاملاً علمی اندازه‌گیری و پایش می‌شود و همین امر نیز مبنای عملکرد شرکت‌های آب منطقه‌ای در زمینه‌ی اجرای طرح قرار خواهد گرفت.

صادق‌زاده (۱۳۹۶) منابع آب زیرزمینی کشور به دلیل برداشت بیش از حد و خشک‌سالی‌های متوالی سالیان اخیر و حفر چاه‌های غیرمجاز و نبود قوانین بازدارنده مناسب در برخی مناطق با بحران رو به رو است. تشدید افت سطح آب و کسری مخزن در آبخوان‌ها، بیش از نیمی از دشت‌های کشور را در زمره دشت‌های ممنوعه قرار داده است. تعادل پایدار آب زیرزمینی بستگی به دو قید دارد که شامل فعالیت‌های انسانی و پارامترهای هیدروژئولوژیکی می‌شود. کاهش نزولات جوی و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در سال‌های اخیر مشکلاتی از جمله کاهش تراز آب زیرزمینی و نشست زمین را در برداشته که به منظور ارائه تدابیر مدیریتی، هدف از این تحقیق ارزیابی اثرات اجرای طرح‌های تعادل‌بخشی آبخوان دشت ارومیه با استفاده از شاخص‌های عملکرد مدیریتی و روش‌های مدیریت نتیجه محور می‌باشد. به عبارتی با ارزیابی مناسب برای این منظور می‌توان اثربخشی این راهکارها را برای برنامه احیاء و تعادل‌بخشی آبخوان‌ها داشت. به عبارتی‌دیگر این تحقیق به منظور توسعه چارچوب تصمیم‌گیری چند معیاره برای اولویت‌بندی راهکارهای بیان شده، با هدف فائق آمدن بر بحران مدیریت منابع آب زیرزمینی در محدوده‌ی دشت ممنوعه ارومیه، با در نظر گرفتن شاخص‌های ارزیابی اعتمادپذیری، آسیب‌پذیری و مطلوبیت به منظور تعیین گزینه مطلوب برای نجات منابع آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه، انجام می‌گیرد.

حسین‌زاد و کاظمیه (۱۳۹۲) با اشاره به ارتباط بین مدیریت آب و توسعه کشاورزی، بیان می‌دارد که کاهش میزان تخلیه چاه‌ها و استفاده بهینه از آب‌های سطحی در جهت افزایش سطح زیر کشت آبی موجب بهبود مدیریت منابع آبی در منطقه خواهد شد. در این مطالعه بیان می‌شود که در کنار افزایش سطح زیر کشت آبی باید افزایش عملکرد در واحد سطح نیز دنبال شود که این اقدام، بدون کاربرد مدیریت صحیح در برنامه‌های آب و آبیاری میسر نخواهد شد. همچنین در این مطالعه عنوان شده است که با مشارکت دادن کشاورزان در مدیریت آب و واگذاری مسئولیت‌های مختلف به آن‌ها می‌توان مسئولیت‌پذیری بهره‌برداران را افزایش داد و آن‌ها را در مدیریت آب سهیم کرد. نتایج نشان می‌دهد هر چند بین مدیریت آب و توسعه کشاورزی ارتباطی دو طرفه وجود دارد ولی با توجه به اهمیت منابع آب در توسعه کشاورزی لازم است در برنامه‌ریزی‌های توسعه، شاخصه‌ی استفاده پایدار از منابع آب جدی گرفته شود.

اسماعیلی و سربازی (۱۳۹۱) به بررسی و مدل‌سازی کمی آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور پرداخته و بر اساس نتایج به دست آمده نشان داد که دشت نیشابور از ضرایب هیدرودینامیکی نسبتاً بالایی برخوردار است و این خصوصیت می‌تواند در اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی در این دشت بسیار مؤثر باشد.

صبوحی و همکاران (۱۳۸۶) در مطالعه خود روش‌های متفاوت برداشت، شامل برداشت آزاد (بدون جلوگیری)، بهره‌برداری بهینه آب‌های زیرزمینی، سیاست‌های مالیاتی، دخالت دولت و بازدارندگی قانونی و مشارکت بهره‌برداران در برداشت از آب زیرزمینی و همکاری دولت و گروه‌های بهره‌برداران را بررسی و با یکدیگر مقایسه نموده‌اند. ایشان اشاره می‌کند که راهکار مناسب، وابسته به ساختارهای فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی بهره‌برداران است. برای آزمون این راهکارها، تابع تقاضای آب چغندرکاران دشت نریمانی در استان خراسان محاسبه شد. نتایج این مطالعه نشان داد که به‌کارگیری سیاست مالیاتی در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی نسبت به گزینه‌های دیگر امکان بهره‌برداری پایدار را فراهم می‌کند. در این مطالعه اشاره شده است که به دلیل آنکه بهره‌برداران خود فاقد دانش کافی در بهره‌برداری اصولی از منابع آب هستند نمی‌توان برداشت را بر عهده آن‌ها نهاد.

ولایتی (۱۳۸۳) در بررسی بحران آب استان خراسان مکتوب کرده است که مدیریت کارآمد، حکم می‌کند پس از مشاهده بحران، اقداماتی اساسی در جهت مهار افت سطح آب زیرزمینی در کوتاه‌مدت صورت گیرد و در بلندمدت، تمهیداتی پیرامون تقویت پتانسیل آبی و تعادل‌بخشی این دشت‌ها از طریق کاهش آبدهی چاه‌ها، جلوگیری از اضافه برداشت و یا تغذیه مصنوعی آبخوان و غیره به عمل آید.

۲-۵- روش‌های بررسی اثرات طرح تعادل‌بخشی

۲-۵-۱-روش بیلان آب زیرزمینی

با توجه به محاسبات بیلان و پارامترهای آن و مقایسه کاهش حجم بهره‌برداری و میزان افت در سال‌های بعد از اجرای فعالیت‌های تعادل‌بخشی نسبت به قبل از شروع طرح بررسی می‌گردد.

یزدانی (۱۳۹۲) کاهش سطح ایستابی آب در دشت‌های حوضه آبریز کویر مرکزی به گونه‌ای است که وضعیت منابع آب زیرزمینی در برخی از این دشت‌ها به مرحله غیر قابل بازگشت نزدیک شده‌اند بنابراین مدیریت استفاده از منابع آب زیرزمینی دارای اهمیت خاصی می‌باشد.

هیدروگراف سطح ایستابی آب در دشت اسفراین از زیر حوضه‌های آبریز کویر مرکزی در سال‌های گذشته دارای شیب نزولی بوده اما از سال ۸۹ تاکنون سطح ایستابی آب در این دشت ثابت بوده است. در این پژوهش سعی شده تا میزان تأثیرگذاری نصب کنتورهای هوشمند آب و برق برای چاه‌های کشاورزی بر بهبود هیدروگراف دشت اسفراین در کنار برخی عوامل از قبیل تأثیر نصب کنتورهای هوشمند آب و برق برای چاه‌های کشاورزی، شناسایی و انسداد چاه‌های غیرمجاز، نزولات جوی، افزایش ذخایر سد بیدواز اسفراین و تغییر روش‌های آبیاری مورد بررسی قرار گیرد. در پایان مهم‌ترین

عامل مؤثر در بهبود هیدروگراف دشت اسفراین کنترل برداشت‌های بیش از حد مجاز چاه‌های دارای پروانه توسط کنتورهای هوشمند آب و برق شناسایی گردید.

۲-۵-۲- خصوصیات هیدروشیمیایی

در راستای اجرای برخی از فعالیت‌های طرح تعادل‌بخشی از جمله نصب کنتورهای حجمی هوشمند که منجر به کاهش حجم بهره‌برداری گردیده مورد بررسی قرار گرفته است که با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده نمونه‌های آب در سال‌های قبل از شروع و بعد از شروع اجرای طرح، روند تغییرات هدایت الکتریکی را می‌توان به عنوان عواملی در نظر گرفت تا ارزیابی اثر طرح بررسی شود.

حقیقی‌گل (۱۳۹۶) عوامل مختلف طبیعی و انسانی در چند دهه اخیر باعث ایجاد شرایط بحرانی برای آب‌های زیرزمینی در بیشتر مناطق کشور از جمله دشت نهبندان شده است. یکی از مهم‌ترین عوامل در این بحران، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی مخصوصا در بخش کشاورزی است، که پیامدهای زیست‌محیطی همچون تغییر کیفیت آب زیرزمینی، خشک شدن منابع برداشت آب، نشست‌زمین، به خطر افتادن اکوسیستم منطقه و... را به دنبال داشته است. پیرو مشکلات پیش‌روی منابع آب زیرزمینی، در سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۸۳ طرحی تحت عنوان " طرح تحول در مدیریت منابع آب زیرزمینی " توسط امور آب وزارت نیرو تدوین گردید. بخشی از این طرح کنترل و کاهش حجم برداشت‌ها با استفاده از کنتورهای هوشمند است. بسیاری از کارشناسان معتقدند که استفاده از کنتور هوشمند می‌تواند تا حد قابل‌ملاحظه‌ای بر بهبود وضعیت بحران آب در دشت‌ها مؤثر واقع شود. استفاده از کنتورهای هوشمند می‌تواند اثرات قابل‌ملاحظه‌ای بر بیلان دشت، کاهش برداشت‌ها و مدیریت آب زیرزمینی داشته باشد. در این پژوهش به ضرورت استفاده از کنتورهای هوشمند، مزیت و کارکرد این کنتورها در مهار و کنترل آب، ارتقاء توان مدیریت، تأثیر نصب این کنتورها بر میزان روند افت آب‌های زیرزمینی و کیفیت آن در دشت نهبندان و پیشنهادهایی برای بهبود روند طرح و اثربخشی آن پرداخته شده است.

روشندل (۱۳۹۶) خشک‌سالی از جمله مشکلات عمده‌ای است که در سال‌های اخیر بخش‌های مختلفی از دنیا را تحت تأثیر خود قرار داده است. ایران نیز با توجه به اقلیم گرم و خشک در بیشتر مناطق، از این مشکل بی‌بهره نبوده است. در این پژوهش بر روی آبخوان آب زیرزمینی دشت چاردولی واقع در غرب ایران، حد فاصل استان‌های کردستان و همدان صورت گرفته است. نتایج به دست‌آمده نشانگر آن می‌باشد که برای دشت مورد مطالعه با وسعت حدود ۸۹۶ کیلومترمربع و ضریب ذخیره آبخوان معادل ۵٪، در مجموع کاهش حجمی حدود ۶۹ میلیون مترمکعب در سطح دشت در طی سال‌های مطالعه به دست آمده است. همچنین وضعیت کیفی آبخوان زیرزمینی دشت از نظر شرب، کشاورزی، رسوب‌گذاری و خورندگی، در طی سال‌های مطالعاتی مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج

تحلیل‌های کیفی، نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب، همراه با افت تراز آب زیرزمینی و افزایش کیفیت با افزایش تراز بوده است. بنابراین با اعمال درست قوانین مربوط به برداشت از آب زیرزمینی در سطح آبخوان و ایجاد محدودیت در این برداشت‌ها، امکان بهبود شرایط به مرور زمان، هرچند بسیار طولانی، و جلوگیری از تخریب این آبخوان وجود دارد. برای نیل به این هدف می‌توان از راهکارهایی از جمله پلمپ و مسدود کردن چاه‌های بدون پروانه در دشت، نصب کنتور حجمی بر روی چاه‌های پروانه‌دار و جلوگیری از صدور پروانه جدید حفر چاه در آبخوان زیرزمینی استفاده نمود.

خلیلی‌پالندی (۱۳۹۷) امروزه دسترسی به منابع آب مطمئن و با کیفیت، یکی از مهم‌ترین چالش‌ها می‌باشد. چرا که از یک طرف با افزایش جمعیت و فعالیت انسان‌ها، مصرف آب زیادتر شده و از طرف دیگر با کاهش بارندگی از حجم این منابع کاسته می‌گردد. با گسترش سکونت در مناطقی که آب سطحی به میزان کافی وجود ندارد یا مقدار آن کم است، استفاده از منابع آب زیرزمینی به عنوان جایگزینی مطمئن، مورد توجه قرار می‌گیرد، به طوری که در برخی مناطق، آب‌های زیرزمینی به عنوان تنها منبع تأمین آب محسوب می‌شوند. برای جلوگیری از ادامه افت کمی آبخوان‌ها تحقیق در این موضوع امری حائز اهمیت و از این‌رو حفظ و صیانت از منابع محدود آبی بسیار ضروری به نظر می‌رسد. هدف اصلی در این پژوهش شناخت شرایط موجود آبخوان‌های کشور، عوامل مؤثر بر ناپایداری آن و برنامه‌های اقدام جهت توقف افت سطح آب و حرکت به سمت پایداری، احیا و تعادل بخشی آبخوان‌ها می‌باشد نظر به اینکه روند اجرای طرح به دلیل مشکلات و چالش‌ها با فراز و نشیب‌هایی همراه بوده است از این‌رو به منظور اعمال مدیریت بهینه در اجرای پروژه‌های تعریف شده و افزایش ثمربخشی آن‌ها لازم است عملکرد گذشته طرح به نحو مناسبی مورد بررسی قرار بگیرد.

۲-۶- مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه

در منطقه مورد مطالعه نیز مطالعاتی بر روی منابع آب زیرزمینی صورت گرفته است که در زیر به آن اشاره می‌گردد.

مطیعی و همکاران (۱۳۸۳) در تحلیل و بررسی روند بهره‌برداری و توسعه منابع آب کشاورزی در منطقه رخ کدکن ضمن نتیجه‌گیری و ارائه راهبردهایی، عنوان کرده‌اند در حال حاضر با توجه به بهره‌برداری‌های بیش از حد آب‌های زیرزمینی این منطقه با بیلان منفی آب روبروست و باید ضمن تغییر الگوی کشت منطقه از گیاهان با بهره‌وری پایین مصرف آب مانند چغندرقند به سمت کشت‌های با بهره‌وری بالا مانند زعفران رفت و همچنین تغییر شیوه آبیاری محصولات زراعی و باغی از دستگاه‌های رایج به دستگاه‌های تحت فشار پرداخته شود.

جهاد کشاورزی شهرستان تربت‌حیدریه (۱۳۹۴) در مطالعات مربوط به توسعه کشاورزی شهرستان تربت‌حیدریه ضمن اشاره به نوع محصولات زراعی و باغی با سطح زیر کشت و مقدار تولید در واحد سطح بخش‌های مختلف، گزارشی از بهره‌برداری آب و روش‌های مختلف آبیاری در واحد سطح ارائه شده است.

ناصری (۱۳۸۷) برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت رخ، با استفاده از آمار و داده‌های کیفی و اعمال روش‌های آماری چند متغیره (تحلیل عاملی، تحلیل خوشه‌ای) وضعیت کیفی آبخوان دشت رخ مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است و بیان کرده با توجه به نتایج تحلیل عاملی، سه عامل به عنوان تأثیرگذارترین عوامل ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی را تحت کنترل دارند. زمین‌شناسی مهم‌ترین عامل در تغییرات کیفی آب زیرزمینی منطقه می‌باشد. تحلیل خوشه‌ای متغیرها نشان‌دهنده شباهت بالای میزان یون‌های سدیم و کلر است. در تحلیل خوشه‌ای داده‌های کیفی منطقه، داده‌های محدوده جوادیه همواره در خوشه‌ای مجزا قرار گرفته است و از لحاظ ترکیب شیمیایی شباهت کمتری با سایر منابع دارد.

فصل سوم: روش انجام کار

۳-۱- مقدمه

در این فصل، به منظور بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی و کیفیت آب در بخش‌های گوناگون دشت رخ و بررسی اثر طرح تعادل‌بخشی در این دشت، هیدروگراف تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای و هیدروگراف معرف دشت ترسیم گردیده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و سپس نقشه‌های هم‌افت و هم‌تراز سطح آب زیرزمینی و هدایت الکتریکی ترسیم شده است.

اقدامات انجام شده شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات کمی و کیفی دشت رخ از شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی

۲- تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ با استفاده از نرم‌افزار ArcGis10.3

۳-بررسی تغییرات خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هدایت الکتریکی آبخوان در راستای تاثیر طرح

۴-ترسیم نقشه‌های هم‌پتانسیل، افت سطح زیرزمینی و هدایت الکتریکی در دورهای قبل و بعد از شروع اجرای طرح با کمک نرم‌افزار GIS

۵-رسم نمودار روند تغییرات سطح آب

۶- بررسی منحنی‌ها و نمودارهای ترسیم شده

۳-۲- جمع‌آوری آمار و اطلاعات کمی و کیفی دشت رخ

به منظور بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی و افت چاه‌ها از اطلاعات جمع‌آوری شده شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی از ۲۲ حلقه چاه پیزومتر با داده‌های مشترک در دشت مورد مطالعه استفاده شده است. داده‌های کیفی چاه‌های انتخابی در این دشت از سال‌های آماری ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۷ دریافت شده و علاوه بر آن اطلاعات دیگری همچون بیلان آب و ضرایب ذخیره، مقدار بارندگی سالانه، متوسط درجه حرارت و تبخیر نیز از این شرکت جمع‌آوری گردیده که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۳-۳- نقشه زمین‌شناسی دشت رخ

برای مشخص کردن سازندها و سنگ‌شناسی منطقه و مطالعات هیدروژئولوژیکی و هدایت الکتریکی از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار GIS استفاده شده است.

۳-۴- بررسی تغییرات خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی رفتار آبخوان دشت رخ و تاثیر طرح تعادل‌بخشی از اطلاعات چاه‌های پیزومتر در دوره زمانی سال ۷۰ تا ۹۷ استفاده شده است. از مهم‌ترین ارزیابی‌های کمی که انجام می‌شود می‌توان به ترسیم نقشه‌های هم‌پتانسیل به منظور بررسی جهت جریان عمومی آب زیرزمینی، ترسیم نقشه هم‌افت آبخوان و رسم هیدروگراف معرف دشت به منظور بررسی ارتباط سطح آب زیرزمینی با بارندگی در منطقه و روند تغییرات تراز سطح آب پیزومترها اشاره کرد.

۳-۴-۱- هیدروگراف معرف آبخوان آبرفتی رخ

به منظور بررسی متوسط نوسانات سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های آبرفتی و تاثیر طرح، هیدروگراف معرف ترسیم می‌گردد. بدین منظور با توجه به محدوده آبخوان آبرفتی و موقعیت قرارگیری هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای، نقشه تیسن دشت رخ ترسیم و سپس با ضرب نمودن ارتفاع مطلق هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای در سطح پلی‌گون و میانگین‌گیری وزنی، متوسط تغییرات سطح آب زیرزمینی برای آبخوان به دست آمده است. جهت ترسیم هیدروگراف معرف آبخوان آبرفتی رخ، از اطلاعات ۲۲ حلقه چاه مشاهده‌ای از مهر ماه سال ۱۳۷۰ تا شهریور ماه سال ۱۳۹۷ استفاده شده است. همچنین به منظور بررسی ارتباط بین تغییرات سطح آب زیرزمینی و بارندگی، میزان بارندگی نیز به صورت میانگین سالانه بر روی نمودار نمایش داده شد.

۳-۴-۲- نقشه هم‌پتانسیل سطح آب زیرزمینی آبخوان رخ

عموماً به منظور دستیابی به اطلاعاتی مانند جهت جریان آب زیرزمینی، شیب هیدرولیکی و مقاطع ورودی و خروجی سفره آب زیرزمینی، نقشه هم‌پتانسیل سطح آب زیرزمینی ترسیم می‌گردد. با استفاده از اندازه‌گیری‌های انجام شده عمق سطح آب زیرزمینی در ۲۲ حلقه چاه مشاهده‌ای و کسر آن از نقطه نشانه، نقشه‌های تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان رخ برای دوره‌های زمانی مختلف ترسیم شده است.

نقشه عمق سطح آب زیرزمینی آبخوان رخ جهت بررسی و شناسایی حداکثر و حداقل عمق سطح آب زیرزمینی و همچنین موقعیت‌های با کمترین و بیشترین عمق سطح آب زیرزمینی در دوره‌های مختلف ترسیم شده است.

۳-۴-۳- نقشه افت سالانه سطح آب زیرزمینی

یکی از رایج‌ترین پیامدهای توسعه و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی افت سطح آب زیرزمینی می‌باشد، که در آبخوان آبرفتی رخ نیز مشاهده می‌شود. با استفاده از تفاضل ارقام عمق سطح آب اندازه‌گیری شده در بازه‌های زمانی یازده‌ساله (از سال ۸۶ تا ۹۷) و ۱۶ ساله (۷۰ تا ۸۶) و

۲۷ ساله (۷۰ تا ۹۷) و سال‌های قبل از اجرای طرح تعادل‌بخشی (۹۰-۹۳) و بعد از اجرا (۹۴-۹۷) در ۲۲ حلقه چاه مشاهده‌ای آبخوان رخ، نقشه هم‌افت سطح آب زیرزمینی ترسیم شده است.

۳-۴-۴- بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی

برای بررسی روند تغییرات زمانی تراز سطح آب زیرزمینی در قبل و بعد از شروع اجرای طرح در منطقه‌ی مورد مطالعه، از کل داده‌های آماری چاه‌های پیزومتر در دوره ۲۷ ساله (۱۳۷۰ تا ۱۳۹۷) که به صورت ماهانه اندازه‌گیری شده استفاده گردیده است و چاههای پیزومتر به صورت گروه‌های مختلف دسته‌بندی می‌گردد.

۳-۴-۵- بررسی بیلان محدوده

معادله هیدرولوژی که بر اصل بقاء ماده در چرخه آب در طبیعت تاکید دارد مبنای تعریف بیلان آب می‌باشد. برای ارزیابی بیلان آب زیرزمینی لازم است تا هر گونه تغذیه سطحی و زیرزمینی از هر منشأ و مبدأ و هر نوع تخلیه از نظر بهره‌برداری از چاهها، تخلیه طبیعی توسط چشمه‌ها در ناحیه بیلان، زهکش و تبخیر از سفره آب و بالاخره تغییرات حجم سفره آب زیرزمینی در زمان مشخص و محدوده معینی که سطح بیلان نامیده می‌شود، مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. بنابراین با توجه به محاسبات بیلان در سال ۹۲ و ۹۷ میزان ورودی و خروجی و حجم بهره‌برداری آب زیرزمینی در بازه زمانی قبل و بعد از اجرای طرح مقایسه شده است.

$$(I_{gw} + I_{sr} + I_{p+} I_w) - (O_{gw} + O_w + O_d + O_e) = \pm \Delta S \qquad \text{رابطه (۳-۱)}$$

I_{gw}= ورودی به آبخوان از طریق جریان آب زیرزمینی

I_{sr} = ورودی به آبخوان از طریق نفوذ جریان رواناب سطحی

I_p= ورودی به آبخوان از طریق بارش های جوی

I_w= ورودی به آبخوان از طریق آب‌های برگشتی مصارف چاه‌های کشاورزی و غیرکشاورزی

O_{gw}= خروجی از جریان آب زیرزمینی

O_w= تخلیه از طریق منابع بهره‌برداری (چاه-قنات-چشمه)

O_d = تخلیه از طریق زهکش شدن توسط رودخانه

O_e= تبخیر از آبخوان

۳-۵- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی محدوده مورد مطالعه

به منظور مقایسه و تفسیر تغییرات کیفیت سفره‌ی آب زیرزمینی دشت رخ در راستا تاثیر طرح تعادل‌بخشی نقشه‌های هدایت الکتریکی منطقه‌ی مورد مطالعه برای سال‌های ۸۶ و ۹۷ با استفاده از نرم‌افزار GIS ترسیم و با یکدیگر مقایسه گردیده است.

فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژی و اثر طرح تعادل‌بخشی در دشت رخ

۴-۱- مقدمه

بررسی هیدروژئولوژیکی منابع آب زیرزمینی و پایش روند تغییرات تراز سطح آب طی گذر زمان به ویژه در مناقطی که با محدودیت منابع آبی روبرو هستند امری ضروری جهت مدیریت صحیح و بهره برداری پایدار از این منابع محسوب می‌گردد. دشت رخ نیز به عنوان یکی از مناطق واقع در ناحیه خشک و نیمه‌خشک ایران با منابع آب سطحی ناچیز واقع شده و در سال‌های اخیر به دلیل برداشت‌های بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی و تداوم خشک‌سالی‌های پی در پی با افت سطح ایستابی و افزایش شوری مواجه گردیده است در این راستا جهت مدیریت و برداشت پایدار از آبخوان، طرح تعادل‌بخشی با نصب کنتورهای هوشمند و مسدود کردن چاههای غیرمجاز در این دشت از سال ۱۳۹۳ به طور جدی اجرا شده است.

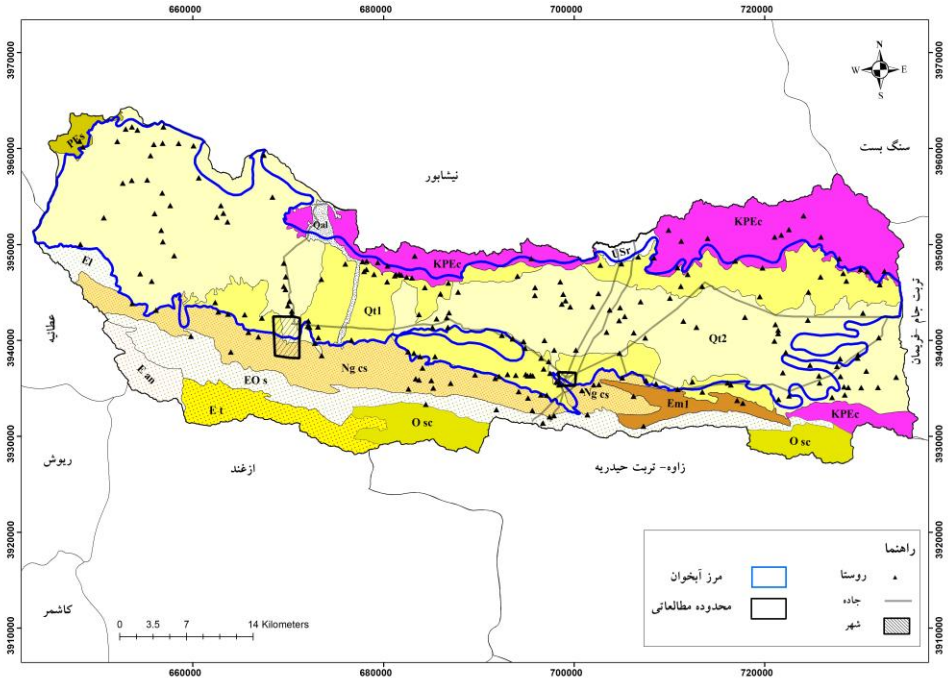
در این فصل به بررسی اثر این طرح بر رفتار کمی و کیفی دشت با استفاده از داده‌های تراز سطح آب و میزان هدایت الکتریکی و همچنین بیلان هیدروژئولوژی در طی سال‌های قبل و بعد از اجرای طرح پرداخته شده است. برای این منظور با استفاده از داده‌های چاه‌های پیزومتری شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی از سال آبی ۷۰ تا ۹۷ (قبل و بعد از شروع اجرای طرح) همچنین نمونه‌های برداشت شده از چاه‌های انتخابی، روند تغییرات کمی و کیفی آبخوان، بررسی و نمودارها و نقشه‌های مربوطه ترسیم و تفسیر می‌گردد.

۴-۲- وضعیت محدوده مطالعاتی دشت رخ

محدوده مطالعاتی رخ از شمال با محدوده مطالعاتی نیشابور، از شرق با محدوده مطالعاتی سنگ بست و فریمان-تربت جام، از جنوب با محدوده تربت‌حیدریه و ازغند و از غرب با محدوده مطالعاتی عطائیه هم‌جوار می‌باشد. ارتفاع متوسط بارندگی سالانه برای محدوده دشت و ارتفاعات به ترتیب ۲۸۹/۱۷ و ۳۵۳/۵۳ میلی‌متر، ارتفاع تبخیر و تعرق واقعی سالانه برابر ۲۶۸/۱ و ۳۰۴/۹ میلی‌متر و حجم رواناب سالانه به ترتیب برابر ۱۰/۳ و ۳۴/۳۸ میلیون مترمکعب می‌باشد.

مطالعات ژئوفیزیک در محدوده مطالعاتی رخ توسط مهندسین مشاور ست‌کوپ در سال ۱۳۴۹ انجام شده است. در این مطالعه ۷۷ سونداژ ژئوالکتریک در ۱۲ مقطع با امتداد شمالی-جنوبی در دشت رخ برداشت گردیده است. نتایج مطالعات ژئوالکتریک نشان می‌دهد ضخامت آبرفت در محدوده مطالعاتی رخ بسیار متفاوت بوده و از ۳۰ تا ۳۵۰ متر متغیر است. مقاومت ویژه آبرفت سطحی نسبتاً زیاد بوده و از ۳ اهم‌متر تا ۳۰۰ اهم‌متر تغییر می‌نماید. این مطلب به دلیل نفوذپذیری قابل‌توجه آبرفت سطحی است. مقاومت مخصوص لایه آبدار آبرفت نیز ۳۰۰ اهم‌متر تا ۲ اهم‌متر در نوسان است. ولی به طور کلی به دلیل دانه‌بندی درشت آبرفت مقدار مقاومت مخصوص آن بالا می‌باشد. سنگ‌کف نیز نسبت به سایر دشت‌ها دارای مقاومت مخصوص بیشتری است. به همین دلیل انتظار می‌رود سنگ‌کف در نواحی

شمالی و شرقی از سنگ‌های آذرین (عمدتاً افیولیت‌ها) و در بخش‌های شرقی از رسوبات مارنی-رسی نئوژن باشد.



شکل ۴-۱: نقشه موقعیت دشت رخ

۴-۳- هیدروژئولوژی آبخوان دشت رخ

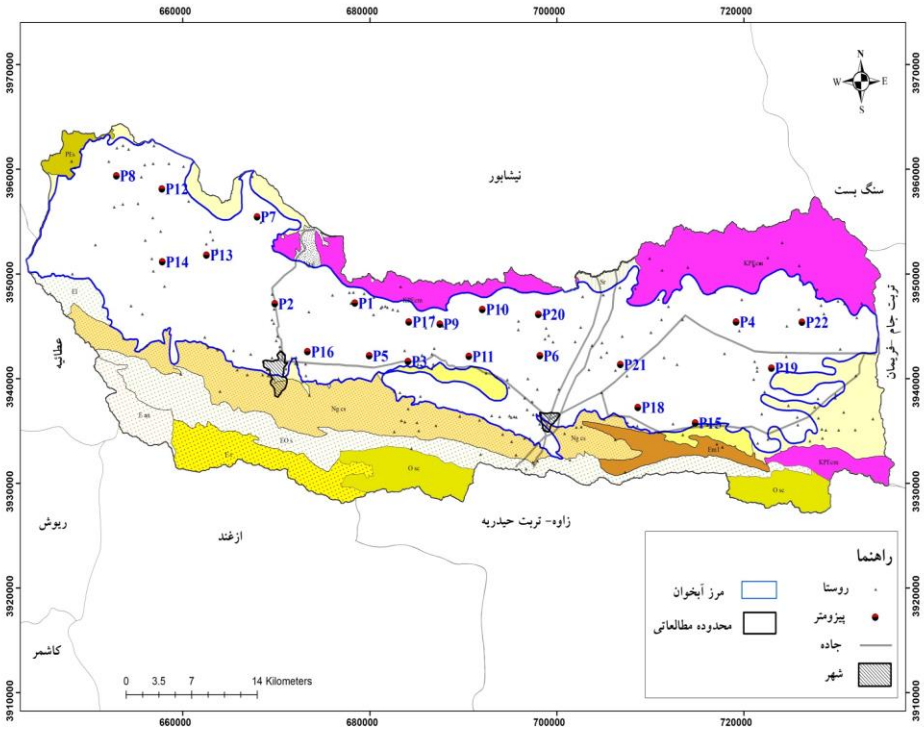
در این بخش به بررسی جهت جریان آب زیرزمینی در زمان‌های مختلف با استفاده از نقشه‌های هم‌پتانسیل و تغییرات سطح آب و گروه‌بندی پیزومترها در دشت پرداخته شده است.

۴-۳-۱- بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل دشت

برای رسم نقشه هم‌پتانسیل و بررسی تغییرات تراز سطح آب در طی زمان‌های مختلف از اطلاعات تراز سطح آب در پیزومترهای دشت در سه دوره مختلف شهریور ماه ۷۱،۸۶ و ۹۷ استفاده گردیده است که به صورت سه نقشه هم‌پتانسیل ترسیم و مقایسه شده است. برای این منظور از اطلاعات ۲۲ حلقه چاه پیزومتر مشترک در دوره‌های مختلف استفاده شده است (شکل ۴-۲ و جدول 4-1). با توجه به موقعیت پیزومترها و شبکه رفتار سنجی، آب زیرزمینی از شرق آبخوان به سمت شمال‌غرب آن در جریان است. بیشترین ارتفاع مطلق آب زیرزمینی مربوط به پیزومتر احمدآباد خزایی (۱۶۶۲/۵۸ متر) در شرق آبخوان و کمترین ارتفاع مطلق آب زیرزمینی مربوط به پیزومتر غرب ریگی (۱۴۰۸/۹۱ متر) در شمال غرب آبخوان است. جهت کلی حرکت آب زیرزمینی از شرق آبخوان به سمت شمال‌غرب آن می‌باشد.

منطقه تغذیه عمدتاً در بخش شرقی دشت قرار دارد اما تغذیه از سمت جنوب و از سمت جنوب‌غربی دشت رخ نیز وجود دارد (شکل۴-۳ تا ۴-۸). گرادیان هیدرولیکی در بخش تغذیه در منطقه شرقی و در بخش غربی دشت زیاد اما در بخش مرکزی به دلیل افزایش ضخامت آبرفت و تجمع چاههای پمپاژ مقدار گرادیان کمتر است. متوسط گرادیان هیدرولیکی در آبخوان رخ ۰/۰۰۳ می‌باشد.

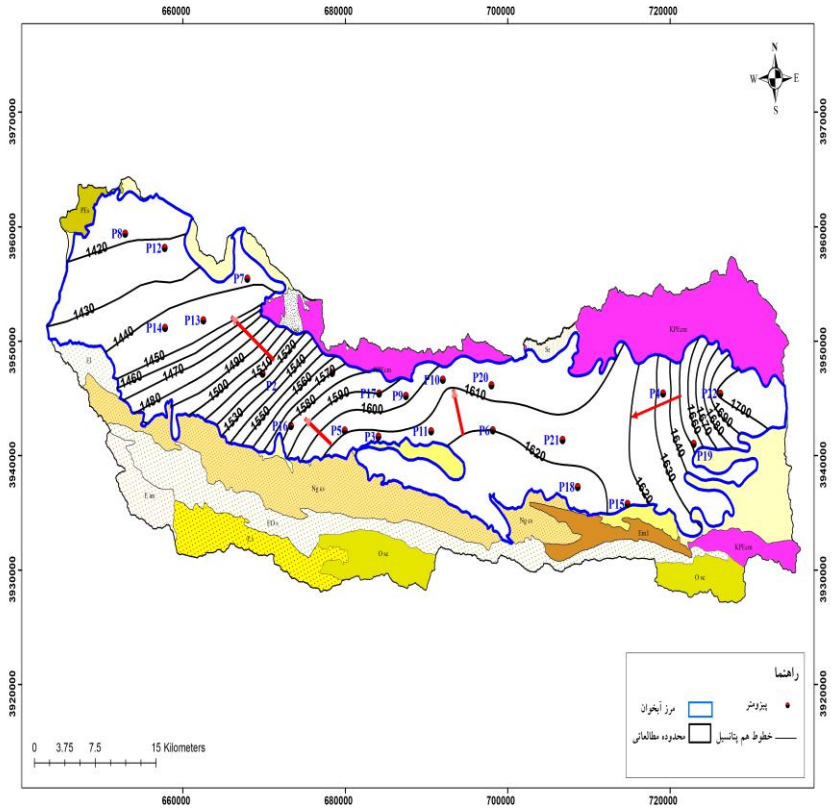
نقشه هم‌پتانسیل در دوره‌های زمانی مختلف در اشکال (۴-۳ تا ۴-۸) ترسیم شده و تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در سه گروه مختلف تقسیم‌بندی شده است. جهت کلی آب زیرزمینی در این دشت از سال آبی۷۰-۷۱ تا سال آبی ۹۶-۹۷ تغییر فاحشی نداشته است. اما با توجه به نقشه‌های گروه‌بندی مقدار تراز سطح آب در شرق، مرکز و غرب دشت در طی زمان مقایسه شده است و در سال آبی ۱۳۷۱ گروه اول که تراز بالاتر را نشان می‌دهد عمدتاً در بخش شرقی و مرکزی دشت قرار دارد در مقایسه با دیگر زمان‌ها این زون تغییر کرده است اگر خط تراز ۱۶۰۰ متر به عنوان مبنا در نظر گرفته شود، با گذشت زمان از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۷ این خط تراز از مرکز دشت به سمت شرق دشت حرکت کرده است که نشانگر افت سطح آب در مرکز دشت بوده و تراز سطح آب کمتر شده است. این موضوع به دلیل تجمع چاهها با برداشت زیاد در طی زمان است. اما در غرب دشت و درگروه سوم مرز این زون تغییر چندانی نداشته است. به عبارت دیگر مقدار افت در غرب دشت به دلیل تجمع کمتر چاهها و همچنین برداشت کمتر تغییرات زیادی در تراز آب زیرزمینی نداشته بنابراین عمده تغییرات در بخش مرکزی و شرق دشت می‌باشد.



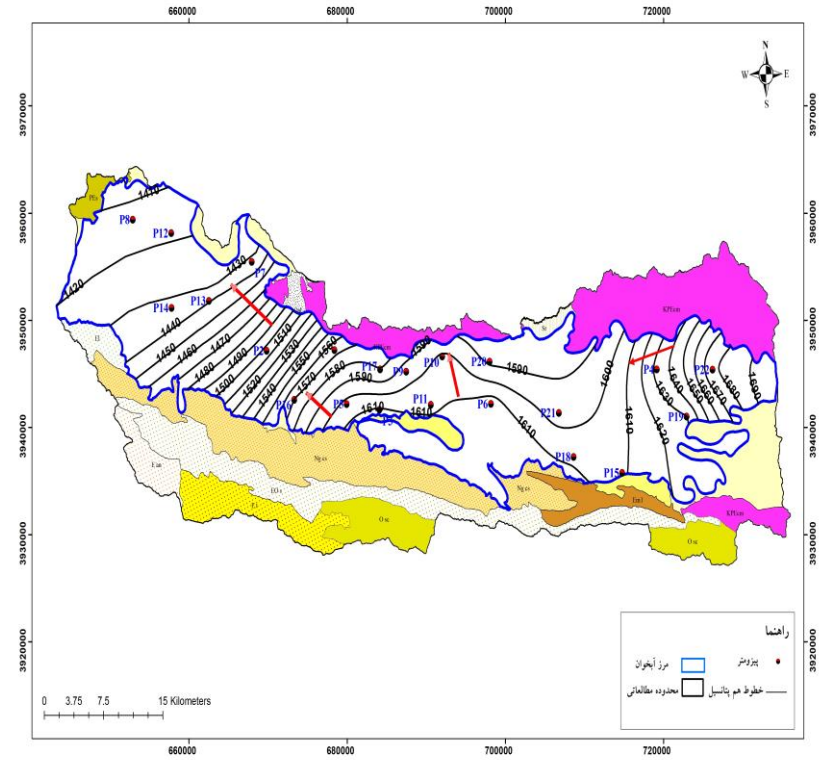
شکل ۴-۲: نقشه موقعیت چاه‌های پیزومتر دشت رخ

جدول ۴-۱: مختصات سطح آب پیزومترها در شهریور ماه سال ۷۱ و ۸۶ و ۹۷

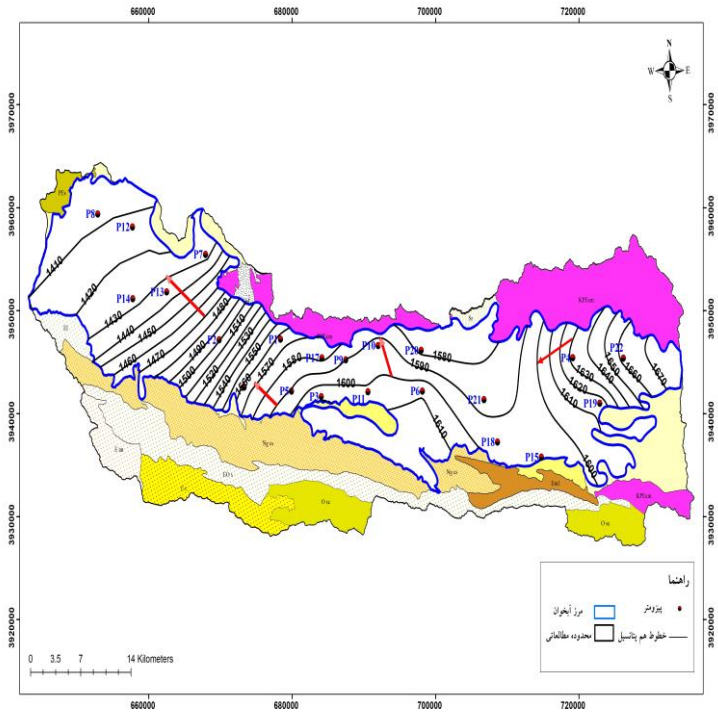
ردیف	نام پیزومتر	نام اختصاری	x	Y	تراز	تراز سطح آب		
						شهریور ۷۱	شهریور ۸۶	شهریور ۹۷
۱	ترقی	p۱	۶۷۸۳۸۹	۳۹۴۷۲۰۲	۱۵۷۵,۹	۱۵۶۵,۴۵	۱۵۶۶,۵۱	۱۵۶۴,۴۹
۲	شمال کدکن	p۲	۶۶۹۸۲۸	۳۹۴۷۱۴۰	۱۶۲۷,۳۹	۱۵۰۴,۶۲	۱۵۰۳,۳	۱۴۹۸,۶۸
۳	رقیچه	p۳	۶۸۴۰۸۲	۳۹۴۱۶۲۹	۱۶۶۰,۸۹	۱۶۱۲,۷۴	۱۶۱۰,۴۸	۱۶۰۸,۳۳
۴	اسدیه	p۴	۷۱۹۱۷۱	۳۹۴۵۴۰۷	۱۷۶۳,۳۶	۱۶۳۷,۲۱	۱۶۳۳,۳۳	۱۶۳۱,۱۶
۵	برس	p۵	۶۷۹۹۳۰	۳۹۴۲۱۶۹	۱۷۰۲,۸۷	۱۶۰۷,۲۲	۱۶۰۲,۳۶	۱۵۹۰,۹۵
۶	شیر آباد	p۶	۶۹۸۱۷۹	۳۹۴۲۱۷۷	۱۶۲۶,۳۹	۱۶۱۹,۷۴	۱۶۱۴,۳۷	۱۶۰۸,۱۳
۷	تلخ بخش	p۷	۶۶۷۹۲۷	۳۹۵۵۴۴۲	۱۴۷۵,۲۲	۱۴۳۵,۱۷	۱۴۲۹,۶۴	۱۴۲۵,۱۵
۸	غرب ریگی	p۸	۶۵۲۸۹۴	۳۹۵۹۳۷۳	۱۴۵۴,۶۴	۱۴۱۹,۸۲	۱۴۱۳,۵۹	۱۴۰۸,۹۱
۹	چهار تخته کوک	p۹	۶۸۷۴۸۴	۳۹۴۵۲۰۱	۱۶۱۸,۵۶	۱۶۰۰,۷۱	۱۵۹۴,۷۹	۱۵۹۰,۲۷
۱۰	پیش آخور	p۱۰	۶۹۲۰۲۳	۳۹۴۶۶۰۰	۱۶۱۸,۳	۱۶۰۷,۸۵	۱۶۰۰,۵۷	۱۵۹۳,۶
۱۱	جوادیه	p۱۱	۶۹۰۵۸۲	۳۹۴۲۱۰۶	۱۶۳۱,۶۱	۱۶۳۱,۶۱	۱۶۰۶,۳۳	۱۶۰۱,۵۹
۱۲	جنوب زمه	p۱۲	۶۵۷۷۴۸	۳۹۵۸۱۱۷	۱۴۵۸,۰۹	۱۴۲۲,۵۹	۱۴۱۵,۴۵	۱۴۱۰,۸۳
۱۳	جنوب مشاع گلبو	p۱۳	۶۶۲۵۲۰	۳۹۵۱۷۹۶	۱۵۵۳,۴۳	۱۴۴۸,۳۸	۱۴۳۹.۶۸	۱۴۳۵,۰۸
۱۴	دافی	p۱۴	۶۵۷۷۸۸	۳۹۵۱۱۴۰	۱۵۸۴,۷۷	۱۴۴۱,۵۵	۱۴۳۲,۹۷	۱۵۸۴,۷۷
۱۵	مختاری	p۱۵	۷۱۴۷۸۴	۳۹۳۵۷۵۷	۱۷۰۹,۲۵	۱۶۱۸,۶	۱۶۰۸	۱۵۹۳,۳۶
۱۶	شمال شرق کدکن	p۱۶	۶۷۳۳۲۴	۳۹۴۲۵۶۶	۱۷۴۵,۰۵	۱۵۸۱,۵۵	۱۵۷۰,۶۵	۱۷۴۵,۰۵
۱۷	نصرت آباد	p۱۷	۶۸۴۱۶۵	۳۹۴۵۴۰۳	۱۵۹۳,۱۹	۱۵۹۰,۲۴	۱۵۷۹,۹۵	۱۵۷۷,۶۳
۱۸	شور حصار	p۱۸	۷۰۸۶۵۳	۳۹۳۷۲۳۳	۱۶۷۸,۵۸	۱۶۲۳,۴۶	۱۶۰۷,۲	۱۵۹۶,۲۸
۱۹	قشرباط	p۱۹	۷۲۲۹۳۲	۳۹۴۰۹۹۶	۱۷۳۷,۹۵	۱۶۴۶,۱	۱۶۲۸,۲۸	۱۶۱۳,۶۴
۲۰	سلطان آباد	p۲۰	۶۹۸۰۲۲	۳۹۴۶۱۲۷	۱۶۳۸,۲۹	۱۶۰۷,۲۴	۱۵۸۷,۳۶	۱۵۷۷,۴۴
۲۱	شرق نظامیه	p۲۱	۷۰۶۷۸۲	۳۹۴۱۳۳۶	۱۶۵۲,۵	۱۶۱۴,۹	۱۵۹۴,۹۶	۱۵۸۴,۲۳
۲۲	احمد آباد خزایی	p۲۲	۷۲۶۲۱۴	۳۹۴۵۳۷۲	۱۸۳۳,۵۲	۱۷۰۰,۹۲	۱۶۷۵,۸۵	۱۶۶۲,۵۸



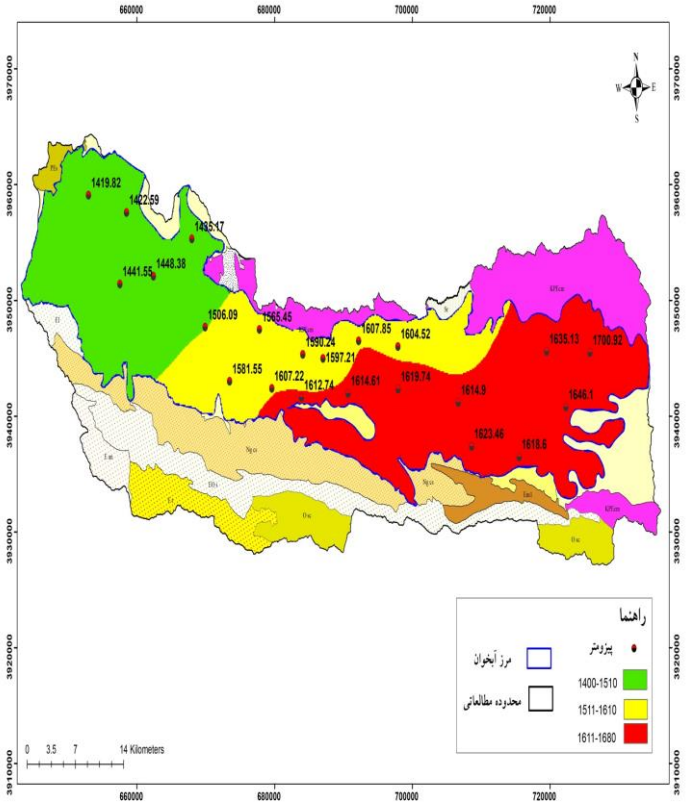
شکل ۴-۳: نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی دشت رخ در شهریور ماه سال ۱۳۷۱



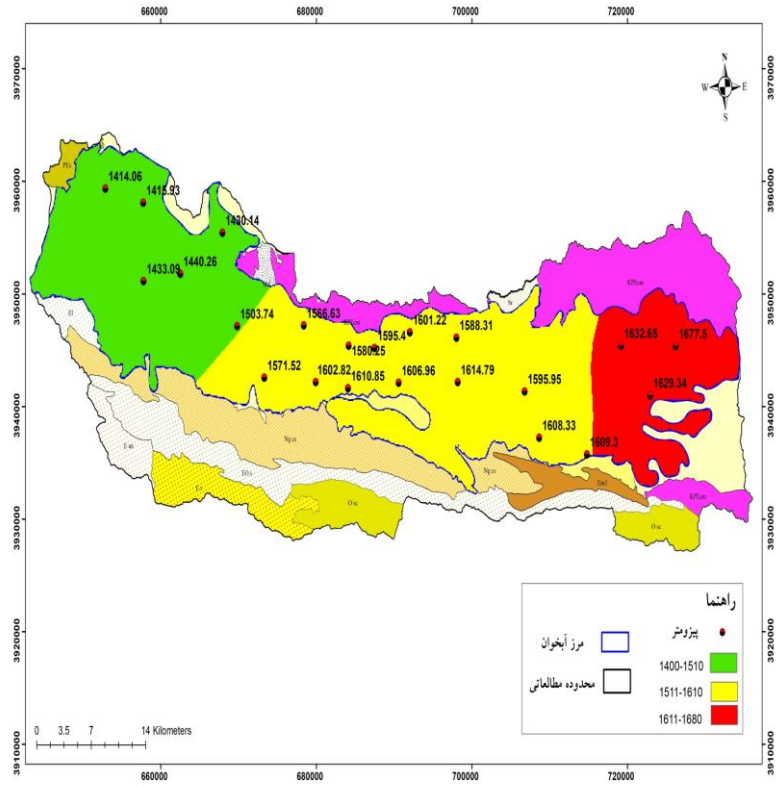
شکل ۴-۴: نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی دشت رخ درشهریور ماه سال ۱۳۸۶



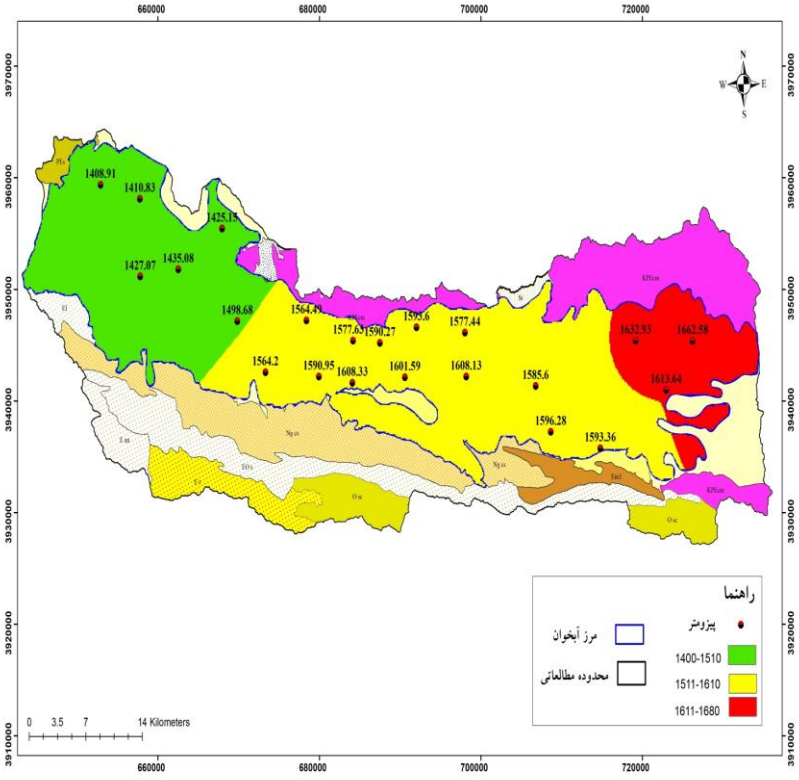
شکل ۴-۵: نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی دشت رخ در شهریور ماه سال ۱۳۹۷



شکل ۴-۶: نقشه تقسیم‌بندی تراز سطح آب دشت رخ در شهریور ماه سال ۱۳۷۱



شکل ۴-۷: نقشه تقسیم‌بندی تراز سطح آب زیرزمینی دشت رخ درشهریور ماه سال ۱۳۸۶



شکل ۴-۸: نقشه تقسیم‌بندی تراز سطح آب زیرزمینی دشت رخ در شهریور ماه سال ۱۳۹۷

۴-۳-۲- بررسی دشت بر اساس افت

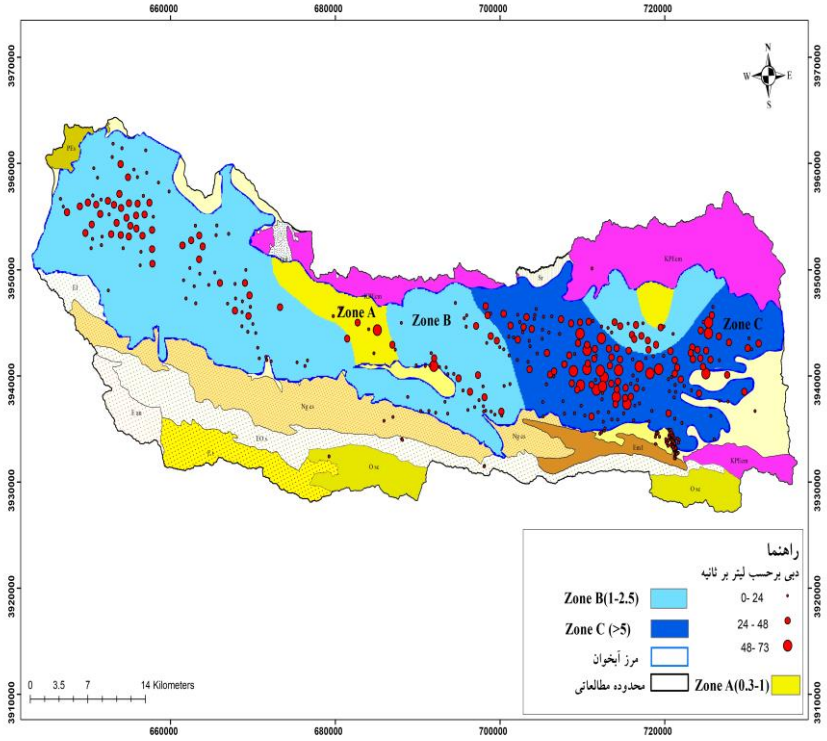
با استفاده از اطلاعات تغییرات سطح آب زیرزمینی در شهریور ماه سال ۷۱ تا ۹۷ میزان افت در دوره‌های ۳ ساله (۹۰-۹۳) و (۹۴-۹۷) و ۱۱ ساله (۸۶-۹۷) و ۱۶ ساله (۷۰-۸۶) و ۲۷ ساله (۷۰-۹۷) به سه زون C, B,A تقسیم شده است (شکل‌های ۴-۹ الی ۴-۱۳). لازم به ذکر است این زون بندی فقط جنبه مقایسه‌ای داشته و نمی‌توان به طور دقیق این زون‌بندی را در آبخوان انجام داد. میزان افت در هر زون با توجه به دوره آن متفاوت می‌باشد.

با توجه به بررسی انجام شده آبخوان به سه زون تقسیم می‌گردد به طوری که زون A کمترین و زون C بیشترین افت را دارد. زون A به دلیل قرارگیری در بخش انتهایی دشت مقدار افت کم و زون C به دلیل تجمع چاه‌ها با آبدهی بالا بیشترین افت را داشته و زون B میزان افت متوسطی دارد.

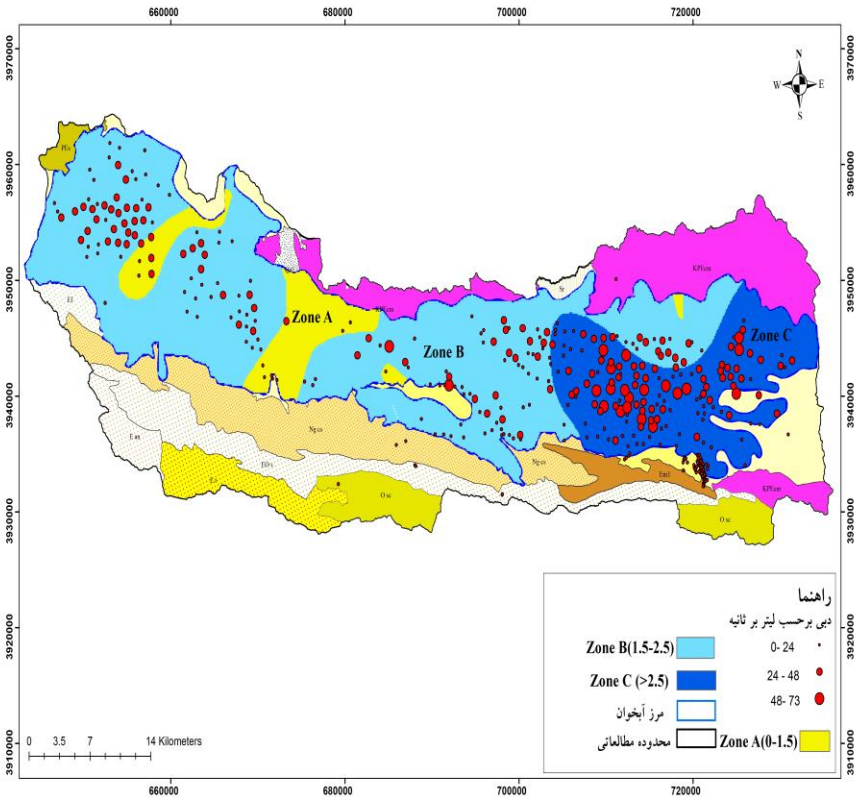
زون A با افت کم بخش عمده دشت به خصوص بخش غربی و مرکزی دشت را در برگرفته است که این نشانگر این است عمده برداشت از آب زیرزمینی در بخش شرقی دشت قرار دارد که این به دلیل دانه درشت بودن بخش شرقی و همچنین نزدیک به زون تغذیه و کیفیت بهتر آب می‌باشد.

با توجه به میزان افت ۳ ساله بیشترین افت در سال‌های اخیر در بخش شرقی دشت اتفاق افتاده است. با در نظر گرفتن افت ۱۱ و ۱۶ و ۲۷ ساله میزان پراکندگی زون B, A تغییر چندانی نداشته اما زون C عمدتاً در بخش شرقی قرار دارد. افت سه ساله بعد از شروع اجرای طرح (۹۴-۹۷) نسبت به افت سه ساله قبل از اجرای طرح کمتر شده است.

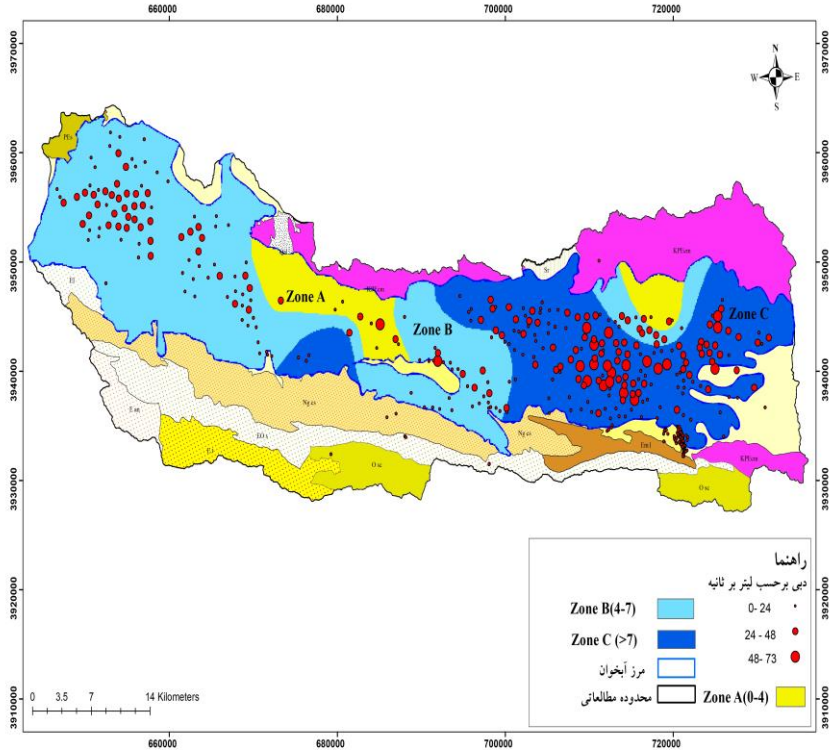
در این نقشه‌ها میزان تجمع، دبی و عمق چاه‌ها پلات شده است. در زون C عمق چاه‌ها کمتر از زون A بوده، اما میزان حجم برداشتی بیشتر است (شکل ۴-۱۳). میزان افت با توجه به نقشه زون‌بندی برای دوره‌های ۱۱ و ۱۶ و ۲۷ ساله به طور قابل توجهی در سه دوره تقریباً یکسان و برابر است، اما با زون‌بندی سه ساله فرق می‌کند این نشانگر آن است که در بخش شمالی منتهی در قسمت شرقی میزان افت سه ساله کمتر شده است و احتمالاً به دلیل اعمال طرح تعادل‌بخشی در این نواحی باشد.



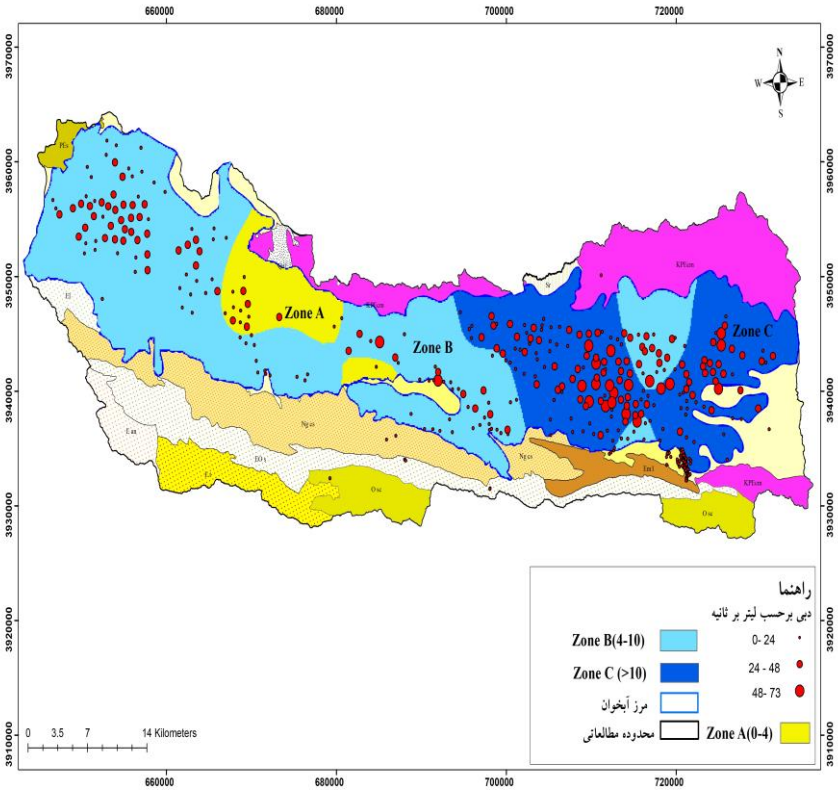
شکل ۴-۹: نقشه زون‌بندی افت ۳ ساله (۹۰-۹۳) و موقعیت چاه‌ها بر حسب دبی



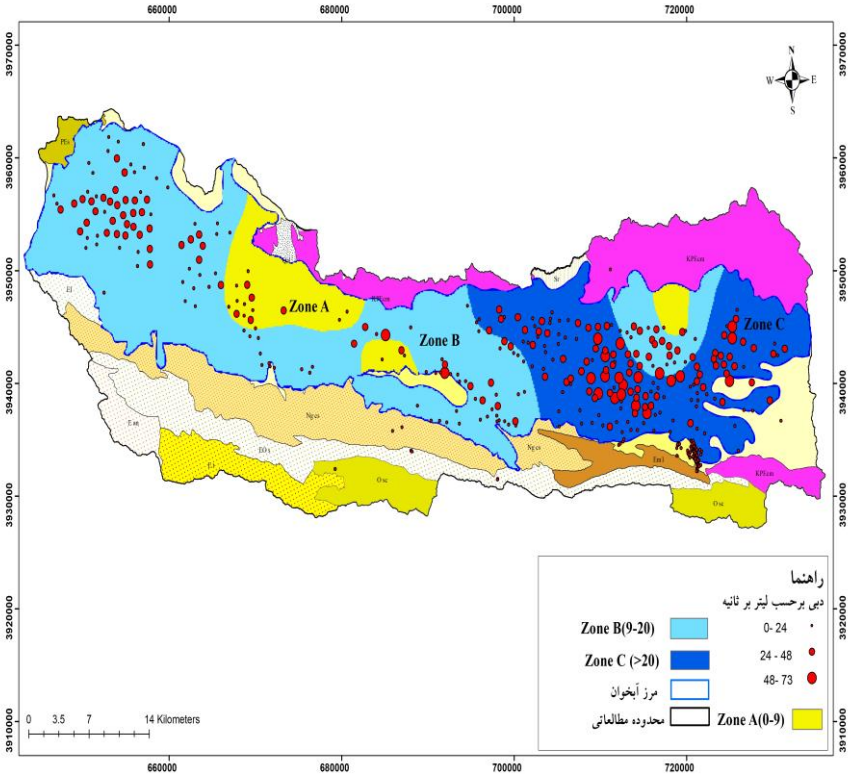
شکل ۴-۱۰: نقشه زون‌بندی افت ۳ ساله (۹۴-۹۷) و موقعیت چاه‌ها بر حسب دبی



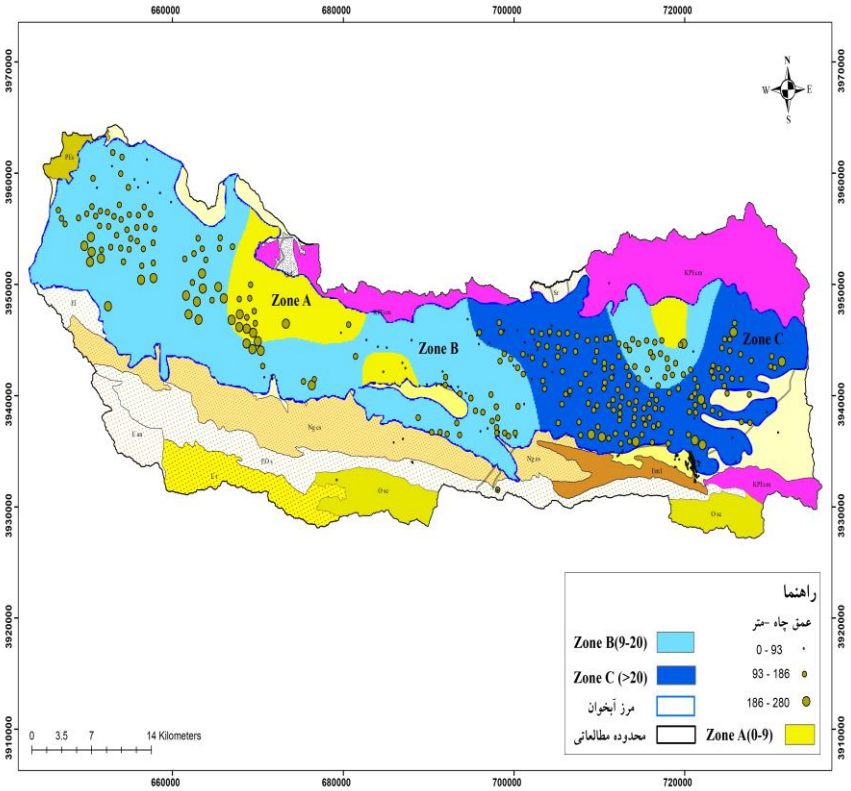
شکل ۴-۱۱: نقشه زون‌بندی افت ۱۱ ساله (۸۶-۹۷) و موقعیت چاه‌ها بر حسب دبی



شکل ۴-۱۲: نقشه زون‌بندی افت ۱۶ ساله (۷۰-۸۶) و موقعیت چاه‌ها بر حسب دبی



شکل ۴-۱۳: نقشه زون‌بندی افت ۲۷ ساله (۷۰-۹۷) و موقعیت چاه‌ها بر حسب دبی



شکل ۴-۱۴: نقشه زون‌بندی افت ۲۷ ساله (۷۰-۹۷) و موقعیت چاه‌ها بر اساس عمق

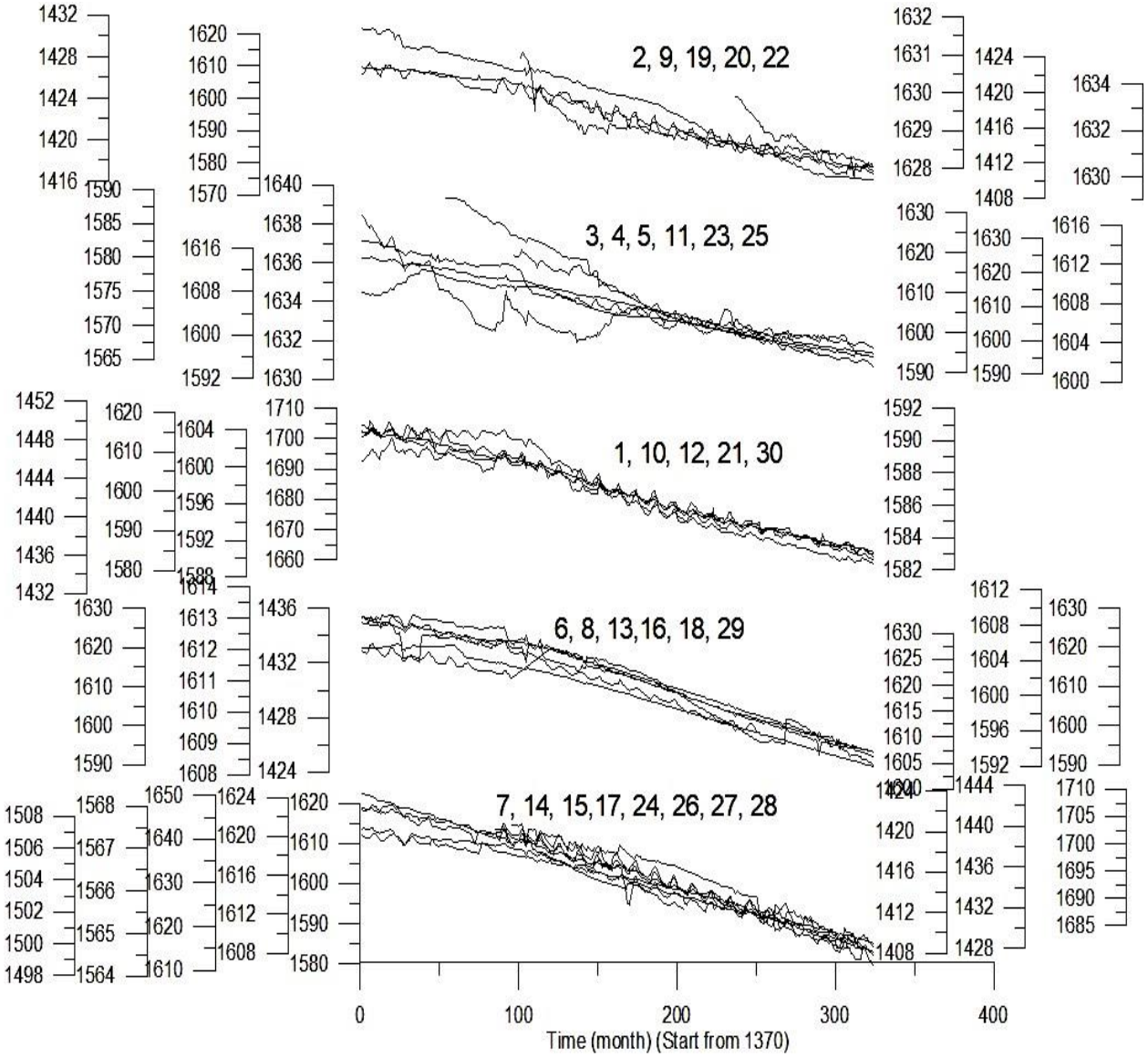
۴-۳-۳ تغییرات تراز سطح آب پیزومترها

با بررسی تغییرات سطح آب چاهها و روند تغییرات آنها در بازه زمانی ۲۷ ساله، پیزومترهای دشت به گروه‌های مختلف تقسیم شده است (شکل۴-۱۵). گروه یک شامل چاه‌های ۷ و ۱۴ و ۱۵ و ۲۴ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸، گروه دو ۶ و ۸ و ۱۳ و ۱۶ و ۱۸ و ۲۹ و... می‌باشد. روند تغییرات افت در کلیه چاههای پیزومتری کاهشی بوده و بیشترین افت در این پیزومترها در بخش شرقی و مرکزی دشت قرار داشته و با توجه به تجمع چاه‌ها و برداشت بیشتر قابل توجیه می‌باشد. در برخی از چاههای پیزومتری گرچه روند تغییرات تراز سطح آب در اوایل زیاد بوده اما در سال‌های اخیر این روند شیب کمتری داشته و تغییرات تراز سطح آب تقریباً به یک صدم رسیده و افت کمتری را نشان می‌دهند. این احتمالا می‌تواند به دلیل اعمال طرح تعادل‌بخشی و کنترل برداشت‌های چاه‌ها در بخش‌هایی از این دشت باشد.

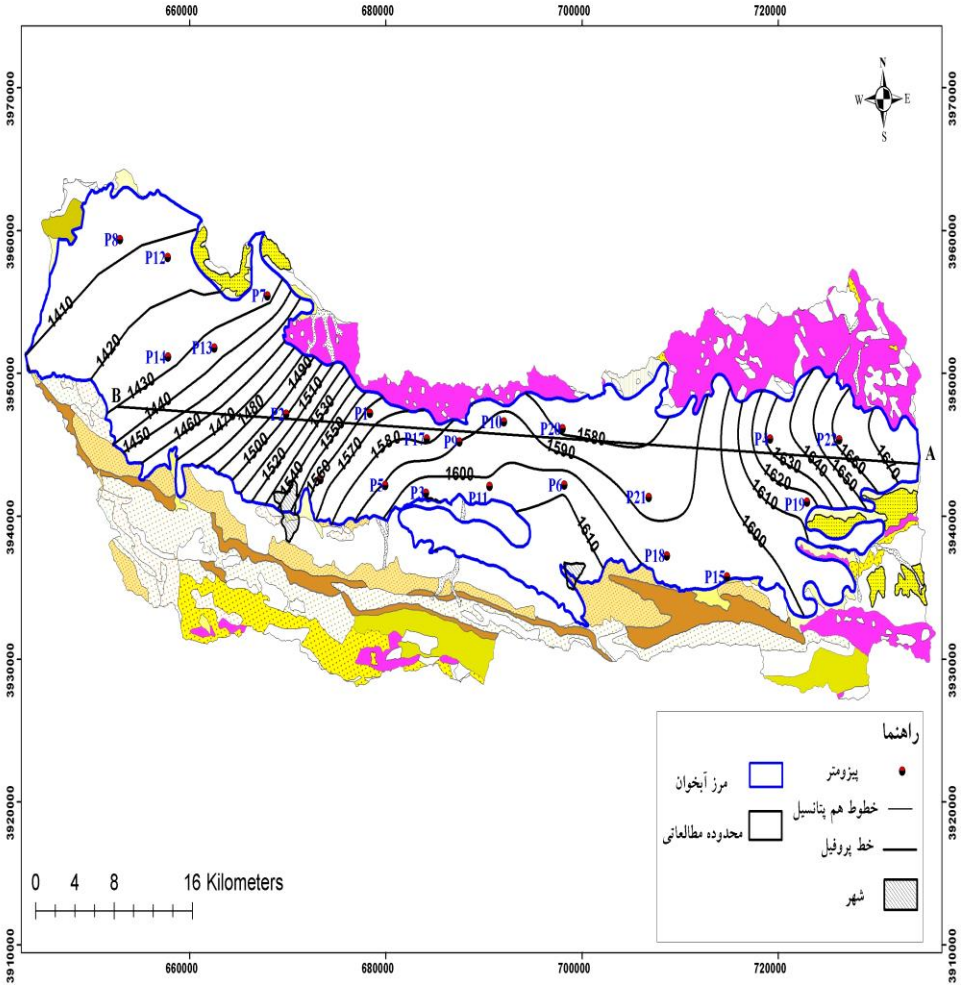
۴-۳-۴ بررسی تغییرات مکانی و تراز سطح آب پیزومترها

برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی تراز سطح آب و با استفاده از نقشه‌های هم‌پتانسیل سال‌های ۷۱ و ۸۶ و ۹۷ در یک مسیر مشخص از سمت شرق منطقه تغذیه به سمت غرب منطقه تخلیه، پروفیل طولی ترسیم شده است (شکل ۴-۱۶). با توجه به پروفیل طولی برای یک زمان مشخص تراز سطح آب پیزومتری در قسمت شرق بیشتر و در قسمت غرب کمتر است، اما در مرکز دشت در مسیر پروفیل در قسمت شمالی تراز پایین‌تر از قسمت غرب است که به دلیل تغذیه این بخش از آب زیرزمینی می‌باشد (شکل ۴-۱۷).

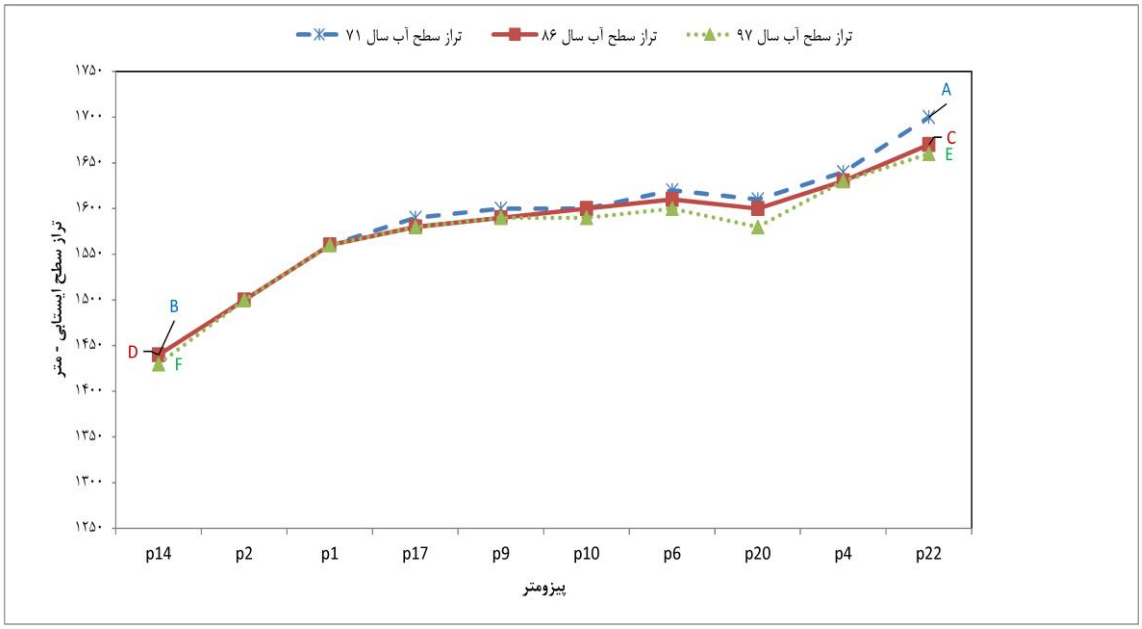
مقایسه تغییرات زمانی در این پروفیل مشاهده می‌شود که تراز سطح آب در گذر زمان در بخش شرقی بیشترین افت و بخش مرکزی کمتر و بخش غربی افت مشهودی را نشان نمی‌دهد (شکل ۴-۱۸). همچنین روند تغییرات تراز در این سه بازه زمانی در طول مسیر یکسان است این نشانگر آن است که برداشت از آبخوان در سال‌های اخیر مدیریت شده و احتمالاً تعداد چاه‌ها بیشتر شده باشد اما حجم برداشتی کنترل شده و این نیاز به بررسی بیشتر دارد.



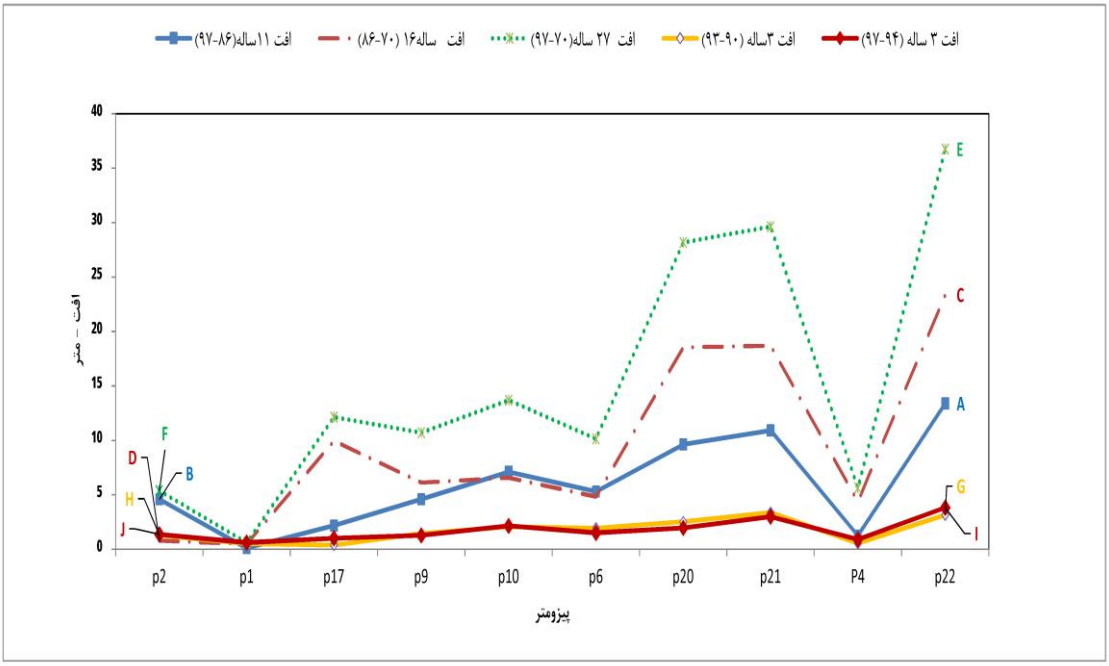
شکل ۴-۱۵: نمودار تغییرات سطح آب چاه‌های پیزومتری



شکل ۴-۱۶: نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی دشت در شهریور ماه ۱۳۹۷ و خط پروفیل تغییرات مکانی



شکل ۴-۱۷: نمودار تغییرات مکانی تراز سطح آب



شکل ۴-۱۸: نمودار تغییرات مکانی افت

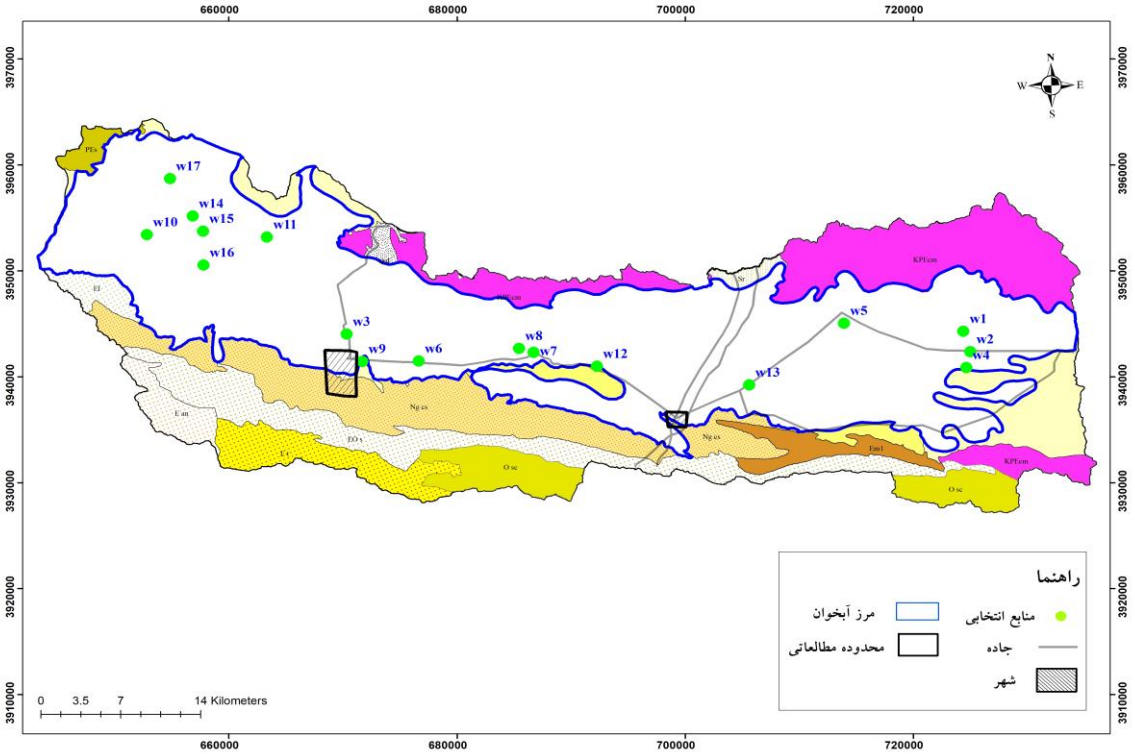
۴-۴-بررسی تغییرات هدایت الکتریکی (*EC*)

برای بررسی تغییرات هدایت الکتریکی از تعداد ۱۶ حلقه چاه‌های انتخابی از سال ۸۶ تا ۹۷ که توسط شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی نمونه‌برداری گردیده استفاده شده است (جدول ۴-۲ و شکل ۴-۱۹). نقشه‌های پراکندگی و کنتورهای آن در زیر ارائه شده است.

پارامتر EC در بخش تغذیه و شرقی دشت مقدار کمتری داشته و در حدود ۵۰۰ تا ۱۳۰۰ میکروموهس بر سانتیمتر متغیر بوده و بیشترین مقدار EC در بخش جنوب‌غربی و شمال‌غربی دشت در حدود ۲۵۰۰ تا ۵۳۰۰ میکروموهوس بر سانتیمتر متغیر می‌باشد. بنابراین در برخی نقاط دشت به دلیل وجود سازندهای تبخیری و رسوبات دانه ریز و احتمالاً میزان برداشت بیشتر مقدار هدایت الکتریکی افزایش یافته که این موضوع در بخش جنوبی دشت مشهود است. از طرفی در اثر اضافه برداشت مقدار ذخیره آبخوان کمتر شده و میزان شوری سفره بالتبع زیادتر می‌گردد. بنابراین با اعمال کارهای مدیریتی می‌توان این عامل را نیز حداقل کنترل کرد.

با توجه به نقشه هم EC، می‌توان تغییرات هدایت الکتریکی را به سه زون تقسیم‌بندی کرد (شکل ۴-۲۰ و ۴-۲۱). مقدار EC در شهریور ماه سال ۱۳۸۶ و سال ۱۳۹۷ در زون A از ۵۰۰ تا ۲۱۰۰ و زون B از ۲۱۰۱ تا ۳۸۰۰ و زون C از ۳۸۰۱ تا ۵۵۰۰ میکروموهس بر سانتیمتر متغیر می‌باشد. زون A کمترین مقدار EC را داشته و بیشتر در بخش شرقی و مرکزی دشت قرار دارد. زون C بیشترین مقدار EC را داشته و عمدتا در بخش جنوبی دشت در جایی که مقداری تغذیه صورت می‌گیرد قرار دارد که علت بالا بودن EC می‌تواند جریان ورودی آبهای شور از این بخش از دشت باشد و در بخش شمال‌غربی به دلیل نزدیکی به زون تخلیه نیز مقدار EC زیاد می‌باشد که می‌تواند به دلیل قرارگرفتن در انتهای خروجی دشت و همچنین دانه‌ریز بودن رسوبات باشد. جهت بررسی اثر طرح تعادل‌بخشی در این دشت می‌توان تغییرات مکانی و زمانی کیفی آب زیرزمینی را نیز همچون سطح آب بررسی کرد. با توجه به نقشه هم‌EC دشت در مسیر مشابه تغییرات تراز سطح آب، پروفیل تغییرات مکانی EC نیز بررسی شده است (شکل ۴-۲۲ و شکل ۴-۲۳). در پروفیل رسم شده بیشترین مقدار EC در بخش جنوبی دشت و در بخش شرقی کمترین مقدار EC اندازه گیری شده است. در بخش مرکزی به سمت انتهای دشت به دلیل مخروطه افکنه کال‌های رود شور و کدکن و تغذیه از این رودها مقدار EC کمتر می‌باشد. با توجه به تغییرات زمانی و تغذیه سالانه و کنترل برداشتها می‌توان مشاهده کرد که مقدار EC با توجه به برداشتها در بخش شرقی تغییر چندانی نداشته که البته این می‌تواند به دلیل مدیریت صحیح آبخوان و جلوگیری از برداشتهای بی رویه در سال‌های اخیر باشد. در بخش مرکزی و غربی دشت مقدار EC با توجه به گذشت زمان افزایش اندکی را نشان می‌دهد. در نهایت روند و مقدار تغییرات نسبت به دوره زمانی یازده ساله کم بوده که این احتمالا به دلیل تأثیر طرح تعادل‌بخشی در

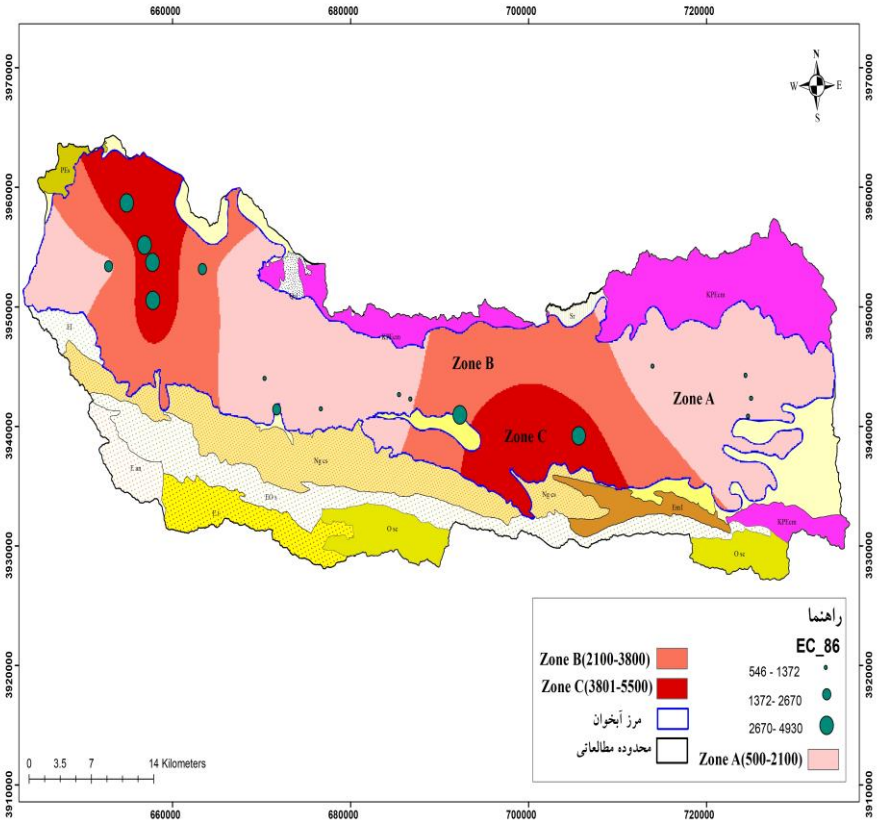
این دشت باشد. در نمودار کموگراف ترسیم شده (شکل ۴-۲۴) عدم افزایش هدایت الکتریکی در سال‌های بعد از شروع اجرای طرح به دلیل مدیریت و کنترل برداشتها به وضوح قابل مشاهده است.



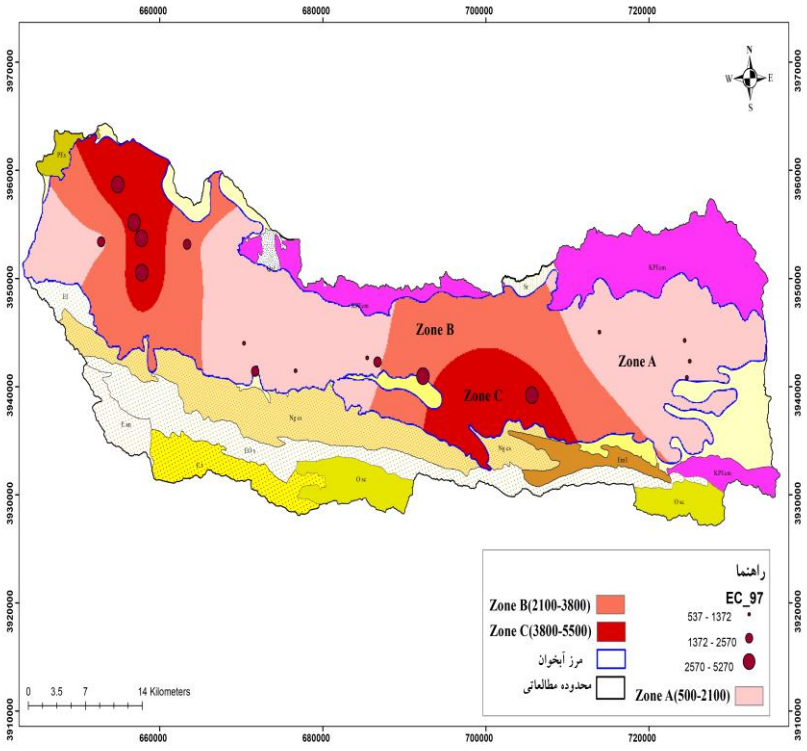
شکل ۴-۱۹: موقعیت چاه‌های انتخابی در دشت رخ

جدول ۴-۲ مشخصات چاه‌های انتخابی در دشت رخ

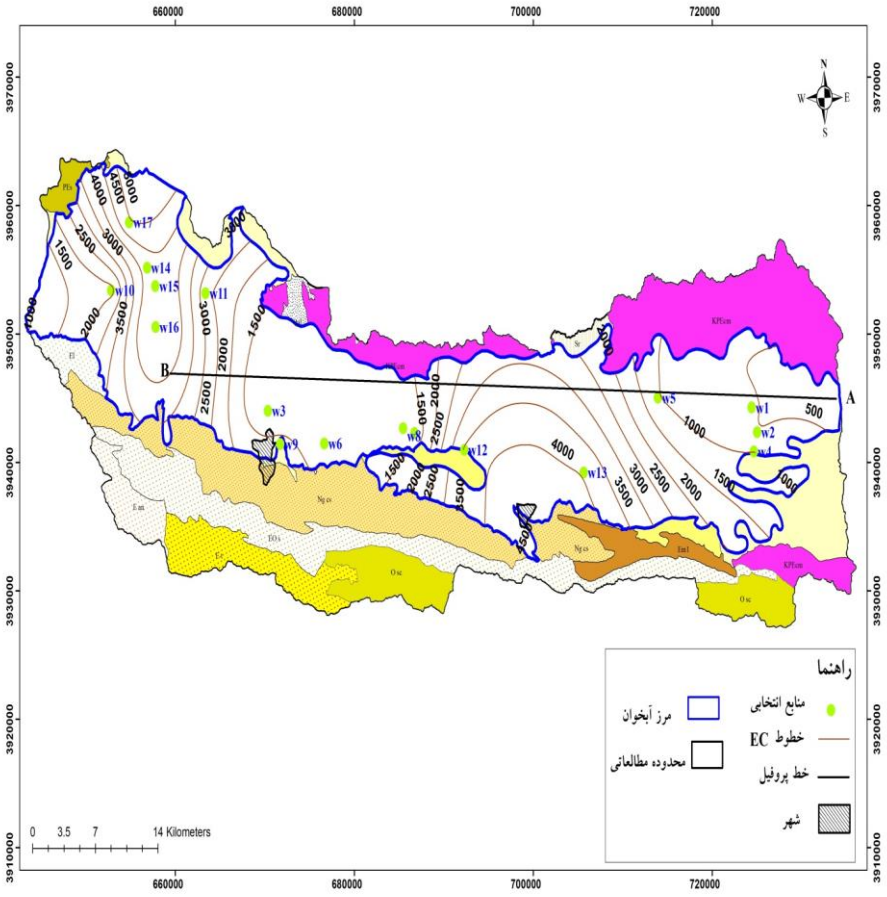
ردیف	نام اختصاری	UTM X	UTM Y	هدایت الکتریکی (میکروموهس بر سانتی متر)	
				۸۶	۹۷
۱	W۱	۷۲۴۳۹۶	۳۹۴۴۲۷۰	۵۴۶	۵۳۴
۲	W۲	۷۲۵۰۰۷	۳۹۴۲۳۴۵	۵۵۰	۵۳۷
۳	W۳	۶۷۰۳۳۰	۳۹۴۴۰۱۳	۹۳۹	۹۶۷
۴	W۴	۷۲۴۶۴۸	۳۹۴۰۸۴۴	۹۹۷	۱۰۳۳
۵	W۵	۷۱۳۹۲۷	۳۹۴۵۰۳۳	۱۰۵۷	۱۰۳۴
۶	W۶	۶۷۶۶۴۲	۳۹۴۱۴۶۶	۱۱۲۵	۱۱۹۳
۷	W۷	۶۸۶۷۱۶	۳۹۴۲۲۸۹	۱۲۶۷	۱۲۴۰
۸	W۸	۶۸۵۴۴۲	۳۹۴۲۶۴۷	۱۳۷۲	۱۳۷۲
۹	W۹	۶۷۱۷۰۵	۳۹۴۱۴۱۹	۱۷۰۰	۱۷۵۰
۱۰	W۱۰	۶۵۲۸۱۵	۳۹۵۳۳۹۶	۱۸۷۰	۱۹۴۵
۱۱	W۱۱	۶۶۳۳۴۹	۳۹۵۳۱۷۰	۲۶۷۰	۲۵۶۰
۱۲	W۱۲	۶۹۲۲۸۱	۳۹۴۰۹۷۳	۳۵۶۰	۳۷۹۰
۱۳	W۱۳	۷۰۵۶۳۴	۳۹۳۹۲۰۵	۳۹۳۰	۴۶۶۵
۱۴	W۱۴	۶۵۶۸۴۲	۳۹۵۵۱۶۴	۴۲۱۰	۴۵۳۰
۱۵	W۱۵	۶۵۷۷۴۸	۳۹۵۳۷۲۰	۴۳۶۰	۴۸۱۰
۱۶	W۱۶	۶۵۷۷۸۵	۳۹۵۰۵۴۱	۴۶۴۰	۴۶۷۸
۱۷	W۱۷	۶۵۴۸۴۳	۳۹۵۸۶۹۰	۴۹۳۰	۵۱۳۵



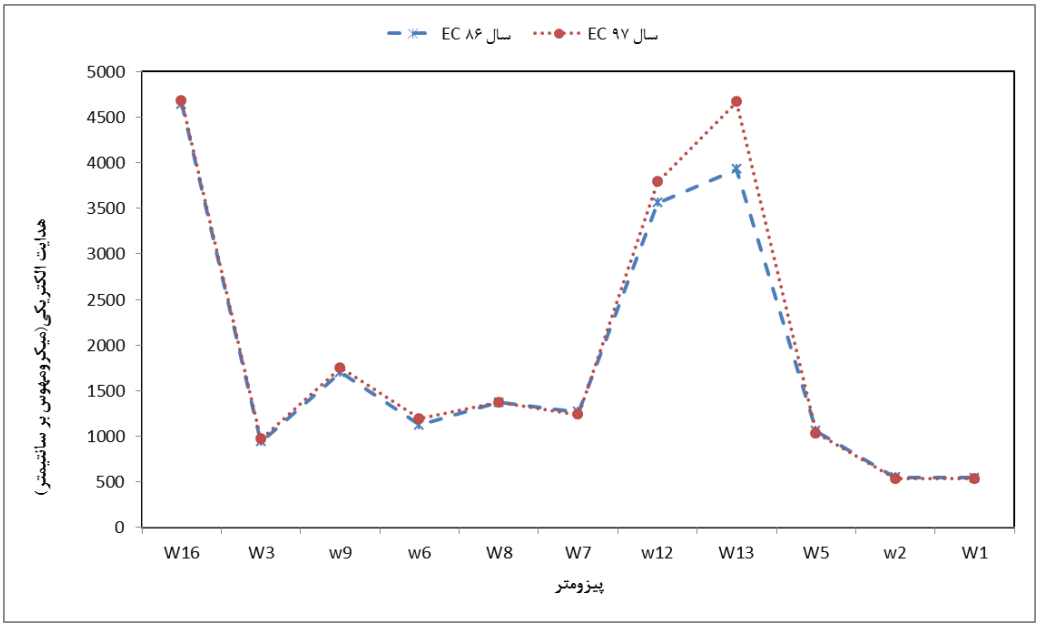
شکل ۴-۲۰: نقشه زون‌بندی دشت براساس مقادیر هدایت الکتریکی در شهریور ماه سال ۱۳۸۶



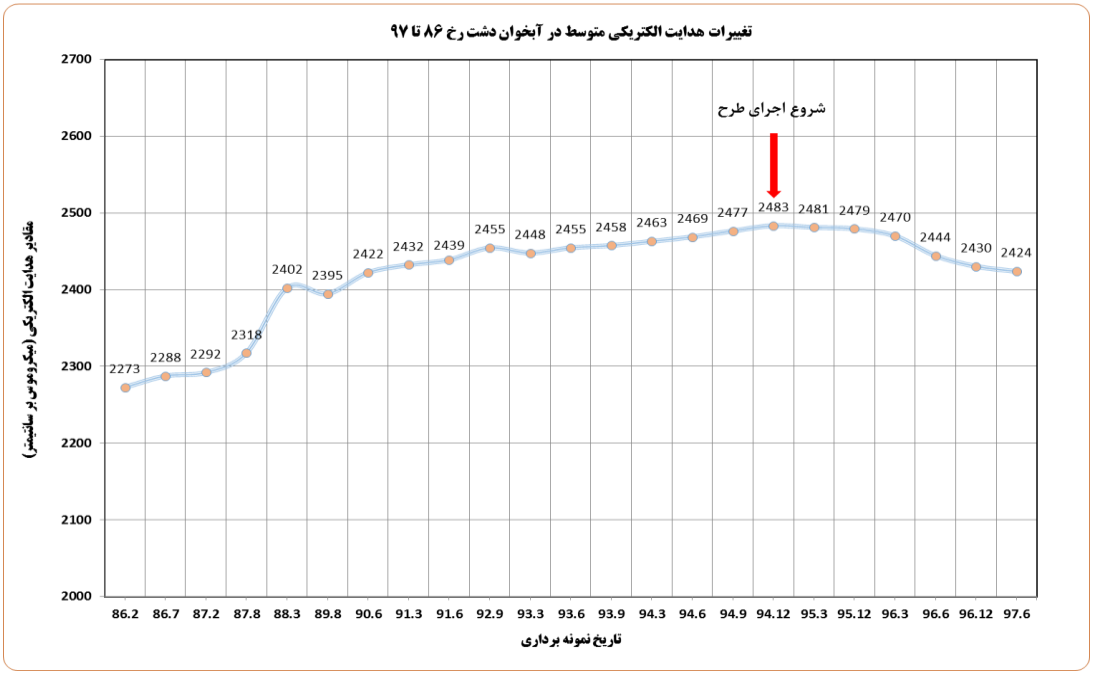
شکل ۴-۲۱: نقشه زون‌بندی دشت براساس مقادیر هدایت الکتریکی در شهریور ماه سال ۱۳۹۷



شکل ۴-۲۲: نقشه هم EC دشت رخ با مقادیر هدایت الکتریکی سال ۱۳۹۷ و خط پروفیل تغییرات مکانی



شکل ۴-۲۳: نمودار تغییرات مکانی و زمانی هدایت الکتریکی



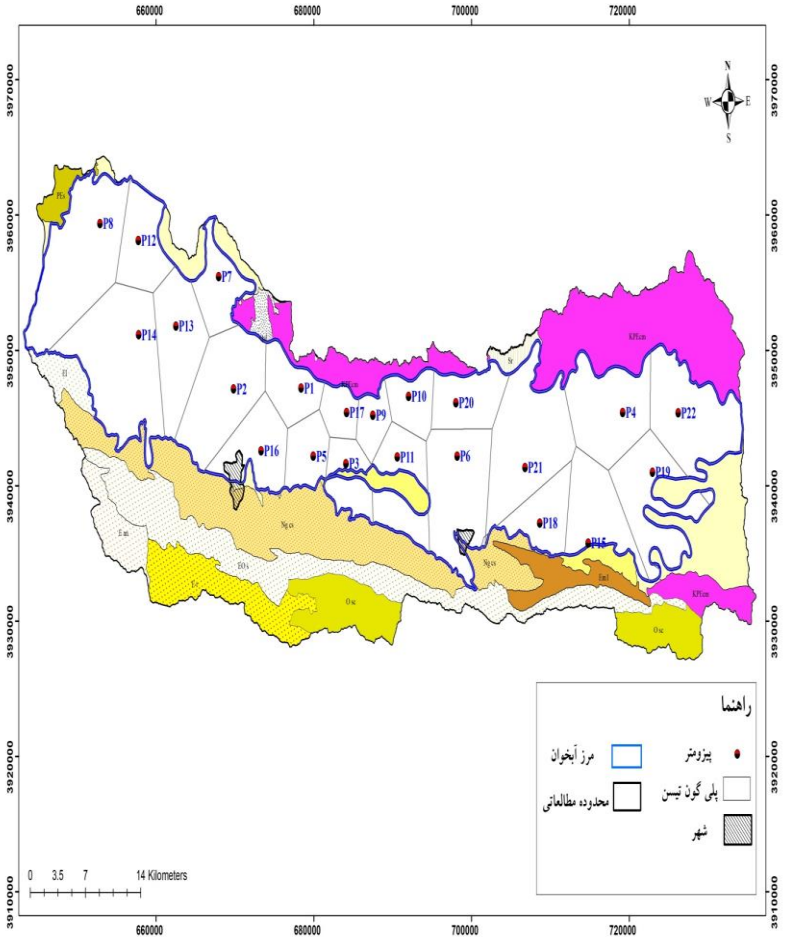
شکل ۴-۲۴: نمودار کموگراف تغییرات EC در دشت رخ

۴-۵ - هیدروگراف واحد دشت

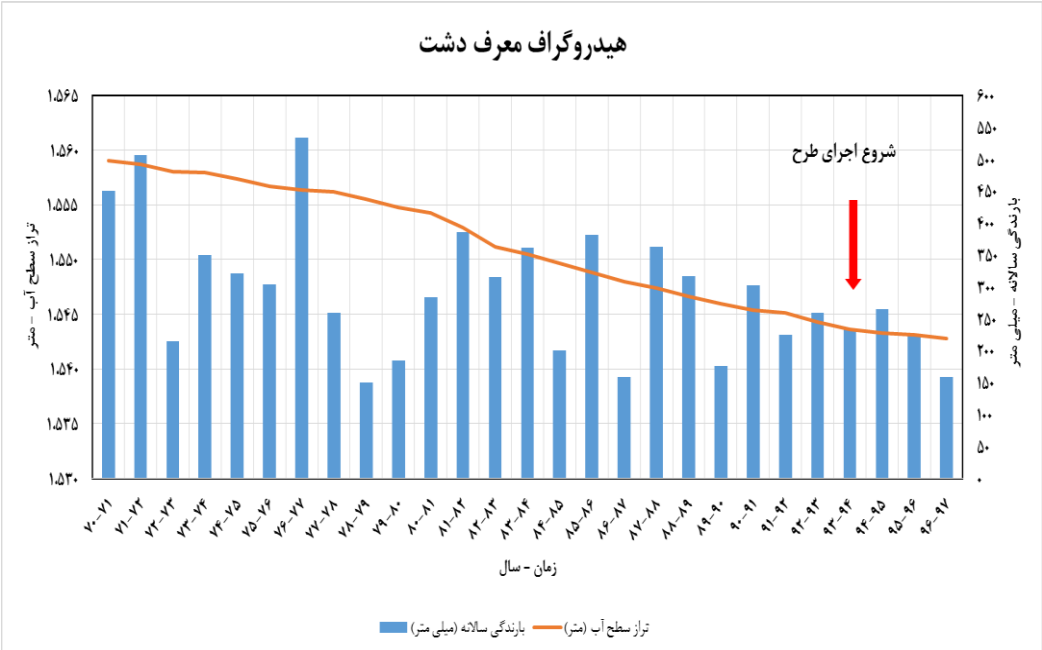
سطح آب زیرزمینی در آبخوان رخ از سال آبی ۷۱-۱۳۷۰ تا سال آبی ۹۶-۱۳۹۷ اندازه‌گیری شده است. بنابراین جهت تهیه هیدروگراف واحد آب زیرزمینی در محدوده آبخوان آبرفتی رخ از آمار و اطلاعات پیزومترهای مشترک در طول دوره ۲۷ ساله استفاده گردید و چندضلعی‌های تیسن (نقشه ۴-۲۵) برای آن‌ها تهیه و بر اساس مقادیر ارتفاع مطلق آب زیرزمینی هیدروگراف معرف آبخوان ترسیم گردید.

هیدروگراف معرف ۲۷ ساله آبخوان رخ نشان می‌دهد که روند عمومی سطح آب زیرزمینی در این آبخوان، کاهشی می‌باشد (شکل ۴-۲۶). کاهش بارندگی، کاهش منابع تغذیه‌کننده آبخوان و خصوصاً بهره‌برداری بیش از حد، از دلایل اصلی کاهش سطح آب زیرزمینی می‌باشد.

شیب تغییرات تراز آب در هیدروگراف معرف در طول سال‌های آبی مختلف کمی متفاوت می‌باشد به طوری که بین سال‌های ۱۳۷۰ الی ۱۳۸۰ مقدار شیب با روند ثابتی تغییر کرده و به نسبت شیب کم می‌باشد اما در مقایسه در سالهای ۱۳۸۰ الی ۱۳۸۴ مقدار شیب افزایش ناگهانی داشته که احتمالاً به‌دلیل افزایش برداشت از دشت بوده و در ادامه مقدار شیب روند کاهشی داشته است. در سال‌های اخیر بین سال‌های ۹۴ تاکنون مقدار شیب کاهش یافته و تقریباً سطح آب روند افقی را طی کرده و افت کلی کمی را نشان می‌دهد که با توجه به اعمال طرح تعادل‌بخشی در این دشت می‌تواند دلیل اصلی کاهش شیب تغییرات تراز کلی در سال‌های اخیر باشد.



شکل ۴-۲۵: نقشه تیسن‌بندی دشت رخ با استفاده از اطلاعات پیزومترها

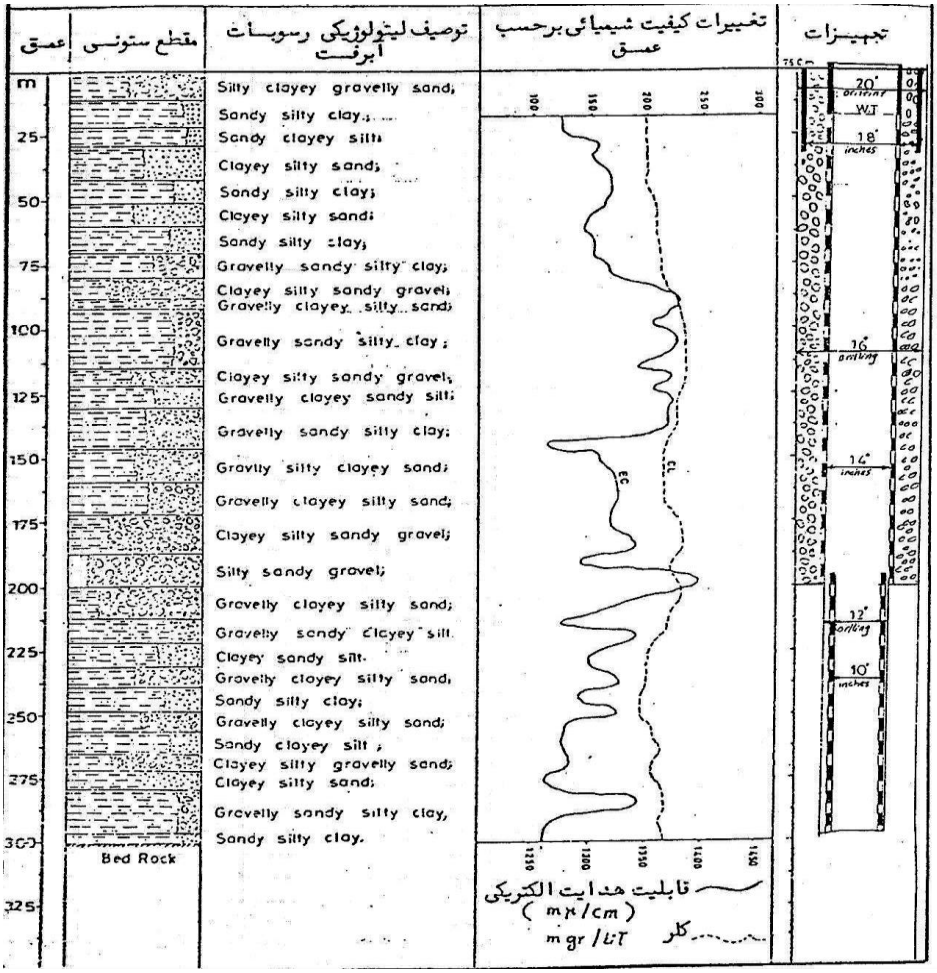


شکل ۴-۲۶: هیدروگراف معرف دشت رخ

۴-۶- چاه‌های اکتشافی و آزمایش پمپاژ

۴-۶-۱- حفاری‌های اکتشافی

حفاری‌های اکتشافی در واقع مکمل مطالعات ژئوفیزیک بوده و جهت کنترل نتایج عملیات ژئوفیزیک و تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان انجام می‌شوند. حفاری‌های اکتشافی در دشت رخ مربوط به سال‌های ۱۳۵۰ و ۱۳۵۵ بوده که طی آن دو حلقه چاه اکتشافی (چاه اکتشافی نسر و دشت رخ) حفر گردیده است. مشخصات چاه‌های اکتشافی حفاری شده در محدوده رخ در جدول (۴-۲) ارائه شده است. چاه اکتشافی نسر در جنوب‌شرقی آبخوان آبرفتی تا عمق ۳۰۰ متر توسط دستگاه حفاری دوران حفر شده است. ستون زمین‌شناسی این چاه نشان می‌دهد نفوذپذیری سطحی آبرفت اندک بوده و عمق لایه رسی تنها یک متر می‌باشد. آبرفت در بخش‌های زیرین لایه رسی در دشت رخ تا عمق ۱۷۵ متری از گراول و مخلوطی از گراول و رس تشکیل شده است. آبرفت از عمق ۲۰۰ متر عمدتاً رسی ـ مارنی بوده و میزان گراول آن بسیار اندک می‌شود. سنگ کف آبخوان آبرفتی در عمق ۳۰۰ متری قرار گرفته و از سرپانتین تشکیل شده است.



شکل ۴-۲۷: ستون زمین شناسی چاه اکتشافی جلگه رخ

۴-۶-۲-آزمایش‌های پمپاژ

طبق اطلاعات موجود تاکنون در محدوده مطالعاتی دشت رخ ۲۳ حلقه چاه مورد آزمایش‌های پمپاژ قرار گرفته و ضرایب هیدرودینامیکی در آن‌ها مشخص شده است. به طور کلی ضریب قابلیت انتقال در روستای اسدآباد (در قسمت شرقی دشت) بیشترین مقدار را دارا است به طوری که قابلیت انتقال در این محل به ۲۴۰۰ مترمربع بر روز می‌رسد. مقدار قابلیت انتقال از روستای اسدآباد به سمت بخش‌های غربی کاهش یافته به طوری که در محل روستای موسی‌آباد و سربالا (مرکز دشت) به حدود ۱۴۰۰ مترمربع بر روز و در نزدیکی خروجی دشت به ۱۰۰۰ مترمربع بر روز می‌رسد.

۴-۷- بررسی وضعیت بیلان منطقه مورد مطالعه

۴-۷-۱- بیلان هیدروژئولوژی

بیلان هیدروژئولوژی در حالت میانگین (بر اساس آمار موجود) طبق رابطه زیر برآورد شده است:

تغییرات حجم ذخیره = خروجی‌ها – ورودی‌ها

رابطه (4-1)

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

که در رابطه بالا ورودی‌ها و خروجی‌ها شامل موارد زیر است:

ورودی‌ها:

رابطه (4-2)

$$\Sigma I = Igw + Isr + Ip + Iw$$

Igw= ورودی به آبخوان از طریق جریان آب زیرزمینی

Isr = ورودی به آبخوان از طریق نفوذ جریان رواناب سطحی

Ip= ورودی به آبخوان از طریق بارش‌های جوی

Iw= ورودی به آبخوان از طریق آب‌های برگشتی مصارف چاه‌های کشاورزی و غیرکشاورزی

خروجی‌ها:

رابطه (4-3) $\Sigma O = Ogw + Ow + Od + Oe$

Ogw= خروجی از جریان آب زیرزمینی

Ow= تخلیه از طریق منابع بهره‌برداری (چاه-قنات-چشمه)

Od = تخلیه از طریق زهکش شدن توسط رودخانه

Oe= تبخیر از آبخوان

در ذیل پارامترهای فوق‌الذکر به صورت مجزا مورد بررسی و محاسبه قرار گرفته‌اند.

۴-۷-۲- بیلان هیدروژئولوژی آبخوان رخ

۴-۷-۲-۱- بیلان سال ۹۱-۹۲ (قبل از اجرای طرح)

ورودی زیرزمینی به آبخوان (Igw)

با توجه به بررسی شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان و نقشه تراز آب تهیه شده، مقاطع ورودی و خروجی آبخوان آبرفتی رخ مشخص و در نقشه مربوطه ارائه شده است. ضخامت آبرفت در این دشت در حدود ۲۰۰ متر در نظر گرفته شده است. برای محاسبه حجم آب ورودی و خروجی از آبخوان از رابطه زیر استفاده شد:

رابطه (۴-۴) $Q = T. L. I. t$

که در آن:

Q= حجم آب ورودی یا خروجی (برحسب میلیون متر مکعب)

T= قابلیت انتقال (مترمربع بر روز)

L= طول مقطع (متر)

I= گرادیان هیدرولیکی (بدون بعد)

t= زمان (روز)

در جدول (۴-۳) جزئیات مقادیر برآورد شده حجم ورودی و خروجی زیرزمینی در آبخوان رخ ارائه شده است. مقاطع ورودی آب عمدتاً در بخش شرقی و جنوبی دشت قرار دارد. مقادیر قابلیت انتقال در مقاطع ورودی و خروجی بر اساس آزمایشات پمپاژ صورت گرفته در سطح دشت و سوابق مطالعاتی در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج جدول (۴-۳)، حجم جریان ورودی زیرزمینی به آبخوان رخ ۱۱۰/۰۴ میلیون مترمکعب برآورد شده است.

جدول ۴-۳- محاسبه آب ورودی و خروجی زیرزمینی در آبخوان رخ

نوع مقطع	شماره مقطع	متوسط شیب هیدرولیکی	طول مقطع (متر)	متوسط قابلیت انتقال (مترمربع‌درروز)	زمان (روز)	حجم آب زیرزمینی (میلیون مترمکعب)
ورودی	۱ (بخش شرقی)	۰/۰۱	۸۱۰۰	۲۵۰۰	۳۶۵	۷۳/۹۱
	۲ (بخش جنوبی)	۰/۰۰۶	۱۱۰۰۰	۱۵۰۰	۳۶۵	۳۶/۱۳
	مجموع (میلیون مترمکعب)					**۱۱۰/۰۴**
خروجی	**۱**	۰/۰۰۵	۱۴۲۰۰	۱۰۰۰	۳۶۵	۲۵/۹۱
	مجموع (میلیون مترمکعب)					**۲۵/۹۱**

نفوذ حاصل از بارندگی (I_p)

برای بدست آوردن نفوذ حاصل از بارندگی از بیلان هیدروکلیماتولوژی استفاده می‌شود در این بیلان، رابطه کلی زیر برقرار است:

رابطه (۴-۵) $$P= E+ R+I$$

P = بارش (نزولات جوی) (میلیون متر مکعب)

E = تبخیر و تعرق واقعی (میلیون متر مکعب)

R = رواناب (میلیون متر مکعب)

I = نفوذ (میلیون متر مکعب)

در رابطه بالا، نزولات جوی به عنوان اصلی‌ترین عامل بیلان محسوب می‌شود و پارامترهای بخش سمت راست معادله باید در تعادل با میزان بارش در سمت چپ معادله باشند، بدین ترتیب پارامتر مجهول در رابطه هیدروکلیماتولوژی فوق الذکر، میزان نفوذ می‌باشد.

طبق نتایج حاصل از بیلان هیدروکلیماتولوژی دشت رخ (جدول ۴-۴) میزان حجم آب نفوذ یافته برای محدوده آبخوان برابر ۲۰/۷۹ میلیون مترمکعب می‌باشد که تقریباً معادل ۷ درصد کل بارش در نظر گرفته شده است.

جدول ۴-۴- نتایج بیلان هیدروکلیماتولوژی

محدوده	مساحت (km^۲)	بارش (m)	حجم بارش (MCM)	تبخیر (m)	حجم تبخیر (MCM)	حجم بارش مفید (MCM)	حجم رواناب (MCM)	حجم نفوذ (MCM)
محدوده تیسن	۱۰۷۴/۷	۰/۲۸۰۳	۳۰۸/۲۸	۰/۲۴۹۵	۲۶۸/۱۴	۳۳/۱۴	۱۲/۳۵	۲۰/۷۹

آب برگشتی کشاورزی و غیرکشاورزی(I_w)

با توجه به اینکه سالانه ۱۶۷/۳۸ میلیون مترمکعب آب در محدوده بیلان به مصرف کشاورزی و ۴/۷۲ میلیون متر مکعب نیز به مصارف شرب و صنعت می‌رسد. با فرض ضریب ۱۵٪ برای آب برگشتی کشاورزی و ۵۰٪ به عنوان ضریب آب برگشتی غیرکشاورزی، حجم پارامتر آب برگشتی کشاورزی ۲۵/۱۱ میلیون مترمکعب و آب برگشتی غیر کشاورزی ۲/۳۶ میلیون مترمکعب برآورد شده است. بنابراین حجم کل آب برگشتی از مصارف برابر ۲۷/۴۷ میلیون مترمکعب است.

خروجی زیرزمینی از آبخوان (O_{gw})

طبق نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی، جهت حرکت آب‌های زیرزمینی در دشت رخ از شرق آبخوان به سمت بخش‌های غربی است و با توجه به محاسبات جدول (۴-۳) حجم آب خروجی از آبخوان سالانه ۲۵/۹۱ میلیون متر مکعب می‌باشد.

تخلیه از طریق منابع آبی در محدوده آبخوان رخ (O_w)

در محدوده بیلان دشت رخ مجموعاً ۴۸۱ منبع آبی وجود دارد که میزان بهره‌برداری از آنها سالانه حجمی معادل ۱۶۷/۳۸ میلیون مترمکعب می‌باشد.

تخلیه از طریق زهکش شدن توسط رودخانه (O_d)

با توجه به اینکه عمق آب زیرزمینی در این محدوده بیش از ۱۰ متر می‌باشد، حجم آب زیرزمینی زهکش شده توسط رودخانه صفر در نظر گرفته می‌شود.

تبخیر از آبخوان (O_E)

با توجه به اینکه در هیچ منطقه‌ای از آبخوان رخ، سطح ایستابی ۵ متر و یا کمتر از ۵ متر از سطح زمین قرار ندارد. لذا این پارامتر معادل صفر است.

تحلیل تغییرات ذخیره مخزن ($\pm\Delta V$) و نتیجه‌گیری از بیلان جزء به جزء

جدول (۴-۵) خلاصه نتایج حاصل از محاسبات بیلان جزء به جزء آبخوان آبرفتی رخ آورده شده است. با مقایسه‌ی تفاوت بین مجموع ورودی‌ها و مجموع خروجی‌ها، بیلان آبخوان رخ منفی است.

جدول ۴-۵- خلاصه نتایج حاصل از محاسبات بیلان جزء به جزء آبخوان آبرفتی رخ سال ۹۲-۹۱

عوامل تغذیه (I)		**عوامل تخلیه (O)**	
شرح	**حجم**	**شرح**	**حجم**
جبهه ورودی آب زیرزمینی	۱۱۰/۰۴	خروجی زیرزمینی آبخوان	۲۵/۹۱
نفوذ بارندگی	۲۰/۷۹	بهره‌برداری از آبخوان	۱۶۷/۳۸
نفوذ آب برگشتی کشاورزی و شرب	۲۷/۴۷	تبخیر از سطح آبخوان	-
جمع	**۱۵۸/۳۰**	**جمع**	**۱۹۳/۲۹**
ΔV = -۳۴/۹۹			

* اعداد حجم بر حسب میلیون مترمکعب می‌باشد.

۴-۷-۲-۲- بیلان سال ۹۶-۹۷ (بعد از اجرای طرح)

در مقاطع ورودی و خروجی آب زیرزمینی (جدول ۴-۶ و ۴-۷) جزئیات مقادیر برآورد شده حجم ورودی زیرزمینی آبخوان رخ ارائه شده است. مقاطع ورودی آب به عمدتاً در بخش شرقی و جنوبی دشت قرار دارد. مقادیر قابلیت انتقال در مقاطع ورودی و خروجی بر اساس آزمایشات پمپاژ صورت گرفته در سطح دشت و سوابق مطالعاتی در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج جدول (۴-۶) حجم جریان ورودی زیرزمینی به آبخوان رخ ۱۱۰/۰۴ میلیون مترمکعب برآورد شده است.

جدول ۴-۶- محاسبه آب ورودی به آبخوان رخ سال 96-97

شماره مقطع	طول مقطع (متر)	متوسط شیب هیدرولیکی	متوسط قابلیت انتقال (مترمربع در روز)	زمان (روز)	حجم آب زیرزمینی (MCM)
۱	۸۱۰۰	۰/۰۱	۲۵۰۰	۳۶۵	۷۳/۹۱
۲	۱۱۰۰۰	۰/۰۰۶	۱۵۰۰	۳۶۵	۳۶/۱۳
مجموع (MCM)					۱۱۰/۰۴

خروجی زیرزمینی از آبخوان (O_{gw})

با توجه به جهت جریان، آب زیرزمینی به سمت غرب آبخوان حرکت کرده و در نهایت از محدوده رخ خارج می‌گردد. حجم جریان زیرزمینی خروجی با توجه به گرادیان هیدرولیکی، طول مقطع خروجی و مقادیر قابلیت انتقال، سالانه ۲۵/۵۵ میلیون مترمکعب برآورد گردیده است.

جدول ۴-۷- محاسبه آب خروجی از آبخوان رخ

شماره مقطع	طول مقطع (متر)	متوسط شیب هیدرولیکی	متوسط قابلیت انتقال (مترمربع در روز)	زمان (روز)	حجم آب زیرزمینی (MCM)
۱	۱۴۰۰۰	۰/۰۰۵	۱۰۰۰	۳۶۵	۲۵/۵۵
مجموع(MCM)					۲۵/۵۵

نفوذ حاصل از بارندگی (Ip)

طبق نتایج حاصل از بیلان هیدروکلیماتولوژی دشت رخ جدول (۴-۸) میزان حجم آب نفوذ یافته در آبخوان رخ برابر ۱۶/۹۵ میلیون مترمکعب می‌باشد.

جدول ۴-۸ - نتایج بیلان هیدروکلیماتولوژی

محدوده	مساحت (km^2)	بارندگی (mm)	حجم بارندگی (MCM)	تبخیر (mm)	حجم تبخیر (MCM)	حجم بارش مفید (MCM)	حجم رواناب (MCM)	حجم نفوذ (MCM)
آبخوان رخ	۱۰۷۴/۷	۲۸۹/۱۷	۲۴۲/۲۳	۲۶۸/۱۵	۲۲۴/۶۲	۱۷/۶۱	۹/۵	۱۶/۹۵

آب برگشتی کشاورزی و غیر کشاورزی (I_w)

در محدوده تیسن آبخوان رخ سالانه ۱۴۲/۳۹ میلیون مترمکعب آب به مصرف کشاورزی می‌رسد. با در نظر گرفتن ضریب ۱۵٪ برای آب برگشتی بخش کشاورزی، حجم آب برگشتی کشاورزی ۲۱/۳۶ میلیون مترمکعب برآورد شده است. همچنین با توجه به مصرف سالانه ۵/۶۲ میلیون مترمکعب در بخش شرب و صنعت و در نظر گرفتن ضریب برگشت ۵۰٪ برای این بخش، سالانه ۲/۸۱ میلیون مترمکعب نیز از این طریق موجب تغذیه آبخوان رخ می‌گردد.

تخلیه از طریق منابع آبی در آبخوان رخ (O_W)

در محدوده تیسن آبخوان رخ، مجموعاً ۳۷۸ منبع آب زیرزمینی وجود دارد که میزان بهره‌برداری از آن‌ها سالانه حجمی معادل ۱۴۲/۳۹ میلیون مترمکعب می‌باشد.

تخلیه از طریق زهکش شدن توسط رودخانه (O_d)

با توجه به نقشه عمق و تراز، آب زیرزمینی توسط رودخانه نمی‌تواند زهکش شود.

تبخیر از آبخوان (O_E)

با توجه به اینکه در هیچ منطقه‌ای از آبخوان رخ، سطح ایستابی ۵ متر و یا کمتر از ۵ متر از سطح زمین قرار نداشته بنابراین این پارامتر معادل صفر است.

تحلیل تغییرات ذخیره مخزن ($\pm \Delta V$) و نتیجه‌گیری از بیلان جزء به جزء

خلاصه نتایج حاصل از محاسبات بیلان جزء به جزء آبخوان آبرفتی رخ ارائه شده است. طبق جدول (۴-۹) با مقایسه‌ی تفاوت بین مجموع ورودی‌ها و مجموع خروجی‌ها، بیلان آبخوان رخ منفی است.

جدول ۴- ۹ خلاصه نتایج حاصل از محاسبات بیلان جزء به جزء آبخوان آبرفتی رخ سال ۹۶- ۹۷

عوامل تغذیه (I)		عوامل تخلیه (O)	
شرح	حجم	شرح	حجم
جبهه ورودی آب زیرزمینی	۱۱۰/۰۴	خروجی زیرزمینی از آبخوان	۲۵/۵۵
نفوذ بارندگی	۱۶/۹۵	بهره‌برداری از آبخوان	۱۴۲/۳۹
آب برگشتی کشاورزی و غیرکشاورزی	۲۴/۱۷	تبخیر از آبخوان	۰
جمع	**۱۵۱/۱۶**	**جمع**	**۱۶۷/۹۴**
ΔV= -۱۶/۷۸ MCM			

با توجه به محاسبات انجام شده برای قبل و بعد از شروع اجرای طرح تعادل بخشی، می‌توان بیان کرد که مقدار کسری حجم مخزن دشت رخ قبل از اجرای طرح در حدود ۳۵ میلیون مترمکعب بوده که بعد از اجرای طرح به حدود ۱۷ میلیون مترمکعب (حتی با توجه به کاهش مقدار بارندگی و افزایش خشکسالی) تقلیل یافته است. این می‌تواند به دلیل مسدود کردن چاههای غیرمجاز و کنترل حجمی برداشت چاههای کشاورزی اتفاق افتاده باشد.

۴-۷-۳ بررسی تغییرات حجم ذخیره آبخوان رخ (بیلان هیدروگراف)

تغییرات حجم ذخیره آبخوان مطابق رابطه زیر قابل محاسبه است:

رابطه (۴-۶) $$\Delta V= \Delta h \times Sy \times A$$

ΔV= تغییرات حجم ذخیره آبخوان (میلیون مترمکعب در سال)

Δh= تغییرات ارتفاع سطح ایستابی (بر اساس هیدروگراف واحد) (متر در سال)

Sy= آبدهی ویژه ۰/۰۶۵

A= مساحت آبخوان (۱۰۷۴ کیلو مترمربع)

جدول ۴- ۱۰ تغییرات حجم در سالهای قبل و بعد از اجرای طرح تعادل‌بخشی

سال آبی	افت سالانه Δh (m)	حجم ذخیره آبخوان ΔV(MCM)
۹۱-۹۰	۰,۴۱	۲۸,۶۲
۹۲-۹۱	۰,۴۲	۲۹,۳۲
۹۳-۹۲	۰,۶۶	۴۶,۰۷
۹۴-۹۳	۰,۶۹	۴۸,۱۶
۹۵-۹۴	۰,۴۶	۳۲,۱۱
۹۶-۹۵	۰,۴۱	۲۸,۶
۹۷-۹۶	۰,۴۰	۲۷,۹

با توجه به محاسبات انجام شده می‌توان بیان کرد که طرح تعادل‌بخشی در دشت رخ باعث کاهش کسری مخزن و یا حداقل ثابت ماندن مقدار کسری مخزن با توجه به کاهش ورودی و میزان تغذیه به آبخوان در طی خشکسالی‌های اخیر در این منطقه شده است. بنابراین اجرای این طرح در این دشت در جهت مدیریت بهینه و پایدار آبخوان مؤثر بوده است.

۴-۸ بررسی اثرات طرح تعادل‌بخشی

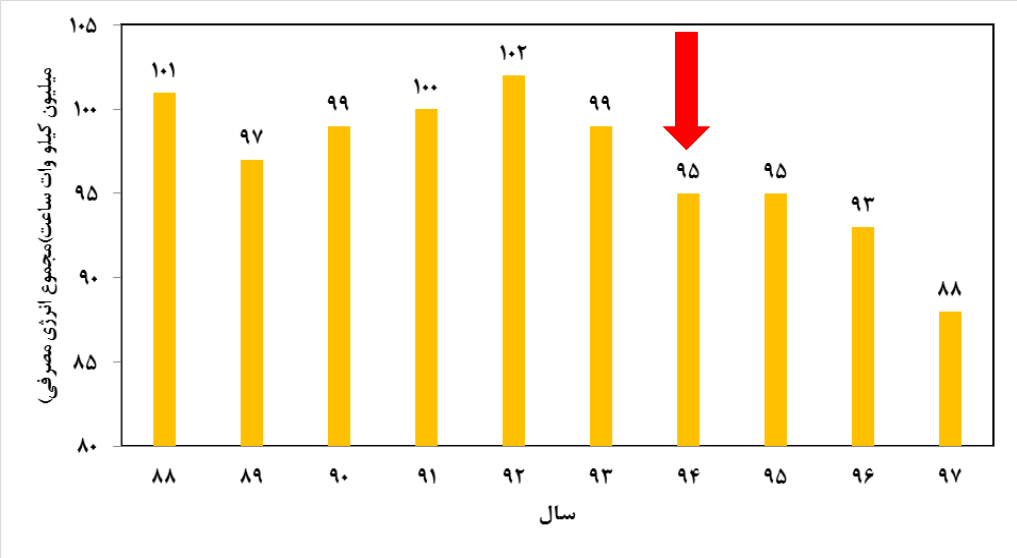
با توجه به منفی بودن بیلان و افت سطح آب زیرزمینی در دوره ۲۳ ساله (۷۰-۹۳) و در راستای اجرای فعالیت‌های طرح احیا و تعادل‌بخشی از سال ۹۳-۹۴ از جمله نصب کنتورهای هوشمند و انسداد چاه‌های غیرمجاز و ایجاد تشکل‌های آب‌بران و اطلاع‌رسانی انتظار می‌رود که روند افت در چاه‌های پیزومتری تقریباً ثابت و یا مقدار آن کاهش یافته باشد که این موضوع در هیدروگراف و حجم تغییرات ذخیره آبخوان قابل رصد می‌باشد. برای پایش رفتار بهره‌برداران چاه‌ها در راستای تاثیر فعالیت‌های طرح احیا و تعادل‌بخشی به صورت زیر بررسی گردیده است:

۴-۸-۱- فعالیت نصب کنتور بر روی چاه‌ها

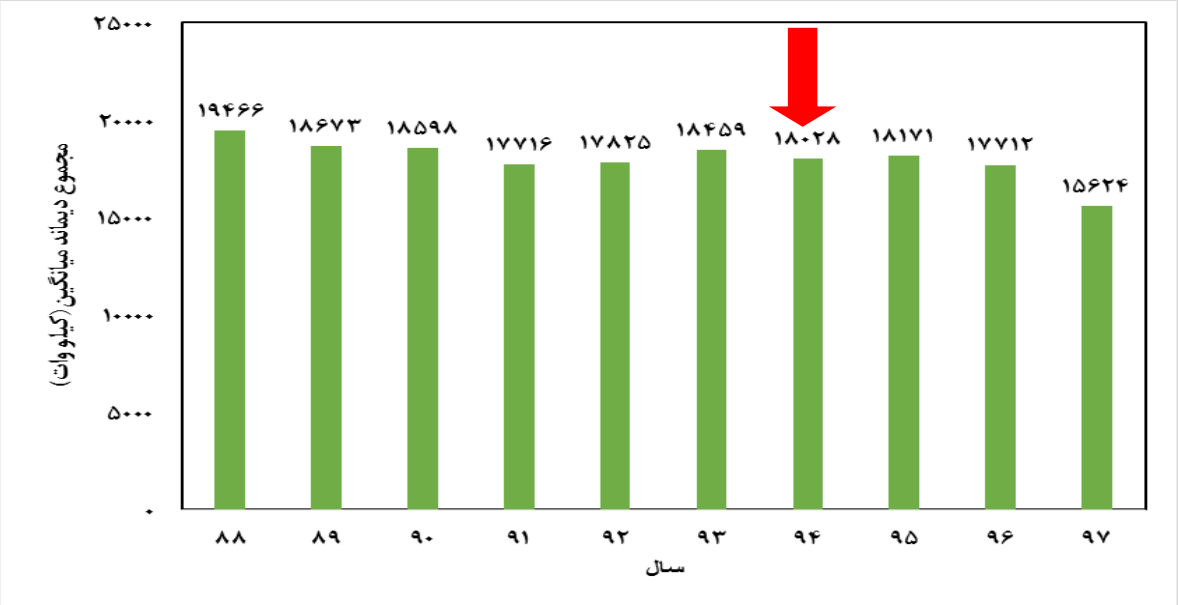
نصب کنتور بر روی چاه‌های کشاورزی و مشخص شدن حجم برداشت بر اساس کارکرد کنتور و اطلاعات شرکت برق از سال ۸۸ تا ۹۷ نشان می‌دهد که مجموع انرژی مصرفی از سال ۹۴ به بعد (بعد از اجرای طرح) در حال کاهش است (شکل ۴-۲۸ و شکل ۴-۲۹). همین‌طور مجموع دیماند مصرفی چاه حاکی از کاهش برداشت از چاه‌ها می‌باشد و این مهم فقط در پی اطلاع‌رسانی‌ها و تصمیمات اتخاذ

شده که منجر به خاموشی چاه در زمان‌هایی که لازم نبوده حاصل گردیده است و باعث کاهش ساعت کارکرد چاه‌ها به میزان حداقل ۵۰۰ ساعت در سال گردیده است. ساعت کارکرد چاه‌های کشاورزی قبل از اجرای طرح و نصب کنتورها بیش از ۷۰۰۰ ساعت بوده ولی درحال حاضر و بعد از اجرای طرح و نصب کنتور میانگین ساعت کارکرد دشت ۵۵۰۰ ساعت می‌باشد.

دیماند: میزان تقاضای برق جهت تغذیه وسایل برقی یک مشترک اعم از یک ساختمان، مرکز تجاری، چاه و ... را اصطلاحاً دیماند می‌گویند که اساساً همان توان مورد نیاز می‌باشد و دیمانسیون آن بر حسب وات می‌باشد. برای چاه‌های آب معمولاً بر حسب کیلو وات می‌باشد و برای مشترکین با مصارف بالاتر از ۳۰ کیلو وات به عنوان مصرف‌کننده دیماندی در نظر گرفته می‌شود و علاوه بر هزینه مصرف برق باید هزینه قدرت یا دیماند را هر ماهه پرداخت نماید.



شکل ۴-۲۸: نمودار انرژی مصرفی چاه‌های کشاورزی



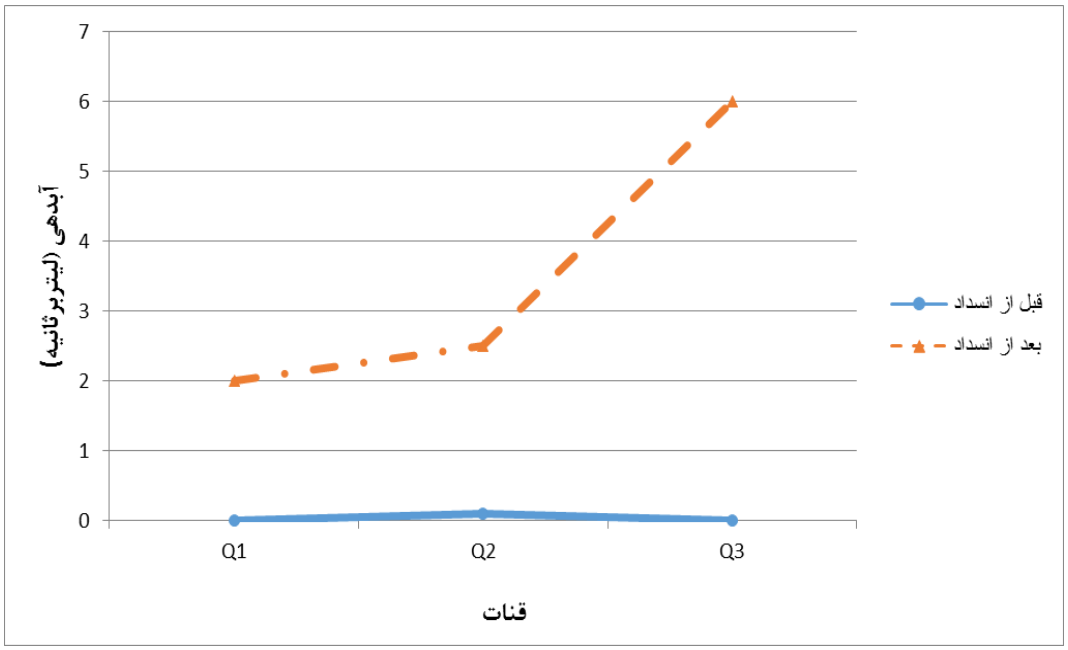
شکل ۴-۲۹ : نمودار مجموع تقاضای مصرفی میانگین چاه های کشاورزی

۴-۸-۲- فعالیت انسداد چاه غیرمجاز

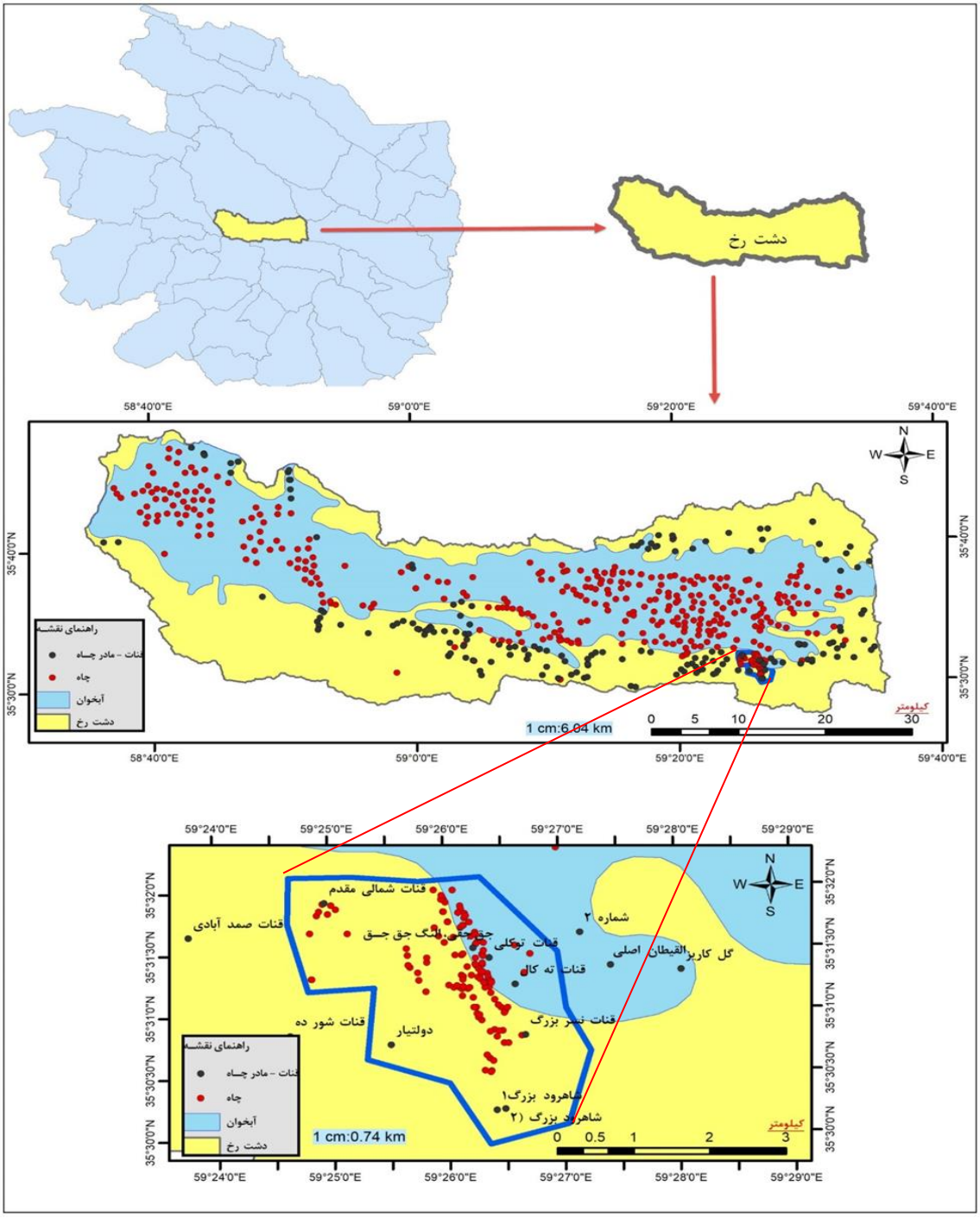
تعداد چاه‌های غیرمجاز این دشت تعداد ۲۱۰ حلقه با حجم ۵ میلیون مترمکعب بوده که در راستای اجرای فعالیت انسداد چاه غیرمجاز طرح تعادل‌بخشی و تصمیمات اتخاذ در تشکل و اطلاع‌رسانی‌های انجام شده تعداد ۱۴۰ حلقه از این چاه‌ها در جنوب دشت در اراضی نسر پر شده که این عملیات باعث آبدار شدن چند قنات خشک پس از انسداد گردیده است (شکل ۴-۳۰ و شکل ۴-۳۱). نمودار زیر بر اساس آمارهای قبل از اجرای طرح و بعد از اجرای طرح (جدول ۴-۱۱) ترسیم شده است.

جدول ۴-۱۱ قنات‌های محدوده نسر

نام قنات	نام اختصاری	دبی قبل از انسداد (لیتربرثانیه)	دبی بعد از انسداد (لیتربرثانیه)
داشخانه نسر	Q۱	۰	۲
باغ توکلی	Q۲	۰,۱	۲,۵
کشکک	Q۳	۰	۶



شکل ۴-۳۰: نمودار مقایسه آبدهی قنات‌ها قبل و بعد از عملیات انسداد



شکل ۴ - ۳۱: موقعیت چاه‌های غیرمجاز و قنات‌ها

۴-۸-۳- کاهش روند افت در چاه‌های پیزومتر

با توجه به نقشه‌های رسم شده افت در بخش‌های قبل و هیدروگراف رسم شده روند نزولی سطح آب بعد از اجرای طرح و کاهش برداشت از چاه‌های بهره‌برداری کاهش یافته است. نرخ افت برای بازه زمانی ۱۱ ساله (۸۶ تا ۹۷) و ۱۶ ساله (۷۱ تا ۸۶) و ۲۷ ساله (۷۱ تا ۹۷) و سه ساله (۹۴ تا ۹۷)

محاسبه شده است. نرخ افت در تمامی بازه‌های زمانی به طور متوسط در حدود ۶۵ سانتی متر در سال می‌باشد اما در سال‌های اخیر در بازه زمانی سه ساله که بعد از اجرای طرح تعادل‌بخشی محاسبه شده است (۹۴-۹۷). مقدار نرخ افت کاهش یافته در حدود ۴۰ سانتیمتر برآورد شده است که حاکی از کاهش نرخ افت در سال‌های اخیر شده است (شکل ۴-۳۲).

شکل ۴-۳۲ نمودار روند افت در دوره‌های مختلف

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این فصل به طور مختصر به بیان نتایج حاصل بررسی هیدروژئولوژی و اثر طرح تعادل‌بخشی در دشت رخ در سال‌های ۷۰ تا ۹۷ پرداخته شده است. همچنین پیشنهادها و راهکارهایی را جهت مدیریت بهتر و صحیح‌تر این منابع آبی، به منظور حفظ و صیانت از آنها ارائه شده است.

۵-۱- بررسی رفتار هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

۵-۱-۱- نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل دشت

- سطح تراز از غرب به شرق کاهش می‌یابد و بیشترین ارتفاع مطلق آب زیرزمینی ۱۶۶۲ متر و کمترین آن ۱۴۰۸ متر می‌باشد. جهت کلی جریان آب زیرزمینی در این دشت از شرق آبخوان به سمت شمال‌غرب آبخوان می‌باشد.

- مقایسه نقشه‌های هم‌پتانسیل سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۷ نشان داد که خطوط تراز آب‌زیرزمینی در طی این دوره ۲۷ ساله در بخش‌های دشت تغییرات زیادی داشته است، که این موضوع به دلیل برداشت‌های بی‌رویه در این منطقه ایجاد شده است. این روند کاهشی در سال‌های بعد از اجرای طرح تعادل‌بخشی (۱۳۹۳) کمتر شده و در هیدروگراف واحد دشت نیز قابل مشاهده است.

۵-۱-۲- نتایج حاصل از بررسی میزان افت سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت رخ

دشت رخ بر اساس میزان افت در دوره‌های مختلف زمانی به سه زون C,B,A تقسیم‌بندی شده است. زون A واقع در بخش غربی کمترین افت و زون C در بخش شرقی بیشترین افت را دارد. سطح ایستابی آب زیرزمینی در آبخوان دشت در دوره‌ی ۲۷ ساله به طور متوسط به میزان ۶۶ سانتیمتر افت داشته است که این افت عمدتاً در نتیجه‌ی بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان و کاهش بارندگی طی این سال‌ها می‌باشد. میزان افت در چهار دوره ۳ ساله و ۱۱ ساله و ۱۶ ساله و ۲۷ ساله بررسی گردید و در تمامی دوره‌ها بجز دوره سه ساله با نرخ متوسط ۶۵ سانتیمتر افت داشته ولی در دوره سه ساله که مربوط به سال‌های اخیر بوده نرخ افت کمتری حدود ۴۰ سانتیمتر داشته است و این حاکی از تأثیر طرح تعادل‌بخشی می‌تواند باشد.

۵-۱-۳- نتایج حاصل از بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در پیزومترها

روند تغییرات زمانی تراز سطح آب پیزومترها حاکی از روند نزولی بوده و برخی از چاه‌های بخش شرقی و مرکزی دشت به دلیل تجمع زیاد چاه‌های بهره‌برداری با دبی زیاد روند کاهشی داشته و در برخی از پیزومترها روند نزولی آنها کمتر شده است. این موضوع به دلیل تجمع زیاد چاه‌های با دبی زیاد در بخش شرقی دشت و افزایش بی‌رویه برداشت از چاه‌ها می‌باشد.

۵-۱-۴- نوسانات سالانه سطح آب زیرزمینی

بررسی هیدروگراف معرف آبخوان دشت رخ نشان داد که سطح ایستابی در این دشت، از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۷ پیوسته روندی نزولی داشته به گونه‌ای که در طی این مدت سطح تراز آب از ۱۵۶۲ در مهر سال ۱۳۷۰ به ۱۵۴۲ متر از سطح دریا در شهریور ماه سال ۱۳۹۷ متر از سطح دریا رسیده است. بررسی هیدروگراف معرف آبخوان همچنین نشان داد که هیچ رابطه‌ی قابل توجهی بین میزان بارندگی و تراز سطح ایستابی در دشت وجود ندارد و روند رو به کاهش سطح ایستابی عمدتاً توسط بهره برداری بیش از حد از سفره‌ی آب زیرزمینی بوده و در سال‌های اخیر بعد از شروع اجرای طرح این روند کاهشی تقریباً افقی و یا کم شده است.

۵-۲- نتایج بررسی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی

بررسی روند منحنی‌های همEC در سال‌های ۸۶ و ۹۷ نشان داد که شوری آب زیرزمینی در جهت جریان یعنی از شرق منطقه تغذیه به سمت جنوب‌غرب و غرب منطقه تخلیه در حال افزایش است. مقایسه‌ی این نقشه‌ها همچنین نشان داد که میزان EC سفره‌ی آب زیرزمینی با گذشت زمان افزایش یافته و این افزایش در همه جا از روند یکسانی برخوردار نیست به گونه‌ای که در قسمت‌هایی که تجمع چاهها با دبی بالا وجود دارد مانند بخش جنوبی دشت، به دلیل برداشت زیاد از سفره سبب بر هم خوردن سیستم طبیعی جریان آب و افزایش EC آب زیرزمینی شده است. مقدار EC از ۲۲۷۳ میکروموهس بر سانتیمتر تا ۲۴۸۳ میکروموهس بر سانتیمتر در بازه زمانی سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۴ افزایش یافته است و بعد از اجرای طرح این مقدار در سال ۱۳۹۷ به ۲۴۲۴ میکروموهس بر سانتیمتر رسیده است که به دلیل عملکرد طرح تعادل‌بخشی و مدیریت آبخوان در سال‌های اخیر در اثر کاهش برداشت از آبخوان رخ داده است.

۵-۳- نتایج بررسی فعالیت‌های طرح تعادل‌بخشی

با توجه به تغییرات سطح ایستابی و افت مستمر سطح آب زیرزمینی و کاهش ذخایر سفره‌های زیرزمینی در دشت‌های کشور بخصوص دشت‌های خشک و نیمه‌خشک مدیریت این منابع به منظور حفاظت و صیانت امری اجتناب‌ناپذیر است. در دشت رخ پس از اجرای طرح با مدیریت و کنترل برداشت از چاه‌ها بوسیله نصب کنتور، انرژی مصرفی چاه‌های برقی از ۹۹ میلیون وات به ۸۸ میلیون وات کاهش یافته است و ساعت کارکرد چاه‌ها از متوسط حدود ۷۰۰۰ ساعت در سال ۹۳ به متوسط حدود ۵۵۰۰ ساعت درسال ۹۷ رسیده است. و این موضوع علاوه بر نصب کنتورها و مدیریت برداشت چاه‌ها از طریق اطلاع‌رسانی در بین بهره‌برداران و خاموشی چاه‌ها حادث شده است.

بررسی بیلان آب زیرزمینی در دوره‌های مختلف نشان داد که کسری مخزن در اثر اعمال طرح تعادل‌بخشی در سال‌های اخیر کمتر شده و نشانگر تأثیر این طرح در کنترل میزان برداشت و بالتبع کاهش افت آبخوان شده است.

انسداد چاههای غیرمجاز یکی دیگر از فعالیت‌های طرح تعادل‌بخشی بوده که پس از انسداد ۱۴۰ حلقه چاه غیرمجاز در جنوب‌شرقی دشت (اراضی نسر) سه قناتی که در سال‌های قبل از اجرای طرح براساس آمار شرکت آب منطقه‌ای فاقد آبدهی و خشک‌شده بودند در سال ۱۳۹۵ براساس آمار جدید قنات‌ها دارای آبدهی و مجدد به بهره‌برداری رسیده که این موضوع نشان‌دهنده تأثیر اجرای طرح می‌باشد.

۵-۴ پیشنهادها

۱- نصب کنتور هوشمند بر روی کلیه چاه‌های دشت

۲- به‌روزرسانی کنتورهای نصب شده و بهره‌برداری کامل از کنتورها

۳- مانیتورینگ از راه دور کنتورهای نصب شده از طریق نصب مودم به‌منظور کنترل بهره‌برداری

۴- رعایت ساعت کارکرد چاه‌های کشاورزی با اعمال ابزارهای قطع به جهت جلوگیری از برداشت‌های بی‌رویه

۵- استمرار کلیه فعالیت‌های مرتبط با طرح احیا و تعادل‌بخشی

۶- نمونه‌برداری دوره‌ای از چاه‌های انتخابی به جهت کنترل هدایت الکتریکی چاه‌ها

۷- توجه ویژه به مدیریت مشارکتی با بهره‌برداران در دشت

۸- ادامه برداشت‌های منظم دوره‌ای از چاه‌های مشاهده‌ای و چاههای نمونه‌برداری به منظور پایش منظم و دقیق تغییرات سطح آب و کیفیت سفره‌ی آب زیرزمینی.

۹- تکمیل بانک آماری از کل بخش‌های آبخوان، جهت نظارت بر روند تغییرات سطح آب به لحاظ کمی و کیفی سفره‌ی آب زیرزمینی در نقاط مختلف آن.

منابع

اصغری مقدم، ا .و آقا زاده، ن .۱۳۸۵ . ارزیابی هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب زیرزمینی آبخوان هرزندات با استفاده از مدل ریاضی .دانش کشاورزی، ۷۳-۸۲

ترکمانی، ج .سلطانی، غ .و اسدی، ه .۱۳۷۴ . تعیین آب بها و بررسی ارزش بازده نهایی آب کشاورزی .آب و توسعه . فصلنامه امور آب و وزارت نیرو،3 ۵-۱۳

اسدپور، ح .خلیلیان، ص .و پیکانی، غ .۱۳۸۴ . نظریه و کاربرد مدل برنامهریزی خطی آرمانی فازی در بهینه سازی الگوی کشت، اقتصادکشاورزی و توسعه.۳۰۷-۳۲۸

شریفی ,م .اسداله ,ا .رفیعی، ش .و سبزه پرور، م .۱۳۹۳ . اولویت بندی کشت محصولات استراتژیک زراعی استان البرز با استفاده از روش دلفی فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. ماشینهای کشاورزی،123-116

فتحی، ف .و زیبایی، م،۱۳۸۹ . تعیین الگوی کشت، استراتژی و روش آبیاری بهینه در جهت پایداری منابع آب با استفاده از رهیافت برنامهریزی آرمانی .مجله تحقیقات منابع آب ایران،۱۰-۱۹

صبوحی، م . شیرزادی لسکوکلایه، س . 1388 .کاربرد برنامهریزی چند هدفه در مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه ساوجبلاغ .مجله اقتصاد کشاورزی، ۹۸-۸۳

صبوحی، م . ، سلطانی، غ .زیبایی، م 1386. .بررسی اثر تغییر قیمت آب آبیاری بر منافع خصوصی و اجتماعی با استفاده از الگوی برنامه ریزی ریاضی مثبت .مجله علوم و صنایع کشاورزی 21-93

محمدیان، ف.، علی زاده، ا.، نیریزی، س .و عربی، ا .۱۳۸۷ . طراحی الگوی زراعی پایدار با تأکید بر مبادله آب مجازی، مجله آبیاری و زهکشی ایران ۱۰۹-۱۲۶

حسین زاده، ج .و کاظمیه، ف . 1352 .جایگاه مدیریت منابع آب در توسعهٔ کشاورزی .نشریه تحقیقات و توسعه کشاورزی،322-365

محمد، ی .شعبانعلی فمی، ح .و اسدی، ع .۱۳۸۹ . شناسایی و تحلیل مشکلات مدیریت آب کشاورزی در شهرستان زرین دشت .تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران،۵۰۱-۵۱۱

خدابخشی ,س .ضیایی، س .کرملا چعب، ک .۱۳۹۴ . بهینه سازی الگو کشت با استفاده از روش برنامه ریزی خطی فازی در کاهش مصرف آب و افزایش درآمد .همایش بین المللی پژوهش های کاربردی در کشاورزی

مدنی کزازی، ا .هوشمند، ع .گلستانی، ش .۱۳۹۲ . مروری بر روش مدیریتی بهره برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی و مزایای آن در جهت بالا بردن بهرهوری از آب. دومین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم

فتحی، ف .و زیبایی، م .۱۳۸۹ . عوامل مؤثر در مدیریت بهرهبرداری از آبهای زیرزمینی با استفاده از مدل برنامهریزی چندهدفه مطالعه موردی دشت فیروزآباد .مجله علوم آب و خاک، ۱۵۵-۱۶۴

شیرزادی لسکوکلایه ,س .صبوحی صابونی، م .پیری، ج .و رستمی، ح .۱۳۸۷ . بررسی مسائل فنی و بهرهبرداری از شبکههای آبیاری و زهکشی منطقه سیستان، اولین کنفرانس بین المللی بحران آ ب

صفی خوانی, ساجده؛ بتول ملک حسینی؛ جواد مومنی دمنه و احسان تمسکی، ۱۳۹۵، بررسی تاثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SPI (مطالعه موردی دشت مشهد)، سومین کنفرانس بین المللی مهندسی محیط زیست، تهران، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار -موسسه آموزش عالی مهر اروند،

مرندی, سید مرتضی و سید محمود واعظی نژاد، ۱۳۸۸، برداشت بی رویه آبهای زیر زمینی و تاثیر آن بر نشست زمین (مطالعه موردی شهر کرمان(، *هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران*، شیراز، دانشگاه شیراز،

دهقانی, مجید و سیدمصطفی مرتضوی، ۱۳۹۸، اثرات برداشت بیرویه از منابع آب زیرزمینی در دشت رفسنجان انار، *پانزدهمین همایش ملی آبیاری و کاهش تبخیر*، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان،

مسلمی, حمید، ۱۳۹۸، ارزیابی بحران آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: دشت جغین و توکهور(، *فصلنامه علوم و مهندسی آبیاری ۴۲ ۳*)

کماسی, مهدی؛ رضا پیریایی و فایزه منکاوی، ۱۳۹۷، پیامدهای برداشت بی رویه آب های زیرزمینی در آبخوان ها (مطالعه موردی شهر الشتر)، *کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران*، تهران، دانشگاه صنعتی مراغه با همکاری دانشگاه تبریز - دانشگاه شهید مدنی آذربایجان،

سهرابی, منصور؛ بیتا قاسم شیرازی و عبداله یزدی، ۱۳۹۸، بررسی اثرات تغییرات تراز آب زیرزمینی آبخوان های استان کرمان بر پدیده فرونشست، *نخستین کنفرانس ملی علوم زمین، آب و هوا و تغییرات اقلیمی*، تهران، موسسه آموزش عالی مهر اروند، طباطبایی, سید حسن؛ مهدی محمدجانی و حسین سروی صدرآباد، ۱۳۹۸، پهنه بندی متغیرهای کیفی آب زیر زمینی دشت سیدان فاروق، *پنجمین کنفرانس بین المللی مهندسی محیط زیست و منابع طبیعی*، تهران، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار -موسسه آموزش عالی مهر اروند،

غالم دخت بندری, مهدی؛ پیمان رضایی و زهرا غالم دخت بندری، ۱۳۹۷، ارزیابی کیفیت هیدروژیوشیمیایی آب زیرزمینی حوزه سیاهو، شمال شرق شهر بندرعباس، *فصلنامه سلامت و محیط زیست*

هدری, فاطمه و هادی جعفری، ۱۳۹۵، بررسی خصوصیات هیدروژیوشیمیایی آب های زیرزمینی آبخوان دشت الشتر، اولین کنفرانس بین المللی آب، محیط زیست و توسعه پایدار، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی،

داود حقیقی گل و پیمان افراسیاب (۱۳۹۶)دانشگاه زابل تأثیر استفاده از کنتور هوشمند آب و برق بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دشت نهبندان

فاطمه روشندل و هوشنگ قمرنیا (۱۳۹۱) بررسی اثرات خشکسالی بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دشت چاردلی استان کردستان

Bronster, A., Jaegr, A., Ciintner, A., Hauschild, M., Doll, P., and Krol, M. 2000. Integrated modeling of water availability and water use in the semi-arid northeast of Brazil. *Phys. Chem. Earth* B 25, 227

Nakhaei, M., Vadiati, M., Saberi, N., 2009, Hydro geochemistry Evolution of Torbate Heydariye plain. Fifteenth Meeting of Geological Society of Iran.

Salman, A. Z., Karablieh, A. E. and Fisher, F. M. 2001. An inter–seasonal agricultural water allocation system (SAWAS), *Agricultural Systems*, 68: 233-252.

Singh R.D., Mishra S.K., Chowdhary H. 2001. Regional flow duration models for large number of ungauged Himalayan catchments for planning microhydro projects, Journal of HydrologicEngineering, 6:310–6.

Varela-Ortega, C. Sumpsi J. 1998. Water Pricing Policies, Public Making and Farmers, Reponse: Implications for Water Policy, Agricultural Economics, Vol 19.10.

Abstract

Rokh plain with an area of 2182 km2 is located in Khorasan Razavi province and northeast of Iran. Groundwater in the plain is harvested by about 320 wells, which have fallen sharply in recent years due to reduced rainfall and overwhelming increase harvests. In order to maintain and manage the Rokh aquifer sustainably, a Equilibrium plan has been in place to install smart meters and block unauthorized wells from 1393. The purpose of this study was to investigate the effect of Equilibrium plan activities on the aquifer's hydrogeological and qualitative behavior. The overall direction of groundwater flow is from the east of the plain (feeding area) to the west of the plain. In different periods of time in the western part of the plain, the lowest decline and in the eastern part, the highest decrease is due to the accumulation of high-flow wells. The rate of decline was evaluated in four 3-year (94-97), 11-year (86-97), 16-year (70-86), and 27-year (70-97) periods and declined in all periods except the three-year average rate of 65 cm, but in the recent three-year period, the lower decline rate was approximately 40 cm. had. Also, the trend of changes in piezometric wells due to the control of overwhelming harvests in recent years has become almost horizontal, which may indicate the effect of the Equilibrium plan. In the plain, the electrical conductivity increases in the direction of flow. According to the electrical conductivity values of the plain were divided into three zones which Electric conductivity has increased in the southern part due to overwhelming harvests from the aquifer And in recent years, since the plan was implemented, the trend has been to reduce salinity.According to the study conducted after Equilibrium plan and installation of smart meters on agricultural wells, energy consumption and operating hours of wells have decreased And in some parts of the plain a number of dried aqueducts have been reactivated to prevent the exploitation of about 140 unauthorized wells. Investigation of groundwater balance in different periods showed that the reservoir deficit has been reduced due to the implementation of equilibrium plan in recent years and indicates the impact of this plan in controlling the harvest and consequently reducing the aquifer loss.

Keywords: Equilibrium plan, Hydrogeology, Balance, Rokh plain

Sharrood university of technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis in Hydrogeology

The effect of equilibrium plan on hydrogeological behavior of Rokh plain, Khorasan Razavi

By:

Amir Javad Daneshpazhouh

Supervisor:

Dr. Rahim Bagheri

February 2020