بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده: علوم زمین

گروه: آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بررسی تأثیر عملکرد طرح تغذیه مصنوعی خوی بر کمیت و کیفیت سفره‌های آب‌زیرزمینی منطقه

دانشجو:

محمد قوردویی میلان

استاد راهنما :

دکتر غلامحسین کرمی

بهمن ۱۳۹۲

پیوست شماره ۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : علوم زمین

گروه : آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمد قوردویی میلان

تحت عنوان: بررسی تأثیر عملکرد طرح تغذیه مصنوعی خوی بر کمیت و کیفیت سفره‌های آب زیرزمینی منطقه

در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۲۶ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..عالی.. مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی : **دکتر غلامحسین کرمی**		نام و نام خانوادگی :	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی : **دکتر غلامعباس کاظمی**		نام و نام خانوادگی : **دکتر مرحیم باقری**	
نام و نام خانوادگی : **دکتر هادی جعفری**			
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره:
تاریخ:
ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمد قوردویی میلان رشته زمین شناسی گرایش آب‌شناسی تحت عنوان "بررسی تأثیر عملکرد طرح تغذیه مصنوعی خوی بر کمیت و کیفیت سفره‌های آب زیرزمینی منطقه" که در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۲۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه : عالی امتیاز ۱۹) ☒ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹)
۲ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ ـ ۱۸)
۳ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ ۱۶)
۴ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ ـ ۱۴)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنما	دکتر غلامحسین کرمی	دانشیار	
۲ـ استاد مشاور			
۳ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر رحیم باقری	استادیار	
۴ـ استاد ممتحن	دکتر غلامعباس کاظمی	استادیار	
۵ ـ استاد ممتحن	دکتر هادی جعفری	استادیار	

رئیس دانشکده: محمد محق

امضاء

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی‌مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به هم نشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت. بر خود لازم میدانم از تمام کسانی که در این راه من را یاری رسانده سپاسگزاری کنم.

از پدر و مادر بزرگوارم که در تمام مراحل زندگی مرا یاری کرده اند و برادران عزیزم که همیشه به من لطف داشتند سپاز گزاری می کنم.

از استاد راهنمایم جناب آقای دکتر کرمی که اولین روشنی بخش و راهنمای این راه بودند کمال تشکر و قدردانی را دارم. از اساتید دانشگاه صنعتی شاهرود دکتر کاظمی و دکتر جعفری که به اینجانب کمک کردند تشکر میکنم. از کارمندهای دانشکده علوم زمین به ویژه سرکار خانم فارسی کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از کارشناسان سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی و اداره منابع آب خوی آقایان مهندس سلمانیان ، مهندس علیلو، مهندس باقری ، مهندس شکرزاده و سرکار خانم آتش رزم که در این راه به اینجانب کمک کردند سپاسگزاری میکنم.

در آخر از تمام دوستان به خصوص آقایان خلیل عرفان، هاشم نعیمی نوشهری، حمید ملازم الحسینی، محمود پیرقره باغی، علی لطفی، محمد پیرولی، سعید گرانیان و همچنین از همکلاسی‌هایم خانم ها ولی‌زاده، شایق، رحیمی و شیرافکن که به هر نحوی در تدوین این تحقیق یاری رسانده‌اند کمال تقدیر و تشکر را دارم.

محمد قوردویی میلان (بهمن ۱۳۹۲)

تعهد نامه

اینجانب محمد قوردویی میلان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی - آبشناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه "بررسی تأثیر عملکرد طرح تغذیه مصنوعی خوی بر کمیت و کمیت سفره‌های آب زیرزمینی منطقه" تحت راهنمائی دکتر غلامحسین کرمی متعهد می‌شوم.

- 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 صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه 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 ۱۳۹۲/۱۱/۳۰

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 صنعتی 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.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد.

چکیده

سطح آب زیرزمینی آبخوان فیرورق واقع در شمال غربی دشت خوی، در سالیان اخیر به دلیل برداشت بی‌رویه از این آبخوان با افت شدیدی مواجه شده است. جهت رفع مشکل پایین افتادن سطح آب در آبخوان مذکور طرح تغذیه منصوعی خوی در سال ۱۳۷۷ در ۱۲ کیلومتری شهر خوی احداث گردید. این طرح از نوع حوضچه‌ای است که شامل هفت حوضچه نفوذ و دو حوضچه رسوبگیر می‌باشد. آب ورودی به این شبکه در بازه زمانی اواخر آبان تا اویل فرودین از طریق رودخانه الند با یک کانال شانزده کیلومتری تأمین می‌شود. آبگیری اصلی این طرح تغذیه مصنوعی از سال ۱۳۸۷ شروع شده است. به این ترتیب که سالانه حدود ده میلیون متر مکعب به این طرح تغذیه مصنوعی منتقل می‌شود. بررسی‌های انجام شده در خصوص هیدروگراف‌های چاههای پایین دست طرح حاکی از آن است که طرح مذکور در افزایش سطح آب زیرزمینی و کاهش شیب سطح ایستابی به طور قابل توجهی موثر بوده است. به این ترتیب که در برخی از پیزومترها شیب افت سطح ایستابی به حدود یک پنجم کاهش پیدا کرده است.

آبهای ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی در مقایسه با آبهای زیرزمینی منطقه از کیفیت بسیار بهتری برخوردار هستند. میانگین هدایت الکتریکی آبهای ورودی به شبکه تغذیه حدود ۳۸۰ میکروموس بر سانتیمتر بوده در حالیکه میانگین هدایت الکتریکی آبخوان در بخش‌های بالادست حدود ۶۶۰ میکروموس بر سانتیمتر است. نتایج بدست آمده از این تحقیق بیانگر این است که مقادیر هدایت الکتریکی و همچنین اغلب یون‌های اصلی آبهای زیرزمینی آبخوان مورد مطالعه پس از آبگیری به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرده‌اند.

کلمات کلیدی: تغذیه مصنوعی، سطح ایستابی، کیفیت آبهای زیرزمینی، آبخوان فیرورق

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- بیان مسئله ۱

۱-۲- هدف از مطالعه ۲

۱-۳- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۲

۱-۴- وضعیت آب و هوایی منطقه ۴

۱-۵- زمین شناسی منطقه ۶

۱-۵-۱- واحدهای چینه‌شناسی و سنگی منطقه ۷

۱-۵-۱-۱- واحدهای دگرگونی ۷

۱-۵-۱-۲- مجموعه افیولیتها ۷

۱-۵-۱-۳- واحدهای رسوبی ۷

۱-۵-۲- تکتونیک منطقه ۱۰

۱-۶- هیدرولوژی منطقه ۱۰

۱-۷- هیدروژئولوژی منطقه ۱۲

۱-۸- ویژگیهای طرح تغذیه مصنوعی خوی ۱۳

۱-۸-۱- ویژگیهای فیزیکی طرح ۱۳

۱-۸-۲- تاریخچه و مشکلات طرح ۱۷

فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته ۱۹

۲-۱- مقدمه ۱۹

۲-۲- اهداف تغذیه مصنوعی ۲۰
۲– ۲-۱- جلوگیری از پایین افتادن سطح آب زیرزمینی ۲۰
۲-۲-۲- تصفیه و ذخیره‌سازی فاضلاب و آبهای آلوده سطحی ۲۲
۲-۲-۳- بهبود کیفیت آبهای زیرزمینی ۲۴
۲-۲-۴- تأثیر تغذیه مصنوعی بر افزایش دبی قنوات ۲۶
۲-۲-۵- استفاده از تغذیه مصنوعی جهت جلوگیری از پیشروی آب شور دریا..... ۲۷
فصل سوم: روش انجام مطالعات ۲۹
۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات ۲۹
۳– ۲- بررسی مشخصات طرح..... ۳۰
۳-۳- تهیه نقشه‌ها و نمودارهای مورد نیاز ۳۲
۳-۴- بررسی خصوصیات کیفی آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی ۳۳
۳-۵- بررسی اثر کمی طرح تغذیه مصنوعی خوی بر آبخوان منطقه ۳۴
۳-۶- بررسی اثر کیفی طرح تغذیه مصنوعی خوی بر آبخوان منطقه ۳۴
فصل چهارم: بررسی اثرات طرح تغذیه مصنوعی خوی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی .. ۳۵
۴-۱- کمیت آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی ۳۵
۴– ۲- اثر کمی طرح تغذیه مصنوعی خوی بر آبخوان منطقه..... ۳۸
۴-۲-۱- ارزیابی جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در منطقه ۳۸
۴-۲-۲- بررسی اثرات تغذیه مصنوعی با استفاده از هیدروگراف چاهها ۴۰
۴-۲-۲-۱- پیزومتر فیرورق محله بالا ۴۰
۴-۲-۲–۲- پیزومتر فیرورق خروجی ۴۲
۴-۲-۲–۳- پیزومتر فیرورق ورودی..... ۴۴

۴-۲-۲-۴– پیزومتر ینگجه ۴۵
۴-۲-۲-۵– پیزومتر پیرموسی ۴۷
۴ –۳– ارزیابی کیفی آبخوان فیرورق ۵۰
۴-۳-۱- هدایت الکتریکی ۵۳
۴-۳-۲- بررسی کیفیت آبخوان منطقه با استفاده از نمودارهای کیفی ۵۴
۴-۴- ارزیابی اثرات طرح تغذیه مصنوعی بر کیفیت آبخوان فیرورق ۵۷
۴–۴-۱- بررسی کیفیت آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی ۵۷
۴ –۴-۲- مقایسه کیفی آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی و آب زیرزمینی منطقه ۵۹
۴-۴-۳- مقایسه کیفیت آبهای زیرزمینی منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی ۶۲
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۷۵
۵ –۱– ارزیابی کیفی آب ورودی به طرح تغذیه مصنوعی ۷۵
۵– ۲– اثر تغذیه مصنوعی بر کمیت منابع آب زیرزمینی ۷۶
۵– ۳– اثر تغذیه مصنوعی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی ۷۸
۵ – ۴ – پیشنهادها ۸۰
منابع ۸۱

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه ۳

شکل ۱-۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه در Google Earth ۳

شکل ۱-۳- پهنه‌های رسوبی- ساختاری ایران (نبوی ۱۳۵۵) ۶

شکل ۱-۴- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۹

شکل ۱-۵- نقشه کلی طرح تغذیه مصنوعی خوی ۱۴

شکل ۱-۶- نمایی از کانال انتقال آب ۱۵

شکل ۱-۷- نمایی از حوضچه کنترل سه‌راهی ۱۵

شکل ۱-۸- نمایی از حوضچه‌های رسوبگیر در طرح تغذیه مصنوعی آبخوان فیرورق ۱۶

شکل ۱-۹- نمایی از حوضچه‌های تغذیه در طرح تغذیه مصنوعی آبخوان فیرورق ۱۶

شکل ۳-۱- موقعیت طرح تغذیه مصنوعی خوی از نمای کلی ۳۰

شکل۳-۲- حوضچه‌های تغذیه مصنوعی در زمان عدم آبگیری (آب موجود ناشی از بارندگی میباشد)..... ۳۱

شکل ۳-۳- حوضچه‌های تغذیه مصنوعی در زمان آبگیری ۳۱

شکل ۳-۴- نمونه‌برداری از آب ورودی به طرح تغذیه مصنوعی خوی در اسفند ۱۳۹۰ ..... ۳۳

شکل ۴– ۱- هیستوگرام حجم آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی ۳۷

شکل ۴-۲- بارندگی ایستگاه خوی از سال آبی ۷۶-۱۳۷۵ تا سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ ..... ۳۷

شکل ۴-۳- نقشه هم‌پتانسیل منطقه مورد مطالعه ۳۹

شکل ۴-۴- موقعیت پیزومترها در منطقه مورد مطالعه ۴۰

شکل۴-۵- هیدروگراف پیزومتر محله بالا ۴۱

شکل ۴– ۶- هیدروگراف پیزومتر فیرورق خروجی ۴۳
شکل ۴–۷- هیدروگراف پیزومتر فیرورق ورودی ۴۴
شکل ۴– ۸- هیدروگراف پیزومتر ینگجه ۴۶
شکل ۴– ۹- هیدروگراف پیزومتر پیرموسی ۴۸
شکل ۴– ۱۰- نرخ کاهش شیب هیدروگراف پیزومترهای مورد مطالعه در دوره اول نسبت به دوره سوم . ۴۹
شکل ۴-۱۱- موقعیت چاههای بهره‌برداری انتخابی ۵۱
شکل ۴-۱۲- نقشه هدایت الکتریکی منطقه مورد مطالعه ۵۳
شکل ۴-۱۳- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در پاییز ۱۳۹۰ ..... ۵۵
شکل ۴-۱۴- نمودار استیف نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه ۵۶
شکل ۴-۱۵- مقایسه هدایت آب ورودی به شبکه تغذیه و چاههای پایین دست شبکه ۶۰
شکل ۴-۱۶- مقایسه غلظت یون منیزیم و کلسیم آب ورودی به شبکه تغذیه و چاههای پایین دست ۶۱
شکل ۴-۱۷- مقایسه غلظت یون بی‌کربنات آب ورودی به شبکه تغذیه و چاههای منطقه ۶۱
شکل ۴-۱۸- مقایسه مقادیر هدایت الکتریکی در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی ۶۴
شکل ۴-۱۹- مقایسه مقادیر یون کلسیم در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی ۶۵
شکل ۴-۲۰- مقایسه مقادیر یون منیزیم در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی ۶۶
شکل ۴-۲۱- مقایسه مقادیر یون بی‌کربنات در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی ۶۷
شکل ۴-۲۲- مقایسه مقادیر یون سدیم در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی ۶۸
شکل ۴-۲۳- مقایسه مقادیر یون سولفات در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی ۶۸
شکل ۴-۲۴- مقایسه مقادیر یون کلر در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی ۶۹
شکل ۴-۲۵- نمودار پایپر چاه انتخابی قشلاق قبل و بعد از آبگیری ۷۰

شکل ۴-۲۶- نمودار پایپر چاه انتخابی محله بالا قبل و بعد از آبگیری ۷۱
شکل ۴-۲۷- نمودار پایپر چاه انتخابی فیرورق قبل و بعد از آبگیری ۷۱
شکل ۴-۲۸- نمودار پایپر چاه انتخابی ینگجه قبل و بعد از آبگیری ۷۲
شکل ۴-۲۹- نمودار استیف چاه انتخابی قشلاق قبل و بعد از آبگیری ۷۳
شکل ۴-۳۰- نمودار استیف چاه انتخابی محله بالا قبل و بعد از آبگیری ۷۳
شکل ۴-۳۱- نمودار استیف چاه انتخابی فیرورق قبل و بعد از آبگیری ۷۴
شکل ۴-۳۲- نمودار استیف چاه انتخابی ینگجه قبل و بعد از آبگیری ۷۴
شکل ۵-۱- مقایسه کیفیت آب ورودی به شبکه تغذیه با چاههای منطقه مورد مطالعه.....۷۶
شکل ۵-۲- مقایسه مقادیر هدایت الکتریکی در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی ۷۹
شکل ۵-۳- مقایسه مقادیر یون بی‌کربنات در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی ۸۰

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱- تقسیم‌بندی اقلیم با توجه به ضریب خشکی دومارتن ۴

جدول ۱-۲- آمار بارندگی ایستگاه خوی بر حسب میلیمتر (سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی) ۵

جدول ۱-۳- بیلان هیدرولوژیکی آب شهرستان خوی (۱۳۹۰ – ۱۳۸۰) ۱۲

جدول ۱-۴- برداشت آب از منابع آبهای سطحی و زیرزمینی برای مصارف مختلف (۱۳۹۰ – ۱۳۸۰) ۱۲

جدول ۱-۵- تاریخچه عملیات ساخت و آبگیری طرح تغذیه مصنوعی خوی ۱۸

جدول ۴-۱- مراحل، زمان و حجم آبگیری طرح تغذیه مصنوعی ۳۶

جدول ۴-۲- میانگین بارندگی با دوره‌های سه ساله ۳۸

جدول ۴-۳- مشخصات پیزومترها در منطقه مورد مطالعه ۳۹

جدول ۴-۴- شیب هیدروگراف مربوط به پیزومترهای مختلف مورد مطالعه ۴۹

جدول ۴-۵- مقادیر کاتیونها و آنیونهای اصلی چاههای انتخابی منطقه مورد مطالعه (مهرماه ۱۳۹۰) ۵۰

جدول ۴-۶- نام و مختصات جغرافیایی چاههای بهره‌برداری انتخابی ۵۱

جدول ۴-۷- هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در شهریور، مهر و آبان ۱۳۹۲ ..... ۵۲

جدول ۴-۸- مقادیر هدایت الکتریکی، pH و کل جامدات محلول در آبهای ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی۵۸

جدول ۴– ۹- آنیونها و کاتیونهای اصلی آب ورودی به شبکه تغذیه (بر حسب میلی میلی‌اکی‌والان بر لیتر)۵۸

جدول ۴-۱۰- نسبتهای یونی آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی ۵۹

جدول ۴-۱۱- هدایت الکتریکی و غلظت یونهای اصلی منطقه قبل و بعد از آبگیری ۶۳

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مسئله

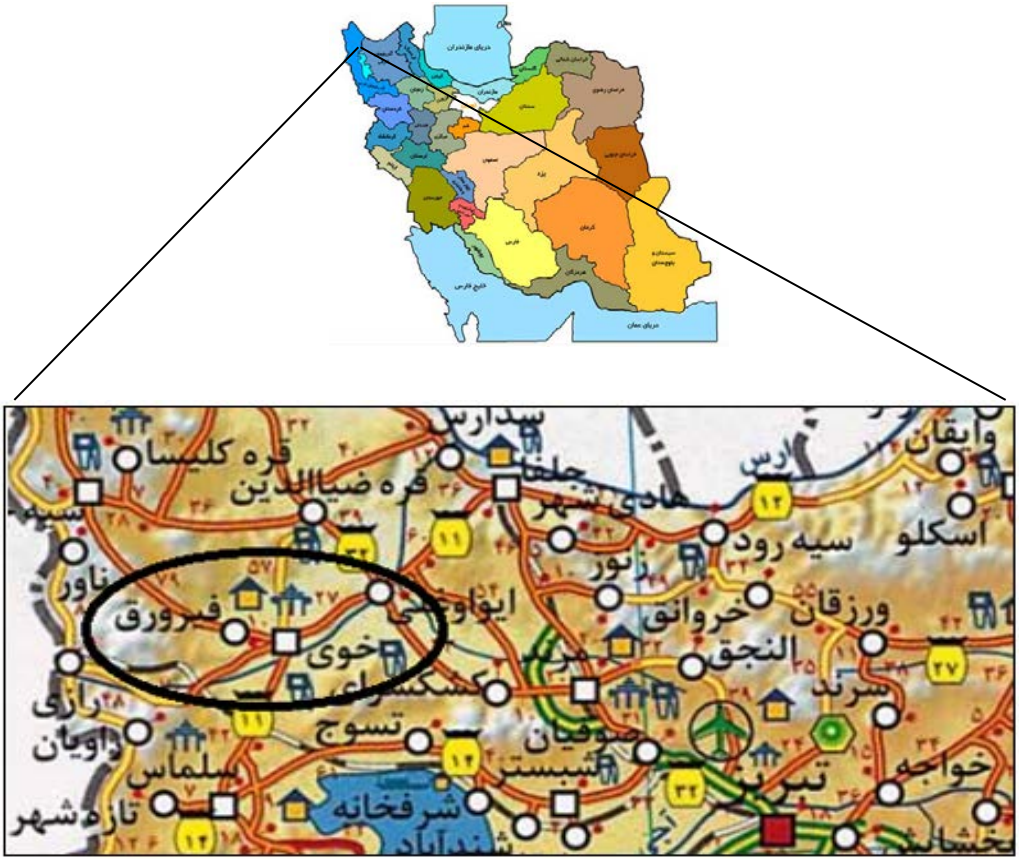
در مناطق خشک و نیمه‌خشک بخش عمده‌ای از آب شرب و کشاورزی از طریق آب‌های زیرزمینی تأمین می شود. اگر میزان برداشت از آبخوان با تغذیه طبیعی آن برابر نباشد منجر به افت مداوم سطح ایستابی و به هم‌خوردن تعادل آن خواهد شد. از این رو تغذیه مصنوعی به عنوان راه حلی برای این مشکل پیشنهاد شده است. از جمله این مناطق آبخوان فیرورق واقع در شمال غربی دشت خوی بوده که به دلیل استحصال بی‌رویه از چاهها منطقه در طول سالیان طولانی، سطح آب در منطقه سیر نزولی داشته است. منطقه فیرورق به دلیل داشتن دشت مسطح یکی از مناطق مستعد کشاورزی در آذربایجان غربی می‌باشد. به طوری که این منطقه به عنوان یکی از قطب‌های اصلی در تولید تخم آفتابگردان و تخم کدو در ایران محسوب می‌شود. آب مورد استفاده جهت کشاورزی از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق حفر شده در این منطقه تامین می‌گردد. در سال‌های اخیر به دلیل استفاده بی‌رویه از آبهای زیرزمینی منطقه مذکور و همچنین خشکسالی‌های چند سال اخیر، سطح آبخوان این منطقه افت محسوسی پیدا کرده است. این در حالی است که سالانه مقدار زیادی آب سطحی از طریق رودخانه‌ها دائمی و فصلی از این منطقه خارج می‌شود. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که مدیریت آب‌های سطحی جهت تغذیه مصنوعی به عنوان مناسب‌ترین روش برای بهبود وضعیت این آبخوان می‌باشد. از همین رو جهت بهبود وضعیت آبخوان آب رودخانه الند توسط کانالی شانزده کیلومتری به آبخوان فیرورق در شمال غربی شهرستان خوی منتقل شده و در دو حوضچه رسوب‌گیر هدایت و پس از رسوبگیری از طریق هفت حوضچه به آبخوان نفوذ داده شده است. اولین آبگیری این طرح در سال ۱۳۷۷ انجام شده است و هر ساله حجم قابل توجهی از آبهای سطحی به این طرح انتقال داده می‌شود.

۱-۲- هدف از مطالعه

در این تحقیق، سعی شده با استفاده از داده‌های کمی و کیفی قبل و بعد از اجرای طرح تغذیه مصنوعی خوی و همچنین اندازه‌گیری‌ها و آزمایشات لازم، اثرات کمی و کیفی این طرح بر آبخوان فیرورق مورد بررسی قرار بگیرد. در این تحقیق، علاوه بر بررسی اثرات کمی و کیفی طرح بر آبخوان، به خصوصیات طرح و مشکلات آن نیز اشاره شده است.

۱-۳- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

آبخوان فیرورق بخشی از دشت خوی می‌باشد که با مساحت تقریبی ۴۰ کیلومتر مربع در شمال استان آذربایجان غربی و در فاصله ۱۵۰ کیلومتری از شهر ارومیه واقع شده است. از راه‌های ارتباطی به این منطقه جاده آسفالت تبریز – خوی، ارومیه - خوی و خوی - چالدران می‌باشد (شکل ۱-۱). این دشت از سمت شرق، شمال شرقی و جنوب شرقی توسط کوهستان‌های کم ارتفاع (که ادامه رشته کوههای مورو و میشو می‌باشد) محدود شده و از سمت غرب به کوهستان‌های مرتفع مرزی ایران و ترکیه محدود شده است. حوضچه‌های تغذیه مصنوعی خوی در فاصله ۱۲ کیلومتری غرب شهر خوی در نزدیکی روستای قشلاق در حاشیه جاده خوی به چالدران قرار دارد. بزرگترین آبادی نزدیک به این طرح روستای قشلاق می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۴۴ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. شکل (۱-۲) محدوده مورد مطالعه را در Google Earth نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

شکل ۱-۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه در Google Earth

۱-۴- وضعیت آب و هوایی منطقه

برای ارزیابی میزان بارندگی و درجه حرات از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های منطقه استفاده شده است. از بین ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه، از ایستگاه باران سنجی خوی استفاده گردیده است. در جدول (۱-۲) آمار بارندگی ایستگاه خوی، بین سال‌های آبی ۷۸-۱۳۷۷ تا ۹۰-۱۳۸۹ آورده شده است. شهر خوی با ارتفاع ۱۱۰۵ متر در این منطقه از نظر آب و هوایی معمولاً دارای زمستان‌های سرد و نیمه‌خشک و تابستان‌های معتدل بوده و میانگین دمای هوا در خوی ۱۱/۸ درجه سانتیگراد و میانگین نوسان دمای سالانه آن بیش از ۲۵ درجه سانتیگراد است. میانگین دما در ماه‌های زمستان اغلب به زیر صفر درجه می‌رسد. متوسط میزان بارندگی سالانه ۲۵۶ میلیمتر و رطوبت نسبی حدود ۶۲ درصد می‌باشد.

متوسط سالانه بارش طولانی مدت شهرستان خوی از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۹به طور متوسط ۳۶۲ میلیمتر بوده، همچنین متوسط سالانه دمای طولانی مدت خوی ۱۱ درجه سانتیگراد گزارش شده است. می‌توان با فرمول ($I= P/T+10$) و جدول تقسیم‌بندی ضریب خشکی دومارتن نوع اقلیم شهرستان خوی را بدست آورد. در این فرمول P متوسط دراز مدت بارندگی بر حسب میلیمتر و T متوسط دراز مدت دما بر حسب درجه سانتیگراد و I ضریب خشکی دومارتن می‌باشد.

جدول ۱-۱- تقسیم بندی اقلیم منطقه با توجه به ضریب خشکی دومارتن

محدوده ضریب خشکی دمارتن	۵ – ۱۰	۱۰ – ۲۰	۲۰ – ۲۴	۲۴ – ۲۸	۲۸ – ۳۵	بیش از ۳۵
نوع اقلیم	خشک	نیمه‌خشک	مدیترانه ای	نیمه‌مرطوب	مرطوب	بسیار مرطوب

با استفاده از مقادیر میانگین سالانه بارندگی و درجه حرارت، ضریب خشکی دومارتن برای شهرستان خوی برابر با ۱۷/۲۳ بدست می‌آید، که با توجه به جدول (۱-۱) اقلیم منطقه خوی، از نوع نیمه‌خشک برآورد می‌شود.

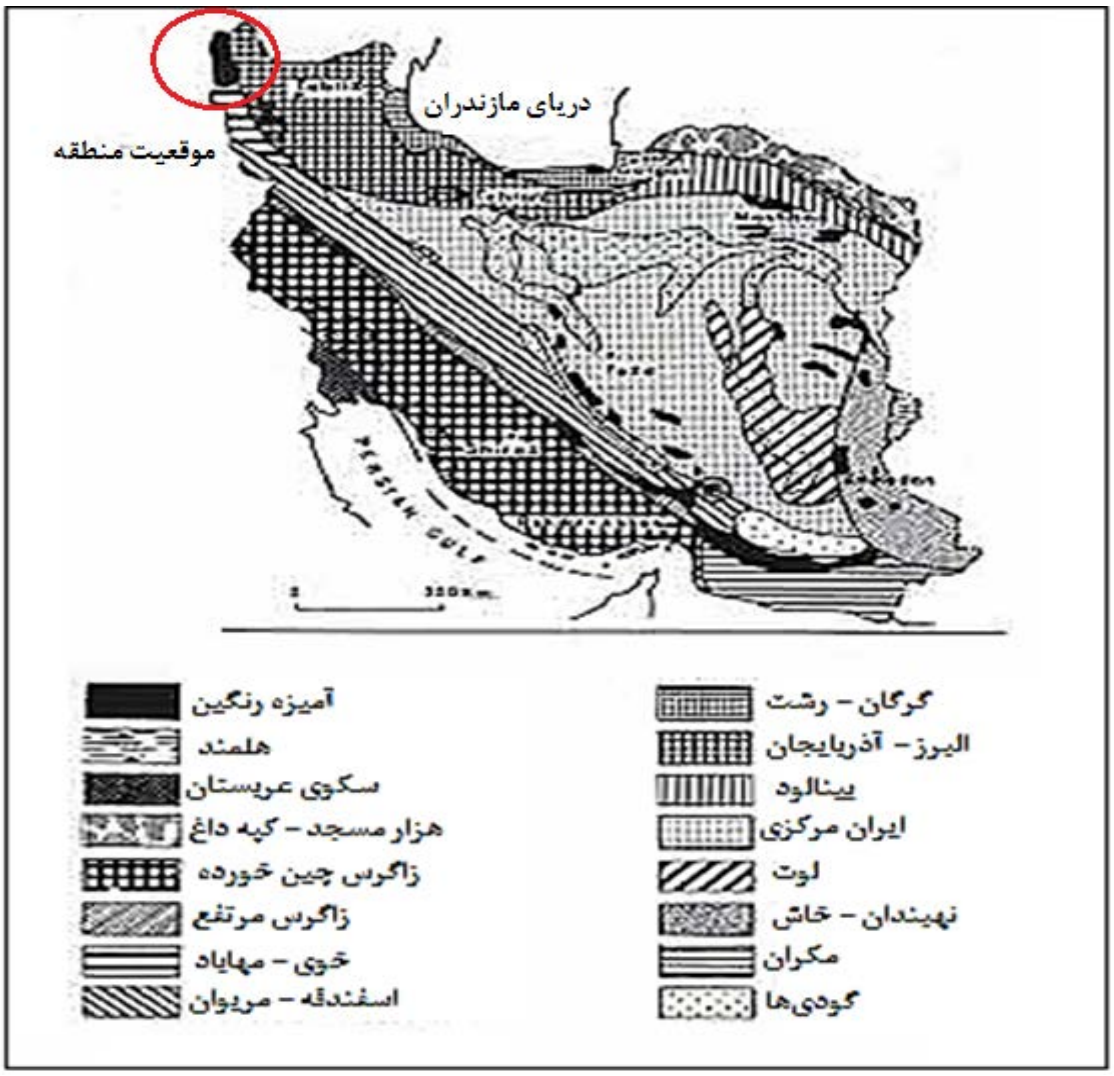
جدول ۱-۲- آمار بارندگی ایستگاه خوی بر حسب میلیمتر (سازمان آب منطقه آذربایجان غربی)

ردیف	سال آبی	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	مجموع
۱	۱۳۷۷-۷۸	۱۷/۵	۳۰/۵	۱۴۴/۵	۱۷/۵	۲۱۰/۰
۲	۱۳۷۸-۷۹	۴۴/۰	۲۸/۵	۱۱۳/۰	۳۰/۵	۲۱۶/۰
۳	۱۳۷۹-۸۰	۳۸/۵	۳۴/۰	۸۱/۵	۱۶/۰	۱۷۰/۰
۴	۱۳۸۰-۸۱	۱۹/۰	۲۵/۰	۱۷۱/۵	۱/۰	۲۱۶/۵
۵	۱۳۸۱-۸۲	۹۳/۵	۵۱/۰	۱۲۷/۵	۱۶/۰	۲۸۸/۰
۶	۱۳۸۲-۸۳	۶۹/۰	۲۸/۰	۱۸۸/۵	۵۵/۰	۳۴۰/۵
۷	۱۳۸۳-۸۴	۷۶/۵	۳۴/۵	۱۳۵/۵	۹/۰	۲۵۵/۵
۸	۱۳۸۴-۸۵	۴۲/۰	۸۶/۰	۱۱۲/۵	۴۷/۰	۲۸۷/۵
۹	۱۳۸۵-۸۶	۵۷/۰	۷۴/۰	۱۳۹/۵	۴۸/۰	۳۱۸/۵
۱۰	۱۳۸۶-۸۷	۶۳/۰	۶۱/۰	۳۰/۵	۷۱/۵	۲۲۶/۰
۱۱	۱۳۸۷-۸۸	۵۵/۰	۳۶/۰	۹۰/۵	۹۲/۵	۲۷۴/۰
۱۲	۱۳۸۸-۸۹	۶۰/۰	۵۸/۵	۱۷۴/۵	۱۳/۵	۳۰۶/۵
۱۳	۱۳۸۹-۹۰	۶/۰	۳۲/۵	۱۸۳/۵	۲۲/۵	۲۴۴/۵
میانگین		۴۹	۴۴	۱۳۰	۳۳	۲۵۶

۱-۵- زمین‌شناسی منطقه

با توجه عواملی مانند تحولات زمین‌ساختی، شرایط حاکم بر حوضه‌های رسوبی گذشته و فرایندهای درونی و بیرونی زمین، ایران به پهنه‌های مختلف رسوبی – ساختاری تقسیم شده است.

منطقه مورد مطالعه (غرب شهرستان خوی) در زون ساختاری البرز غربی – آذربایجان (نبوی ۱۳۵۵) در واحد آمیزه رنگین شمال غرب ایران واقع شده است (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳- پهنه‌های رسوبی- ساختاری ایران (نبوی ۱۳۵۵)

۱-۵-۱- واحدهای چینه‌شناسی و سنگی منطقه

براساس نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل۱-۴) واحدهای سنگی و چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه از قدیم به جدید به طور مختصر توضیح داده شده است.

۱-۵-۱-۱- واحدهای دگرگونی

واحدهای دگرگونی منطقه مورد مطالعه به ترتیب از شرق به غرب شامل واحد دگرگونی گنایس که این واحد از دگرگونی گنایس، میکاشیست و آمفیبولیت تشکیل شده، واحد دگرگونی آمفیبولیت و گابرو که به عنوان دگرگونی اصلی منطقه مورد مطالعه شناخته می‌شود و شامل آمفیبولیت‌های دانه ریز، متاکوارتزیت و کالک شیست می‌باشد و سنگ‌های آتشفشانی دگرگونی (متابازالت‌ها و متاآندزیت‌ها) جنوب غربی منطقه مورد مطالعه می‌باشد (Khalatbari *et al* 2003).

۱-۵-۱-۲- مجموعه افیولیت‌ها

مجموعه افیولیتی منطقه مورد مطالعه تحت عنوان افیولیت‌های خوی شاخته شده‌اند و از پایین به بالا (جنوب غربی به شمال شرقی) از پریدوتیت‌های سرپنیتنی شده، گابروهای لایه‌ای، دایک‌های دیابازی و یک توده آتشفشانی وسیع که عمدتاً گدازه بالشی هستند تشکیل شده‌اند. مجموعه مذکور دارای سن کرتاسه فوقانی می‌باشد (Khalatbari *et al*. 2003).

۱-۵-۱-۳- واحدهای رسوبی

رسوبات آبرفتی منطقه مورد مطالعه مربوط به دوران کواترنری تا عهد حاضر بوده که جزء سنگ‌های رسوبی منفصل بوده و محیط متخلخل آبخوان را تشکیل می‌دهند. از نظر جنس و اندازه دانه‌ها به انواع متفاوت از رس، سیلت و ماسه که ریزترین دانه‌ها و شن و قلوه سنگ‌ها که درشت‌ترین آن‌هاست در نقاط مختلف دشت توزیع شده است. واحدهای رسوبی دشت از قدیم به جدید بشرح زیر می‌باشد:

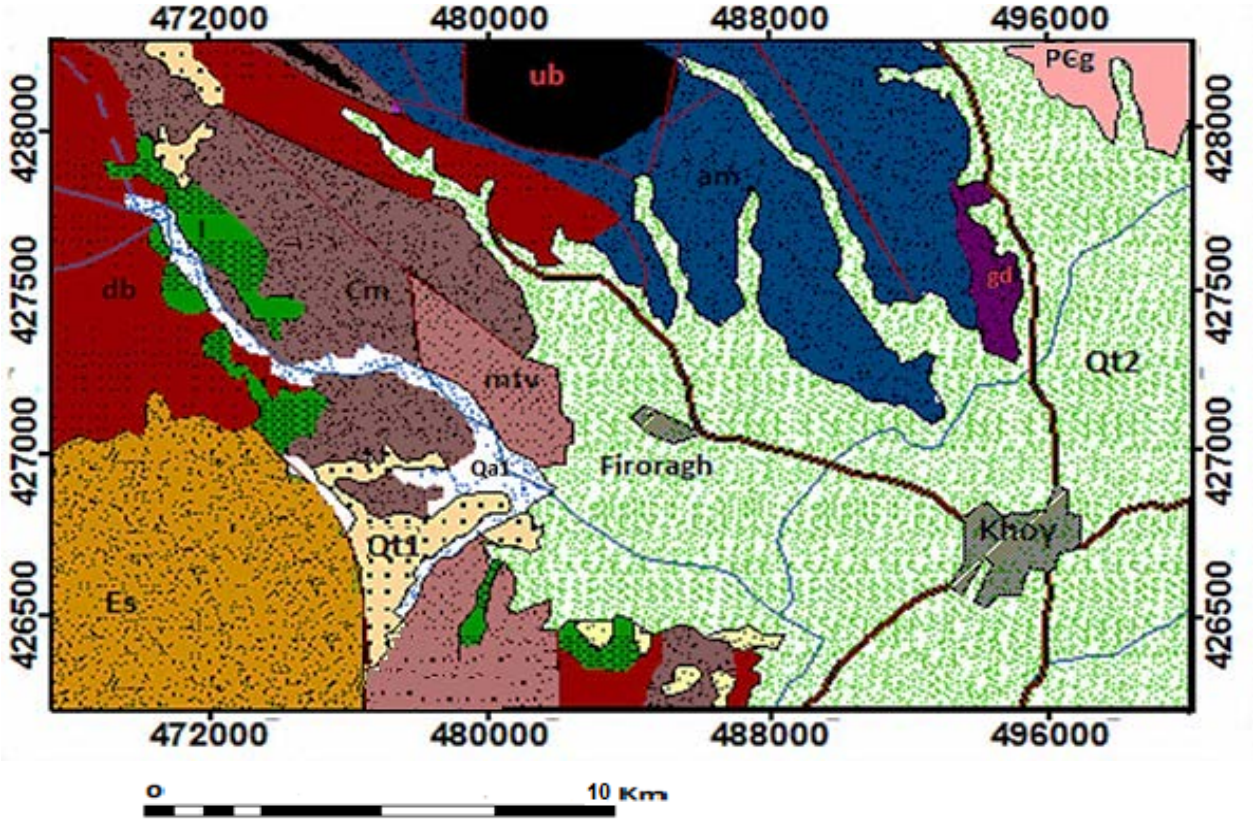
سازند کهر (PЄk): رخنمون محدودی از این سازند در اطراف روستاهای قزلجه و زاغه در قسمت شمال شرقی منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. لیتولوژی این واحد شامل شیل‌های سیلتی تیره تا سیاه رنگ دگرگون شده، در برخی موارد زغال یا گرافیک و گرهک‌های از کوارتز کریپتو کریستالین، سریسیت و کلریت تشکیل شده‌اند. این کانی‌ها کمی جهت یافتگی دارند. در لابه لای سنگ‌ها این واحد لایه‌های از سنگ آهک دگرگون شده نیز دیده می‌شود. ضخامت این واحد در حدود ۱۰۰ تا ۱۲۰ متر از شمال غربی به طرف جنوب شرق متغییر بوده و با همبری گسله بر روی واحد چین خورده گنایس قرار می‌گیرد.

ماسه سنگ (Es): این واحد ماسه سنگی همراه با عدسی‌های آهکی و شیل در غرب منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود سن این واحد ائوسن می‌باشد.

مخروط افکنه‌ها و تراس‌های قدیمی رودخانه (Qt1): این واحد از رسوبات آبرفتی در بخش‌های مرتفع دشت، در دامنه کوه‌های (ارتفاعات) دیده می‌شود، که توسعه و گسترش زیادی در دامنه ارتفاعات قسمت شرقی و در مجاورت رودخانه الند (قسمت غربی دشت) دارند. ارتفاع این واحد عموماً بیش از مخروط افکنه‌ها و تراس‌های جدید بوده است و اغلب از نظر دانه‌بندی از اجزا دانه درشت تشکیل شده‌اند و سیمان‌شدگی در آنها بسیار ضعیف بوده، بنابراین نفوذپذیری آن‌ها مناسب می‌باشد.

مخروط افکنه‌های جدید (Qt2): این واحد شامل رسوبات جوان سطح دشت می‌باشد که اغلب منشأ رودخانه‌ای داشته بنابراین در امتداد رودخانه بزرگ منطقه مانند قطورچای و الند از ضخامت زیادی برخوردار می‌باشد. این رسوبات تحت تاثیر نیروی هیدرودینامیکی رودخانه‌ای به سمت مرکز و انتهای دشت دانه ریزتر می‌شوند. این موضوع بر روی قابلیت نفوذپذیری و قابلیت لایه‌های آبدار و در نتیجه روی پتانسل آبخوان از نظر آبدهی تاثیر خواهد گذاشت.

آبرفت بستر رودخانه‌ای (Qal): این واحد شامل رسوبات بستر رودخانه‌ها و مسیل‌های منطقه می‌باشد و متشکل از تخته سنگ، قلوه سنگ، شن و ماسه می‌باشد.



LEGEND

Qal: Recent alluvium

Qt2: Young terraces and gravel fan

Qt1: Old terraces gravel fan

Es: Sand stone with plant remains

PЄk: Shale, Slat (Kahar formation)

Ophiolite complex

cm: Coloured melange

l: Limestone pelagic

db: Diabas pillow lava

ub: Ultrabasic rock in general

Metamorphic rock of unknown age

mtv: Meta - diabase and volcanics

am: Amphibolite, metamorphosed gabbro

gd: Gabbro and diorite

SYMBOLS

Road

Drainage

Fault

City

شکل ۱-۴- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۱-۵-۲- تکتونیک منطقه

برای تشریح وضعیت تکتونیک خوی لازم است، ابتدا مختصری درباره زمین ساخت آذربایجان ذکر شود. آذربایجان به علت قرار گرفتن رخساره‌ها و واحدهای سنگی آن بین دو حوضه رسوبی تکتونیکی البرز و زون سنندج – سیرجان، دارای سازندهای زمین شناسی متنوع و پیچیده‌ای است. اثراتی که جنبش‌های مختلف کوهزایی آلپی در دوره‌های زمین شناسی در رسوبات مناطق فوق داشته، مشابه آن را با همان شدت در رسوبات آذربایجان اعمال داشته است. در اثر جنبش‌های کوهزایی آلپی ابتدا ارتفاعات اصلی یعنی سلسله رشته کوه‌های البرز در شمال و سپس ارتفاعات سهند و سبلان در آذربایجان شرقی و ادامه ارتفاعات آرارات در آذربایجان غربی (مرز ایران – ترکیه) و سپس ارتفاعات واقع در بین ارتفاعات اصلی بوجود آمده است. منطقه مورد مطالعه را جزء زون البرز - آذربایجان و واحد آمیزه رنگین تقسیم‌بندی کرده‌اند (نبوی ۱۳۵۵). این زون به صورت گودالی است که در خط مرزی ایران و ترکیه و با روند شمالی – جنوبی می‌باشد. رسوبگذاری این گودال به صورت فاسیس مخلوط رسوبی، آذرین و آمیزه رنگین است. به علت دگرگونی شدن رسوبات قبل از سازند کهر، از فاز تکتونیکی این زمان اطلاعاتی در دست نیست.

۱-۶- هیدرولوژی منطقه

شهرستان خوی دارای دو رودخانه دائمی مهم قطور و الند می‌باشد، که از کوههای مرزی ایران و ترکیه سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه‌ها از جنوب غربی وارد دشت شده و از شمال شرقی دشت خارج می‌گردد. در زیر هر دو رودخانه به طور مختصر شرح داده شده است.

رودخانه قطور: رودخانه قطور در حوضه آبگیر ارس قرار دارد و حوضه آبگیر آن با مساحت ۸۱۰ کیلومتر مربع از چین‌خوردگیهای شمال غربی سلسله جبال زاگرس به وجود آمده و اطراف این رودخانه را تا ابتدای دشت خوی کوه‌های مرتفعی تشکیل داده و فاصله میله مرزی این رودخانه تا شهرستان خوی ۷۰ کیلومتر می‌باشد. سرشاخه‌های متعدد این رودخانه نظیر چیلیک، کلندسو، آورش، قیله‌لیق، سریک، غازان،

الند و قودوغ بوغان در محل بویلاپوش وارد دشت خوی شده و مورد استفاده قرار می گیرد و سپس با تغییر جهت به سوی شمال به مسیر خود ادامه می‌دهد و وارد دشت ایواوغلی می‌شود.

رودخانه الند: این رودخانه از شاخه‌های مهم رودخانه قطور بوده که در شهر خوی جریان دارد. رودخانه مذکور از کوههای مرزی ایران و ترکیه به نام کانی‌زیارت، نظربیک و حاجی‌بیک سرچشمه می‌گیرد. این کوهها در فاصله تقریبی ۵۷ کیلومتری خوی واقع شده‌اند. که از کوه اورین بزرگ سرچشمه می‌گیرد. قله کوه اورین با ارتفاع حدود ۳۶۲۲ متر از سطح دریا بلندترین نقطه در حوضه آبگیر رودخانه الند است. رودخانه الند در ادامه به رودخانه قطور می‌ریزد و در انتها از شهرستان خارج می‌شود و به رودخانه ارس ملحق می‌گردد.

خصوصیات حوضه آبگیر رودخانه الند: این حوضه آبگیر از جنوب به حوضه آبگیر قطور، از شمال به حوضه آبگیر آق‌چای، از غرب به مرز ایران و ترکیه و از شرق به دشت خوی محدود می‌گردد. حوضه آبگیر رودخانه الند کوهستانی و برفگیر می‌باشد. ارتفاع متوسط این حوضه بیش از ۱۴۰۰ متر بوده و قلعه اورین بزرگ با ارتفاع بیش از ۳۶۰۰ متر بلندترین نقطه این حوضه آبگیر می‌باشد. آب حاصل از برف دامنه‌های این قله از طریق شاخه‌های فرعی در محلی به نام بدلان به رودخانه الند می‌ریزد. از شاخه‌های مهم دیگر این رودخانه شاخه کردجان را که از ارتفاع ۲۸۰۰ متری سرچشمه می‌گیرد می‌توان نام برد. این رودخانه در محل روستای پسک‌پایین، با سطح حوضه‌ای حدود ۷۴۷ کیلومتر مربع، وارد دشت خوی شده و از این به بعد شیب ملایمی پیدا کرده و در بستر عریضی جریان می‌یابد.

در جدول (۱-۳) بیلان آب در منطقه خوی آورده شده است (امور منابع آب شهرستان خوی).

جدول ۱-۳- بیلان هیدرولوژیکی آب شهرستان خوی بر حسب میلیون متر مکعب (۱۳۹۰ – ۱۳۸۰)

شرح	مقدار	واحد
متوسط بارش سالانه	۳۶۲	میلیمتر
حجم بارش سالانه	۱۷۰۰	میلیون متر مکعب
کل منابع تجدید شونده (تولیدی در محدوده)	۵۸۴	میلیون متر مکعب
حجم آب ورودی به شهرستان از محدوده‌های مجاور (ترکیه)	۶۴	میلیون متر مکعب
حجم آب خروجی از شهرستان (پس از کسر زیلبرچای در ایستگاه مظفرآباد و آغ چای در مراکند)	۱۸۶	میلیون متر مکعب
مصرف سالانه آب (مصرف خالص)	۴۶۲	میلیون متر مکعب

۱-۷- هیدروژئولوژی منطقه

منابع آب زیرزمینی در این منطقه شامل آبخوان آبرفتی می‌باشد که آبخوان اصلی دشت را تشکیل می‌دهد. در جدول (۱-۴) کمیت آب زیرزمینی منطقه و مصارف آن آورده شده است.

جدول ۱-۴- منابع آبهای سطحی و زیرزمینی برای مصارف مختلف بر حسب میلیون متر مکعب (۱۳۹۰-۱۳۸۰)

منابع آب		مصارف واحد			
		کشاورزی	شرب	صنعت	جمع
سطحی	سدهای مخزنی و انحرافی مستقل و پمپاژ	-	-	-	-
	برداشت‌های سنتی	۱۳۶	-	-	۱۳۶
زیرزمینی	چاههای عمیق و نیمه‌عمیق	۵۰۸	۳۳/۵۷	۱/۶۵	۵۴۳/۲۲
	چشمه‌ها	۵/۲۲	-	-	۵/۲۲
	قنوات	۵/۸۶	-	-	۵/۸۶
جمع کل (مصرف ناخالص)		۶۵۵/۰۸	۳۳/۵۷	۱/۶۵	۶۹۰/۳

۱-۸- ویژگی‌های طرح تغذیه مصنوعی خوی

طرح تغذیه مصنوعی خوی در شهرستان خوی در فاصله ۱۲ کیلومتری شمال غربی شهر خوی واقع شده است. این طرح در حاشیه جاده خوی به چالدران، در بالادست دشت خوی بر روی یک مخروط افکنه قدیمی و در مجاورت روستای قشلاق احداث شده است. در مجاورت این حوضچه‌ها یک آبراهه‌ای طبیعی قرار دارد که در مواقع لزوم آب اضافی به این آبراهه هدایت می‌شود. شکل‌های (۱-۵، ۱-۶، ۱-۷، ۱-۸ و ۱-۹) بخش‌های مختلف طرح تغذیه مصنوعی خوی را نشان می‌دهد.

۱-۸-۱- ویژگی‌های فیزیکی طرح

این طرح شامل هفت حوضچه نفوذ با ابعاد تقریبی۷۰×۱۳۵ مترمربع و در مجموع دارای مساحت ۷/۴ هکتار و دو حوضچه رسوبگیر در مجموع به مساحت ۳۳۳۰۰ متر مربع (حدود ۳/۳ هکتار) می‌باشد. آب مورد نیاز جهت استفاده در حوضچه‌های نفوذ از رودخانه الند توسط یک کانال روباز ۱۶ کیلومتری به حوضچه‌ها هدایت می‌شود. در مدخل ورودی آب به شبکه تغذیه یک سه‌راهی کنترل، جهت مدیریت آب ورودی به دو حوضچه رسوبگیر و در مواقع ضروری هدایت آب اضافه به دره مجاور شبکه تغذیه، تعبیه گردیده است. جهت جلوگیری از ورود مواد درشت به شبکه در ابتدای هر یک از حوضچه‌های رسوبگیر یک دیوار منفذدار کار گذاشته شده است. آب هدایت شده به شبکه پس از ورود به حوضچه‌های نفوذ مواد جامد معلق آن رسوب کرده و پس از پر شدن حوضچه رسوبگیر آب سرریز کرده و از طریق کانال‌های ارتباطی به حوضچه‌های نفوذ انتقال داده می‌شود. حوضچه رسوبگیر شماره یک آب مورد نیاز حوضچه‌های شماره ۱، ۲ و ۳ را تأمین می‌کند و حوضچه رسوبگیر شماره دو تأمین آب حوضچه‌های نفوذ شماره ۴، ۵، ۶ و ۷ را برعهده دارد.

شکل ۱-۵- نقشه کلی طرح تغذیه مصنوعی خوی

شکل ۱-۶- نمایی از کانال انتقال آب طرح تغذیه مصنوعی خوی

شکل ۱-۷- نمایی از حوضچه کنترل سه‌راهی طرح تغذیه مصنوعی خوی

شکل ۱-۸- نمایی از حوضچه‌های رسوبگیر طرح تغذیه مصنوعی خوی

شکل ۱-۹- نمایی از حوضچه‌های تغذیه طرح تغذیه مصنوعی خوی

۱-۸-۲- تاریخچه و مشکلات طرح

آبخوان فیرورق یکی از مناطق مهم کشاورزی در شمال استان آذربایجان غربی به‌شمار می‌رود که جهت تأمین آب مورد نیاز کشاورزی منطقه چاههای عمیق و نیمه عمیق زیادی در منطقه حفر شده است. به دلیل نبود مدیریت در برداشت آب از آبخوان مذکور سطح آب در طی دوران طولانی به شدت افت داشته است. جهت رفع این مشکل و با توجه به پتانسیل موجود در منطقه تصمیم به احداث تغذیه مصنوعی گردید. مطالعات اولیه طرح تغذیه مصنوعی خوی در طی سال‌های ۱۳۷۲ الی ۱۳۷۴ توسط پیمانکاران تسواج – آتورپات صورت گرفت. با توجه به شرایط منطقه و وجود رودخانه دائمی در آن تغذیه مصنوعی به روش حوضچه‌ای انتخاب گردید. این طرح برای آبگیری سالانه حجم قابل توجه ۲۰ میلیون متر مکعب احداث گردید، که در نوع خود یکی از بزرگترین طرح تغذیه مصنوعی به روش حوضچه‌ای در کشور محسوب می‌شود. بعد از پایان گرفتن مطالعات اولیه، ساخت تاسیسات شبکه تغذیه مصنوعی در سال ۱۳۷۴ توسط شرکت زیستاب آغاز گردید و در سال ۱۳۷۷ پایان یافت. این طرح در سال ۱۳۷۷ به صورت رسمی شروع به آبگیری نمود. اما با توجه به مشکلات فراوان مانند برودت هوا، یخزدگی کانال انتقال آب در فصل زمستان، عدم بکارگیری پرسنل مورد نیاز، شکستگی دیواره‌های کانال انتقال آب، استفاده غیر قانونی کشاورزان از آب کانال در طی مسیر کانال هیچ وقت به طور کامل آبگیری نشد. در سال بهره‌برداری از این طرح در حدود یک میلیون متر مکعب آبگیری کرد. که در مجموع سه سال اول آبگیری حدود ۵ میلیون متر مکعب آب به آبخوان نفوذ داده شد. در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۲ شرایط آبگیری بهتر شده و حدود ۱۵ میلیون متر مکعب آب از طریق کانال به شبکه تغذیه هدایت گردید. از سال ۱۳۸۳ تا سال ۱۳۸۷ دوباره به دلیل مشکلات فوق آبگیری کاهش یافته و در این پنج سال در مجموع کمتر از ۱۳ میلیون متر مکعب آب به زمین نفوذ داده شد. از سال ۱۳۸۸ تا سال ۱۳۹۰ به طور متوسط سالانه ۱۰ میلیون متر مکعب آبگیری صورت گرفته، که در سال ۱۳۹۰ به حدود ۱۲ میلیون مترمکعب رسیده است. شکل (۱-۵) تاریخچه عملیات ساخت و آبگیری طرح مذکور را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۵- تاریخچه عملیات ساخت و آبگیری طرح تغذیه مصنوعی خوی

سال آبی	عملیات
۷۴ - ۱۳۷۲	مطالعات اولیه
۷۷ - ۱۳۷۴	ساخت کانال انتقال آب و حوضچه‌های تغذیه مصنوعی
۸۰ - ۱۳۷۷	شروع آبگیری (مجموع آبگیری کمتر از پنج میلیون متر مکعب)
۸۲ – ۱۳۸۰	میزان آبگیری در حدود ۱۵ میلیون متر مکعب
۸۶ - ۱۳۸۲	میزان آبگیری کم (در طی پنج سال حدود ۱۳ میلیون متر مکعب)
۹۰ – ۱۳۸۷	آبگیری اصلی (در طی سه سال حدود ۳۲/۵ میلیون متر مکعب)

فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته

۲-۱- مقدمه

میانگین سالانه بارندگی کشور ایران حدود ۲۵۰ میلیمتر بوده، که این مقدار حدود یک سوم میانگین بارندگی سالانه جهانی می‌باشد. میانگین بارندگی کم و توزیع نامناسب آن در سطح کشور باعث شده است که بخش بزرگی از کشور ما را مناطق خشک و نیمه‌خشک فرا بگیرد. بنابراین در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهت رفع نیاز آبی در بخش‌های مختلف از آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. در گذشته معمولاً بین تغذیه طبیعی آبخوان و استخراج آب از آبخوان تعادل برقرار بوده است. اما امروزه به دلیل رشد سریع جمعیت و متناسب با آن نیاز بیشتر به منابع آب، موجب بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی شده است. بنابراین، تعادل در بسیاری از آبخوان‌های کشور به هم‌خورده و بیلان آب در بسیاری از آبخوان‌ها منفی گزارش شده است. این در حالی است که به دلیل توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارندگی سالیانه مقدار قابل توجهی از آب بارندگی به صورت سیلاب و رواناب از مناطق مورد نیاز هدر می‌رود. استفاده از این آب‌های سطحی علاوه بر کاهش خسارت‌های ناشی از سیل و هدر رفتن سرمایه ملی، مناسب‌ترین راه برای بهبود وضعیت آبخوان ها به شمار می‌رود.

تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی (Artificial recharge of groundwater) عبارت است از افزایش حرکت طبیعی آب‌های سطحی به داخل سازندهای زیرزمینی به‌وسیله روش‌های مختلف ساختمانی، پخش آب و یا به‌وسیله ایجاد تغییرات مصنوعی در شرایط طبیعی (Todd, 2005).

۲-۲- اهداف تغذیه مصنوعی

تغذیه مصنوعی برای اهداف گوناگون استفاده می‌شود که به شرایط جغرافیایی، طبیعی، اقتصادی بستگی دارد. بالاک و ژو (Balke and Zhu, 2008) در تحقیقاتی گسترده، پروژه‌های تغذیه مصنوعی که طی صد سال گذشته در آلمان اجرا شده را مورد بررسی قرار داده است. نتایج حاصل از این تحقیقات نشان می‌دهد که بیشتر طرح‌های تغذیه مصنوعی در کشور آلمان برای اهداف تولید آب آشامیدنی، بهبود کیفیت آب‌های زیرزمینی، ذخیره کردن آب شیرین، نفوذ آب‌های اضافی در سطح زمین و غیره استفاده شده است، که در مجموع اثرات این طرح‌ها مثبت گزارش شده است. در زیر به مهمترین اهداف تغذیه مصنوعی اشاره شده است.

۲-۲-۱- جلوگیری از پایین افتادن سطح آب زیرزمینی

با توجه به این که برداشت زیاد از آبخوان‌ها در طی سالیان اخیر مشکلات کم آبی زیادی را باعث شده است، از این رو غالب طرح‌های تغذیه مصنوعی جهت جلوگیری از پایین آمدن سطح آب زیرزمینی اجرا می‌گردد.

زارع و همکاران (۱۳۷۸) با مطالعاتی که بر روی تغذیه مصنوعی دشت امامزاده جعفر گچساران انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که با وجود عدم آبگیری حوضچه‌های تغذیه در طی سه سال پس از اجرای طرح (به جز آبگیری موقت آنها در دی ماه ۱۳۷۶) و فقط به خاطر نفوذ آب از طریق مخزن بند انحرافی، وضعیت آبخوان آزاد پایین‌دست آن از نظر کمی بهبود نسبی پیدا کرده است. با توجه به موقعیت طرح و جهت جریان آب زیرزمینی، آب تغذیه شده پس از پر کردن خلل و فرج موجود در بالای سطح ایستابی (زون غیراشباع) و رسیدن به سطح ایستابی، ایجاد گنبدهای آب زیرزمینی کرده و پس از گسترش آنها در جهت شیب هیدرولیکی، افزایش سطح آب زیرزمینی آبخوان پایین‌دست طرح را سبب گردیده است.

طرح تغذیه مصنوعی جاسک – آبدان بر روی دشت آبدان برای بهبود سطح آب زیرزمینی در سال ۱۳۷۶ انجام گرفته است. نتایج این اندازه‌گیری نشان می‌دهد که ارتفاع مطلق سطح ایستابی دشت آبدان در

مهرماه ۱۳۷۶ برابر با ۱۴/۶۳ متر بوده، ولی بعد از شروع بارندگی و با به کار افتادن طرح تغذیه مصنوعی سطح ایستابی کل دشت افزایش یافته و در دی ماه این ارتفاع به ۱۶/۶ متر رسیده است. این تحقیقات با استفاده از ۱۳ حلقه پیزومتری موجود در منطقه صورت پذیرفته است (کلانتری و رحمانی ۱۳۷۶).

در شمال غربی کشور بلژیک در یکی از شهرهای ساحلی به دلیل افت سطح آب زیرزمینی طرح تغذیه مصنوعی بعد از چند سال مطالعه در سال ۲۰۰۲ احداث گردیده است. جهت تغذیه آبخوان، آب تصفیه شده فاضلاب همان شهر مورد استفاده قرار گرفته است. آب فاضلاب بعد از تصفیه به چاههای عمیق متروکه و همچنین چاههای تازه حفر گردیده، انتقال داده شده است (مجموعه چاههای در نظر گرفته برای تزریق آب به آبخوان حدود ۱۱۰ عدد می‌باشند که در دو منطقه جداگانه قرار دارند). برای بررسی تأثیر طرح تغذیه مصنوعی مذکور آزمایش‌های ژئوفیزیکی متعددی انجام گرفته که نشان دهنده تأثیر مثبت این طرح بر آبخوان منطقه می‌باشد (Vandenbohede *et al.* 2002).

ضیاء و اصغری‌مقدم (۱۳۸۳) اثرات طرح تغذیه مصنوعی شوراب بیرجند را بین سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۲ مورد بررسی و تحلیل قرار داده است. نتایج حاصل نشان داد که سطح آب بعد از اجرای طرح تغذیه ۱۵ سانتیمتر بالا آمد.

شهرک صنعتی پلوپونسوس (Peloponnesus) در کشور یونان واقع شده است. این شهرک آب مورد احتیاج خود را از طریق چاه‌های عمیق که در سفره محبوس در همین منطقه حفر گردیده است تأمین می‌کند. به دلیل توسعه شهرک صنعتی این منطقه، آب بیشتر مورد نیاز بوده، که استخراج بیش از حد آب از سفره محبوس در محدوده این منطقه را به دنبال داشته است. برای بهبود سطح آب در این آبخوان، از سه چاه عمیق خشک شده برای تزریق آب به سفره استفاده گردیده است. در طی دوره تغذیه حدود ۲۰۰۰۰ متر مکعب آب از رودخانه که از کنار این منطقه می‌گذرد به آبخوان تزریق شده است. وودوریس و همکاران (Vouddouris *et al.* 2004) با بررسی‌های که در این منطقه انجام داده‌اند به این نتیجه رسیدند که سطح آب بعد از تغذیه مصنوعی با استفاده از این چاه‌ها سطح آب سفره بالا آمدگی ۰/۸۷ متر تا ۳/۷۸ متر را نشان می‌دهد.

سامادر و همکاران (Samadder *et al*. 2011) با ارزیابی نقشه‌های هم‌پتانسیل قبل و بعد از انجام تغذیه مصنوعی در دشت گانگ (Ganga) در کشور هند ملاحظه کردند که سطح آبهای زیرزمینی این منطقه به طور قابل ملاحظه‌ای بالا آمده است.

ابراهیمی و رضایی (۱۳۷۹) اثرات پخش سیلاب دشت موسیان دهلران را بین سال‌های ۱۳۷۵ الی ۱۳۷۹ را مورد بررسی قرار داده است. جهت بررسی اثرات این طرح ۱۰ حلقه چاه در محدوده آبخوان و ۱۰ حلقه چاه در خارج از محدوده آبخوان با هم مقایسه گردیده است. به طور متوسط حدود ۱۰/۵ میلیون متر مکعب آب وارد عرصه پخش سیلاب گردیده است، که بالای ۷۵ درصد از این آب به آبخوان نفوذ کرده است. نتایج نشان می‌دهد که سطح آب در آبخوان به طور قابل توجهی بالا آمده و کشاورزی توسعه بیشتری پیدا کرده است.

با توجه به منابع فوق الذکر، ملاحظه می‌شود که تقریباً در تمام طرح‌های تغذیه مصنوعی، کمیت آبهای زیرزمینی موجود در آبخوان‌های منطقه بهبود یافته‌اند. به این ترتیب که بعد از آبگیری طرح تغذیه مصنوعی نه تنها از روند افت سطح آبهای زیرزمینی جلوگیری به عمل آمده است بلکه در بسیاری از موارد سطح آبهای زیرزمینی به طور محسوسی بالا آمده است.

۲-۲-۲- تصفیه و ذخیره‌سازی فاضلاب و آب‌های آلوده سطحی

یکی از اهداف مهم اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی پالایش آب‌های آلوده سطحی می‌باشد. لایه‌های زمین می‌تواند به عنوان یک فیلتر عمل کرده و آب‌های آلوده را پس از تصفیه به آبخوان نفوذ دهد. به منظور ارزیابی نقش تغذیه مصنوعی در تصفیه فاضلاب و آب‌های آلوده شبیه‌سازی فیزیکی شرایط حوضچه‌های تغذیه مصنوعی، از ستون‌های استوانه‌ای شکل PVC به قطر ۳۰ سانتیمتر و ارتفاع ۲۵۰ سانتیمتر استفاده گردیده است. ستون‌ها از خاک‌های لوم پر شده و از فضلاب شهری منطقه ماهدشت استان البرز استفاده شده است. در این شبیه‌سازی از سه حالت خاک با پوشش ژئوتکستایل، خاک با پوشش بقایای مصالح ساختمانی و خاک بدون پوشش استفاده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که روش خاک با پوشش

ژئوتکستایل از دیگر روش‌ها اثرات بهتری داشته و باعث حذف ۸۰ درصدی فسفر و ۶۸ درصدی مواد جامد معلق شده است (جوانی و همکاران ۱۳۹۱).

در شهرک اکباتان برای مهار فاضلاب و پساب‌های صنعتی طرح تغذیه مصنوعی به صورت حوضچه‌ای در نظر گرفته شده است. این طرح دو هدف را دنبال می‌کند، اول تصفیه فاضلاب و پساب موجود، دوم بالا بردن سطح آب زیرزمینی در آبخوان منطقه می‌باشد. در طرح تغذیه مصنوعی اکباتان، آلاینده‌هایی مانند BOD_5، COD نیتروژن، فسفر و عوامل بیماری‌زایی بیولوژیکی نسبت به عمق خاک و تغییرات آن با گذشت زمان اندازه‌گیری شده است. مشاهدات نشان می‌دهد که غلظت اولیه BOD_5 در پساب حدوداً ۹/۹۶ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد، که بعد از تغذیه آب‌زهکشی شده مقدار آن به ۱/۱۷ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است. مقدار اولیه COD در فاضلاب قبل از تغذیه بطور میانگین ۱۳/۷۳ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد، که بعد از تغذیه آب‌زهکشی شده مقدارش به طور میانگین به ۵/۸۳ میلی‌گرم بر لیتر کاهش پیدا می‌کند. همچنین غلظت نیتروژن بعد از تصفیه به ۷/۹۶ میلی‌گرم بر لیتر کاهش پیدا می‌کند، که درصد حذف نیتروژن را حدود ۳۵/۳۶ نشان می‌دهد. مقدار فسفر در فاضلاب حدود ۵/۱ میلی‌گرم بر لیتر بوده که پس از نفوذ به زمین مقدار آن در آب‌زهکشی شده از آب تغذیه شده به حدود ۱/۵۵ میلی‌گرم بر لیتر کاهش می‌یابد. در این طرح باکتری‌های کلیفرم مورد بررسی شده حذف بالای ۹۸ درصد را نشان داده شده است (حسن‌اقلی و لیاقت ۱۳۸۷).

تغذیه مصنوعی به روش آب‌پاشی در جنگل اسکر (Esker) در کشور فنلاند موجب شده است که غلظت کربن آلی محلول DOC در آبهای زیرزمینی درون خاک حدود ۳۰ درصد کاهش پیدا کند. علت این کاهش قابل توجه به خاصیت فیلتری خاک مربوط می‌شود (Lindroos *et al*. 2002).

طرح تغذیه مصنوعی برلین در آلمان جهت از بین بردن آلودگی‌های میکروارگانیگ در آبهای سطحی در سال ۲۰۰۶ اجرا گردیده است. مطالعه نتایج حاصل از اجرای این طرح تغذیه مصنوعی در زمان‌های مختلف پس از اجرای طرح با بررسی نمونه‌های مختلف آب زیرزمینی در فواصل مختلف، از مکان تزریق آب تأثیر مثبت را نشان می‌دهد (Maeng *et al*. 2010).

در منطقه بیجینگ (Beijing) در کشور چین جهت تصفیه آب‌های آلوده به مواد آلی و هالوژن‌ها طرح تغذیه منصوعی در یک منطقه به مساحت ۲۲۰۰ کیلومتر مربع اجرا گردیده است. این طرح از نوع پشرفته پخش ثانویه است که با توانایی خاک آبخوان برای فیلتر کردن بهتر مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که خاک آبخوان توانسته است آلودگی مواد آلی DOC را به مقدار ۴۰ درصد و آلودگی‌های هالوژن را به مقدار ۷۰ درصد کاهش دهد (Zheng and Jian-long 2006).

در جمع‌بندی این بخش می‌توان این چنین اظهار نمود که اجرای طرح تغذیه مصنوعی تأثیر به سزایی را برحذف آلاینده‌ها و افزایش ذخیره آبی لایه آبدار زیرزمینی بر جای گذاشته است.

۲-۲-۳- بهبود کیفیت آب‌های زیرزمینی

در ایالت متحده از تغذیه مصنوعی با روش حوضچه‌ای برای کاهش شوری آبخوان استفاده شده است. این طرح از سال ۱۹۷۱ الی ۱۹۷۵ صورت گرفته، چاههای پایین دست این طرح تغذیه بعضی از تغییرات شیمیایی را در طی دوره تغذیه نشان می‌دهد. اجرای این طرح باعث کاهش شوری آب زیرزمینی در پایین‌دست ناحیه تغذیه در جهت حرکت آب زیرزمینی شده است. آب مورد استفاده برای تغذیه حاوی کمتر از ۵۰ میکروموس بر سانتیمتر شوری بوده است. شش ماه پس از شروع اولین دوره تغذیه مصنوعی میانگین شوری آب زیرزمینی از ۱۴۷ میکروموس بر سانتیمتر به ۱۰۰ میکروموس بر سانتیمتر و چهار ماه بعد به ۷۴ میکروموس بر سانتیمتر رسیده است (Muir 1974، به نقل از رحمانی ۱۳۷۸).

در یکی از مناطق چین به دلیل پایین بودن کیفیت آبخوان منطقه، طرح تغذیه مصنوعی آب سطحی با کیفیت بالا به منظور تزریق در آبخوان مذکور در نظر گرفته شده است. جهت تزریق آب به این آبخوان از بستر رودخانه هاتو (Hutuo) استفاده شده است. برای بررسی نتایج حاصل از این طرح، آنالیز چهار یون F، NO_3، Cl و SO_4 از نمونه‌های آب زیرزمینی به مدت سه ماه مورد بررسی قرار گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که بعد از این طرح مقدار یون‌هایF، Cl و SO_4 در آب زیرزمینی منطقه افزایش پیدا کرده، و یون NO_3 در این آبخوان کاهش یافته است (Shanghai and Danmei 2012).

در طرح تغذیه مصنوعی شهر آمستردام هلند در شمال اروپا که به‌وسیله تزریق آب رودخانه راین به داخل بستر رودخانه‌ای قدیمی با نفوذپذیری بالا صورت می‌گیرد، به دلیل این که آب تزریق شده دارای کیفیت بسیار خوبی می‌باشد باعث بهبود کیفیت آب زیرزمینی منطقه شده است. در این طرح غلظت یون‌های اصلی در یک بازه زمانی طولانی ۵۰ ساله بین سال‌های ۱۹۵۲ الی ۲۰۰۸ مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. به این ترتیب که مقدار منیزیم از حدود ۰/۵ میلی‌مول در لیتر به کمتر از ۰/۲ میلی‌مول در لیتر رسیده است و غلظت یون کلسیم نیز از دو میلی‌مول بر لیتر به حدود ۱/۵ میلی‌مول بر لیتر کاهش یافته است. با توجه به کاهش غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم سختی آب کاهش پیدا کرده است. همچنین مقدار یون سدیم که قبل از اجرای به طور میانگین حدود چهار میلی‌مول در لیتر بوده در طول اجرای طرح تغذیه مصنوعی مذکور به طور مداوم بهبود یافته تا اینکه در سال‌های اخیر به کمتر از دو میلی‌مول بر لیتر رسیده است (Karlsen *et al.* 2012).

در شمال غربی کشور چین در منطقه دوهانگ (Dunhung) تغذیه آب‌های زیرزمینی منطقه که به‌وسیله رودخانه دوهانگ صورت می‌گیرد، مورد بررسی قرا گرفته است. این منطقه از رسوبات کواترنری پوشیده شده، که در زیر شامل لایه‌های غیرمحبوس می‌باشد و رودخانه دوهانگ در بالادست حوضه قرار دارد، که آب رودخانه دارای کیفیت بسیار خوب می‌باشد. با استفاده از پارامترهای شیمیایی، ایزوتوپ‌های پایدار و رادیو کربن تاثیرات کیفی تغذیه آبخوان زیرزمینی منطقه به‌وسیله رودخانه دوهانگ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار TDS، یون‌های کلر، پتاسیم، نیترات و سدیم در مناطق نزدیک به محل تغذیه مصنوعی پایین می‌باشد و با فاصله گرفتن از محل تغذیه بر مقدار آنها افزوده می‌شود که نشان‌دهنده تاثیر تغذیه مصنوعی بر آبخوان منطقه می‌باشد (Ma *et al.* 2012).

جزیره آتشفشانی جیجو (Jeju) در کشور کره جنوبی به دلیل نبود رودخانه دائمی آب شیرین مورد نیاز خود را تنها از طریق آب‌های زیرزمینی تامین می‌کنند. در سال‌های اخیر به دلیل استفاده بیش از حد از آب‌های شیرین آبخوان منطقه، سطح آبهای زیرزمینی در جزیره افت حاصل کرده است، که باعث ورود آب شور دریا به آبخوان شده، که در نتیجه کیفیت آب‌های زیرمینی جزیره پایین آمده است. برای رفع این

مشکل آب‌های باران در هنگام بارندگی جمع‌آوری شده و از طریق حوضچه‌ها به زمین نفوذ داده می‌شود. برای بررسی تاثیر عملکرد این طرح پارامترهای شیمیایی از جمله یون‌های کلر، سدیم، نیترات و پتاسم مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد یون کلر که قبلاً به دلیل هجوم آب شور دریا مقدارش بالا بوده است پس از اجرای طرح مقدار این یون کاهش پیدا کرده است.

نتایج حاصل از مطالب ذکر شده نشان می‌دهد که تغذیه مصنوعی با استفاده از آبهای دارای کیفیت مناسب باعث بهبود کیفیت آبهای زیرزمینی شده است.

۲-۲-۴- افزایش دبی قنوات

در سال‌های گذشته به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و تشدید خشکسالی آبدهی قنات‌ها در کشور با کاهش قابل توجهی مواجه بوده است. از این رو اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی به عنوان یکی از اساسی‌ترین روش جهت احیای دوباره قنوات در نظر گرفته شده است.

گودرزی و اسلامیان (۱۳۸۴) با بررسی اثرات قبل و بعد از اجرای طرح تغذیه مصنوعی باغ سرخ شهرضا بر قنات‌های منطقه، ملاحظه کردند که طرح مذکور بر آبدهی قنات‌های منطقه تأثیر مثبت داشته است. در منطقه کاشمر برای احیای دوباره قنات‌های منطقه طرح تغذیه مصنوعی و آبخیزداری انجام گرفته شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که اجرای طرح مذکور بر سطح آب در آبخوان منطقه تأثیر مثبت داشته و باعث احیای دوباره قنات‌های منطقه گردیده است (بصیری و همکاران ۱۳۸۴).

گلرنگ و همکاران (۱۳۸۴) تأثیر پخش سیلاب منطقه سبزوار را بر روی سطح آب زیرزمینی و قنات‌ها مورد بررسی قرا داده‌اند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد اگر پخش سیلاب به مقدار کافی افزایش پیدا کند در دراز مدت تأثیر مثبت بر آبخوان منطقه بر جا می‌گذارد.

با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر تغذیه مصنوعی بر افزایش قنوات موفقیت‌آمیز بوده و افزایش دبی قنوات را به همراه داشته است.

۲-۲-۵- استفاده از تغذیه مصنوعی جهت جلوگیری از پیشروی آب شور دریا

بیش از نیمی از جمعیت جهان در حال حاضر در ۸۰ کیلومتری سواحل زندگی می‌کند و جمعیت انسانی در این مناطق روز به روز در حال رشد می‌باشد، به طوری که انتظار می‌رود جمعیت در این مناطق در دو و سه دهه آینده به دو برابر برسد. برداشت قابل توجهی از آب زیرزمینی در این مناطق باعث به هم خوردن تعادل آب زیرزمینی و آب شور دریا شده است. یکی از دلایل مهم اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی در مناطق ساحلی و کویری جلوگیری از روند افزایشی هجوم آب شور دریا و یا کویر به سمت آب‌های زیرزمینی به دلیل افزایش بی‌رویه استحصال آب از سفره‌های آب‌زیرزمینی در این گونه مناطق می‌باشد.
در یک منطقه ساحلی تونس بنام (Teboulba) به دلیل توسعه صنایع و رشد جمعیت، بهره‌برداری بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی باعث پیشروی آب شور ساحلی به سمت آب شیرین آبخوان شده است. برای حل این مشکل طرح تغذیه مصنوعی به مدت سه سال در این منطقه اجرا گردیده است، که موجب جلوگیری از پیشروی آب شور دریا به آبخوان این منطقه و بهبود وضعیت آبخوان شده است (Bouri and Dhia 2012).

در شمال غربی کشور بلژیک در یکی از شهرهای ساحلی به دلیل افزایش استخراج آب از آبخوان منطقه سطح آب پایین افتاده، علاوه بر پایین افتادن سطح ایستابی باعث هجوم آب شور دریا به آبخوان شده است. برای رفع این مشکل طرح تغذیه مصنوعی با روش تغذیه از طریق چاه انجام گرفته و برای این طرح آب مورد نیاز از فاضلاب تصفیه شده شهر استفاده گردیده است. وندنبوهد و همکاران (Vedenbohede *et al*. 2008)، با مطالعاتی که روی این طرح انجام دادند، بیان کردند که این سیستم در بهبود کیفی آب زیرزمینی موفقیت آمیز بود بوده است. در این طرح آب فاضلاب بعد از تصفیه بصورت میانگین TDS آن کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده و آب استخراجی از چاهها قبل تغذیه حدود ۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر را نشان می‌داد. تحقیقات انجام گرفته برای طرح مذکور بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ بوده است.

با عنایت به مطالب بالا ملاحظه می‌شود که اجرای طرح‌های تغذیه مصـنوعی در جلـوگیری از هجـوم آب شور دریا به آبخوان‌های منطقه مثبت بوده و باعث تعادل بین آب زیرزمینی آبخوان‌ها و آب شور دریا شده است.

فصل سوم: روش انجام تحقیق

همان طور که در فصل اول اشاره شد هدف از این تحقیق بررسی اثرات کمی و کیفی طرح تغذیه مصنوعی خوی بر آبخوان منطقه می‌باشد. در این فصل کلیه کارهایی که جهت بررسی اثرات طرح تغذیه مصنوعی خوی انجام شده، به طور مختصر توضیح داده می‌شود. به طور کلی در این تحقیق موارد زیر انجام گرفته شده است:

- جمع‌آوری آمار و اطلاعات
- بررسی مشخصات فیزیکی طرح
- تهیه نقشه‌ها و نمودارهای مورد نیاز
- بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی
- بررسی اثر کمی طرح تغذیه مصنوعی خوی بر آبخوان منطقه
- بررسی اثر کیفی طرح تغذیه مصنوعی خوی بر آبخوان منطقه

۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات

به منظور بررسی اثرات طرح تغذیه مصنوعی خوی بر کمیت و کیفیت آبهای زیرزمینی منطقه اطلاعات مربوط به هواشناسی منطقه، ارتفاع سطح آب در پیزومترهای موجود در منطقه، کیفیت آب ورودی به حوضچه‌های تغذیه و کیفیت آبهای زیرزمینی از شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی اخذ گردید. همچنین اطلاعات مورد نیاز منطقه شامل آب‌شناسی، زمین‌شناسی، تاریخچه طرح تغذیه از اداره امور منابع شهرستان خوی تهیه گردید. شکل (۳-۱) نمای کلی از طرح تغذیه مصنوعی خوی را نشان می‌دهد.

شکل ۳-۱- نمای از طرح تغذیه مصنوعی خوی

۳- ۲- بررسی مشخصات طرح

جهت بررسی مشخصات طرح ابتدا مطالب و اسناد طرح تغذیه مصنوعی خوی از اداره مدیریت منابع آب خوی و سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی طی چندین مراجعه جمع‌آوری و مطالعه گردید. سپس جهت شناخت کامل طرح سه بازدید در مرداد، شهریور و اسفند سال ۱۳۹۱ از شبکه تغذیه مصنوعی خوی به عمل آمد. همچنین برای شناخت کانال انتقال آب، مشکلات کانال و رودخانه الند بازدیدی در این ارتباط صورت گرفت. بازدید از طرح هم در زمان آبگیری (اسفند ۱۳۹۱) و هم در زمان عدم آبگیری (شهریور ۱۳۹۱) انجام شد (شکل‌های ۳-۲ و ۳-۳).

شکل۳-۲- حوضچه‌های تغذیه مصنوعی در زمان عدم آبگیری (آب موجود ناشی از بارندگی می‌باشد)

شکل ۳-۳- حوضچه‌های تغذیه مصنوعی در زمان آبگیری

۳-۳- تهیه نقشه‌ها و نمودارهای مورد نیاز

در این تحقیق از نقشه‌های زمین‌شناسی، هم‌پتانسیل، هدایت الکتریکی و همچنین از نمودارهای کیفی جهت ارزیابی طرح استفاده شده است. نحوه تهیه انواع نقشه‌ها و نمودارهای کیفی مختلف در زیر آمده است.

الف- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق از نقشه زمین‌شناسی منطقه به عنوان نقشه پایه استفاده گردیده است. برای تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰،۰۰۰ منطقه خوی استفاده شده و با استفاده از نرم‌افزار GIS نقشه زمین‌شناسی منطقه تهیه شده است. در این نقشه سازندهای زمین‌شناسی محدوده دشت مطالعاتی نشان داده شده است.

ب- نقشه هم‌پتانسیل سطح آب زیرزمینی

به منظور تعیین جهت جریان آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نقشه هم‌پتانسیل آبخوان منطقه مورد مطالعه برای شهریور سال ۱۳۹۰ ترسم گردیده است. جهت ترسیم نقشه مذکور از داده‌های پنج پیزومتر فیرورق خروجی، محله بالا، فیرورق ورودی، ینگجه و پیرموسی استفاده شده است.

ج- نقشه هدایت الکتریکی

جهت ترسیم نمودار هدایت الکتریکی از مختصات جغرافیایی چاههای موجود در منطقه مورد (قشلاق، محله بالا، فیرورق و ینگجه) و مقادیر هدایت الکتریکی هر یک از چاهها استفاده شده است.

د- رسم نمودارها کیفی آبخوان

جهت تعین نوع آب، تیپ آب و مقایسه سریع ترکیب شیمیایی آبخوان منطقه قبل و بعد از آبگیری طرح تغذیه مصنوعی از نمودارهای کیفی از قبیل پایپر و استیف استفاده شده است. جهت ترسیم نمودارهای مذکور از داده‌های چهار چاه انتخابی قشلاق، محله بالا، فیرورق و ینگجه استفاده شده است.

۳-۴- بررسی خصوصیات کیفی آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی

جهت بررسی کیفیت آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی آمار کیفیت رودخانه الند (آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی) از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۹۰ از شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی دریافت و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

همچنین دو نمونه‌برداری از آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی از کانال انتقال و حوضچه‌ها در اسفند ۱۳۹۱ و فروردین سال ۱۳۹۲ صورت گرفت. نمونه‌های گرفته شده مورد اندازه‌گیری قرار گرفته است. شکل (۳-۴) نمونه‌برداری از آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی را در اسفند ۱۳۹۰ را نشان می‌دهد.

شکل ۳-۴- نمونه‌برداری از آب ورودی به طرح تغذیه مصنوعی خوی در اسفند ۱۳۹۰

۳-۵- بررسی اثر کمی طرح تغذیه مصنوعی خوی بر آبخوان منطقه

جهت بررسی اثر کمی طرح تغذیه مصنوعی خوی بر آبخوان منطقه مورد مطالعه اطلاعات کلی تمام پیزومترها، چشمه‌ها و قنات‌ها جمع‌آوری گردید. با توجه به این که داده‌های موجود برای چشمه‌ها و قنات‌ها ناقص بود، امکان بررسی تغییرات کمی آب این منابع میسر نبوده و تغییرات کمی آبخوان تنها با استفاده از اطلاعات مربوط به پیزومترها مورد بررسی قرار گرفت. پیزومترهایی که مورد استفاده قرار گرفتند، شامل پیزومتر فیرورق خروجی، محله بالا، فیرورق ورودی، ینگجه و پیزومتر پیرموسی می‌باشد. جهت ارزیابی اثر طرح تغذیه مصنوعی بر کمیت آبخوان هیدروگراف پیزومترهای مذکور برای قبل و بعد از اجرای طرح تغذیه مصنوعی ترسیم گردید، سپس هیدروگراف ترسیم شده به دوره‌های سه ساله تفکیک شده و شیب هر یک از دوره‌ها محاسبه شد. با استفاده از مقایسه شیب‌های دوره‌های مختلف اثر کمی طرح مذکور برآبخوان مورد تحلیل و تفسیر قرار گرفته است.

۳-۶- بررسی اثر کیفی طرح تغذیه مصنوعی خوی بر آبخوان منطقه

جهت بررسی اثر تغذیه مصنوعی مذکور بر کیفیت آبخوان منطقه مورد مطالعه اطلاعات مربوط به کیفیت آب زیرزمینی چاههای بهره‌برداری انتخابی که در پایین دست شبکه تغذیه واقع شده است، استفاده گردید. برای نشان دادن اثر کیفی طرح مذکور آنالیز شیمیایی کامل چاههای انتخابی بهره‌برداری قشلاق، محله بالا، فیرورق و ینگجه مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به این که داده‌های کیفی قبل از طرح ناقص بوده، برای بررسی اثر کیفی طرح مذکور از داده‌های قبل از آبگیری اصلی و بعد از آبگیری اصلی استفاده شده است. همچنین جهت کنترل داده‌های کیفی موجود هشت مرحله نمونه‌برداری در شهریور، مهر و آبان ۱۳۹۲ از دو حلقه چاه در مناطق قشلاق و فیرورق صورت است.

فصل چهارم: بررسی اثرات طرح تغذیه مصنوعی خوی بر کمیت و کیفیت آبخوان منطقه

جهت ارزیابی اثرات طرح تغذیه مصنوعی خوی بر کمیت و کیفیت آبخوان منطقه، موارد زیر مورد بررسی قرار گرفته‌اند:

الف – کمیت آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی

ب – بررسی اثر کمی طرح تغذیه مصنوعی خوی بر آبخوان منطقه

ج – ارزیابی کیفیت آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی

د – بررسی اثر کیفی طرح تغذیه مصنوعی خوی بر آبخوان منطقه مورد مطالعه

۴-۱- کمیت آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی

آب ورودی به حوضچه‌های تغذیه مصنوعی خوی به‌وسیله یک کانال شانزده کیلومتری از طریق رودخانه الند تأمین می‌شود. این طرح برای آبگیری حجم بیست میلیون متر مکعب در سال احداث گردیده است. آبگیری این طرح در سال آبی ۷۸ – ۱۳۷۷ با حجم حدود یک میلیون متر مکعب آغاز شده و حجم آبگیری در سه سال اول به مجموع کمتر از پنج میلیون متر مکعب رسیده است. آبگیری کم در سه سال اول به دلیل ناقص بودن تأسیسات شبکه، خرابی و یخزدگی کانال انتقال آب و کاهش بارندگی گزارش شده است. در سال آبی ۸۱ – ۱۳۸۰ آبگیری حوضچه‌ها به مقدار قابل توجه ده میلیون متر مکعب رسیده است و در سال آبی ۸۲ – ۱۳۸۱ حدود چهار و نیم میلیون متر مکعب آب وارد حوضچه‌های تغذیه مصنوعی شده است. از سال آبی ۸۳ – ۱۳۸۲ دوباره آبگیری حوضچه‌ها به دلیل مشکلات مانند رسوب

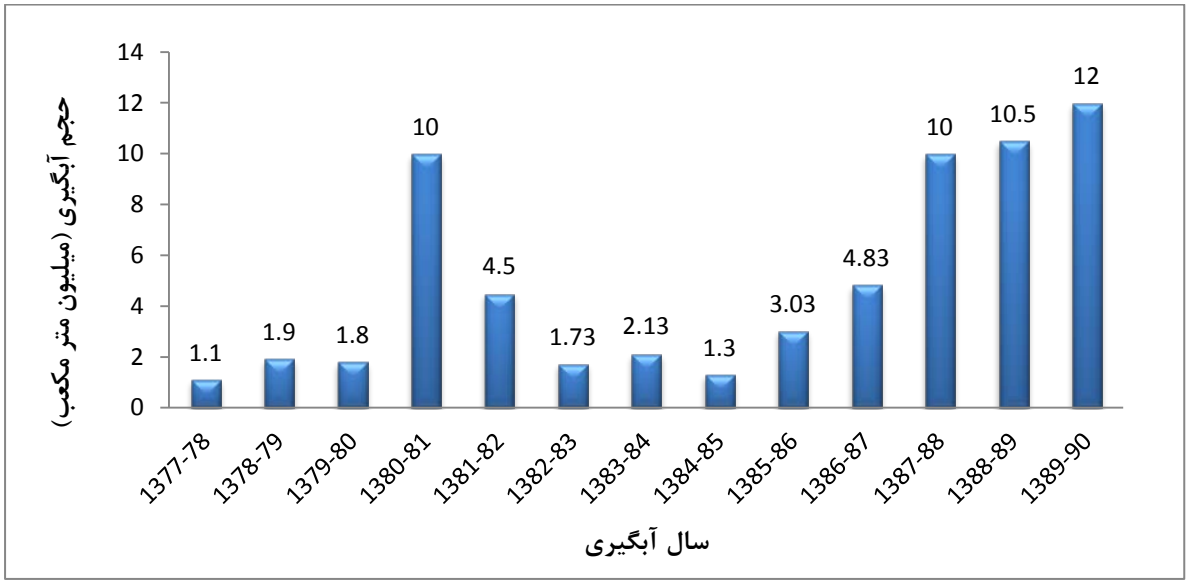
مواد جامد معلق در کف حوضچه‌ها و مشکلات مربوط به کانال انتقال آب کاهش پیدا کرده است و تا سال آبی ۸۵ – ۱۳۸۴ این موانع ادامه داشته است. از سال آبی ۸۶ – ۱۳۸۵ بعد از رفع مشکلات، آبگیری به تدریج افزایش پیدا کرده و در سال آبی ۹۰ – ۱۳۸۹ آبگیری حوضچه‌ها به مقدار دوازده میلیون متر مکعب رسیده است. جدول (۴-۱) مراحل، زمان و حجم آبگیری را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱- مراحل، زمان و حجم آبگیری طرح تغذیه مصنوعی

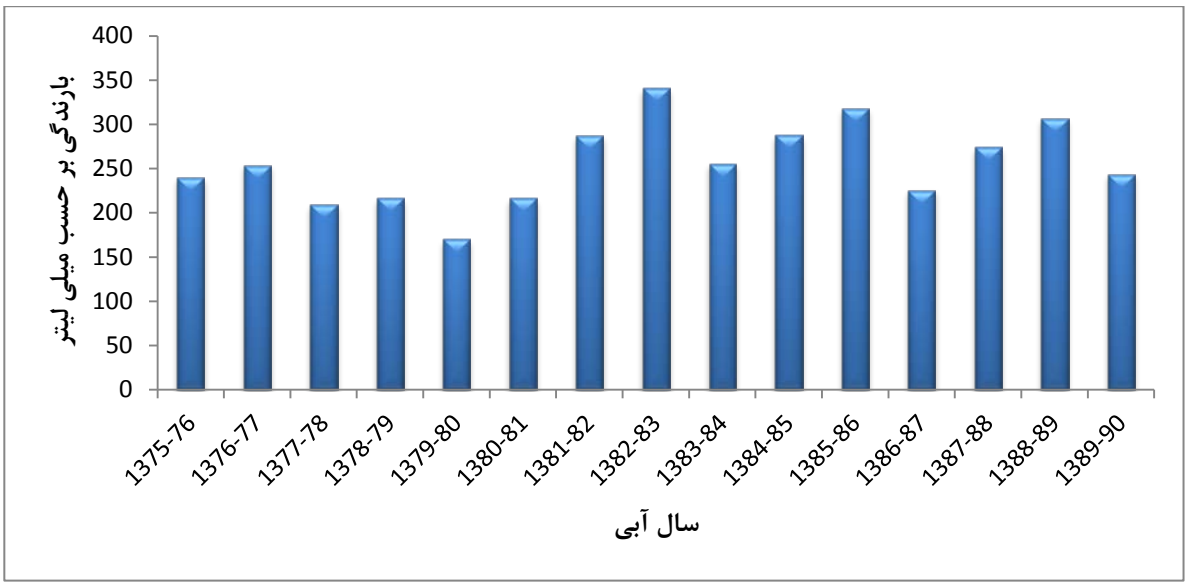
مراحل آبگیری	زمان آبگیری	حجم آبگیری (میلیون متر مکعب)
۱	۱۳۷۷ – ۷۸	۱/۱
۲	۱۳۷۸ – ۷۹	۱/۹
۳	۱۳۷۹ – ۸۰	۱/۸
۴	۱۳۸۰ – ۸۱	۱۰/۰
۵	۱۳۸۱ – ۸۲	۴/۵
۶	۱۳۸۲ – ۸۳	۱/۷
۷	۱۳۸۳ – ۸۴	۲/۱
۸	۱۳۸۴ – ۸۵	۱/۳
۹	۱۳۸۵ – ۸۶	۳/۰
۱۰	۱۳۸۶ – ۸۷	۴/۸
۱۱	۱۳۸۷ – ۸۸	۱۰/۰
۱۲	۱۳۸۸ – ۸۹	۱۰/۵
۱۳	۱۳۸۹ – ۹۰	۱۲/۰
مجموع حجم آبگیری		۶۴/۷

شکل (۴-۱) مقایسه حجم آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی را در سال‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به این که بارندگی به صورت مستقیم بر آبخوان تأثیر می‌گذارد، جهت بررسی مقادیر بارندگی در منطقه مورد مطالعه آمار بارندگی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی منطقه (ایستگاه خوی)

مورد استفاده قرار گرفته است. شکل (۴-۲) مقدار بارندگی سالانه ایستگاه خوی را برای سال آبی ۷۶-۱۳۷۵ تا سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ نشان می‌دهد.



شکل ۴–۱- هیستوگرام حجم آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی



شکل ۴-۲- بارندگی ایستگاه خوی از سال آبی ۷۶-۱۳۷۵ تا سال آبی ۹۰-۱۳۸۹

به منظور مقایسه بارندگی در دوره‌های کوتاه مدت (دوره‌های سه ساله) میانگین بارندگی در هر دوره سه ساله محاسبه شده است. جدول (۴-۲) میانگین بارندگی را در دوره‌های سه ساله نشان می‌دهد. براساس جدول شماره (۴-۲)، ملاحظه می‌شود که که بیشترین میانگین بارندگی مربوط به سال آبی ۸۴-۱۳۸۱ می‌باشد.

جدول ۴-۲ میانگین بارندگی با دوره‌های سه ساله

دوره زمانی (سال آبی)	۱۳۷۵ – ۱۳۷۸ (دوره اول)	۱۳۷۸ – ۱۳۸۱ (دوره دوم)	۱۳۸۱ – ۱۳۸۴ (دوره سوم)	۱۳۸۴ – ۱۳۸۷ (دوره چهارم)	۱۳۸۷ – ۱۳۹۰ (دوره پنجم)
میانگین بارندگی (میلیمتر)	۲۳۴/۸	۲۰۰/۸	۲۹۴/۶	۲۷۷/۳	۲۷۵/۰

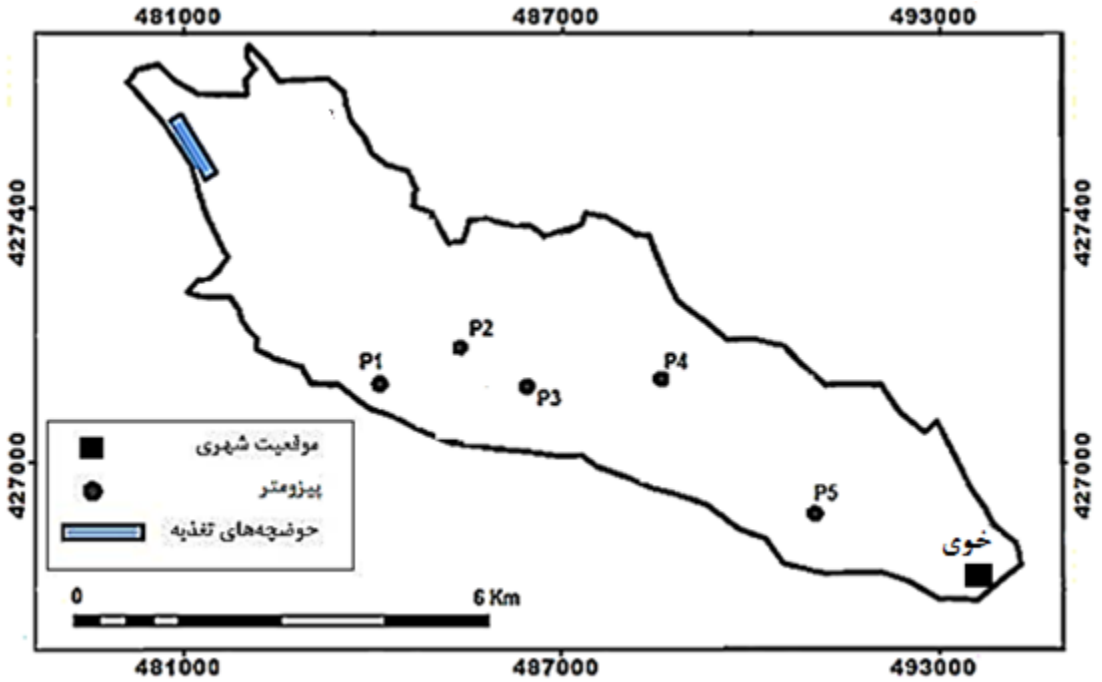
۴– ۲- اثر کمی طرح تغذیه مصنوعی خوی بر آبخوان منطقه

۴-۲-۱- ارزیابی جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در منطقه

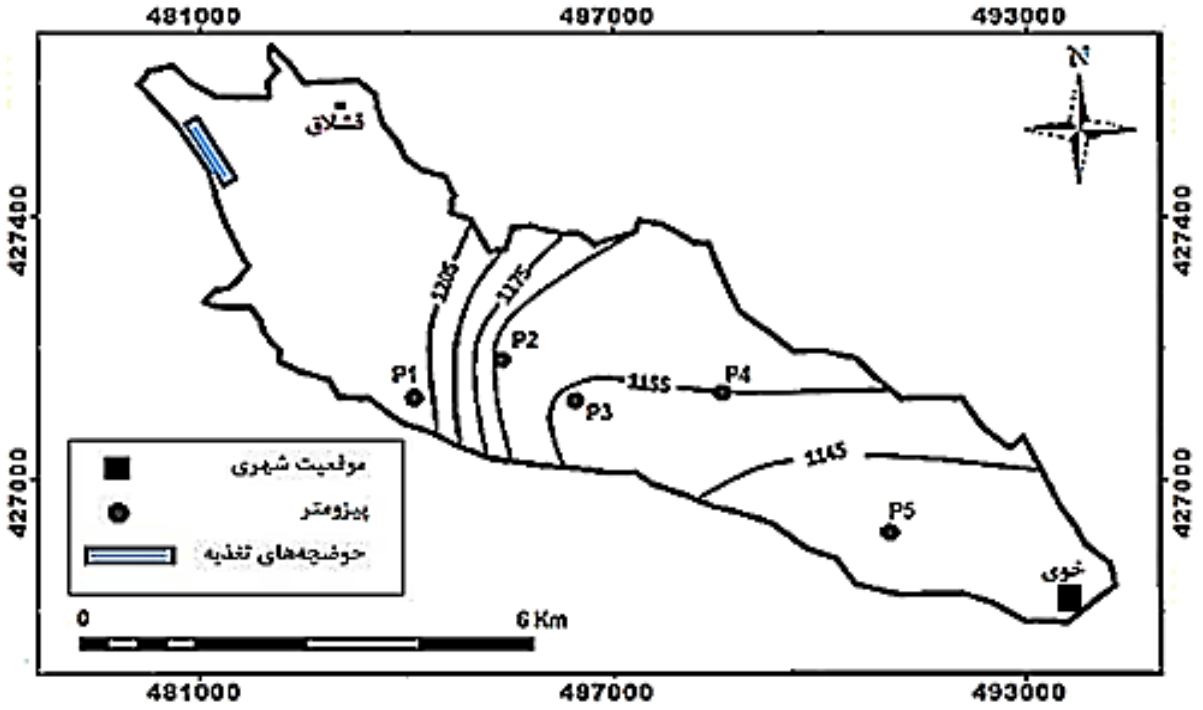
جهت ارزیابی اثرات تغذیه منصوعی بر کمیت آبخوان منطقه مورد مطالعه، داده‌های مربوط به سطح آب زیرزمینی منطقه از ابتدای سال ۱۳۷۶ تا اواخر ۱۳۹۰ در پنج پیزومتر واقع در پایین‌دست شبکه تغذیه مصنوعی مورد مطالعه قرار گرفته است. به منظور بررسی جهت عمومی جریان آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه و پی بردن به محل‌های تغذیه آبخوان و مناطق تخلیه طبیعی آن، نقشه هم‌پتانسیل منطقه برای شهریور سال ۱۳۹۰ ترسیم گردیده است (شکل ۴-۴). برای تهیه نقشه هم‌پتانسیل از مختصات UTM کلیه پیزومترهای واقع در محدوده منطقه مورد مطالعه و بار هیدرولیکی هر یک از پیزومترها استفاده شده است. منحنی هم‌پتانسیل با روش دستی و نرم افزار Surfer11 ترسیم گردیده است. شکل (۴-۳) نقشه هم‌پتانسیل منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین جدول (۴-۳) و شکل (۴-۳) مختصات و موقعیت پیزومترهای منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۳- مشخصات پیزومترها در منطقه مورد مطالعه

شماره پیزومتر	نام پیزومتر	مختصات پیزومتر		ارتفاع دهانه چاه از سطح دریا (متر)
		Y	X	
۱	محله بالا	۴۲۷۱۰۰۰	۴۸۳۸۰۰	۱۳۰۳/۲
۲	خروجی فیرورق	۴۲۷۱۶۳۶	۴۸۵۰۷۸	۱۲۵۶/۱
۳	ورودی فیرورق	۴۲۷۱۰۱۴	۴۸۶۱۲۳	۱۲۴۱/۸
۴	ینگجه	۴۲۷۱۲۰۵	۴۸۸۲۷۸	۱۲۰۶/۷
۵	پیرموسی	۴۲۶۸۹۲۵	۴۹۰۷۴۶	۱۲۰۳/۷



شکل ۴-۳- موقعیت پیزومترها در منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۴- نقشه هم پتانسیل منطقه مورد مطالعه

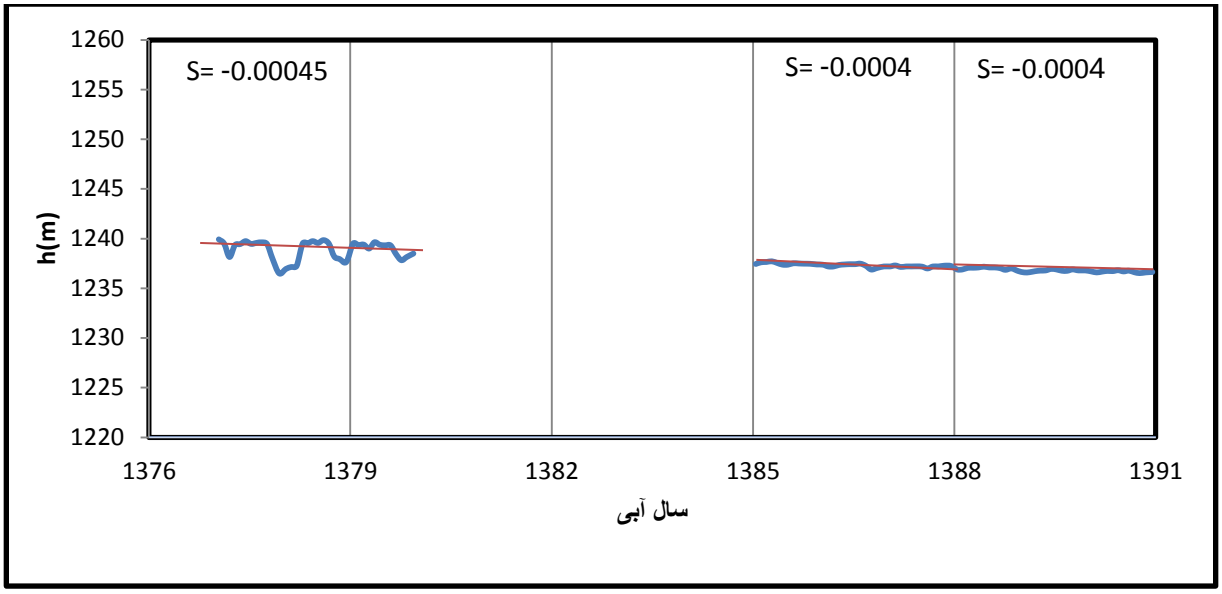
۴-۲-۲- بررسی اثرات تغذیه مصنوعی با استفاده از هیدروگراف چاهها

جهت بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه قبل و بعد از اجرای طرح تغذیه مصنوعی، تغییرات هیدروگراف پنج پیزومتر فیرورق محله بالا، فیرورق خروجی، فیرورق ورودی، ینگجه و پیرموسی مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته شده است.

۴-۲-۲-۱- پیزومتر محله بالا

پیزومتر محله بالا در دامنه تپه‌های شمال غربی آبخوان فیرورق و بالای شهر فیرورق واقع شده است. برای بررسی تغییرات سطح آب ایستابی این پیزومتر و تاثیرات طرح تغذیه مصنوعی خوی بر پیزومتر مذکور و آبخوان اطراف آن از داده‌های سطح آب این پیزومتر از ابتدای سال ۱۳۷۷ تا اواخر سال ۱۳۹۰ استفاده شده است. جهت بررسی بهتر، هیدروگراف پیزومتر به دوره‌های سه ساله تقسیم شده است. برای سایر

پیزومترها واقع در آبخوان منطقه نیز همین تقسیم‌بندی صورت گرفته شده است. از ابتدای سال ۱۳۷۷ تا اواخر سال سال ۱۳۸۰ هیدروگراف سطح آب را قبل از اجرای طرح تغذیه مصنوعی نشان می‌دهد. همان طوری که از هیدروگراف در این دوره زمانی ملاحظه می‌شود سطح آب در این دوره زمانی افت چندانی را نشان نمی‌دهد، اما سطح آب دارای نوسانات فصلی زیادی بوده و بیشترین نوسان افت حدود سه متری را نشان می‌دهد. برای این دوره شیب افت سطح آب زیرزمینی حدود ۰/۰۰۰۴۵- بدست آمده است. از ابتدای سال ۱۳۸۰ تا اواخر ۱۳۸۴ هیچ داده‌ای ثبت نشده است. از ابتدای سال ۱۳۸۵ تا اواخر سال ۱۳۹۰ که به صورت دو دوره سه ساله جداگانه بررسی شده است، سطح آب افت خیلی کمی را نشان می‌دهد و شیب برای هر دو دوره ۰/۰۰۰۴- بدست آمده است. مقایسه هیدروگراف مراحل قبل و بعد از اجرای طرح تغذیه مصنوعی این پیزومتر نشان می‌دهد که شیب افت سطح آب مانند دوره قبل از اجرای طرح کم بوده، اما نوسانات هیدروگراف تا حد بسیار زیادی رفع گردیده و هیدروگراف به یک خط راست تبدیل شده است. شکل (۴-۵) هیدروگراف پیزومتر محله بالا را نشان می‌دهد.

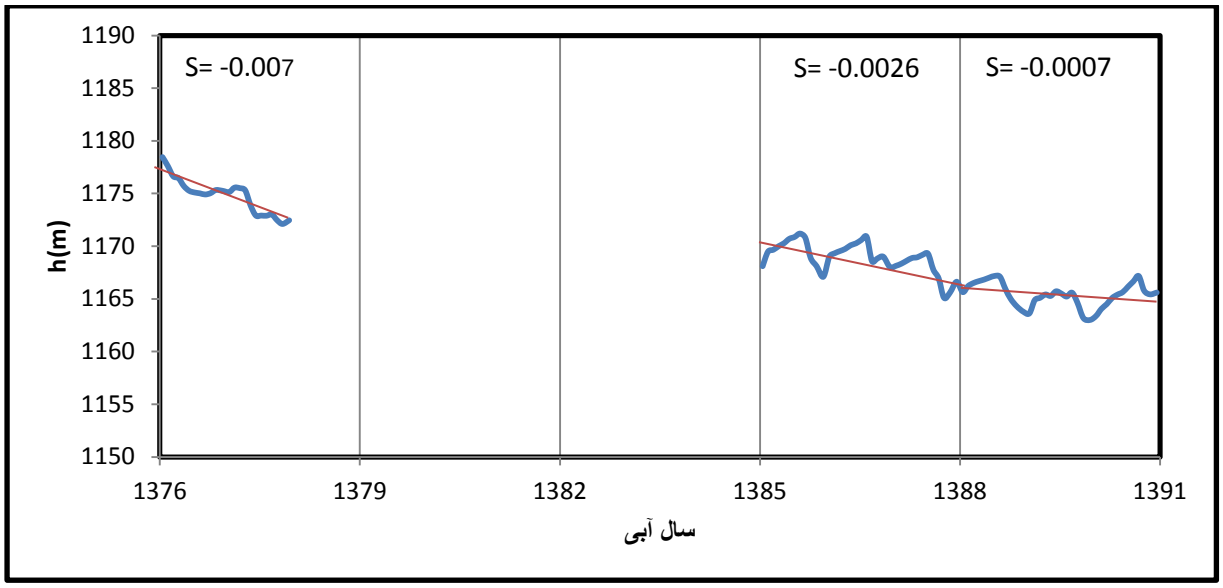


شکل۴-۵- هیدروگراف پیزومتر محله بالا

به طور کلی با توجه به این که پیزومتر محله بالا در دامنه تپه و بخش انتهایی یک مخروط افکنه قرار گرفته و همچنین به دلیل تغذیه مداوم محدوده این پیزومتر توسط مخروط افکنه، افت سطح آب زیرزمینی در این پیزومتر ناچیز بوده است. نوسانات هیدروگراف دوره قبل از اجرای طرح تغذیه مصنوعی تأیید کننده این مسئله می‌باشد. اما بعد از آبگیری حوضچه‌های تغذیه مصنوعی به دلیل این که آبخوان پایین دست این پیزومتر تغذیه شده است از حرکت آب در محدوده این پیزومتر به سمت پایین جلوگیری به عمل آمده و آبخوان در اطراف این پیزومتر تقویت شده است.

۴-۲-۲-۲- پیزومتر فیرورق خروجی

پیزومتر فیرورق خروجی در محل خروجی شهر فیرورق قرار دارد. برای بررسی تاثیرات طرح تغذیه مصنوعی بر پیزومتر مذکور و آبخوان اطراف آن، از داده‌های سطح ایستابی این پیزومتر در بازه زمانی ابتدای سال ۱۳۷۶ تا اواخر ۱۳۹۰ استفاده شده است. شکل (۴-۶) هیدروگراف پیزومتر فیرورق خروجی را نشان می‌دهد. با توجه به این که پیزومتر مذکور به حوضچه‌های تغذیه مصنوعی نزدیک است انتظار می‌رود اثرات تغذیه مصنوعی را نسبت به سایر پیزومترها در زمان کمتری نشان دهد. محدوده زمانی ابتدای سال ۱۳۷۶ تا اواخر سال ۱۳۷۷ وضعیت سطح آب را قبل از اجرای طرح تغذیه مصنوعی را نشان می‌دهد. همان طوری که از هیدروگراف پیزومتر در این دوره زمانی ملاحظه می‌شود سطح آب زیرزمینی با شیب زیادی پایین آمده است. در این دوره زمانی سطح ایستابی هفت متر افت داشته و شیب افت سطح آب در این دوره زمانی به مقدار ۰/۰۰۷- رسیده است. همچنین نحوه پلکانی بودن هیدروگراف در این دوره نشان می‌دهد که که در فصل‌های کم باران سطح آب بر اثر تخلیه پایین آمده و در فصول پر باران سطح آب به دلیل نبود تغذیه هیچ تغییری پیدا نکرده است، دوره مذکور دو سال بوده و سال سوم آن فاقد داده بوده است. از ابتدای سال ۱۳۷۸ تا اواخر سال ۱۳۸۴ هیچ داده‌ای ثبت نشده است. از ابتدای سال ۱۳۸۵ تا اواخر سال ۱۳۸۷ سطح آب زیرزمینی آبخوان نسبت به دوره قبل از اجرای طرح دارای شیب افت کمتری است. شیب این دوره با کاهش ۲/۵ برابری نسبت به دوره اول به ۰/۰۰۲۶- رسیده است. در پایان این دوره دو متر افت صورت گرفته است.



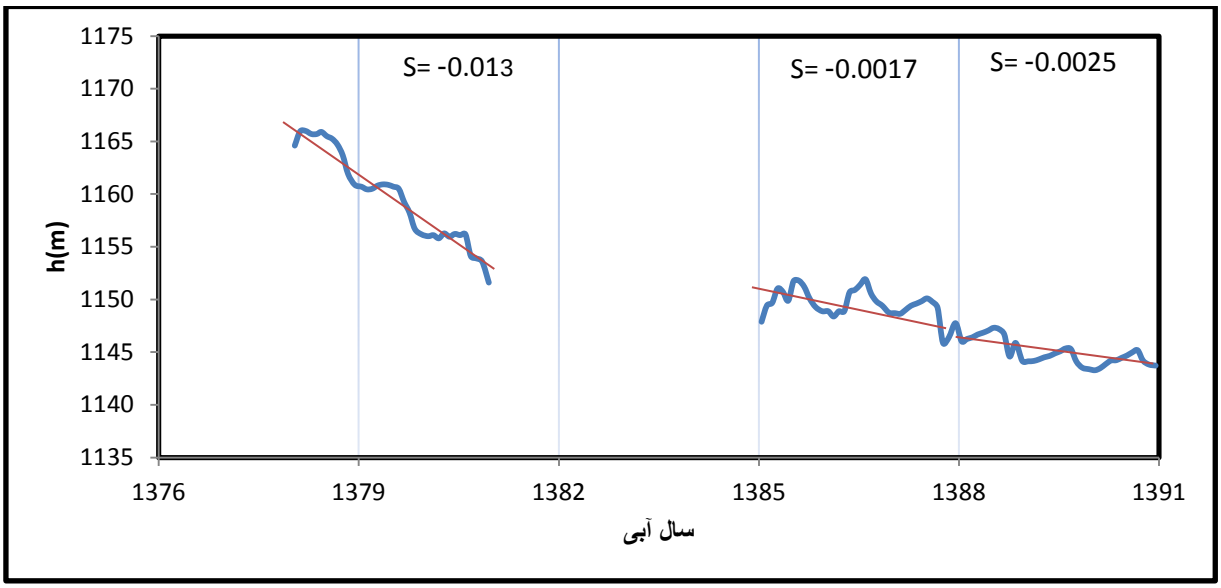
شکل ۴– ۶- هیدروگراف پیزومتر فیرورق خروجی

سطح ایستابی در پیزومتر مذکور از ابتدای سال ۱۳۸۸ تا اواخر سال ۱۳۹۰ به عنوان دوره سوم مورد بررسی قرار گرفته، که بیشترین حجم آبگیری در این دوره صورت گرفته است. با توجه به نزدیکی این پیزومتر به حوضچه‌های تغذیه شیب افت سطح آب در پیزومتر تغییری محسوسی داشته و به مقدار ۰/۰۰۰۷- رسیده است. در طول این دوره سطح آب فقط حدود نیم متر افت داشته است. با توجه به این که آبگیری حوضچه‌های تغذیه مصنوعی در دوره زمانی اواخر پاییز تا اوایل بهار صورت می‌گیرد نوسانات حاصل از دوره آبگیری بر هیدروگراف پیزومتر فیرورق خروجی کاملاً مشهود است.

به طور کلی به دلیل نزدیکی این پیزومتر به شبکه تغذیه و با توجه به این که از سال ۱۳۸۸ تا سال ۱۳۹۰ (دوره سوم) حجم آبگیری نسبت به دوره سه ساله قبل افزایش پیدا کرده است و شیب هیدروگراف (شیب سطح ایستابی) در این دوره کم بوده، می‌توان نتیجه گرفت که طرح تغذیه مصنوعی بر پیزومتر مذکور و آبخوان اطراف آن تأثیر مثبت گذاشته است.

۴-۲-۲-۳- پیزومتر فیرورق ورودی

پیزومتر فیروق ورودی در شرق شهر فیرورق و در فاصله چهار کیلومتری شبکه تغذیه مصنوعی واقع شده است. هیدروگراف این پیزومتر در بازه زمانی ابتدای سال ۱۳۷۸ تا اواخر سال ۱۳۹۰ مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. شکل (۴-۷) هیدروگراف این پیزومتر را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷- هیدروگراف پیزومتر فیرورق ورودی

هیدروگراف پیزومتر از ابتدای سال ۱۳۷۸ تا اواخر سال ۱۳۸۰ نشان دهنده سطح آب زیرزمینی اطراف پیزومتر قبل از اجرای طرح تغذیه مصنوعی می‌باشد. همان طوری که از هیدروگراف مربوط به این دوره ملاحظه می‌شود، سطح آب زیرزمینی منطقه اطراف حدود چهارده متر افت را نشان می‌دهد. افت در این دوره زمانی به صورت پلکانی می‌باشد، که نشان می‌دهد تخلیه در زمان کم باران خیلی زیاد بوده، در حالی که تغذیه در فصول پر باران ناچیز بوده است. افت در این دوره به طور میانگین پنج متر در سال بوده و شیب افت آن ۰/۰۰۱۳- محاسبه گردیده است. از ابتدای سال ۱۳۸۱ تا اواخر سال ۱۳۸۴ به دلایل نامعلومی هیچ داده‌ای ثبت نشده است. در بازه زمانی دوره دوم (از ابتدای سال ۱۳۸۵ تا اواخر سال ۱۳۸۷) شیب افت سطح آب زیرزمینی محدوده پیزومتر مذکور نسبت به دوره قبل (قبل اجرای طرح

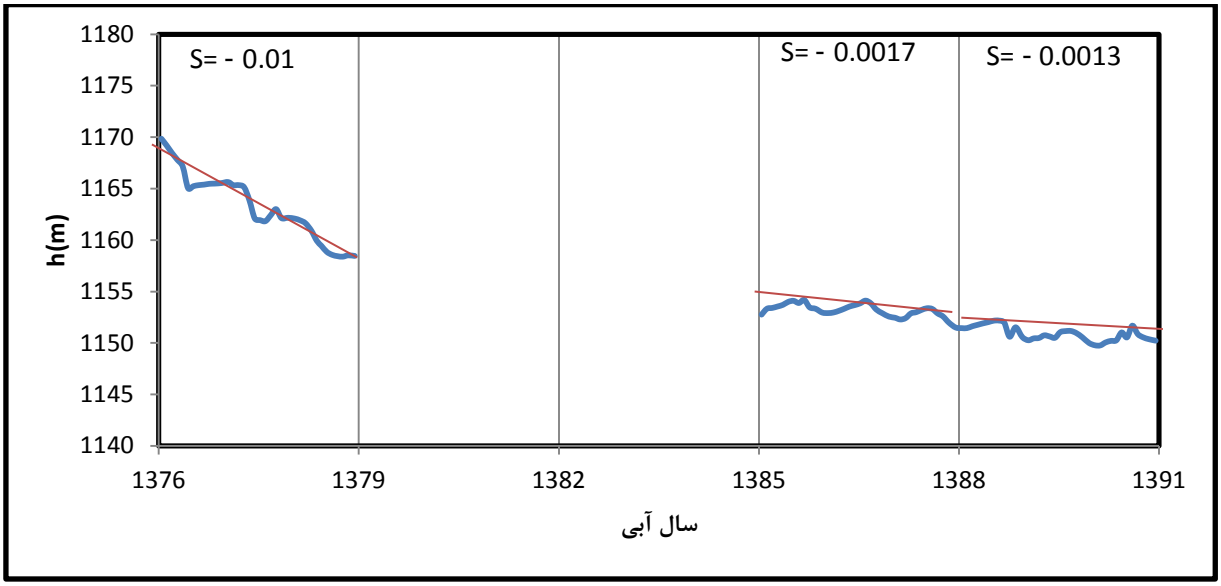
تغذیه مصنوعی) حدود هفت و نیم برابر کاهش یافته است. با مشاهده هیدروگراف در این بازه زمانی مشاهده می‌شود که هر چند سطح آب زیرزمینی منطقه بالا نیامده است، اما شیب افت کاهش پیدا کرده و تا حدودی سطح آب در این پیزومتر به تعادل رسیده است. نوسانات هیدروگراف در این دوره زمانی بر خلاف دوره قبل نشان دهنده تخلیه و تغذیه می‌باشد. در اواخر این دوره یعنی اواخر سال ۱۳۸۷ افت نسبت به اوایل دوره افت سطح آب بیشتر شده است. شیب محاسبه شده برای دوره زمانی دوم برابر با ۰/۰۰۱۷- می‌باشد. از ابتدای سال ۱۳۸۸ تا اواخر سال ۱۳۹۰ تحت عنوان دوره زمانی سوم مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. در این دوره با توجه به آبگیری حجم بالا حوضچه‌های تغذیه مصنوعی اثرات آن را بر روی هیدروگراف این دوره مشاهده می‌شود. در این دوره از نوسانات زیاد سطح آب پیزومتر کاسته شده و سطح آب زیرزمینی اطراف پیزومتر نسبت به دوره قبل متعادل‌تر شده است. با توجه به این که پیزومتر مذکور در وسط اراضی کشاورزی قرار دارد و تراکم چاههای بهره‌برداری در این منطقه بالاست، ملاحظه می‌شود که شیب افت در این پیزومتر نسبت به سایر پیزومترهای موجود در منطقه مورد مطالعه بیشتر است.

۴-۲-۲-۴- پیزومتر ینگجه

پیزومتر ینگجه در خط القعر آبخوان فیرورق در مجاورت روستای ینگجه واقع شده است. شکل (۴-۸) هیدروگراف پیزومتر ینگجه را از اوایل سال ۱۳۷۶ تا اواخر سال ۱۳۹۰ را نشان می‌دهد. با توجه به این که پیزومتر مذکور در وسط آبخوان واقع شده، به نظر می‌رسد که اثرات تغذیه مصنوعی خوی بر روی این پیزومتر بسیار مشهودتر باشد. همان طوری که از هیدروگراف این پیزومتر ملاحظه می‌شود، در زمان قبل از آبگیری یعنی در دوره زمانی بین سال‌های ۱۳۷۸– ۱۳۷۶ سطح آب در این پیزومتر با شیب زیادی پایین آمده، در طی این دوره سه ساله سطح آب یازده متر افت داشته است. با توجه به قرارگیری پیزومتر در وسط آبخوان و افت شدید آن، این وضعیت نشان دهنده حد بحرانی آبخوان در این دوره زمانی بوده است. شیب افت سطح آب در این دوره برابر ۰/۰۱- می‌باشد. همچنین با مشاهده هیدروگراف دوره اول ملاحظه می‌شود که در فصل‌های کم باران و زراعی سطح آب به شدت پایین آمده و در فصل‌های پر باران

این کمبود جبران نشده است. از ابتدای سال ۱۳۷۹ تا اواخر سال ۱۳۸۴ هیچ داده‌ای از سطح آب در این پیزومتر ثبت نشده است. از سال ۱۳۸۵ تا اواخر سال ۱۳۸۷ سطح آب به حال تعادل رسیده است. به تعادل رسیدن سطح آب در این پیزومتر به دلیل دو عامل آبگیری قابل توجه بین سال‌های ۱۳۸۰ تا سال ۱۳۸۲ و نیز ممنوع بودن برداشت آب از آبخوان قبل از این دوره بوده می‌باشد. شیب افت سطح ایستابی برای این دوره زمانی ۰/۰۰۱۷- محاسبه گردیده است. از ابتدای سال ۱۳۸۸ تا اواخر سال ۱۳۹۰ (دوره سوم)، با توجه به آبگیری عمده در این بازه زمانی تعادل سطح آب تثبیت شده و شیب افت سطح آب در این پیزومتر نسبت به دوره قبل کاهش پیدا کرده و به ۰/۰۰۱۳- رسیده است.

به طور کلی با توجه موقعیت قرارگیری پیزومتر ینگجه هیدروگراف این پیزومتر تا حدودی وضعیت آبخوان قبل و بعد از آبگیری را نشان می‌دهد. همچنین نوسانات فصلی هیدروگراف در دوره دوم و سوم (بعد از آبگیری) مشاهده می‌شود، که آبخوان در حال تخلیه و تغذیه می‌باشد و تا حدودی سطح آبخوان به تعادل رسیده است اما همچنان روند کلی سطح آب در این پیزومتر افت را نشان می‌دهد که عامل اصلی آن برداشت بی‌رویه آبخوان بعد از رفع ممنوعیت برداشت بوده است.



شکل۴-۸- هیدروگراف پیزومتر ینگجه

۴-۲-۲-۵- پیزومتر پیرموسی

پیزومتر پیرموسی در جنوب شرق آبخوان فیرورق و در مجاورت روستای پیرموسی واقع شده است. این پیزومتر نسبت به سایر پیزومترهای موجود در آبخوان منطقه دورترین پیزومتر به شبکه تغذیه مصنوعی خوی می‌باشد، که در فاصله ده کیلومتری از این طرح قرار دارد. همچنین این پیزومتر مانند پیزومتر ینگجه در خط القعر آبخوان فیرورق واقع شده است. شکل (۴-۹) هیدروگراف مربوط به پیزومتر پیرموسی را از ابتدای سال ۱۳۷۶ تا پایان سال ۱۳۹۰ نشان می‌دهد. همان طور که از هیدروگراف پیزومتر فیرورق ملاحظه می‌شود از ابتدای سال ۱۳۷۶ تا اواخر سال ۱۳۷۹ شیب افت نمودار در این دوره زمانی نسبتاً زیاد بوده و افت سطح پیزومتر در این دوره زمانی به حدود هشت متر رسیده است. همان طوری که از هیدروگراف این دوره مشاهده می‌شود در ابتدای این دوره شیب افت سطح آب کم بوده، ولی اواخر این دوره زمانی بیشترین افت را داشته است. شیب افت سطح آب برای این دوره زمانی ۰/۰۰۶- بدست آمده است. در فاصله زمانی ابتدای سال ۱۳۷۹ تا اواخر سال ۱۳۸۴ هیچ داده‌ای ثبت نشده است. از ابتدای سال ۱۳۸۵ تا اواخر سال ۱۳۸۷ دوباره شاهد افت سطح آب در این پیزومتر هستیم. در اوایل این دوره زمانی سطح آب کمی بالاتر از سطح آب در دوره گذشته است، که احتمالاً به دلیل آبگیری حوضچه‌های تغذیه مصنوعی در سال‌های ۸۱-۱۳۸۰ و ۸۲-۱۳۸۱ بوده است. همان طوری که مشاهده می‌شود هیدروگراف پیزومتر مذکور در این دوره دارای نوسانات فصلی زیاده بوده، به این ترتیب که در فصل‌های کم باران و آبیاری سطح آب پایین آمده و در فصل‌های پر باران سطح ایستابی بالا آمده است، اما در کل در این دوره زمانی سطح آب نزدیک به پنج متر افت داشته و شیب افت برای این دوره زمانی ۰/۰۰۴۵- محاسبه گردیده است. در دوره زمانی بین اوایل سال ۱۳۸۸ تا اواخر سال ۱۳۹۰ شرایط نسبت به دو دوره قبلی کاملاً متفاوت بوده است. به این ترتیب که در اوایل این دوره زمانی (سال ۱۳۸۸) سطح آب در آبخوان به حالت تعادل رسیده و فقط شاهد نوسانات فصلی هستیم. در دو سال آخر این دوره سطح آب به طور قابل توجهی بالا آمده است. سطح آب زیرزمینی در این دوره نزدیک به شش متر بالا آمده و شیب بدست آمده برای این دوره ۰/۰۰۷۳+ می‌باشد. حجم بالای آبگیری حوضچه‌های تغذیه مصنوعی در این دوره زمانی

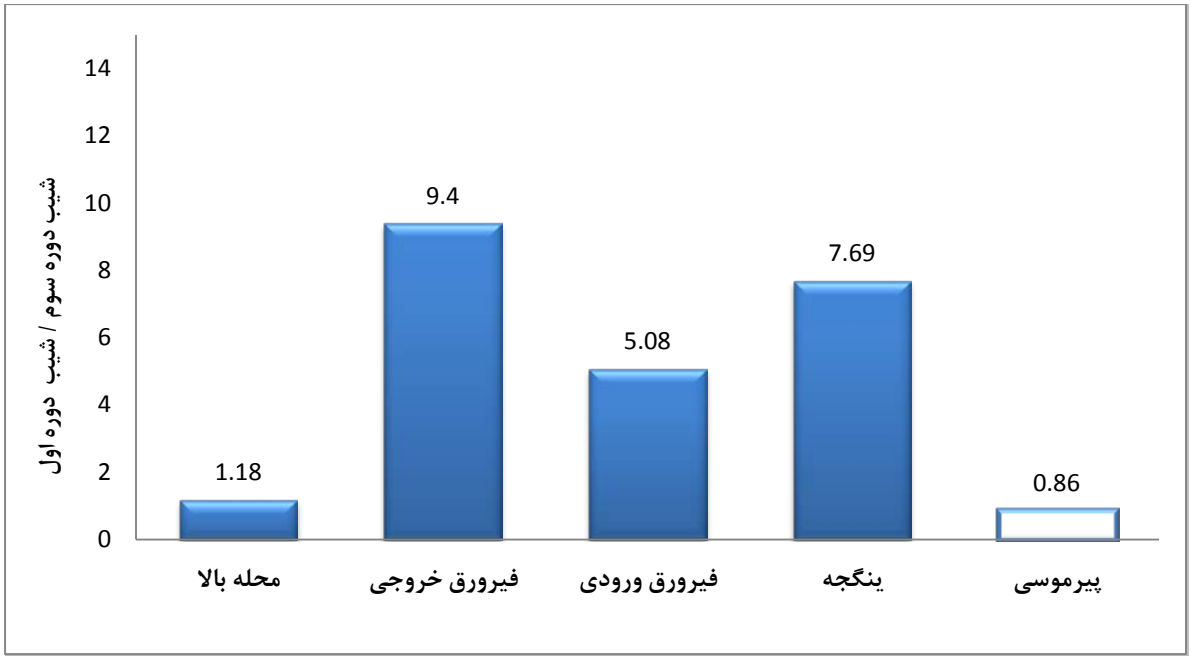
باعث بالا آمدن آب در این پیزومتر بوده است. اما با توجه به این که پیزومتر پیرموسی در پایین دست آبخوان قرار گرفته و با شبکه تغذیه مصنوعی فاصله ده کیلومتری دارد، تأثیر آب نفوذ داده شده به این آبخوان توسط حوضچه‌های تغذیه در بالادست حدود یک سال دیرتر از سایر پیزومترها بر پیزومتر پیرموسی اعمال شده است.

شکل ۴– ۹- هیدروگراف پیزومتر پیرموسی

جدول (۴-۴) شیب هیدروگراف پیزومترهای مختلف منطقه مورد مطالعه را برای سه دوره زمانی تعیین شده است. جهت بررسی نرخ افت سطح ایستابی در پیزومترهای مختلف مورد مطالعه، نسبت شیب هیدروگراف (نرخ افت سطح ایستابی) برای دوره‌های سه ساله اول و سوم محاسبه گردیده و در جدول (۴-۴) آورده شده است. همچنین نمودار میله‌ای نسبت کاهش شیب هیدروگراف پیزومترهای مورد مطالعه در دوره سه ساله اول به دوره سه ساله سوم در شکل (۴-۱۰) نمایش داده شده است.

جدول ۴-۴- شیب هیدروگراف مربوط به پیزومترهای مختلف مورد مطالعه

نام پیزومتر	دوره اول	دور دوم	دور سوم	شیب دوره اول / شیب دوره سوم
محله بالا	۰/۰۰۰۴۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴	۱/۱۸
فیرورق خروجی	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۰۷	۹/۴
فیرورق ورودی	۰/۰۱۳	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۲۵	۵/۱
ینگجه	۰/۰۱	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۳	۷/۷
پیرموسی	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۷۳	(+) ۰/۸۶



شکل ۴–۱۰- نرخ کاهش شیب هیدروگراف پیزومترهای مورد مطالعه در دوره اول نسبت به دوره سوم

۴ -۳- ارزیابی کیفی آبخوان فیرورق

کیفیت آبهای زیرزمینی تحت تأثیر عوامل گوناگونی می‌باشد، که از محل تغذیه تا محل تخلیه طبیعی بر آن تحمیل می‌شود. زمین‌شناسی آبخوان از مهمترین عوامل موثر بر کیفیت آب‌های زیرزمینی بوده و با توجه به نوع زمین‌شناسی منطقه تأثیرات متفاوتی بر کیفیت آبخوان می‌گذارد. آب و هوا و موقعیت جغرافیایی منطقه نیز از عوامل مهم بر کیفت آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود. در مناطق کوهستانی معمولاً آب دارای مواد جامد باقی مانده کمتری نسبت به مناطق دشتی و کویری می‌باشد. همچنین عواملی مانند مسافت طی شده آب زیرزمینی و آلودگی‌های صنعتی نیز بر کیفیت آبخوان تأثیر می‌گذارد (اصغری مقدم ۱۳۸۹). جهت بررسی کیفی آبخوان فیرورق از آنالیز شیمیایی چاههای انتخابی بهره‌برداری در محدوده آبخوان استفاده شده است. با توجه به این که چاههای انتخابی قشلاق، محله بالا، فیرورق و ینگجه دارای آنالیز شیمیایی کامل بوده است. از داده‌های مربوط به مهرماه سال ۱۳۹۰ این چهار چاه جهت ارزیابی کیفیت آبخوان فیرورق استفاده شده است.

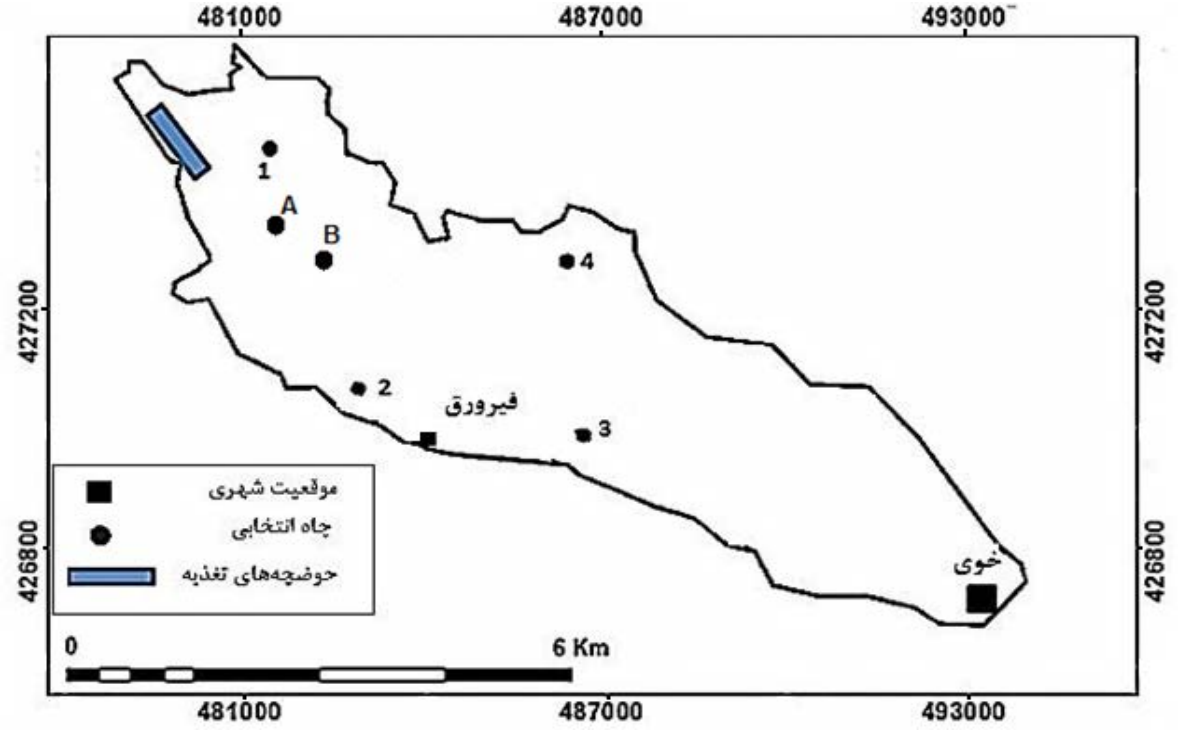
جدول ۴-۵- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی چاههای انتخابی منطقه مورد مطالعه (مهرماه ۱۳۹۰)

شماره چاه	نام محل نمونه برداری	غلظت یون‌های اصلی (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)						EC (µs/cm)	pH
		Ca	Mg	Na	HCO_3	Cl	SO_4		
۱	قشلاق	۲/۰	۳/۷	۱/۰	۵/۱	۰/۵	۰/۸	۶۶۰	۷/۸
۲	محله بالا	۵/۴	۳/۲	۱/۲	۸/۳	۰/۵	۱/۱	۱۰۳۰	۷/۵
۳	فیرورق	۴/۳	۷/۸	۰/۶	۱۰/۷	۰/۶	۱/۳	۱۲۴۰	۷/۶
۴	ینگجه	۶/۵	۹/۹	۱/۳	۱۴/۸	۰/۷	۰/۵	۱۶۴۰	۷/۳

مختصات و موقعیت جغرافیایی چاههای انتخابی منطقه مورد مطالعه، که از آنالیز شیمیایی دادههای آنها استفاده شده است، براساس شماره چاهها در جدول (۴-۶) و شکل (۴-۱۱) نشان داده شده است.

جدول ۴-۶- نام و مختصات جغرافیایی چاههای بهرهبرداری انتخابی

شماره چاه	نام چاه انتخابی	مختصات چاههای انتخابی	
		Y	X
۱	قشلاق	۴۲۷۴۹۲۵	۴۸۲۲۵۰
۲	محله بالا	۴۲۷۰۹۱۵	۴۸۳۵۶۵
۳	فیرورق	۴۲۷۰۳۰۱	۴۸۷۴۵۰
۴	ینگجه	۴۲۷۳۰۵۰	۴۸۷۰۰۵



شکل ۴-۱۱- موقعیت چاههای بهرهبرداری انتخابی

با عنایت به نتایج جدول (۴-۵) ملاحظه می‌شود که مقدار هدایت الکتریکی در چاههای منطقه از ۶۶۰ تا ۱۶۴۰ میکروموس بر سانتیمتر متغیر است. همچنین ملاحظه می‌شود که در بین کاتیون‌ها یون منیزیم غالب بوده و مقدارش از ۳/۲ تا ۹/۹ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر بوده می‌باشد و در بین آنیون‌ها یون بی‌کربنات غالب بوده که کمترین مقدارش ۵/۱ و بیشترین مقدارش ۱۴/۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بوده است.

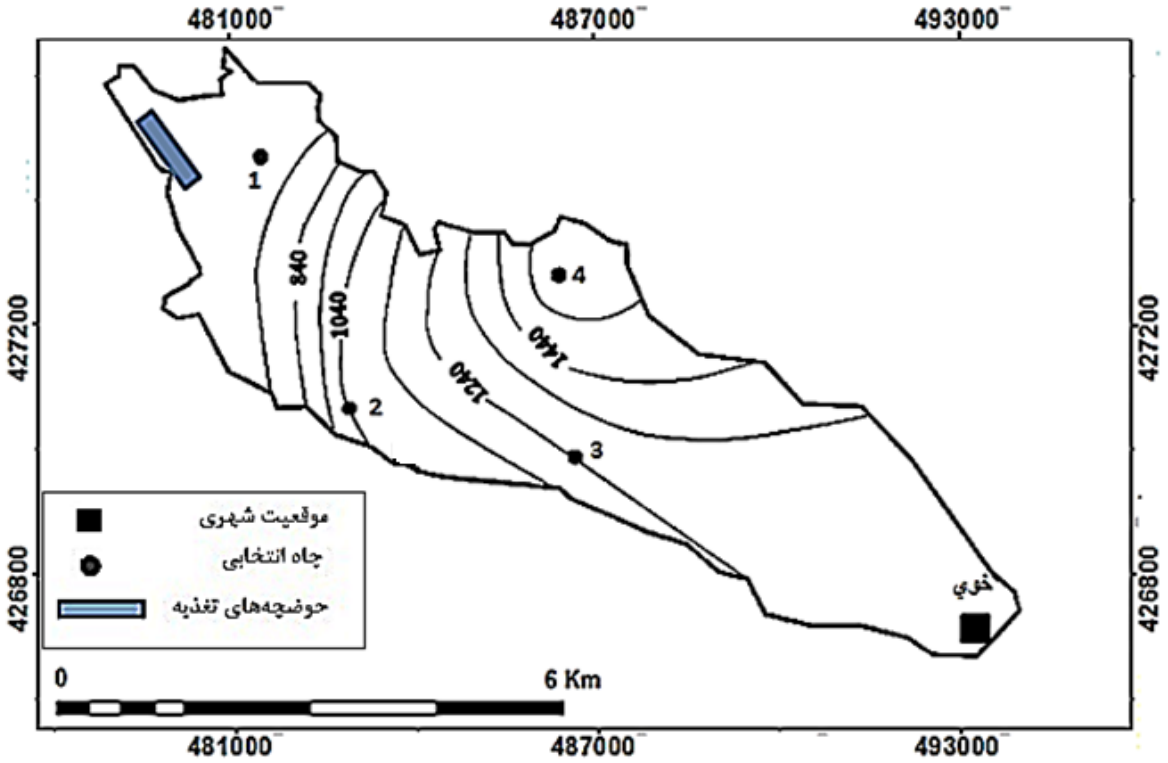
برای بررسی تغییرات هدایت الکتریکی آبهای زیرزمینی در منطقه، هدایت الکتریکی دوچاه A و B (جدول ۴-۷) در هشت مرحله اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات هدایت الکتریکی بسیار ناچیز است و مقادیر هدایت الکتریکی با اطلاعات ارائه شده در جدول (۴-۵) هم‌خوانی دارد.

۴ –۷- هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در شهریور، مهر و آبان ماه ۱۳۹۲

شماره نمونه	تاریخ نمونه‌برداری	هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتیمتر)	
		چاه A	چاه B
۱	۱۳۹۲/۶/۱۷	۷۱۱	۸۵۵
۲	۱۳۹۲/۶/۲۵	۷۱۵	۸۷۳
۳	۱۳۹۲/۷/۳	۷۱۹	۹۱۱
۴	۱۳۹۲/۷/۱۰	۷۶۵	۹۲۵
۵	۱۳۹۲/۷/۱۸	۷۶۶	۹۲۴
۶	۱۳۹۲/۷/۲۵	۷۷۰	۹۴۰
۷	۱۳۹۲/۷/۳۰	۷۵۴	۹۴۴
۸	۱۳۹۲/۸/۳	۷۲۳	۹۰۵
میانگین		۷۴۰/۳۷۵	۹۰۹/۶۲۵

۴-۳-۱- هدایت الکتریکی

یکی از راه‌های ساده جهت تعیین غلظت املاح در آب، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی است. هر چه مقدار املاح حل شده در آب بیشتر باشد قابلیت هدایت الکتریکی نیز افزایش پیدا می‌کند. عوامل زیادی بر هدایت الکتریکی تأثیر می‌گذارد که شامل مواردی مانند سرعت حرکت آب زیرزمینی، بارندگی، زمین‌شناسی و همچنین عوامل انسانی مانند آب برگشتی کشاورزی، ورود فاضلاب، پساب‌های شهری و غیره می‌باشد. شکل (۴-۱۲) نقشه هدایت الکتریکی را در محدوده منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. جهت ترسیم نقشه هدایت الکتریکی محدوده آبخوان از داده‌های هدایت الکتریکی چهار چاه انتخابی بهره‌برداری قشلاق، محله بالا، فیرورق و ینگجه برای سال ۱۳۹۰ استفاده شده است. چاه‌های انتخابی براساس شماره در شکل (۴-۱۲) مشخص شده‌اند.



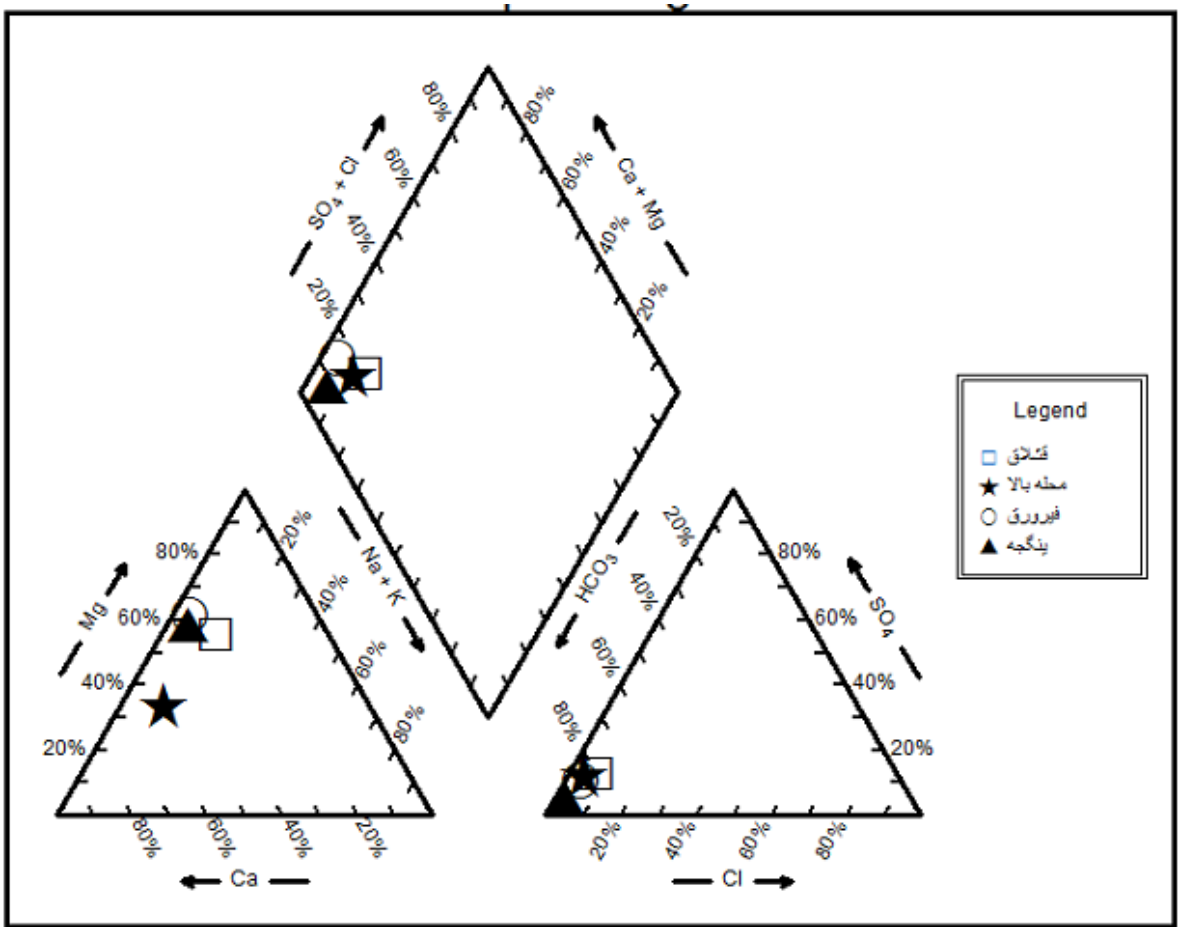
شکل ۴-۱۲- نقشه هدایت الکتریکی منطقه مورد مطالعه (سال ۱۳۹۰)

با توجه به شکل (۴-۱۲) ملاحظه می‌شود که هدایت الکتریکی در بخش شمال غرب آبخوان (بالادست آبخوان) دارای کمترین مقدار بوده و از این منطقه به سمت جنوب شرقی و شرق افزایش پیدا می‌کند. علت افزایش هدایت الکتریکی به سمت جنوب شرق، افزایش زمان ماندگاری و انحلال بیشتر املاح در آب زیرزمینی می‌باشد. همان طوری که در شکل (۴-۱۲) دیده می‌شود، منطقه شرقی آبخوان نسبت به دیگر بخش‌ها دارای بیشترین هدایت الکتریکی می‌باشد، علت آن تأثیر لیتولوژی و وجود جریانات آب زیرزمینی با کیفیت نامناسب از بالادست آن منطقه می‌باشد. به طور کلی مشاهده می‌شود که هدایت الکتریکی در بخش‌های تغذیه آبخوان کم بوده و در مسیر جریان تحت تأثیر قرار گرفته است. با دور شدن از منطقه تغذیه بر مقدار هدایت الکتریکی بیشتر می‌شود و در نتیجه کیفیت آبخوان در جهت مسیر آبهای زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند.

۴-۳-۲- بررسی کیفیت آبخوان منطقه با استفاده از نمودارهای کیفی

الف- نمودار پایپر

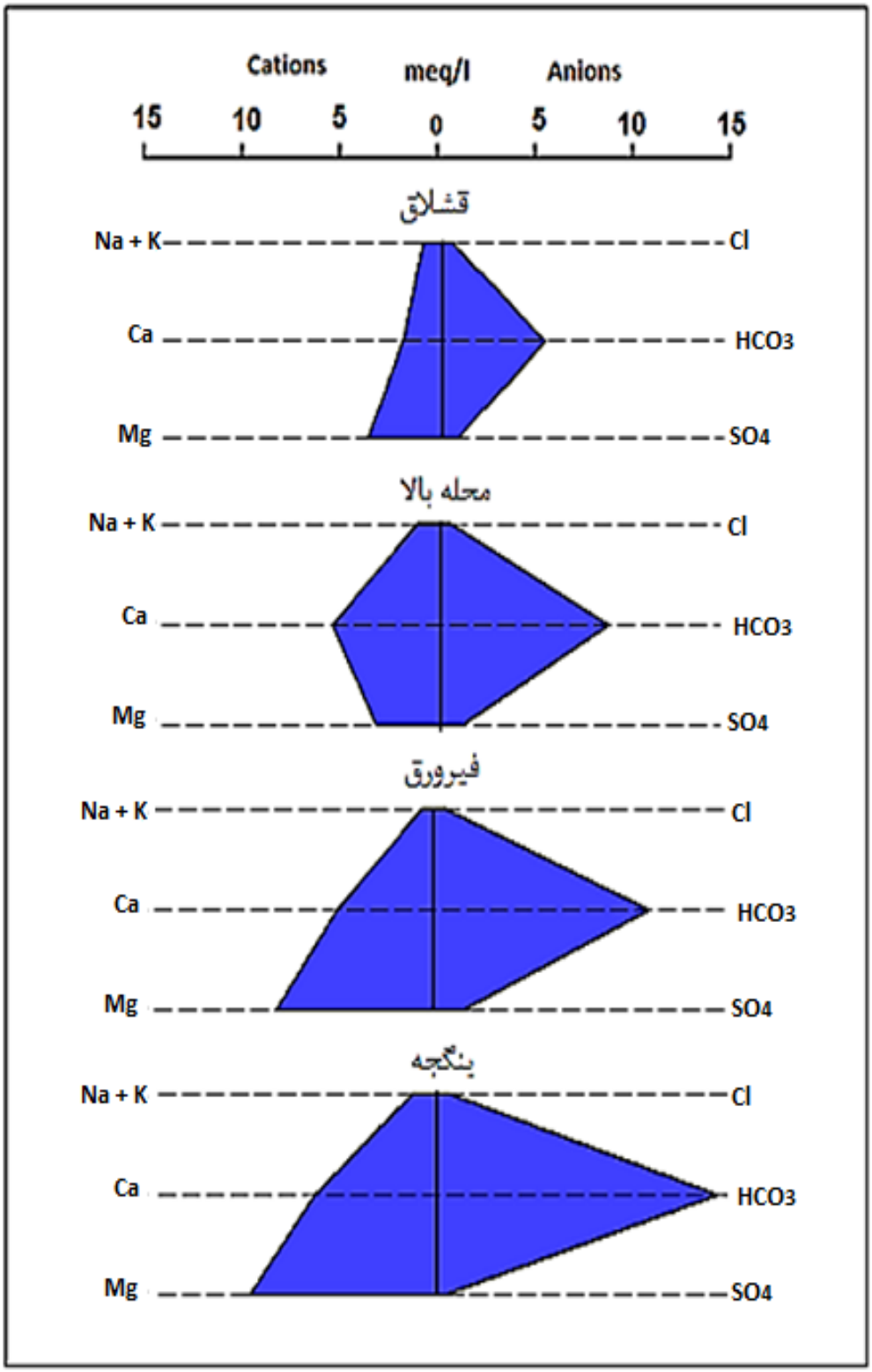
در نمودار پایپر مشخصات شیمیایی آب بر حسب غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها نشان داده می‌شود. در این نمودار آنیون‌ها و کاتیون‌ها به صورت درصدی در مثلث‌های جداگانه و موقعیت ترکیبی آنها در محدوده لوزی نشان داده می‌شود. شکل (۴-۱۳) نمودار پایپر مربوط به آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی چاه‌های انتخابی بهره‌برداری را در پاییز سال ۱۳۹۰ را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار پایپر آبخوان ملاحظه می‌شود که موقعیت چهار چاه انتخابی در نمودار پایپر کم و بیش مشابه می‌باشد. به این ترتیب که در تمام نمونه‌ها قلیایی های خاکی و اسیدهای ضعیف به ترتیب بر قلیایی‌ها و اسیدهای قوی به طور مشخص غلبه دارد.



شکل ۴-۱۳- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در پاییز ۱۳۹۰

ب- نمودار استیف

نمودار استیف که نام دیگر آن نمودار الگویی (Pattern diagram) می‌باشد برای اولین بار توسط استیف جهت نمایش آنالیز داده‌ها در نمودارهای با اشکال خاص استفاده شده است. در این نمودار یون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر روی محورهای موازی رسم می‌شود (اصغری‌مقدم ۱۳۸۹). شکل (۴-۱۴) نمودار استیف را برای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه می‌دهد. براساس این شکل ملاحظه می‌شود که تیپ آب برای تمام نمونه‌ها بی‌کربناته و رخساره آن برای یک نمونه کلسیم و برای سه نمونه دیگر منیزیم می‌باشد.



شکل ۴-۱۴- نمودار استیف نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

۴-۴- ارزیابی اثرات طرح تغذیه مصنوعی بر کیفیت آبخوان فیرورق

با توجه به این که کیفیت آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی تأثیر مستقیمی بر کیفیت آبخوان می‌گذارد، در این بخش مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی تأثیر کیفیت آب ورودی بر آبخوان منطقه مورد مطالعه، کیفیت آب ورودی نسبت به کیفیت چاه‌های منطقه مورد مقایسه واقع شده است. در آخر این بخش هدایت الکتریکی آبخوان و یون‌های غالب چاه‌های منطقه، برای زمان قبل و بعد از آبگیری اصلی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

۴-۴-۱- بررسی کیفیت آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی

جهت بررسی وضعیت کیفیت آب رودخانه الند (آب مورد استفاده جهت نفوذ در حوضچه‌های طرح تغذیه مصنوعی خوی)، مقادیر هدایت الکتریکی، pH، کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ از ایستگاه بدلان خوی جمع‌آوری گردیده است. همچنین دو نمونه آب از کانال انتقال آب رودخانه الند به شبکه تغذیه مصنوعی خوی در بهمن ماه سال ۱۳۹۱ و فروردین سال ۱۳۹۲ گرفته شده است، که از آنالیز آنها مقادیر هدایت الکتریکی و pH بدست آمده است. در جدول (۴-۸) نمونه‌های شماره ۱ تا ۶ برای سالهای ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ می‌باشد که برای هر سال یک نمونه انتخاب شده است. نمونه‌های شماره ۷ و ۸ مربوط به اندازه‌گیری در اسفند۱۳۹۱ و فروردین ۱۳۹۲می‌باشد. با عنایت به جدول (۴-۸)، ملاحظه می‌شود که مقدار هدایت الکتریکی در آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی ۳۳۰ تا ۴۵۰ میکروموس بر سانتیمتر متغیر می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از جدول مذکور ملاحظه می‌شود که آب ورودی به شبکه تغذیه از کیفیت مناسبی برخوردار است.

جدول (۴-۹) غلظت یون‌های اصلی و جدول (۴-۱۰) نسبت‌های یونی را در آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی در بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۸- مقادیر هدایت الکتریکی، pH و کل جامدات محلول در آبهای ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی

شماره نمونه	pH	EC (µS/cm)	TDS (mg/l)
۱	۷/۸	۴۵۰	۲۹۲/۵
۲	۷/۸	۴۰۰	۲۶۰/۰
۳	۸/۵	۳۹۰	۲۵۳/۵
۴	۷/۹	۳۹۰	۲۵۳/۵
۵	۷/۳	۳۳۰	۲۱۴/۵
۶	۷/۲	۳۵۰	۲۲۷/۵
۷	۸/۱	۳۷۰	۲۴۰/۵
۸	۷/۹	۳۵۵	۲۳۰/۷
میانگین	۷/۸	۳۷۹	۲۴۶/۵

جدول ۴-۹- آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی آب ورودی به شبکه تغذیه (بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر)

شماره نمونه	SO_4	Cl	HCO_3	مجموع آنیون‌ها	Ca	Mg	Na	مجموع کاتیون‌ها
۱	۱/۲	۰/۴	۳/۹	۵/۵	۲/۱	۲/۴	۰/۴	۴/۹
۲	۰/۸	۰/۲	۳/۵	۴/۵	۲/۰	۲/۰	۰/۴	۴/۴
۳	۱/۲	۰/۳	۳/۳	۴/۸	۳/۳	۱/۱	۰/۵	۴/۹
۴	۰/۸	۰/۲	۲/۹	۳/۹	۲/۰	۱/۷	۰/۳	۴/۰
۵	۱/۰	۰/۲	۳/۵	۴/۷	۰/۵	۲/۰	۰/۴	۴/۵
۶	۰/۴	۰/۱	۳/۰	۳/۵	۱/۴	۱/۷	۰/۴	۳/۵
میانگین	۰/۹	۰/۲۳	۳/۳۵	۴/۴	۰/۹	۱/۸	۰/۴	۴/۳

جدول ۴-۱۰- نسبت‌های یونی آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی

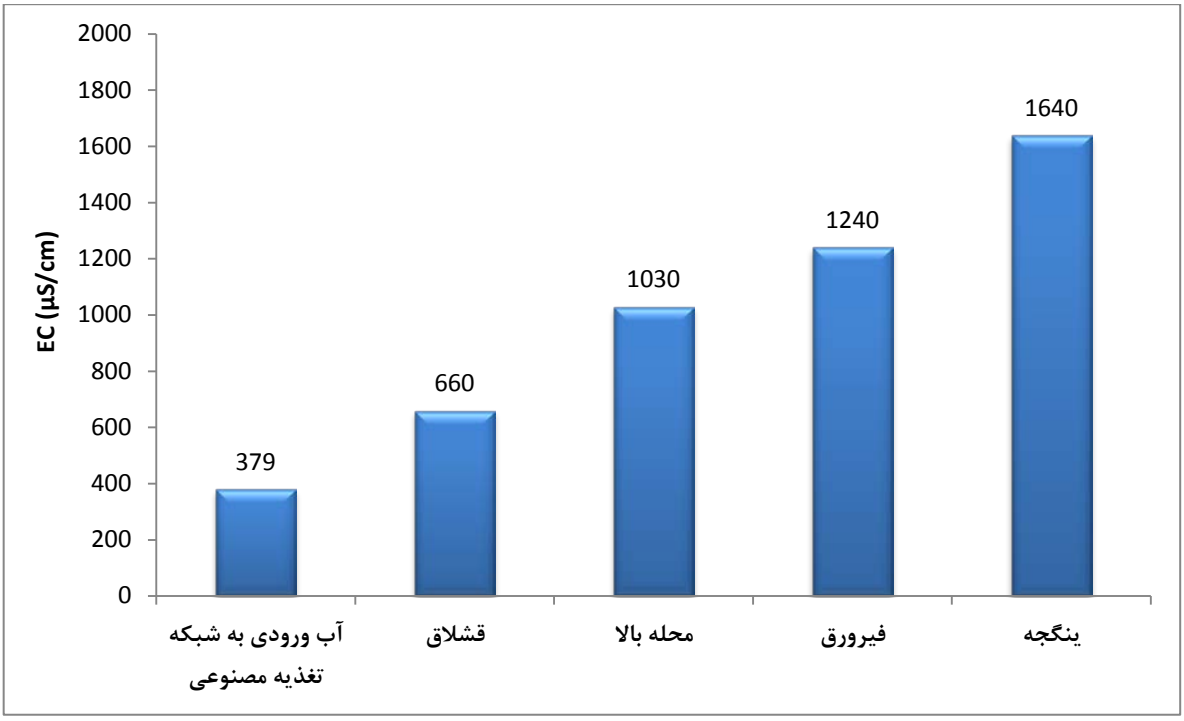
شماره نمونه	Ca/Mg	Na/Ca+Mg	Cl/SO_4+HCO_3	SAR
۱	۰/۸۷	۰/۰۸۸	۰/۰۹۷	۰/۲۲
۲	۱/۰	۰/۱۰۰	۰/۰۴۵	۰/۲۰
۳	۳/۰	۰/۱۱۳	۰/۰۶۶	۰/۳۳
۴	۱/۱۸	۰/۰۸۱	۰/۰۵۳	۰/۲۲
۵	۱/۰۵	۰/۱۶۰	۰/۰۴۰	۰/۲۸
۶	۰/۸۲	۰/۱۳۰	۰/۰۲۹	۰/۳۲
میانگین	۱/۳۲	۰/۱۱۰	۰/۰۵۶	۰/۲۶

آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی دارای هدایت الکتریکی حدود ۳۷۹ میکروموس بر سانتیمتر است، که بیانگر این است که املاح محلول نسبتاً کمی در این آب وجود دارد. نتایج حاصل از آنالیزهای شیمیایی موجود و نسبت‌های یونی بدست آمده نشان می‌دهد که آب ورودی به حوضچه‌های تغذیه مصنوعی از نوع تیپ بی‌کربناته – کلسیم می‌باشد. میانگین غلظت سدیم و کلر به ترتیب حدود ۰/۴ و ۰/۲۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است، که بیانگر غلظت پایین بودن غلظت عناصر قلیایی و اسیدهای قوی در این آب می‌باشد.

۴ -۴-۲- مقایسه کیفی آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی و آب زیرزمینی منطقه

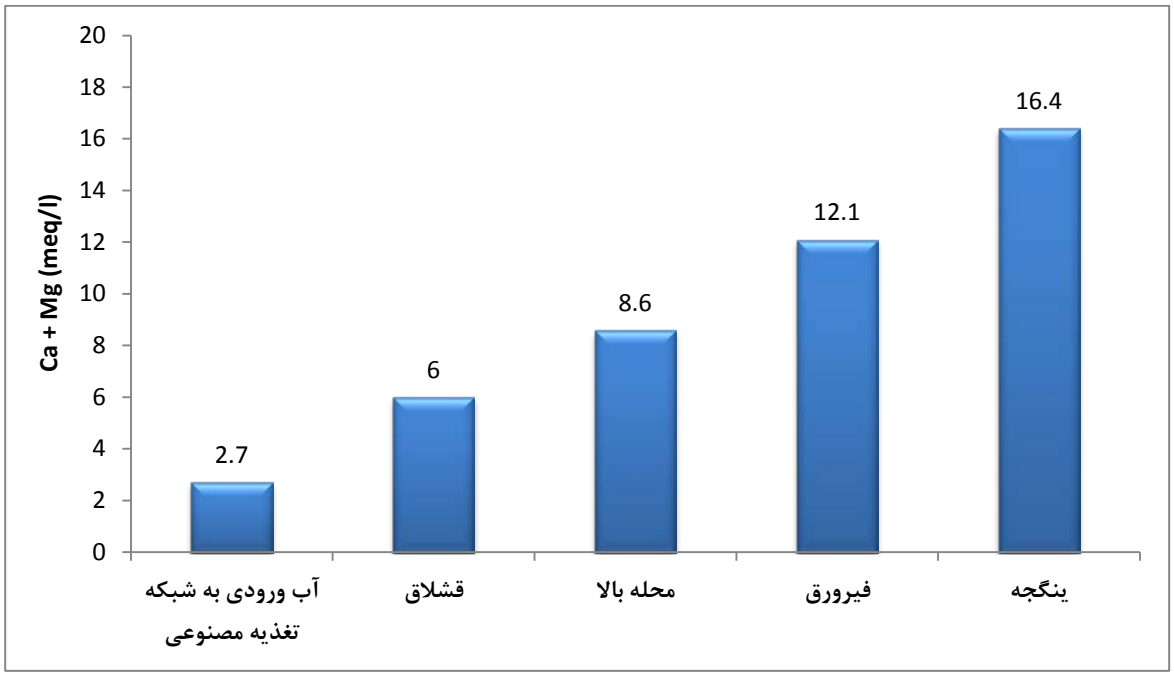
برای ارزیابی تاثیر کیفی آب تغذیه شونده بر کیفیت آبخوان منطقه مورد مطالعه، کیفیت آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی با کیفیت آب زیرزمینی منطقه مقایسه شده است. در این ارزیابی میانگین هدایت الکتریکی و یون‌های اصلی آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی با کیفیت چاههای انتخابی در منطقه

مورد مطالعه مقایسه شده است. شکل (۴-۱۵) مقایسه بین هدایت الکتریکی آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی و چاههای پایین‌دست منطقه را با فاصله از شبکه تغذیه را نشان می‌دهد.

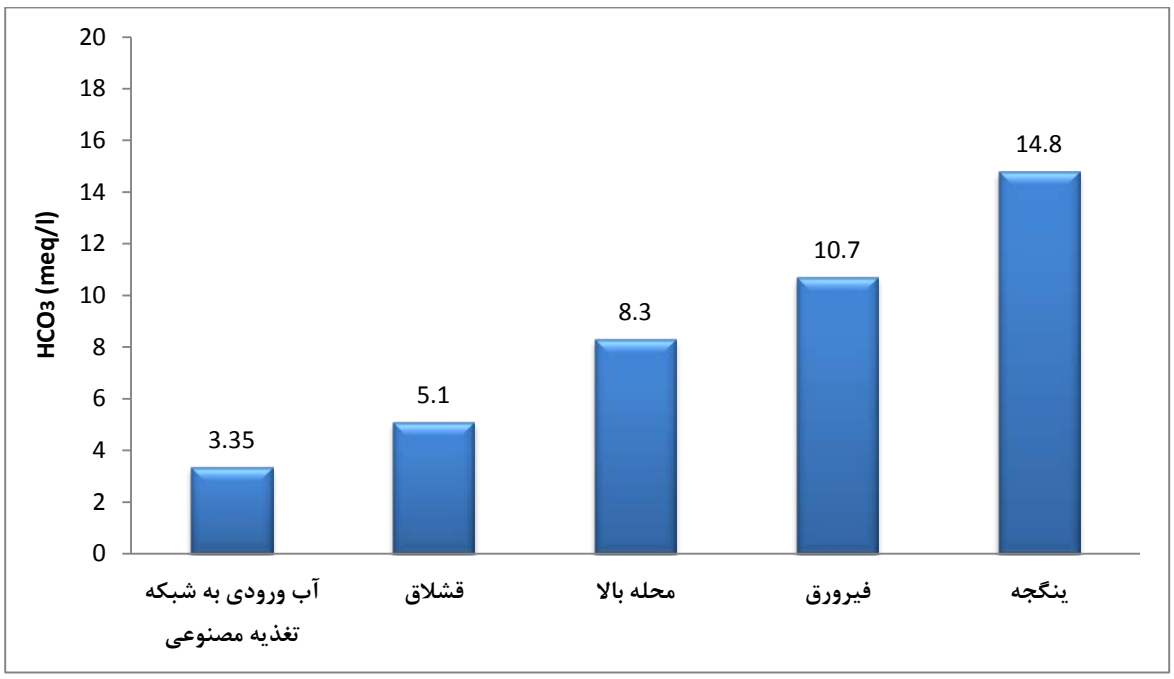


شکل ۴-۱۵- مقایسه هدایت آب ورودی به شبکه تغذیه و چاههای پایین‌دست شبکه

همان طوری که در شکل بالا دیده می‌شود، هدایت الکتریکی آبخوان در مسیر جریان و با دور شدن از مرکز تغذیه افزایش یافته و در نتیجه کیفیت آب زیرزمینی منطقه با دور شدن از شبکه تغذیه کاهش پیدا می‌کند. شکل‌های (۴-۱۶ و ۴-۱۷) به ترتیب مقایسه غلظت یون بی‌کربنات و مجموع یون کلسیم و منیزیم نسبت به آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۶- مقایسه غلظت یون منیزیم و کلسیم آب ورودی به شبکه تغذیه و چاههای پایین دست شبکه



شکل ۴-۱۷- مقایسه غلظت یون بی‌کربنات آب ورودی به شبکه تغذیه و چاههای منطقه

۴-۴-۳- مقایسه کیفیت آبهای زیرزمینی منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی

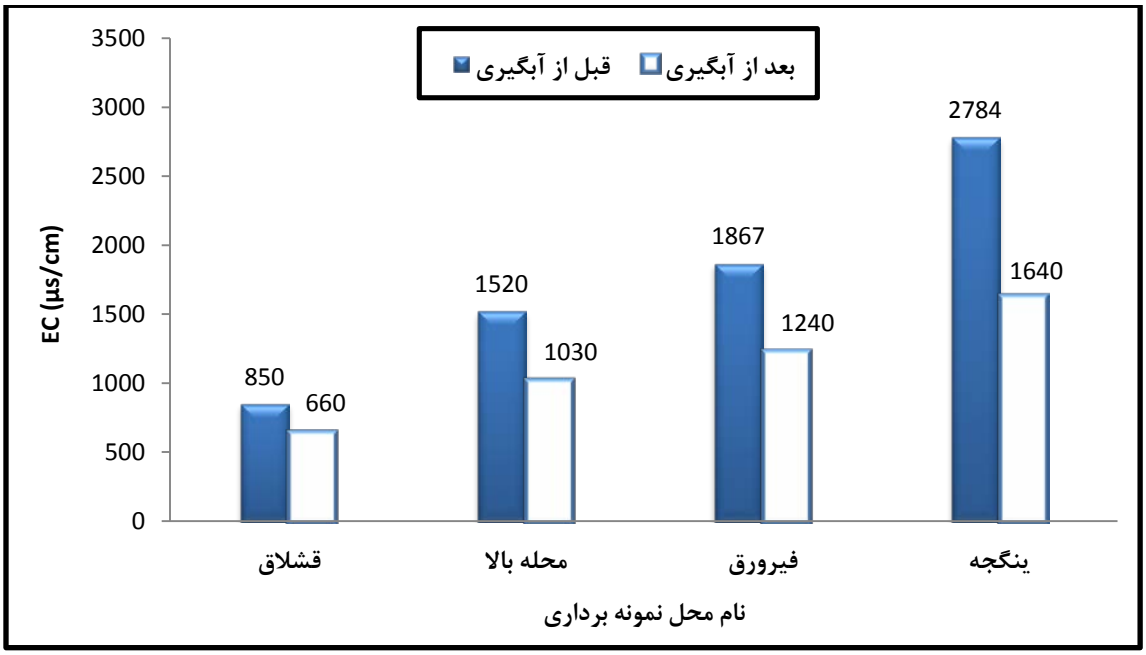
به منظور بررسی اثرات طرح تغذیه مصنوعی بر کیفیت آبخوان منطقه مورد مطالعه، کیفیت آبخوان قبل و بعد از آبگیری مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این که هیچ داده‌ای کیفی از چاههای منطقه قبل از اجرای طرح تغذیه مصنوهی ثبت نشده و همچنین داده‌های کیفی در مراحل اولیه آبگیری کامل نبوده است، از داده‌های کیفی چاه‌های انتخابی منطقه در زمان قبل از آبگیری اصلی یعنی سال ۱۳۸۶ استفاده شده است. با توجه به این که از سال ۱۳۸۶ به بعد آبگیری عمده طرح (بالای ۴۰ میلیون متر مکعب) صورت گرفته، از این دوره زمانی به عنوان دوره اصلی آبگیری یاد می‌شود. جهت بررسی کیفی آبخوان قبل و بعد از آبگیری اصلی از داده‌های شیمیایی چاه‌های انتخابی قشلاق، محله بالا، فیرورق و ینگجه که دارای اطلاعات کاملی بوده، استفاده شده است. همان طور که در بالا ذکر شد، از داده‌های چاههای انتخابی منطقه در سال ۱۳۸۶ برای مرحله قبل از آبگیری اصلی و از داده‌های چاههای انتخابی منطقه در زمان ۱۳۹۰ برای مرحله بعد از آبگیری استفاده گردیده است. از این رو هدایت الکتریکی و مقادیر یون‌های اصلی کلسیم، منیزیم، سدیم، بی‌کربنات، کلر و سولفات چاههای انتخابی منطقه قبل و بعد از آبگیری مورد مقایسه قرار گرفته شده است. مقادیر هدایت الکتریکی و یون‌های اصلی چاههای منطقه در جدول (۴-۱۱) نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۱- هدایت الکتریکی و غلظت یون‌های اصلی در چاههای اصلی قبل و بعد از آبگیری

شماره چاه	نام چاه	زمان آبگیری	EC (µS/cm)	pH	غلظت یون‌های اصلی (میلی اکی والان بر لیتر)					
					Ca	Mg	Na	HCO_3^-	Cl	SO_4
۱	قشلاق	قبل از آبگیری	۸۵۰	۷/۳	۴/۷	۳/۵	۱/۳	۸/۳	۰/۷	۰/۶
		بعد از آبگیری	۶۶۰	۷/۸	۲/۰	۳/۷	۱/۰	۵/۱	۰/۵	۰/۸
۲	محله بالا	قبل از آبگیری	۱۵۲۰	۷/۲	۷	۳/۰	۲/۱	۸/۹	۰/۶	۱/۵
		بعد از آبگیری	۱۰۳۰	۷/۵	۵/۴	۳/۲	۱/۲	۸/۳	۰/۵	۱/۱
۳	فیرورق	قبل از آبگیری	۱۸۶۷	۶/۷	۸/۱	۹/۴	۰/۱	۱۶/۴	۱/۰	۱/۳۵
		بعد از آبگیری	۱۲۴۰	۷/۶	۴/۳	۷/۸	۰/۶۵	۱۰/۷	۰/۶	۱/۳
۴	ینگجه	قبل از آبگیری	۲۷۸۴	۶/۵	۱۴/۸	۱۲/۲	۱/۹	۳۰	۰/۷	۰/۴
		بعد از آبگیری	۱۶۴۰	۷/۳	۶/۵	۹/۹	۱/۳	۱۴/۸	۰/۷	۰/۴

الف- مقادیر هدایت الکتریکی

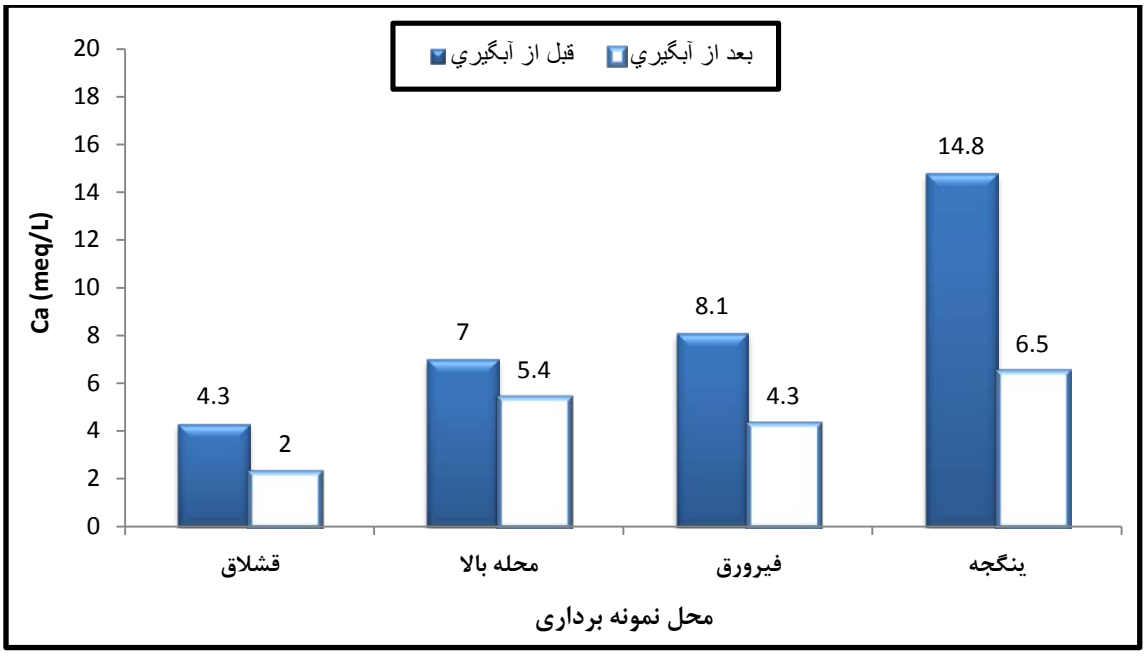
مقادیر هدایت الکتریکی چاههای قشلاق، محله بالا، فیرورق و ینگجه برای سال ۱۳۸۶ (قبل از آبگیری اصلی) و سال ۱۳۹۰ (بعد از آبگیری اصلی) مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل (۴-۱۸) تغییرات هدایت الکتریکی چاههای منطقه مورد مطالعه را قبل و بعد از آبگیری اصلی را نشان می‌دهد. با عنایت به شکل (۴-۱۸) ملاحظه می‌شود که مقادیر هدایت الکتریکی چاههای منطقه مورد مطالعه بعد از آبگیری اصلی به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرده است. علت کاهش قابل توجه مقادیر هدایت الکتریکی بعد از آبگیری اصلی نفوذ حجم بالای آب با کیفیت بسیار خوب در این دوره زمانی (۱۳۹۰ – ۱۳۸۶) می‌باشد.



شکل ۴-۱۸- مقایسه مقادیر هدایت الکتریکی در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی

ب- مقایسه یون‌های اصلی

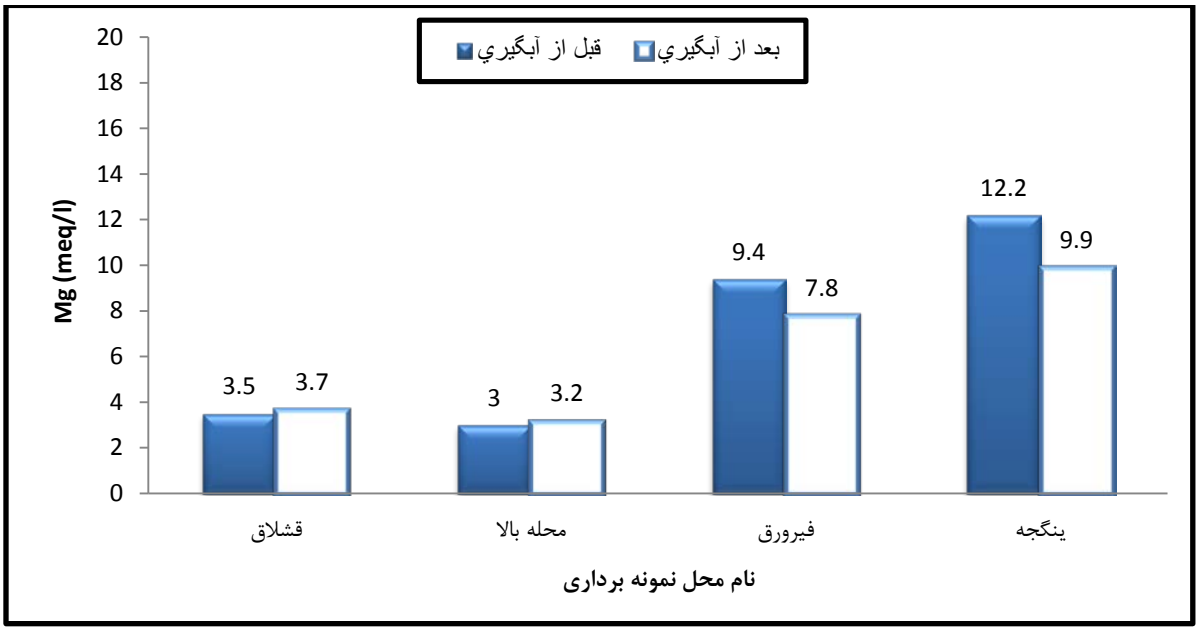
غلظت یون‌های اصلی شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر ، سولفات و بی‌کربنات چاههای قشلاق، محله بالا، فیرورق و ینگجه برای مراحل زمانی قبل و بعد از آبگیری اصلی مورد مقایسه واقع شده است. شکل (۴-۱۹) مقایسه مقادیر یون کلسیم در چاههای منطقه برای مراحل قبل و بعد از آبگیری اصلی را نشان می‌دهد.



۴-۱۹- مقایسه مقادیر یون کلسیم در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی

همانطور که از جدول (۴-۱۹) ملاحظه می‌شود، مقادیر یون کلسیم در تمام چاههای منطقه کاهش پیدا کرده است. بیشترین کاهش مربوط به چاه نمونه‌برداری شده در منطقه ینگجه می‌باشد، که مقدار کلسیم در این چاه از ۱۴/۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر برای قبل از آبگیری به مقدار ۶/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر برای زمان بعد از آبگیری رسیده است. همچنین کمترین کاهش مربوط به چاه انتخابی منطقه محله بالا می‌باشد، که مقدار کلسیم در این چاه انتخابی از ۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر به ۵/۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر کاهش پیدا کرده است. شکل

(۴-۲۰) مقادیر یون منیزیم را قبل و بعد از آبگیری اصلی حوضچه‌های تغذیه مصنوعی را برای چاههای منطقه نشان می‌دهد.

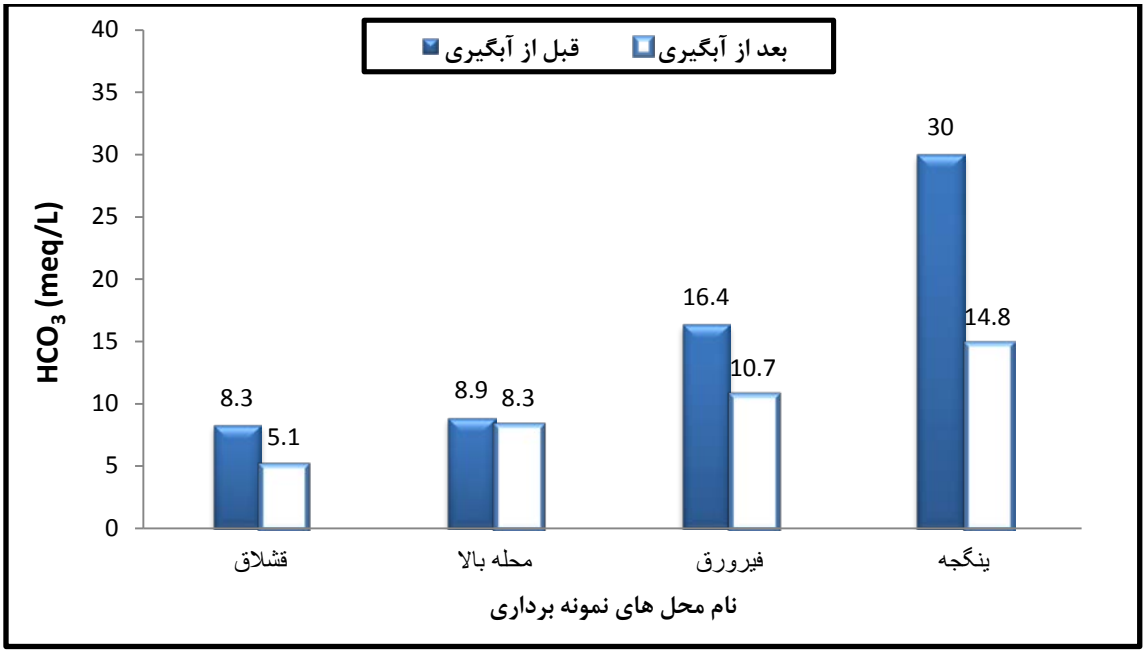


۴-۲۰- مقایسه مقادیر یون منیزیم در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی

همان طور که در شکل بالا مشاهده می‌شود، مقادیر منیزیم در چاههای انتخابی ینگجه و فیرورق بعد از آبگیری حوضچه‌های تغذیه مصنوعی کاهش پیدا کرده است، به این صورت که در چاه انتخابی فیرورق مقدار یون منیزیم از ۹/۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر به ۷/۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر کاهش پیدا کرده و همچنین در چاه ینگجه بعد از آبگیری مقدار یون منیزیم به میزان ۲/۳ میلی‌اکی‌والان تقلیل پیدا کرده است. در چاه انتخابی منطقه قشلاق و محله بالا مقادیر یون منیزیم افزایش ناچیزی داشته است. با توجه به مقدار پایین غلظت یون منیزیم در این دو چاه انتخابی افزایش اندک مقدار منیزیم طبیعی می‌باشد.

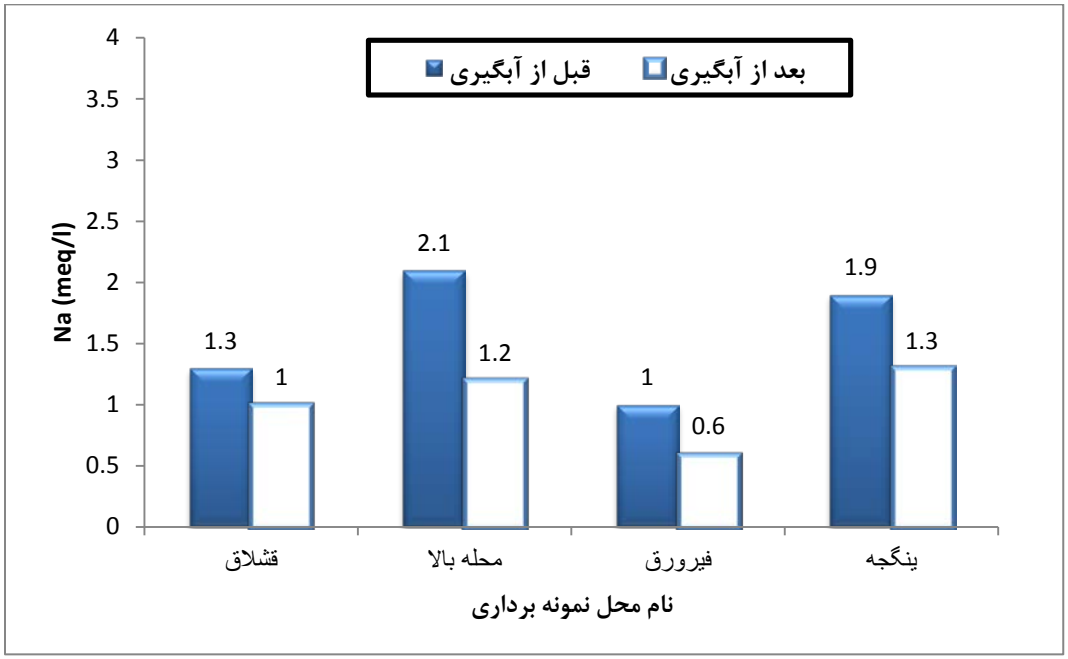
به طور کلی با عنایت به شکل (۴-۱۹ و ۴-۲۰) مشاهده می‌شود که مقادیر کلسیم و منیزیم که کاتیون‌های غالب آب زیرزمینی منطقه بوده، کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا کرده است. با توجه به این که مجموع مقادیر یون کلسیم

و منیزیم در آب ورودی به شبکه تغذیه برابر با ۳/۳۵ بوده، می‌توان نتیجه گرفت تغذیه مصنوعی عامل اصلی بهبود سختی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بوده است. شکل (۴-۲۱) مقایسه مقادیر بی‌کربنات را در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری را نشان می‌دهد.

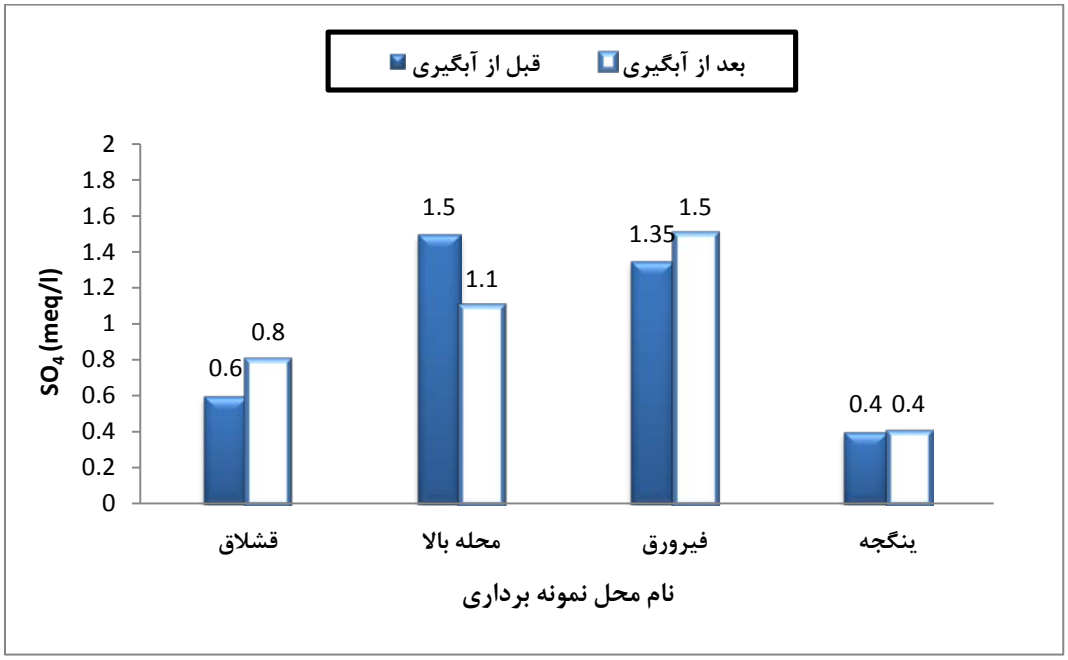


شکل ۴-۲۱- مقایسه مقادیر یون بی‌کربنات در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی

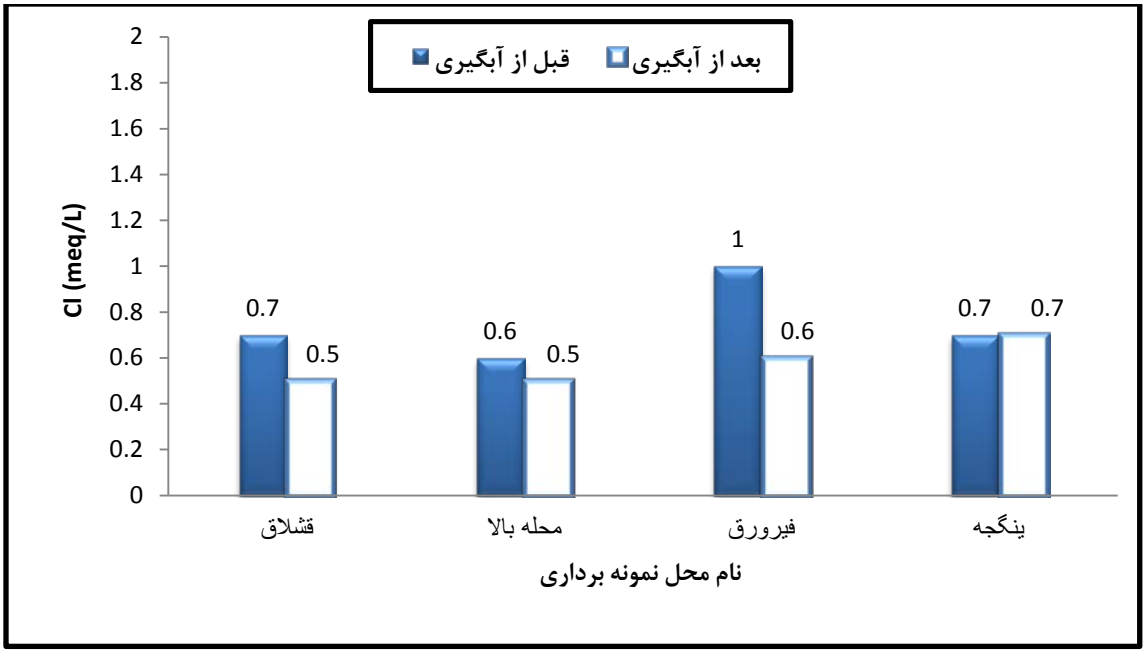
با توجه به شکل بالا مشاهده می‌شود که مقادیر یون بی‌کربنات در چهار چاه قشلاق، محله بالا، فیرورق و ینگجه بعد از آبگیری اصلی حوضچه‌های تغذیه کاهش پیدا کرده است. همان طور که ملاحظه می‌شود بیشترین تغییر مربوط به چاه انتخابی در منطقه ینگجه می‌باشد، که مقدار یون بی‌کربنات در این چاه از ۳۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر کاهش پیدا کرده است. همچنین چاه انتخابی محله بالا کمترین کاهش را داشته است. با توجه به این که بی‌کربنات یون غالب در بین آنیون‌ها می‌باشد، کاهش این یون نشان دهنده تأثیر مثبت طرح تغذیه مصنوعی بر کیفیت آبخوان می‌باشد. جهت بررسی بهتر تأثیرات کیفی طرح تغذیه بر آبخوان سایر یون‌ها از قبیل سدیم، سولفات و کلر نیز بررسی شده است (شکل‌های ۴-۲۲، ۴-۲۳، ۴-۲۴).



۴-۲۲- مقایسه مقادیر یون سدیم در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی



شکل ۴-۲۳- مقایسه مقادیر یون سولفات در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی



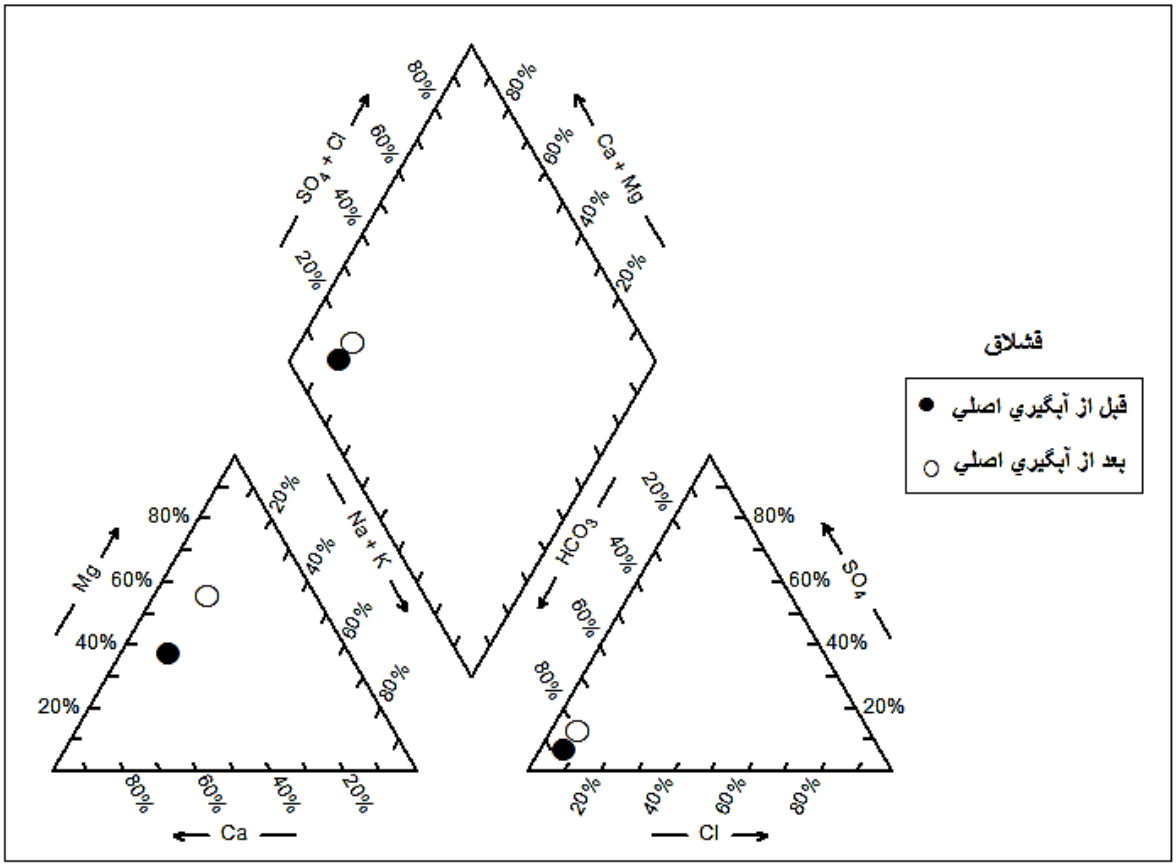
۴-۲۴- مقایسه مقادیر یون کلر در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی

با عنایت به شکل‌های (۴-۲۲، ۴-۲۳ و ۴-۲۴) مشاهده می‌شود که غلظت یون‌های سدیم، سولفات و کلر در اکثر چاههای بعد از آبگیری اصلی کاهش قابل توجهی داشته است.

به طور کلی مشاهده می‌شود که مقادیر هدایت الکتریکی، یون‌های اصلی و فرعی چاههای منطقه بعد از آبگیری اصلی کاهش قابل توجهی داشته است، که نشان دهنده اثر مثبت طرح تغذیه مصنوعی خوی بر آبخوان فیرورق می‌باشد.

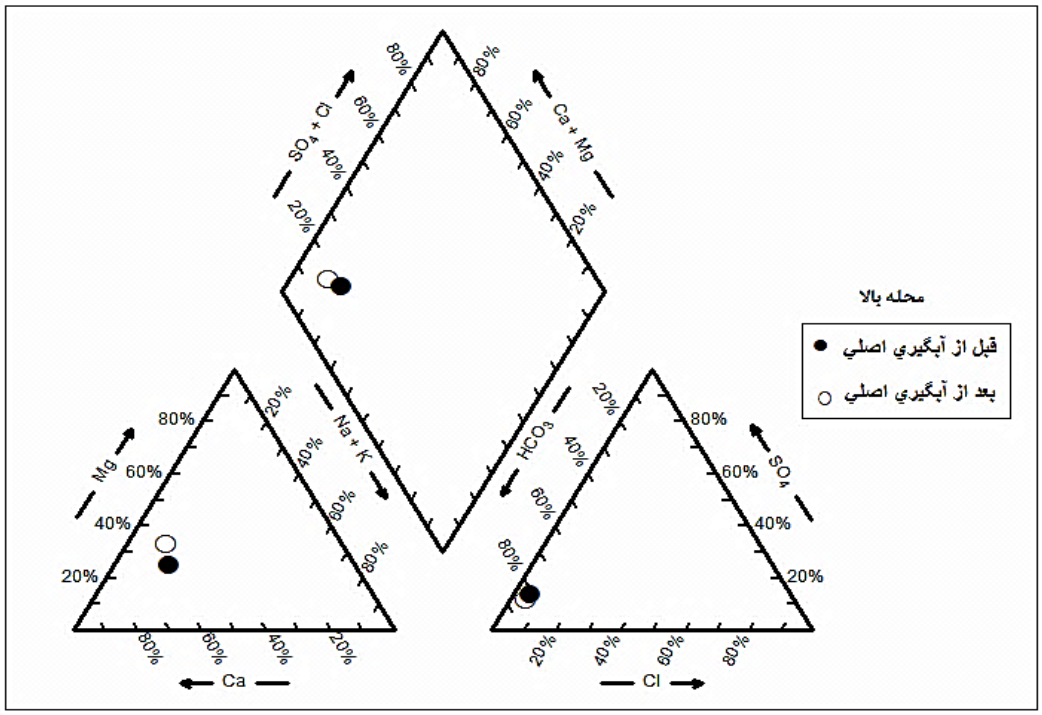
ج- مقایسه موقعیت نمونه‌های در نمودار پایپر

جهت بررسی روند تغییرات کیفیت و تیپ آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه قبل و بعد از آبگیری اصلی حوضچه‌های تغذیه مصنوعی، برای نمونه‌های جمع‌آوری شده نمودار پایپر ترسیم گردیده است. شکل (۴-۲۵) نمودار پایپر را برای نمونه مربوط به قشلاق نشان می‌دهد.

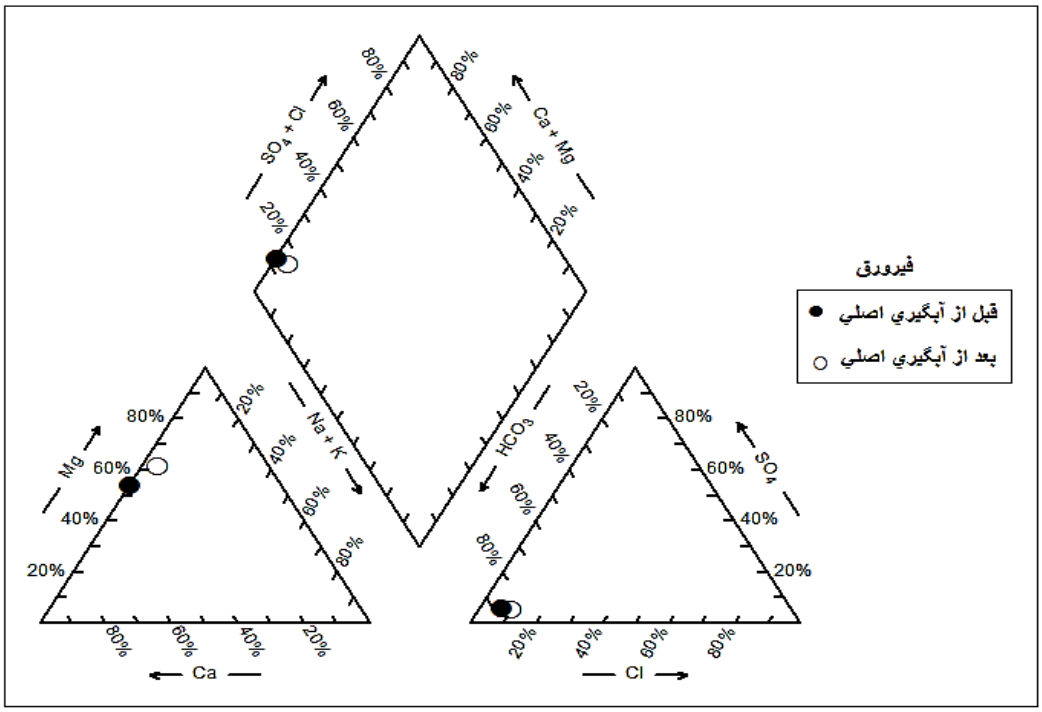


شکل ۴-۲۵- نمودار پایپر چاه انتخابی قشلاق قبل و بعد از آبگیری

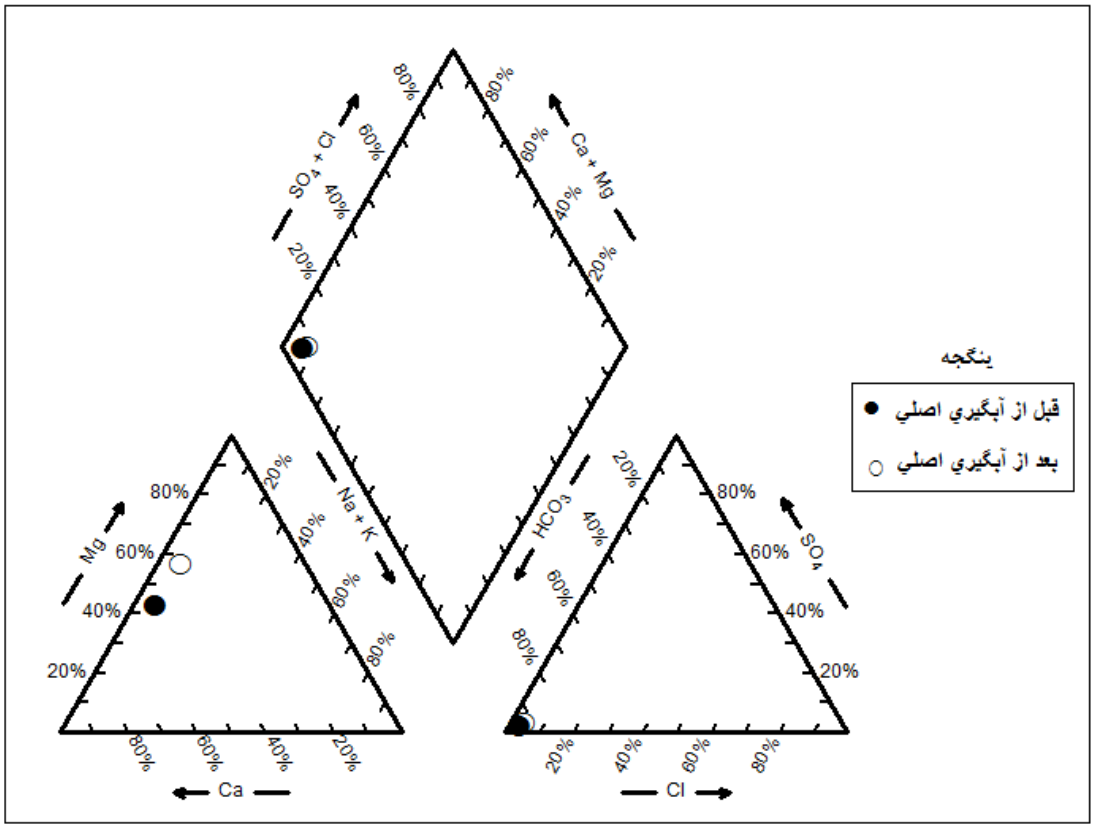
همان طوری که در شکل (۴-۲۵) ملاحظه می‌شود موقعیت نمونه‌های قبل و بعد آبگیری اصلی چاه محله بالا در نمودار پایپر نشان دهنده بهبود کیفیت چاه مذکور می‌باشد. شکل‌های (۴-۲۶، ۴-۲۷ و ۴-۲۸) نمودار پایپر را برای چاههای محله بالا، فیرورق و ینگجه نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۶- نمودار پایپر چاه انتخابی محله بالا قبل و بعد از آبگیری



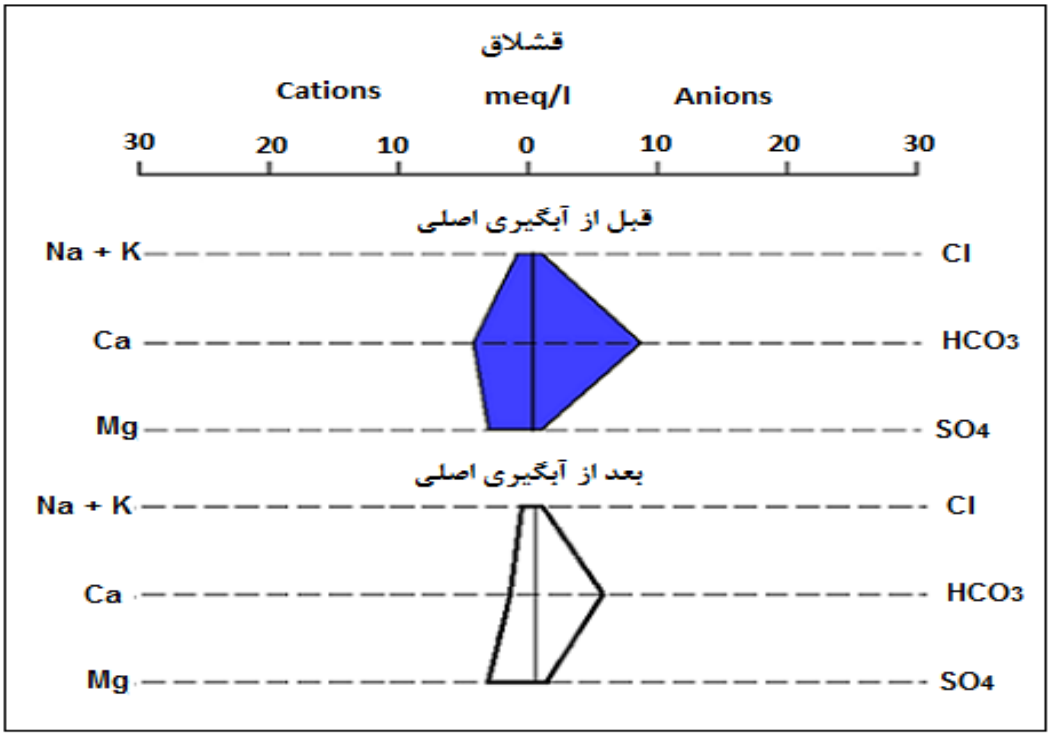
شکل ۴-۲۷- نمودار پایپر چاه انتخابی فیرورق قبل و بعد از آبگیری



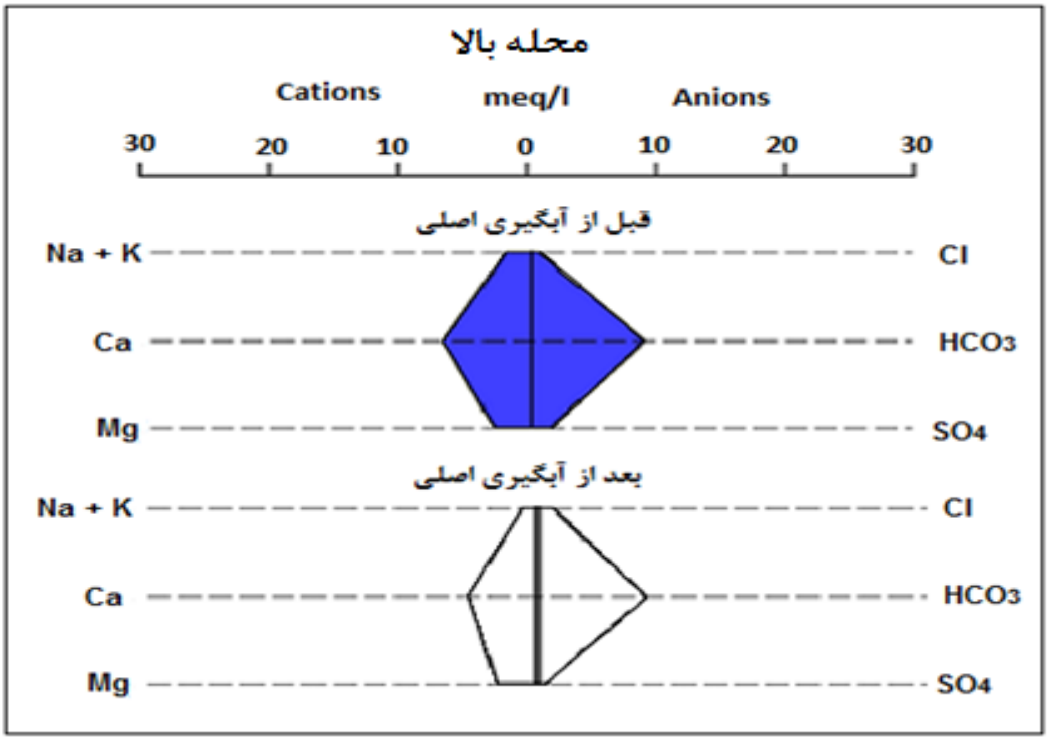
شکل ۴-۲۸- نمودار پایپر چاه انتخابی ینگجه قبل و بعد از آبگیری

د- مقایسه نمونه‌های آب در نمودار استیف

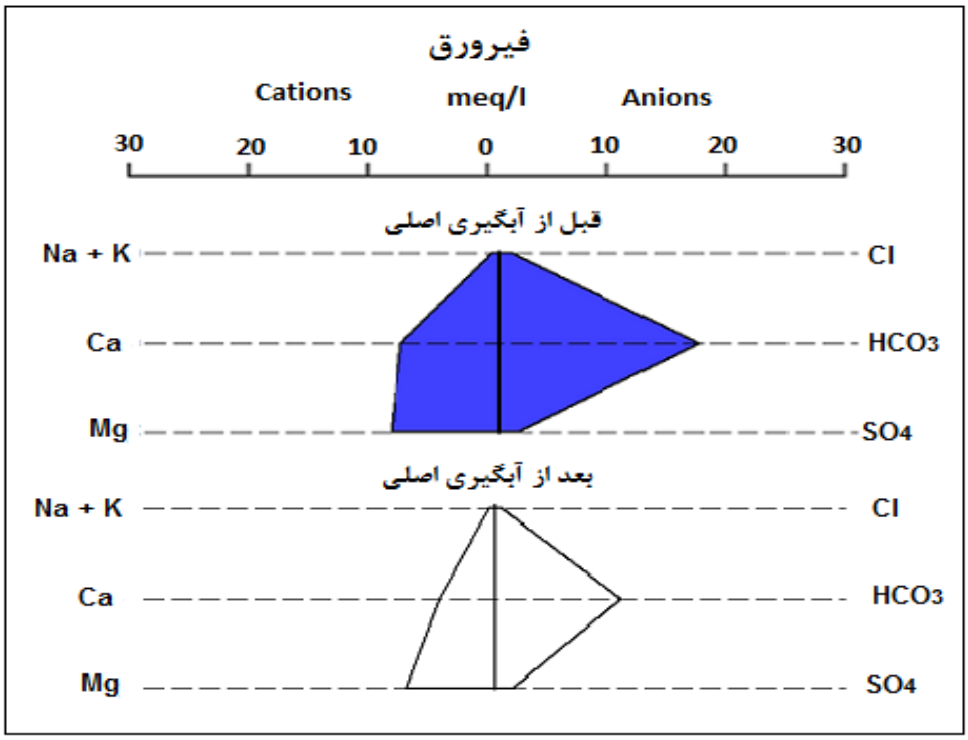
جهت بررسی مقایسه سریع ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی از نمودار استیف استفاده شده است. شکل‌های (۴-۲۹، ۴-۳۰، ۴-۳۱ و ۴-۳۲) نمودار استیف را برای چاههای انتخابی قشلاق، محله بالا، فیرورق و ینگجه نشان می‌دهد. همانطوری که از شکل‌های (۴-۲۹، ۴-۳۰، ۴-۳۱ و ۴-۳۲) ملاحظه می‌شود، تیپ آب برای چاههای محله بالا و فیرورق تغییری نکرده و به ترتیب از نوع بی‌کربناته – کلسیم و بی‌کربناته – منیزیم می‌باشد، اما تیپ آب زیرزمینی در چاههای قشلاق و ینگجه بعد از آبگیری اصلی از بی‌کربناته – کلسیم به بی‌کربناته - منیزیم تغییر پیدا کرده است.



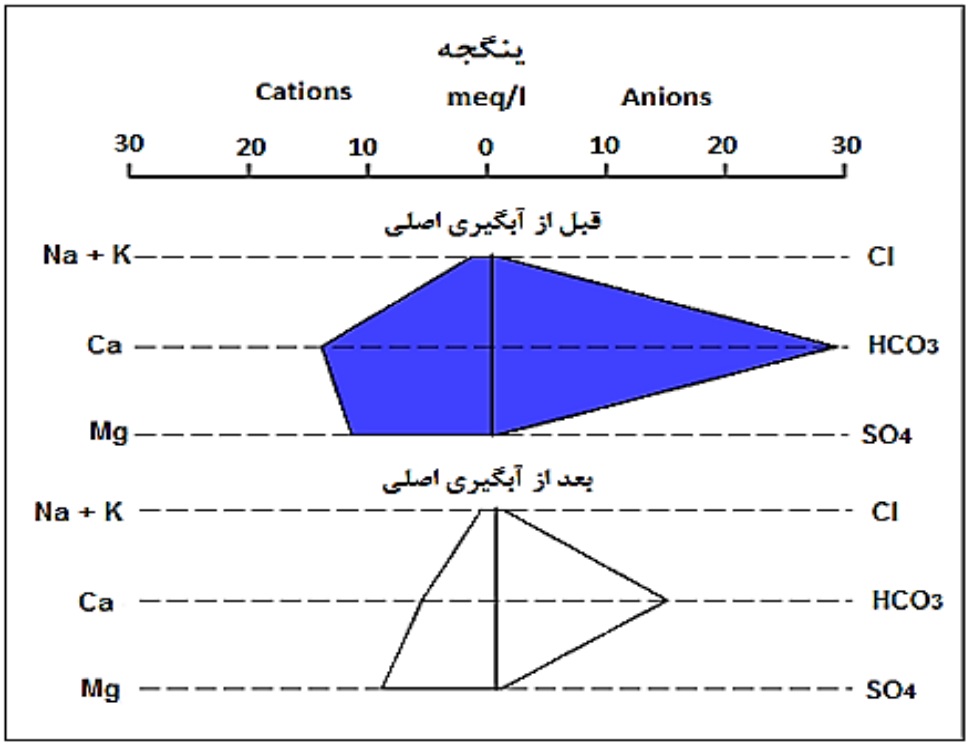
شکل ۴-۲۹- نمودار استیف چاه انتخابی قشلاق قبل و بعد از آبگیری



شکل ۴-۳۰- نمودار استیف چاه انتخابی محله بالا قبل و بعد از آبگیری



شکل ۴-۳۱- نمودار استیف چاه انتخابی فیرورق قبل و بعد از آبگیری



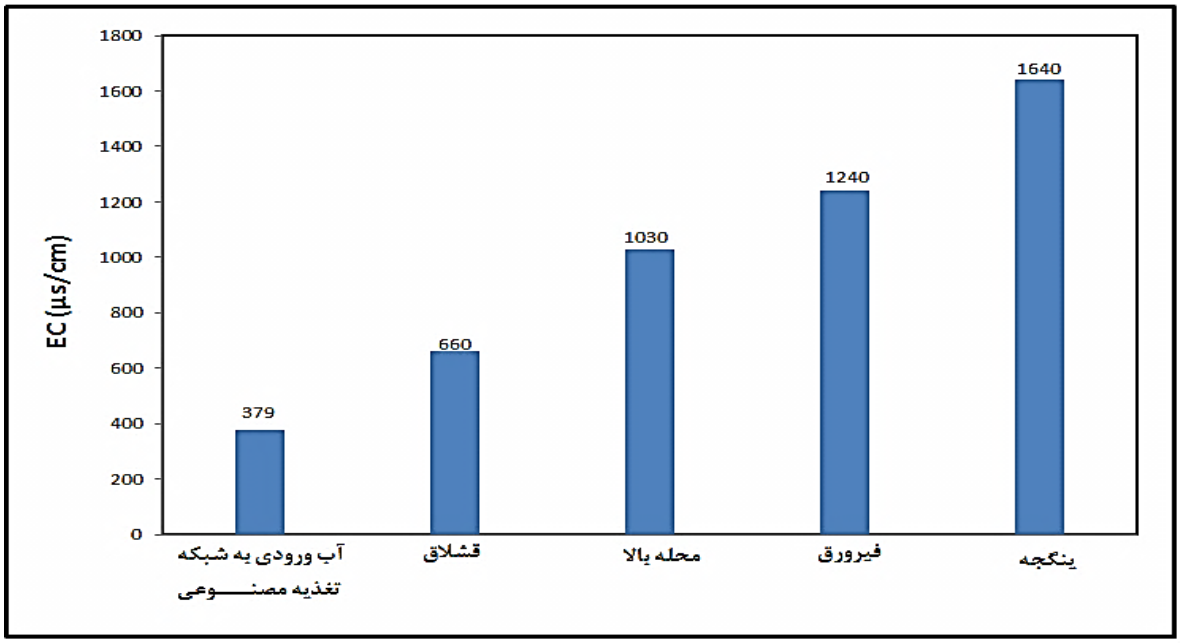
شکل ۴-۳۲- نمودار استیف چاه انتخابی ینگجه قبل و بعد از آبگیری

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

برای بررسی اثرات طرح تغذیه مصنوعی خوی بر آبخوان منطقه موارد شامل ارزیابی کیفی آب ورودی به طرح تغذیه مصنوعی، اثر تغذیه مصنوعی بر کمیت منابع آب زیرزمینی و اثر تغذیه مصنوعی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته است. در این فصل مختصری از نتایج حاصل از این تحقیق آورده شده است.

۵ -۱- ارزیابی کیفی آب ورودی به طرح تغذیه مصنوعی

آب ورودی به شبکه تغذیه مصنوعی خوی دارای هدایت الکتریکی حدود ۳۷۹ میکروموس بر سانتیمتر است، در قیاس با آب چاههای منطقه که دارای میانگین هدایت الکتریکی حدود ۹۹۰ میکروموس بر سانتیمتر می‌باشد، کیفیت بسیار خوبی دارد. نتایج حاصل از آنالیزهای شیمیایی موجود و نسبت‌های یونی بدست آمده نشان می‌دهد که آب ورودی به حوضچه‌های تغذیه مصنوعی خوی از نوع تیپ بی‌کربناته – کلسیم می‌باشد. میانگین غلظت سدیم و کلر به ترتیب حدود ۰/۴ و ۰/۲۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است که بیانگر غلظت پایین اسیدهای قوی و قلیایی‌ها در این آب می‌باشد. به طور کلی نتایج حاصله از این تحقیق بیانگر این مطلب است که کیفیت آب رودخانه برای تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی بسیار مناسب است.



شکل ۵-۱- مقایسه کیفیت آب ورودی به شبکه تغذیه با چاههای منطقه مورد مطالعه

۵- ۲- اثر تغذیه مصنوعی بر کمیت منابع آب زیرزمینی

با توجه به موقعیت جغرافیایی پیزومترها در منطقه مورد مطالعه و فاصله آن‌ها از حوضچه‌ها تغذیه مصنوعی تغییرات سطح آب در پیزومترهای مورد مطالعه را می‌توان به صورت زیر تشریح نمود.

اولین پیزومتر مورد بررسی فیرورق محله بالا می‌باشد که در دامنه تپه ماهورهای شمال غربی فیرورق واقع شده است. از آنجایی که در این منطقه تعداد چاههای بهره‌برداری نسبتاً کم بوده است، شیب افت سطح آب در محدوده این پیزومتر قبل از آبگیری عمده طرح تغذیه مصنوعی نیز ناچیز بوده است. به علت پستی و بلندی نسبتاً زیاد منطقه هیدروگراف قبل از آبگیری شبکه تغذیه مصنوعی دارای نوسانات قابل توجهی بوده است، ولیکن بعد از آبگیری نوسانات فوق الذکر به طور قابل توجهی کم شده‌اند.

پیزومتر فیرورق خروجی، نزدیکترین پیزومتر به محل احداث شبکه تغذیه مصنوعی مورد نظر می‌باشد. بررسی هیدروگراف این پیزومتر بیانگر تغییرات قابل توجهی در شیب نمودار در زمان‌های آبگیری حوضچه‌های تغذیه می‌باشد. با توجه به اینکه از زمان ۱۳۸۸تا ۱۳۹۰ حجم آبگیری نسبت به دوره‌ای سه ساله قبل افزایش پیدا کرده است، شیب هیدروگراف (شیب سطح ایستابی) در این دوره کم شده، با توجه

به نزدیکی این پیزومتر به حوضچه‌های تغذیه تاثیر این طرح را به خوبی نشان می‌دهد.

پیزومتر فیرورق ورودی در شرق شهر فیرورق واقع شده است، که فاصله آن با حوضچه‌های تغذیه مصنوعی مورد مطالعه حدود چهار کیلومتر می‌باشد. هیدروگراف پیزومتر نشان می‌دهد که شیب سطح آب در فاصله زمانی ۱۳۸۵ تا اواخر ۱۳۹۰ نسبت به سال‌های قبل به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرده است. کاهش شیب افت سطح ایستابی در این فاصله زمانی که به منزله کاهش مقدار افت سالانه سطح آب زیرزمینی در محدوده این پیزومتر است. به دلیل تاثیر آبگیری شبکه تغذیه مصنوعی در سال‌های اخیر بوده است. لازم به ذکر است که شیب افت سطح ایستابی در این پیزومتر نسبت به پیزومتر فیرورق خروجی بیشتر می‌باشد که دلیل آن احتمالاً به خاطر تمرکز بالای چاههای بهره‌برداری در محدوده این پیزومتر می‌باشد.

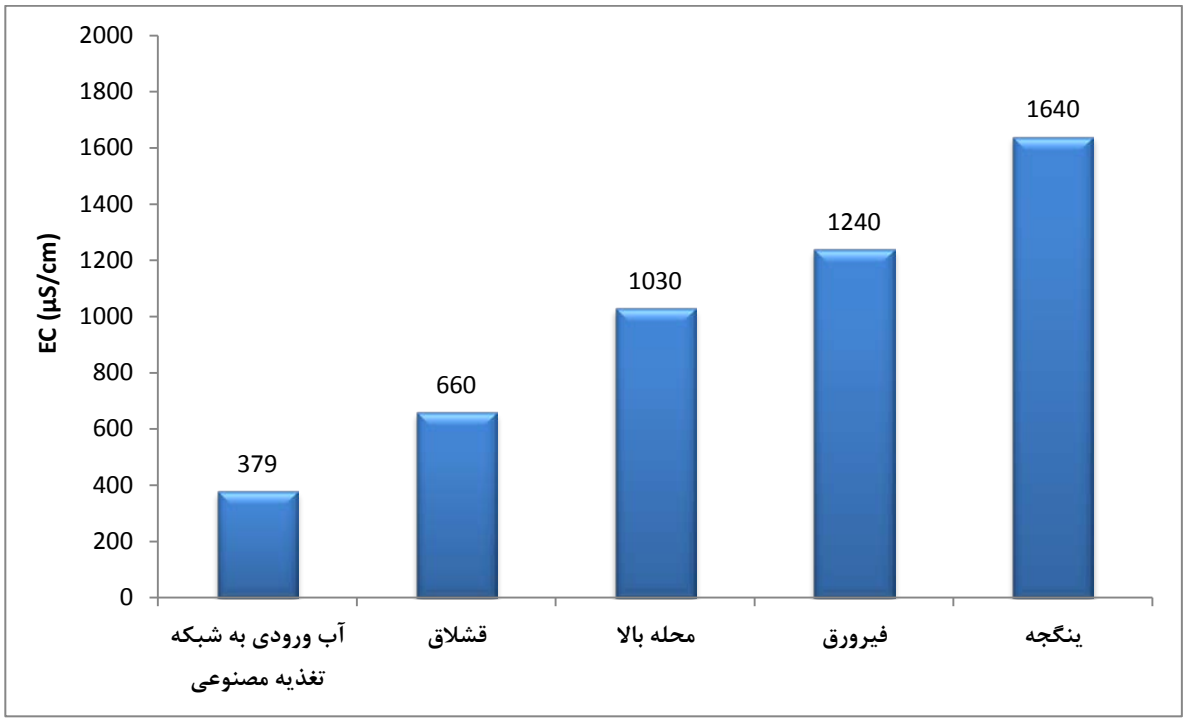
پیزومتر ینگجه، این پیزومتر در خط‌القعر دشت مورد نظر واقع شده است و به نظر می‌رسد که اثرات تغذیه مصنوعی خوی بر روی این پیزومتر بسیار مشهودتر است. به این ترتیب که قبل از آبگیری عمده شبکه تغذیه مصنوعی شیب افت سطح آب زیرزمینی بسیار بالا و برابر با ۰/۰۱ بوده است. چنین شیب زیادی بیانگر مقادیر بالای افت سالانه سطح آب زیرزمینی در محدوده این پیزومتر است. بعد از آبگیری عمده در طرح تغذیه مصنوعی خوی شیب افت سطح ایستابی به حدود ۱/۵ در هزار کاهش پیدا کرده است، که بیانگر مقدار افت سالانه بسیار کمتری نسبت به زمان قبل از آبگیری طرح می‌باشد.

پیزومتر پیرموسی، این پیزومتر مانند پیزومتر ینگجه در مجاورت خط القعر منطقه واقع شده است و در مقایسه با پیزومترهای مورد بحث دورترین پیزومتر به شبکه تغذیه مصنوعی خوی می‌باشد. هیدروگراف این پیزومتر نشان می‌دهد که پس از اجرای طرح تغذیه مصنوعی خوی، شیب افت سطح آب اندکی نسبت به قبل از اجرای طرح کمتر شده است، که امری طبیعی می‌باشد. نکته قابل توجه در خصوص این پیزومتر این است که بعد از آبگیری عمده سالهای ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰، سطح آب زیرزمینی از اواخر سال ۱۳۸۹ به طور مشهودی بالا رفته است. علت این امر به احتمال زیاد به خاطر رسیدن اثر تغذیه مصنوعی سالهای قبل به محدوده این پیزومتر است، که دورترین پیزومتر از محل طرح می باشد.

به طور کلی می‌توان بیان نمود که 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 (به‌ویژه پیزومترهای که در خط‌القعر 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 پایین دست خود تاثیر مثبت گذاشته است.

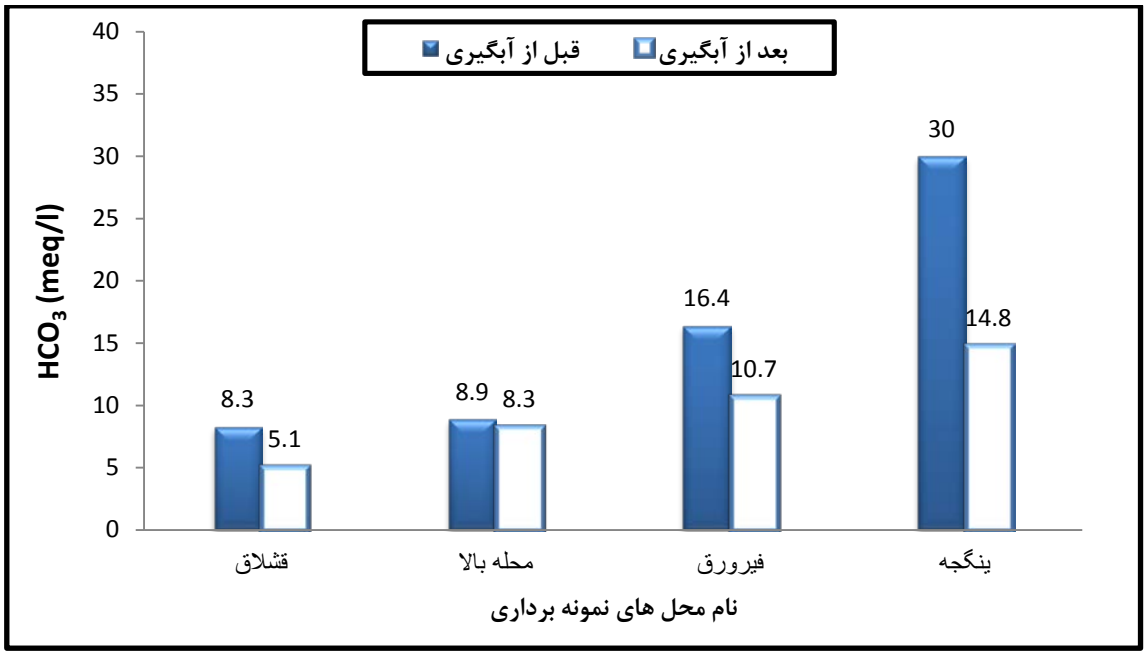
۵- ۳- اثر تغذیه مصنوعی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی

با توجه به این که کیفیت آب ورودی به شبکه تغذیه دارای کیفیت بسیار مناسبی بوده است باعث بهبود وضعیت آب زیرزمینی منطقه گردیده است. به این ترتیب که هدایت الکتریکی در تمام چاههای انتخابی قشلاق، محله بالا، فیرورق و ینگجه بهبود پیدا کرده است. بیشترین کاهش مربوط به چاه انتخابی ینگجه می‌باشد. مقدار هدایت الکتریکی چاه ینگجه از ۲۷۸۴ میکروموس بر سانتی‌متر به ۱۶۴۰ میکروموس بر سانتی‌متر کاهش پیدا کرده است. کمترین کاهش مربوط به چاه انتخابی قشلاق بوده، با توجه به این که چاه انتخابی مذکور در محل تغذیه آبخوان بوده دارای هدایت الکتریکی کمتری نسبت به سایر چاههای منطقه بوده و با آبگیری حوضچه‌های تغذیه مصنوعی در مجاورت آن از هدایت الکتریکی آن کاسته شده و در کل کیفیت مطلوب‌تری در مقایسه با قبل از آبگیری اصلی پیدا کرده است. به طور میانگین کیفیت تمام چاههای انتخابی در منطقه مورد مطالعه حدود ۶۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر کاهش داشته است. شکل (۵-۲) مقایسه مقادیر هدایت الکتریکی را در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲- مقایسه مقادیر هدایت الکتریکی در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی

بعد از آبگیری اصلی یون‌های غالب چاههای منطقه کیفیت مناسب‌تری پیدا کرده است. همچنین دیگر یون‌ها تا حدودی تأثیر آبگیری اصلی را نشان می‌دهد. به این ترتیب که غلظت یون کلسیم و منیزیم که یون‌های غالب در بین کاتیون‌ها می‌باشد کاهش قابل توجهی داشته است، در کل با کاهش غلطت این دو یون سختی آب زیرزمینی منطقه بهبود پیدا کرده است. بی‌کربنات یون غالب در بین آنیون‌ها و کاتیون‌ها بوده است. از مشاهده شکل (۵-۳) ملاحظه می‌شود که بعد از آبگیری اصلی مقادیر این یون در تمام چاههای منطقه کاهش یافته است با توجه به اهمیت این یون می‌توان نتیجه گرفت که عامل اصلی در کاهش غلظت این یون آبگیری حوضچه‌های تغذیه مصنوعی با آب کیفیت مناسب بوده است. در بین سایر یون‌ها غلظت یون سدیم و کلر کاهش قابل توجهی داشته است، یون سولفات تا حدودی بهبود پیدا کرده است.



شکل ۵-۳- مقایسه مقادیر یون بی‌کربنات در چاههای منطقه قبل و بعد از آبگیری اصلی

۵- ۴- پیشنهادها

به منظور کارایی بهتر طرح تغذیه مصنوعی و برای بررسی مناسب‌تر اثرات آن بر آبخوان منطقه مذکور در آینده موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

۱- تکمیل شبکه پیزومتری آبخوان فیرورق جهت بررسی دقیق‌تر اثرات کمی طرح تغذیه مصنوعی خوی بر آبخوان منطقه.

۲- با توجه به این که طرح تغذیه مصنوعی خوی برای حجم آبگیری سالانه ۲۰ میلیون متر مکعب احداث شده است و به دلیل نیاز آبی منطقه، تأثیرات مثبت و نبود مشکلات فنی طرح انتظار می‌رود آبگیری حوضچه‌ها به حجم پیش‌بینی شده افزایش یابد.

۳- نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی از چشمه‌ها و قنات‌های منطقه و همچنین افزایش چاههای انتخابی برای بررسی اثرات کیفی طرح.

فهرست منابع

- ابراهیمی، ع.، رضایی، ج.، (۱۳۷۹)، "دست آوردهای اقتصادی و اجتماعی پخش سیلاب در دشت موسیان، مجموعه مقالات دومین همایش دستاوردهای ایستگاههای پخش سیلاب"، اسفند ۱۳۷۹، تهران.

- بصیری، ع.، گلرنگ، ب.، فلاحتی، ح.، روحانی، ح.، (۱۳۸۴)، "تأثیرات عملیات آبخیزداری و تغذیه مصنوعی بر احیاء قنوات مطالعه موردی: منطقه کاشمر – استان خراسان"، کنفرانس بین المللی قنات.

- تابش، م.، جواهری، ر.، (۱۳۸۲)، "بررسی متقابل غلظت مواد معلق در آب و نوع پوشش خاک بر میزان نفوذپذیری حوضچه‌های نفوذ (در طرحهای تغذیه مصنوعی)"، نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۷، شماره ۲، دانشگاه تهران.

- زارع، م.، زینالی خاصلوئی، ع.، و رئیسی، ع.، (۱۳۷۸)، "ارزیابی اثر کمی طرح تغذیه مصنوعی دشت امامزاده جعفر گچساران"، فشرده مقاله‌های سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تابستان ۱۳۷۸، شیراز، ص ۳۰۶-۳۰۲.

- جلالی، ل.، اصغری مقدم، ا.، (۱۳۹۲)، تشخیص وضعیت هیدروژئوشیمیایی و روند شوری در سفره آب زیرزمینی دشت خوی به روش‌های آماری و هیدروشیمیایی، مجله محیط شناسی ، سال سی و نهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۲، ص ۱۲۲-۱۱۳.

- جوانی، ح.، لیاقت، ع.، حسن‌اقلی، ع.، نادری، م.، (۱۳۹۱)، "بررسی تأثیر اجرای عملیات تغذیه مصنوعی در کاهش فسفر، نیترات و مواد معلق موجود در فاضلاب تصفیه شده"، همایش ملی

علوم مهندسی آب و فاضلاب.

- حسن اقلی، ع.، لیاقت، ع. (۱۳۸۷)، "تاثیر اجرای عملیات تغذیه مصنوعی با فاضلاب تصفیه شده شهرک اکباتان بر انتقال آلاینده‌های معدنی و بیولوژیک به آبخوان کم عمق"، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۳، شماره ۱، دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۱۵۱-۱۴۳.

- حیدرپور، ج.، (۱۳۶۹)، "تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی"، مرکز نشر دانشگاهی تهران، چاپ اول، تهران.

- رهبر، غ.، کوثر، آ.، "مهار سیلاب و تغذیه مصنوعی از طریق گسترش سیلاب"، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

- رحمانی، ح.، (۱۳۷۸)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "ارزیابی طرح تغذیه مصنوعی جاشک – آبدان استان بوشهر"، دانشگاه شهید چمران اهواز.

- رضایی، م.، سرکزی، ا.، (۱۳۸۸)، "بررسی اثرات اجرای تغذیه مصنوعی بر روی آبخوان دشت گوهر کوه"، مجله علوم زمین، سال دوازدهم، شماره ۷۶، ص ۱۰۶-۹۹.

- زینالی، ع.، (۱۳۷۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "ارزیابی طراحی و عملکرد طرح تغذیه مصنوعی دشت امامزاده جعفر گچساران"، دانشگاه شیراز.

- سوگند حسن آبادی، ل.، براتی، ش.، کاید خورده، ع.، (۱۳۸۵)، معرفی پروژه تغذیه مصنوعی دشت قلعه تل و بررسی تاثیر آن بر تقویت آبخوان دشت مذکور، اولین همایش منطقه‌ای بهره-برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود، دانشگاه شهرکرد، شهر کرد.

- صافی، ا.، موسوی، م.، حسینلر، خ.، ابراهیمی، م.، (۱۳۸۹)، "مطالعه تاثیرات تغذیه مصنوعی بر کیفیت آب‌زیرزمینی (مطاله موردی آبخوان ساحلی شند آباد)"، سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

- صداقت، م.، (۱۳۸۵)، "زمین و منابع آب (آبهای زیرزمینی)"، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ پنجم خرداد ۱۳۸۵.

- ضیاء، ح.، اصغری‌مقدم، ا.، (۱۳۸۳)، "ارزیابی کمی و کیفی طرح تغذیه مصنوعی شوراب بیرجند"، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

- عزیزی مبصر، ج.، معاضد، ه.، جلیلی، س.، "کاربرد فضلاب شهری تصفیه شده در تغذیه مصنوعی آبخوانها".

- علیزاده، ا.، (۱۳۹۰)، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، دانشگاه امام رضا(ع)، چاپ سی و سوم (با تجدید نظر)، مشهد.

- غفاری، د.، صدیق، د.، نهند، ع.، (۱۳۹۱)، "بررسی کمی و کیفی طرح تغذیه مصنوعی دشت شیرامین- شهرستان عجب‌شیر- استان آذربایجان غربی"، شانزدهمین همایش انجمن زمین-شناسی، دانشگاه شیراز.

- کلانتری، ن.، رحمانی، ح.، (۱۳۷۸)، "تاثیر کمی و کیفی طرح تغذیه مصنوعی جاشک-آبدان روی آب زیرزمینی دشت آبدان خورموج استان بوشهر"، فشرده مقاله‌های سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تابستان ۱۳۷۸، شیراز.

- کریمی پاشاکی، م.ح.، "مدیریت بهینه منابع آب با استفاده از کاربرد پساب در تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی"، دومین سمینار ملی: جایگاه آبهای بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب - کاربردها در کشاورزی و فضای سبز.

- گزارش نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ خوی، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- گلرنگ، ب.، دادرسی سبزوار، ا.، بصیری، ع.، فلاحتی، ح.، (۱۳۸۴)، "تأثیر طرح‌های پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی در احیاء قنوات مطالعه موردی: مناطق سبزوار و کاشمر"، کنفرانس بین المللی قنات.

- گودرزی، ا.، اسلامیان، س.، (۱۳۸۴)، "بررسی تأثیرات کمی و کیفی طرح پخش و تغذیه مصنوعی باغ سرخ شهرضا بر قنوات منطقه"، کنفرانس بین المللی قنات.

- مقدس، ح.، (۱۳۸۶)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "بررسی اثر تغذیه مصنوعی بر کمیت و کیفیت آبهای زیرزمینی دشت سبزوار"، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی شاهرود.

- مقیمی، ه.، "تغذیه مصنوعی دشت هشتگرد"، مجله پیک نور، سال اول، شماره۲.

- واعظ تهرانی، م.، ولی سامانی، ج.م.، "بهینه‌سازی عدم قطعیت رسوب رودخانه الند"، هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه آب و برق شهید عباسپور.

- Balke, K.D., Zhu, Y., (2008), "Natural water purification and water management by artificial groundwater recharge", *J Zhejiang Univ Sci B 9(3):221-226.*

- Bouri, S., Dhia, H.B., (2009), "A thirty-year artificial recharge experiment in a coastal aquifer in an arid zone: The Teboulba aquifer system (Tunisian Sahel)", *Comptes Rendus Geoscience 342*, pp 60-74.

- Bouwer, H., (1989), "Systems for artificial recharge of water".

- Ghosh Bobba, A., "Groundwater Developmentand Management of CoastalAquifers (including IslandAquifers) through Monitoringand Modeling Approaches", *National Water Research Institute Burlington, ON, Canada, L7R 4A6.*

- He, J., Ma, J., Zhang, P., Tian, L., Zhu, G., Mike, E.W., Zhang G., (2012), "Groundwater recharge environments and hydrogeochemical evolution in the Jiuquan Basin, Northwest china", *Applied Geochemistry 27*, pp 866-878.

- Hounslow, A.W., (1995), "Water quality data analysis and interpretation", Lewis publishers, CKC press, LLC, pp. 378.

- Karlsem, R.H., Smits, F.J.C., Stuyfzand, P., Olsthoorn, T.N., Van Breukelen, B.M., (2012), "A post audit and inverse modeling in reactive transport: 50 years of artificial recharge in the Amsterdam Water Supply Dunes", *Journal of Hydrolog* 454-455, pp 7-25.

- Khalatbari, M., Juteau, T., Bellon, H., Emami, H., (2003), "Discovery of two ophiolit complexes of different ages in the Khoy area (NW Iran)" *C. R. Geoscience 335, pp 917–929.*

- Lindroos, A.J., Kitunen, V., Derome, J., Helmisaari, H.S., (2002), "Changes in dissolved organic carbon during artificial recharge of groundwater in a forested esker in Southern Finland", *Water Research*, Vol. 36, pp 4951-4958.
- Maeng, S.K., Ameda, E., Sharma, S.K., Grutzmacher, G., Amy, G.L.,

(2012), “Organic micropollutant removal from wastewater effluent-impacted drinking water sources during bank filtration and artificial recharge”, *water Research,* Vol. 44, pp 4003-4014.

- Moon, S.H., Lee, J.Y., Lee, B.J., Park, K.H., Jo, Y.J., (2012), “Quality of harvested rainwater in artificial recharge site on Jeju volcanic island, Korea”, *Journal of Hydrology 414-415*. pp 268-277.

- Muir, k.S., (1974), “Sea intrusion, groundwater pumpage groundwater yield, and artificial recharge of the pajaro valley area, santa cruz and monterey counties, California”, *Geological Survey Water – Resources investigations.*

- Pedretti, D., Barahona-palome, M., Bolster, D., Sanchez-vila, X., (2012), A quick and inexpensive method to quantify spatially variable infiltration capacity for artificial recharge ponds using photographic images, Hydrology 430-431, pp 118-126.

- Samadder, R.K., Kumar, S., Gupta, R.P., (2001), “Paleochannels and their potential for artificial groundwater recharge in the western Ganga plains”, *Journal of Hydrology*, 400, pp 154 – 164.

- Shanghai, D., Danmei, X., (2012), “Groundwater Quality Variation Affected by Artificial Recharge in Hutuo River Bed”, *Proceia Environmental Science* 12, pp 555-560.

- Todd, D.K., (2005), “Groundwater Hydrology” John Wiley and Sons inc, New York, U.S.A.

- Vandenbohede, A., Houtt, E.V., Lebbe, L., (2008), “Groundwater flow in the vicinity two artificial recharge ponds in the Belgin costal dunes”,

Hydrogeology Journal, No. 16, pp 1669 -1681.

- Voudouris, K., Diamantopoulu, P., Giannatos, G., Zannis, P., (2005), "Groundwater recharge via deep boreholes in the Parts Industrial Area aquifer system (NW Peloponnesus, Greece)", *Bull Eng Geol Env*,No. 65, pp 297 – 308.

- Yun-zheng, P., Jian-long, W., (2006), "A field study of advanced municipal wastewater treatment technology for artificial groundwater recharge", *Journal of Environmental Sciences,* Vol. 18, NO. 6, pp 1056-1060.

Abstract

Firoragh groundwater aquifer, located in Khoy in northwestern plains, in recent years due to excessive withdrawals from the aquifer is faced with an extreme decline .In order to solve the problem of falling water levels in the aquifer artificial recharge project in 1377 in 12 km from the city of Khoy has been constructed.This plan is a pool type that includes seven influential ponds and two precipitation ponds.Water input to the network during the late Aban to early Farvardin from Aland river with a sixteen-kilometer channel is provided.The main flooding of artificial recharge has been started since 1387.This way every year about ten million cubic meters of artificial recharge is transmitted.Surveys conducted regarding the design hydrographs downstream wells indicate that this project has had a significant influence on the increasing of groundwater levels and decreasing the slope of the water table.Thus, the steep decline in some of the Piezometers water table has decreased to about one-fifth. Water inputs to the artificial recharging network have a very better quality than those groundwater aquifers of the area.The average electrical conductivity of the water inlet is about 380 micrormhos/cm, while the average electrical conductivity of the upper aquifer is about 660 micromhos/cm .The results of this study indicate that the values of electrical conductivity and the most ions of the main groundwater aquifers in the study after flooding have significantly reduced.

Keywords: artificial recharge, water table level, groundwater quality,Firough aquifer.

Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

Investigation of the impacts of Khoy artificial recharge scheme on the quantity of local aquifers

Mohammd Ghordoi Milan

Supervisor:

Dr. G.H. Karami

February 2014