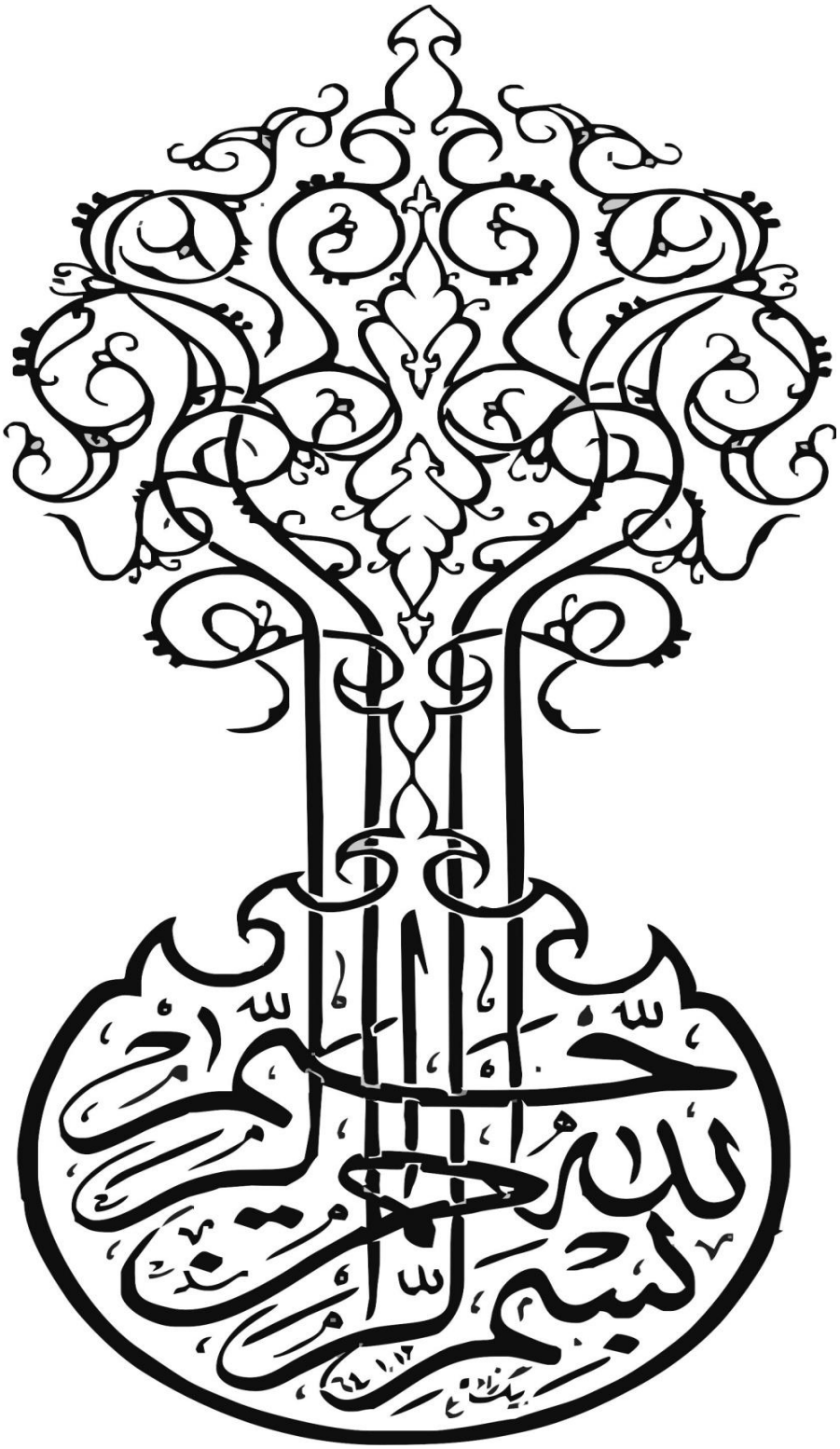

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم زمین

گروه آبشناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد

شناسایی نقاط بحرانی در آبخوان دشت گرگان و پیشنهاد طرح‌های کوتاه مدت و بلند مدت تغذیه مصنوعی

نسیم جهانشاهی نوکنده

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

دی ۱۳۹۴

تقدیم به:

او که آموخت مرا تا بیاموزم

استاد گرامی جناب آقای دکتر کرمی

آنان که وجودم جز هدیه وجودشان نیست،

پدر و مادر عزیزم

و همسر مهربانم که با صبرش در تمامی لحظات رفیق راهم بود...

تشکر و قدردانی

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا نشیند. لذا اکنون که در سایه سار بنده نوازی‌هایش پایان‌نامه حاضر به انجام رسیده است، برخود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگرشان نبود، هرگز این پایان‌نامه به انجام نمی‌رسید.

در ابتدا از زحمات و محبت‌های بی‌دریغ خانواده‌ام که در نهایت صبر و بردباری، همواره محیطی مساعد و آرام را جهت رشد و تحصیلاتم فراهم نمودند، سپاسگزاری می‌نمایم و از زحمات بی‌شائبه استاد راهنمای بزرگوارم، جناب آقای دکتر کرمی که در تهیه و تکمیل این پژوهش همواره از مساعدت‌ها و راهنمایی‌های سودمندشان بهره برده‌ام، کمال تقدیر و تشکر را داشته باشم.

همچنین از زحمات تمامی اساتید دلسوز و محترم گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم زمین به ویژه جناب آقایان دکتر کاظمی، دکتر جعفری، دکتر باقری، دکتر قشلاقی، سرکار خانم دکتر فرقانی و کارشناس گروه سرکار خانم فارسی که در طول مدت انجام این پایان‌نامه از راهنمایی‌ها و همکاری‌های بی‌دریغشان بهره برده‌ام، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

همچنین از جناب آقایان مهندس دهقان، ریاست محترم آب منطقه‌ای استان گلستان، مهندس کابلی کارشناس اداره امور منابع آب که در امر انجام این پایان‌نامه نهایت همکاری صمیمانه را با اینجانب نموده‌اند، کمال سپاسگزاری را دارم.

در پایان از همگی دوستان و همکلاسی‌های گرامی‌ام خانم‌ها زارع، یاراحمدی، زهرابی، انصاری، تفضلی، پروار، حسینی، تکابی، خطیبی‌نیا، برزگر، کشاورزیان، موسایی، توکلی و آقایان ازانی، کرده‌لاچین و نصرتی که در تمامی مراحل انجام این پایان‌نامه و نیز در طی مدت تحصیلاتم با ایشان، نهایت کمک و همیاری را در حق این جانب نمودند، کمال تشکر و سپاسگزاری را مینمایم.

نسیم جهانشاهی نوکنده

تعهد نامه

اینجانب **نسیم جهانشاهی‌نوکنده** دانشجوی دوره کارشناسی‌ارشد رشته آبشناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه شاهرود نویسنده پایان‌نامه **شناسایی نقاط بحرانی در آبخوان دشت گرگان و ارائه راهکارهای کوتاه مدت و بلند مدت تغذیه مصنوعی** تحت راهنمائی **دکتر غلامحسین کرمی** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد 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 پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .
-

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

دشت گرگان با مساحتی حدود ۴۷۲۷ کیلومترمربع واقع در حوضه آبگیر گرگانرود- قره‌سو، یکی از بزرگترین دشت‌های ایران می‌باشد. این دشت یکی از مهمترین دشت‌ها از نظر کشاورزی بوده که برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی باعث افت زیادی در سطح آب زیرزمینی این دشت به ویژه در برخی نقاط گردیده است. هدف از این تحقیق شناسایی نقاط با افت زیاد و و ارائه راهکارهایی برای رفع یا جبران این افت زیاد، می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، نیاز به بررسی داده‌های سطح آب زیرزمینی این دشت و رسم نمودارها و نقشه‌های مربوطه نظیر نقشه‌های هم‌پتانسیل و افت می‌باشد. بررسی سی ساله سطح آب زیرزمینی (۱۳۹۲- ۱۳۶۲) در ۲۸۹ پیزومتر دارای کامل‌ترین آمار و پراکندگی، از مجموع ۳۱۰ پیزومتر موجود در دشت، نشان داد که سطح آب زیرزمینی در دشت گرگان از سال ۱۳۶۲ تا سال ۱۳۸۰ روند نزولی را طی کرده است به گونه‌ای که طی این مدت سطح آب زیرزمینی حدود ۱۲/۲۳ متر افت داشته است. اما مجدداً از سال ۱۳۸۰ سطح آب زیرزمینی به تدریج افزایش یافته و به میزان قابل توجهی، این افت جبران شده است. در نهایت، با توجه به روند کلی سطح آب زیرزمینی منطقه بین سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۲ یک افت نسبتاً کم به مقدار حدود یک متر، مشاهده می‌شود که حاکی از تعادل سطح آب زیرزمینی در بلند مدت می‌باشد. با این وجود، برخی نقاط هستند که بعد از سال ۱۳۸۰ نیز روند نزولی خود را ادامه دادند و در حال حاضر افت زیادی دارند، به طوری که می‌توان آن‌ها را نقاط بحرانی از لحاظ سطح آب زیرزمینی در دشت گرگان بیان کرد. اکثر این نقاط در نیمه جنوبی دشت و در مناطق با تمرکز بالای کشاورزی واقع هستند که می‌توان برداشت بیش از حد مجاز آب از چاه‌های بهره‌برداری را علت این افت بالا در آنها دانست. در انتها چند راهکار، از جمله تغذیه مصنوعی در کوتاه مدت از طریق چاه‌های تزریقی و کانال‌های تغذیه، برای رفع افت در این نقاط پیشنهاد داده شده است.

کلمات کلیدی: دشت گرگان، نقاط بحرانی، سطح آب زیرزمینی، افت سطح آب، تغذیه مصنوعی.

لیست مقالات مستخرج از پایان‌نامه

۱. جهانشاهی‌نوکنده ن. و کرمی غ. (۱۳۹۴)، " ارزیابی افت سطح آب زیرزمینی دشت گرگان در یک دوره ۳۰ ساله (۱۳۹۲-۱۳۶۲) و ارائه راهکارهای مدیریتی" سومین سمپوزیوم بین المللی مهندسی محیط زیست و منابع طبیعی، دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران.

۲. جهانشاهی‌نوکنده ن. و کرمی غ. (۱۳۹۴)، " شناسایی نقاط بحرانی آب زیرزمینی در آبخوان دشت گرگان و ارائه راهکارهای رفع این بحران " نخستین کنفرانس بین المللی محیط زیست و منابع طبیعی، موسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی، شیراز.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- بیان مسئله ۱

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه ۲

۱-۳- آب و هوای منطقه ۳

۱-۴- ژئومورفولوژی منطقه ۶

۱-۵- زمین‌شناسی عمومی منطقه ۷

۱-۵-۱- چینه‌شناسی منطقه ۸

۱-۵-۲- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه ۱۳

۱-۶- هیدرولوژی منطقه ۱۵

۱-۶-۱- وضعیت هیدرولوژیکی حوضه آبگیر رودخانه گرگانرود ۱۵

۱-۶-۲- وضعیت هیدرولوژیکی حوضه آبگیر رودخانه قره‌سو ۱۶

۱-۷- هیدروژئولوژی منطقه ۱۷

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشینیان درخصوص افت سطح آب زیرزمینی ۱۹

۲-۱- مقدمه ۱۹

۲-۲- افت سطح آب ۲۰

۲-۲-۱- فرونشست زمین در اثر افت سطح آب ۲۴

۲-۲-۲- شور شدن آب زیرزمینی در اثر افت سطح آب ۲۹

۲-۲-۳- کاهش آبدهی، ماسه‌دهی و تخریب جدار چاه‌ها در اثر افت سطح آب ۳۲

۲-۳- طرح‌های تغذیه مصنوعی برای جلوگیری از افت سطح آب ۳۴

فصل سوم: روش انجام کار ۳۷

۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات سطح آب زیرزمینی ۳۸

۳-۲- تکمیل و تصحیح آمار سطح آب زیرزمینی ۳۸

۳-۳- بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه ۴۰

۳-۳-۱- ترسیم نقشه هم‌پتانسیل دشت گرگان ۴۰
۳-۳-۲- ترسیم هیدروگراف واحد برای بخش‌های مختلف ۴۰
۳-۳-۳- طبقه‌بندی پیزومترها به لحاظ روند افت ۴۱
۳-۳-۴- پهنه‌بندی دشت به لحاظ افت ۴۱
۳-۴- ارائه راهکارها ۴۱

فصل چهارم: شناسایی نقاط بحرانی در آبخوان دشت گرگان و ارائه راهکارها ۴۳
۴-۱- هیدروژئولوژی دشت گرگان ۴۴
۴-۱-۱- نقشه هم‌پتانسیل سطح آب زیرزمینی ۴۸
۴-۱-۲- هیدروگراف طولانی مدت برای بخش‌های مختلف دشت ۵۳
۴-۲- ارزیابی تأثیر رودخانه‌های اصلی بر هیدروژئولوژی دشت گرگان ۵۸
۴-۳- ارزیابی مقادیر افت در پیزومترهای دشت ۵۹
۴-۳-۱- پیزومترهای با افت اندک ۶۰
۴-۳-۲- پیزومترهای با افت متوسط ۶۲
۴-۳-۳- پیزومترهای با افت زیاد ۶۳
۴-۳-۴- پیزومترهای با افزایش سطح آب ۶۵
۴-۴- پهنه‌بندی مقدار افت سطح آب زیرزمینی در دشت گرگان ۶۶
۴-۵- مکان‌یابی سطوح آب زیرزمینی با وضعیت بحرانی در دشت گرگان ۷۰
۴-۶- ارائه راهکارها ۷۶
۴-۶-۱- طرح‌های تغذیه مصنوعی برای کاهش افت در نقاط بحرانی ۷۶
۴-۶-۲- سایر راهکارها ۷۸
۴-۶-۳- اقدامات انجام شده در استان گلستان ۷۹

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۸۱
۵-۱- نتیجه‌گیری ۸۱
۵-۱-۱- ارزیابی گرادیان هیدرولیکی و مناطق عمده تغذیه و تخلیه دشت ۸۱
۵-۱-۲- بررسی تغییرات زمانی سطح آب در منطقه مورد مطالعه ۸۲
۵-۱-۳- نتایج حاصل از بررسی هیدروگراف دشت در بخش‌های مختلف ۸۲
۵-۱-۴- ارزیابی تأثیر رودخانه‌های اصلی بر پارامترهای هیدروژئولوژیکی دشت گرگان ۸۳

۵-۱-۶- نتایج حاصل از بررسی افت سطح آب زیرزمینی در دشت گرگان ۸۴
۵-۲- پیشنهادها ۸۵
منابع ۸۶

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی دشت گرگان در کشور ۳

شکل ۱-۲- نمودار آمبروترمیک ایستگاه گنبدکاووس ۴

شکل ۱-۳- نمودار آمبروترمیک ایستگاه هاشم‌آباد گرگان ۵

شکل ۱-۴- نقشه ساده شده زمین‌شناسی حوضه آبگیر گرگانرود- قره‌سو ۱۴

شکل ۱-۵- موقعیت نسبی شاخه‌های مربوط به رودخانه گرگانرود ۱۶

شکل ۱-۶- موقعیت نسبی شاخه‌های مربوط به رودخانه قره‌سو ۱۷

شکل ۳-۱- تصحیح آمار در داده‌های مربوط به پیزومتر دارکلاته ۳۹

شکل ۴-۱- نقشه حدود آبخوان‌های آزاد و تحت فشار در دشت گرگان ۴۶

شکل ۴-۲- موقعیت پیزومترهای انتخابی در دشت گرگان ۴۷

شکل ۴-۳- نقشه هم‌پتانسیل دشت گرگان ۴۹

شکل ۴-۴- رابطه تغییرات گرادیان هیدرولیکی در برابر شیب زمین ۵۲

شکل ۴-۵- موقعیت مناطق انتخابی برای محاسبه گرادیان هیدرولیکی و شیب زمین ۵۲

شکل ۴-۶- هیدروگراف واحد دشت گرگان ۵۴

شکل ۴-۷- زون‌های مختلف در دشت براساس مقدار افت ۵۵

شکل ۴-۸- هیدروگراف واحد دشت گرگان در محدوده افت کم ۵۶

شکل ۴-۹- هیدروگراف واحد دشت گرگان در محدوده افت متوسط ۵۷

شکل ۴-۱۰- هیدروگراف واحد دشت گرگان در محدوده افت زیاد ۵۷

شکل ۴-۱۱- مقدار افت سطح ایستابی دشت برای سه دهه متوالی ۶۰

شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین افت برای سه دهه متوالی برای پیزومترهای با افت کم ۶۱

شکل ۴-۱۳- موقعیت نقاط با افت کمتر از افت میانگین در دشت گرگان ۶۱

شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین افت برای سه دهه متوالی برای پیزومترهای با افت متوسط ۶۲

شکل ۴-۱۵- موقعیت نقاط با افت برابر با افت میانگین در دشت گرگان ۶۳

شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین افت برای سه دهه متوالی برای پیزومترهای با افت زیاد ۶۴

شکل ۴-۱۷- موقعیت پیزومترهای با افت بالاتر از افت میانگین در دشت گرگان ۶۴
شکل ۴-۱۸- مقایسه سطح آب در پیزومترهای با افزایش سطح آب ۶۵
شکل ۴-۱۹- موقعیت پیزومترهای با افزایش سطح آب در دشت ۶۶
شکل ۴-۲۰- نقشه افت دشت گرگان ۶۸
شکل ۴-۲۱- مقدار افت در هر یک از زون‌های سه‌گانه ۶۹
شکل ۴-۲۲- نقشه هدایت الکتریکی مربوط به سفره سطحی دشت گرگان ۶۹
شکل ۴-۲۳- موقعیت نقاط با افت بالا در محدوده مورد مطالعه ۷۳
شکل ۴-۲۴- پیزومترهای با روند افت تدریجی ۷۴
شکل ۴-۲۵- پیزومترهای با افت ناگهانی ۷۵
شکل ۴-۲۶- موقعیت نقاط بحرانی در دشت گرگان ۷۸

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱- میانگین مقادیر بارندگی و درجه حرارت ایستگاه‌های سینوپتیک گرگان و گنبد ۶

جدول ۱-۲- تعداد و تخلیه منابع آب زیرزمینی در آبخوان‌های آبرفتی دشت گرگان ۱۸

جدول ۴-۱- میزان شیب زمین و گرادیان هیدرولیکی در نقاط مختلف دشت ۵۱

جدول ۴-۲- مقدار افت آب تراز آب زیرزمینی در پیزومترهای با وضعیت بحرانی ۷۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

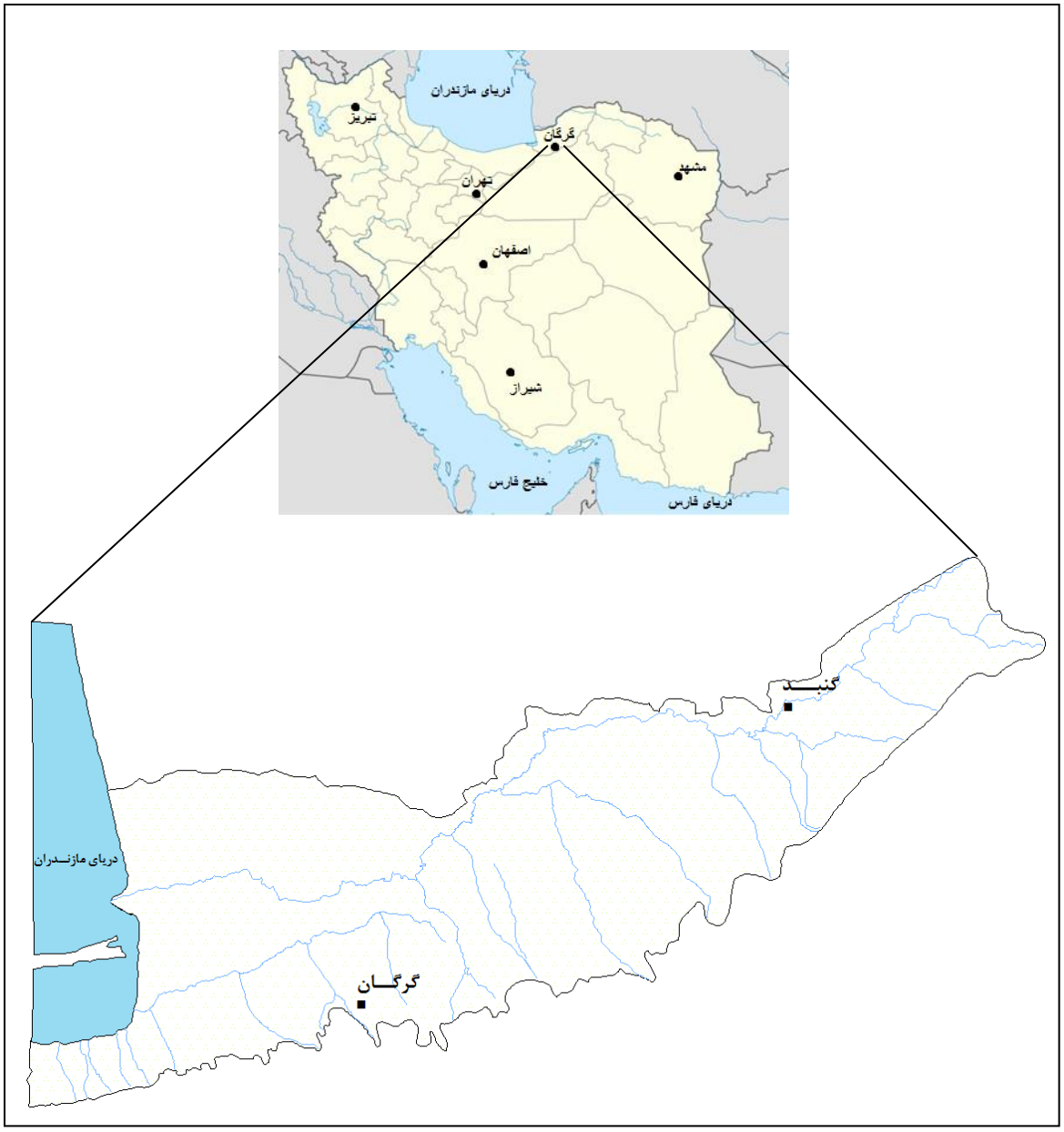
آب به عنوان یک منبع قابل تجدید، همواره به عنوان یک رکن اصلی توسعه مطرح بوده است و نقش مهمی در توسعه‌ی مناطق شهری و روستایی دارد. رشد سریع جمعیت در دهه‌های اخیر، توسعه مناطق شهری و کشاورزی، محدودیت منابع آب سطحی و اقلیم خشک ایران موجب شده که در بسیاری از مناطق آب مورد نیاز بخش‌های مختلف عمدتاً از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین گردد. این امر موجب افت سطح آب زیرزمینی و به مرور زمان باعث بروز مشکلاتی از قبیل نشست زمین، نفوذ آب شور به آبخوان در مناطق ساحلی، تغییر کیفیت آب، ورود ذرات شن و ماسه به درون چاه، کاهش آبدهی چاه‌ها و مشکلاتی از این قبیل می‌شود. به طور کلی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی مستلزم شناخت رفتار و مقدار این منابع است تا با استفاده‌ی بهینه از آنها، حداقل خسارت به این منابع وارد گردد. در حال حاضر تعداد زیادی از دشت‌های کشورمان، دشت ممنوعه اعلام شده و برداشت بیشتر از سفره‌های آب زیرزمینی در آنها امکان‌پذیر نمی‌باشد، به طوری که بعضی از سفره‌های آب زیرزمینی در حال تخریب و نابودی هستند. بحران آب زیرزمینی به وضعیتی اطلاق می‌شود که در آن، افت سطح آب زیرزمینی بیش از حد مجاز باشد. در بسیاری از موارد، پائین افتادن سطح آب زیرزمینی حتی منجر به کاهش کیفیت آب نیز می‌شود. یک مدیریت کارآمد حکم می‌کند که پس از مشاهده بحران، اقداماتی اساسی در جهت مهار افت سطح آب زیرزمینی انجام شود.

مهم‌ترین این اقدامات شامل تقویت پتانسیل آبی و تعادل بخشی این دشت‌ها از طریق کاهش آبدهی چاه‌ها، جلوگیری از اضافه برداشت و تغذیه مصنوعی آبخوان می‌باشد. برای پی بردن به وجود یا عدم وجود بحران در دشت، بایستی تغییرات سطح آب زیرزمینی و وضعیت افت مورد بررسی قرار گیرد. هدف از انجام این تحقیق، شناسایی نقاط بحرانی آب زیرزمینی در دشت گرگان از لحاظ کمی، شناسایی و ارزیابی پیامدهای ناشی از برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی و در صورت لزوم ارائه راهکارهایی مناسب مانند طرح‌های تغذیه مصنوعی در جهت رفع این بحران است.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه مورد مطالعه، دشت گرگان، در حوضه آبگیر گرگانرود- قره‌سو واقع شده‌است (شکل ۱-۱). حوضه آبگیر رودخانه‌های گرگانرود و قره‌سو، بین مختصات جغرافیایی ´۰۲ °۵۴ الی ´۱۶ °۵۶ طول شرقی و °۳۶ ´۳۴ الی ´۴۷ °۳۷ عرض شمالی در قرار گرفته است. این حوضه آبگیر دارای وسعتی حدود ۱۳۰۶۱ کیلومترمربع می‌باشد که حدود ۴۷۲۷ کیلومترمربع از آن به دشت گرگان مربوط می‌شود. حداقل ارتفاع در حوضه آبگیر گرگانرود- قره‌سو در سواحل دریای مازندران با ارتفاع ۲۶- متر و حداکثر آن در حوضه قره‌سو با ارتفاع ۳۲۰۰ متر (ارتفاعات گرمابدشت) و در گرگانرود با ارتفاع ۳۶۰۰ متر (ارتفاعات سرمو) می‌باشد. شیب حوضه گرگانرود به مراتب کمتر از قره‌سو بوده و به طور متوسط حدود ۱/۲۷ درصد برآورد گردیده است.

از مهمترین شهرهای موجود در این محدوده مطالعاتی می‌توان به شهرهای گرگان، بندرترکمن، علی‌آباد، گنبدکاووس،آزادشهر، مینودشت، خان‌ببین، کلاله و گالیکش اشاره نمود. مهمترین سازه‌های آبی موجود در این دشت سدهای گلستان، بوستان، وشمگیر و کوثر می‌باشد (مهندسین مشاور کنکاش معاش ۱۳۸۷).

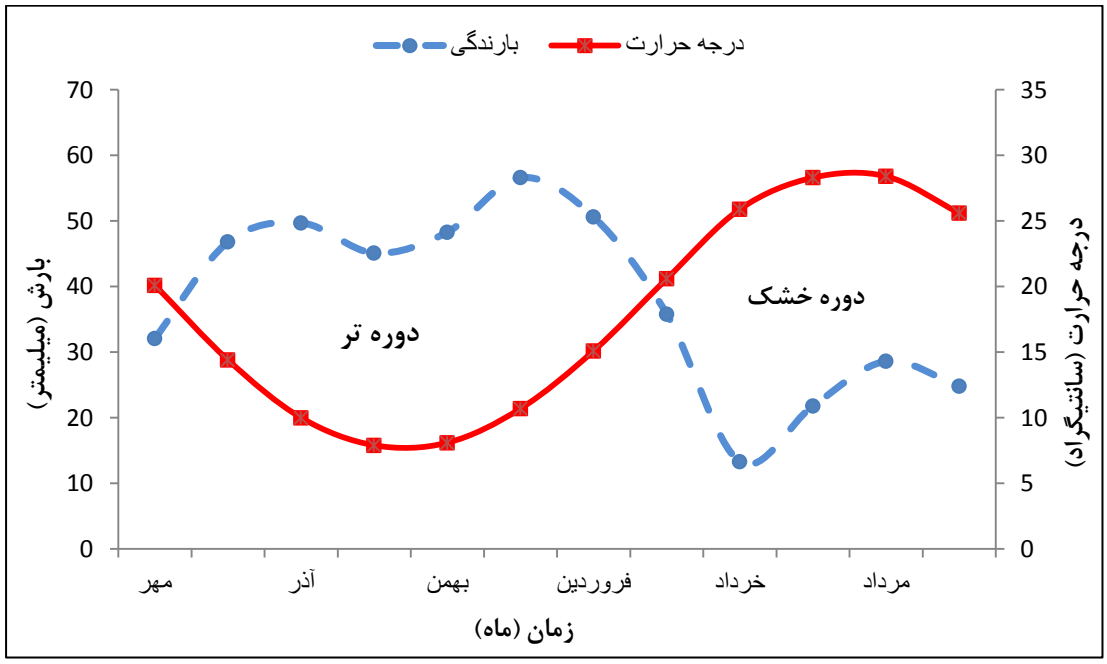


شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی دشت گرگان در کشور

۱-۳- آب و هوای منطقه

آب و هوا در دشت گرگان از چهار فصل تبعیت می‌نماید و در ارتفاعات از معتدل مرطوب تا سرد خشک تغییر می‌کند. به طور کلی دامنه تغییرات درجه حرارت سالانه از غرب به شرق تفاوت محسوسی با

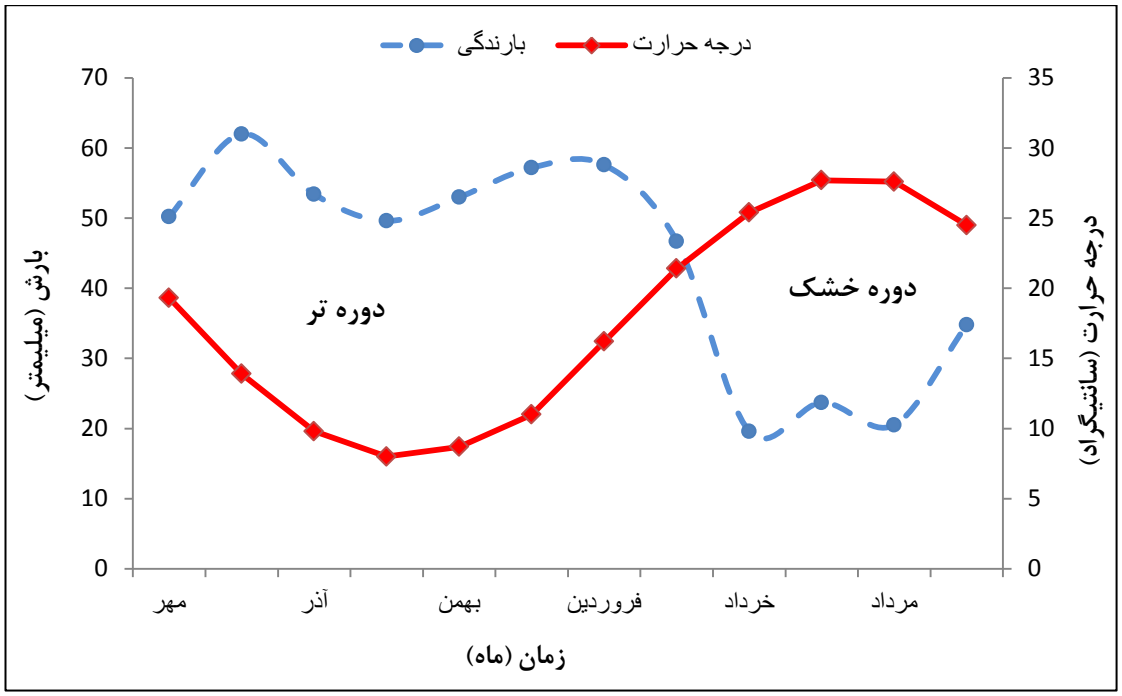
یکدیگر نداشته ولی میزان دما با کاهش ارتفاع افزایش می‌یابد. همچنین میزان بارندگی از غرب به شرق کاهش می‌یابد. به منظور بررسی آب و هوا و اقلیم منطقه مورد مطالعه از آمار هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک گنبدکاووس و هاشم‌آباد گرگان استفاده گردید. در جدول (۱-۱) مقادیر درجه حرارت ماهانه و همچنین متوسط بارندگی ماهانه برای دوره‌ی ۳۰ ساله ایستگاه گنبدکاووس و ۲۶ ساله هاشم‌آباد گرگان نمایش داده شده است. با توجه به آمار ارائه شده، نمودار آمبروترمیک برای دو ایستگاه گنبدکاووس (شکل ۱-۲) و هاشم‌آباد (شکل ۱-۳) رسم گردید.



شکل ۱-۲- نمودار آمبروترمیک ایستگاه گنبدکاووس

با توجه به نمودارهای مذکور، در زمان‌هایی که میانگین بارندگی بالاتر از میانگین دما است، فصل تر و در غیر این صورت فصل خشک اتفاق می‌افتد. بر طبق این نمودار، فصل تر منطقه تقریباً از مهر ماه تا اردیبهشت ماه بوده و بقیه سال، فصل خشک می‌باشد. حداکثر متوسط بارندگی در ایستگاه گنبدکاووس به میزان ۵۶/۶ میلی‌متر در اسفندماه و در ایستگاه هاشم‌آباد به میزان ۵۷/۶ میلی‌متر در فروردین ماه

می‌باشد. همچنین حداکثر و حداقل دما در ایستگاه گنبد به ترتیب ۲۸/۴ درجه سانتیگراد در مرداد ماه و ۷/۹ درجه سانتیگراد در دی ماه و ایستگاه هاشم‌آباد ۲۷/۷ درجه سانتیگراد در مرداد ماه و ۸ درجه سانتیگراد در دی ماه می‌باشد.



شکل ۱-۳- نمودار آمبروترمیک ایستگاه هاشم آباد گرگان

میزان نم نسبی در اراضی ساحلی و همچنین نواحی کم ارتفاع دشت گرگان تفاوت محسوسی ندارد ولی این پارامتر با فاصله گرفتن از دریا و با حرکت به سمت شرق روند کاهشی دارد. تغییرات نم نسبی در نواحی دشتی، در فصل سرد بین ۹۶ و ۶۰ و در فصل گرم بین ۹۵ و ۵۴ درصد بوده است. مرطوب-ترین ماه‌های سال در نواحی دشتی و یا ساحلی نزدیک به دریا، ماه‌های آذر و دی بوده که میزان نم نسبی در آنها به ترتیب برابر ۸۶ و ۸۷ درصد می‌باشد. در خشک‌ترین ماه‌های سال که خرداد و تیر می-باشد میزان رطوبت نسبی هوا بین ۸۱ و ۶۵ درصد در نوسان است (مهندسین مشاور کنکاش معاش ۱۳۸۷).

جدول ۱-۱- میانگین مقادیر بارندگی و درجه حرارت در ایستگاه‌های سینوپتیک گرگان و گنبد

ایستگاه	گنبدکاووس		هاشم‌آباد گرگان	
ماه / مشخصه آماری	متوسط بارندگی (میلی‌متر)	متوسط درجه حرارت (C°)	متوسط بارندگی (میلی‌متر)	متوسط درجه حرارت (C°)
مهر	۳۲/۱	۲۰/۱	۵۰/۲	۱۹/۳
آبان	۴۶/۸	۱۴/۴	۶۲	۱۳/۹
آذر	۴۹/۷	۱۰	۵۳/۴	۹/۸
دی	۴۵/۱	۷/۹	۴۹/۶	۸
بهمن	۴۸/۳	۸/۱	۵۳	۸/۷
اسفند	۵۶/۶	۱۰/۷	۵۷/۲	۱۱
فروردین	۵۰/۶	۱۵/۱	۵۷/۶	۱۶/۲
اردیبهشت	۳۵/۸	۲۰/۶	۴۶/۷	۲۱/۴
خرداد	۱۳/۳	۲۵/۹	۱۹/۶	۲۵/۴
تیر	۲۱/۸	۲۸/۳	۲۳/۷	۲۷/۷
مرداد	۲۸/۶	۲۸/۴	۲۰/۵	۳۲/۵
شهریور	۲۴/۸	۲۵/۶	۱/۵	۲۹/۶
میانگین سالانه	۴۵۳/۵	۱۷/۹۲	۴۹۵	۱۸/۶۲

۱-۴- ژئومورفولوژی منطقه

دشت وسیع گرگان- گنبد، حاصل افتادگی بر اثر گسل مازندران است که به تدریج توسط نهشته‌های دریائی انباشته شده و شکل و فرم امروزی را پیدا نموده است. دشت گرگان از نظر ژئومورفولوژیکی از دو

بخش دامنه البرز در جنوب و حاشیه ارتفاعات و بخش پست در شمال تشکیل شده است. بخش دامنه البرز در جنوب دشت غالباً از مخروط‌افکنه تشکیل شده در مسیر رودخانه واقع شده است و دشت را در حوضه تشکیل می‌دهد. عرض متوسط دشت گرگان حدوداً ۵۰ کیلومتر برآورد گردیده است.

معروفترین مناطق مرتفع این منطقه ارتفاعات کوه شاهوار، ارتفاعات خوش ییلاق، کوه ابر (زرین‌گل) و ارتفاعات جنگل گلستان می‌باشد. رسوبات بادی یا لس‌ها در سطح دشت، تپه‌هایی را بوجود آورده و دامنه کوه‌ها را پوشانده است. این رسوبات به علت دارا بودن رس زیاد غیرقابل نفوذ بوده و در عین حال در مقابل فرسایش بسیار ناپایدار می‌باشند. به این ترتیب‌که توسط رواناب به راحتی شسته شده و شیارهای عمیق (فرسایش خندقی) در آنها ایجاد گردیده و منظره دشت را به صورت تپه ماهوری در آورده است، پستی و بلندی و ناهمواری دشت گرگان زائیده همین پدیده است. گسترده‌ترین و ضخیم-ترین آب نهشته‌ها اغلب در دشت گرگان وجود دارد. در بستر رودخانه‌های کوچک و آبراهه نیز آب نهشته‌ها با ضخامت کم وجود دارند که اغلب از ماسه، قلوه‌سنگ و خاک تشکیل شده که سیمانی نشده-اند ولی بعضی نهشته‌های قدیمی‌تر گاه دارای سیمان ضعیفی بوده و دانه‌ها کمی ثابت شده‌اند.

۱-۵- زمین شناسی عمومی منطقه

بیش از ۷۰ درصد حوضه آبگیر قره‌سو و گرگانرود در زون ساختمانی گرگان- رشت واقع شده و حدود ۳۰ درصد آن، از منطقه گنبدکاووس به طرف شرق و شمال‌شرق، در زون هزار مسجد کپه‌داغ واقع شده است. مرز جنوبی این زون با گسل البرز مشخص می‌شود و مرز شرقی آن به واسطه نهشته‌های ضخیم بادرفتی از جنس لس و به صورت کاملاً تدریجی، که گاهی اوقات تشخیص و تفکیک آن نیز مشکل است، با زون هزار مسجد کپه‌داغ می‌باشد. در سمت غرب آغاز گسترش سنگ‌های آتشفشانی آذربایجان را می‌توان مرز غربی و دریای مازندران را مرز شمالی این زون در نظر گرفت. لازم به ذکر است که دشت گرگان، در قسمت شرقی این زون (گرگان- رشت) واقع شده است. در بخش‌های زیر، چینه‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمانی منطقه بیان می‌شود.

۱-۵-۱- چینه شناسی منطقه

واحدهای دوران پرکامبرین (Per- Cambrian)

واحدهای زمین‌شناسی پرکامبرین در منطقه مورد مطالعه شامل شیست‌های سبز گرگان می‌باشد که اولین بار توسط تیتزه (Titeze 1877) در البرز شرقی و در حوالی گرگان مورد بررسی قرار گرفته است. سنگ‌شناسی شیست گرگان، به طور کلی شامل شیست سبز، متادیاباز، کوارتزیت، مرمر و اسلیت می-باشد که گاهی در بین آنها رخنمون واحد گابرو، دیوریت، رگه‌های سینیتی و واحد ایگنمبریت، سنگ-جوش و ماسه‌سنگ به چشم می‌خورد که به طور گسترده‌ای در ارتفاعات مشرف بر شهرهای کردکوی، گرگان و علی‌آباد رخنمون دارد. ضخامت این واحد حدود ۲۰۰۰ متر و وسعت رخنمون آن در حوضه آبگیر حدود ۳۷۰ کیلومترمربع است. همچنین وسعت واحدهای آذرین و آذرآواری موجود در واحدهای شیست گرگان حدود ۷/۲ کیلومترمربع است که جزء مساحت واحدهای شیستی منظور نشده است. خاطر نشان می‌سازد که شیست‌های گرگان تنها در محدوده مطالعاتی گرگان رخنمون دارند (مهندسین مشاور کنکاش معاش ۱۳۸۷).

واحدهای دوران اول (Paleozoic)

❖ **سازند لالون**

سازندهای دوران اول با ماسه‌سنگ‌های آرکوزی قرمز رنگ سازند لالون متعلق به کامبرین آغاز می‌شود که به طور محدودی در ارتفاعات جنوب غرب شهر علی‌آباد در کوه چلچلی و نیز در ارتفاعات مینودشت رخنمون دارد. گسترش این سازند در سطح حوضه بیش از ۲۵ کیلومترمربع است و بر روی آن سازند میلا قرار دارد. ضخامت آن حدود ۵۸۲ متر و شامل ماسه‌سنگ‌های آرکوزی قرمز رنگ، شیل و ماسه-سنگ‌های قرمز بین لایه‌ای و بخش فوقانی کوارتزیت سفید می‌باشد. مقطع تیپ سازند لالون در البرز مرکزی به وسیله آسرتو (Assereto 1963) معرفی شده است.

❖ سازند جیرود

سازند جیرود شامل واحدهای سنگی آهکی، آهک مارنی، شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومراست. این سازند متعلق به دونین بالایی- کربونیفر زیرین است که در محل الگو چهار عضو و ۷۶۰ متر ضخامت دارد. این سازند در گستره‌ای با وسعت کمتر از ۲۰ کیلومترمربع در ارتفاعات جنوب گرگان در حوضه آبگیر رودخانه زیارت رخنمون داشته که ۱۴ متر آن با ارتفاع حدود ۱۵۰۰ متر از سطح دریا بر روی شیست-های گرگان قرار دارد. همچنین بر روی آن سازند مبارک، متعلق به کربونیفر قرار دارد.

❖ سازند خوش‌ییلاق

سازند خوش‌ییلاق متعلق به دونین با ماسه‌سنگ، شیل و کنگلومرای قاعده‌ای آغاز می‌گردد. سنگ-شناسی کلی این سازند که به لحاظ لیتوفاسیس (Lithofacies) تغییرات چشمگیری در سطح حوضه آبگیر دارد، شامل ماسه‌سنگ، کنگلومرا، شیل، و سنگ آهک می‌باشد و به طور محلی سنگ گچ سفید و ژیپس نیز در آنها دیده شده است. رخنمون‌های گسترده این سازند را در حوضه آبگیر رودخانه باغ شاه، ارتفاعات جنوب علی‌آباد تا مینودشت و نیز در انتهای جنوب شرقی حوضه آبگیر رودخانه حاجیلر می-توان مشاهده نمود. وسعت رخنمون‌های سازند خوش‌ییلاق در سطح حوضه آبگیر گرگانرود- قره‌سو حدود ۷۳۳ کیلومترمربع است که حدود ۱۲/۸ درصد از برونزد سازندهای سخت حوضه آبگیر را شامل می‌شود.

❖ سازند مبارک

لیتولوژی سازند مبارک شامل سنگ آهک خاکستری متوسط لایه، دولومیت توده‌ای، شیل آهکی و به مقدار کمتری شیل می‌باشد که به طور گسترده‌ای در ارتفاعات جنوب آزادشهر و نیز بخش میانی ارتفاعات حوضه آبگیر رودخانه‌های الستان، زرین‌گل و قوری‌چای با مساحتی حدود ۴۱۵ کیلومترمربع رخنمون دارد. بر روی سازند مبارک، سنگ آهک اآلیتی و سنگ آهک ماسه‌دار سازند قزل‌قلعه متعلق به کربونیفر بالایی قرار دارد. این سازند به صورت نوار باریکی با روند عمومی شمال شرقی- جنوب غربی در بخش میانی حوضه آبگیر رودخانه زرین‌گل و قوری‌چای با مساحتی حدود ۸۳ کیلومترمربع برونزد دارد.

❖ سازند درود

رسوب‌گذاری عمدتاً تخریبی در آغاز پرمین معرف کاهش عمق دریای کربونیفر انتهایی می‌باشد. سازند دورود با محتوای سنگ‌شناسی ماسه‌سنگ، ماسه‌سنگ کوارتزیتی و به مقدار کمی سنگ آهک جلبک‌دار و فوزولین‌دار متعلق به آغاز پرمین به طور گسترده‌ای در ارتفاعات جنوب علی‌آباد در کوه‌های زرجو و جوزچال و نیز در ارتفاعات شرقی حوضه آبگیر رودخانه زرین‌گل در مجموع با مساحتی حدود ۲۳۰ کیلومتر مربع رخنمون دارد.

❖ سازند روته

روند تعمیق دریا تا پایان پرمین ادامه داشته و در نتیجه آن سنگ‌های کربناته سازند روته تشکیل شد. رخنمون‌های سازند روته در سطح حوضه آبگیر به طور پراکنده و کم وسعت بوده و گسترشی بیش از ۳۶ کیلومترمربع دارد. واحد سنگ آهک چرت‌دار، ماسه‌سنگ و شیل در قائده سازند نسن با وسعت حدود ۳۲ کیلومترمربع در ارتفاعات نرسو، شیرین‌آباد و سیاه‌رودبار رخنمون دارد. واحدهای سنگی تفکیک نشده پرمین متشکل از آهک، ماسه‌سنگ و شیل دارای وسعت حدود ۲۵ کیلومتر مربع در حوضه آبگیر گرگانرود- قره‌سو می‌باشند.

واحدهای دوران دوم (Mesozioc)

❖ سازند الیکا

دوره تریاس با سنگ‌های آهکی نازک لایه کرم رنگ و دولومیت توده‌ای همراه با بوکسیت و لاتریت در قاعده سازند الیکا آغاز می‌شود که به صورت نوار بسیار باریک و به طور محدودی (حدود ۳ کیلومترمربع) در بین سنگ‌های آهکی سازند روته و بخش دولومیتی سازند الیکا دیده می‌شود. دولومیت‌های ضخیم لایه تا توده‌ای الیکا با گسترشی حدود ۲۶ کیلومترمربع در ارتفاعات بخش میانی حوضه آبگیر رودخانه

زرین‌گل در اطراف روستای سیاه‌رودبار و نیز بخش میانی ارتفاعات ساحل چپ حوضه آبگیر رودخانه چهل‌چای رخنمون دارد.

❖ سازند شمشک

آسرتو (Asserto 1966) توالی از رسوبات شیلی و ماسه‌سنگی را با سن تریاس پسین- ژوراسیک زیرین در نزدیکی روستای شمشک (البرز مرکزی) معرفی کرده است. این توالی از پائین به بالا از تناوب ماسه سنگ، شیل و شیل‌های کربناته، تناوب شیل و شیل‌های سیلتی و ماسه‌سنگ‌های نازک لایه و میکادار تشکیل شده است. این سازند در انتهای جنوبی حوضه‌ی آبگیر رودخانه‌های قشلاق، تیل‌آباد و قوری-چای دارای برونزدهای گسترده می‌باشد. سازندهای ژوراسیک زیرین در سطح حوضه آبگیر گرگانرود-قره‌سو دارای وسعتی حدود ۵۲۱ کیلومترمربع هستند.

❖ سازند دلیچای

این سازند با سن ژوراسیک میانی، توالی از طبقات آهک مارنی نازک لایه به رنگ خاکستری متمایل به سبز و غنی از فسیل‌های آمونیت را شامل می‌شود که به طور متناوب با شیل‌های آهکی قرار دارند. سنگ‌شناسی این سازند شامل سنگ آهک‌های نازک لایه‌ی مارنی به رنگ خاکستری با میان لایه‌ای از شیب آهکی است. وسعت این واحد در سطح حوضه ۳۵۶ کیلومترمربع است.

❖ سازند لار

سازند لار به سن ژوراسیک پسین، اولین بار توسط آسرتو (Asserto 1966) معرفی شده است. در مقطع تیپ (دره لار در البرز مرکزی) ردیفی از طبقات نازک تا توده‌ای از آهک را شامل می‌شود که نودول‌ها و نوارهای نازکی از چرت‌های سفید و بنفش را دارا هستند. این سازند در ارتفاعات جنوب و جنوب غربی شهر گرگان رخنمون دارد و وسعت آن در حوضه حدود ۷۹۳ کیلومترمربع است که ۱۳/۸ درصد از وسعت سازندهای سخت حوضه آبگیر را شامل می‌شود.

واحدهای دوران سوم (Cenozoic)

❖ سازند فجن

سازند فجن با سن پالئوسن دارای مجموعه‌ای از رسوبات آواری قرمز رنگ می‌باشد. گسترش وسیعی در البرز داشته و در برخی نقاط به ویژه در مقطع تیپ میان لایه‌هایی از گدازه‌های آندزیتی و آگلومرا در خود جای داده است. این سازند در سطح حوضه آبگیر دارای گسترش محدودی (حدود ۱۴ کیلومترمربع) است و در انتهای جنوبی رودخانه تیل‌آباد مشاهده شده است.

❖ سازند کرج

سازند کرج مجموعه‌ای متشکل از سنگ‌های آتشفشانی، سنگ‌های پیروکلاستیک و نهشته‌های اپی-کلاستیک به سن ائوسن است که گسترش وسیعی در البرز غربی و مرکزی دارد (لاسمی ۱۳۷۰). سازند کرج در حوضه آبگیر گرگانرود از پائین به بالا شامل بخش‌های زیر است:

۱- توف‌های سبز با میان لایه‌های نازک از ماسه‌سنگ‌های ولکانیک به همراه گدازه‌های آندزیتی و بازالتی

۲- تناوب توف و شیل‌های توفی به رنگ سبز تا سبز متمایل به خاکستری به همراه ماسه‌سنگ‌های ولکانوژنیک

۳- تناوب شیل‌های توفی و ماسه‌سنگ‌های توفی به رنگ سبز که طبقات رسوبی در آن به سمت بالا افزایش ضخامت داشته و میان لایه‌های آهکی در آن افزایش می‌یابد.

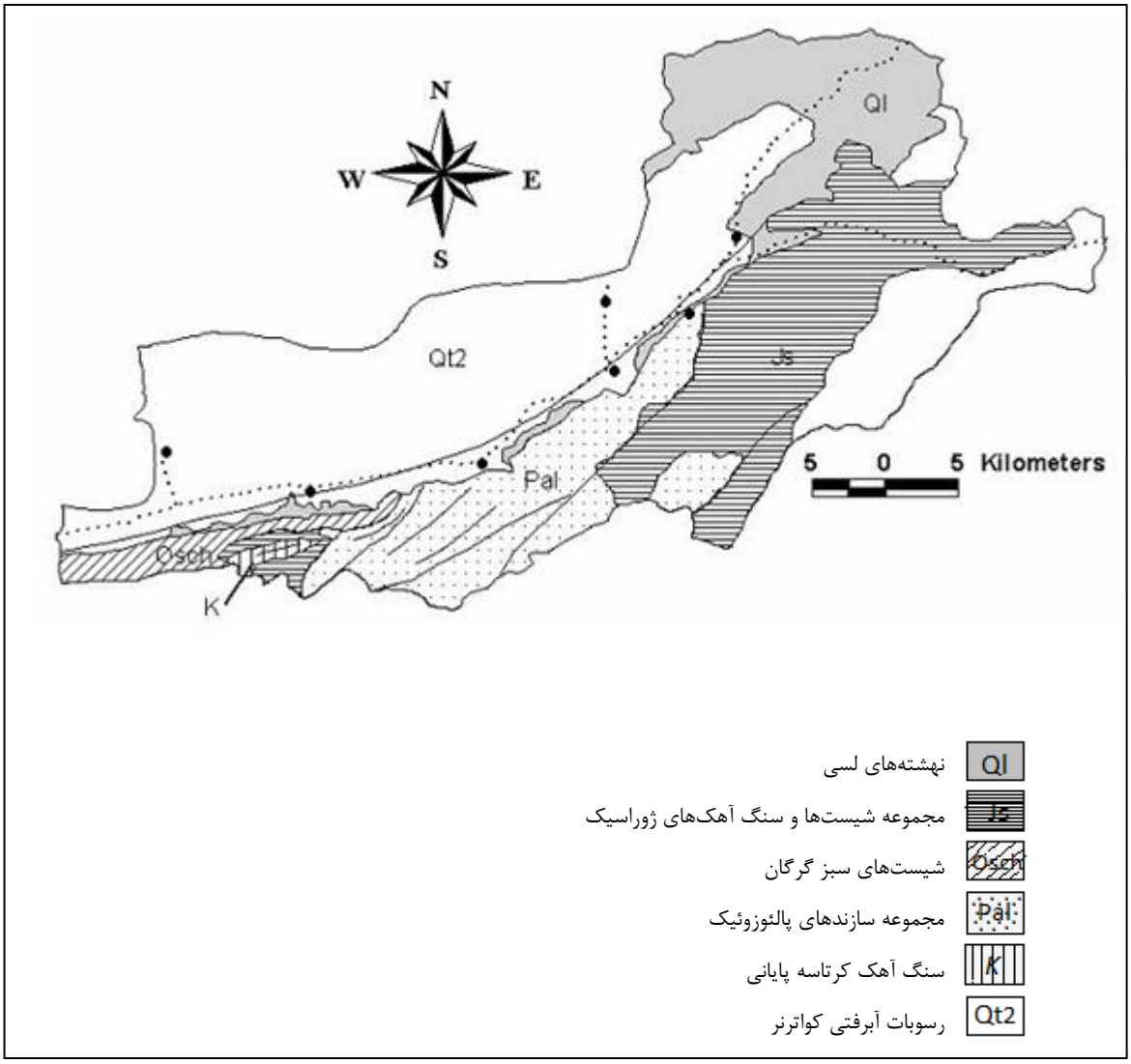
واحدهای دوران چهارم (Quaternary)

رسوبات دوران چهارم در دشت گرگان رخنمون چندانی ندارند. نهشته‌های کواترنری، جوان‌ترین نهشته-های موجود در منطقه مورد مطالعه است. این نهشته‌ها به صورت رسوب منفصل و یا رسوبات با فشردگی اندک دیده می‌شود. نهشته‌های گراولی پلیوکواترنر (Q_{t1}) با فشردگی اندک قدیمی‌ترین نهشته‌های کواترنری را شامل می‌شود. این رسوبات به صورت دگرشیب سنگ‌های قدیمی را پوشانده

است. تراس‌های Qt_2، نهشته‌های گراولی، ماسه‌ای و سیلتی هستند که پهنه دشت را پوشانده‌اند. نهشته-های کواترنر در دامنه‌های شمالی البرز و دشت گرگان شامل لس‌ها و تراس‌های جوان آبرفتی Qt_1 می-باشند که پهنه دشت را پوشانده است. رسوبات آپشرونین (Apsheronian) مرکب از مارن‌های آبی، خاکستری و سبز و ماسه‌های دانه ریز و لایه‌های گراول و گاهی نیز لایه‌های نازک خاکستر آتشفشانی در سراسر ناحیه ساحلی دریای مازندران گسترش دارد. در دشت گرگان ضخامت آن از شرق به غرب به طرف گودال کنونی دریای مازندران افزایش می‌یابد. شیست‌های گرگان که مجموعه‌ای از سنگ‌های ولکانیکی به همراه سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی مافیک و حد واسط به نمایش می‌گذارد، نواری به طول تقریبی حدود ۱۱۰ کیلومتر را با روند شرقی- غربی در دامنه شمالی البرز و در جنوب گلوگاه تا فاضل‌آباد را شامل می‌شود. این مجموعه در بخش جنوبی از یک سو توسط یک راندگی شکل‌پذیر با شیب به سمت شمال و حرکتی به سمت جنوب بر روی طبقات رسوبی دونین- کربونیفر رانده شده است (رحیمی ۱۳۸۱). لس‌ها گسترده‌ترین نهشته‌های دوران چهارم هستند که در مساحتی حدود ۱۸۰۰ کیلومتر مربع به صورت تپه ماهورهای پست تا نسبتاً مرتفع در حوضه آبگیر گسترش دارند. این نهشته‌ها به طور گسترده‌ای در پیشانی ارتفاعات مشرف بر دشت گرگان از حوالی کردکوی تا گالیگش و نیز در نواحی تپه ماهوری شمال گنبد توسعه دارد.

۱-۵-۲- زمین شناسی ساختمانی منطقه

زون گرگان- رشت بین دو گسل اصلی جنوب البرز (نبوی ۱۳۵۵) و خزر جنوبی (بربریان ۱۳۶۲) قرار دارد. ساختارهای تکتونیکی، زمین‌شناسی و نحوه گسترش آن‌ها در محدوده مورد مطالعه از روند ساختاری حاکم بر منطقه‌ی البرز تبعیت می‌کند. روند اصلی منطقه شرقی- غربی بوده که منطبق با تکتونیک کلی البرز می‌باشد البته این روند در بعضی نقاط به طور خیلی ضعیف به طرف شمال شرقی- جنوب غربی متمایل شده است.



شکل ۱-۴- نقشه ساده شده زمین شناسی حوضه آبگیر گرگانرود- قره‌سو (شمعانیان و همکاران ۱۳۸۹)

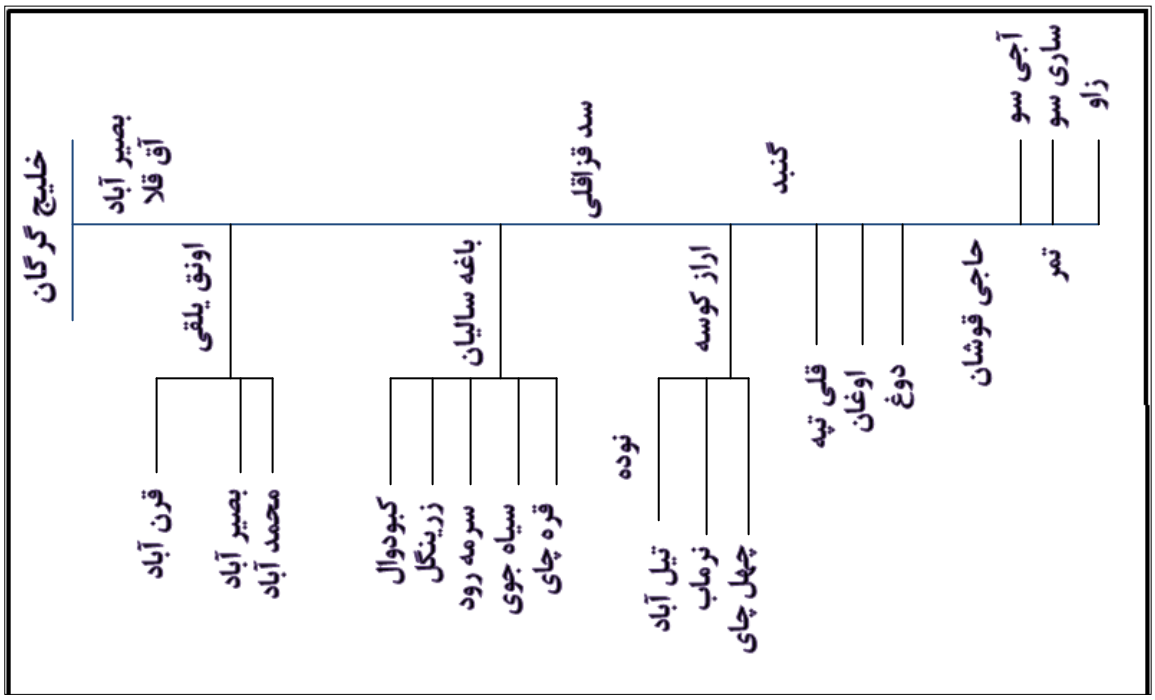
روند غالب امتداد گسل‌ها و شکستگی‌های بزرگ در حوضه گرگانرود N25E تا N75E می‌باشد. فراوانی سیستم‌های شکستگی و درز و شکاف در سنگ‌های صلب، فراوان‌تر و مشخص‌تر می‌باشد. از میان رخساره‌های متداول در محدوده‌های مورد مطالعه سنگ‌های مقاومی نظیر سنگ‌های کربناته و ماسه-سنگ‌ها که در حوضه از تراکم بالایی برخوردارند دارای گسل‌خوردگی و شکستگی‌های بیشتری بوده و توسعه سیستم‌های درز و شکاف بر روی آن‌ها از تراکم چشمگیری برخوردار است. جنبش‌های کوهزائی و چین‌خوردگی‌های متعددی در زون‌های زمین ساختی گرگان- رشت عمل کرده که در زیر به

مهمترین آنها اشاره می‌شود. چین خوردگی بایکالی یا کاتانگایی از قدیمی‌ترین چین خوردگی‌های این منطقه بوده که موجب ایجاد دگرشیبی در قاعده سنگ‌های اینفراکامبرین (پرکامبرین پسین) شده است. این چین خوردگی موجب شکسته شدن پی‌سنگ ایران زمین و پی‌ریزی شکل حوضه‌های رسوبی بعدی و شکل گرفتن گسل‌های اصلی شده و در بخش جنوبی دریای مازندران موجب به وجود آمدن دراز پشته‌های کم ارتفاع شده است اولین فاز کوهزائی پالئوزوئیک چین‌خوردگی کالدونین بوده که در ایران به صورت عمومی اثر نموده و نتیجه آن نبود چینه‌شناسی مهم به ویژه در شمال کشور می باشد.

۱-۶- هیدرولوژی منطقه

۱-۶-۱- وضعیت هیدرولوژیکی حوضه آبگیر رودخانه‌ی گرگانرود

حوضه گرگانرود دارای وسعتی حدود ۱۱۳۳۹ کیلومترمربع می‌باشد. طول شاخه اصلی گرگانرود که در دشت گرگان جریان دارد، حدود ۳۵۹ کیلومتر می‌باشد. در این حوضه تعداد زیادی رودخانه وجود دارد که تمامی آنها دائمی می‌باشند. رودخانه‌های زاو و ساری‌سو پس از الحاق با یکدیگر در تمر، شاخه اصلی گرگانرود را در شمال شرقی حوضه تشکیل داده و به تدریج و در طول مسیر شاخه‌های متعددی به آن ملحق می‌شوند. رودخانه آجی‌سو، که در منتهی الیه شمال شرقی حوضه جریان دارد، پس از عبور از ایستگاه حاجی‌قوشان باعث افزایش آبدهی شاخه اصلی می‌گردد. فرسایش‌پذیری رودخانه گرگانرود در این منطقه به علت سازندهای زمین‌شناسی فرسایش‌پذیر بسیار زیاد است. رودخانه چهل‌چای و نرماب در ابتدای پل ارتباطی مینودشت به یکدیگر پیوسته که ضمن تأمین آب اراضی مسیر و پس از الحاق به رودخانه نوده از ایستگاه ارازکوسه گذشته و به گرگانرود می‌پیوندد. ایستگاه هیدرومتری گنبد که در شمال غربی این شهر قرار دارد در برگیرنده آبدهی کلیه رودخانه‌های فوق‌الذکر در مسیر اصلی گرگانرود می‌باشد. در شکل (۵-۱)، موقعیت نسبی شاخه‌های گرگانرود به صورت شماتیک رسم شده است.



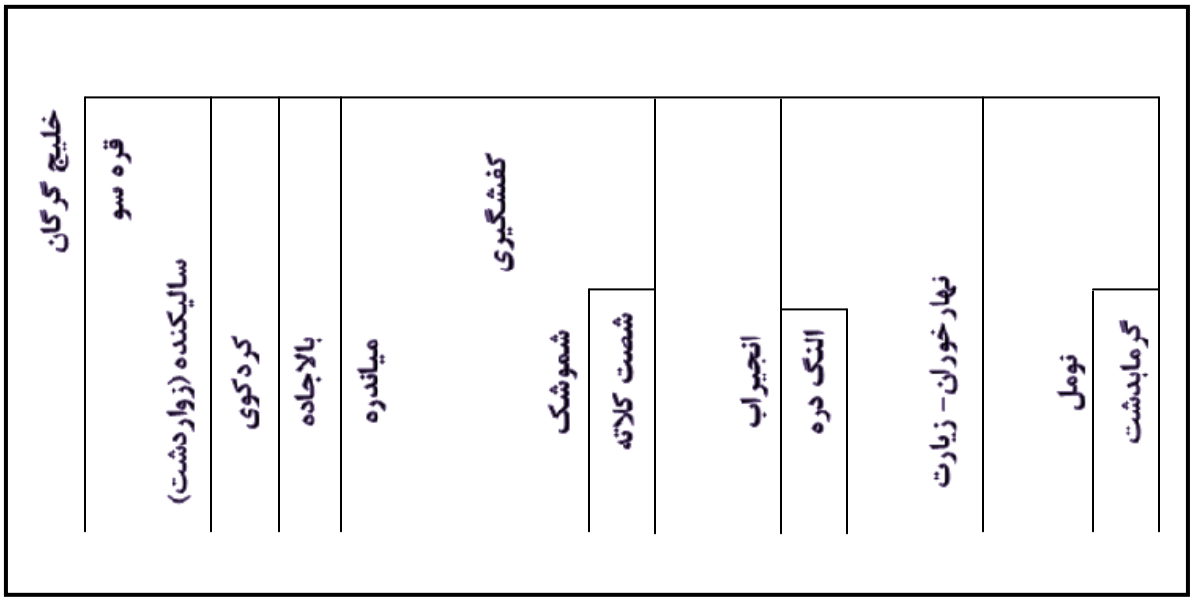
شکل ۱- ۵- موقعیت نسبی شاخه‌های مربوط به رودخانه گرگانرود

۱-۶-۲- وضعیت هیدرولوژیکی حوضه آبگیر رودخانه‌ی قره‌سو

رودخانه قره‌سو، با طول تقریبی حدود ۱۰۸ کیلومتر، خود از تعدادی رودخانه تشکیل گردیده است که به ترتیب از شرق به غرب عبارتند از: گرمابدشت، نومل، زیارت (ناهارخوران)، النگ‌دره، طول‌چشمه، انجیرآب، شصت‌کلاته، شموشک، میاندره، بالاجاده، کردکوی و زواردشت (سالیکنده). کلیه رودخانه‌های این حوضه آبگیر از جنوب سرچشمه گرفته و پس از طی مسافتی به شاخه اصلی قره‌سو می‌پیوندند.

رودخانه گرمابدشت پس از طی مسیر جنوب به شمال به صورت شرقی- غربی تغییر مسیر داده و در نقاط مختلف به علت پیوستن رودخانه‌ها آبدهی آن افزایش می‌یابد. مسیر اصلی رودخانه قره‌سو در مجاورت روستای قره‌سو به خلیج گرگان می‌ریزد و نقش بسزایی در تأمین آب شرب، صنعت و کشاورزی منطقه دارد. اکثر رودخانه‌های تشکیل‌دهنده این حوضه دارای وسعتی کم می‌باشند

(مهندسین مشاور کنکاش عمران ۱۳۸۸). در شکل (۱-۶)، موقعیت نسبی شاخه‌های اصلی رودخانه‌ی قره‌سو، نمایش داده شده است.



شکل ۱-۶- موقعیت نسبی شاخه‌های مربوط به رودخانه قره‌سو

۱-۷- هیدروژئولوژی منطقه

دشت گرگان یکی از دشت‌های وسیع و با اهمیت کشور است که فعالیت کشاورزی در آن از دوره‌های گذشته به علت حاصل‌خیزی زمین‌ها از رونق بالایی برخوردار بوده و در حال حاضر نیز یکی از قطب-های کشاورزی کشور محسوب می‌گردد. وسعت زیاد دشت و وجود رودخانه‌های متعدد که از ارتفاعات مشرف به آن سرچشمه می‌گیرند باعث تشکیل سفره آب زیرزمینی وسیع با توانایی بالا شده است. در حال حاضر بیش از ۲۳ هزار حلقه چاه در حال بهره‌برداری در دشت گرگان وجود دارد. طبق آخرین آماربرداری در محدوده مطالعاتی گرگان، میزان بهره‌برداری از آب زیرزمینی توسط چاه‌ها از رقم ۳۶۰ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۴۶ به ۴۲۵ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۵۰، به بیش از ۶۹۲ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۷۵، بیش از ۷۹۷ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۸۲ و بر اساس آمار به‌هنگام شده

تا پایان سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ به رقم ۱۰۶۵ میلیون مترمکعب رسیده و ارقام تخلیه از قنات‌ها نیز به ترتیب ۱۲۰، ۸۶، ۷۲ و ۴۲/۷ مترمکعب می‌باشد. لازم به ذکر است که رواناب، تأمین کننده بخش قابل توجهی از نیازها، به ویژه در بخش کشاورزی می‌باشد. میزان بهره‌برداری از رواناب در حوضه آبگیر قره-سو و گرگانرود حدود ۵۲۹ میلیون مترمکعب در سال بوده و مصرف از منابع زیرزمینی (چاه، چشمه و قنات) بیش از ۱۱۸۷ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. به عبارت دیگر حدود ۶۹ درصد از نیازها از طریق منابع آب زیرزمینی و حدود ۳۱ درصد بقیه از آب‌های سطحی تأمین می‌شود (جدول ۱-۲). تعداد لایه‌های آبدار در دشت گرگان، در نواحی مختلف، متفاوت بوده به نحوی‌که در بخش‌های مرکزی ۶ تا ۸ لایه تحت فشار و در برخی موارد تا ۱۰ لایه آبدار تا عمق ۵۷۰ متری گزارش گردیده است. ضخامت آبخوان آبرفتی در نواحی مخروط افکنه‌ای زیاد و به سمت شمال از میزان آن کاسته می‌گردد. حداکثر ضخامت به میزان بیش از ۲۵۰ متر در بخش مرکزی و مخروط افکنه‌ای و حداقل آن در حاشیه شمالی و شمال غربی در حدود کمتر از ۱۰ متر است و ضخامت متوسط آبخوان آبرفتی دشت گرگان، حدود ۱۰۰ متر می‌باشد.

جدول ۱-۳- تعداد و تخلیه منابع آب زیرزمینی در آبخوان های آبرفتی دشت گرگان (مهندسین مشاور کنکاش عمران ۱۳۸۷)

نوع آبخوان	چاه		قنات		چشمه		تخلیه کل سالانه (Mm^3)
	تعداد	تخلیه (Mm^3)	تعداد	تخلیه (Mm^3)	تعداد	تخلیه (Mm^3)	
آزاد	۱۷۶۲۸	۴۶۶/۴۰	۱۵۵	۴۲/۳۴	۴۷	۵/۰۶	۵۱۳/۸۰
تحت‌فشار	۵۳۹۱	۵۷۶/۲۹	-	-	-	-	۵۷۶/۲۹۸

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشینیان در خصوص افت سطح آب زیرزمینی

۲-۱- مقدمه

رشد سریع جمعیت جهان و توسعه کشاورزی در دهه‌های گذشته و جوابگو نبودن میزان آب‌های سطحی به نیازهای بشر منجر به افزایش روند پمپاژ آبهای زیرزمینی و در نتیجه افت سطح آب سفره‌ها شده است (شاهی‌دشت و عباس‌پور ۱۳۸۹). همین مسأله موجب کاهش میزان آب در مناطق مختلف به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان شده و بحران‌هایی را به وجود آورده است (قاسمیه و بخردی‌پور ۱۳۸۹). تهی شدن سفره‌های آب زیرزمینی و پیامدهای آن از جمله افزایش هزینه‌های استحصال آب، فرونشست زمین و کاهش کیفیت آب، امروزه به یک مشکل جهانی تبدیل شده و در مناطق مختلف دنیا از جمله آمریکا، ایتالیا، ژاپن، انگلستان، چین، تایلند، تایوان و مکزیک مشاهده شده است (Kaiser and skiller 2003). ایران نیز ازجمله کشورهایی است که به دلیل کمبود منابع آب سطحی، بیشترین آب مصرفی در کشاورزی را از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌کند. بنابراین کمبود منابع آب زیرزمینی یکی از بحران‌های زیست محیطی حال حاضر درکشور محسوب می‌شود، به طوری که بیش از ۲۵ درصد سفره‌های آب زیرزمینی کشور به دلیل برداشت بیش از حد در شرایط بحرانی قرار دارند (عباس‌پور و عنایی ۱۳۸۰). عواقب افت سطح آبهای زیرزمینی می‌توان به باعث نشست زمین، کاهش دبی چاه‌ها و پیشروی آب شور به سمت ساحل اشاره نمود (فلاح و همکاران ۱۳۹۱). در ادامه به مطالعاتی که در این زمینه صورت گرفته است، پرداخته می‌شود.

۲-۲- افت سطح آب

برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی باعث افت شدید سطح آب می‌شود که این امر به نوبه خود باعث کاهش دبی سراب و در نهایت، با ادامه این روند، خشک شدن آنها می‌شود (کرمی و همکاران ۱۳۹۲). آمار ارائه شده در منابع جهانی، روند شدید افت سالانه آب زیرزمینی را نشان می-دهد. به طورکلی عواملی از قبیل کاهش نزولات جوی و خشکسالی، افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری غیرمجاز و نبود کافی منابع آب‌های سطحی باعث پائین افتادن سطح آب می‌شود که در این بین، برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی، نقش اصلی را در ایجاد این مشکل دارد. با توجه به نقش حیاتی آب در زندگی روزمره مردم و افزایش بحران آب بررسی‌های زیادی در این مورد صورت گرفته است که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

کتیبه و حافظی (۱۳۸۳) میزان افت آب را در دشت بم در سال ۱۳۶۴ نسبت به سال ۱۳۵۲ را حدود ۱۰ متر بیان کرده‌اند. این مقدار افت به دلیل بهره‌برداری زیاد از آبخوان ادامه داشته و در سال ۱۳۸۳ به ۱۸ متر رسیده است. دانائیان و دهقانی (۱۳۸۴) افت در دشت اردکان یزد را تأثیر برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی و افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری دانسته‌اند و میزان آن را ۴۲ متر در طی ۵۰ سال گذشته اعلام کردند. رزاق‌منش و همکاران (۱۳۸۵) دشت تبریز را از نظر کمی و کیفی بررسی کردند و پیش-بینی نمودند در طولانی مدت سطح آب در این دشت ۵ متر افت خواهد داشت. بابکی و خالقی (۱۳۸۶) طی مطالعات خود پیرامون اثرات توسعه بر سفره‌های آب زیرزمینی در شهرستان کرمان، دریافتند که سطح آب زیرزمینی در این شهرستان افت داشته و میزان آن را یک متر در سال بیان کردند.

رضایی و سرگزی (۱۳۸۶) برداشت بیش از حد مجاز از آبخوان آبرفتی دشت گوهرکوه در جنوب باختر زاهدان را دلیل کاهش تراز آب زیرزمینی دانستند. آنها در بررسی‌های خود بیان کردند که روند کلی هیدروگراف واحد دشت نزولی بوده و سطح آب زیرزمینی در آبخوان دشت گوهرکوه از خرداد ماه ۱۳۸۱ تا تیر ماه ۱۳۸۵ به میزان ۱/۶۳ متر افت داشته است. غفوری و همکاران (۱۳۸۷) افت سطح آب

زیرزمینی و تأثیر آن بر کیفیت آب زیرزمینی را در دشت فریمان- تربت جام را مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که برداشت زیاد از این آبخوان و عدم تغذیه آن باعث فشار بر آبخوان فریمان- تربت جام و در نتیجه افت زیاد سطح آب در این دشت شده است. سطح آب در این دشت طی سال‌های ۶۶ تا ۸۵، حدود ۳۴/۷ متر افت نموده است.

لشگری‌پور و همکاران (۱۳۸۷) طی مطالعات خود در دشت کاشمر به این نتیجه رسیدند که در اثر برداشت بیش از حد، سطح آب سالیانه چیزی حدود ۰/۸ متر افت خواهد داشت. حسامی (۱۳۸۷) در بررسی‌های خود در دشت قروه- دهگلان، سهولت استخراج آب زیرزمینی در این دشت را عامل افت سطح آب بیان کرد به طوری که میزان افت در بعضی از قسمت‌های این دشت به ۱۵ متر می‌رسد.

برداشت سالانه حدود ۲۵۰ میلیون مترمکعب از منابع آب دشت شهرکرد موجب افت شدید سطح ایستابی به ویژه بعد از سال ۱۳۷۲ شده است. در حد فاصل بین سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۳، سطح ایستابی بیش از ۱۳ متر نزول داشته و در زمره آبخوان‌های ممنوعه قرار گرفته است (لاله‌زاری ۱۳۸۷).

کریمی (۱۳۸۸) با بررسی افت سطح آب در دشت مهران بیان کرد سطح آب در این دشت به طور متوسط با افت ۶۵ سانتی‌متری مواجه بوده است و این روند با توجه به برداشت‌های بی‌رویه ادامه خواهد داشت. عطایی‌زاده (۱۳۸۸) در تحقیقات خود در دشت میداوود در شمال شرق خوزستان، میزان افت را حدود ۲ تا ۳ متر در سال تعیین کرد. ملکی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۸) روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی در دشت یزد- اردکان را بررسی کردند. نتایج بررسی تغییرات سطح آب در ۴ دهه اخیر حاکی از روند نزولی آن بوده و متوسط افت سطح ایستابی ۰/۵ متر در سال می‌باشد. کرمی (۱۳۸۸) با تحلیل هیدروگراف واحد دشت تبریز و سایر مطالعات میزان افت در این دشت را طی دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۸۳، ۳/۹۴ متر بیان کرد. زارع (۱۳۸۹) میزان افت در آبخوان رستاق در جنوب میبد که بخشی از دشت یزد- اردکان می‌باشد را طی بیست سال گذشته ۱۵/۴ متر دانسته‌اند. قنبرزاده و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعات خود در دشت مشهد اذعان داشتند که سطح آب از سال ۱۹۶۰ تا به حال ۶۵ متر

افت داشته است. متوسط افت از ۱/۴۷ متر تا ۳ متر متغیر بوده است. داوری و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی روند تغییرات سطح ایستابی طی ۵ سال در دشت نیشابور، میزان افت آب در این دشت را ۴ متر بیان کردند و علت اصلی آن را کاهش نزولات جوی در این سال‌ها دانسته‌اند. نخعی و همکاران (۱۳۸۹) افت سطح آب زیرزمینی دشت کوهدشت را با داده‌های مربوط به سطح آب در یک بازه زمانی ۲۵ ساله (۶۳- ۸۸) مورد مطالعه قرار دادند. طبق بررسی‌ها سطح آب در سفره به طور تقریبی ۵ متر افت داشته است که مناطق جنوبی و جنوب غربی به دلیل وجود چاه‌های بهره‌برداری بیشتر، حداکثر افت را نشان می‌دادند.

ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۹) دو آبخوان ساوه و اراک را به منظور بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در شرایط متفاوت اقلیمی انتخاب کرده و مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که متوسط افت سطح آب زیرزمینی در طی ۷ سال در ۵۷ حلقه چاه محدودهٔ دشت اراک برابر با ۳/۳۸ متر و در ٦٣ حلقه چاه مورد مطالعه در آبخوان ساوه برابر ۱۰/۱۹ متر بوده است. همچنین افت متوسط سالانه سطح آب زیرزمینی در منطقهٔ ساوه قبل از بهره‌برداری از سد ساوه برای دورهٔ ۱۳۶۶- ۱۳۷۳ برابر ۰/۹۸ متر و در سال‌های بعد از بهره‌برداری، ۱۳۴۷- ۱۳۸۷ معادل ۱/۴۷ بدست آمد. تندیسه و همکاران (۱۳۹۰) خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت مشهد، طی یک دوره ۱۵ ساله (۱۳۹۰- ۱۳۷۵) را مورد بررسی قرار دادند. برای این کار از اطلاعات چاه‌های اکتشافی و نیز داده‌های بلندمدت ۴۳ حلقه چاه استفاده کردند و به کمک آن به رسم نقشه‌های هم‌پتانسیل و هم‌افت و همچنین هیدروگراف معرف دشت پرداختند. مطالعات نشان داد که سطح آب زیرزمینی در بخش جنوبی دشت مشهد پائین است که بیانگر بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی می‌باشد. بررسی هیدروگراف واحد دشت نیز نشان می‌دهد که میزان افت در مجموع ۱۵ سال، ۱۲/۵۶ متر و سالیانه ۰/۸۳ متر می‌باشد. جاویدی و همکاران (۱۳۹۰) با ارزیابی نوسانات سطح ایستابی در ۱۶ حلقه چاه بهره‌برداری به بررسی افت سطح ایستابی دشت سعادت‌شهر در یک دوره ۱۳ ساله پرداختند. با توجه به این بررسی‌ها

سطح ایستابی در تمام نقاط دشت افت قابل توجهی داشته است. میزان این افت در نقاط مختلف دشت متفاوت بوده است و از ۱۸ متر در مرکز دشت تا ۴ متر در نقاط غربی دشت متغیر است. این تفاوت به دلیل برداشت متفاوت در نقاط مختلف دشت و همچنین برداشت از آبهای سطحی در بخش غربی می-باشد.

دشت شهرکرد که کشاورزی در آن گسترش قابل توجهی دارد، در سال‌های اخیر با کاهش بارندگی و به ویژه پمپاژ بی‌رویه دچار افت سطح ایستابی شده است. به طوری که بررسی‌ها بر روی نوسانات سطح ایستابی ۱۹ پیزومتر در یک دوره ۱۰ ساله بیانگر افت سطح ایستابی در بیشتر نقاط دشت بوده است. میزان این افت در نقاط مختلف دشت متفاوت و از ۱/۵ متر تا ۹/۷ متر در قسمت‌های مرکزی، غربی و جنوبی دشت متغیر می‌باشد (درویش‌پور و همکاران ۱۳۹۰).

فلاح و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی پایداری منابع آب زیرزمینی دشت داراب فارس، میانگین افت در طی ۱۸ سال گذشته را برابر ۲۷ متر اعلام کردند. مداح و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعات خود بر روی دشت مشهد، میزان افت سطح آب را ۶۰ متر در طی ۴۰ سال اخیر بیان کردند که سبب شده که این دشت جزو دشت‌های بحرانی قلمداد شود. رضایی و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقات خود بر روی دشت ارومیه دریافتند که افزایش ۲۵ و ۵۰ درصدی پمپاژ از چاه‌ها به ترتیب موجب افت سطح آب زیرزمینی به طور متوسط به مقدار ۱ و ۳/۵ متر شد. کرمی و همکاران (۱۳۹۲) با ارزیابی ۳۱ چاه پیزومتری در اطراف تالاب هشتیان در شمال غرب کرمانشاه در یک دوره ده ساله (۱۳۹۲- ۱۳۸۲)، بیان کردند که افت قابل ملاحظه‌ای در اطراف تالاب مشاهده می‌شود که علت آن را می‌توان خشکسالی سال‌های اخیر و بهره‌برداری بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی دانست. این روند افت را پیزومترهای موجود هم نشان می‌دهند، به طوری که برخی پیزومترها در زمان خشکسالی، کاملا خشک شده‌اند. مسموعی و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت هرات که با اقلیم نیمه‌خشک یکی از دشت‌هایی است که با افزایش برداشت چشمگیر آب زیرزمینی در سال‌های اخیر بوده است، به این

نتیجه رسیدند که سطح آب در این دشت در طول ۲۳ سال، ۱۲/۵۰ متر افت داشته است. یکی از مهمترین عوامل افت در دشت هرات افزایش برداشت به مقدار ۲۲ میلیون متر مکعب از سال ۱۳۸۲ به بعد بوده است.

افت سطح آب دارای اثرات مخربی از قبیل فرونشست زمین، نفوذ آب شور به درون سفره‌های آب شیرین، تخریب جدار چاه و کاهش آبدهی چاه‌ها و... می‌باشد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

۲-۲-۱- فرونشست زمین در اثر افت سطح آب

یکی از مشکلات مهم در ارتباط با افت سطح آب در سفره‌های زیرزمینی، متراکم شدن لایه‌ها و رسوبات سفره است. تراکم سفره بر خصوصیات هیدرودینامیکی سفره تأثیر گذاشته و باعث کاهش نفوذپذیری و افت ضریب ذخیره آن خواهد شد. این پدیده علاوه بر ناپایداری زمین موجب کاهش دائمی حجم مخزن سفره و به هم خوردن تعادل طبیعی آن می‌گردد. در این صورت سفره آب زیرزمینی از حالت پویا و دینامیک خارج شده و جزو دشت‌های بحرانی قرار می‌گیرد. چنین دشت‌هایی مستعدترین مناطق برای وقوع پدیده فرونشست منطقه‌ای سطح زمین می باشند (لشگری‌پور و همکاران ۱۳۸۶).

مقدار فرونشست زمین برای هر متر افت سطح آب زیرزمینی معمولاً بین ۱ تا ۵۰ سانتی‌متر متغیر است (Lofgern 1969). فرونشست زمین به طور معمول بلافاصله با خروج سیال رخ نمی‌دهد بلکه در زمانی طولانی‌تر از برداشت اتفاق می‌افتد (Scott 1979). مهمترین علت فرونشست منطقه‌ای سطح زمین در حوضه‌های رسوبی مناطق خشک و نیمه خشک، تراکم سفره‌های آب زیرزمینی در اثر پمپاژ بی‌رویه از این منابع است (Pacheco *et al.* 2006). این وضعیت به ویژه در جایی که پمپاژ بی‌رویه از سفره‌های آبدار ماسه‌ای متخلخل که به صورت بین لایه‌ای با لایه‌های آبدار رسی نفوذناپذیر قرار دارد بسیار حاد بوده و موجب فرونشست گسترده می‌شود (Liu *et al. 2006*).

در مناطق مختلفی از ایران، پدیده فرونشست زمین با درجات مختلف در حال بروز می‌باشد. بر اساس مطالعات صورت گرفته، حدود ۳۰۰ دشت اصلی کشور با پدیده فرونشست روبرو می‌باشند (بهادران ۱۳۷۱). مطالعات مربوط به طور خاص، در مناطقی صورت گرفته که آثار و شواهد این پدیده بر چهره زمین ظاهر شده و دامنه بحران بسیار اساسی است (گزارش سازمان زمین‌شناسی ۱۳۸۳) که از آن می-توان به موارد زیر اشاره کرد:

دشت مهیار شمالی اصفهان در اثر برداشت از منابع آب‌های زیر زیرزمینی دچار افت شدید سطح ایستابی شده و شکاف‌هایی در سطح زمین ظاهر شده است (بهادران ۱۳۷۱). امیری (۱۳۸۴)، در مطالعات خود بیان کرد دشت کبودر آهنگ و فامنین در استان همدان که تاکنون بیش از ۲۱ فروچاله در نزدیکی نیروگاه ۱۰۰۰ مگاواتی شهید مفتح همدان تشخیص داده شده و احتمال آسیب به تأسیسات زیربنایی این نیروگاه وجود دارد دچار فرونشست شده است. شایان ذکر است که در این منطقه سطح آب زیرزمینی بین ۳۰ تا ۵۰ متر افت نموده است. پاکروان (۱۳۸۴)، بیان کرد که دشت نظرآباد در استان تهران که بعضی از آثار فرونشست به صورت رشد لوله چاه‌ها از سطح زمین و ماسه‌دهی چاه‌ها مشاهده گردیده است، به میزان حدود ۱/۵ متر در ۹ سال گذشته نشست نموده که شامل محدوده بزرگراه آزادگان و سه راه آذری به سمت جنوب می‌باشد. متوسط سالیانه افت سطح آبخوان تهران حدود ۳۹ سانتی متر است.

دشت رفسنجان، مشهد و کرمان، از جمله دشت‌هایی هستند که بسیاری از آثار پدیده فرونشست در آن مشخص شده است. برابر آخرین مطالعات انجام شده، دشت مشهد با نرخ بیش از ۲۰ سانتی‌متر در سال در حال فرونشست می‌باشد. متوسط افت سطح آب در منطقه رفسنجان در فاصله سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۷۱ حدود ۱۲ متر و در سیرجان حدود ۸ متر و در کرمان حدود ۱۵ متر بوده است. سطح زمین در حال حاضر در مناطق کرمان، زرند، رفسنجان و سیرجان نشست می‌کند و بدیهی است که در آینده با توجه به افت مداوم سطح آب، نشست زمین با آهنگ به مراتب سریعتری صورت خواهد گرفت

(طباطبائی ۱۳۸۵). غفوری و همکاران (۱۳۸۶) رابطه بین افت سطح آب‌های زیرزمینی و نشست زمین در دشت نیشابور را مورد بررسی قرار دادند. هیدروگراف واحد دشت نشان‌دهنده افت سطح آب در این دشت بود اما مشاهدات میدانی و نتایج حاصل از حفاری‌ها در این تحقیق نشان می‌داد که افت ایجاد شده در آبخوان دشت بیش از هیدروگراف واحد گزارش شده برای این دشت می‌باشد. در نقاطی از دشت که افت بیشتر وجود داشته نشست زمین نیز گزارش گردیده است. نتایج حاصل از ایستگاه GPS نصب شده در دشت هم نشان‌دهنده افت ۲۳ سانتی‌متری سطح آب از خرداد ماه ۱۳۸۴ (زمان نصب این ایستگاه) تا پایان شهریور ۱۳۸۶ می‌باشد. افت سطح آب‌های زیرزمینی سبب کاهش فشار هیدرواستاتیک و خروج آب از خاک و تحکیم و کاهش حجم آن‌ها و در نهایت نشست زمین شده است. لشگری‌پور و همکاران (۱۳۸۶) افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت مشهد را بررسی نمودند. در این تحقیق دریافتند که در محدوده روستای حسن‌خوردو در شمال غربی این دشت افت زیاد سطح آب‌های زیرزمینی به میزان بیش از ۳۰ متر در طول ۲۴ سال آمار برداری، سبب نشست زمین در این محدوده گردیده است. لشگری‌پور و همکاران (۱۳۸۷) با بررسی علل تشکیل شکاف‌ها و فرونشست زمین در غرب دشت کاشمر به این نتیجه رسیدند که ایجاد شکاف‌های کششی طولی در غرب دشت کاشمر در رابطه با نشست‌های ناهمگن سطح زمین در نتیجه افت سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش فشار هیدرواستاتیک در محیطی است که دارای تغییر رخساره از رسوبات درشت‌تر به دانه ریزتر است.

فتونت‌اسکندری و کرمی (۱۳۸۸) به پیش‌بینی فرونشست دشت شهریار با استفاده از نرم‌افزار PMWIN پرداختند و بیان کردند که دشت شهریار (واقع در جنوب غرب دشت تهران) تحت تأثیر پدیده فرونشست قرار گرفته است. چاه‌های حفر شده در منطقه مورد مطالعه و آمار موجود نیز بیانگر بهره‌برداری بی‌رویه از آب زیرزمینی منطقه می‌باشد. در مرحله صحت‌سنجی، با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ مدل اجرا و نتایج حاصل از آن با شرایط حاکم بر آبخوان مقایسه شد.

پس از آن، میزان فرونشست زمین برای سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ توسط مدل پیش‌بینی گردید. نتایج حاکی از آن است که با فرض ثابت ماندن شرایط آب و هوایی منطقه و بهره‌برداری از چاه‌ها، فرونشست زمین روندی صعودی خواهد داشت. یمانی و همکاران (۱۳۸۸) ارتباط فرونشست نشست زمین با افت سطح آب زیرزمینی را به طور موردی در دشت قره‌بلاغ استان فارس مطالعه نمودند. با تجزیه و تحلیل داده-های حاصل از هیدروگراف واحد دشت و نیز تغییرات بوجود آمده در حجم ذخیره‌های آبی آبخوان و همچنین مشاهدات میدانی به این نتیجه رسیدند که تراز سطح آب زیرزمینی در طی دوره مورد مطالعه به میزان ۲۸/۶ متر و سالانه ۲/۳۸ متر، افت داشته است که این رقم تا حد قابل اطمینانی با میزان فرونشست مشاهده شده همبستگی دارد به طور کلی می‌توان بیان کرد که اراضی دشت قره‌بلاغ به طور متوسط سالانه حدود ۱۱/۸ سانتی‌متر به ازای ۲۶۰ سانتی‌متر افت سطح آب زیرزمینی دچار نشست می‌گردد. مرندی و واعظی (۱۳۸۸) به صورت موردی به تأثیر برداشت‌های بی‌رویه از آب زیر سطحی در فرونشست زمین در کرمان پرداختند و به این نتیجه رسیدند در قسمت‌هایی که برداشت آب زیرزمینی بیشتر بوده، فرونشست شدت بیشتری داشته و به بیش از ۱۰ سانتی متر در سال می‌رسد.

سلیمانی و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی منابع آبی در دشت رفسنجان به این نتیجه رسیدند که در این دشت به ازای هر ۱۰ متر افت سطح آب، زمین حدود ۴۲ سانتی‌متر نشست می‌نماید. زارع (۱۳۸۹) با بررسی پدیده نشست در منطقه رستاق در جنوب میبد به این نتیجه رسید که سطح آب طی بیست سال گذشته، ۱۵/۴ متر افت داشته که باعث شده است که سطح زمین در این محدوده بین ۵۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر فرونشست کند. قنبرزاده و همکاران (۱۳۸۹) عوامل مؤثر بر فرونشست در دشت مشهد را بررسی نمود. آن‌ها با استفاده از آنالیز نقشه هم افت سطح آب زیرزمینی و منحنی‌های تراز سطح ایستابی در دشت، عامل اصلی فرونشست را بهره‌برداری بی‌رویه از آب زیرزمینی بیان کردند به طوری‌که سطح آب در ۵۰ سال گذشته بیش از ۶۵ متر افت داشته است که باعث نشست رسوبات و کاهش تخلخل آن‌ها شده است.

علاوه بر مطالعات فوق، گزارشات متعددی از فرونشست در سراسر جهان ارائه گردیده است که از آن به موارد زیر می‌توان اشاره کرد: شهر لس بانوس– کتلمن (Los Banos Kettleman City) در دره سن ژوآکوین (San Joaquin Valley) در کالیفرنیای آمریکا قرار دارد. این منطقه از مهمترین مناطق کشاورزی جهان به حساب می‌آید. نشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی خسارات زیادی را به این منطقه وارد نموده است. به طوری که حتی در یک نقطه مقدار نشست ۸/۸ متر تا سال ۱۹۶۹ گزارش گردیده است (Poland 1981). شهر ونیز ایتالیا در فاصله سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۷۳ حدود ۱۵ سانتی‌متر، فرونشست داشته است (Gambolati *et al.* 1964). نشست در بخش‌هایی از مکزیکوسیتی با سرعت یک میلی‌متر در سال گزارش شده است (Carillo 2003). همچنین نشست زمین در شمال ایتالیا که در قسمت شرقی مرکز دشت پو (*Po*) بوده است. در این دشت بر اثر افت سطح آب زیرزمینی با نرخی حدود صفر تا ۷ سانتی‌متر در سال رخ می‌دهد (Carminati and Martinelli 2003).

چای و همکاران (Chay *et al.* 2004)، ارتباط بین فرونشست و افت سطح آب را بررسی کردند. برای این کار شهر شانگهای که بر روی رسوبات رودخانه یانگ‌تسه قرار گرفته است را انتخاب کردند. در نهایت به این نتیجه رسیدند که پمپاژ بیش از حد از آب زیرزمینی، باعث فشردگی رسوبات کواترنری و در نتیجه نشست زمین به میزان ۲ تا ۳ متر در شانگهای چین شده است.

در شهر بانکوک در تایلند نشست زمین به دلیل پمپاژ آب در ۳۵ سال گذشته رخ داده است که حداکثر نشست سالانه ۱۲۰ میلی‌متر و در اوایل دهه ۱۹۸۰ گزارش گردیده است (Phien-wej *et al.* 2006).

یه شانگ سو و همکاران (Ye-Shuang Xu *et al.* 2007) به منظور بررسی ارتباط فرونشست با افت سطح آب سه دشت را انتخاب کردند. نتایج نشان داد که میزان فرونشست در دشت وابسته به دلتای رودخانه یانگ‌تسه (Yangtse River) در منطقه شانگهای (Shanghai) معادل ۲/۹ متر، در دشت شمال چین در منطقه تیانجین (Tianjin) معادل۳/۹ متر و در دشت فنوی (Fenewi plain) واقع در منطقه تیااوان (Taiyuan) معادل ۳/۷ متر بود. اثرات فرونشست زمین ناشی از پائین افتادن سطح آب

در دشتی واقع در شهر پکن مشاهده شده است که طبق محاسبات صورت گرفته حداکثر نرخ فرونشست اندازه‌گیری شده در آن، حدود ۶ سانتی‌متر در سال می‌باشد (Zhang *et al.* 2012).

۲-۲-۲- شور شدن آب زیرزمینی در اثر افت سطح آب

منابع آب زیرزمینی در معرض بهره‌برداری بیش از حد هستند که ممکن است برای مناطق ساحلی و در جائیکه بین آب شیرین زیرزمینی و آب شور دریا ارتباط هیدرولیکی وجود دارد، ایجاد مشکل اساسی بکند (Dam 1996). پیشروی آب شور یک معضل جهانی است که به وسیله افزایش بهره‌برداری آب شیرین در مناطق ساحلی تشدید می‌شود و باعث هجوم آب دریا به سمت آبخوان‌های ساحلی می‌شود. هجوم آب شور به سمت آبخوان‌های ساحلی می‌تواند ناشی از پمپاژ بی‌رویه از چاه‌های آب، بالا آمدن آب دریا، تغییر کاربری اراضی و تغییرات آب و هوایی باشد (Werner *et al 2012*). یکی از پیامدهای ناشی از اضافه برداشت آب زیرزمینی شور شدن تدریجی آب و پیشروی جبهه آب شور به طرف آب شیرین در مناطق ساحلی و کویری می‌باشد.

حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و رواج یافتن آن‌ها در کشور طی دهه‌های اخیر و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی باعث نفوذ آب شور به داخل سفره‌های آب شیرین در بسیاری از مناطق شده است (کردوانی ۱۳۷۴). در مناطق ساحلی آبخوان آب شیرین بر روی آبخوان آب شور قرار دارد. بهره‌برداری بیش از حد مجاز از آبخوان‌های آب شیرین سبب کاهش فشار آب شیرین بر آب شور گشته و در نتیجه آب شور پیشروی نموده و سبب شور شدن آب زیرزمینی می‌شود (شمسایی ۱۳۸۱). به دلیل برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی تغییراتی در سیستم طبیعی جریان آب‌های زیرزمینی ایجاد می‌شود که این امر در آبخوان‌های ساحلی باعث نفوذ آب شور به درون آبخوان‌های آب شیرین ساحلی می‌شود (محمدی ۱۳۸۸). بررسی‌های انجام شده توسط کردرستمی (۱۳۷۲) بر روی پیشروی آب شور دریا به آبخوان ساحلی دشت نکا- ساری نشان می‌دهد که پیشروی آب شور به آبخوان ساحلی زمانی رخ می‌دهد که

سطح آب زیرزمینی به دلایلی پایین بیافتد و در نتیجه ذخیره آبی آبخوان ساحلی کاهش یافته و سطح آب دریا افزایش پیدا می‌کند که سبب نفوذ آب شور به آبخوان ساحلی می‌شود. ایزدی (۱۳۷۴) برداشت زیاد از چاه‌های اطراف دریاچه پریشان باعث حرکت آب دریاچه به سمت این چاه‌ها می‌شود که در آلوده کردن آب زیرزمینی و شور شدن آن‌ها مؤثر است. روند منحنی EC به وضوح نشان می‌دهد که میزان شوری آب در چاه‌های اطراف دریاچه پریشان افزایش یافته است. کردوانی (۱۳۸۰) بیان کرد که دشت مرکزی اراک در اثر خشکسالی و بهره‌برداری بیش از حد، آب‌های شور وارد آب شیرین شده و آب‌های دشت را با خطر شوری مواجه کرده است. خلیلی‌پور (۱۳۸۱) روند کیفی آب زیرزمینی در حوضه قم را بررسی کرد و به این نتیجه رسید که افت سالیانه سطح آب باعث افزایش هدایت الکتریکی در نتیجه تغییر کیفیت آب (شوری) در منطقه مورد مطالعه شده است.

دانائیان و دهقانی (۱۳۸۴) کاهش کیفیت آب در دشت یزد- اردکان را ناشی از برداشت بی‌رویه آب در این منطقه بیان کردند. کریمیان و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیقات خود در منطقه شمس‌آباد قم به این نتیجه رسیدند که افت سطح آب در این منطقه ناشی از افزایش چاه‌های بهره‌برداری آب برای کشاورزی بوده و میزان آن سالانه یک متر می‌باشد. افت آب در این منطقه باعث شوری آب شده است. شوری اندازه‌گیری شده ۷/۱۹ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد.

ترابی (۱۳۷۸) در بررسی‌های خود بر روی آبخوان دشت کاشان بیان کرد که افت سطح ایستابی در شمال دشت کاشان در طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۷۶ در حدود ۱۶ متر بوده است که در این سال‌ها میزان هدایت الکتریکی (EC) از ۴۳۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر به ۶۹۳۰ میکروموس بر سانتی‌متر رسیده است که علت این امر برداشت بیش از حد مجاز از آب زیرزمینی منطقه می‌باشد.

لشگری‌پور و همکاران (۱۳۸۷) افت سطح آب زیرزمینی و تأثیر آن بر کیفیت آب زیرزمینی در دشت فریمان- تربت جام مطالعه کرد و بیان کرد افت آب باعث کاهش کیفیت آب در قسمت‌های زیادی از دشت شده است. رهنما (۱۳۸۸) در مطالعات خود بر روی دشت سیرجان بیان کرد که با افت سطح

ایستابی این آبخوان و به خاطر نزدیک بودن این آبخوان به دشت نمک، آب شور به آبخوان نفوذ کرده و سبب تغییر کیفیت آب در آن می‌شود. دیانتی و فلاح (۱۳۸۸) در مطالعات خود بیان کردند که حفر چاه‌های متعدد آب و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در بعضی از مناطق ساحلی مازندران منجر به پیشروی آب شور به سمت مناطق ساحلی و نفوذ آب شور به آبخوان‌های آب شیرین شده و همچنین سبب افزایش هدایت الکتریکی آب چاه‌ها در این مناطق شده است. افزایش هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در منطقه ساحلی نه تنها موجب افت کیفیت آب برای شرب بلکه منجر به زیان‌های اقتصادی ناشی از کاهش عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی می‌گردد.

اصغری‌مقدم و همکاران (۱۳۸۹) با مطالعه روی آب‌های زیرزمینی دشت آذرشهر، به این نتیجه رسیدند که به دلیل کاهش نزولات جوی، تغذیه طبیعی آب زیرزمینی کاهش یافته و سطح آب به طور متوسط افت کرده است و همچنین استخراج بی‌رویه از این آب‌ها باعث تنزیل کیفیت آب زیرزمینی و افزایش شوری گشته است به طوری که در بعضی چاه‌ها هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در طی ۱۰ سال گذشته از ۱۰۲۰ به ۱۱۱۰ میکروموس بر سانتی‌متر افزایش یافته است.

کرمی و همکاران (۱۳۸۹) به مطالعه آبخوان ساحلی کردکوی که بر اثر بهره‌برداری‌های بی‌رویه از چاه-های عمیق و نیمه‌عمیق در خطر آلودگی به وسیله آب دریا قرار داشته، پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در صورت عدم کنترل برداشت آب از چاه‌های بهره‌برداری، صدمات جبران ناپذیری به این آبخوان ساحلی وارد می‌گردد. در این تحقیق از روش نمودارهای ترکیبی و رول (Revelle) برای اثبات نفوذ آب شور در آبخوان کردکوی استفاده کردند. نمودارهای ترکیبی رسم شده بین یون‌های اصلی نشان از روندی خطی بین سدیم و کلر دارد، درحالی که بقیه یون‌ها از روند خاصی پیروی نمی‌کردند. این موضوع نشان می‌دهد که اختلاط بین آب شور (حاوی یون‌های سدیم و کلر) و شیرین با نسبت‌های مختلف صورت گرفته است و این آبخوان را در خطر آلودگی با آب شور قرار داده است. جعفری عظیم-آبادی (۱۳۹۰) تغییرات کیفیت شیمیایی آبخوان هرات در استان یزد در یک دوره ۱۹ ساله از سال

۱۳۶۸ تا ۱۳۸۷ را مورد بررسی قرار داد. نتایج این بررسی حاکی از آن بود که در پاسخ به پمپاژ بیش از حد منابع آب زیرزمینی که سبب معکوس شدن گرادیان سطح ایستابی و جهت جریان از سمت مرزهای خروجی به بخش‌های داخلی آبخوان شده است، کیفیت آبخوان در مرز شمال شرقی آن که در مجاورت با جبهه آب‌های شور قرار دارد کاهش یافته است. تطابق نقشه‌های هم‌هدایت الکتریکی و هم‌کلر آبخوان به خوبی تاثیر جبهه آب‌های شور را تایید نموده است. فلاح و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعات خود بر روی کیفیت منابع آبی در دشت داراب فارس به این نتیجه رسیدند که شوری آب زیرزمینی و در نتیجه هدایت الکتریکی آب، سالانه رو به افزایش است. از آنجایی که منابع آب شیرین برای مناطق ساحلی حائز اهمیت است محققان مطالعات زیادی پیرامون این موضوع در سایر نقاط جهان نیز انجام داده‌اند. برای مثال Glover 1959، Fetter 1996، Bear 1979، Croucher 1995، Kim *et al.* 2007.

آبخوان‌های واقع در سواحل جنوبی توسکان در ایتالیا مورد هجوم آب شور قرار گرفتند که اصلی‌ترین علت آن پمپاژ بی‌رویه از چاه‌های آن اطراف بوده است (Pranzini and Bencini 1996). استخراج بیش از حد از آب‌های زیرزمینی در ناحیه‌ای از جنوب کویت باعث افت کمی و کیفی سفره آب زیرزمینی شده است. سطح آب در این سفره ۲۰ متر افت داشته است که با ادامه این روند موجب کاهش شدید کیفیت آب چاه‌های منطقه خواهد شد (Al- senafi and Abraham 2004).

۲-۲-۳- کاهش آبدهی، ماسه دهی و تخریب جدار چاه‌ها در اثر افت سطح آب

مجموعه چاه‌ها (Well feild) شامل تعداد نسبتاً زیادی چاه می‌شود که با فاصله اندک از یکدیگر قرار دارند که به طور معمول با برداشت آب از مجموعه چاه‌ها سبب ایجاد افت می‌شود که افت حاصل شده باعث کاهش ضخامت اشباع در آبخوان مورد برداشت می‌شود. در خصوص وضعیت آبدهی مجموعه چاه-های موجود در یک منطقه کوچک، مهمترین عاملی که می‌تواند بر آبدهی چاه‌ها تأثیر داشته باشد،

پائین افتادن سطح آب زیرزمینی در این مناطق می‌باشد. در خصوص تأثیر متقابل آبدهی چاه‌ها و افت سطح آب زیرزمینی، مطالعات زیادی انجام شده است (Carruth and Pool 2005).

کاهش سطح آب زیرزمینی بیشترین تأثیر را بر روی چاه آب دارد که با افزایش عمق آب، چاه باید آب را از مسافت دورتری از سفره برداشت کند که این امر سبب افزایش هزینه و کاهش آبدهی می‌شود (Galloway 1999). ناحیه توسکن (Tuscon) واقع در آریزونای جنوبی دارای چهار ناحیه مجموعه چاه اصلی می‌باشد که عمق آب در این ناحیه حدود ۲۰۰ فوت بوده است که به خاطر پمپاژ زیاد در منطقه سبب کاهش سطح آب شده است (Carruth and pool 2005). در ناحیه توسکن (Tuscon) از سال ۱۹۴۰ به بعد سطح آب زیرزمینی چند فوت کاهش پیدا کرده که کاهش سطح آب زیرزمینی سبب تحکیم آبخوان دره آورا (Avra) موجود در این ناحیه شده است (Evans and Pool 2000).

تأمین آب از طریق پمپاژ چاه‌ها در بعضی از موارد همراه با ماسه‌دهی صورت می‌گیرد و این نقص باعث ایجاد مشکلاتی اعم از کاهش آبدهی چاه، تخریب چاه، تخریب تأسیسات چاه و کاهش حجم مخزن ذخیره می‌شود. یکی از عوامل مهم در ماسه دهی چاه‌ها، برداشت بیش از حد مجاز از چاه که باعث حرکت آب با سرعت زیاد در لایه‌های خاک شده و آب با سرعت بالا به همراه ماسه به سیستم پمپاژ وارد می‌شود. اصغری‌مقدم و همکاران (۱۳۷۴) در بررسی‌های انجام شده در حوضه تلخه‌رود علت تخریب و ماسه‌دهی چاه‌های آب را پمپاژ بیش از حد، نفوذ آب شور و سایر عوامل معرفی کردند.

یکی دیگر از عواقب برداشت بی‌رویه آب که ناشی از نشست زمین می‌باشد، رشد لوله جدار چاه است. البته این لوله جدار نیست که رشد می‌کند بلکه زمین اطراف چاه است که پائین می‌افتد. نیروی‌های ناشی از نشست همچنین باعث تخریب لوله جدار چاه می‌گردد که این موضوع باعث تحمیل هزینه‌های تعمیر و یا حتی جایگزینی چاه می‌گردد (آل‌خمیس و همکاران ۱۳۸۵).

کرمی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی علل کاهش آبدهی و تخریب چاه‌ها در دشت گرگان پرداختند. آنها بیان کردند که به علت پمپاژ نسبتاً زیاد از این منطقه آبدهی بعضی از چاه‌ها به طور قابل توجهی

کاهش پیدا کرده و بعضی از چاه‌ها تخریب شده‌اند. نتایج حاصله از این تحقیق بیانگر این است که مقدار تأثیر ساختمان چاه بر کاهش آبدهی چاه‌ها از صفر تا ۷۵ درصد متغیر است. مداح و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر نشست بر روی گسیختگی جدار چاه‌های آب در محدوده شهر مشهد را بررسی کردند و بیان کردند افت شدید سطح آب و نشست زمین باعث تخریب سازه‌های زیرزمینی از جمله چاه‌های آب می-شود. بررسی اطلاعات بدست آمده از علل تخریب و از کار افتادگی چاه‌های آب منطقه نشان می‌دهد که در حدود ۵۲ درصد آنها به علت عوامل مرتبط با نشست زمین از جمله انحراف لوله جدار، پارگی لوله جدار و... بوده است.

۲-۳- طرح‌های تغذیه مصنوعی برای جلوگیری از افت سطح آب

تغذیه مصنوعی به عنوان یکی از روش‌های تقویت سفره‌های آب زیرزمینی و حفاظت از منابع آب شناخته می‌شود و با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و واقع شدن در روی کمربند خشک و بیابانی جهان، کمبود آب همواره به عنوان معضلی اساسی در اکثر دشت‌های کشور محسوب می‌شود (کرمی و همکاران ۱۳۸۹). تغذیه مصنوعی فرآیندی برای ذخیره کردن آب در داخل سازندهای نفوذپذیر به منظور استفاده مجدد از آن، با رژیم و یا کیفیتی متفاوت است (حیدرپور ۱۳۶۹). محدودیت شدید دسترسی به منابع آب سطحی سبب افزایش فشار بهره‌برداری بر منابع آب زیرزمینی شده است. به همین لحاظ تقویت منابع آب زیرزمینی به کمک منابع سطحی یا تغذیه مصنوعی، یکی از راه‌های جبران این فشار محسوب می‌شود (مهدوی ۱۳۸۸). تغذیه مصنوعی یکی از روش‌های تقویت سفره‌های آب زیرزمینی است که با استفاده از روش‌های مختلف نظیر پخش سیلاب، حوضچه‌های تغذیه، چاه‌های تغذیه، چاله و گودال‌های تغذیه، تغذیه واداری، سدهای زیرزمینی و... صورت می‌گیرد (Asano 1985). تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی زمانی اهمیت می‌یابد که خروجی سفره آب زیرزمینی بیشتر از ورودی‌های آن باشد که به مرور زمان باعث خشک شدن آن خواهد شد. از طرفی در اقلیم‌های خشک و موسمی

معمولاً بارش‌های سیل‌آسایی رخ می‌دهند که گاهی اوقات باعث تخریب شده و آب‌های جاری آن به هدر می‌روند. سیل‌بندها که برای جلوگیری از این پدیده مخرب استفاده می‌شوند می‌توانند وسیله‌ای برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی باشند (Bour and Rice 1976).

آشتیانی‌مقدم و همکاران (۱۳۸۲) مدل تغذیه مصنوعی دشت ناز ساری را به منظور جلوگیری از پیشروی آب شور تهیه کردند و به این نتیجه رسیدند که با این میزان بهره‌برداری تا ۵ سال آینده سطح آب در دشت به میزان ۴/۷ متر افت خواهد داشت که خطر پیشروی آب شور به آب شیرین وجود دارد اما با ایجاد این طرح سطح آب نه تنها افت نخواهد داشت بلکه به حدود یک متر افزایش نیز می‌یابد. ساروی و همکاران (۱۳۸۲) اجرای طرح بر روی دشت گاوبندی را به روش حوضچه مصنوعی مورد مطالعه قرار دادند و بیان کردند که فقط ۱۲ درصد این دشت امکان اجرای این طرح وجود دارد. آنها عمده‌ترین مشکل برای اجرای این طرح را نفوذ آب شور به آب زیرزمینی دانستند. کتیبه و حافظی (۱۳۸۳) تغذیه مصنوعی را برای مدیریت منابع آبی در دشت بم ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که به دلیل بهره‌برداری بالا و افت زیاد سطح آب در دشت، علیرغم شروع به کار طرح تغذیه مصنوعی از سال ۱۳۷۵، افت همچنان ادامه داشته است و این طرح با وجود کاهش دادن افت سطح آب قادر به توقف افت در آبخوان نبوده است. فاتحی‌مرج (۱۳۸۶) تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی دشت گربایگان فسا را ارزیابی کرد و نتیجه این شد که با انجام پخش سیلاب، سطح ایستابی در حدود ۳ متر در نزدیکی منطقه پخش سیلاب بالا آمده است ولی به دلیل بهره‌برداری بیش از اندازه از آبخوان در محدوده برداشت سطح آب پائین رفته است.

رضایی و سرگزی (۱۳۸۸)، تأثیر اجرای طرح تغذیه مصنوعی بر آبخوان دشت گوهرکوه را بررسی نمودند. آنها در این تحقیق دو حالت اجرای طرح "با و بدون تأمین آب تغذیه از سد در حال ساخت گوهرکوه" را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که واکنش آبخوان در برابر اعمال تغذیه مصنوعی مثبت است و تغذیه مصنوعی اثر مخربی روی آبخوان ندارد. وقارفرد و پورجنایی (۱۳۹۰) در مطالعات خود تأثیرات کمی

تغذیه مصنوعی بر سفره آب زیرزمینی را به طور موردی در دشت سرزه رضوان واقع در استان هرمزگان بررسی کردند و بیان کردند در سال ۱۳۷۸ به منظور جلوگیری از افت شدید سطح آب آبخوان، اقدام به یک طرح تغذیه مصنوعی از نوع پخش سیلاب در آن گردیده است. نتایج حاصل از این مرحله نشان داد که تغذیه مصنوعی دشت سرزه رضوان باعث افزوده شدن سالانه ۶۰۹ هزار مترمکعب آب طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۷ گردیده است. به طور متوسط سالیانه باعث افزایش سطح تراز آب آبخوان به میزان ۰/۱۲ متر در این دوره زمانی گردید. این تمام افت آب را جبران نکرده ولی تأثیر مثبتی روی تراز آب زیرزمینی داشته است. کرمی و قوردویی‌میلان (۱۳۹۲)، برای رفع مشکل پایین افتادن سطح آب زیرزمینی در آبخوان دشت خوی که به دلیل استحصال بی‌رویه ازچاه‌های منطقه در طول سالیان طولانی افت داشته است، به ارزیابی اثرات کمی طرح تغذیه مصنوعی خوی که درسال ۱۳۷۸ احداث گردیده، پرداختند. این طرح از نوع حوضچه‌ای، که شامل هفت حوضچه نفوذ و دو حوضچه رسوب‌گیر است، می‌باشد. تغییرات شیب افت سطح آب زیرزمینی در محدوده پیزومترهای واقع در پایین دست شبکه تغذیه مصنوعی خوی بیانگر این است که در تمامی این پیزومترها (به ویژه پیزومترهایی که در خط القعر دشت واقع شده‌اند) شیب افت سطح آب زیرزمینی بعد از آبگیری عمده طرح تغذیه مصنوعی به طور محسوسی کاهش پیدا کرده است. به این معنی که افت سالانه سطح آب زیرزمینی در سال‌های پس از آبگیری عمده طرح به طور قابل توجهی نسبت به سال‌های قبل آن کمتر شده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که طرح تغذیه مصنوعی خوی به طور قابل توجهی بر کمیت آبهای زیرزمینی آبخوان پایین‌دست خود تاثیر مثبتی گذاشته است.

فصل سوم: روش انجام کار

در این فصل به بیان روش و مراحل بررسی تغییرات کمی سطح آب زیرزمینی در دشت گرگان پرداخته می‌شود. به طور کلی فعالیت‌های صورت گرفته برای انجام این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

- ✓ جمع‌آوری آمار و اطلاعات هواشناسی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و داده‌های سطح آب زیرزمینی مربوط به پیزومترها جهت پایش وضعیت سفره‌ی آب زیرزمینی در دشت گرگان.
- ✓ تکمیل و تصحیح داده‌ها و انتخاب دوره‌ی ۳۰ ساله (۹۲-۱۳۶۲) از بین داده‌های ۵۰ ساله دشت.
- ✓ بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی دشت و روند تغییرات آن طی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۲.
- ✓ ترسیم نمودارها و نقشه‌های مربوطه.

همچنین انجام این پروژه، نیازمند مجموعه‌ای از نرم افزارها بود که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ نرم افزارExcel 2007
- ✓ نرم افزار GIS 9.3
- ✓ نرم افزار Corel draw 3
- ✓ نرم افزار Google Earth

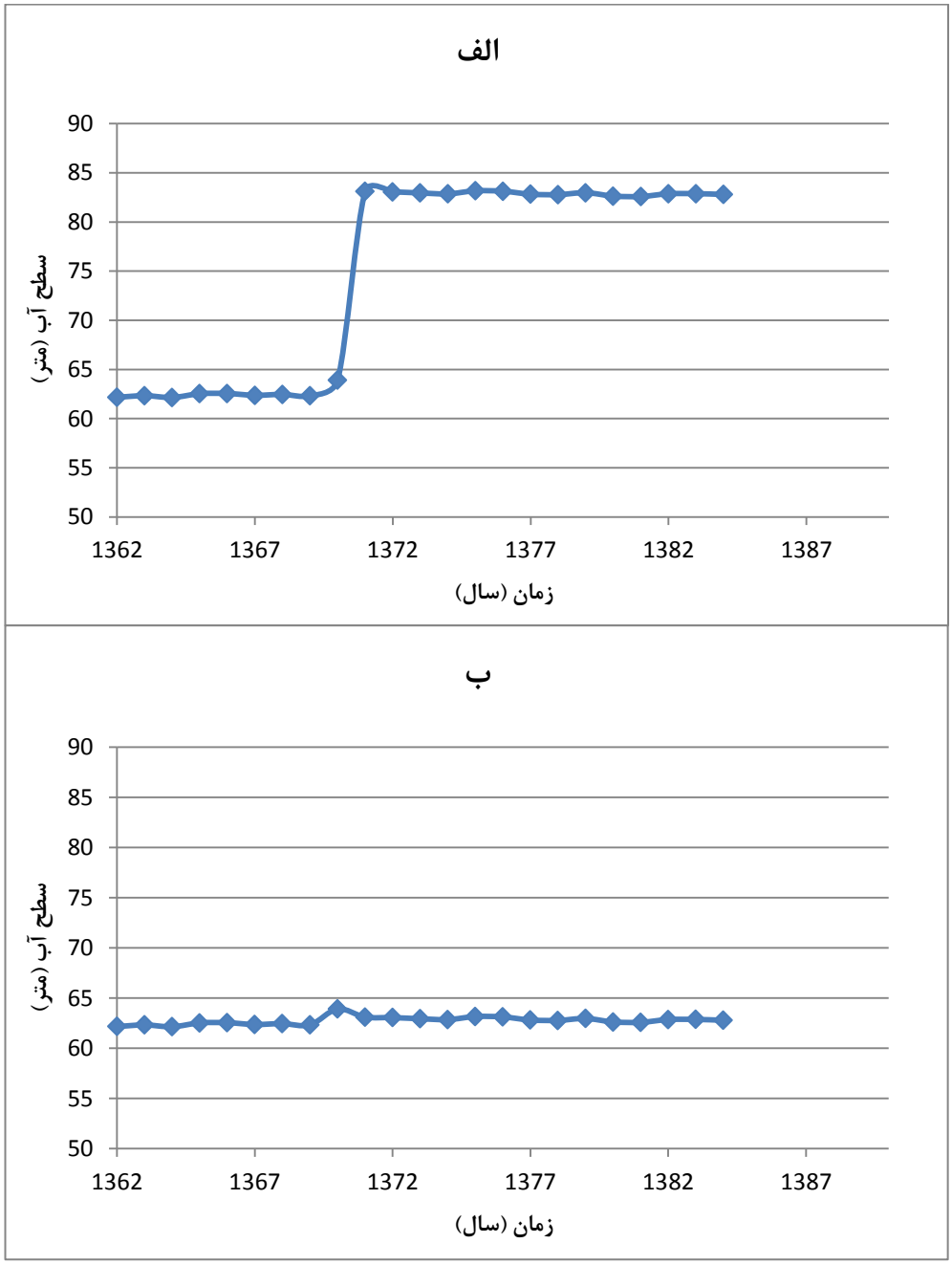
۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات سطح آب زیرزمینی در دشت گرگان

به منظور بررسی تغییرات کمی سفره‌ی آب زیرزمینی دشت گرگان، نیاز به آمار و اطلاعات ۳۰ ساله‌ی سطح آب زیرزمینی (۱۳۹۲-۱۳۶۲) در تعدادی از پیزومترها و چاه‌های نماینده‌ی کل سفره‌ی آب زیرزمینی دشت گرگان بود. این آمار و اطلاعات از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان تهیه شد و سپس جهت انجام محاسبات بعدی وارد نرم افزار اکسل گردید. همچنین به منظور تعیین مشخصات آب و هوایی منطقه که شامل متوسط درجه‌ی حرارت و میزان بارندگی سالانه می‌باشد، از آمار ایستگاه‌های سینوپتیک هاشم‌آباد گرگان و گنبدکاووس که توسط اداره‌ی هواشناسی استان گلستان اندازه‌گیری شده بود، استفاده گردید.

۳-۲- تکمیل و تصحیح آمار سطح آب زیرزمینی

به دلیل طولانی بودن دوره‌ی آماری و نبود آمار سطح آب در برخی از ماه‌ها به دلایل مختلف، تعدادی از پیزومترها در ماه‌های متوالی فاقد آمار بوده‌اند. از آنجایی که نبود یک مقدار حداقل و یا حداکثر در تعدادی داده، تأثیر زیادی روی میانگین حسابی آن داده‌ها خواهد گذاشت و کار را با خطای بیشتری همراه خواهد کرد، لذا تصمیم گرفته شد تا به جای در نظر نگرفتن آن داده، عدد مربوط به آن، با توجه به روند تغییرات سطح آب در پیزومتر تصحیح و تکمیل گردد. بازسازی آمار در مواردی که پیزومتر یک تا سه ماه فاقد آمار بود، با توجه به روند تغییرات عمق آب در پیزومتر مربوطه، عدد مربوط به عمق آب زیرزمینی برآورد شده است. در مواردی که پیزومتر بیش از سه ماه فاقد آمار بود از طریق برقراری رابطه همبستگی با پیزومترهایی که رفتار مشابه داشتند، آمار مربوطه بازسازی شده است.

در نهایت برای بررسی دقت آمار و شناسایی خطاهای احتمالی، هیدروگراف تمامی پیزومترها ترسیم گردید. روند سطح آب در برخی پیزومترها به صورت ناگهانی تغییر می‌کرد که در برخی موارد علت آن تغییر مکان چاه‌ها و در نتیجه تغییر ارتفاع سطح آب از سطح زمین بود. با همسان‌سازی این ارتفاع، روند تغییرات به حالت نرمال درآمد (شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱- تصحیح آمار در داده‌های مربوط به پیزومتر دارکلاته. الف) قبل از تصحیح، ب) بعد از تصحیح

۳-۳- بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در دشت گرگان

جهت بررسی روند تغییرات سطح و میزان افت تراز آب زیرزمینی دشت گرگان طی دوره‌ی مورد مطالعه، از داده‌های ۳۰ ساله‌ی سطح آب زیرزمینی (۱۳۹۲-۱۳۶۲) در ۲۸۹ پیزومتر دارای کامل‌ترین آمار و بهترین پراکندگی در منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده گردیده که اندازه‌گیری سطح آب در این پیزومترها به صورت ماهیانه صورت گرفته است.

۳-۳-۱- ترسیم نقشه هم‌پتانسیل دشت گرگان

نقشه‌ی هم‌پتانسیل، به منظور تعیین جهت اصلی حرکت آب زیرزمینی در آبخوان و همچنین نمایش بهتر سطح آب زیرزمینی در دشت گرگان تهیه گردید. به منظور بررسی تغییرات سطح آب در پیزومترهای موجود در محدوده دشت، نیاز به داده‌های تراز سطح آب زیرزمینی بود که این تراز در هر یک از چاه‌های پیزومتری با استفاده از عمق آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده در این چاه‌ها و ارتفاع نقاط نشانه‌ی آنها و تعیین اختلاف این دو به دست آمده است و سپس نقشه هم‌پتانسیل برای اسفند ماه سال ۱۳۹۲، ترسیم گردید.

۳-۳-۲- ترسیم هیدروگراف واحد برای بخش‌های مختلف دشت

هیدروگراف واحد دشت به منظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در نقاط مختلف دشت، ترسیم شد. به منظور تهیه هیدروگراف واحد و بررسی نوسانات سالانه‌ی سطح آب زیرزمینی دشت گرگان طی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۲، از میانگین وزنی سطح آب زیرزمینی در اسفند ماه هر سال در پیزومترهای موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده شد. درنهایت با استفاده از آمار و اطلاعات حاصله، هیدروگراف واحد دشت گرگان طی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۲ ترسیم گردید. اما با توجه به وسیع بودن دشت و امکان وجود خطا در رسم هیدروگراف، برای بررسی بهتر و دقیق‌تر این موضوع، دشت را بر اساس میزان

افت (افت بالا، افت متوسط و افت اندک) به سه بخش تقسیم نموده و سپس هیدروگراف واحد را به مانند قبل برای هر قسمت به صورت مجزا رسم گردید.

همچنین برای بررسی ارتباط تغییرات سطح آب زیرزمینی با بارندگی منطقه، با استفاده از آمار بارندگی ایستگاه هواشناسی، مقدار بارندگی سالانه نیز طی این دوره‌ی ۳۰ ساله محاسبه و بر روی هیدروگراف‌ها نمایش داده شده است.

۳-۳-۳- طبقه‌بندی پیزومترها به لحاظ روند افت

هر یک از پیزومترهای انتخابی موجود در محدوده‌ی مورد مطالعه، دارای افت مشخصی هستند و از این نظر می‌توان آن‌ها را دسته‌بندی کرد. با توجه به طولانی بودن دوره‌ی آماری، برای بررسی بهتر این امر، سه دهه (۷۲-۱۳۶۲، ۸۲-۱۳۷۲ و ۹۲-۱۳۸۲) درنظر گرفته شد و برای هر دهه و با توجه به اطلاعات سطح آب در پیزومترها، یک افت میانگین بدست آمد که با توجه به آن، پیزومترها در سه گروه (افت کم، افت متوسط و افت زیاد) دسته‌بندی شدند.

۳-۳-۴- پهنه‌بندی دشت به لحاظ افت

افت سطح آب زیرزمینی در تمامی بخش‌های آبخوان به یک اندازه نیست. بلکه با توجه به وضعیت هیدروژئولوژیکی آبخوان که اغلب در نقاط مختلف متفاوت است، سطح آب زیرزمینی نیز در نقاط مختلف، به مقدار متفاوتی افت می‌کند. برای بررسی افت سطح آب زیرزمینی در دشت گرگان و نیز بررسی علل این تغییرات، اختلاف تراز آب را بین سال‌های ۱۳۶۲ و ۱۳۹۲ برای هر پیزومتر محاسبه کرده و براساس نتایج حاصله، دشت به سه بخش (افت بالا، افت متوسط و افت اندک) تقسیم گردید.

۳-۴- ارائه راهکارها

در نهایت برای کاهش افت در مناطق با وضعیت بحرانی در دشت گرگان، راهکارهایی متناسب با شرایط منطقه (از لحاظ وضعیت رودخانه‌ها، مقدار افت و ...) ارائه شد.

فصل چهارم: شناسایی نقاط بحرانی در آبخوان دشت گرگان و ارائه راهکارها

مطالعه کمی منابع آب زیرزمینی و پایش دقیق روند تغییرات آن‌ها طی گذر زمان، به ویژه در مناطقی که با محدودیت منابع آبی روبه‌رو هستند، امری ضروری جهت مدیریت صحیح و بهره‌برداری پایدار این منابع محسوب می‌گردد. استان گلستان نیز به عنوان یکی از استان‌های نیمه‌خشک ایران، به دلیل برداشت‌های بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی و کاهش ریزش‌های جوی در چند سال گذشته، با افت سطح ایستابی و افزایش شوری آب زیرزمینی مواجه گردیده است.

دشت گرگان با وسعت حدود ۴۷۲۷ کیلومترمربع، یکی از بزرگترین دشت‌های ایران و مهمترین دشت استان گلستان از نظر تأمین آب برای مصارف کشاورزی و آشامیدنی است. در این دشت شبکه‌ای از پیزومترها و چاه‌های مشاهده‌ای وجود دارد که اندازه‌گیری مستمر ماهانه بیش از ۵۰ ساله دارد. در این فصل به بررسی تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی دشت گرگان طی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۲، به منظور تعیین وضعیت کنونی آبخوان (از طریق مقایسه داده‌های فعلی با داده‌های سال‌های قبل) پرداخته می‌شود. برای بررسی هیدروژئولوژی دشت، از آمار ۳۰ ساله (۱۳۹۲-۱۳۶۲) پیزومترهای دشت گرگان، به علت کامل‌تر بودن نسبت به دوره‌های قبل، استفاده شده است. در ابتدا نقشه‌های هم‌پتانسیل و هم‌افت و هم‌چنین هیدروگراف معرف دشت ترسیم شدند و سپس با کمک این نقشه‌ها، هیدروژئولوژی دشت مورد بحث و بررسی قرار گرفت تا در نهایت بتوان نقاط بحرانی آب زیرزمینی را مورد شناسایی قرار داد.

۴-۱- هیدروژئولوژی دشت گرگان

آبخوان آبرفتی دشت گرگان به صورت یکپارچه و پیوسته از دریای مازندران در غرب تا کلاله در شرق به طول حدود ۱۳۰ کیلومتر و عرض حدود ۳۵ کیلومتر از دامنه ارتفاعات جنوبی (سرمو، گرمابدشت، توسکستان و شاهوار) تا دیوار اسکندر در شمال امتداد دارد. این سفره آب زیرزمینی به لحاظ وسعت و توان آبدهی دارای شرایط هیدروژئولوژیکی خوبی بوده و بخش اعظم نیازهای شرب و حدود ۶۵ درصد از مصارف کشاورزی محدوده‌ی مطالعاتی گرگان از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد. از آنجایی که این آبخوان در کنار دریای مازندران قرار دارد بررسی تأثیر رسوبات دریایی بر هیدرژئولوژی این دشت ضروری می‌باشد.

رسوبات دریایی حاوی آب شور دریایی هستند که خود در آن تشکیل شده‌اند (شوری آب شور قدیمی یا فسیل چندین برابر شوری دریای مازندران در حال حاضر است). زمانی که رسوبات دریایی حاوی آب شور در مقابل جبهه قوی آب شیرین در مسیر رودخانه‌ها قرار بگیرند به مرور زمان تحت شستشو قرار گرفته، به تدریج آب شور فسیل به سمت دریا رانده شده و آب شیرین جایگزین می‌شود و بدین سبب در طی سال‌های متمادی قسمت فوقانی رسوبات دریایی تحت شستشو قرار گرفته و آب شیرین جایگزین آب شور شده است. به لحاظ این که در دشت گرگان سنگ کف سفره آب زیرزمینی در اعماق زیادی قرار دارد، لذا دانستن ضخامت سفره آب شیرین دارای اهمیت ویژه‌ای خواهد بود که بر روی آب شور فسیل تشکیل شده است.

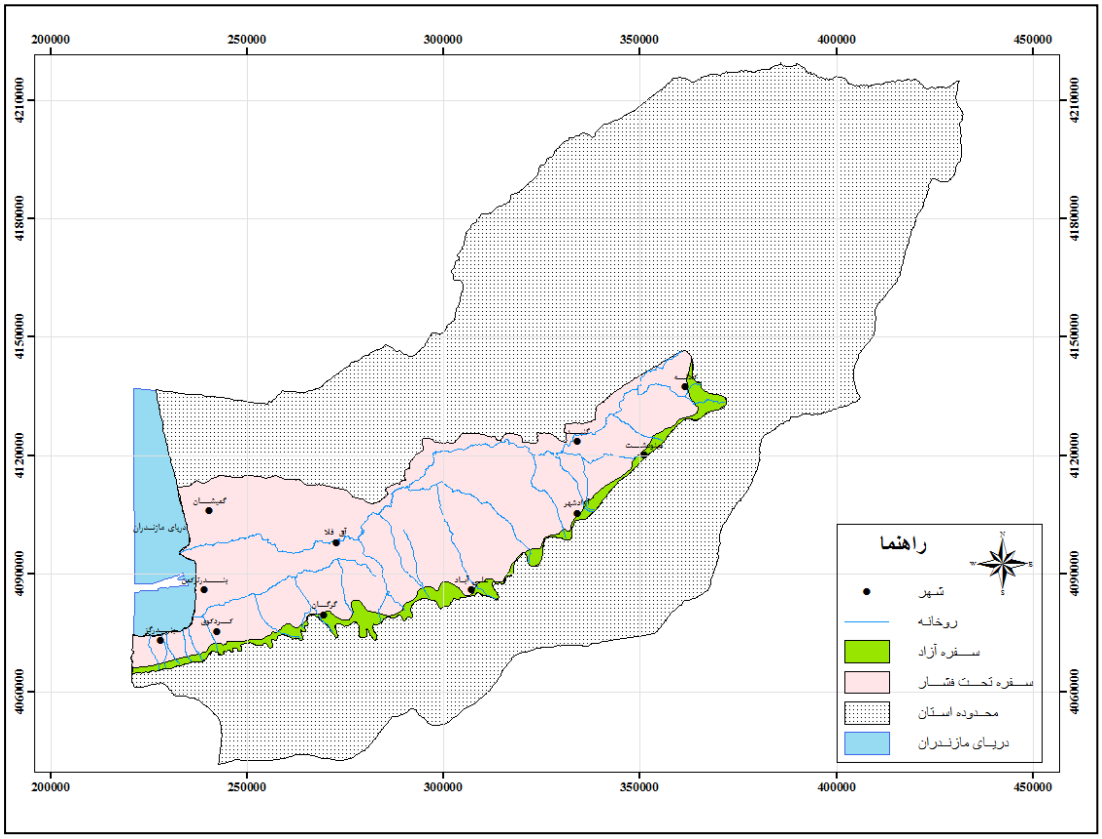
حداکثر ضخامت سفره آب شیرین در مخروط افکنه‌ها و مسیر رودخانه‌ها بوده و در سایر مناطق نیز متناسب با قدرت شستشو و جایگزینی جریانات ورودی آب زیرزمینی و یا نزولات جوی فرود آمده بر سطح دشت، فرآیند رانش آب شور در رسوبات دریایی (آب شور فسیل) و جایگزینی آب شیرین انجام شده و سفره‌های آب زیرزمینی قابل توجهی در دشت وسیع گرگان به شکل یکپارچه شکل گرفته است.

سفره‌ی آب شیرین دشت گرگان به شکل فروافتاده از شرق به غرب کشیده شده که گودی آن تقریباً بر بخش جنوبی و میانی دشت منطبق بوده و به طرف شمال و غرب از ضخامت آن کاسته می‌شود.

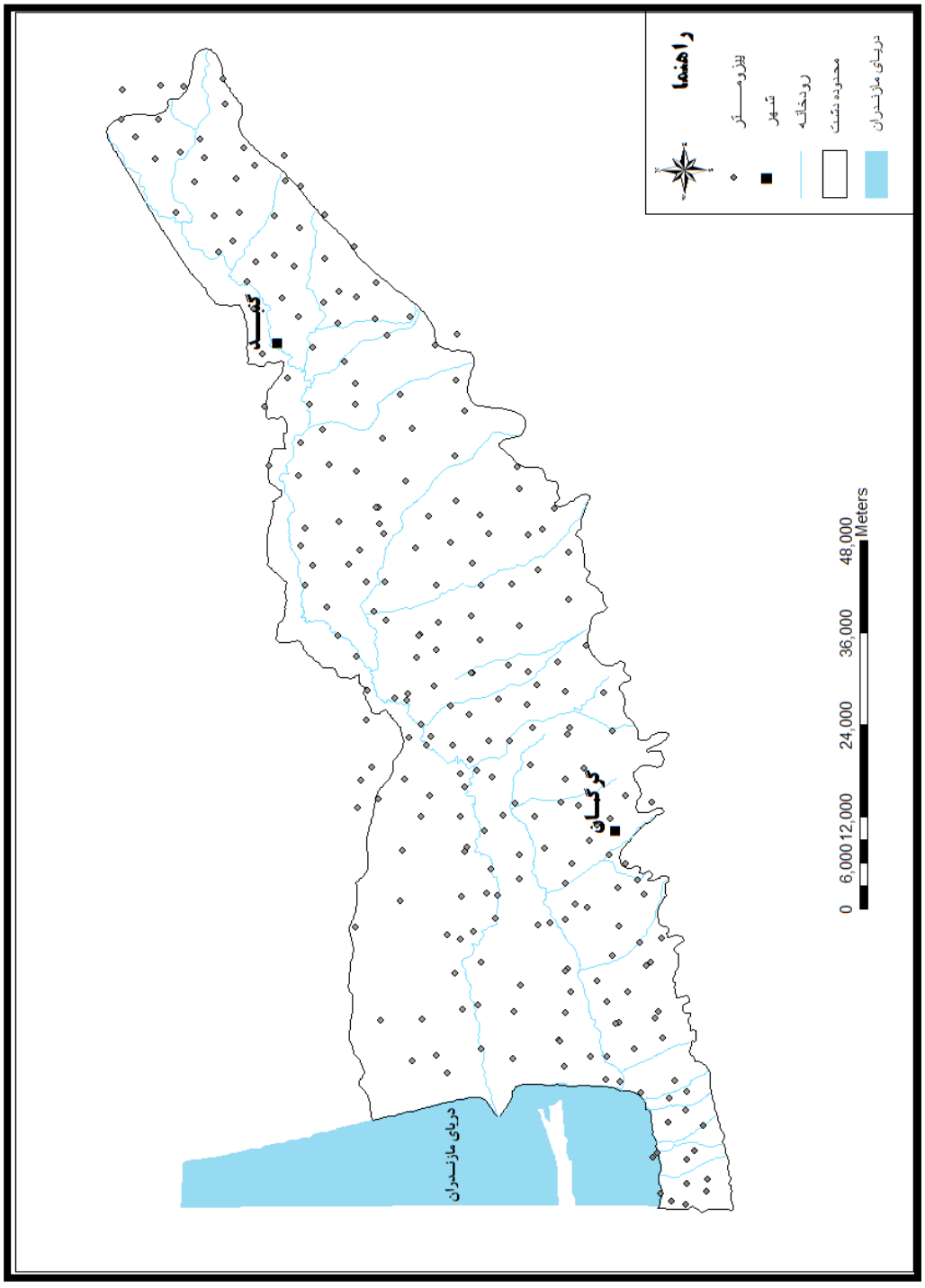
تغذیه سفره آب شیرین جلگه ساحلی گرگان به وسیله رودخانه‌های پرآب دائمی، نزولات جوی و جریان ورودی زیرزمینی تغذیه جانبی (که از ارتفاعات وارد دشت می‌شوند)، انجام می‌یابد. به طور کلی یک سفره آزاد زیرزمینی که در مناطق جنوبی و شرقی، عمق سطح آب آن پایین و به طرف شمال و غرب عمق سطح آب به تدریج زیاد می‌شود و یک یا چند سفره تحت فشار تا نیمه تحت فشار دراین پهنه شکل گرفته است (شکل ۴-۱).

وسعت سفره آزاد واقع در دشت گرگان حدود ۴۳۸۴ کیلومترمربع است که حدود ۳۶۷۱ کیلومترمربع آن قابل بهره‌برداری بوده و مابقی آن (نیمه شمالی) به علت شوری بسیار بالا قابل بهره‌برداری نمی‌باشد. تغییرات سطح آب دریای مازندران (پسروی و پیشروی) و نیز تغییرات شدید در انرژی رودخانه‌ها، موجب تداخل بین انگشتی رسوبات (Interfingering) و ایجاد سفره‌های تحت فشار شده است. تغذیه جانبی سفره‌های آزاد و تحت‌فشار از سمت جنوب و شرق توسط ارتفاعات مشرف بر دشت گرگان انجام می‌شود و دارای منشاء تغذیه مشترک است. براساس نتایج حاصل از بررسی های اکتشافی در دشت گرگان، سفره اول آب زیرزمینی در نواحی مخروط‌افکنه‌ای دارای ضخامت بیش از ۲۵۰ متر بوده که با طی فاصله کمی از ارتفاعات به سمت شمال، حضور لایه‌های رسی و سیلتی در بین رسوبات آبرفتی باعث جدا شدن لایه‌ی آبدار آزاد از لایه‌های محبوس زیرین شده است. لایه‌ی آزاد در نواحی جنوبی دشت دانه درشت ، ضخیم و حاوی آب شیرین بوده که با حرکت به سمت شمال و غرب ذرات رسوبی تشکیل‌دهنده این لایه ریزتر شده و از ضخامت آن کاسته می‌گردد. به علت دانه ریز شدن رسوبات و پیمودن مسافت ، املاح موجود در آب زیرزمینی بیشتر شده و شوری سفره اول آب زیرزمینی دشت گرگان افزایش می‌یابد به نحوی که از بخش‌های مرکزی به سمت شمال و غرب شوری آب زیرزمینی به شدت افزایش یافته و آبخوان غیرقابل بهره‌برداری می‌شود.

تعداد پیزومترهای حفر شده توسط شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان به منظور پایش وضعیت تغییرات سطح سفره‌ی آب زیرزمینی دشت گرگان، ۳۱۱ پیزومتر می‌باشد. با توجه به عدم اندازه‌گیری همه ساله‌ی سطح آب و همچنین خشک شدن برخی از این پیزومترها، در نهایت پس از بررسی‌های دقیق و به منظور کاهش میزان خطا، تعداد ۲۸۹ پیزومتر انتخاب گردید. لازم به ذکر است که اندازه-گیری سطح آب در این پیزومترها به صورت ماهیانه صورت می‌گیرد. شکل (۴-۲) موقعیت پیزومترهای انتخابی واقع در محدوده‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱- نقشه حدود آبخوان‌های آزاد و تحت فشار در دشت گرگان (کرمی ۱۳۸۶)

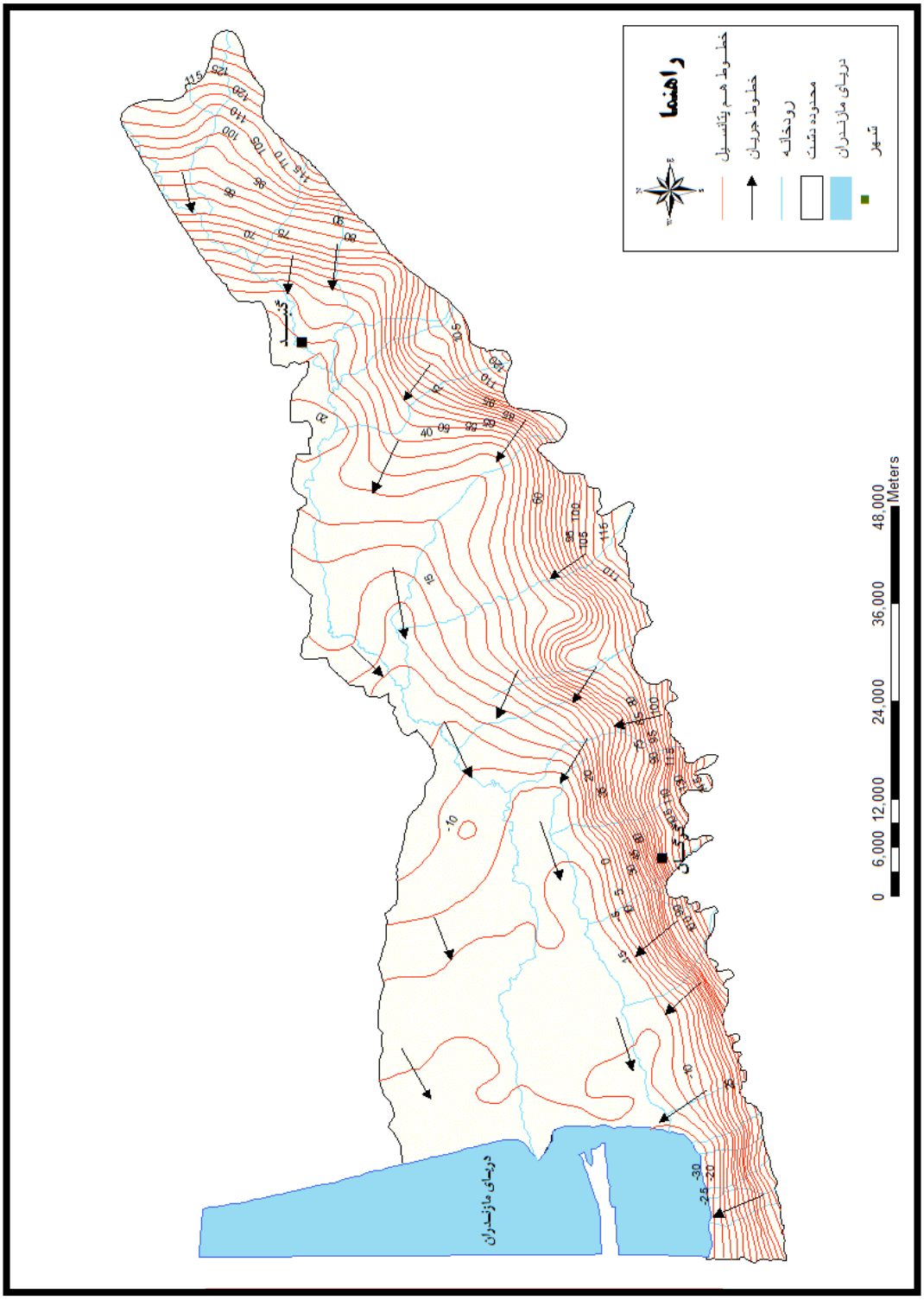


شکل ۴-۲- موقعیت پیزومترهای انتخابی در دشت گرگان

۴-۱-۱- نقشه هم پتانسیل سطح آب زیرزمینی

بررسی کمی منابع آب زیرزمینی و تغییرات آن طی گذر زمان یکی از مهمترین جنبه‌های مطالعهٔ آب-های زیرزمینی در تمامی دشت‌هاست که امکان مدیریت صحیح، جهت بهره‌برداری پایدار و حفظ این منابع حیاتی را فراهم می‌آورد. این بررسی‌ها معمولاً از طریق نقشه‌ها و نمودارهایی که به این منظور تهیه می‌شوند، صورت می‌پذیرد و از آن جمله می‌توان به نقشه‌های هم‌پتانسیل آب زیرزمینی، که شرایط بار هیدرولیکی آبخوان را در قالب خطوط هم‌ارزش بیان می‌کنند، اشاره نمود. نقشه‌های هم-پتانسیل سطح ایستابی به منظور تعیین جهت عمومی جریان آب زیرزمینی، شیب هیدرولیکی، مناطق تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی و نیز وضعیت تبادل آب زیرزمینی با منابع آب سطحی و تشکیلات زمین-شناسی پیرامون دشت ترسیم می‌گردد. امکان تشخیص گسل‌ها و تغییرات تراوایی سفرهٔ آب زیرزمینی نیز از دیگر کاربردهای این گونه نقشه‌ها می‌باشد. این نقشه‌ها همچنین به لحاظ بررسی وضعیت تغییرات کمی آبخوان اهمیت زیادی دارند.

همانطور که قبلاً اشاره شد، به منظور بررسی تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در دشت گرگان، با استفاده از داده‌های سطح آب مربوط به ۲۸۹ پیزومتر، نقشه هم‌پتانسیل برای اسفند ماه سال ۱۳۹۲، ترسیم گردید. با توجه به نقشه مذکور (شکل ۴-۳)، بالاترین تراز آب زیرزمینی منطبق بر نواحی شرقی و جنوبی دشت می‌باشد و با پیشروی به سمت غرب و دریای مازندران از تراز آب کاسته شده و در نوار ساحلی کمترین مقدار خود را دارا است. این روند تغییرات هم جهت با جریان‌های سطحی بوده و تأثیرپذیری سفره آب زیرزمینی از جریان‌های سطحی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نقشه نشان می-دهد که منشأ اصلی تغذیه دشت گرگان را جریانات شکل گرفته از ارتفاعات جنوبی دشت (سرمو، گرمابدشت، شاهوار، تیل‌آباد) تشکیل می‌دهد.



شکل ۴-۳- نقشه هم پتانسیل دشت گرگان

رقوم منحنی‌های تراز آب زیرزمینی بین ۱۳۰ متر در شرق دشت گرگان تا ۳۰- متر در سواحل دریای مازندران متغیر است. به طور کلی اگر دشت به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم شود، در نیمه‌ی شمالی دشت گرگان منحنی‌های تراز آب تقریبا دارای روند شرقی- غربی بوده و در نیمه‌ی جنوبی، رقوم آنها از جنوب به سمت شمال کاهش می‌یابد. به طور کلی نیمه شرقی دارای تراز بیشتری نسبت به نیمه‌ی غربی دشت می‌باشد به گونه‌ای که کاهش تراز آب زیرزمینی در بخش غربی دشت نشان می‌دهد که منطقه تخلیه‌ی آب زیرزمینی منطبق بر این ناحیه از دشت بوده است.

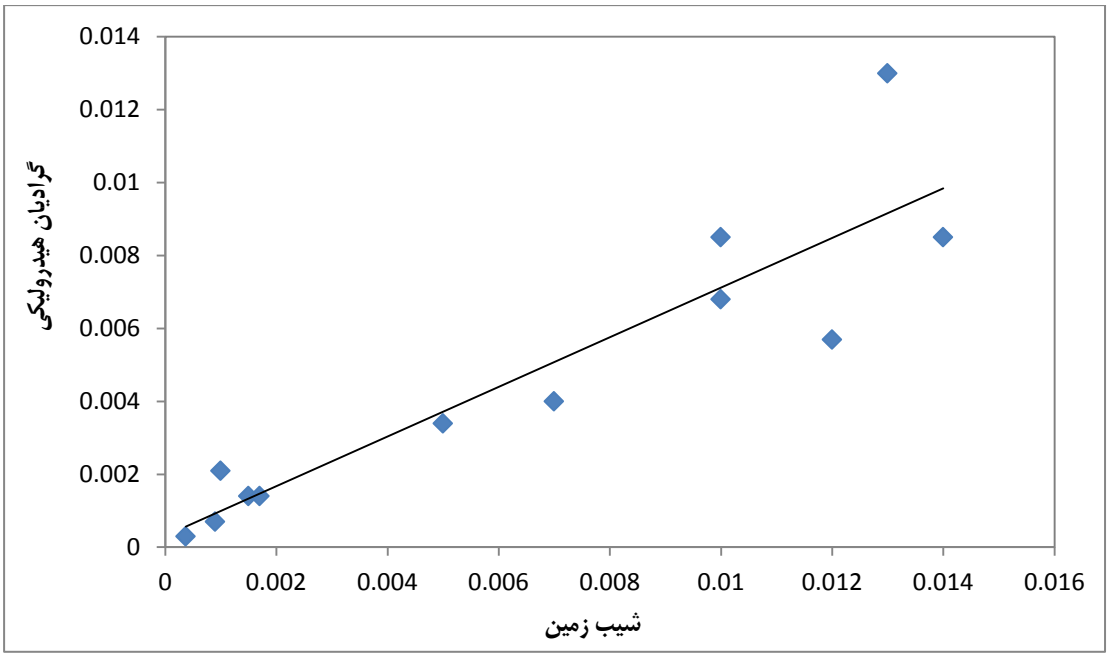
گرادیان هیدرولیکی در دشت، یکنواخت نیست به طوری که بیشترین میزان گرادیان هیدرولیکی در نواحی جنوبی دشت و در منطقه تغذیه می‌باشد و به سمت شمال و شمال غربی دشت گرادیان هیدرولیکی کاهش یافته است. پنج عامل هستند که به طور مستقیم بر روی مقدار گرادیان هیدرولیکی تأثیرگذار می‌باشند که طبق معادله دارسی (Q= K.b.W.i) چهار عامل آن شامل مقدار هدایت هیدرولیکی، ضخامت آبخوان، عرض آبخوان و دبی جریان می‌باشد. لازم به ذکر است که در بسیاری از موارد تغییر مقدار در یکی از این عوامل چهارگانه، نقش عمده‌ای را در تغییر میزان گرادیان هیدرولیکی شامل می‌شود.

اما پارامتر دیگری که با مقدار گرادیان هیدرولیکی در این دشت در ارتباط است، میزان شیب زمین است که به طور کلی گرادیان هیدرولیکی رابطه مستقیمی با آن دارد. برای بررسی این موضوع، چند منطقه از محدوده‌ی مورد مطالعه را انتخاب کرده و برای هر کدام از این مناطق، شیب زمین و گرادیان هیدرولیکی محاسبه شد که مقادیر آن در جدول (۴-۱) نشان داده شده است. برطبق اعداد نمایش داده شده در این جدول، با افزایش شیب زمین در مناطق نزدیک به ارتفاعات، گرادیان هیدرولیکی نیز به صورت محسوسی افزایش می‌یابد که برای نمایش بهتر این موضوع، نمودار شیب زمین در برابر گرادیان هیدرولیکی رسم گردید (شکل ۴-۴). همانطور که در شکل مشخص است، بین شیب زمین و گرادیان هیدرولیکی رابطه خطی وجود دارد و پراکندگی بعضی نقاط به دلیل تأثیر سایر عوامل ذکر شده است.

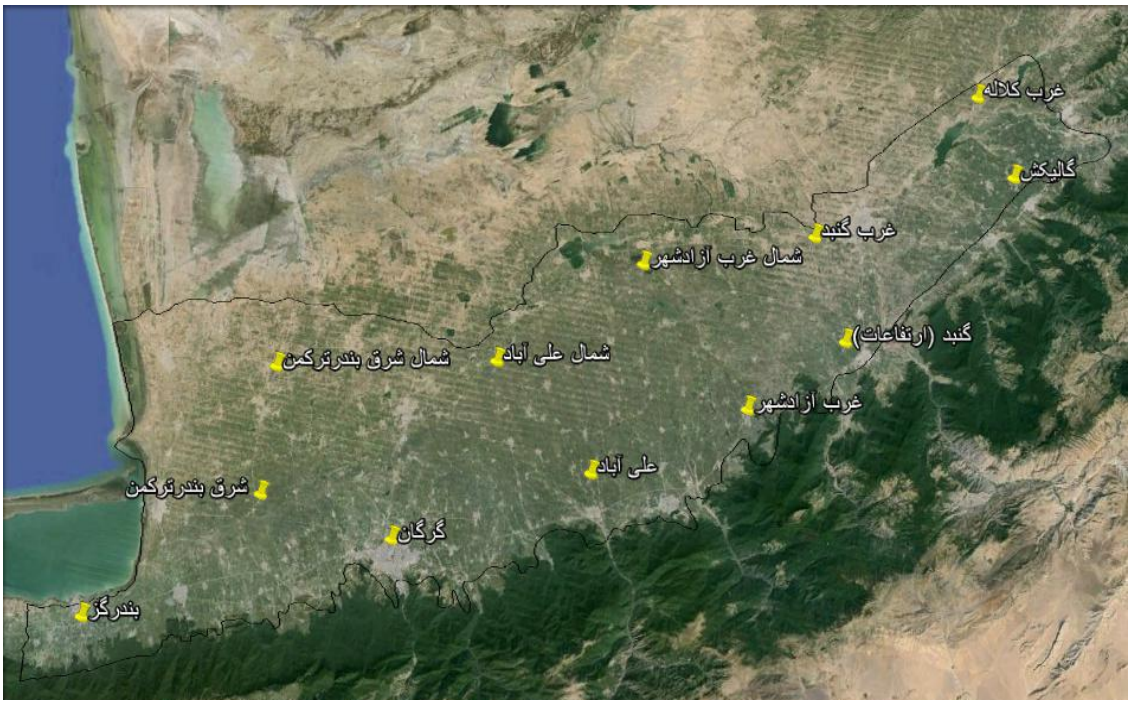
یکی از این دلایل ضخامت است که در نقاط مختلف یکسان نیست و با پیشروی به غرب از ضخامت آبخوان کاسته می‌شود. همچنین در مناطق غربی (حاشیه دریای خزر) به دلیل اینکه برداشت از آن منطقه کمتر صورت می‌گیرد و دبی جریان نسبت به نواحی جنوبی کمتر است، طبق رابطه مستقیم گرادیان هیدرولیکی با دبی جریان در معادله دارسی، مقدار گرادیان هیدرولیکی به شدت کاهش می‌یابد. شکل (۴-۵) مناطق انتخابی برای محاسبه میزان گرادیان هیدرولیکی و شیب زمین را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱- میزان شیب زمین و گرادیان هیدرولیکی در نقاط مختلف دشت

زون	گرادیان هیدرولیکی	شیب زمین
غرب کلاله	0.0034	0.005
غرب گنبد	0.0014	0.0015
علی آباد	0.004	0.007
گرگان	0.013	0.013
گالیکش	0.0085	0.01
شمال شرق بندرترکمن	0.0007	0.0009
گنبد (ارتفاعات)	0.0068	0.01
غرب آزادشهر	0.0057	0.012
شمال‌غرب آزادشهر	0.0014	0.0017
شمال علی آباد	0.0021	0.001
بندرگز	0.0085	0.014
شرق بندر ترکمن	0.0003	0.00037



شکل ۴-۴- تغییرات گرادیان هیدرولیکی در برابر شیب زمین



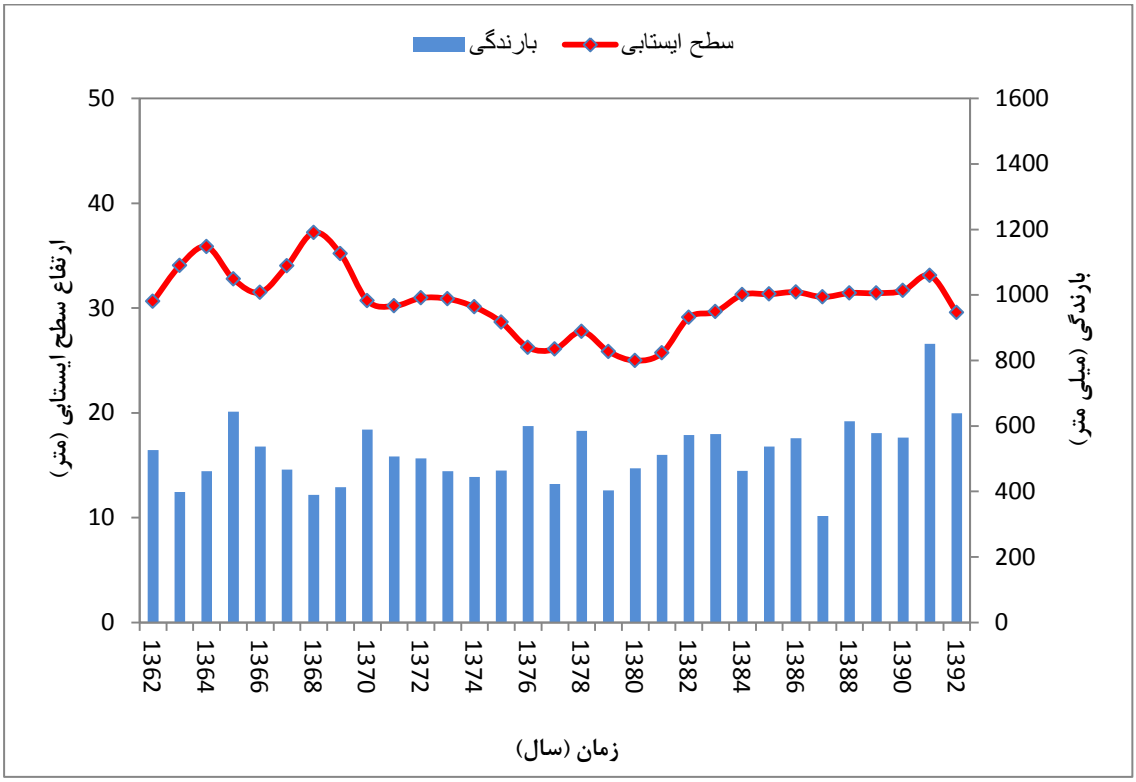
شکل ۴-۵- موقعیت مناطق انتخابی برای محاسبه گرادیان هیدرولیکی و شیب زمین

۴-۱-۲- هیدروگراف طولانی مدت برای بخش‌های مختلف دشت

از آنجایی که تغییرات سطح آب زیرزمینی تحت تأثیر عوامل مختلف می‌باشد، شکل هیدروگراف برای پیزومترهای مختلف یکسان نیست. برای رفع این مشکل تهیه هیدروگراف واحد یا متوسط که معرف لایه آبدار باشد اجتناب‌ناپذیر است. منظور از هیدروگراف واحد هیدروگرافی است که به کمک کلیه هیدروگراف‌های پیزومترهای منطقه تهیه می‌شود. هیدروگراف‌ها برای بررسی کمی آبخوان مناسب‌ترند، زیرا دوره‌ای طولانی مدت از پایش تراز آب در آبخوان را نمایش می‌دهد. هنگامی‌که میزان بارندگی نیز روی آن‌ها ترسیم گردد، نشان‌دهنده چگونگی پاسخ آبخوان به بارندگی که یکی از دلایل تغییر سطح ایستابی محسوب می‌شود، می‌باشند.

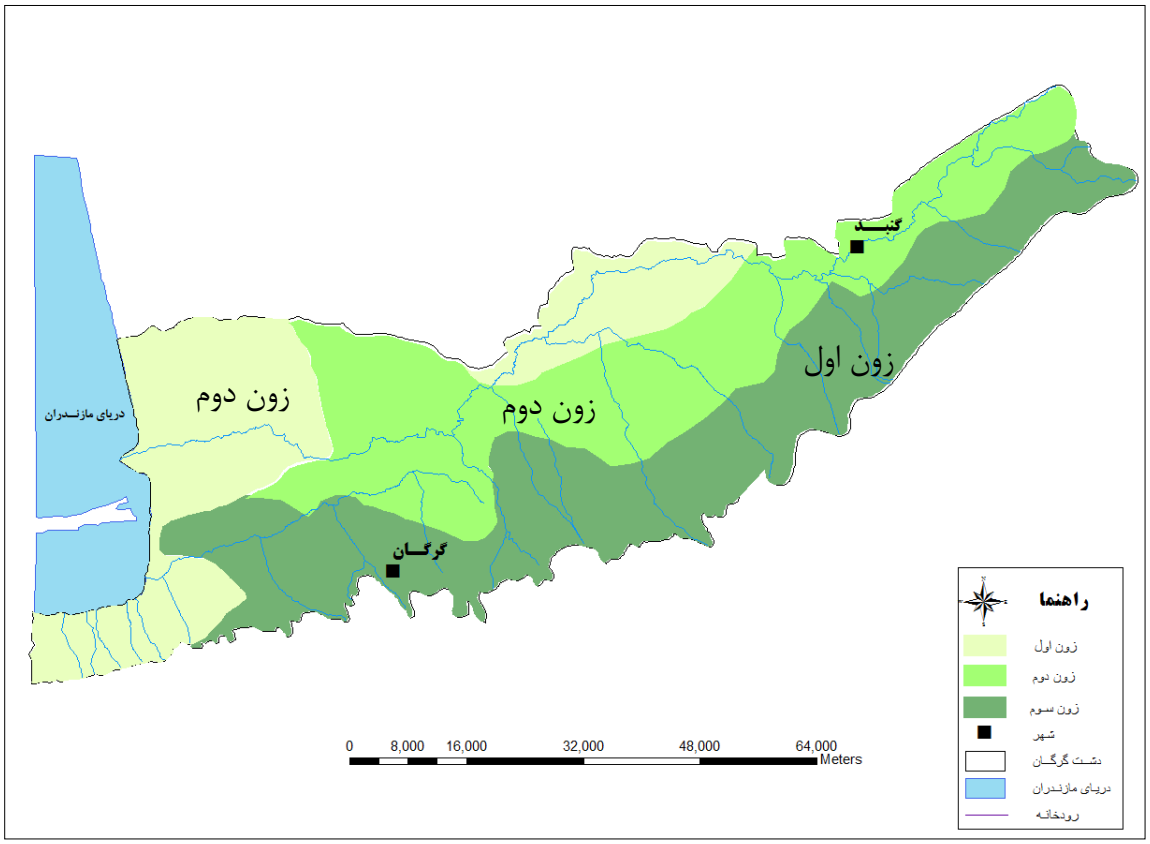
به منظور تهیه هیدروگراف واحد و بررسی نوسانات سالانه‌ی سطح آب زیرزمینی دشت گرگان طی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۲، از میانگین وزنی سطح آب زیرزمینی در اسفند ماه هر سال در پیزومترهای موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده گردیده است. در نهایت با استفاده از آمار و اطلاعات حاصله، هیدروگراف واحد دشت گرگان طی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۲ ترسیم گردیده است (شکل ۴-۶). همان-طور که از هیدروگراف واحد دشت گرگان مشاهده می‌شود، سطح آب در این دشت در سال ۱۳۶۴ و ۱۳۶۸ در تراز بیشتری قرار داشته است. به طور کلی سطح ایستابی از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۸ با یک نوسان، روند صعودی داشته و به میزان ۶/۵۷ متر بالا آمده است. پس از آن یعنی از سال ۱۳۶۸ تا سال ۱۳۸۰ سطح آب روند نزولی را طی کرده است به گونه‌ای که طی این مدت سطح آب زیرزمینی با ۱۲/۲۳ متر افت، از تراز ۳۷/۲۱ متر در اسفند ماه ۱۳۶۸ به تراز ۲۴/۹۸ متر در اسفند ماه ۱۳۸۰ رسیده است که علت آن را می‌توان به افت سطح آب زیرزمینی در اثر خشکسالی رخ داده در منطقه در آن زمان و افزایش برداشت از چاه‌های بهره‌برداری دانست. اما مجدداً از سال ۱۳۸۰ سطح آب رو به افزایش گذاشت و نهایتاً به تراز ۲۹/۵۷ متر در سال ۱۳۹۲ می‌رسد. از مقایسه تغییرات سطح آب با بارندگی منطقه، مشخص می‌شود که سطح آب در منطقه تا حدودی متأثر از میزان بارندگی است و با افزایش یا کاهش آن تغییر می‌کند. با توجه به روند کلی سطح آب منطقه بین داده‌های سال ۱۳۶۲ و ۱۳۹۲ یک

افت نامحسوس به میزان یک متر، مشاهده می‌شود که حاکی از تعادل سطح آب زیرزمینی در بلند مدت می‌باشد.



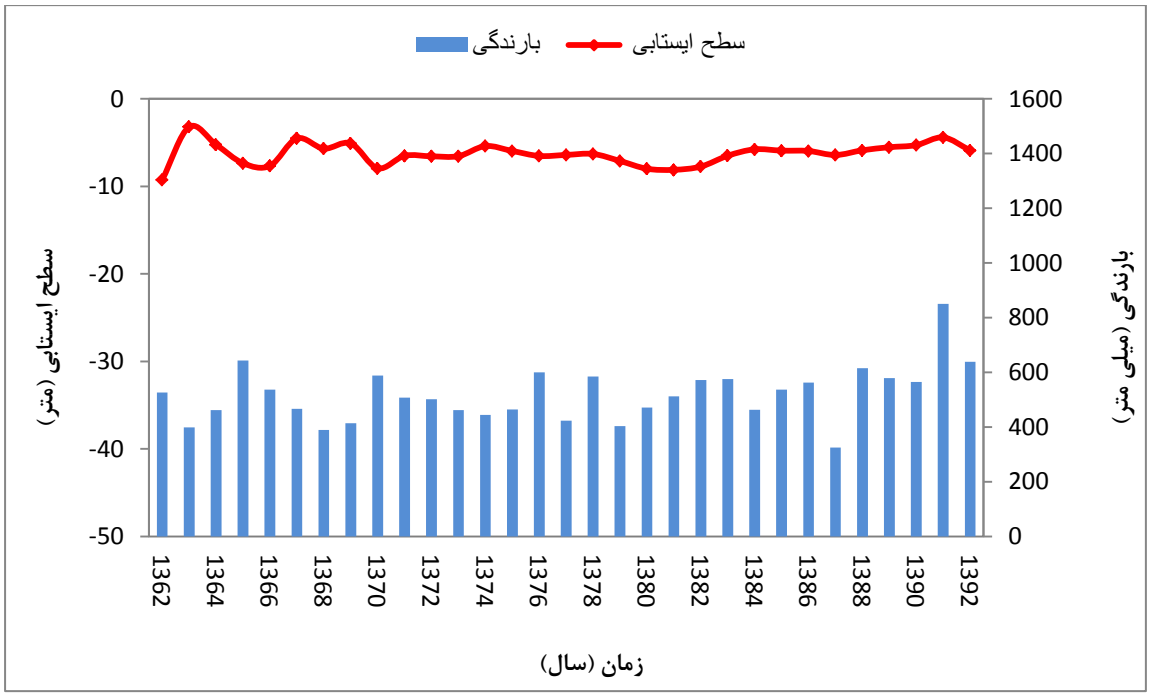
شکل ۴-۶- هیدروگراف واحد دشت گرگان برای دوره سی ساله

با توجه به اینکه وسعت دشت زیاد است و امکان خطا در رسم هیدروگراف وجود دارد، برای بررسی بهتر و دقیق‌تر این موضوع، دشت بر اساس میزان افت (افت بالا، افت متوسط و افت اندک) به سه زون تقسیم شده (شکل ۴-۷) و سپس هیدروگراف واحد مانند قبل برای هر قسمت به صورت مجزا رسم گردیده است.



شکل ۴-۷- زون‌های مختلف در دشت بر اساس مقدار افت

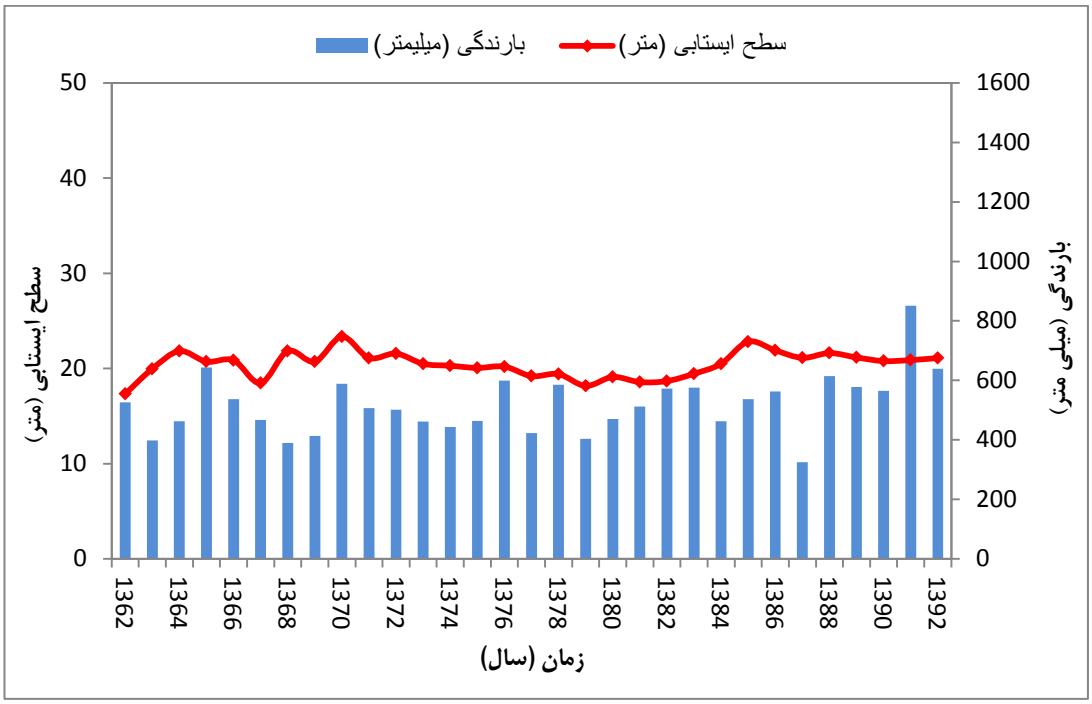
اولین هیدروگراف مربوط به بخشی از دشت که دارای افت اندک است، می‌باشد (شکل ۴-۸). در این بخش سطح آب که دارای تراز منفی است تا سال ۱۳۷۰ با چند نوسان روند صعودی داشته و از تراز ۹/۲۶- متر در اسفند ماه سال ۱۳۶۲ به تراز ۷/۹۴- متر در اسفند ماه سال ۱۳۷۰ رسیده است ولی از سال ۱۳۷۰ به بعد سطح آب یک روند صعودی با نوسانات ناچیز داشته و به تراز ۵/۸۹- متر در اسفند ماه سال ۱۳۹۲رسیده است. افزایش ۳ متری سطح آب در این بخش را می‌توان به نزدیک بودن این محدوده به دریا نسبت داد. البته می‌توان روند تغییرات سطح آب را به بارندگی نیز نسبت داد که افزایش سطح آب در سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱ و به دنبال آن کاهش در سال ۱۳۹۲ را می‌توان تا حدودی متأثر از تغییرات بارندگی دانست.



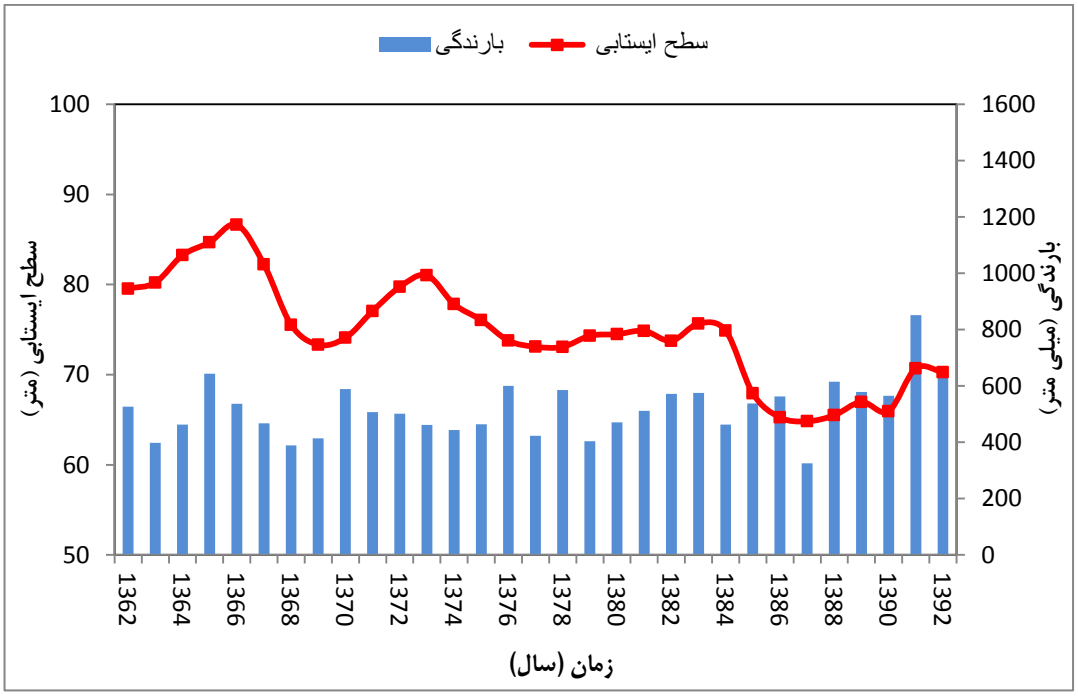
شکل ۴-۸- هیدروگراف واحد دشت گرگان در محدوده افت کم

هیدروگراف دوم (شکل ۴-۹) مربوط به بخشی از دشت که دارای افت متوسط است، می‌باشد که همانطور که از شکل پیداست روند سطح آب در این بخش به طور نسبی مشابه با هیدروگراف کلی دشت است. بدین صورت که ابتدا سطح آب از سال ۱۳۶۲ تا سال ۱۳۷۰ با یک نوسان از تراز ۱۷/۳۳ متر به تراز ۲۳/۳۴ متر که بیشترین تراز در این هیدروگراف است، رسیده است، سپس از سال ۱۳۷۰ تا سال ۱۳۷۹ سطح آب روند نزولی را طی کرده و با افتی حدوداً ۵ متری به تراز ۱۸/۱۷ متر رسیده است که عمده‌ترین دلیل این افت برداشت بیش از حد از چاه‌های بهره‌برداری بوده است. پس از آن مجدداً سطح آب بالا آمده و به تراز ۲۱/۱ متر رسیده است.

هیدروگراف سوم (شکل ۴-۱۰) برای قسمتی از دشت که دارای افت بالا بود، رسم گردید. در این شکل طی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۶ سطح آب روند صعودی داشته به طوری که سطح ایستابی در سال ۱۳۶۶ با حدود ۷ متر افزایش، به بالاترین تراز در این هیدروگراف یعنی ۸۶/۶۳ متر می‌رسد.



شکل ۴-۹- هیدروگراف واحد دشت گرگان در محدوده افت متوسط



شکل ۴-۱۰- هیدروگراف واحد دشت گرگان در محدوده افت زیاد

سپس سطح آب با افتی حدوداً ۱۲ متری (با نرخ ۴ متر بر سال) در سال ۱۳۶۹ به تراز ۷۳/۳۲ متر می-رسد. علت آن را می‌توان اختلاف زیاد بین سطح آب در چاه‌های این بخش از دشت دانست و علاوه بر آن می‌توان افزایش ۲۴۵ میلی‌متری بارندگی در سال ۱۳۶۶ و دوباره کاهش ۲۵۴ میلی‌متری آن در سال ۱۳۶۸ دانست. البته قطعاً این نوسانات بالا دلایل دیگری از قبیل حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در این بخش، بیشتر بودن مناطق کشاورزی و به تبع آن نیاز به برداشت آب بیشتر و دلایلی از این نظیر دارد.

۴-۲- ارزیابی تأثیر رودخانه‌های اصلی بر هیدروژئولوژی دشت گرگان

برای ارزیابی تأثیر رودخانه‌های اصلی بر روی پارامترهای هیدروژئولوژیکی دشت گرگان، تأثیر رودخانه‌ها در مقدار افت پیزومترها، نوسانات سطح آب، خطوط هم‌پتانسیل و گرادیان هیدرولیکی در نزدیکی و اطراف رودخانه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. به این صورت که ابتدا وضعیت پارامترهای ذکر شده را بر روی رودخانه‌ها بررسی و سپس با وضعیت آنها در اطراف و کمی دورتر از رودخانه مقایسه شد.

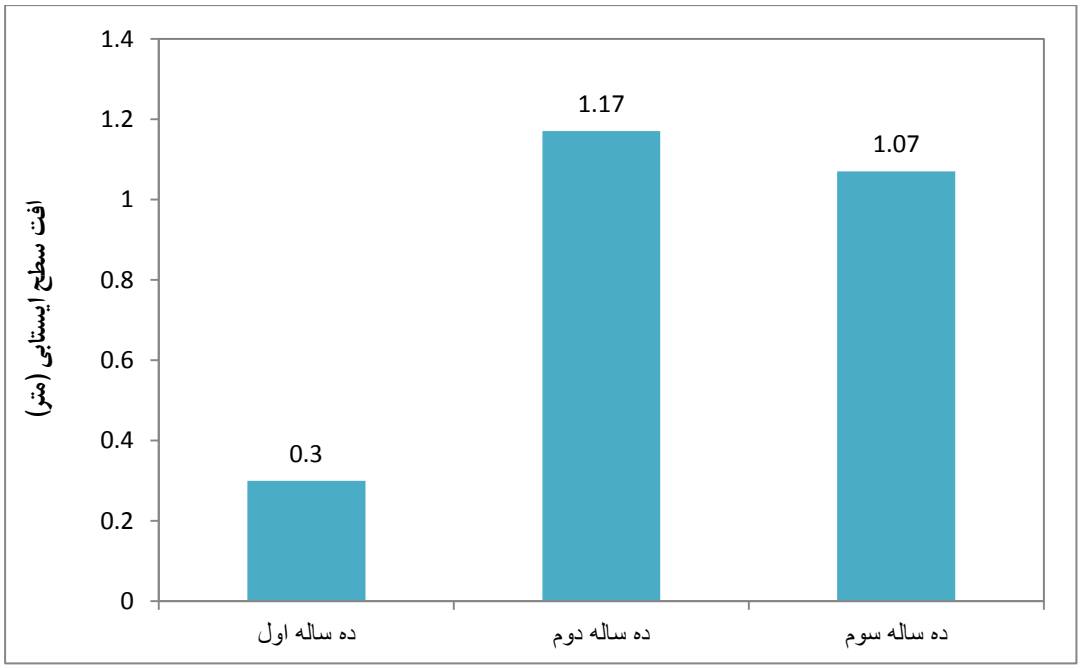
قابل ذکر است که رودخانه‌ها در ارتباط با آب زیرزمینی وضعیت‌های مختلفی دارند که این امر به صورت تغییر در وضعیت خطوط هم‌پتانسیل نمایان می‌شود. به طور کلی اگر سطح آب رودخانه پایین باشد، در این صورت ممکن است قسمتی از آن توسط آب زیرزمینی تغذیه شده باشد. به این ترتیب که اگر تراز آب زیرزمینی در مجاورت رودخانه بالاتر از تراز آب رودخانه باشد، در این حالت جریان از طرف آب زیرزمینی به رودخانه برقرار خواهد شد (رودخانه آبگیر). حال اگر جریان برعکس شود، یعنی تراز آب رودخانه بالاتر از تراز آب زیرزمینی باشد، در این صورت آب از رودخانه به طرف آب زیرزمینی جریان می‌یابد (رودخانه آبده). عمده‌ترین اثری که رودخانه‌های منطقه بر روی هیدروژئولوژی دشت گرگان گذاشته‌اند، انحراف خطوط هم‌پتانسیل از روند عادی آنها می‌باشد. به این ترتیب که در برخی موارد رودخانه‌ها از نوع رودخانه‌های آبگیر بوده و باعث می‌شوند که خطوط هم‌پتانسیل به سمت

بالادست رودخانه تقعر پیدا کنند (مانند رودخانه‌ی قره‌چای). در مواردی هم رودخانه‌ها از نوع رودخانه-های آبرسان می‌باشند و چنین شرایطی باعث شده است که خطوط هم‌پتانسیل به سمت پائین‌دست رودخانه تقعر پیدا کنند (مانند رودخانه‌ی زرین‌گل). در برخی از هم رودخانه‌ها نه آبرسان هستند و نه آبگیر و تأثیری بر روی خطوط هم‌پتانسیل ایجاد نکرده‌اند (مانند رودخانه‌ی نرماب). لازم به ذکر است که باتوجه به وسعت بسیار زیاد دشت گرگان که حدود ۵۰۰۰ کیلومترمربع می‌باشد و نقشه با مقیاس بسیار کوچکی رسم می‌شود و همچنین تعداد پیزومترها که در این وسعت زیاد نسبتاً کم می‌باشند، بنابراین اثر رودخانه بر روی خطوط هم‌پتانسیل و همچنین موارد هیدروژئولوژیکی دیگر، نظیر مقدار افت و نوسانات سطح آب به خوبی قابل تشخیص نیست. در مورد اثر رودخانه‌ها بر روی گرادیان هیدرولیکی، با توجه به نقشه هم‌پتانسیل مشاهده می‌شود که مقدار گرادیان در مسیر رودخانه کم و در اطراف آن به نسبت بیشتر می‌باشد. بنابراین، می‌توان این چنین بیان نمود که رودخانه‌ها تا حدودی باعث کم شدن مقدار گرادیان هیدرولیکی در محدوده مسیر خود شده‌اند.

۴-۳- ارزیابی مقادیر افت در پیزومترهای دشت

هر یک از پیزومترهای انتخابی موجود در محدوده‌ی مورد مطالعه، دارای افت مشخصی هستند و از این نظر می‌توان آن‌ها را دسته‌بندی کرد. با توجه به طولانی بودن دوره‌ی آماری، برای بررسی بهتر این امر، سه دهه (۷۲-۱۳۶۲، ۸۲-۱۳۷۲ و ۹۲-۱۳۸۲) درنظر گرفته شد و برای هر دهه و با توجه به اطلاعات سطح آب در پیزومترها، یک افت میانگین بدست آمده است (شکل ۴-۱۱).

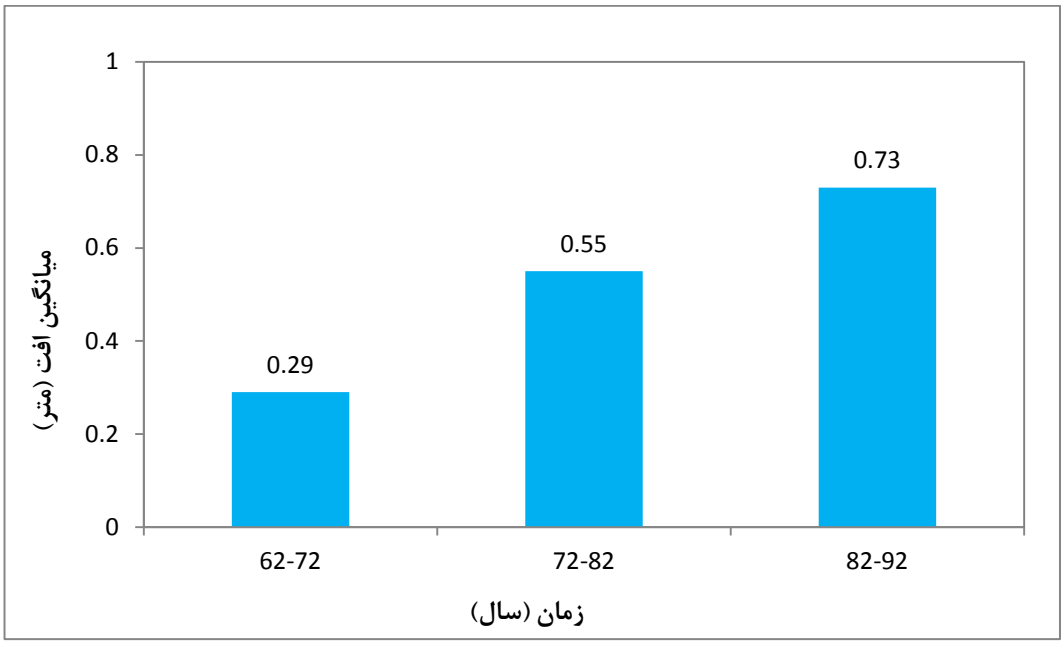
با مقایسه افت هر یک از پیزومترها با افت میانگین در دهه‌های مختلف، می‌توان پیزمترها را در چهار گروه جای داد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.



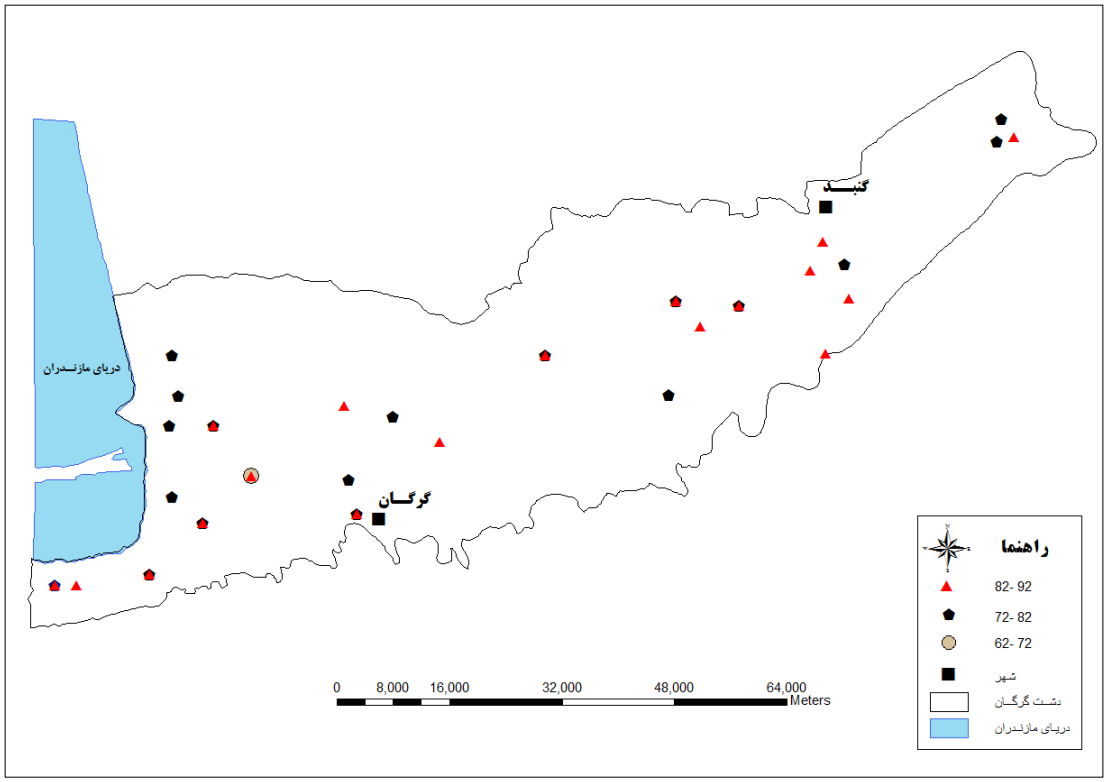
شکل ۴-۱۱- مقدار افت سطح ایستابی دشت برای سه دهه متوالی

۴-۳-۱- پیزومترهای با افت اندک

این پیزومترها دارای میزان افتی کمتر از افت میانگین می‌باشد. در ده ساله اول با میانگین‌گیری وزنی از سطح آب زیرزمینی در پیزومترها این نتیجه بدست آمد که سطح آب زیرزمینی افت اندکی در حدود ۰/۳ متر داشته است. بدین ترتیب پیزومترهایی انتخابی برای این کار دارای افت نزدیک به صفر و صفر بودند. میانگین افت در ده ساله دوم، ۱/۱۷ متر برآورد شده است، از این‌رو پیزومترهایی برای این بخش انتخاب شدند که دارای افتی کمتر از ۱/۱۷ متر بودند. همچنین در ده ساله سوم، افت میانگین دشت به میزان ۱/۰۷ متر می‌باشد و پیزومترهای انتخابی به مانند دو دهه‌ی قبل دارای افت کمتر از ۱/۰۷ متر بودند. با میانگین‌گیری از مقدار افت پیزومترها، یک افت متوسط برای هر دهه به دست آمد که در شکل (۴-۱۲) نمایش داده شده است. همچنین موقعیت این نقاط در شکل (۴-۱۳) نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین افت برای سه دهه متوالی برای پیزومترهای با افت کم

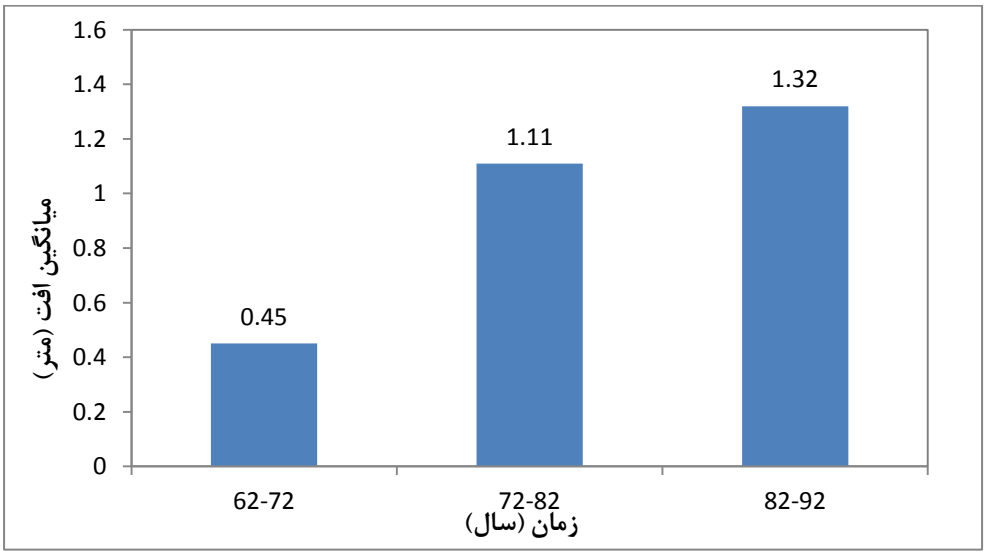


شکل ۴-۱۳- موقعیت نقاط با افت کمتر از افت میانگین در دشت گرگان

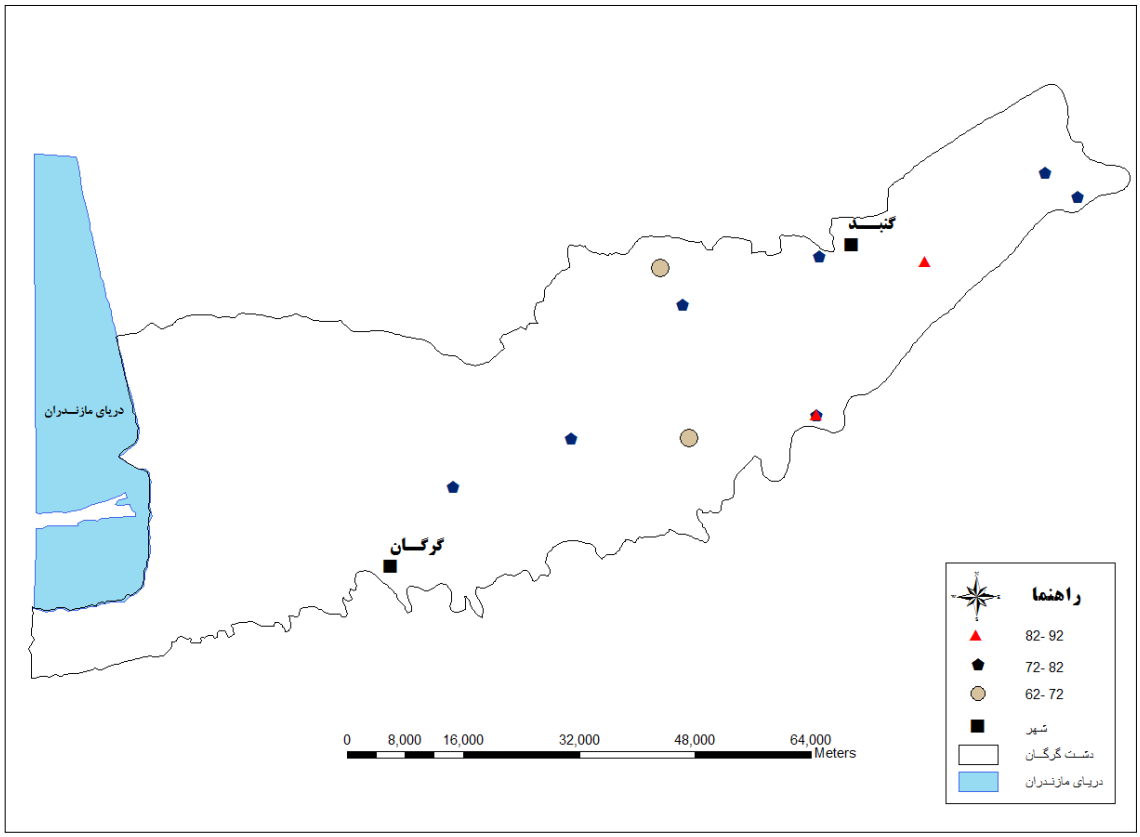
با توجه به شکل (۴-۱۲)، متوسط افت در پیزومترهای کمتر از افت میانگین برای ده ساله اول (۷۲-۱۳۶۲) به میزان ۰/۲۹ متر (۲۹ میلی‌متر در سال)، ده ساله دوم (۸۲-۱۳۷۲) به میزان ۰/۵۵ متر (۵۵ میلی‌متر در سال) و در ده ساله سوم به مقدار ۰/۷۳ (۷۳ میلی‌متر در سال) می‌باشد. به این ترتیب که مقدار افت متوسط با زمان در حال افزایش می‌باشد که احتمالاً به خاطر برداشت بیشتر از آبخوان و یا تغذیه کمتر آبخوان رخ داده است.

۴-۳-۲- پیزومترهای با افت متوسط

پیزومترهای با افت متوسط، بیانگر این موضوع هستند که مقدار افت در هر پیزومتر با افت میانگین تقریباً برابر می‌باشد. بنابراین، در این بخش از پیزومترهایی استفاده شد که افت‌های برابر یا نزدیک به افت میانگین در هر دهه داشتند یعنی در ده ساله اول، دوم و سوم به ترتیب نزدیک به ۰/۳۹، ۱/۱۷ و ۱/۰۷ متر افت داشتند (شکل ۴-۱۴). همانند پیزومترهای با افت کم، در این گروه از پیزومترها هم مقدار افت با زمان افزایش نشان می‌دهد. موقعیت این نقاط در دشت در شکل (۴-۱۵) نمایش داده شده است.



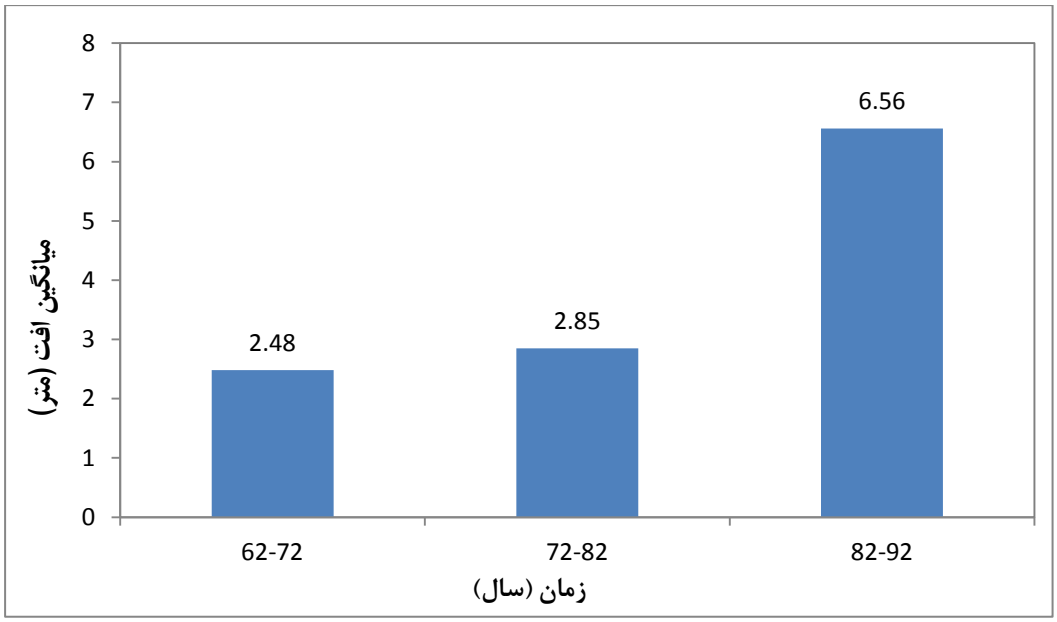
شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین افت در دهه‌های متوالی برای پیزومترهای با افت متوسط



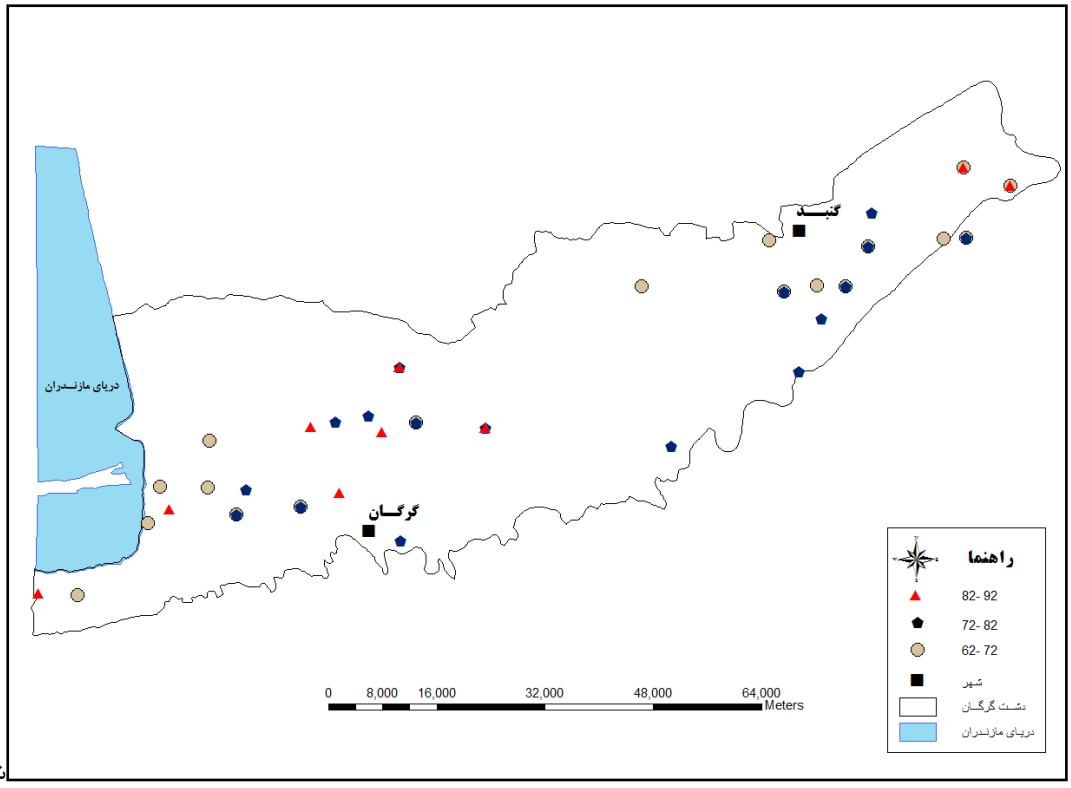
شکل ۴-۱۵- موقعیت نقاط با افت برابر با افت میانگین در دشت گرگان

۴-۳-۳- پیزومترهای با افت زیاد

در این قسمت، پیزومترهای انتخابی دارای افت بیشتر از حد میانگین می‌باشد. طبق شکل (۴-۱۶)، در دهه اول افت به میزان ۲/۵ متر می‌باشد که این مقدار در دهه دوم به ۲/۸ متر و در دهه سوم به ۶/۵ متر رسیده است. این مقدار افت رقم قابل توجهی است که می‌تواند این پیزومترها را در منطقه بحرانی جای دهد و باید مورد مطالعه و بررسی بیشتری قرار بگیرند. در این گروه هم مانند گروه‌های قبلی، مقدار افت با زمان افزایش نشان داده است. شکل (۴-۱۷) موقعیت این پیزومترها را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین افت برای سه دهه متوالی برای پیزومترهای با افت زیاد

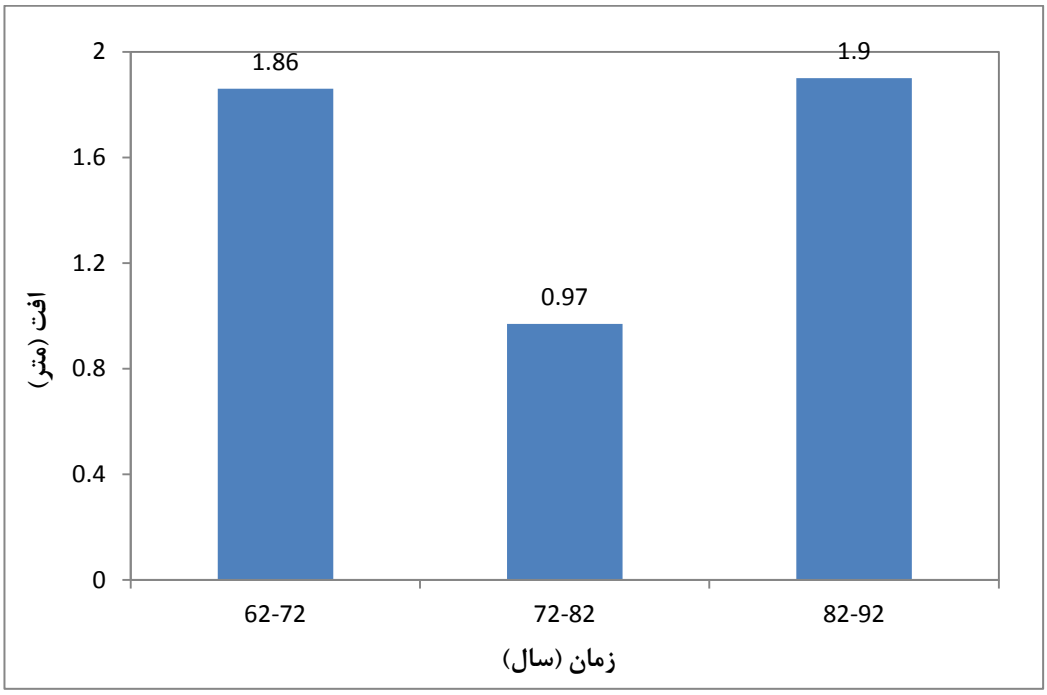


شکل ۴-

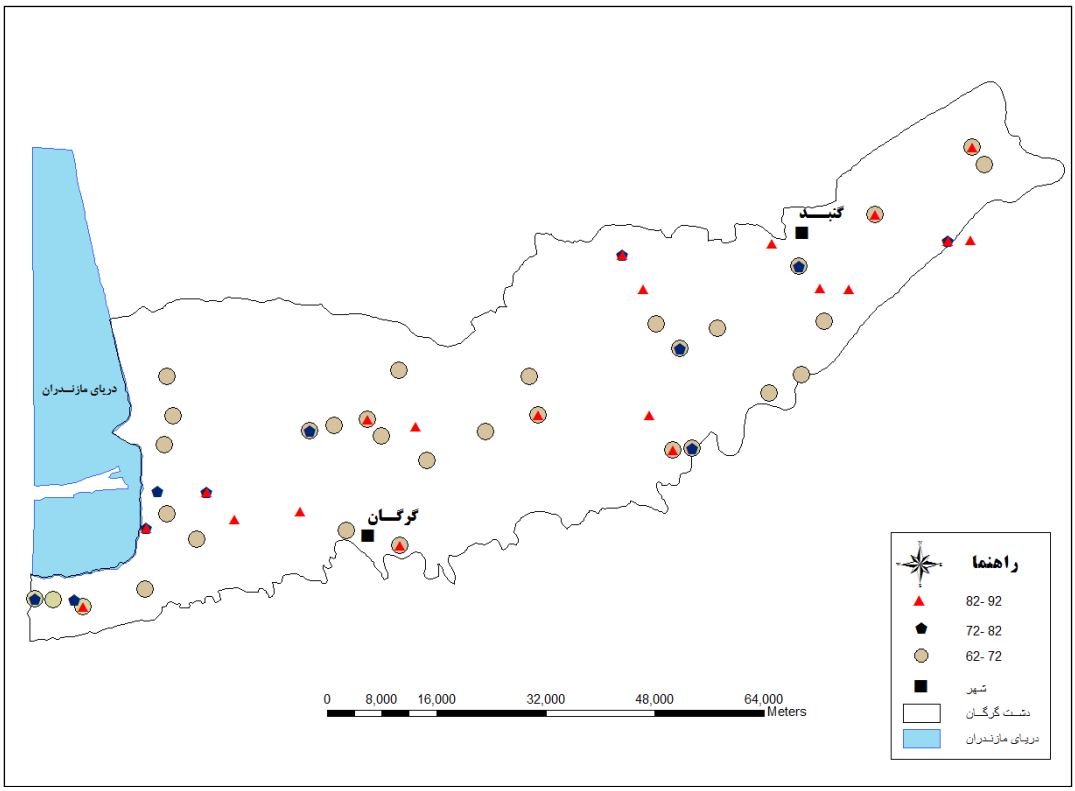
۱۷- موقعیت پیزومترهای با افت بالاتر از افت میانگین در دشت گرگان

۴-۳-۴- پیزومترهای با افزایش سطح آب

سطح آب زیرزمینی در برخی پیزومترها، نه تنها افت نداشته بلکه افزایش نیز داشته است. مطابق شکل (۴-۱۸)، میانگین سطح آب زیرزمینی در دهه اول به میزان ۱/۸۶ متر بالا آمده است. در دهه دوم این میزان کمتر و به مقدار ۰/۹۷ متر بوده است اما در دهه سوم این مقدار دوباره افزایش داشته و به ۱/۹ متر رسیده است. این روند (ابتدا نزولی سپس صعودی)، در برخی از پیزومترها نیز مشاهده می‌شود. علت این مسئله احتمالاً به دلیل قرارگیری این پیزومترها در پائین‌دست آب‌بندان‌های احداث شده در دهه‌های اخیر و یا قرارگیری این پیزومترها در لایه آبداری که در سال‌های اخیر، به علت کاهش کیفیت، پمپاژ از آن به تدریج کاهش یافته است. شکل ۴-۱۹) پراکندگی این پیزومترها در دشت را نمایش می-دهد.



شکل ۴-۱۸- مقایسه سطح آب در پیزومترهای با افزایش سطح آب



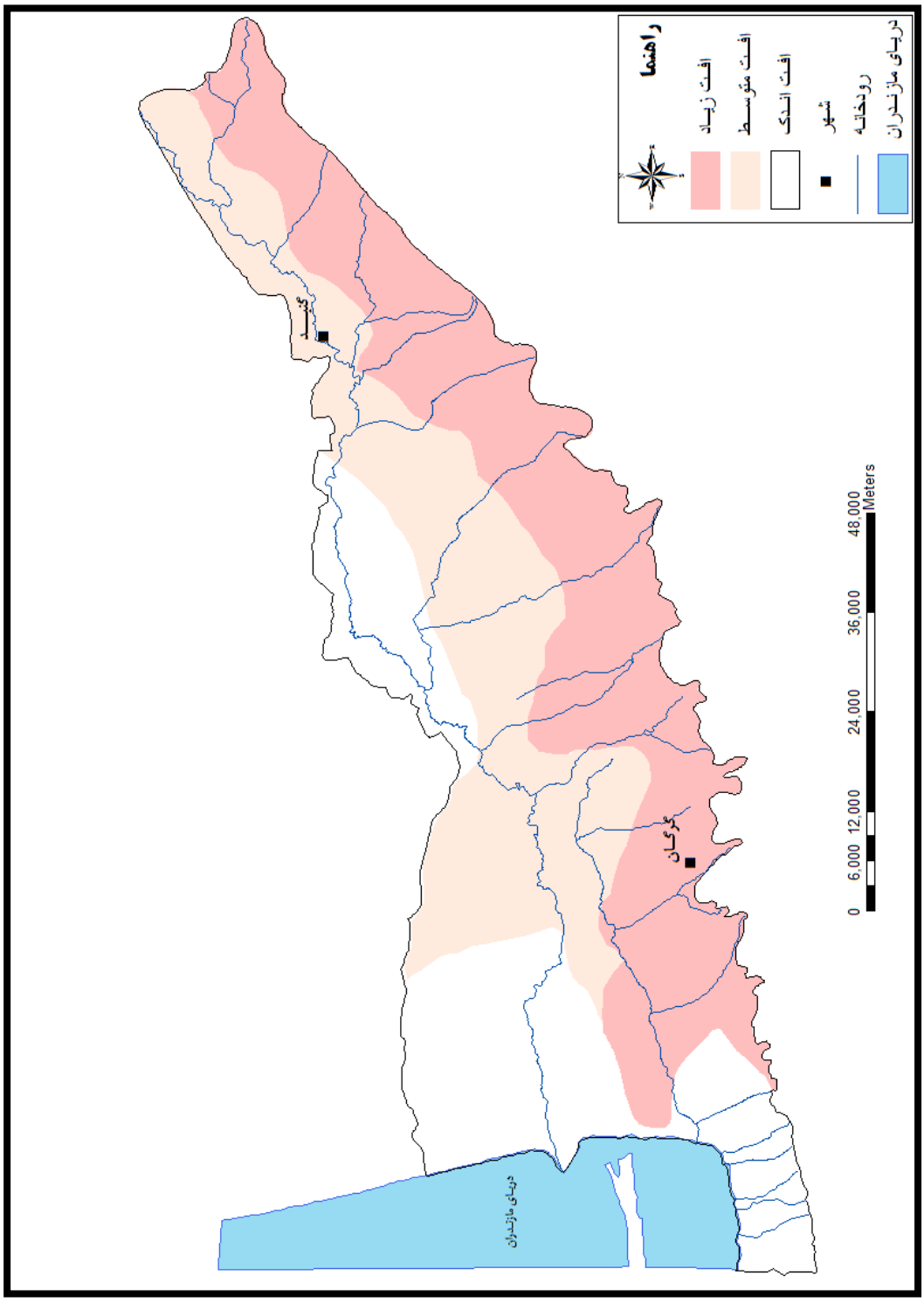
شکل ۴-۱۹- موقعیت پیزومترهای با افزایش سطح آب در دشت

۴-۴- پهنه‌بندی مقدار افت سطح آب زیرزمینی در دشت گرگان

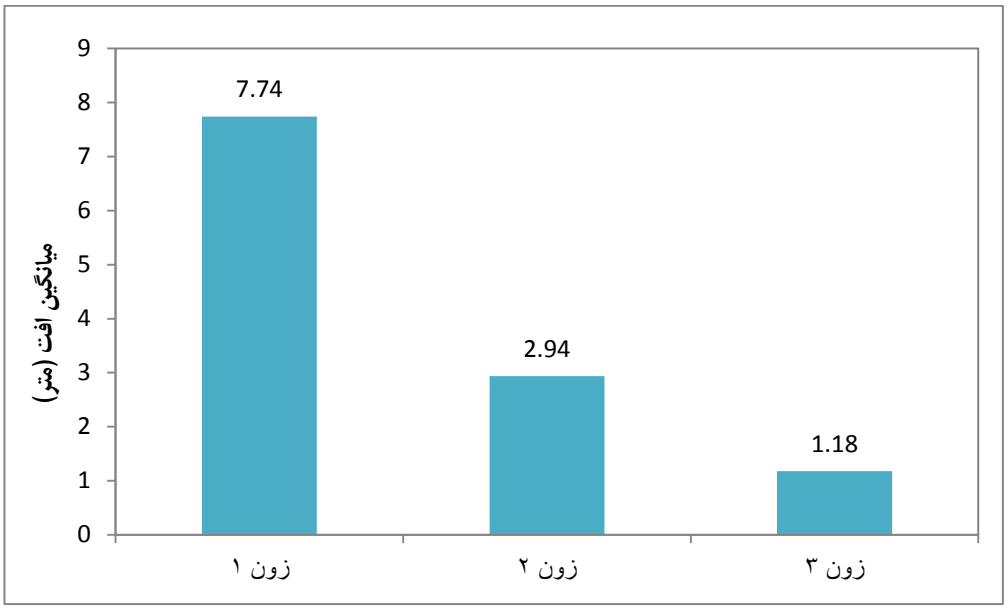
هیدروگراف واحد هر دشت نشان‌دهنده‌ی افت متوسط سالانه سطح آب زیرزمینی آن دشت است، ولی افت سطح آب زیرزمینی در تمامی بخش‌های آبخوان به یک اندازه نیست. بلکه با توجه به وضعیت هیدروژئولوژیکی آبخوان که اغلب در نقاط مختلف متفاوت است، سطح آب زیرزمینی نیز در نقاط مختلف، به مقدار متفاوتی افت می‌کند. برای بررسی افت سطح آب زیرزمینی در دشت گرگان و نیز بررسی علل این تغییرات، اختلاف تراز آب را بین سال‌های ۱۳۶۲ و ۱۳۹۲ برای هر پیزومتر محاسبه شده و براساس نتایج حاصله، دشت به سه بخش (افت بالا، افت متوسط و افت اندک) تقسیم گردید. شکل (۴-۲۰)، تقسیم‌بندی دشت بر اساس میزان افت سطح آب زیرزمینی را طی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۲ نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار افت آب زیرزمینی در نوار

جنوبی دشت می‌باشد که علت آن احتمالاً به خاطر تمرکز چاه‌های بهره‌برداری، به ویژه چاه‌های آب شرب، در این منطقه می‌باشد. به همین ترتیب با حرکت به سمت نواحی مرکزی دشت مقدار افت کاهش یافته و در نواحی شمالی و حاشیه دریای مازندران میزان افت بسیار کم می‌شود. از جمله علل پائین بودن مقدار افت در ناحیه‌ی شمالی دشت ، احتمالاً به پائین بودن کیفیت آب در این منطقه و در نتیجه برداشت اندک آبهای زیرزمینی مربوط می‌شود. با توجه به اندازه‌گیری‌ها، متوسط حداکثر افت (بالای ۱۰ متر) در طول ۳۰ سال حدود ۱۲/۸ متر، حداقل آن (کمتر از یک متر) حدود ۰/۶۱ متر و میانگین افت در دشت ۲/۸ متر بوده است، یعنی سطح آب زیرزمینی در دشت گرگان به طور متوسط سالیانه افتی برابر با ۱۴ سانتی‌متر داشته است. با توجه به شکل (۴-۲۱) در طول این دوره سی ساله (۱۳۹۲-۱۳۶۲) مقدار افت برای هر یک از زون‌ها محاسبه شده است که میزان آن در زون یک (افت بالا) ۷/۷۴ متر، در زون ۲ (افت متوسط) ۲/۹۴ متر و در زون ۳ به میزان ۱/۱۸ متر می‌باشد.

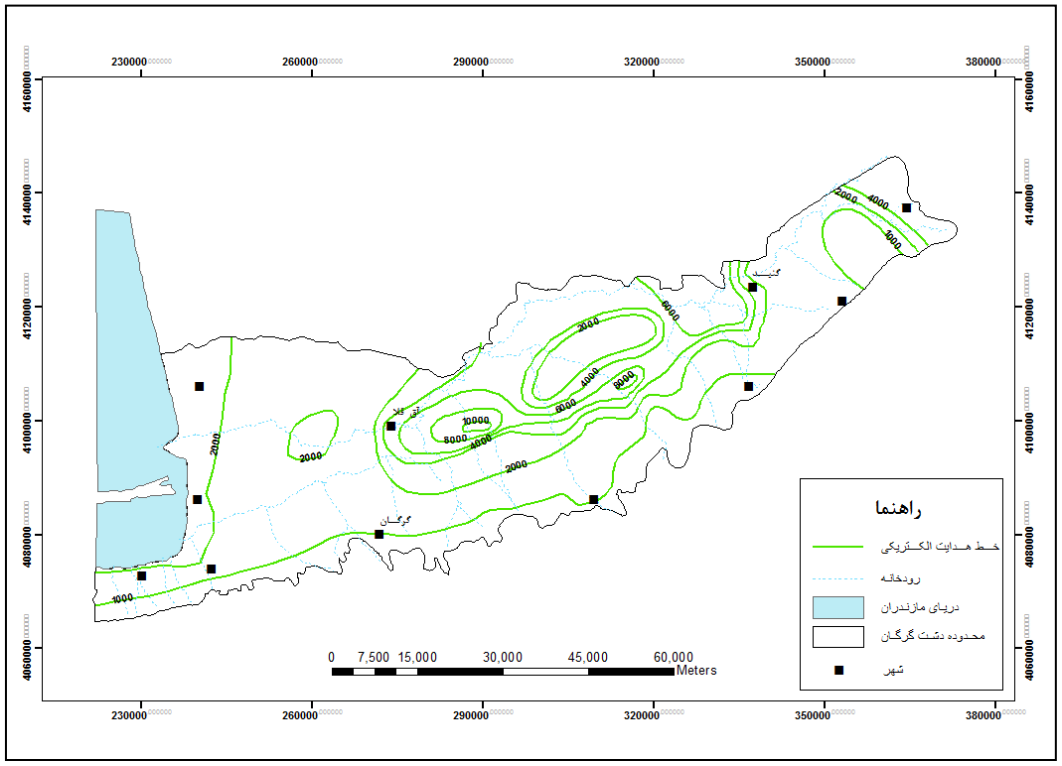
اما همانطور که قبلاً اشاره شد، یکی از دلایل افت کم در نواحی مرکزی و حاشیه دریای مازندران پائین بودن کیفیت آب زیرزمینی به دلیل شوری (EC بالا) است. به این منظور نقشه هدایت الکتریکی که توسط کرمی و همکاران (۱۳۸۶) برای چاه‌های نمونه‌برداری سفره سطحی دشت گرگان رسم شده است، بررسی شد (شکل ۴-۲۲). بر اساس این شکل، در سفره سطحی دشت گرگان شوری آب زیرزمینی از جنوب به شمال و از شرق به سمت دریای مازندران دارای روند افزایشی می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که بیشترین شوری در نواحی مرکزی و در نزدیکی شهرستان آق‌قلا (با ۱۰۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر) قرار دارد که علت اصلی این ناهمگنی عبور گسل بزرگ مازندران از این بخش می‌تواند باشد. همچنین زبانه‌های ورودی آب شیرین به دشت در نواحی مخروط‌افکنه‌ای انجیرآب، کفشگیری، جعفرآباد، قره‌چای ، اوغان و خرمالو واقع در جنوب دشت قرار داشته و باعث رانش آب‌های شورتر به نواحی شمالی دشت شده است (مهندسین مشاور کنکاش عمران ۱۳۸۸).



شکل ۴-۲۰- نقشه افت دشت گرگان



شکل ۴-۲۱- مقدار افت در هر یک از زون‌های سه گانه



شکل ۴-۲۲- نقشه هدایت الکتریکی مربوط به سفره سطحی دشت گرگان (کرمی و همکاران ۱۳۸۷)

۴-۵- تعیین مناطق با وضعیت بحرانی در دشت گرگان

سطح آب زیرزمینی در تعداد قابل توجهی از پیزومترهای موجود در دشت گرگان، روندی مشابه با سطح آب زیرزمینی در هیدروگراف واحد دشت داشتند. به این صورت که ابتدا بین سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۲ سطح آب روند نزولی را طی کرده است و سپس حدوداً از سال ۱۳۸۴ سطح آب رو به افزایش بوده است. در این سال‌ها (۱۳۸۴- ۱۳۶۸)، طبق گزارشات شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، منطقه وارد یک دوره‌ی خشکسالی شده است که این امر پایین افتادن سطح آب زیرزمینی در بیشتر نقاط دشت و خشک شدن پیزومترها و در نهایت تخریب آن‌ها را موجب شده است (مانند تخریب پیزومترهای بندرترکمن و شمال بندرترکمن در سال ۱۳۸۴). به تبع این اتفاق، بهره‌برداری از چاه‌های برخی نقاط از دشت گرگان ممنوع اعلام شد. همچنین با اجرای چند طرح تغذیه مصنوعی، افت سطح آب را تا حدودی جبران و متوقف شد که در نهایت با افزایش مقدار بارندگی، این بحران به طور موقت پشت سر گذاشته شد. به این ترتیب سطح آب زیرزمینی مجدداً در دشت گرگان طی سال‌های اخیر به نسبت افزایش داشته است هر چند که به سطح آب در سال ۱۳۶۲ نمی‌رسد. با این وجود، برخی نقاط هستند که بعد از سال ۱۳۸۴ نیز روند نزولی خود را ادامه دادند و در حال حاضر افت زیادی دارند، به طوری که می‌توان آن‌ها را نقاط بحرانی از لحاظ سطح آب در دشت گرگان بیان کرد.

همانطور که قبلاً اشاره شد، اگرچه به لحاظ افت سطح آب زیرزمینی، می‌توان منطقه مورد مطالعه را به سه قسمت تقسیم کرد، ولیکن غیریکنواختی در مقادیر افت در زون‌های مختلف مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر، تمام پیزومترهای قرار گرفته در محدوده‌ای با افت زیاد دارای افت بالا نیستند و تعدادی از آنها حتی افت اندک یا نزدیک به صفر دارند. این امر نشان دهنده این موضوع است که میزان افت سطح آب در دشت گرگان منطقه‌ای نیست و به صورت محلی (Local) می‌باشد و علت آن را می‌توان تمرکز برداشت در نقاطی خاص (نه در یک محدوده خاص) بیان کرد. شکل (۴-۲۳)، موقعیت نقاط با افت زیاد را در دشت نشان می‌دهد. برای روشن‌تر شدن موضوع، بهتر است پیزومترهای با افت بالا به صورت

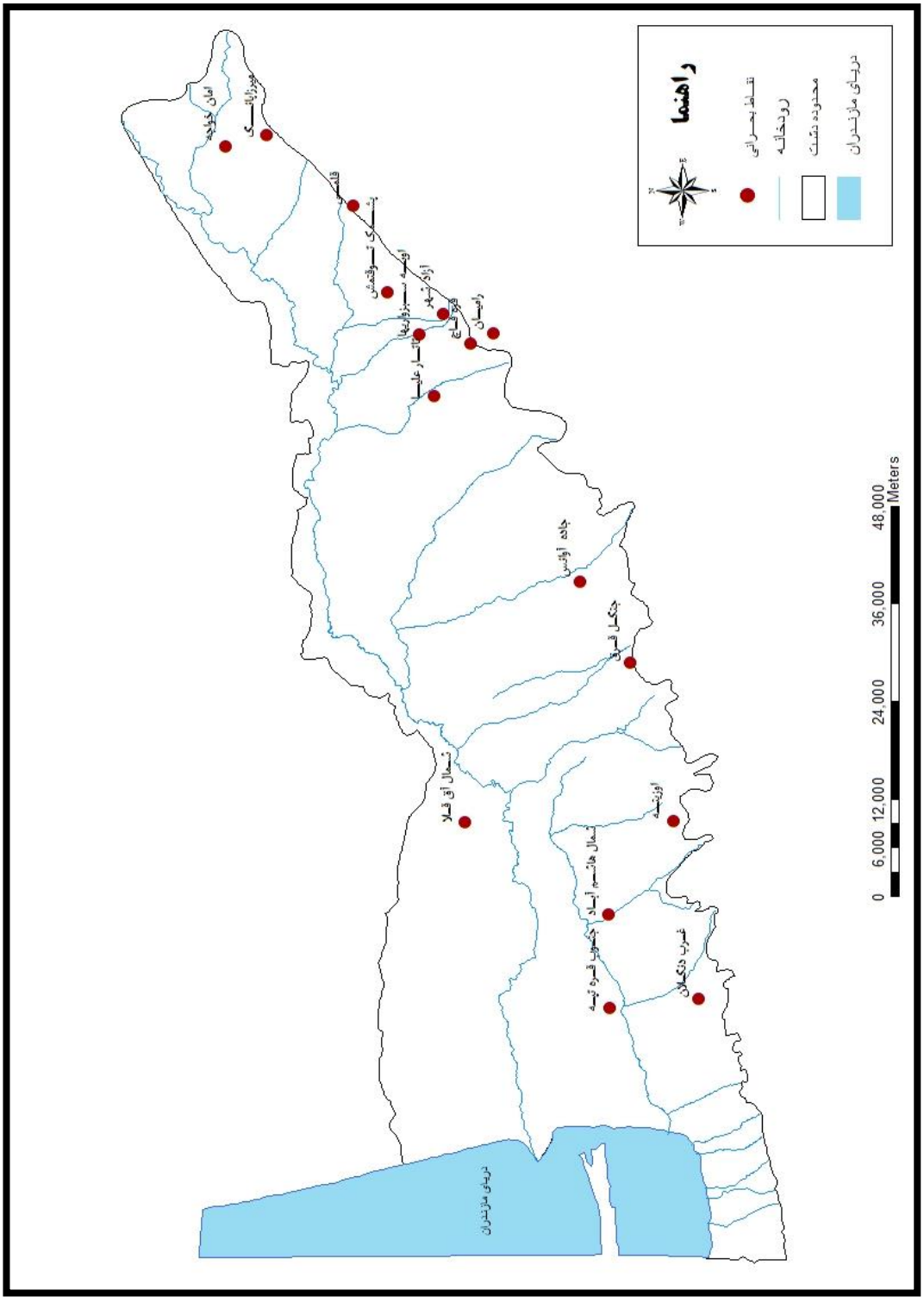
جداگانه بررسی شوند تا در صورت امکان علت اصلی افت در آنها مشخص گردد. تمامی این پیزومترها دارای افت بیشتر از ۵ متر در طول ۳۰ سال می‌باشند و می‌توان گفت که از لحاظ سطح آب در وضعیت بحرانی هستند (جدول ۴-۲).

جدول ۴-۲- مقدار افت تراز آب زیرزمینی در پیزومترهای با وضعیت بحرانی موجود در دشت

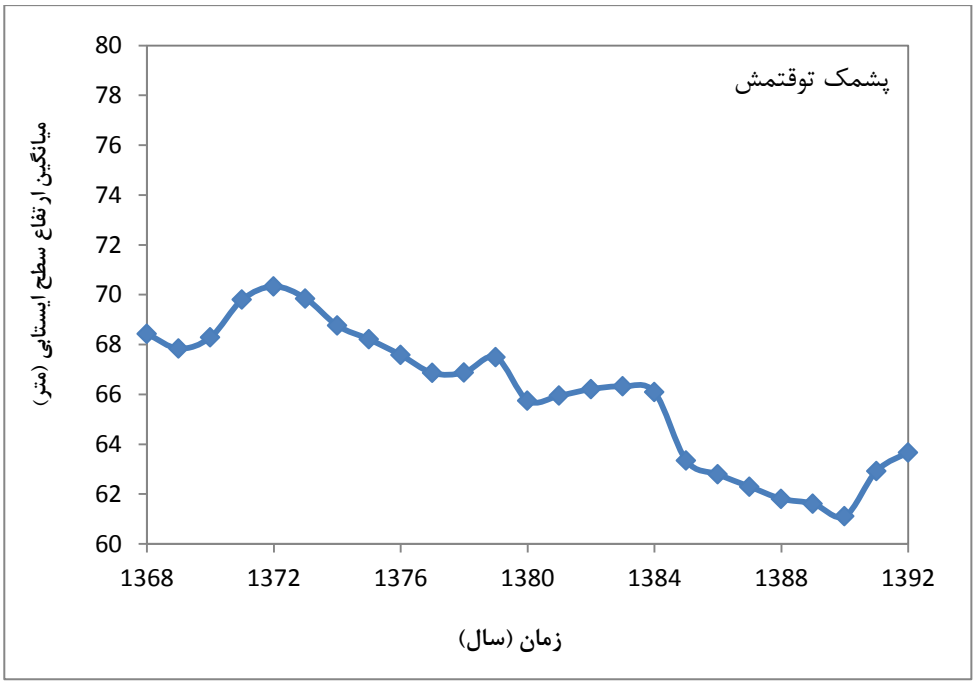
ردیف	نام پیزومتر	utmy	utmx	افت
۱	میرزاپانگ	4128722	359237	6.6
۲	امان خواجه	4133790	357863	5.1
۳	قلمی	4118137	350535	8.1
۴	پشمک توقتمش	4113891	339818	5.5
۵	آزاد شهر	4107013	337212	7.2
۶	رامیان	4100824	334865	7.8
۷	اوبه سبزواریها	4109945	334750	8.8
۸	قره قاچ	4103661	333529	6.2
۹	تاتار علیا	4108169	327095	6.1
۱۰	جاده آوانس	4090170	304190	12.7
۱۱	جنگل قرق	4084000	294287	10.1
۱۲	اوزینه	4078742	274745	15.6
۱۳	شمال آق قلا	4104382	274645	5.9
۱۴	شمال هاشم آباد	4086641	263322	6.8
۱۵	غرب دنگلان	4075538	252937	6.3
۱۶	جنوب قره تپه	4086605	251755	5.1

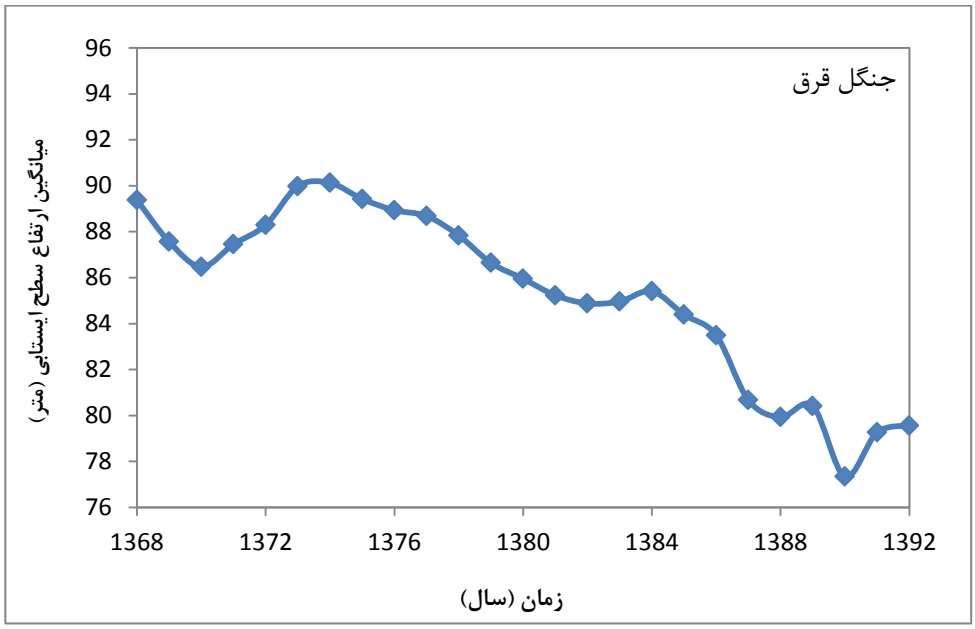
از نظر مکانی اکثر این نقاط در حاشیه جنوبی دشت و نزدیک به ارتفاعات قرار دارند. مطابق نقشه استان، این نقاط در شهرهای مینودشت، گالیکش، آزادشهر، رامیان، گرگان و اطراف آن پراکنده شده

است. به طور کلی این شهرها دارای زمین‌های زراعی وسیعی می‌باشند و شغل اصلی مردم در این شهرها، کشاورزی است. بنابراین، علت اصلی افت سطح آب زیرزمینی در این نقاط را می‌توان برداشت بیش از حد مجاز از چاه‌های بهره‌برداری برای آبیاری اراضی کشاورزی بیان نمود. همچنین رشد جمعیت در حاشیه جنوبی دشت و در مجاورت ارتفاعات در مقایسه با بقیه مناطق دشت بیشتر بوده و به علت کیفیت بالای آب زیرزمینی در این منطقه تأمین آب شرب از این بخش با رشد مضاعفی روبرو بوده است. نمودار میانگین ارتفاع سطح ایستابی در هر سال، برای هر یک از پیزومترهای فوق نیز، بیانگر کاهش شدید سطح آب در طول سال‌های اخیر در این نقاط است. تمامی این پیزومترها از سال ۱۳۶۲ تا حدود سال ۱۳۷۰ روند ثابت و متعادلی داشته و بعد از آن شروع به افت کرده است. در سایر پیزومترهای دشت نیز همین روند رخ داده است اما در آنها از یک سالی به بعد سطح آب رو به افزایش گذاشته است اما در پیزومترهای فوق افزایش سطح آب صورت نگرفته یا به مقدار قابل توجهی نبوده است. در برخی از این پیزومترها کاهش سطح آب تدریجی صورت گرفته که برای نمونه پیزومترهای پشمک توقتمش و جنگل قرق را می‌توان نام برد (شکل ۴-۲۴). اما در مواردی سطح آب ناگهانی افت داشته است که با فرض صحت آمار این پیزومترها، می‌توان به پیزومترهای اوزینه و جاده آوانس اشاره نمود (شکل ۴-۲۵). سطح آب زیرزمینی در پیزومتر جاده آوانس در سال ۱۳۸۵ یک افت ناگهانی داشته است که بررسی آمار عمق آب زیرزمینی در آن سال نشان می‌دهد که تراز آب از عمق ۳۰/۷ متری به ۴۶/۰۴ متری از سطح زمین سقوط کرده است. علت این امر احتمالاً به خاطر احداث چاه‌های بهره-برداری در محدوده این پیزومترها در سال ۱۳۸۴ می‌باشد. همچنین مشابه این اتفاق در پیزومتر اوزینه نیز رخ داده و عمق آب از ۱۱/۵ متری سطح زمین به ۲۶/۴ متری رسیده است. این امر سبب شد تا از سال ۱۳۸۹ پیزومتر قبلی مسدود و پیزومتر جدیدی در همان موقعیت حفر گردید اما این پیزومتر نیز افت داشته است.

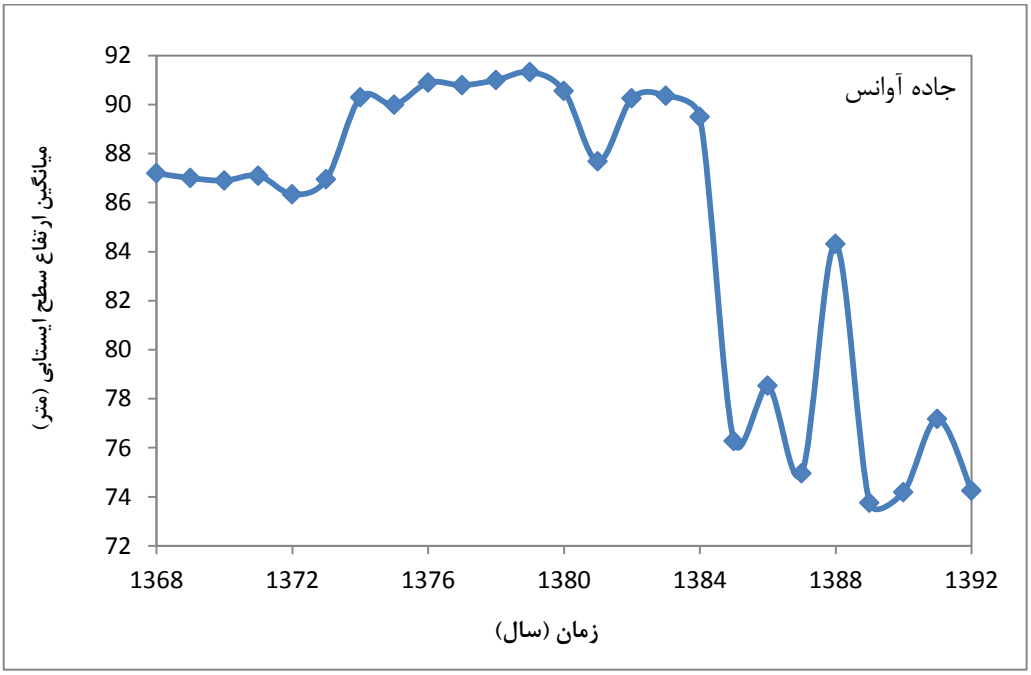


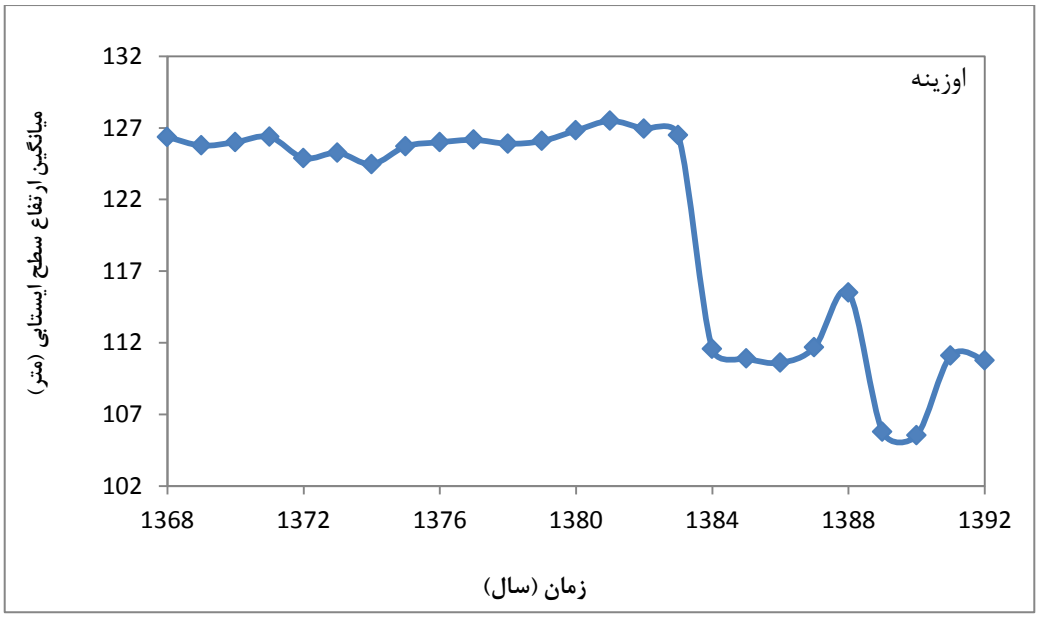
شکل ۴-۲۳- موقعیت نقاط با افت بالا در محدوده مورد مطالعه





شکل ۴-۲۴- پیزومترهای با روند افت تدریجی





شکل ۴-۲۵- پیزومترهای با افت ناگهانی

۴-۶- ارائه راهکارها

براساس مطالعات انجام شده در استان گلستان، بیش از ۹۰ درصد از آب‌های زیرزمینی استخراج شده در این استان در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. بهره‌برداری زیاد از آب‌های زیرزمینی در بخش کشاورزی اگرچه سبب افزایش سطح زیرکشت و تولیدات کشاورزی شده است اما موجب پائین افتادن سطح آبهای زیرزمینی در برخی از مناطق شده است. پائین افتادن سطح آبهای زیرزمینی باعث مشکلات عدیده‌ای می‌شود که مهمترین آنها عبارتند از:

۱- کاهش آبدهی چاه‌های بهره‌برداری و در نتیجه کاهش فرصت‌های شغلی در بخش کشاورزی.

۲- نشست زمین در رسوبات آبرفتی به علت افزایش فشار بین ذره‌ای

۳- افزایش هزینه‌های پمپاژ

۴- هجوم آبهای شور به سمت آبخوان مورد نظر

۵- کاهش کیفیت آبهای زیرزمینی

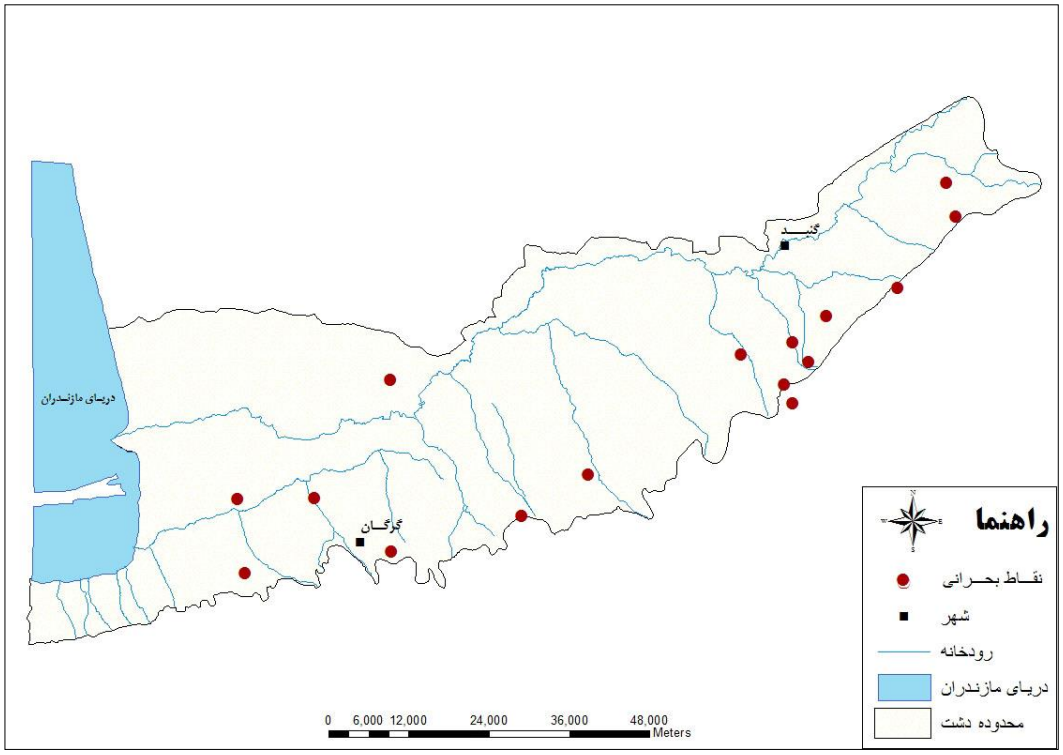
۶- خشک شدن چاه‌های بهره‌برداری

موارد فوق برخی از پیامدهای ناشی از افت آبهای زیرزمینی بود. رهایی از این بحران امکان‌پذیر نخواهد بود مگر اینکه قبل از بروز فاجعه با برنامه‌ریزی صحیح و اعمال روش‌های مدیریتی در بهره‌برداری صحیح از آبهای زیرزمینی گام‌های اساسی برداشته شود.

۴-۶-۱- طرح‌های تغذیه مصنوعی برای کاهش افت در نقاط بحرانی

یکی از راه‌های سازه‌ای تعادل‌بخشی و حفاظت از منابع آب‌های زیرزمینی، احداث طرح‌های تغذیه مصنوعی (Artificial recharge) است. وارد کردن آب به داخل لایه‌های آبرفتی و خلل و فرج مخازن زیرزمینی، با احداث سازه‌های مختلف را تغذیه مصنوعی گویند. طرح‌های تغذیه مصنوعی متشکل از

تعدادی سازه از جمله سدهای انحرافی، کانال‌های آبرسان، حوضچه‌های ترسیب، حوضچه‌های تغذیه و چاه‌های جاذب و تزریقی می‌باشد که از طریق این سازه‌ها آب‌های سطحی مازاد در فصول پرآبی و غیرزراعی جمع‌آوری و ذخیره گردیده و به تدریج به داخل سفره‌های آب زیرزمینی نفوذ داده می‌شوند. پروژه‌های تغذیه مصنوعی با هدف‌هایی مانند جبران افت، کسری مخزن و اضافه برداشت از سفره‌های آب‌های زیرزمینی، جلوگیری از پیشروی آب شور ناشی از پایین رفتن سطح آب های زیرزمینی، کنترل سیلاب و جلوگیری از بروز خسارات احتمالی و هم‌چنین جلوگیری از خروج آب‌های سطحی مازاد در فصول غیرزراعی و استفاده بهینه از آنها اجرا می‌شوند. همانطور که قبلاً بیان گردید، مقدار افت در دشت گرگان یکنواخت نیست و در برخی از نقاط مقدار افت به میزان چشمگیری بالاست. بدین ترتیب برای اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی این نقاط دارای الویت بیشتری می‌باشند و به این منظور طرح‌های کوتاه مدت باید مدنظر قرار بگیرند. با توجه به شکل (۴-۲۶)، این نقاط بیشتر در نواحی جنوبی دشت قرار گرفته و برای کاهش مقدار افت در آنها نیاز است که طرح‌های تغذیه مصنوعی در بالادست این نقاط اجرا شوند.



شکل ۴-۲۶- موقعیت نقاط بحرانی در دشت گرگان (مشابه شکل ۴-۲۱، ارائه شده در همین فصل)

روش‌های تغذیه مصنوعی بسیار متنوع هستند که روش‌های پخش آب در سطح زمین، استفاده از گودال‌های طبیعی جهت نفوذ آب، استفاده از حوضچه‌های تغذیه، افزایش نفوذ طبیعی آب در بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها، تزریق آب به آبخوان‌ها توسط چاه‌های تزریقی و ایجاد کانال افقی در زمین از برجسته‌ترین آنها هستند. از بین این روش‌ها، با توجه به محلی بودن محدوده‌های با افت بالا، روش‌های تزریق آب به درون چاه‌ها، حوضچه‌های تغذیه و کانال‌های تغذیه مناسب‌ترند.

۴- ۶- ۲- سایر راهکارها

در زمینه جلوگیری از بحران آب، تاکنون پیشنهادهای مختلفی توسط کارشناسان ارائه شده است، اما برای انتخاب راهکارهای مدیریتی مناسب، ابتدا باید به عوامل اصلی افت سطح آب زیرزمینی در منطقه

توجه کرد. بهره‌برداری بیش از حد تعادل سفره و حفر چاه‌های غیرمجاز از جمله عوامل مهم افت سطح آب زیرزمینی دشت گرگان محسوب می‌شوند. لذا پیش‌بینی می‌شود با انجام موارد زیر بتوان تا حدودی جلوی بحران افت سطح آب زیرزمینی را در دشت گرفت و یا حداقل از تشدید آن جلوگیری کرد:

۱- تمرکززدایی از چاهای بهره‌برداری

۲- عدم صدور مجوزهای حفاری جدید

۳- جلوگیری از ساخت و ساز در مناطق تغذیه سفره

۴- نصب کنتورهای هوشمند و اعمال نظارت بر مقدار برداشت از چاه‌های مجاز

۵- تغییر الگوی کشت، یعنی جایگزین کردن محصولات با نیاز آبی کمتر به جای محصولات پرمصرف

۶- توسعه صنایع به ویژه صنایع تبدیلی در استان و تخصیص آب باقیمانده به آن‌ها

۷- به کار بستن مدیریت صحیح در منابع و مصرف آب

۸- یافتن راهکارهای مناسب درجهت تعادل بخشی آبخوان‌ها، به ویژه در زمینه مهار و کنترل برداشت از یک سو و تغذیه مصنوعی از سوی دیگر

۹- اطلاع رسانی به مصرف کنندگان اصلی آب (یعنی کشاورزان)، درباره‌ی بحران به وجود آمده و ریشه-یابی آن در چارچوب برنامه‌های متعدد. این اطلاع رسانی بایستی به طرق مختلف و با وسایل گوناگون انجام شود به نحوی که بتوان با یک بسیج عمومی برای برون رفت از بحران اقدامات اساسی انجام داد. زیرا در کاری چنین مهم و بزرگ پشتیبانی آگاهانه همه مردم به ویژه مصرف‌کنندگان اصلی آب الزامی است.

۴- ۶- ۳- اقدامات انجام شده در استان گلستان

به منظور حفاظت از طرح‌های آبرسانی به شهرهای واقع در دشت گرگان از سال ۱۳۷۱ در راستای اجرای طرح‌های مذکور، ممنوعیت بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی به عمل آمده است. علت

ممنوعیت توسعه بهره‌برداری، افت عمق سطح آب زیرزمینی در میادین آب شرب و ایجاد حریم مناسب جهت تأمین آب شهرها می‌باشد.

نواحی از دشت که جهت تأمین آب شرب ممنوعه گردیده‌اند شامل کلاله (۳۲/۵ کیلومترمربع)، آزادشهر و رامیان (۴۷ کیلومترمربع)، گنبد و مینودشت (۷۵/۵ کیلومترمربع)، گالیکش (۲۹/۵ کیلومترمربع)، خان‌ببین (۲۵ کیلومتر مربع)، علی‌آبادکتول (۳۶ کیلومترمربع) و کردکوی- گرگان (۳۰۵/۹۲ کیلومترمربع) می‌باشد (مهندسین مشاور کنکاش عمران ۱۳۸۵).

در محدوده مطالعاتی گرگان تاکنون تعداد ۵ طرح تغذیه مصنوعی در سطح شهرهای بندرگز، گرگان و رامیان، شامل پروژه‌های جفاکنده، استون‌آباد، انجیراب- کلو، قرن‌آباد و شفیع‌آباد احداث و در حال بهره‌برداری است. پروژه‌های تغذیه مصنوعی دیگری نیز در ورودی سرشاخه‌های رودخانه‌های گرگانرود و قره‌سو به دشت گرگان در دست مطالعه (فازهای اول و دوم مطالعات) می‌باشند (مهندسین مشاور کنکاش عمران ۱۳۸۵). اجرای این پروژه‌ها دردامنه ارتفاعات مشرف بر دشت گرگان این امکان را فراهم خواهد آورد تا سفره آب زیرزمینی عمیق که در دهه‌های اخیر تحت بهره‌برداری سنگین قرار گرفته‌اند، تغذیه شده و توان و پتانسیل خود را حفظ نمای

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این فصل به طور مختصر به بیان نتایج حاصل بررسی داده‌های حاصل از پیزومترهای دشت گرگان طی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۲، پرداخته می‌شود. همچنین پیشنهادها و راهکارهایی را جهت پایش دقیق‌تر این منابع آبی، به منظور حفظ و مدیریت بهینه آنها ارائه می‌نماید.

۵- ۱- نتیجه‌گیری

۵- ۱- ۱- ارزیابی گرادیان هیدرولیکی و مناطق عمده تغذیه و تخلیه دشت

بررسی نقشه هم‌پتانسیل آبخوان دشت گرگان نشان داد که بالاترین تراز آب زیرزمینی منطبق بر نواحی شرقی و جنوبی دشت می‌باشد (منطقه تغذیه) و با پیشروی به سمت غرب و دریای مازندران از تراز آب کاسته شده و در نوار ساحلی کمترین مقدار خود را دارا است (منطقه تخلیه). نتایج نشان می‌دهد که منشأ اصلی تغذیه دشت گرگان را جریانات شکل گرفته از ارتفاعات جنوبی، تشکیل می‌دهد. اگر دشت به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم شود، در نیمه‌ی شمالی دشت گرگان منحنی‌های تراز آب تقریباً دارای روند شرقی- غربی بوده و در نیمه‌ی جنوبی، رقوم آنها از جنوب به سمت شمال کاهش می‌یابد. جهت کلی جریان آب زیرزمینی در آبخوان دشت گرگان، هم‌روند با جریانات سطحی این دشت و از جنوب به سمت شمال و از شرق و جنوب شرق به سمت غرب می‌باشد. گرادیان هیدرولیکی در دشت، یکنواخت نیست به

طوری که بیشترین میزان گرادیان هیدرولیکی در نواحی جنوبی دشت و در منطقه تغذیه می‌باشد و به سمت شمال و شمال شرقی دشت گرادیان هیدرولیکی کاهش یافته است.

۵- ۱- ۲- بررسی تغییرات زمانی سطح آب در منطقه مورد مطالعه

بررسی هیدروگراف معرف دشت گرگان نشان داد که سطح آب در این دشت در سال ۱۳۶۴ و ۱۳۶۸ در تراز بیشتری قرار داشته است. به طور کلی سطح ایستابی از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۸ با یک نوسان، روند صعودی داشته و به میزان ۶/۵۷ متر بالا آمده است. پس از آن یعنی از سال ۱۳۶۸ تا سال ۱۳۸۰ سطح آب روند نزولی را طی کرده است به گونه‌ای که طی این مدت سطح آب زیرزمینی با ۱۲/۲۳ متر افت، از تراز ۳۷/۲۱ متر در اسفند ماه ۱۳۶۸ به تراز ۲۴/۹۸ متر در اسفند ماه ۱۳۸۰ رسیده است که علت آن را می‌توان به افت سطح آب زیرزمینی در اثر خشکسالی رخ داده در منطقه در آن زمان و افزایش برداشت از چاه‌های بهره‌برداری دانست. اما مجدداً از سال ۱۳۸۰ سطح آب رو به افزایش گذاشت و نهایتاً به تراز ۲۹/۵۷ متر در سال ۱۳۹۲ می‌رسد. از مقایسه تغییرات سطح آب با بارندگی منطقه، مشخص می‌شود که سطح آب در منطقه تاحدودی متأثر از میزان بارندگی است و با افزایش یا کاهش آن تغییر می‌کند. با توجه به روند کلی سطح آب منطقه بین داده‌های سال ۱۳۶۲ و ۱۳۹۲ یک افت اندک به مقدار یک متر، مشاهده می‌شود که حاکی از تعادل سطح آب زیرزمینی در بلند مدت می‌باشد.

۵- ۱- ۳- نتایج حاصل از بررسی هیدروگراف دشت در بخش‌های مختلف

هیدروگراف مربوط به بخش با افت کمتر نشان داد که سطح آب زیرزمینی تا سال ۱۳۷۰ با چند نوسان روند صعودی داشته و از تراز ۹/۲۶- متر در اسفند ماه سال ۱۳۶۲ به تراز ۷/۹۴- متر در اسفند ماه سال ۱۳۷۰ رسیده است ولی از سال ۱۳۷۰ به بعد سطح آب روند صعودی نسبتاً یکنواختی داشته و به تراز ۵/۸۹- متر در اسفند ماه سال ۱۳۹۲رسیده است. افزایش ۳ متری سطح آب در این بخش را می‌توان به کمتر بودن پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری به دلیل شوری آب زیرزمینی و همچنین بیشتر بودن میزان بارندگی در این منطقه بیان کرد.

هیدروگراف مربوط به بخشی از دشت که دارای افت متوسط است، شباهت قابل توجهی با هیدروگراف کلی دشت دارد. بدین صورت که ابتدا سطح آب از سال ۱۳۶۲ تا سال ۱۳۷۰ با یک نوسان از تراز ۱۷/۳۳ متر به تراز ۲۳/۳۴ متر که بیشترین تراز در این هیدروگراف است، رسیده است. سپس از سال ۱۳۷۰ تا سال ۱۳۷۹ سطح آب روند نزولی را طی کرده و با افتی حدوداً ۵ متری به تراز ۱۸/۱۷ متر رسیده است پس از آن مجدداً با پشت سر گذاشتن خشکسالی، سطح آب بالا آمده و به تراز ۲۱/۱ متر رسیده است. هیدروگراف سوم که مربوط به زون با افت بالا بود نشان داد که طی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۶ سطح آب روند صعودی داشته به طوری که سطح ایستابی در سال ۱۳۶۶ با حدود ۷ متر افزایش، به بالاترین تراز در این هیدروگراف یعنی ۸۶/۶۳ متر می‌رسد. سپس سطح آب با افتی حدوداً ۱۲ متری (با نرخ ۴ متر بر سال) در سال ۱۳۶۹ به تراز ۷۳/۳۲ متر می‌رسد. علت آن را می‌توان اختلاف زیاد بین سطح آب در این بخش از دشت دانست و علاوه بر آن می‌توان افزایش ۲۴۵ میلی‌متری بارندگی در سال ۱۳۶۶ و دوباره کاهش ۲۵۴ میلی‌متری آن در سال ۱۳۶۸ دانست.

همانطور که مشخص است، در تمامی هیدروگراف‌های ترسیم شده، ابتدا شاهد یک روند صعودی در اوایل نمودار هستیم که علت آن را می‌توان کاهش بهره‌برداری از آب زیرزمینی و همچنین افزایش میزان بارندگی در این زمان دانست. در ادامه در دهه دوم سطح آب زیرزمینی افت زیادی داشته است که طبق گزارشات آب منطقه‌ای استان گلستان، علت این افت، خشکسالی رخ داده در این سال‌ها و به دنبال آن برداشت بیش از حد از چاه‌های بهره‌برداری می‌باشد. در نهایت با پشت سر گذاشتن خشکسالی، مجدداً سطح آب افزایش می‌یابد.

۵- ۱- ۴- ارزیابی تأثیر رودخانه‌های اصلی بر پارامترهای هیدروژئولوژیکی دشت گرگان

عمده‌ترین اثری که رودخانه‌های منطقه بر روی هیدروژئولوژی دشت گرگان گذاشته‌اند، انحراف خطوط هم‌پتانسیل از روند عادی آنها می‌باشد. به این ترتیب که در برخی موارد رودخانه‌ها از نوع رودخانه‌های

آبگیر بوده و باعث می‌شوند که خطوط هم‌پتانسیل به سمت بالادست رودخانه تقعر پیدا کنند (مانند رودخانه‌ی قره‌چای). در مواردی هم رودخانه‌ها از نوع رودخانه‌های آبرسان می‌باشند و چنین شرایطی باعث شده است که خطوط هم‌پتانسیل به سمت پائین‌دست رودخانه تقعر پیدا کنند (مانند رودخانه‌ی زرین‌گل). در برخی از هم رودخانه‌ها نه آبرسان هستند و نه آبگیر و تأثیری بر روی خطوط هم‌پتانسیل ایجاد نکرده‌اند (مانند رودخانه‌ی نرماب).

لازم به ذکر است که باتوجه به وسعت بسیار زیاد دشت گرگان که حدود ۵۰۰۰ کیلومترمربع می‌باشد و نقشه با مقیاس بسیار کوچکی رسم می‌شود و همچنین تعداد پیزومترها که در این وسعت زیاد نسبتاً کم می‌باشند، بنابراین اثر رودخانه بر روی خطوط هم‌پتانسیل و همچنین موارد هیدروژئولوژیکی دیگر، نظیر مقدار افت و نوسانات سطح آب زیرزمینی به خوبی قابل تشخیص نیست.

در مورد اثر رودخانه‌ها بر روی گرادیان هیدرولیکی، با توجه به نقشه هم‌پتانسیل مشاهده می‌شود که مقدار گرادیان در مسیر رودخانه کم و در اطراف آن به نسبت بیشتر می‌باشد. بنابراین می‌توان بیان نمود که رودخانه‌ها باعث کم شدن مقدار گرادیان هیدرولیکی در محدوده مجاور خود شده‌اند.

۵- ۱- ۶- نتایج حاصل از بررسی افت سطح آب زیرزمینی در دشت گرگان

بررسی نقشه افت دشت گرگان نشان داد که بیشترین مقدار افت آب زیرزمینی در نوار جنوبی دشت می‌باشد که علت آن را می‌توان علاوه بر برداشت زیاد آب از چاه‌ها به دلیل نزدیک بودن به مناطق شهری، به برخی از شرایط محلی از قبیل نزدیکی پیزومترهای این منطقه به ارتفاعات و قرارگیری آنها در مرز ورودی آبخوان دانست.

به همین ترتیب با بالا رفتن و در میانه‌های دشت افت کاهش یافته و در نواحی شمالی و حاشیه دریای مازندران میزان افت بسیار کم می‌شود. با توجه به اندازه‌گیری‌ها، متوسط حداکثر افت (بالای ۱۰ متر) در طول ۳۰ سال حدود ۱۲/۸ متر، حداقل آن (کمتر از یک متر) حدود ۰/۶ متر و میانگین افت در

دشت ۲/۸ متر بوده است، یعنی سطح آب زیرزمینی در دشت گرگان به طور متوسط سالیانه افتی در حدود ۱۴ سانتی‌متر داشته است.

همانطور که قبلاً بیان شد دشت گرگان به لحاظ مقدار افت به سه زون (افت بالا، افت متوسط و افت اندک) تقسیم شد. متوسط افت برای هر یک از زون‌ها محاسبه شده است که میزان آن در زون یک (افت بالا) ۷/۷۴ متر، در زون ۲ (افت متوسط) ۲/۹۴ متر و در زون ۳ به میزان ۱/۱۸ متر می‌باشد.

۵- ۲- پیشنهادها

- ❖ با توجه به وسعت زیاد دشت و عدم کفایت پیزومترهای موجود، لازم است با عنایت به نقشه هم-پتانسیل موجود، مکان‌های مناسب حفر پیزومترهای جدید پیشنهاد شود.
- ❖ مدیریت برداشت در محل‌هایی که افت نقطه‌ای زیاد است، صورت بگیرد.
- ❖ به عنوان تکمیل مطالعات صورت گرفته در این پژوهش، می‌توان سایر مطالعات نظیر کیفی، ایزوتوپی، تأثیرات هواشناسی بر سطح آب زیرزمینی و هیدرولوژی دشت را نیز مورد بررسی قرار داد.

منابع

۱. آشتیانی‌مقدم ق. احمدی م.ض. خلقی م. و صفائیان ن، (۱۳۸۲) "مدل تغذیه مصنوعی دشت ناز ساری به منظور جلوگیری از پیشروی آب شور" **پژوهش‌نامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر**، سال اول، شماره ۴، ص ۵۸- ۴۸.

۲. آل‌خمیس ر. کریمی‌نسب س. و فرزاد آ، (۱۳۸۵) "بررسی تأثیر نشست حاصل از تخلیه آب زیرزمینی بر تخریب لوله جدار" **نشریه آب و فاضلاب**، دوره ۱۷، شماره پیاپی ۶۰، ص ۸۷- ۷۷.

۳. ابراهیمی ف. کرمی غ.ح. و حافظی‌مقدس ن، (۱۳۸۹) "مکان‌یابی محل مناسب تغذیه مصنوعی در شهرستان شاهرود" چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط‌زیست.

۴. ابراهیمی ن. قدیمی ف. و وفاخواه م، (۱۳۷۸) "بررسی بحران منابع آب دشت زرند ساوه" مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس تهران، جلد دوم.

۵. اکبری م. جرگه م.ر. و مدنی ح، (۱۳۸۸) "بررسی افت سطح آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: آبخوان دشت مشهد)" **مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک**، جلد شانزدهم، شماره چهارم، ص ۷۸-۶۳.

۶. اکرامی م. شریفی ذ. ملکی‌نژاد ح. و اختصاصی م.ر، (۱۳۹۰) "بررسی روند تغییرات کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان در دهه ۱۳۸۸- ۱۳۷۸" **فصلنامه علمی پژوهشی طلوع بهداشت**، دانشکده بهداشت یزد، سال دهم، شماره دوم و سوم، ص ۹۱-۸۲.

۷. امیرحسینی م. و کاظمی غ.م، (۱۳۹۲) "بررسی تغییرات ۲۰ ساله‌ی (۱۳۹۲-۱۳۷۲) سطح و شیمی آب زیرزمینی آبخوان دشت دامغان" پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود، ص ۱۲۹.

۸. امیری م، (۱۳۸۴) "ارتباط بین فروچاله‌های دشت فامنین- کبودرآهنگ- قهاوند با سنگ کف منطقه" **نشریه علوم زمین**، دوره ۱۵، شماره ۵۸، ص ۱۴۷- ۱۳۴.

۹. امیری و. نخعی م. موسایی ف. و سوری س، (۱۳۸۹) "بررسی افت سطح آب زیرزمینی آبخوان کوهدشت در محیط GIS" همایش ملی آب با رویکرد آب پاک، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور).

۱۰. بخردی‌پور ک. و قاسمیه ه، (۱۳۸۹) "استفاده از آب‌های نامتعارف در مدیریت بحران آب (مطالعه موردی: دشت کاشان)" پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان.

۱۱. بساکی م. کرمی غ.ح. و حافظی‌مقدس ن، (۱۳۸۹) "بررسی نفوذ آب شور دریای خزر در آبخوان کردکوی" همایش ملی آب پاک، تهران، دانشگاه صنعت آب و برق.

۱۲. بهادران ب، (۱۳۷۱) "درز و شکاف‌های دشت مهیار شمالی " **نشریه تحقیقات جغرافیایی**، دوره ۷، شماره پیاپی ۲۷.

۱۳. ترابی ع، (۱۳۸۷) "بررسی روند شور شدن آبهای زیرزمینی شمال دشت کاشان" **مجله بیابان**، شماره ۴، ص ۲۲.

۱۴. تندیسه ز. حافظی‌مقدس ن. و کرمی غ.ح، (۱۳۹۱) "ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان: مطالعه موردی شهر مشهد" شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، شیراز، انجمن زمین-شناسی ایران، دانشگاه شیراز.

۱۵. جاویدی م. کرمی غ.ح. و محمدی ض، (۱۳۹۰) "بررسی هیدروژئولوژیکی دشت سعادت‌شهر در استان فارس" هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۱۶. جعفری عظیم‌آبادی ه. (۱۳۹۰) "بررسی کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی در ارتباط با افت سطح ایستابی ناشی از پمپاژ" آبخوان هرات در استان یزد، هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۱۷. حیدرپور ج، (۱۳۶۹) "تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی" مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۲۲۵ صفحه.

۱۸. خسروپناه ا. کرمی غ.ح. و جیحونی س، (۱۳۹۰) "تاثیرات برداشت بی‌رویه از آبهای زیرزمینی و پدیده فرونشست در دشت سملقان" هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۱۹. خسروی خ. حبیب‌نژاد م. سلیمانی ک. و بابایی خ، (۱۳۹۱) "ارزیابی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک بر پایه GIS (منطقه مورد مطالعه: دشت دهگلان، استان کردستان)" **پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز**، سال سوم، شماره ۵، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ص ۶۲-۴۲.

۲۰. درویش‌پور ا. کرمی غ.ح. و فاضلی ع، (۱۳۹۰) "بررسی هیدروژئولوژیکی دشت شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری" پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران، انجمن زمین-شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم.

۲۱. دیانتی تیلیکی ر، (۱۳۸۸) بررسی روند تغییرات هدایت الکتریکی و سختی آب‌های زیرزمینی در منطقه ساحلی شهرستان ساری دوازدهمین همایش بهداشت محیط ایران، ۱۴ صفحه.

۲۲. رزاق منش م. سالمی ت. و سراجی م، (۱۳۸۵) "بررسی کمی و کیفی آبهای زیرزمینی دشت تبریز" همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲۳. رضایی م. و سرگزی ا، (۱۳۸۸) "بررسی اجرای تغذیه مصنوعی بر روی آبخوان دشت گوهرکوه" **مجله علوم زمین**، تابستان ۸۹، سال نوزدهم، شماره ۷۶، ص ۱۰۶- ۹۹.

۲۴. ساروی م. نوری ب. غیومیان ج. درویش‌صفت ع.ا. و فیض‌نیا س، (۱۳۸۲)" تعیین مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی به روش حوضچه‌های تغذیه با استفاده از GIS " **نشریه منابع طبیعی ایران**، دوره ۵۷، شماره ۴، ص ۶۴۷- ۶۳۵.

۲۵. شاهی‌دشت ع. و عباس‌نژاد ا، (۱۳۸۹) "ارزیابی اثرات زیست‌محیطی افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت زرند و ارائه راهکارهای مدیریتی" **مجله پژوهش آب ایران**، شماره ۷، ص ۱۲۴- ۱۱۹.

۲۶. شرکت سهامی آب منطقه‌ای گلستان، مهندسین مشاور کنکاش معاش، (۱۳۸۷) "گزارش بهنگام سازی تلفیق مطالعات منابع آب حوضه آبگیر قره‌سو و گرگانرود"

۲۷. شمشکی ا.، بلورچی م.ج. و انتظام ا، (۱۳۸۴) "فرونشست زمین در دشت تهران و عوامل مؤثر در شکل‌گیری آن" چکیده مقالات بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین.

۲۸. شمعانیان غ.ح. رقیمی م. یخکشی ا. احمدی م.ح. یارمحمدی م. دهقان ح، (۱۳۸۴) "هیدروژئوشیمی منابع آب زیرزمینی در حوزه آبریز گرگانرود- قره‌سو، استان گلستان" مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.

۲۹. صفری ع.ا. و کمالی غ، (۱۳۹۲) "بررسی و تحلیل لایه‌های آبدار در دشت ورزنه" **مجله پژوهش آب ایران**، سال هفتم، شماره سیزدهم، ص ۱۶۶- ۱۵۷.

۳۰. عباس‌پور م. و عنایی ف، (۱۳۸۰) بحران‌های زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی توسعه پایدار در ایران مجموعه مقالات اولین همایش ملی بحران‌های زیست‌محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات اهواز، ص ۲۱۵- ۲۰۲.

۳۱. عباس‌نژاد ا. و شاهی‌دشت ع، (۱۳۹۱) "بررسی آسیب‌پذیری دشت سیرجان با توجه به برداشت بی-رویه از سفره آب زیرزمینی منطقه" **مجله جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای**، شماره هفت، ص ۹۶-۸۵.

۳۲. عبدی پ. امینی ع. و اخروی ر، (۱۳۷۹) "بررسی وضعیت منابع آب دشت زنجان و ارائه راهکارهایی برای مقابله با کم آبی و خشکسالی منطقه" مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی، کرمان، جلد دوم.

۳۳. عطایی ه. و قادری ن، (۱۳۹۰) "بررسی رابطه بین نوسانات اقلیمی با تراز آبخانه دهگلان" **فصلنامه تحقیقات جغرافیایی**، سال ۲۶، شماره ۱۰۳، ص ۲۰۸- ۱۸۷.

۳۴. عطایی‌زاده س. و چیت‌سازان م، (۱۳۸۷) "امکان‌سنجی تغذیه مصنوعی با استفاده از تکنیک‌های GIS" همایش ژئوماتیک ۸۷، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.

۳۵. غلامی‌نهوجی ا. و کرمی غ.ح، (۱۳۹۳) "بررسی میزان افت آبخوان دشت اردستان" استان اصفهان، اولین کنفرانس بین المللی یافته‌های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط-زیست، بصورت الکترونیکی، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین.

۳۶. فاتحی‌مرج ا. طائی‌سمیرمی م. و میرنیا خ، (۱۳۸۶) "بررسی اثرات تغذیه منصنوعی بر توزیع زمانی و مکانی خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک با استفاده از شاخص حالت پیزومتریک (مطالعه موردی: دشت گربایگان، استان فارس)" **مجله تحقیقات منابع آب ایران**، سال هشتم، شماره پیاپی ۲۳، ص ۹۰- ۸۶.

۳۷. فاطمی‌عقدا م. نخعی م. بیت‌اللهی ع. و علیاری ع، (۱۳۸۳) "بررسی مکانیزم تشکیل فروچاله‌های دشت مرکزی همدان" دومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، جلد دوم، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

۳۸. فتونت‌اسکندری آ. و کرمی غ.ح، (۱۳۸۸) "پیش‌بینی فرونشست دشت شهریار با استفاده از نرم‌افزار PMWIN" اولین کنفرانس بین المللی مدیریت منابع آب، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۳۹. فلاح س. قبادی‌نیا م. شکرگزار دارابی م. و قربانی دشتکی ش، (۱۳۹۱) "بررسی پایداری منابع آب زیرزمینی دشت داراب استان فارس" **مجله پژوهش آب در کشاورزی**، جلد ۲۶، شماره ۲، ص ۱۷۲-۱۶۱.

۴۰. قوردویی‌میلان, م. و کرمی غ.ح، (۱۳۹۲) "ارزیابی اثرات کمی طرح تغذیه مصنوعی خوی" هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴۱. کتیبه ه. و حافظی س، (۱۳۸۳) "بکارگیری مدل Modflow مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و ارزیابی عملکرد طرح‌های تغذیه مصنوعی دشت آب باریک بم" **مجله آب و فاضلاب**، شماره ۵۰، ص ۴۵- ۵۸.

۴۲. کردوانی پ، (۱۳۷۴) "ژئوهیدرولوژی" انتشارات دانشگاه تهران.

۴۳. کرمی غ.ح. آرمان‌پور س. و طباطبایی ا، (۱۳۸۷) "بررسی منابع آب و آلاینده‌های منابع (مطالعه موردی حوضه گرگانرود)" طرح تحقیقات کاربردی شرکت آب منطقه‌ای گلستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی.

۴۴. کوهستانی ن. مفتاح م. دهقانی ا. یخکشی ا. و جهانی ن، (۱۳۸۸) "تأثیر تغییرات اقلیمی بر روی سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: منطقه نرماب استان گلستان)" همایش ملی مدیریت بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

۴۵. لشکری‌پور غ.ر. غفوری م. کاظمی گلیان ر. و دم‌شناس م، (۱۳۸۹) "نشست زمین در اثر افت سطح آبهای زیرزمینی در دشت نیشابور" کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران.

۴۶. لشکری‌پور غ.ر. کاظمی‌گلیان ر. و میرشاهی م، "بررسی تأثیر افت سطح آب زیرزمینی بر روی کیفیت آن در دشت فریمان- تربت‌جام" مجموعه مقالات اولین کنگره زمین‌شناسی کاربردی ایران، مشهد. جلد دوم.

۴۷. محمدی قلعه‌نی م. ابراهیمی ک. و عراقی‌نژاد ش، (۱۳۹۰) "ارزیابی تأثیر عوامل اقلیمی بر افت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان دشت ساوه)" **مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک**، جلد نوزدهم، شماره چهارم، ص ۲۰۰-۱۸۹.

۴۸. محمدی قلعه‌نی م. ابراهیمی ک. و عراقی‌نژاد ش، (۱۳۹۰) "ارزیابی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان‌های ساوه و اراک)" **مجله دانش آب و خاک**، جلد بیست و یکم، شماره دوم، ص ۱۰۸- ۹۳.

۴۹. مداح م. غفوری م. لشکری‌پور غ.ر. و افشار س، (۱۳۹۱) "بررسی پدیده نشست زمین و تأثیر آن بر روی گسیختگی لوله‌های جدار چاه‌های آب در محدوده شهر مشهد با استفاده از پهنه‌بندی تغییرات دانه‌بندی لایه‌های زمین" **فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب**، سال چهارم، شماره سیزدهم، ص ۵۶-۶۶.

۵۰. مرتضوی م. سلیمانی ک. و غفاری ف، (۱۳۸۹) "مدیریت منابع آب و توسعه پایدار، مطالعه موردی: دشت رفسنجان" **مجله آب و فاضلاب**، شماره ۲، ص ۱۳۱-۱۲۶.

۵۱. مرندی م. و واعظی‌نژاد م، (۱۳۸۸) "برداشت بی رویه آبهای زیرزمینی و تأثیر آن بر نشست زمین (مطالعه موردی شهر کرمان)" هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز.

۵۲. مسلمی خ. کرمی غ.ح. و امامقلی‌زاده ص، (۱۳۹۰) "پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت بسطام با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و شبکه استنتاج تطبیقی عصبی فازی" پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود.

۵۳. مسلمی‌عقیلی ن.ا. کرمی غ.ح. و یخکشی ا، (۱۳۹۰) "بررسی آماری عوامل موثر بر میزان آبدهی چاه‌ها در مجموعه چاه‌های منطقه گرمابدشت" دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، زنجان، شرکت آب منطقه‌ای زنجان.

۵۴. مسموعی م. جعفری عظیم‌آبادی ه. و امیربیگی ا.ع، (۱۳۹۳) "تجزیه و تحلیل نوسانات بلندمدت سطح ایستابی آبخوان هرات در یک دوره بیست ساله" اولین کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری، منابع طبیعی و توسعه پایدار، تهران، موسسه ایرانیان، قطب علمی برنامه‌ریزی وتوسعه پایدار گردشگری دانشگاه تهران.

۵۵. ملکی‌نژاد ح. شریفی ذ. اختصاصی م.ر. نژادکورکی ف، (۱۳۸۹) "بررسی و اندازه‌گیری کیفی آب زیرزمینی در دشت یزد- اردکان" چهارمین همایش تخصصی مهندسی و محیط زیست.

۵۶. موسوی مداح م. غفوری م. لشکری پور غ.ر. و افشار س، (۱۳۸۹) "بررسی تأثیر افت سطح آب بر تخریب لوله جدار چاه‌های آب در دشت مشهد" نخستین کنفرانس پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه، دانشگاه صنعتی کرمانشاه.

۵۷. مهدوی ع. نوری م.ر. مهدوی نجف‌آبادی ر. و طباطبائی ح، (۱۳۸۸) مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی به روش منطق فازی در حوضه آبریز دشت شهرکرد **مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک**، سال پانزدهم، شماره ۵۶، ص ۷۶- ۶۳.

۵۸. میراب‌باشی م. و دانائیان م، (۱۳۸۴) "عوامل و مخاطرات نشست زمین در دشت یزد- اردکان" خلاصه مقالات کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن‌ها، دانشگاه تبریز.

۵۹. نجفی ز. کرمی غ.ح. و طاهری ع.ا، (۱۳۹۲) "بررسی روند افت آب در تالاب هشیلان و نگرانی از خشک شدن این تالاب" اولین همایش حفاظت از تالاب‌ها و اکوسیستم‌های آبی ایران، همدان، شرکت هم‌اندیشان محیط‌زیست فردا.

۶۰. وقارفرد ح. و پورجنایی ع، (۱۳۹۰) "بررسی و ارزیابی تأثیرات کمی تغذیه مصنوعی بر سفره آب زیرزمینی با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW (مطالعه موردی: دشت سرزه رضوان، استان هرمزگان)" گزارش پایان‌کار، شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان. وقارفرد ح. و پورجنایی ع،

(۱۳۹۰) "بررسی و ارزیابی تأثیرات کمی تغذیه مصنوعی بر سفره آب زیرزمینی با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW (مطالعه موردی: دشت سرزه رضوان، استان هرمزگان)" گزارش پایان‌کار، شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان.

۶۱. ولایتی س.ا، (۱۳۸۵) بررسی بحران آب استان خراسان **نشریه مدرس علوم انسانی**، دوره ۱۰، شماره پیاپی ۴۸، ص ۲۳۴- ۲۱۳.

۶۲. ولی‌پور م. کریمیان اقبال م. ملکوتی م.ج. و خوشگفتارمنش ا.م، (۱۳۸۶) "روند توسعه شوری و تخریب اراضی کشاورزی در منطقه شمس‌آباد استان قم" **مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی**، سال دوازدهم، شماره ۴۶، ص ۶۹۱-۶۸۳.

۶۳. یمانی م. نجفی ا. و عابدینی م.ح، (۱۳۸۸) "ارتباط فرونشست زمین و افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت قره‌بلاغ استان فارس" **فصل‌نامه علمی و پژوهشی جغرافیا**، ص ۲۸- ۱۱.

64. Ajdary Kh. Kazemi G.A., (2013) "Quantifying changes in groundwater level and chemistry in Shahrood, northeastern Iran" **Hydrogeology Journal.,** Vol 22, Issue 2, pp 469-480.

65. Asano T., (1985) "Artificial Recharge of Groundwater" California States, Water Resources, pp 69-96.

66. Asserto R., (1963) "The Paleozoic formation in centeral Elborz (Iran)" Riv. Ital. Paleont. Vol. lxix, No. 4, 503- 543.

67. Bouwer H. & Rice R.C., (1976) "A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells" Water Resour. Res., 12(3):pp 423-428.

68. Carruth R.L. and Pool D. R., (2005) "Land Subsidence and Aquifer Compaction in the Tucson Active Management Area, South-Central Arizona" 1987–2005, United States Geological Survey.

69. Chai J.C. Shen S.L. Zhu H.H. and Zhang X.L., (2004) "Land subsidence due to groundwater drawdown in Shanghai" **Geotechnique 54.,** No. 2, pp 143-147.
70. Galloway D.L. Jones D.R. and Ingebritsen S.E., (1999) "Land subsidence in the United States" U.S., Geological Survey Circular 1182, p 177.
71. Gambolati G. Gatto P. and Freeze R. A., (1974) "Mathematical simulation of the subsidence of Venice" Results, Water Resource, pp 563-577.
72. Kaiser R. and Skiller F., (2003) "Options for managing the hidden threat of aquifer depeletion in Texas" Texas tech. Law review 32, pp 250- 304.
73. Liu C.W. Lin W.S. and Cheng L.H., (2006) "Estimation of land subsidence caused by loss of smectiteinterlayer water in shallow aquifer systems" **Hydrogeology Journal**., Vol 14, pp 508-525
74. Lofgern, B.E., (1969) "Field measurement of aquifer system compaction" Sanjoaquin Balley, California, U.S.A. Proc, Tokyo Symp. on Land Subsidence, IASHUNSCO, pp 272-284.
75. Pacheco J. Arzate J. Rojas E. Arroyo M. Yutsis V. and Ochoa G., (2006) "Delimitation of ground failure zones due to land subsidence usind gravity data and finite element modeling in the Queretaro valley" Mexico. Engineering Geology 84, pp 143-160.
76. Phien-wej N. Giao P. H. Nutalaya P., (2006) "Land subsidence in Bangkok" Thailand, Engineering Geology, 82, pp 187– 201.
77. Poland J.F., (1981) "The occurrence and control of land subsidence due to groundwater withdrawal with special reference to the San Joaquin and Santa Clara Valleys" California, PhD Dissetation, Stanford University, Palo Alto, California.
78. Scott R.F., (1979) "Subsidence-revaluation and prediction of subsidence" (eds.) Saxema, S.K., Proc. Conf. ASCE, Gainsville, pp 1-25.
79. Titetze E., (1877) "Ein Ausflug nach dem Siahkuh (Schwarzer Berg) in persien. Mitt. Ges. Wien" (N.F) 18/8, pp 257-267.

80. Zhang Y. Gong H. Zhaoqin G. Wang R. Li X. Zhao W., (2014) "Characterization of land subsidence induced by groundwater withdrawals in the plain of Beijing city, China" **Hydrogeology Journal.,** Volume 22**,** pp 397- 409.

Abstract:

Gorgan plain with an area of 4727 square kilometers, located in the catchment area of Gorganrood- Gharehsou, is one of the largest plains in the Iran. This plain is one of the most important agricultural plains that excessive withdrawals of groundwater resources, causing a large drop in the groundwater level of the plain, especially in some locations. The aim of this study was to identify areas with large drop in groundwater level and provide solutions to overcome or compensate such a prablem. To achieve this goal, it is necessary to check the groundwater level in the plain and drawing the relevant charts and maps such as map of equipotential drop of groundwater level. Thirty-year survey of groundwater level (1983- 2013) in 289 piezometers with complete data and distribution from 310 pizometers existing the plain, showed that the groundwater levels in Gorgan plain has a discending trend from 1983 to 2001, such that the groundwater levels have dropped about 12.32 meters in the mentioned period. But again, the groundwater level gradually increased since 2001 and a large portion of groundwater decline has been recovered. Finally, given the general trend of groundwater level between 1983 to 2013, a relatively small drop with the amount of about one meter, observed that illustrates a balance in the groundwater level in the region for a long period. However, some parts of which after 2001 also continued their downward trend and include now a large drop in groundwater level, so that they can be called as critical point in terms of groundwater levels in Gorgan plain. Most of these points located in the southern half of the plain and areas with a focus on agriculture and therefore a heavy pumping can be stated as the reason of large drop in groundwater level. Finally, several strategies, including artificial recharge in the short term through injection wells and rrecharge channels, have been suggested to solve the problem of large drop in these points.

Key words: Gorgan plain, Critical point, Groundwater level, Drop in groundwater level, Artificial recharge.

University of Shahrood
Faculty of Earth Sciences

Hydrogeology and Environmental Geology Group

Identifying critical points in Gorgan Plain aquifer and suggesting the short and long-terms schemes for artificial recharge

Nasim Jahanshahi nookandeh

Supervisor:
Dr. Gh. karami

January 2016