



## "مقاله پژوهشی"

# تأثیر تغذیه مصنوعی بر کیفیت آب آبخوان منطقه سفیددشت - فرادنبه

رحیم علیمحمدی نافچی

بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران، (نویسنده مسول: Nafchi38@gmail.com)  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۱۴  
صفحه: ۲۶۲ تا ۲۷۲

### چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** این تحقیق به منظور بررسی و تأثیر کیفی رواناب‌های ورودی به آبخوان منطقه در راستای تأمین امنیت غذایی با توجه به توسعه کشاورزی و منابع طبیعی پایدار و بهره‌وری بهینه از منابع آبی انجام پذیرفت.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش از روش تعیین منابع آلوده کننده، نمونه‌برداری از آب‌های سطحی تغذیه کننده آبخوان و آب‌های زیرزمینی واقع در حریم منابع آلوده کننده با استفاده از استانداردهای FAO و WHO جهت کشاورزی، شرب و پهنه‌بندی آنها با نرم‌افزار ArcGIS و شاخص‌های کیفی رایج به مدت سه سال مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نمونه‌ها به صورت فصلی از ۱۶ حلقه چاه جهت تعیین غلظت عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلراید، سولفات، کربنات، بیکربنات، هدایت الکتریکی، اسیدیته، کل املاح جامد محلول، به منظور تعیین شاخص‌های کیفی سدیم قابل جذب، درصد سدیم محلول، باقیمانده کربنات سدیم، شاخص نفوذپذیری، سختی کل با توجه به استانداردهای ذکر شده مورد آنالیز و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج حاصله، مقادیر اسیدیته آبخوان بین ۶/۴ لغایت ۸/۴، سدیم قابل جذب کمتر از ۳، درصد سدیم کمتر از ۴۰ درصد و شاخص نفوذپذیری معادل ۰/۳۹۵ تا ۰/۶۸۹ درصد بودند. از نظر شرب، کلراید، سدیم، سولفات در حد نرمال و بدون محدودیت ولیکن سختی آب از حد نرمال بیشتر بود. از نظر آلودگی غلظت BOD<sub>5</sub> کلیه نمونه‌ها در طی زمان اجرای طرح از حد مجاز بیشتر و آب‌های زیرزمینی منطقه واقع در حریم پروژه تغذیه مصنوعی با توجه به استانداردهای آب شرب کاملاً آلوده بودند. غلظت عناصر سنگین آرسنیک، آلومینیم، کروم، کادمیم، سرب، منگنز، آهن، روی و مس اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند که از حد نرمال کمتر بودند.

**نتیجه‌گیری:** اجرای پروژه تغذیه مصنوعی تأثیر مثبت در تغذیه آبخوان منطقه داشته و آب آبخوان دشت سفید دشت - فرادنبه به منظور آبیاری اراضی زراعی منطقه مناسب و فاقد هر گونه محدودیتی می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** تغذیه مصنوعی، سفید دشت - فرادنبه، شاخص‌های کیفی، کاتیون‌ها و آنیون‌ها، کیفیت آب آبخوان

### مقدمه

از چالش‌های جهان امروز خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک، پیشی گرفتن رشد فزاینده تقاضای آب نسبت به عرضه آن می‌باشد (۷). این رشد غیر معقول معمولاً به دلیل عدم شکوفایی فرهنگ مصرف آب و عقب ماندگی بخش تحقیقات مصرف بهینه و پایدار آب در جوامع مختلف شکل می‌گیرد. این مسئله امروزه در مناطق فوق‌الذکر به دلیل عدم سازگاری با شرایط حادث شده، بصورت چالش‌های اقتصادی و اجتماعی ظهور و بروز می‌نمایند. نتیجه رشد فزاینده تقاضای مصرف آب، کاهش ذخایر منابع آبی و افزایش غلظت آلاینده‌ها، تولید مقادیر معتناهی پساب در بخش‌های مختلف (کشاورزی، صنعت- معدن و خانگی) می‌باشد، که در نهایت پساب‌های تولید شده همراه با رواناب‌های سطحی توسط آبراهه‌ها، رودخانه‌ها به محل‌ها و حوضه‌های دیگر منتقل و باعث بروز آلودگی‌هایی در مناطق مختلف می‌شوند. تنها آب‌های سطحی نیستند که در معرض آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی قرار گرفته‌اند. بلکه انتقال پساب‌های مختلف در زمین نیز باعث تقلیل و تغییر کیفیت منابع آبی آبخوان‌ها شده و گاه، منجر به افزایش غلظت فلزات سنگین-شونده‌ها و آلودگی‌های میکروبیولوژیکی می‌شوند (۱۰). بهره‌برداری بیش از توان آبخوان در دو دهه اخیر، کاهش کیفیت آب زیرزمینی را به همراه داشته است و حفاظت آبخوان‌ها از آلودگی امری ضروری است (۱۳). با کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، شوری آب افزایش می‌یابد (۹). تغذیه مصنوعی یکی از مؤثرترین روش‌ها در بهبود کمی و کیفی منابع آب تحت‌الارضی در مناطق خشک و نیمه خشک

می‌باشد (۱۸). پارامترهای مختلفی همانند (فاصله منابع آلوده کننده نسبت به منابع آب‌های زیرزمینی، افت تراز سطح آب زیرزمینی، زمان حرکت، شرایط مرزهای جریان و ظرفیت لایه‌های آیدار برای جذب و کاهش آلودگی‌ها) و نوع آلاینده‌ها در میزان آلودگی منابع آب زیرزمینی نقش دارند. که معمولاً این موارد در زمین به خصوصیات آبخوان نظیر هدایت هیدرولیکی، گرادیان هیدرولیکی، خلل و فرج زمین، ضخامت لایه غیر اشباع و اشباع در آبخوان، شدت و مدت زمان تغذیه و نوع کانی‌ها بستگی دارد. آلودگی آب‌های زیرزمینی خصوصاً در آبخوان‌های آزاد، به‌ویژه در مناطقی که ضخامت منطقه غیر اشباع کم باشد بسیار حائز اهمیت است. اما در آبخوان مورد مطالعه حداقل ضخامت لایه غیر اشباع حدود ۴۰ متر می‌باشد که با توجه به استانداردهای مختلف محدودیت خاصی ندارد (۳۰). محدودیت منابع آبی در مناطق خشک و نیمه خشک استفاده از تغذیه مصنوعی با استفاده از پساب تصفیه خانه فاضلاب را دو چندان نموده است. از طرفی نگرانی جامعه نسبت به کیفیت آب‌ها، می‌بایستی تغذیه مصنوعی با برنامه و محاسبه شده صورت گیرد. تا زمین بتواند به‌عنوان یک فیلتر عمل نماید تا آب‌های بازبافتی دارای کیفیت مطلوب برای مصارف موردنظر باشند (۱۲). عباسی و سعیدی با انتخاب هشت پارامتر Na, K, Ca, Mg, SO<sub>4</sub>, pH, Cl, TDS آب‌های زیرزمینی دشت قزوین را برای شرب و آبیاری مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و آب‌های زیرزمینی منطقه را برای شرب و آبیاری مناسب و خوب ارزیابی نمودند (۱). آب آبخوان دشت شهرکرد از نظر میانگین‌های EC, TDS, RSC, PI<sup>۵</sup> برای آبیاری مناسب

1- Total Dissolve Solids

2- Potential of Hydrogen (Hydrogen Power)

3- Electrical Conductivity

4- Residual sodium carbonate index

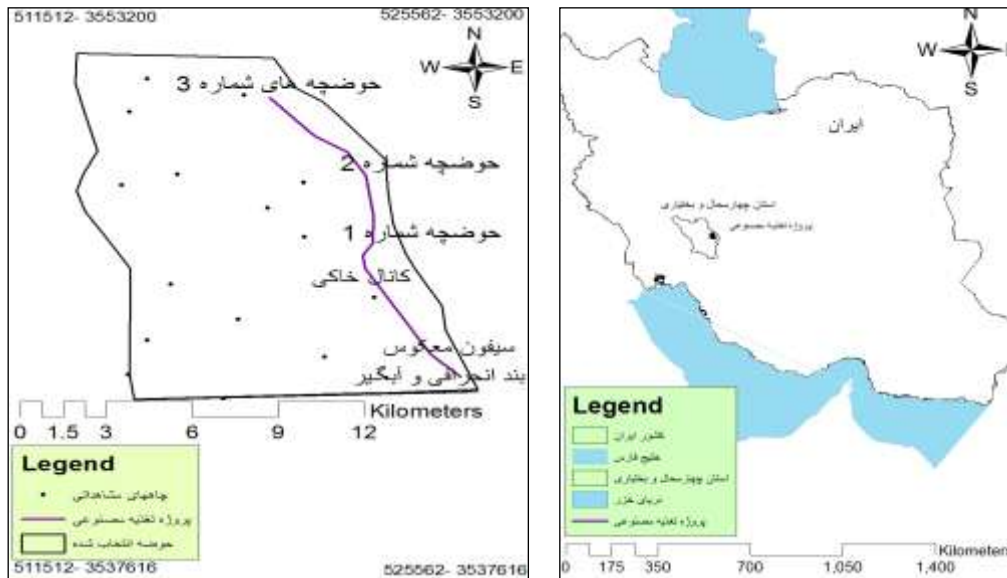
5- Permeability Index

باعث تاثیر سنگ کف و مواد معدنی منطقه بر کیفیت آب آبخوان خواهد شد (۲۵). در جنوب هند، منطقه نالگوندا محققین با اندازه گیری غلظت عناصر در محل و با دستگاه کروماتوگرافی نشان دادند، گر چه آبهای آبخوان منطقه دارای شوری بالا و قلیائیت کم هستند اما محاسبه شاخص‌های کیفی آب نظیر نسبت جذب سدیم، درصد سدیم، کربنات سدیم باقیمانده و شاخص نفوذپذیری آب آبخوان، بیانگر قابلیت استفاده برای کشاورزی می‌باشند (۲۳). پروژه تغذیه مصنوعی سفید دشت - فرادنبه یکی از پروژه‌های با راندمان مناسب می باشد که قادر است درصدی از رواناب‌ها، پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر بروجن، جریان خروجی قنات‌ها و چشمه‌های بالادست در حوضه، را در فصول غیر زراعی توسط کانال خاکی به استخرهای تغذیه کننده آبخوان منطقه هدایت نماید. لذا ضروری است تا تاثیر پساب‌ها بر کیفیت آب آبخوان منطقه (سفید دشت - فرادنبه) مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرند.

### مواد و روش‌ها

مقاله حاضر بر گرفته از طرح تحقیقاتی است که به مدت ۳ سال بر روی پروژه تغذیه مصنوعی سفید دشت - فرادنبه، در حد فاصل بروجن و سفید دشت، شهرستان بروجن، استان چهارمحال و بختیاری، واقع در عرض‌های ۰۰ ۳۲ تا ۱۵ ۳۲ شمالی و ۰۵ ۵۱ تا ۲۵ ۵۱ طول شرقی، اجرا گردید. ایستگاه سینوپتیک بروجن در مجاورت پروژه تغذیه مصنوعی با اقلیم نیمه خشک و سرد می‌باشد. متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۰/۶ درجه سانتیگراد، متوسط رطوبت نسبی سالانه ۳۸ درصد، میانگین بارش سالیانه ۲۴۳ میلی‌متر، حداقل دمای مطلق ۲۴/۶- درجه سانتیگراد، حداکثر دما ۳۴/۶ درجه سانتیگراد و تبخیر سالیانه ۲۰۸۷ میلی‌متر است. رسوبات آبرفتی این دشت شامل بادرفت‌ها، واریزه‌ها و پادگان‌های آبرفتی می‌باشد که تحت تاثیر فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی تولید شده و در مناطق پست حوضه انباشته شده‌اند. ضخامت آبرفت از ۲۵ تا ۱۱۰ متر متغیر است. قدیمی‌ترین سازندهای زمین شناسی مربوط به کرتاسه (دوران دوم زمین‌شناسی) و جدیدترین آنها آبرفت‌ها، بادرفت‌ها و واریزه‌ها و تراس‌های آبرفتی می‌باشد. پروژه تغذیه مصنوعی سفیددشت فرادنبه شامل سازه‌هایی همچون بند انحرافی، کانال سیمانی، سیفون معکوس انتقال آب، کانال خاکی و استخرهای تغذیه کننده شماره یک، دو و حوضچه های شماره سه است (شکل ۱).

و خوب ارزیابی شدند. ولی برای استفاده در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای به دلیل وجود و انحلال سازندهای آهکی با خطر گرفتگی مواجه خواهند شد (۱۶). اضافه برداشت از منابع زیرزمینی موجب کاهش سطح و کیفیت آب‌های زیرزمینی گردید و کیفیت آب‌های زیرزمینی تابع کیفیت منابع تغذیه کننده آبخوان است (۲۱). پارامترهای کیفی آب به‌منظور آبیاری شامل SAR, %Na, RSC از منابع آب روستای کاهو (استان خراسان رضوی) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که برای کشاورزی مناسب و قابل استفاده ارزیابی شدند (۲۰). در تزریق پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌بایست فاصله زمانی و مکانی حرکت فاضلاب (تزریق) در زمین تا رسیدن به آب‌های زیرزمینی طوری باشد که بهبود نسبی در کیفیت آنها حاصل گردد (۱۴). کیفیت آب‌های زیرزمینی به کیفیت منابع آبی تغذیه کننده، میزان بارش، لایه سطحی زمین و تشکیلات زمین شناسی منطقه بستگی دارد (۷،۴). تغذیه آبخوان‌ها با پساب‌های تصفیه شده موجب تقویت و پایداری سفره‌های آب زیرزمینی و بهبود مسائل زیست محیطی می‌گردد (۱۷،۵،۱۳). پروژه‌های تغذیه مصنوعی موجب بهبود کمی، کیفی و پایداری منابع آب‌های زیرزمینی در مناطق مستعد می‌شوند (۶،۵). اطلاعات در مورد کیفیت آب‌های زیرزمینی به مدیریت پایدار و استفاده بهینه از این منابع کمک می‌کند. غلظت عناصر شیمیایی شامل ( $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $SO_4^{-2}$ ), pH, EC,  $Na^+$  و سختی آب نقش مهمی در کیفیت آب‌های زیرزمینی دارند (۸). آب‌های زیرزمینی منطقه سالم تامیل‌نادر، هند دارای اسیدیته متعادل و هدایت الکتریکی و کل املاح جامد محلول بالاتر از حد مجاز بودند و آب‌های زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های کیفی SAR, RSC, PI, %Na با توجه به دبی و نوع پساب حاصله در محدوده بحرانی قرار داشتند که با انجام تمهیدات خاصی برای مصارف تعیین شده بلامانع بودند (۲۸،۲۶). ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت اشنویه آذربایجان غربی با استفاده از شاخص‌های شیمیایی نظیر SAR, RSC, EC, pH, PI,  $Na^+$  SI, برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب و بدون محدودیت بودند (۲). به‌منظور تعیین منابع آبی با کیفیت مناسب جهت شرب و کشاورزی در جنوب لاتیوم واقع در مرکز ایتالیا محققین با تعیین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در منابع آبی مختلف و آنالیز شاخص‌های کیفی (نسبت جذب سدیم، خطر منیزیم، درصد سدیم، شاخص نفوذپذیری) دریافتند که چنانچه عمق آب آبخوان زیاد کاهش پیدا نکند، آب آبخوان مشکلی برای اهداف موردنظر ندارد. کاهش عمق



شکل ۱- موقعیت پروژه تغذیه مصنوعی و محل‌های نمونه‌برداری جهت تعیین کیفیت آب آبخوان  
Figure 1. Location of artificial recharge Project and sampling for determine aquifer water quality

سختی کل

$$TH \left( \frac{mg}{l} \right) \text{ of } (CaCa_2) = (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \times (50)$$

کلیه واحدهای کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر حسب میلی‌اکیوانت در لیتر می‌باشند

$$EC(25) = [EC - 0.02(t - 25)EC]$$

t: دمای آب در زمان آزمایش

EC: هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در دمای t درجه سانتی‌گراد

SI<sup>2</sup>: شاخص اشباع (۷)

$$SI = 8.4 - pH_c$$

$$pH_c = (pK_2 - pK_c) + p(Ca + Mg) + p(CO_3 + HCO_3)$$

به‌منظور تعیین تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از استانداردهای WHO<sup>3</sup> برای آبیاری و FAO<sup>3</sup> برای شرب، تجزیه و تحلیل انجام پذیرفت. کلیه داده‌ها اعم از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه مسیر پروژه تغذیه مصنوعی و غلظت عناصر شیمیایی به نرم‌افزار ArcGIS<sup>10.2</sup> داده شد که ضمن ایجاد لایه‌های مختلف، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند و تعداد کلاس‌های ایجاد شده با توجه به استانداردهای مورد استفاده می‌باشند. همچنین از نرم‌افزار Surfer، AQQA (جهت درون‌یابی و اینترپولاسیون) و تجزیه و تحلیل کیفی رفتار سفره آب زیرزمینی و برای محاسبه ضرایب و ماتریس همبستگی از نرم‌افزار SPSS استفاده شده است.

### نتایج و بحث

به‌طور کلی کیفیت آب‌های زیرزمینی به وضعیت و مقدار منابع آبی تغذیه کننده، ارتفاع بارش سالیانه و مقدار برداشت، لایه سطحی زمین، ضخامت آبرفت و تشکیلات زمین‌شناسی منطقه بستگی دارد. دشت سفید دشت، فرادنبه از تشکیلات آبرفتی تشکیل شده است. همچنین کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه به‌شدت تحت تأثیر پساب‌های ناشی از فعالیت

این سیستم قادر است در فصول غیر زراعی، درصدی از پساب‌ها و رواناب‌های حاصله را که وارد رودخانه بروجن، کیار، بهشت‌آباد و در نهایت به رودخانه کارون بزرگ می‌ریزند را کنترل و به داخل حوضچه‌های تغذیه کننده هدایت و ذخیره نماید. در هر فصل از شانزده حلقه چاه انتخاب شده واقع در زیردست پروژه تغذیه مصنوعی، یک نمونه آب (چاه‌های در حال پمپاژ و مدتی بعد از شروع پمپاژ) اخذ گردید. تجزیه این نمونه معرف کیفیت متوسط آب در ناحیه اطراف آن چاه در عمقی است که لوله‌های مشبک نصب شده‌اند. نمونه‌برداری‌های این طرح در هر فصل یک مرتبه و چهار مرتبه در سال انجام پذیرفت. همچنین از جریان ورودی به پروژه تغذیه مصنوعی، پساب خروجی تصفیه خانه فاضلاب بروجن و جریان رودخانه قبل از تصفیه خانه، در صورت وجود جریان، یک نمونه جهت ارسال به آزمایشگاه و تجزیه کامل عناصر شیمیایی  $Mn^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $BOD_5$ , AS, Cd, Al, Cr,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ , EC, pH, Fe, Cu, Zn, Pb, و ارسال گردید. به‌منظور تجزیه و تحلیل کیفی آب و مقایسه با استانداردهای موجود از شاخص‌ها و پارامترهای SI, SAR, %Na, RSC, TH<sup>1</sup>, PI, با استفاده از معادلات ذیل مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (24)$$

درصد سدیم محلول (۲۲، ۲۹)

$$\%Na = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+}$$

باقیمانده کربنات سدیم

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

شاخص نفوذپذیری (۱۱)

$$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100$$

1- Total Hardness

2- Saturation Index

3- Food and Agriculture Organization of the United Nations

4- World Health Organization

شیمیایی آب آبخوان طی سال‌های اجرای پروژه در منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است. معمولاً نقاطی که نسبت به پروژه تغذیه مصنوعی (کانال خاکی انتقال آب و حوضچه‌های ذخیره آب) دارای فاصله کمتری بوده‌اند از غلظت بالاتری برخوردار هستند.

بخش‌های (کشاورزی، صنعتی و خانگی) در منطقه می‌باشند. از طرفی آهکی بودن تشکیلات منطقه غلظت تعدادی از نمک‌ها را تشدید نموده و به سختی آب افزوده است. **شاخص‌های کیفی برای آب آبیاری** نتایج حاصل از محدوده تغییرات پارامترهای فیزیکی و

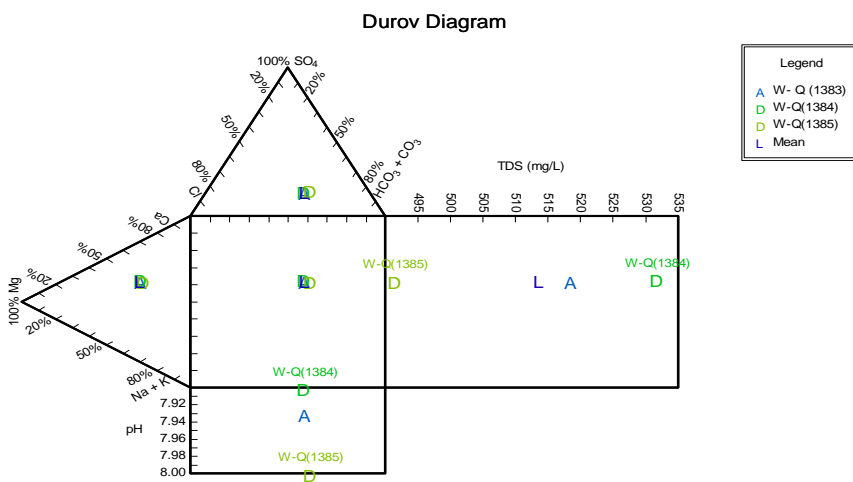
جدول ۱- پارامترهای فیزیکی، شیمیایی آب آبخوان دشت سفید دشت - فرادنبه

Table 1. Water quality standards for irrigation water

پارامتر (میلی‌گرم در لیتر)								سال
SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	K	Na	Mg	Ca	EC	pH
۵۸/۲	۲۳۶/۸	۸۵/۴	۱/۱۲	۳۹/۳	۲۵/۸	۷۲/۲	۵۰۳/۸	۷/۹
۶/۳	۱۷۶/۰	۷/۰	۰/۶۸	۵/۷	۱۳/۳	۴۲/۰	۲۸۳/۴	۷/۷
۹۱/۲	۳۳۹/۰	۲۵۹	۱/۵۶	۷۸/۴	۴۴/۴	۱۱۲/۰	۸۰۱/۳	۸/۳
۶۳/۹	۲۴۰/۵	۹۰/۸	۱/۰۲	۳۷/۲	۲۶/۰	۷۲/۵	۵۰۸/۵	۷/۹
۱۲/۱	۱۸۸/۰	۷/۶	۰/۴۳	۴/۰	۱۴/۴	۴۹/۹	۲۱۳/۵	۷/۵
۸۹/۳	۳۱۴/۰	۲۶۸	۱/۶۸	۶۷/۱	۴۶/۸	۱۰۸	۷۸۱/۲	۸/۷
۶۰/۳	۲۲۸/۴	۷۱/۸	۱/۰۳	۳۸/۳	۲۳/۳	۶۸/۵	۵۳۲/۶	۸/۰
۴/۸	۱۷۲/۰	۷/۰	۰/۳۹	۴/۶	۱۴/۰	۴۴/۰	۲۷۷/۳	۷/۶
۸۶/۴	۳۳۳/۰	۱۹۲	۱/۵۶	۶۴/۴	۳۸/۴	۱۰۰	۷۶۸/۵	۸/۲

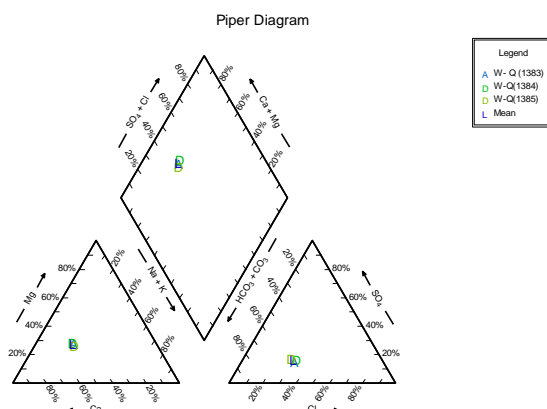
تعیین نوع و منشأ آب‌ها ترسیم شده است. تیپ آب‌های زیرزمینی منطقه از نوع کلسیم- منیزیم می‌باشند و مستطیل سمت راست بیانگر وجود مقادیر زیاد املاح جامد محلول آب (TDS) می‌باشند (۲۶).

شکل ۲ نمودار دروو بر پایه مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های مده آب (بر حسب درصد) می‌باشند که به میلی‌اکی والان نمودار دروو (شکل ۲) نشان‌دهنده مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های آب بر حسب درصد می‌باشند که به میلی‌گرم در لیتر به‌منظور



شکل ۲- نمودار دروو برای کاتیون‌ها و آنیون‌ها  
Figure 2. Durov diagram for cations and anions

از نمودار پایپر معمولاً در تعیین تیپ و رخساره هیدروشیمی آب‌ها استفاده می‌شود. قرار گرفتن نتایج نمونه‌ها در یک منطقه نشان‌دهنده تیپ کلسیم - منیزیم آب‌ها است (شکل ۳).



شکل ۳- نمودار پایپر  
Figure 3. piper diagram

الکتریکی، سدیم قابل جذب، درصد سدیم، نسبت شاخص نفوذ و باقیمانده کربنات سدیم ارائه شده است.

جدول ۲ با توجه به استانداردهای موجود برای گروه‌های مختلف در رابطه با اندازه‌گیری و محاسبه اسیدیته، هدایت

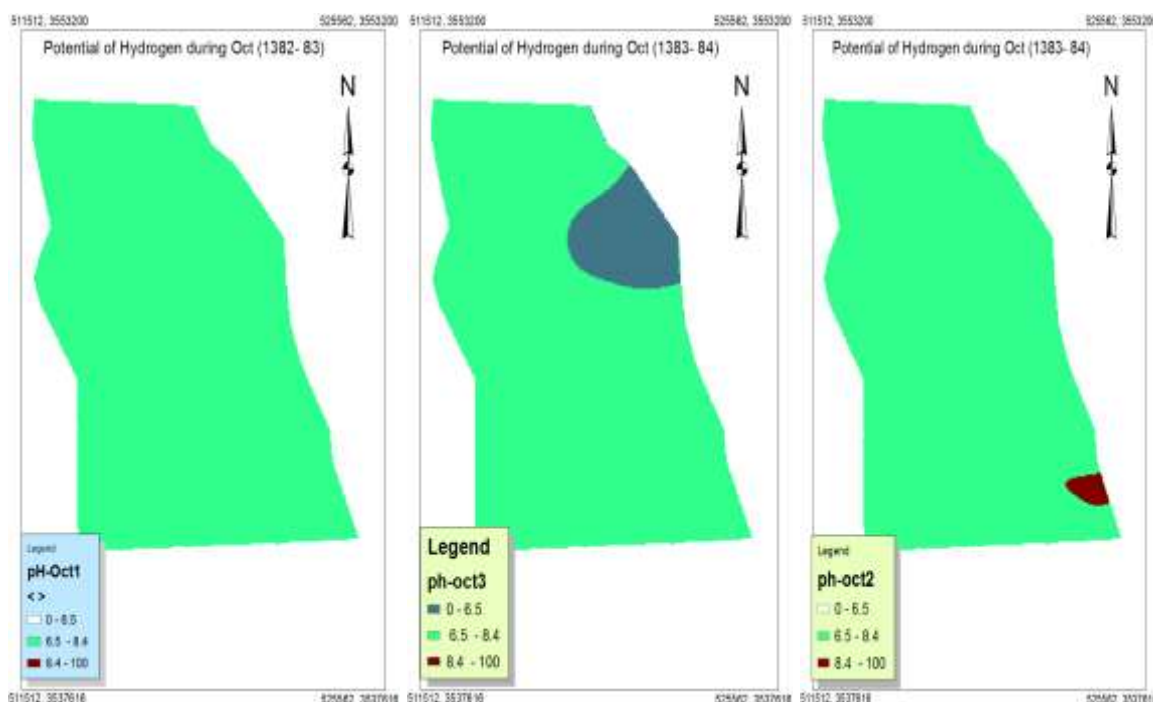
جدول ۲- استانداردهای مختلف کیفیت آب برای آب آبیاری

Table 2. Water quality standards for irrigation water

Parameter	Classes	Standard	Water Classes
pH	کمتر از ۶/۵	FAO	Acidic
	۶/۵ - ۸/۴		Normal range
	بیشتر از ۸/۴		Alkaline
EC (ppm)	کمتر از ۴۶۹	FAO	None
	۴۶۹ - ۲۰۱۰		moderate
	بیشتر از ۲۰۱۰		Severe
SAR (meq/l)	۰ - ۳	FAO	Low
	۳ - ۹		Moderate
	بیشتر از ۹		Severe
%Na	کمتر از ۲۰	Scofield	Excellent
	۲۰ - ۴۰		Good
	۴۰ - ۶۰		Permissible
PI (%)	۶۰ - ۸۰	Doneen	Doubtful
	بیشتر از ۸۰		Unsuitable
	کمتر از ۲۵		Suitable
RSC (meq/l)	۲۵ - ۷۵	US Salinity Laboratory	Good
	بیشتر از ۷۵		Unsuitable
	کمتر از ۱/۲۵		Safe
RSC (meq/l)	۱/۲۵ - ۲/۵	US Salinity Laboratory	Marginal
	بیشتر از ۲/۵		Unsuitable

بروجن، قدری از حد نرمال فراتر رفته است که آن هم ناشی از پساب خروجی از تصفیه خانه و پساب‌های ناشی از کارخانجات و کارگاه‌های صنعتی می‌باشد (کلیه درون‌یابی‌ها از روش Kriging استفاده شده است). نتایج ارائه شده در جدول (۱) نیز بیانگر حداقل مقدار اندازه‌گیری شده ۷/۵ در سال دوم و مجدداً حداکثر آن نیز در همان سال و برابر ۸/۷ که دارای میانگینی برابر ۷/۹۴ حاصل شده است.

**اسیدیته (pH):** اسیدیته آب تابع دما و مواد محلول در آب است که در آب آبخوان به دلیل ثابت بودن دمای آب و زمین عمدتاً تابع مواد محلول در آب است. مقادیر اسیدیته اندازه‌گیری شده گویای آنست که بیشترین دامنه اندازه‌گیری شده در منطقه، بین ۶/۴ و ۸/۴ (کلاس ۲) و در دامنه نرمال می‌باشد (شکل ۴) و تنها قسمت کوچکی از منطقه، نزدیک حوضچه شماره یک و خروجی تصفیه خانه فاضلاب شهری



شکل ۴- مقادیر اسیدیته طی سال‌های اجرای طرح (۸۵-۱۳۸۲) در منطقه مورد مطالعه

Figure 4. PH (acidity) values of groundwater in the study area for before and after project implementation

فراهم نماید. از طرف دیگر خاک منطقه ضمن سفت شدن نفوذپذیری آن کاهش یافته و تغذیه سفره‌های زیرزمینی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. مقادیر برآوردی نسبت جذب سدیم ارائه شده در جدول (۳) متوسط، حداقل و حداکثر در سال اول ۰/۹۹۶، ۰/۱۶۶ و ۱/۸۵ در سال دوم ۰/۹۳۷، ۰/۱۱۲ و ۱/۶۱ و در سال سوم اجرای پروژه ۰/۱۳۶، ۰/۱۶۷ می‌باشند. مقادیر محاسبه شده سدیم قابل جذب در منطقه از حد ۳ کمتر بوده و در کلاس اول از استاندارد FAO قرار دارند.

**درصد سدیم (%Na):** تجزیه و تحلیل انجام شده گویای آن است که درصد سدیم محلول محاسبه شده از حد ۴۰ درصد کمتر بوده و هیچگونه محدودیتی برای آب آبیاری ایجاد نمی‌کند. نتایج ارائه شده در جدول (۳) حداقل مقدار محاسبه شده برای این شاخص ۵/۵ و حداکثر آن ۴۰/۲ درصد است. مقدار متوسط کل نمونه‌ها در سه سال اجرای طرح معادل ۲۷/۹ درصد ارائه شده است.

**شاخص نفوذپذیری (PI):** تغییرات شاخص نفوذپذیری در منطقه بین ۰/۳۹۵ تا ۰/۶۸۹ درصد است. به‌گونه‌ای که در بهار ۰/۳۹۵ تا ۰/۶۸۹ و در تابستان ۰/۴۱ تا ۰/۵۹۲ و پاییز ۰/۳۹۸ تا ۰/۶۲۵ و زمستان ۰/۳۹۵ تا ۰/۵۹۷ متغیر است و با توجه به استاندارد Doneen دارای دامنه تغییرات خوب است. و در جدول (۳) مقادیر محاسبه شده به مراتب از ۴۹/۴ درصد کمتر هستند و برای کشاورزی دارای کیفیت مناسب هستند.

**هدایت الکتریکی (EC):** هدایت الکتریکی رابطه مستقیمی با نمک‌های محلول در آب دارد و با افزایش میزان املاح محلول در آب، قابلیت هدایت الکتریکی آب افزایش می‌یابد و دما نیز بر میزان هدایت الکتریکی آب مؤثر است، که استاندارد مربوط به اندازه‌گیری‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. چنانچه دما در زمان آزمایش کمتر یا بیشتر بود، می‌بایستی اصلاحات لازم انجام پذیرد. هدایت الکتریکی با افزایش هر درجه سانتی‌گراد دو درصد افزایش می‌یابد. با افزایش هدایت الکتریکی حالت خوردگی آب در مجاری انتقال و اتصالات و ... افزایش می‌یابد و درجه یونیزاسیون نمک‌های موجود در آب کاهش می‌یابد. هدایت الکتریکی در منطقه نیز از روند تغییرات اسیدیته تبعیت نموده و قسمت زیادی از دشت در کلاس دو قرار گرفته است و مساحت کمی در گروه اول می‌باشد. نتایج ارائه شده در جدول (۱) غلظت هدایت الکتریکی متوسط، حداقل و حداکثر آن را در سال اول ۵۰۳/۸، ۲۸۳/۴ و ۸۰۱/۱ پی پی ام و در سال دوم ۵۰۸/۵، ۳۱۳/۵ و ۷۸۱/۲ و در سال آخر اجرای پروژه ۵۳۲/۶، ۲۷۷/۴ و ۷۶۸/۵ پی پی ام نشان می‌دهد.

**نسبت سدیم قابل جذب (SAR):** این نسبت نشان‌دهنده مقدار یون‌های سدیم در آب است. با افزایش یون سدیم و ورود آن به خاک باعث شده تا ریشه به‌جای جذب کلسیم و منیزیم از یون سدیم استفاده کند و عامل مسمومیت گیاه را

جدول ۳- شاخص‌های کیفی آب آبخوان منطقه

شاخص‌های کیفی آب							سال
RSC	Gibbs	TH	PI	Na%	SAR	TDS	
۱۳۸/۵	۰/۳۶	۲۸۹/۵	۳۸/۹	۲۸/۰	۰/۹۹	۵۰۸/۴	میانگین
۷۳/۸	-۰/۹۲	۱۸۰/۰	۲۷/۳	۸/۲	۰/۱۷	۳۱۱/۳	حداقل
۲۰۷	۰/۷۴	۴۶۵/۰	۴۹/۱	۴۰/۲	۱/۸۵	۷۸۱/۲	حداکثر
۱۴۱/۳	۰/۴۷	۳۹۲/۶	۳۷/۸	۲۶/۸	۰/۹۴	۵۰۹/۷	میانگین
۸۳/۵	-۰/۲۷	۲۱۵/۰	۲۳/۹	۵/۴	۰/۱۱	۳۱۲/۲	حداقل
۱۹۴	۰/۸۳	۴۳۰/۰	۴۶/۵	۳۷/۹	۱/۶۱	۷۸۳/۵	حداکثر
۱۳۶	۰/۳۷	۲۷۰/۴	۴۰/۳	۲۹/۱	۱/۰۰	۵۳۳/۶	میانگین
۷۳/۲	-۰/۲۳	۱۹۵/۰	۲۷/۳	۶/۷	۰/۱۴	۲۷۷/۴	حداقل
۲۰۷	۰/۷۱	۴۱۰/۰	۴۹/۴	۳۹/۷	۱/۶۷	۷۶۸/۴	حداکثر

### شاخص‌های کیفی برای آب آشامیدن

محدوده غلظت عناصر شیمیایی در آب حائز اهمیت هستند. چنانچه غلظت عناصر از مقدار معینی بیشتر گردند ایجاد مسمومیت می‌نمایند (۱۹). که این قضیه به مدت زمان استفاده انسان و غلظت عناصر و حساسیت افراد متفاوت است. غلظت عناصر موجود در آب مصرفی، تابع شرایط و وضعیت فرهنگی، اجتماعی و محیطی در مناطق مختلف است، اگر در حد مطلوب باشند آن آب گوارتر است. برای تعیین کیفیت آب شرب با استفاده از استانداردهای WHO جدول (۴) پارامترهای سختی آب، کلراید، سدیم و سولفات، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

**باقیمانده کربنات سدیم (RSC):** مقادیر باقیمانده کربنات سدیم محاسبه شده برای کل منطقه در محدوده کلاس ۱ قرار دارند، که محدودیتی از نظر کلیاتیت برای استفاده در فعالیت‌های کشاورزی ندارند (جدول ۲ و ۳).

**شاخص اشباع (SI):** این شاخص بیانگر میزان رسوب کربنات در ارتباط با درجه اشباع محلول از کربنات کلسیم است. عدد ۸/۴ اسیدیته خاک شور غیر سدیک در حالت تعادل با کربنات کلسیم بوه که بیانگر تمایل کربنات کلسیم به رسوب کردن یا حل شدن است، چنانچه شاخص اشباع مثبت باشد بیانگر ترسیب کربنات کلسیم در آب خواهد بود اما اگر منفی باشد آب آن را در خود حل می‌نماید.

جدول ۴- استانداردهای WHO کیفیت آب جهت شرب (۲۹)

Parameter	Classes	Standard	Water Classes
Water hardness (mg/l)	کمتر از ۶۰	WHO	آبهای سبک (Soft)
	۶۰-۱۲۰		با سختی متوسط (Medium hard)
	۱۲۰-۱۸۰		آبهای سخت (Hard)
	بیشتر از ۱۸۰		خیلی سخت (Very hard)
Cl (mg/l)	کمتر از ۲۵۰	WHO	آبهای خوب (Suitable)
Na (mg/l)	کمتر از ۲۰۰	WHO	مناسب (Suitable)
SO <sub>4</sub> (mg/l)	بیشتر از ۵۰۰	WHO	مناسب (Suitable)

استاندارد WHO در کلاس (۱) و کمتر از ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر است که برای شرب مناسب می‌باشند.

**سدیم (Na):** سدیم در طبیعت بیشتر به صورت کلرید سدیم یا همان نمک طعام وجود دارد و بدن انسان به‌منظور برقراری تعادل مایعی بدن، حفظ سیستم عصبی و عضلانی به آن نیازمند است. چنانچه میزان سدیم از حد مشخصی فراتر رود باعث آسیب به کلیه‌ها و افزایش فشار خون خواهد شد. غلظت سدیم طی سال‌های اجرای طرح مورد بررسی قرار گرفت که در تمام موارد میزان غلظت سدیم از ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کمتر بود و هیچگونه محدودیتی برای شرب با توجه به استاندارد WHO وجود نداشت.

**سولفات (SO<sub>4</sub>):** سولفات‌ها جزء یون‌های خورنده (فرسایش‌پذیر) هستند. سولفات‌های سدیم و پتاسیم باعث افزایش سختی دائمی آب می‌گردند. اما وجود سولفات‌ها در آب باعث ایجاد طعم در آب می‌شود چنانچه غلظت سولفات منیزیم در آبی افزایش یابد آن آب مزه تلخ و گس مانند

**سختی آب (TH):** در استاندارد ایران (شماره ۱۰۵۳) رنج مجاز سختی آب ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ثبت شده است. آب‌های سخت در مناطقی ایجاد می‌شوند که لایه خاک سطحی ضخیم بوده و تشکیلات زمین نیز آهکی و از سنگ آهک تشکیل شده باشند. آب‌های سخت باعث انسداد لوله‌های آبرسانی در اثر رسوبات می‌شوند و اثر نامطلوبی در سلامت انسان‌ها ندارند. غلظت سختی آب در آبخوان بنا بر دلایل مختلفی همانند آهکی بودن تشکیلات زمین‌شناسی منطقه و پساب‌ها و رواناب‌های حاصله نیاز به پیش‌بینی تمهیدات خاصی دارد.

**کلراید (Cl):** مزه شوری آب به ترکیبات شیمیایی آن بستگی دارد. اگر سدیم کاتیون غالب باشد، شوری در آب‌هایی با غلظت کلر ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر حس می‌گردد. چنانچه برتری با کلسیم و منیزیم باشد، ممکن است تا غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر (یون کلر) شوری آب مشهود نگردد (۱۹). میزان غلظت کلراید در آب‌های زیرزمینی منطقه با استفاده از

حداقل  $-0/26$  و حداکثر آن  $0/80$  بین کلرید و هدایت الکتریکی است که در سطح ۱ درصد دارای اختلاف معنی داری است. ارتباط بین سدیم و کلسیم، سدیم با کلرید، پتاسیم با هدایت الکتریکی، سدیم با هدایت الکتریکی، کلسیم با کلرید، کلرید با هدایت الکتریکی و هدایت الکتریکی با کاتیون‌ها و آنیون‌ها در سطح ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند. پتاسیم با سولفات، منیزیم با بیکربنات، کلرید با کاتیون‌ها تنها در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌داری هستند.

خواهد داشت. غلظت سولفات بر اساس اندازه‌گیری به عمل آمده و محاسبات صورت پذیرفته شده طی سه سال اجرای طرح از حد  $500$  میلی‌گرم در لیتر کمتر می‌باشد و جزء کلاس (۱) می‌باشند و برای شرب هیچگونه محدودیتی ایجاد نمی‌نماید.

جدول ۵ محاسبه ضرایب همبستگی بین پارامترهای مختلف اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS نشان‌دهنده آن است که محدوده تغییرات کاتیون‌ها از  $-0/192$  لغایت  $0/887$  و بیشترین ارتباط بین کلسیم و هدایت الکتریکی و سدیم و کلرید در سطح  $0/84$  می‌باشد. اما در بین آنیون‌ها

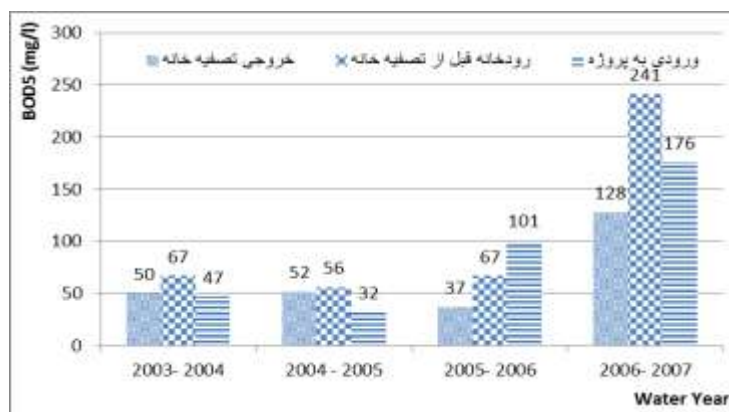
جدول ۵- ضرایب همبستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده کیفی آب آبخوان منطقه

Table 5. Pearson Correlation matrix for water samples (n= 23)

	Na	K	Ca	Mg	So4	Cl	Hco3	EC	Cations	Anions
Na	۱/۰									
K	$-0/28$	۱/۰								
Ca	$-0/63^{**}$	$-0/05$	۱/۰							
Mg	$-0/098$	$-0/025$	$-0/28$	۱/۰						
So4	$-0/32$	$-0/52^*$	$-0/28$	$-0/079$	۱/۰					
Cl	$-0/84^{**}$	$-0/044$	$-0/69^{**}$	$-0/34$	$-0/01$	۱/۰				
Hco3	$-0/27$	$-0/192$	$-0/325$	$-0/467^*$	$-0/06$	$-0/26$	۱/۰			
EC	$-0/76^{**}$	$-0/041^{**}$	$-0/887$	$-0/361$	$-0/182$	$-0/80^{**}$	$-0/235$	۱/۰		
Cations	$-0/86^{**}$	$-0/169$	$-0/90^{**}$	$-0/447$	$-0/314$	$-0/84^*$	$-0/117$	$-0/923^{**}$	۱/۰	
Anions	$-0/74^{**}$	$-0/84^{**}$	$-0/92$	$-0/515^*$	$-0/244$	$-0/803^*$	$-0/29$	$-0/94^{**}$	$-0/96^{**}$	۱/۰

پساب خروجی تصفیه خانه بیشتر از آلودگی جریان رودخانه بروجن می‌باشد که یکی از دلایل آن ورود پساب کارگاه‌ها و کارخانجات صنعتی به رودخانه می‌باشد. مقادیر  $BOD_5$  اندازه‌گیری شده در محدوده زبردست پروژه تغذیه مصنوعی در آذر ۸۵ بیانگر آلودگی آب‌های زیرزمینی در مدت زمان اجرای پروژه در حریم شعاع تأثیر پروژه تغذیه مصنوعی می‌باشند. دلایل این قضیه نیاز به بررسی و مطالعه بیشتری دارد.

$BOD_5$  مربوط به سه محل (خروجی پساب تصفیه خانه فاضلاب شهر بروجن، جریان رودخانه قبل از تصفیه خانه فاضلاب شهر بروجن و ورودی به پروژه تغذیه مصنوعی بعد از تلاقی جریان‌های فوق‌الذکر) ارائه شده است (شکل ۶). نتایج گویای آن است که آلودگی جریان آب در رودخانه بروجن قبل از تصفیه خانه فاضلاب شهر معمولاً بیشتر از پساب خروجی از تصفیه خانه فاضلاب شهر می‌باشد. تنها در یک مورد آلودگی



شکل ۶- تغییرات  $BOD_5$  طی سال‌های اجرای پروژه  
Figure 6. Fluctuation of  $BOD_5$  duration 2003 to 2006 years

**آرسنیک (As):** غلظت آرسنیک در پساب خروجی از تصفیه خانه بروجن و جریان رواناب رودخانه بروجن قبل از تصفیه خانه فاضلاب بروجن و ورودی به پروژه تغذیه مصنوعی طی مدت زمان اجرای طرح اندازه‌گیری شد. مقدار این عنصر خطرناک از حداکثر مجاز آن برای شرب یعنی  $0/05$  میلی‌گرم

**عناصر سنگین:** عناصر کم مصرف (عناصر سنگین) در تعیین کیفیت آب کشاورزی در منطقه نقش مهم و حساسی ندارند. زیرا هنگام نفوذ آب در خاک این عناصر رسوب کرده یا جذب ذرات خاک می‌گردند و فعالیت خود را از دست می‌دهند ولیکن باز توصیه به انجام تحقیقات بیشتری می‌گردد (۳).

خانه فاضلاب شهر بروجن و گاهاً پساب شهرک صنعتی بروجن، پساب‌های کشاورزی و فعالیت‌های روزمره انسانی در منطقه با رواناب‌های ایجاد شده در کیفیت منابع آبی منطقه مؤثر هستند. پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی بیانگر آن است که اسیدیته آبخوان در بین ۶/۴ لغایت ۸/۴ و در کلاس ۲، در رنج تغییرات نرمال قرار داشت، پهنه‌بندی هدایت الکتریکی نیز همانند اسیدیته بوده و قسمت اعظم دشت در کلاس ۲ و قسمت کمی نیز در کلاس ۱ قرار داشت. درصد سدیم محاسبه شده از ۴۰ درصد کمتر بود یعنی هیچگونه محدودیتی برای آب آبیاری در بر ندارد. شاخص نفوذپذیری برای فصول مختلف سال و سال‌های اجرای طرح پهنه‌بندی شد و با استفاده از استاندارد Doneen آب‌های زیرزمینی دارای محدودیتی نبودند. در مجموع آنالیزهای انجام شده برای آب‌های زیرزمینی با استفاده از استاندارد FAO جهت آب آبیاری مناسب بوده و دارای هیچگونه محدودیتی نمی‌باشند. تجزیه و تحلیل دیگری روی نمونه‌های اخذ شده از آب تحت الارضی با استفاده از استاندارد WHO برای آب مورد نیاز شرب انجام پذیرفت که هیچگونه محدودیتی مشاهده نشد. تنها بالا بودن سختی آب نکته منفی این منابع آبی است که آنهم با جوشاندن آب و یا از طرق شیمیایی با افزودن مواد شیمیایی معمولاً برطرف می‌گردد. پس از اندازه‌گیری غلظت BOD<sub>5</sub> نتایج بیانگر آلودگی آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه است. همچنین عناصر سنگین شامل آرسنیک، آلومینیم، کروم، کادمیم، سرب، روی، مس و آهن در سه محل (خروجی تصفیه خانه فاضلاب بروجن، رواناب رودخانه بروجن در قبل از تصفیه خانه فاضلاب بروجن و ورودی پروژه تغذیه مصنوعی) طی سال‌های اجرای طرح اندازه‌گیری شدند. غلظت عناصر آرسنیک، کادمیم و آلومینیم در کلیه نمونه‌های اندازه‌گیری شده از حد مجاز آنها بیشتر بود. ولیکن غلظت عناصر سنگین در آب‌های زیرزمینی از حد مجاز آنها کمتر و نزدیک صفر بود.

در لیتر بیشتر بود، ولی در آب‌های زیرزمینی مشاهده نگردید. **آلومینیم (Al):** حداکثر مجاز مقدار آلومینیم ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر است که در کلیه اندازه‌گیری‌های انجام شده از سه محل فوق‌الذکر مقدار آلومینیم بیشتر می‌باشد. حتی میزان آن تا ۹/۰۱ میلی‌گرم در لیتر نیز اندازه‌گیری شده است، اما در آب‌های زیرزمینی غلظت آن از حد مجاز پایین‌تر بود.

**کروم (Cr):** مقدار مجاز کروم ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر است که در هیچکدام از نمونه‌ها مقدار کروم مشاهده نشده است.

**کادمیم (Cd):** حداکثر مقدار مجاز کادمیم ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر است که مقادیر اندازه‌گیری شده در جریان‌های سطحی فوق‌الذکر بیشتر از حد مجاز می‌باشد. غلظت این عنصر در آب‌های زیرزمینی صفر بود.

**سرب (Pb):** حداکثر مقدار مجاز غلظت سرب در آب شرب برابر ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر است. که خوشبختانه غلظت سرب در نمونه‌های اندازه‌گیری شده از حد مجاز آن کمتر بوده است.

**منگنز (Mn):** غلظت حداکثر مجاز منگنز ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که در کلیه نمونه‌های اندازه‌گیری شده مقدار آن از حد مجاز کمتر می‌باشد.

**آهن، روی و مس (Fe, Cu, Zn):** مقدار مجاز غلظت روی ۳ میلی‌گرم در لیتر، مس ۱ میلی‌گرم در لیتر و آهن ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر است، مقادیر اندازه‌گیری شده همگی کمتر از مقدار مجاز بودند.

### نتیجه‌گیری کلی

افزایش تقاضای مصرف آب به دلیل رشد جمعیت و تنوع فعالیت‌های انسانی، کاهش میزان بارش، تبدیل درصدی از بارش برف به باران، پراکنش نامناسب بارندگی، توسعه فعالیت‌ها و ایجاد رقابت در مصرف آب بین بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب از عوامل بیابان منفی دشت می‌باشند. در زمان اجرای پروژه، بخش‌های کشاورزی ۸۲/۳، صنعت ۹/۴ و شرب ۸/۳ درصد از کل مصرف آب در منطقه را به خود اختصاص داده‌اند (۲). همراهی پساب خروجی تصفیه

### منابع

1. Abbasi, A. and M. Saeidi. 2012. Development of groundwater quality index in Qazvin province. *Environmental Science*, 8(3): 117-128 (In Persian).
2. Aghazadeh, N. and A. Asghari Mogaddam. 2010. Assessment of Groundwater Quality and its Suitability for Drinking and Agricultural Uses in the Oshnavieh Area, Northwest of Iran. *Journal of Environmental Protection*, 1: 30-40.
3. Ahmadi, M.M., H. Mahdavi and B. Bakhtiari. 2017. Multi-criteria analysis of site selection for groundwater recharge with treated municipal wastewater. *Water Science & Technology*, 76(3-4): 909-919.
4. Alimohammadi, R., M. Khanna, R. Singh, N. Sahoo and D.K. Singh. 2011. Modeling of Groundwater Quantity and Quality for developing Water Management Plan. Doctor of Philosophy in Water Science and technology, IARI, New Delhi, India.
5. Alsalihi, T.M., Y. Kishawi and Z. Abunada. 2017. Evaluating impacts of recharging partially treated wastewater on groundwater aquifer in semi-arid region by integration of monitoring program and GIS technique. *Environmental Science and Pollution Research International*, 24(15): 13674-13686.
6. Arya, S., T. Subramani and D. Karunanidhi. 2020. Delineation of groundwater potential zones and recommendation of artificial recharge structures for augmentation of groundwater resources in Vattamalaikarai Basin, South India. *Environment Earth Sciences*, 79(102): 1-13.
7. Alizadeh, A. 2007. Water quality in Irrigation. *Astan Quds Razavi*, 93 pp (In Persian).
8. Babiker, I.S.M., A.A. Mohamed and T. Hiyama. 2007. Assessing groundwater quality using GIS. *Water Resources Management*, 21: 699-715.

9. Dadresi, S.A. 2006. Fluctuation of groundwater resources quantity and quality and evaluation of that role in land degradation. First regional conference on utilization of water resources and catchments Karun and Zayandehrud, ShahreKord University 5- 6 September, 44 pp (In Persian).
10. Danayyan, M. 2001. Effects of Miankouh water spreading the area on area water resources. The second conference broadcast stations flood achievements, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 3- 5 March (In Persian).
11. Doneen, L.D. 1964. Notes on water quality in Agriculture. Published as a water science and engineering paper 4001. Department of Water Sciences and Engineering, University of California.
12. Eusuff, M.M. and K.E. LANSEY. 2004. Optimal operation of artificial groundwater recharges systems considering water quality transformations. *Water resources management*, 18: 379-405.
13. Gholamalizadeh Ahangar, A. 2002. Quality and evaluation of irrigation water. Publication of Agricultural Sciences, 118 pp (In Persian).
14. Hassanpour, M. and H. Khozaymehnezhad. 2018. Placement of nutrient wells for artificial nutrition and improvement of aquifer quality in Birjand plain using treated wastewater. *Journal of Research in Environmental Health*, 4(3): 215-226.
15. Heidari, A. 2019. Water Resources Management and Sewage Recycling, Solutions for Domestic Water Supply in Arid Areas, Case Study: Mashhad City. *Journal of Water & Wastewater Science & Engineering (jwwse)*, 3(4): 49-64.
16. Heshmati, S. and H. Begi Harchegani. 2013. Zoning Shahrekord groundwater quality indexes in order to use in irrigation systems design. *Agricultural Water Research*, 26(1): 59-43 (In Persian).
17. Jolaini, M., M. Karimi and S. Sahrahi Sadabadi. 2019. Feasibility of Wastewater Application in Water Resources Management (Case Study: Mashhad Plain). *Water Management in Agriculture*, 6(1): 87-94.
18. Kalantari, N., A. Jalalvand and A. Barjesteh. 2006. Identify location and convenient method for aquifer artificial recharge in City northern Noshahr. First regional conference on utilization of water resources and catchments Karoun and Zayandehrud, ShahreKord University 5-6 September (In Persian).
19. Lavado, R., R. Urena, R. Martin-Skilton, A. Torreblanca, J. Del Ramo, D. Raldua and C. Porte. 2006. The combined use of chemical and biochemical markers to assess water quality along the Ebro River. *Environmental Pollution*, 139(2): 330-339.
20. Mahmoudi Gharaei, M., H. Sefidian, A.A. Taheri, M. Sayyareh and J. Rabbani. 2012. Steel Index, Langelier and agricultural water quality parameters. Water resources of Kahoo village (Razavi Khorasan), the Sixteenth Congress of the Geological Society of Iran, Shiraz University, 7 pp (In Persian).
21. Ong'or, B.T.I. and S. Long-Cang. 2009. Groundwater overdraft and the impact of artificial recharge on groundwater quality in a cone of depression Jining China. *Water International*, 34(4): 468-483.
22. Raghunath, H.M. 1987. *Groundwater*. Wiley Eastern Ltd, New Delhi 563.
23. Rajesh, R., K. Brindha and L. Elango. 2015. Groundwater Quality and its Hydrochemical Characteristics in a Shallow Weathered Rock Aquifer of Southern India. *Water Qual Expo Health*, Publish online: 07 April 2015.
24. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, US Department of Agriculture Handbook, 60 pp.
25. Sappa, G., S. Ergul and F. Ferranti. 2014. Water quality assessment of carbonate aquifers in southern Latium region, Central Italy: a case study for irrigation and drinking purposes. *Applied Water Science*, 4: 115-128.
26. Singhal, B.B.S. and R.P. Gupta. 1999. *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*. Kluwer Academic Publisher, 400 pp.
27. Sridhar, S.G., D.G. Kanagaraj, S. Mahalingam and P. Amaladas. 2013. Hydrochemical analysis of Groundwater between Sadras and Chinnakuppam, Kancheepuram District, Tamil Nadu, India. *Journal of Academia and Industrial Research (JAIR)*, 2(3): 160-166.
28. Srinivasamoorthy, K., S. Chidambaram, V.S. Sarma, M.K.Vasanthavigar, R. Vijayaraghavan, P. Rajivgandhi Anandhan and R. Manivannan. 2009. Hydrogeochemical Characterisation of Groundwater in Salem District of Tamilnadu, India, *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 1(2): 22-33.
29. Todd, D.K. 1980. *Groundwater Hydrology*, Second Edition. Wiley & Sons Inc., New York. 535 pp.
30. Water industry standard and Abfa. 2012. Guidelines for groundwater quality privacy. Minister Energy, Department of Water Affairs and Abfa, office engineering and technical criteria for water and Abfa, J. No. 379-A (In Persian).
31. WHO (World Health Organization). 1993. Guidelines for drinking water quality. In: *Recommendations*, vol. 1, 2nd edn. WHO, Geneva, 130 pp.

## Evaluation of Artificial Recharge Effects on Quality of Aquifer of Sefiddasht-Faradonbeh Project

Rahim Alimohammadi Nafchi

Agricultural Engineering Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education center, AREEO, Shahrekord, Iran, (Corresponding author: Nafchi38@gmail.com)

Received: 1 August, 2020 Accepted: 5 October, 2020

### Extended Abstract

**Introduction and Objective:** This project was carried out, in order to food security, according developing agriculture and sustainable natural resources and optimum utilization of water resources with evaluation and quality effects of infiltrated runoff to aquifer.

**Material and Methods:** In this study use of determine local Pollution Sources, sampling of surface runoff and groundwater in the aquifer that feeds the violation of pollution sources, according to FAO and WHO standards methods for agricultural, domestics and provided layer maps with geographic information system software and quality indexes analysis duration three years. The current research was conducted, for evaluation of transferred run off on water quality aquifer. In this study, were taken seasonal samples from 16 tube wells for determine the concentrations of sodium (Na), potassium (K), calcium Ca), magnesium (Mg), chloride (Cl), sulfate (SO<sub>4</sub>), carbonate (CO<sub>3</sub>), bicarbonate (HCO<sub>3</sub>), Electrical conductivity (EC), acidity (pH), total dissolved solid (TDS), in order to determine the water qualitative indicators including, sodium absorption ratio (SAR), percent sodium (%Na), residual sodium carbonate (RSC), permeability index (PI), total hardness (TH), were indexes of water quality, The groundwater quality is categorized into various levels based on the FAO and WHO standards for the purpose of irrigation and domestic use respectively.

**Results:** Contamination view of the BOD<sub>5</sub> concentration was measured and all samples in various locations under artificial recharge project located were complete infected for drinking purposes. Amounts of acidity were 6.4 to 8.4, SAR less than 3, Sodium percent less than 40 percent and infiltration index equal 0.39 to 0.68. In terms of drinking water, chloride, sodium, sulfate, were normal and unrestricted, but water hardness was a little beyond the normal Limit. Of view contamination, was measured BOD<sub>5</sub> concentrations in the regional. Concentration of heavy metals, arsenic, aluminum, chromium, cadmium, lead, manganese, iron, zinc and copper were measured and analyzed then were less than normal level and were complete suitable for various activities.

**Conclusion:** The implementation of artificial recharge project has a positive effect on the aquifer recharge of the region and the aquifer water of Sefiddasht- Faradenbeh plain is suitable for irrigating the agricultural lands of the region and does not have any restrictions.

**Keywords:** Aquifer water quality, Artificial Recharge Project, Cations and Anions, Sefiddasht Faradonbeh, Water Quality Indexes