



دوره‌ی ۳۵، شماره‌ی ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۳۵، تابستان ۱۴۰۱، صفحه‌های ۴۴-۳۱
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2021.355619.1429

مقاله‌ی پژوهشی



پژوهش‌های آبخیزداری

بررسی کیفیت آب زیرزمینی و معرفی عامل‌های شیمیایی اصلی آن در ایستگاه آبخیزداری کوثر

حمید حسینی مرندی

(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

حجت‌اله کشاورزی

کارشناس ارشد مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

مریم عنایتی

کارشناس ارشد بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

غلامعلی نکویان

کارشناس ارشد ایستگاه تحقیقات آبخیزداری کوثر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: hhmarand@gmail.com

تاریخ دریافت: ۲۴ شهریور ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۲۱ آذر ۱۴۰۰

چکیده

از سال ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ از ۲۰ چاه آب کشاورزی در آبخیز گربایگان فسا نمونه‌های فصلی آب زیرزمینی برداشته، و ویژگی‌های شیمیایی آن‌ها شامل هدایت الکتریکی، اسیدیته، مجموع مواد جامد حل شده (TDS)، سختی کل، نسبت جذب سدیم (SAR)، غلظت یون سولفات، کلر، پتاسیم، سدیم، منیزیم، کلسیم، و بی‌کربنات سنجیده و بررسی شد. در این آبخیز میانگین هدایت الکتریکی 4.7 dSm^{-1} ، اسیدیته ۷/۵، و میانگین نسبت جذب سدیم آب حدود ۶/۷ بود. به جز بی‌کربنات تفاوت مقدار عامل‌های شیمیایی دیگر میان جایگاه‌های نمونه‌برداری در تراز ۱٪ معنادار بود. تحلیل مولفه‌های اصلی Na^+ ، HCO_3^- و SO_4^{2-} ، TDS را موثرترین متغیرها در بازتاب دادن کیفیت آب زیرزمینی آبخیز تعیین کرد. تحلیل عاملی نیز زیاد بودن اندازه‌ی Na^+ ، HCO_3^- را نشان داد. تحلیل خوشه‌ی اندوخته‌های آب محدوده‌ی مرکزی آبخیز را در یک گروه با شباهت ۹۷٪، و دو گروه با شباهت‌های ۹۳٪ و ۷۰٪ جا داد. گروه نخست بیش‌ترین تاثیر را از پخش سیلاب و تغذیه‌ی مصنوعی می‌گیرد، و دو گروه دیگر در منطقه‌های حاشیه یا بیرون از طرح جا می‌گیرند. اگرچه مدیریت بهره‌برداری نامناسب و برداشت از آبخیز بی‌رویه است، کیفیت آب زیرزمینی در ناحیه‌های مرکزی آن که بیش‌تر متاثر از تغذیه‌ی سیلاب است، بهتر است.

واژگان کلیدی: آبخیز، تجزیه‌ی شیمیایی، گربایگان، هدایت الکتریکی

مقدمه

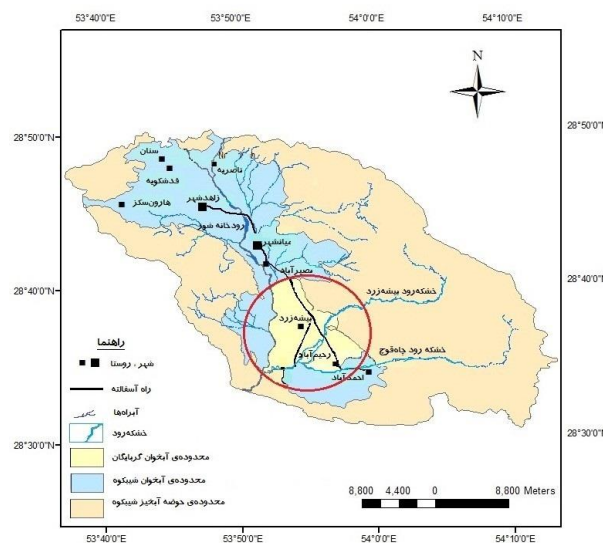
در ایران ۸۵٪ از آب مصرفی از آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود، و بیش‌ترین آن از آبخوان‌های آزاد آب‌رفتی کشور بیرون آورده می‌شود (خرسندی و همکاران ۲۰۱۰). این آبخوان‌ها که منطبق با دشت‌های کشاورزی و سکونت‌گاه‌ها نیز هستند به‌شدت تحت تاثیر برداشت زیاد و همچنین تحت تاثیر منبع‌های آلودگی هستند. بیش از ۸۱٪ از دشت‌های استان فارس در وضعیت خطر شدید و خیلی شدید افت تراز آب زیرزمینی، و حدود ۵۸٪ آن‌ها در وضعیت خطر شدید و خیلی شدید کیفیت آب زیرزمینی است (واحدی و مسعودی ۲۰۱۸). افت‌وخیزهای کمی آب زیرزمینی متاثر از استخراج و بهره‌برداری از آن، خشک‌سالی‌های ادامه‌دار، و تغذیه‌شدن شدید از سیلاب رودخانه‌ها است، که ممکن است در درازمدت نیز موجب بدتر شدن کیفیت آب زیرزمینی شود. پیچیدگی کیفیت آب‌های زیرزمینی اغلب موجب می‌شود که مساله پس از روی‌دادن آلودگی مطرح شود (فریز و چری ۱۹۷۷). اغلب مجموع عامل‌های موثر در کیفیت آب زیرزمینی را به‌طور کلی به دو گروه اثرهای منطقه‌یی و محلی طبقه بندی می‌کنند. اثرهای منطقه‌یی از طبیعت آبخوان، مانند ویژگی‌های آب‌شناختی آن است، که از جهت جریان، زمان تشکیل، اندرکنش مواد سازنده‌ی آبخوان با آب، ضخامت ناحیه‌ی نااشباع، و نزدیکی با اندوخته‌های آب سطحی اثر می‌گیرد (اوکونن و همکاران ۲۰۱۲). اطلاعات مربوط به مجموعه‌های زمانی ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌ها نشان‌دهنده‌ی بدتر شدن کیفیت آب‌های زیرزمینی است (ساراتویید و همکاران ۲۰۱۱). توجه به کیفیت اندوخته‌های آب در بخش آشامیدنی، کشاورزی و صنعت از موضوع‌های مهم گریزناپذیر است. فعالیت‌های انسانی یکی از عامل‌های مهم در تغییر آب زیرزمینی است. بررسی کیفیت آب زیرزمینی همچون ابزاری برای ارزیابی سیاست‌های زیست‌محیطی کشاورزی به‌کار برده می‌شود (استیگنر و همکاران ۲۰۰۶). تغییر در شیمی آب زیرزمینی اندرکنشی ناشی از نفوذ سیلاب‌ها است (سانچز پرز و همکاران ۲۰۰۳). بررسی شیمیایی ایزوتوپ‌های پایدار آب زیرزمینی منطقه‌های خشک و فرآیندهای شور شدن نشان می‌دهد که آب زیرزمینی به‌طور برجسته و گسترده از بارش‌های سنگین محلی (بیش‌تر از ۱۰۰ تا ۱۵۰ mm در ماه) تاثیر می‌گیرد و تغذیه می‌شود. تراوش آب ناشی از بارش‌های سنگین موجب انتقال یافتن آب منفذی شور

(شوری به‌دلیل تبخیر در منطقه‌ی نااشباع) به سامانه‌ی آب زیرزمینی کم‌عمق می‌شود. به‌دلیل افزایش تغذیه و شست‌وشوی فراوان نمک از منطقه‌ی اشباع‌نشده، هم‌زمان افزایش در غلظت کلراید، سولفات، و سختی دیده می‌شود (ساراتویید و همکاران ۲۰۱۱، کنراد و همکاران ۲۰۱۲). به‌کار بردن شیوه‌ی SAT^۱ برای بهبود طبیعی کیفیت آب نشان‌دهنده‌ی واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی در آبخوان است (ال اتیبی و همکاران ۲۰۰۴). فعالیت‌های کشاورزی بر شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GWQI) و شاخص ترکیب آب (GWCI) که سنجه‌های کلیدی کیفیت و آشامیدنی بودن آب زیرزمینی اند موثر است، و مهم‌ترین عامل‌ها برای ارزیابی کردن سیاست‌های زیست‌محیطی کشاورزی اند. در این ارتباط باید نقشه و دستورکارهای راهنمایی (مانند دستورکار نیترا ت شماره‌ی EEC ۶۷۶ / ۹۱) تهیه شود که برای همه‌ی مردم و بیرون از محدوده‌ی افراد علمی نیز فهم جامعی از دشواری‌های آلودگی را فراهم آورد (استیگنر و همکاران ۲۰۰۶). برای حل کردن دشواری‌های آب‌های زیرزمینی می‌توان از سامانه‌ی پشتیبانی مذاکره (NSS) با همکاری بهره‌برداران گوناگون از زمین (بهره‌برداران کشاورزی، جنگلی، تفریحی، شهری) بهره برد. تمرکز و فهم تضادهای میان بهره‌برداری کشاورزی از زمین و آب آشامیدنی اغلب بهره‌برداران را متقاعد می‌کند که بهره‌برداری از زمین بر اساس بهره برداری متعادل‌شده در حالت ممکن NSS تغییر یابد (کورس‌وان‌دن‌برینک و همکاران ۲۰۰۸). تجزیه‌تحلیل داده‌های عامل‌های گوناگون کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی با روش‌های تحلیل آماری چندمتغیره نیز ارزیابی مناسبی از تغییر می‌دهد (امولرابور و همکاران ۲۰۰۸). بررسی تغییر یون‌های آب زیرزمینی در محدوده‌ی اجرای پروژه‌ی پخش سیلاب نشان داد که غلظت یون‌ها در همه‌ی جاه‌ها جز جاه‌های نزدیک به پروژه افزایش یافت، که تاثیر نفوذ سیلاب بر بهبود کیفیت آب را بازگو می‌کند (غزاولی و همکاران ۲۰۱۲). برای برگزیدن سیاست‌های مناسب و برنامه ریزی پایدار اندوخته‌های آب زیرزمینی منطقه‌یی به‌دست تصمیم‌گیران، درجه‌بندی آن از دیدگاه آشامیدنی و کشاورزی لازم است و شفافیت ایجاد می‌کند (سرینیواس و همکاران ۲۰۱۵). ضخامت کم آبخوان و برخی مواد تشکیل دهنده‌ی آن از جمله رس‌های سولفات‌سدیمی موجب بد شدن کیفیت آب زیرزمینی آبخوان می‌شود (ملکیان و همکاران ۲۰۱۶). کیفیت اندوخته‌های آب علاوه بر نقش حیاتی در آشامیدن

اجرا کردن پروژه‌های تغذیه‌ی مدیریت‌شده‌ی آبخوا، و نقش آن در بهبود دادن کیفیت آب، توسعه‌ی این پروژه‌ها در آبخوان‌هایی که فشار بهره‌برداری بر آنها است، در شرایط آب زمین شناختی مناسب پیشنهاد شده است (سونیل و همکاران ۲۰۲۰). آبخوان ایستگاه کوثر نیز مانند بیش‌تر آبخوان‌های کشور، در تاثیر هم‌زمان عامل‌های تغذیه‌ی طبیعی سفره و برداشت مدیریت‌نشده از آن است. تفاوت چشم‌گیر این آبخوان، ساخته‌شدن ایستگاه آبخوان‌داری و اجرا شدن طرح پخش سیلاب با پیشینه‌ی ۴۰ ساله بر سطح آن است، که یکی از هدف‌های آن نیز تغذیه کردن مصنوعی سفره‌ی آب زیرزمینی بود. تحلیل‌های آماری چندمتغیره ابزار مهمی برای درک ویژگی و رفتار آبخوان با کیفیت آب زیرزمینی است (بوسیکو و همکاران ۲۰۱۸). برای درک رابطه‌ی میان کیفیت آب زیرزمینی و فرآیندهای درگیر و مسبب تغییر، و آلودگی آب زیرزمینی بررسی‌های پرشماری با تجزیه تحلیل آماری چندمتغیره انجام شده است (ساندو و همکاران ۲۰۱۸، نافیاد ۲۰۱۸، بوسیکو و همکاران ۲۰۱۸، نیلادری و همکاران ۲۰۱۹، وتریمورگان و همکاران ۲۰۲۰). با این حال، تجزیه‌تحلیل کیفیت آب زیرزمینی بر گرفته از داده‌های نقطه‌یی در پیوند با موقعیت مکانی سامانه‌ی پخش سیلاب و خشک‌رودهای مرتبط با آبخوان به ندرت در این منطقه بررسی شده‌است. از این‌رو، هدف این پژوهش بررسی کیفیت آب زیرزمینی و معرفی سازنده‌های یونی و دیگر شاخص‌های شیمیایی مهم آن، بهره‌گیری از شیوه‌ی آمار چندمتغیره برای تجزیه‌تحلیل، و درک تغییر مکانی و دگرگونی اجزای شیمیایی آب زیرزمینی آبخوان بود.

و محیط‌زیست انسان، در اقتصاد نیز نقش دارد. به دلیل پیچیدگی روابط موجود در محیط از جمله اندوخته‌های آب در حوزه‌های آبخیز، پژوهش‌های مبتنی بر داده‌های دقیق ممکن است نتیجه‌های جامع و دقیق‌تری را به دست دهد تا بهتر بتوان روی داده‌های آینده‌ی اندوخته‌های آب آبخیزها را پیش‌بینی کرد. اصولاً تغذیه‌ی طبیعی از راه سیلاب‌های موقتی، تغذیه‌ی مصنوعی از راه طرح‌های آبخوان‌داری و آبخیزداری، برداشت از سفره، و برگشت آب ناشی از آبیاری به آبخوان مسبب تغییرهای کمی و کیفی آن است. هر آن‌چه از فعالیت‌های گوناگون کاربری زمین آزاد ناشی شود، به‌همراه آب از بخش نا اشباع آبخوان می‌گذرد، و با مواد هوازدهی این بخش نیز واکنش می‌کند و به آب زیرزمینی می‌پیوندد. مدیریت ضعیف پس‌آب و روان‌آب کشاورزی عامل‌های اصلی اثرگذار بر شیمی آب‌های زیرزمینی است (بوسیکو و همکاران ۲۰۱۷، اسکات و همکاران ۲۰۱۷).

بررسی میلاد و همکاران (۲۰۱۸) در آبخیز وادی‌بایش در غرب عربستان سعودی مشخص کرد که پس از روی داد تغذیه‌ی سریع سیلاب به آب زیرزمینی، غلظت متوسط $TDS, Mg^{+2}, Na^+, Cl^-, NO_3^-$ و EC کاهش بسیار یافت، و نفوذ آب‌های سطحی بر شیمی آب‌های زیرزمینی تاثیر زیادی نشان داد. شبرا و همکاران (۲۰۲۰) در آبخوان آب‌رفتی رود کونداماین (کویزلند، استرالیا) نشان دادند که بیش‌تر اندوخته‌های آب‌رفتی در تغذیه‌ی دوباره‌ی آب سیل بود، و با رخدادهای بارندگی با متوسط ده ساله‌ی منطقه‌یی بیش‌تر از ۳۰۰ mm مرتبط بود؛ بنابراین اهمیت تغذیه‌ی سیلاب در گردش آب منطقه‌ها تقویت می‌شود. با توجه به سودمندی‌های

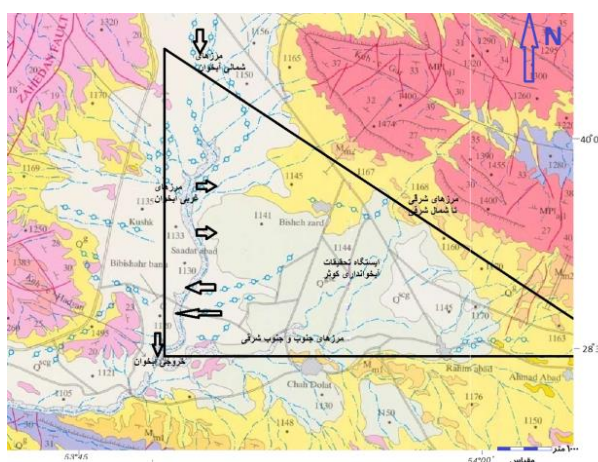


شکل ۱- آبخیز رودخانه‌ی شور، دشت شیب‌کوه، و آبخوان گربایگان.

مواد و روش‌ها

آبخوان گربایگان با گستره‌ی $76/82 \text{ km}^2$ ، میان عرض‌های شمالی $28^\circ 35'$ تا $28^\circ 41'$ و طول‌های شرقی $53^\circ 53'$ تا $53^\circ 57'$ ، در بخش جنوبی دشت شیب‌کوه در 50 کیلومتری جنوب شرق شهر فسا در استان فارس است، و بخش پایانی و خروجی آبخوان آبرفتی شیب‌کوه است (شکل ۱). اقلیم منطقه بر پایه‌ی روش دومارتن نیمه‌خشک (بیابانی) است (حسینی‌مردی و همکاران ۲۰۱۵). میانگین بارش سالانه‌ی ایستگاه کوثر 211 mm و عموماً باران است و تغییر زمانی زیادی دارد.

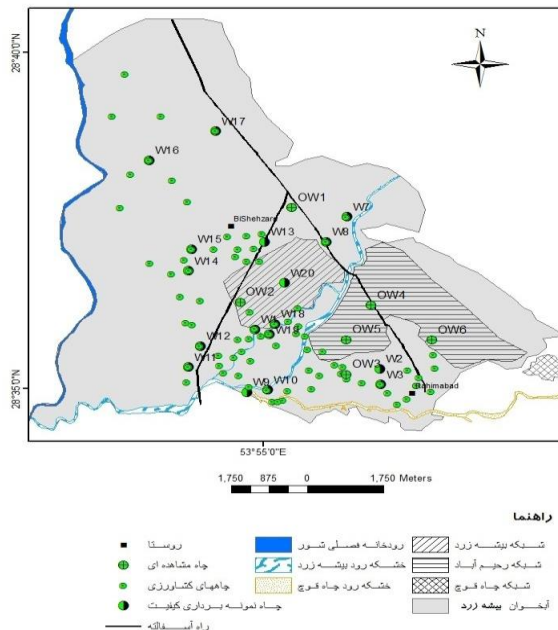
میانگین تبخیر سالانه (به‌دست‌آمده از تشتک تبخیر رده‌ی 2555 A mm) است (پاکپور و همکاران ۲۰۱۷). سامانه‌ی پخش‌سیلاب گربایگان (ایستگاه آبخوان‌دری کوثر) با عمر 40 سال در مساحت حدود 2000 ha بر بستر آبخوان گربایگان اجرا شده‌بود. روستاهای بیشه‌زرد، رحیم‌آباد و چاه‌دولت با حدود 2000 نفر جمعیت و حدود 2500 ha زمین کشاورزی در محدوده‌ی گربایگان است (قهاری و پاکپور ۲۰۰۸). دیگر زمین‌های این دشت مرتعی با وضعیت اغلب فقیر، و کمی نیز جنگل دست‌کاشت (بیش‌تر از گونه‌های اوکالیپتوس) است.



شکل ۲- نقشه‌ی زمین‌شناسی و مرزهای آبخوان گربایگان (نقشه‌ی پایه، زمین‌شناسی فسا، سازمان زمین‌شناسی کشور ۲۰۰۷).

ساختار زمین‌شناسی منطقه شامل چین‌خوردگی ناودیس‌شکل با محور شمال غربی-جنوب شرقی و مربوط به فعالیت‌های زمین‌ساختی دوره‌ی میوسن ناحیه‌ی زاگرس است. قدیمی‌ترین سنگ‌های این چین‌خوردگی از سازند آسماری-جهرم است. سپس به ترتیب چینه‌شناسی سنی، سازندهای رازک (آهک‌رس‌های میان‌بافت قرمز، سبز تا خاکستری و آهک‌های میان‌بافت)، میشان (تناوبی از آهک‌رس و آهک آهک‌رسی به رنگ خاکستری مایل به آبی)، آغاچاری (تناوب ماسه‌سنگ آهکی قهوه‌یی تا

خاکستری، آهک‌رس قرمز رنگ گچ‌دار و سنگ میان‌بافت قرمز) و بختیاری (کنگومرا) نیز در این چین‌خوردگی رخ‌نمون دارند. سازند گچساران با سنگ‌های تبخیری نیز در جنوب و جنوب غرب دشت اصلی رخ‌نمون شده‌است (سازمان زمین‌شناسی ایران ۲۰۰۷). محدودکننده‌ی آبخوان سازند زمین‌شناسی میشان است. آبخوان با این سازندها ارتباط آب‌شناختی ندارد و در عمل جز از راه شکستگی و گسل، ورودی آب زیرزمینی از سوی سازندها به سوی آبخوان نیست (شکل ۲).



شکل ۳- محدوده‌ی پژوهش و موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری.

می‌کند. بستر آبخوان را سنگ‌های ریزدانه‌ی سیلتستون و مادستون سازنده‌های آجاجاری و میشان تشکیل می‌دهد. برای این مواد ریزدانه هدایت آب‌شناختی ناچیزی در حدود 0.002 mday^{-1} ثبت شده‌است (تاد ۱۹۷۶). ضریب ذخیره‌ی آبخوان را نیز 0.05 در نظر گرفته‌اند (شرکت سهامی آب منطقه‌ی فارس ۲۰۰۶).

در سامانه‌ی آبخوان‌داری کوثر درصدی از سیلاب خشکه‌رودهای بیشه‌زرد و چاه‌قوچ مهار، و صرف بهبود دادن شرایط طبیعی و زیست‌محیطی منطقه، و تغذیه‌ی آبخوان می‌شود. از سال آغاز طرح (۱۳۶۱) تا ۱۳۹۹ یکصد و سی و هفت سیلاب در منطقه رخ داد، و سامانه‌ی پخش سیلاب به همین تعداد آگیری کرد. برخی سال‌ها (۱۳۸۴) بی‌رخداد سیل بود، و برخی نیز (۱۳۸۲) بیش از ۱۰ سیلاب داشت (مرکز تحقیقات منابع طبیعی فارس ۲۰۰۹). اندازه‌ی تغذیه از کف مسیل‌ها و سامانه‌ی پخش سیلاب با مدل‌های ریاضی حدود 10 Mm^3 برآورد شد، که 5 Mm^3 آن از پخش سیلاب و 5 Mm^3 آن از بستر مسیل‌ها است (هاشمی ۲۰۰۸، هاشمی و همکاران ۲۰۱۲). در ۱۳۸۹ بیش‌ترین اندازه‌ی سیلاب با حجم نزدیک به 14 Mm^3 در ۱۳۸۹ وارد سامانه‌ی پخش سیلاب شد (حسینی مرندی و همکاران ۲۰۱۵).

بر اساس ویژگی‌های اندوخته‌های آب و آبخوان، ۲۰ چاه کشاورزی (W۱ تا W۲۰) انتخاب، و در دو سال از آن‌ها نمونه‌ی فصلی برداشته شد (شکل ۳). ده عامل شیمیایی آب

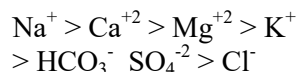
سیلاب مهم‌ترین منبع آب سطحی موقتی و دست‌رس در دشت گربایگان است. رودخانه‌ی فصلی شور جهرم و دو خشکه‌رود اصلی بیشه‌زرد و چاه‌قوچ، آب سطحی منطقه را زه‌کشی سطحی می‌کند (شکل ۳). بیشینه‌ی حجم سیلاب خشکه‌رود بیشه‌زرد $300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ است (قهراری و پاک‌پرور ۲۰۰۷). سفره‌ی آب زیرزمینی دشت گربایگان از نوع آبخوان‌آبرفتی آزاد و ناهمگن تقریباً پیوسته‌یی با بلندی‌های جنوب و شمال محدود شده‌است. جنس و اندازه‌ی رسوب‌های منفصل تشکیل‌دهنده‌ی آبخوان در حاشیه‌ی بلندی‌ها درشت‌تر، و در مرکز دشت ریزدانه و ماسه‌یی است. بیشینه‌ی ضخامت آب‌رفت 90 m و عمق تراز آب زیرزمینی از 10 تا بیش از 36 m متر است. چاه‌زنی در این دشت ممنوع است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس ۲۰۰۶).

ارتفاع سطح ایست‌آبی در پایین‌ترین نقطه‌ی دشت 1115 m است و در ناحیه‌های بالادست به 1155 m می‌رسد. میانگین سالانه‌ی افت تراز آب زیرزمینی در دوره‌ی ۱۳ ساله منتهی به شهریور ۱۳۸۵، 0.73 m محاسبه شد. از سفره‌ی گربایگان سالانه حدود 15 Mm^3 آب (عموماً برای کشاورزی و اندکی برای آشامیدن) برداشته می‌شود. هدایت الکتریکی آب زیرزمینی $4/8 \text{ dSm}^{-1}$ و آب رود بیشه‌زرد از $0/25$ (در زمان سیلاب) تا 4 dSm^{-1} (زه‌آب) متغیر است (مرکز تحقیقات منابع طبیعی فارس ۲۰۰۹). ضریب آب‌گذری آبخوان از $0.001 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ تا 0.002 تغییر

(از جمله سامانه‌ی آبخوان‌داری) به کار برده شد.

نتایج و بحث

میانگین عامل‌های شیمیایی اندازه‌گیری شده برای ۲۰ منبع آبی (چاه) در جدول ۱ آورده شد. تحلیل پراش نشان داد که تفاوت آب چاه‌ها در همه‌ی ویژگی‌ها جز HCO_3^- معنادار ($P < 0.1$) است. اسیدیته در چاه‌های ۱۴ و ۲۰ کم‌ترین، و در چاه ۱۶ بیش‌ترین بود. دانسته می‌شود که چاه‌های ۱۴ و ۲۰ در بیرون از شبکه‌ها، و چاه ۱۶ درون شبکه‌ها است. هدایت الکتریکی در چاه ۱۶ کم‌ترین، و در چاه ۱۲ بیش‌ترین بود. چاه ۱۲ نیز در بیرون شبکه‌ها در بخش غربی محدوده‌ی بررسی‌شده و نزدیک به رود شور است. مجموع جامدهای محلول در چاه ۱ کم‌ترین و در چاه ۱۲ بیش‌ترین بود. چاه ۱ در منطقه‌های تغذیه، بالادست و نزدیک به بستر رود چاه‌قوچ است. اندازه‌ی سدیم در چاه‌های ۱ و ۲ کم‌ترین و در چاه ۱۵ بیش‌ترین بود. چاه ۱۵ در بالادست و در جبهه‌ی تغذیه از سوی شمال غربی آبخوان است. بیش‌ترین اندازه‌ی یون‌های پتاسیم، منیزیم، و کلسیم در چاه ۱۲، و کم‌ترین آن‌ها در چاه ۱ بود. چاه ۱ کم‌ترین مقدار کلر، سولفات و بی‌کربنات را داشت، و کلر در چاه ۱۴، سولفات در چاه ۱۲ و بی‌کربنات در چاه ۸ بیش‌ترین اندازه را داشت. چاه ۸ در پایین‌دست و در ناحیه‌های خروجی متمرکز آبخوان است. سختی کل آب نیز مانند مجموع جامدهای محلول در چاه ۱ کم‌ترین و در چاه‌های ۱۱ و ۱۴ بیش‌ترین بود. چاه ۱۱ در پایین‌دست و بیرون از شبکه‌های پخش سیلاب است. نسبت جذب سدیم در چاه‌های ۱ و ۲ کم‌ترین، و در چاه ۱۵ بیش‌ترین بود. چاه ۲ نیز در نزدیکی چاه ۱ و در بالادست و تغذیه‌ی آبخوان است. جدول ضریب‌های هم‌بستگی نشان می‌دهد که همه‌ی متغیرها با هم رابطه‌ی معنادار و قوی در تراز ۰.۱٪ داشت. تنها بی‌کربنات با ویژگی‌های دیگر رابطه‌ی معناداری نداشت. ترتیب غلظت عامل‌های شیمیایی آنیونی و کاتیونی در آبخوان به شکل زیر بود:

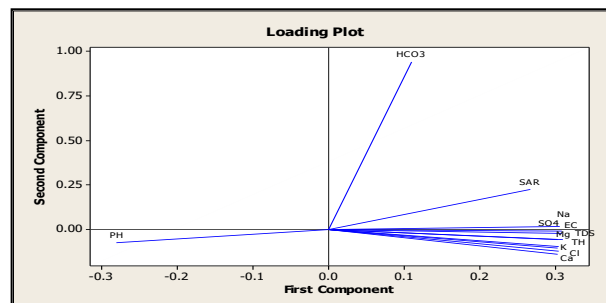


زیرزمینی شامل یون‌های سولفات، کلر، بی‌کربنات، سدیم، کلسیم، منیزیم، و پتاسیم، و مجموع جامدهای محلول، سختی کل آب (TH) و نسبت جذب سدیم (SAR) در آزمایشگاه فرسایش و رسوب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس اندازه‌گیری شد. اسیدیته و هدایت الکتریکی ماهانه با دستگاه همراه در محل چاه اندازه‌گرفته شد. اندازه‌ی کلسیم و منیزیم مجموع به روش سنجش ترکیبی (کمپلکسومتری) به روش تیتراسیون با ای.دی.تی.آ (۰/۰۲ نرمال) و معرف اریکروم بلکتی، و کلسیم با همین روش و معرف مورکساید اندازه‌گیری شد. اندازه‌ی سدیم با روش نورسنجی و با دستگاه نورسنج شعله‌ی سنجیده شد. یون کلر با روش سنجش ترکیبی و با تیتراسیون با نیترات نقره (۰/۰۲ نرمال) و معرف کرومات پتاسیم اندازه‌گیری شد. کربنات به دلیل اسیدیته‌ی کم‌تر از ۸/۳ صفر گرفته شد، و بی‌کربنات با روش سنجش ترکیبی با اسید سولفوریک (۰/۰۲ نرمال) و معرف متیل اورانژ اندازه‌گیری شد. تجزیه‌ها بر پایه‌ی شیوه‌ی موسسه‌ی تحقیقات خاک و آب بود (علی‌احیایی و بهبهانی‌زاده، ۱۹۹۳).

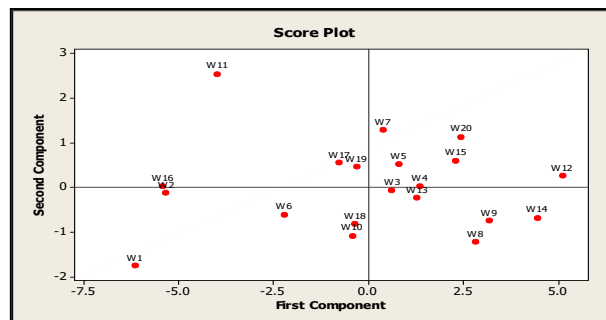
داده‌های به‌دست‌آمده از تجزیه‌ی نمونه‌ها بر پایه‌ی زمان و مکان و با تحلیل‌های آماری تعیین شاخص‌های آماری توصیفی، تحلیل همبستگی، مقایسه‌ی میانگین‌ها، تحلیل عامل‌ها، تحلیل مولفه‌ی اصلی، و تحلیل خوشه‌ی بررسی و تحلیل شد. روش آماری تحلیل مولفه‌ی اصلی بابه کارگیری توزیع داده‌ها و بردار و مقدار ویژه، در عمل ویژگی‌های شیمیایی با ارزش‌تر و مهم‌تر، که بیش‌ترین تغییر در کیفیت شیمیایی آبخوان در دامنه‌ی آن‌ها رخ داده است، را استخراج کرد. تحلیل عاملی بین متغیرهایی که به‌ظاهر بی‌ارتباط اند، رابطه‌ی خاصی برقرار، و مشخص کرد که کدام متغیرها باید در تحلیل وارد و سنجیده شود. در تحلیل خوشه‌ی کار گروه‌بندی را نرم‌افزار انجام داد، و سرانجام نمودار خوشه‌ی داده شد. بر پایه‌ی درصد شباهت دل‌خواه (در این‌جا شباهت بیش از ۶۰٪)، نرم‌افزار دوباره گروه‌بندی کرد. در این پژوهش گروه‌بندی کیفی اندوخته‌های آب برای تحلیل تاثیرپذیری آن‌ها از اندوخته‌های آب سطحی موثر بر تغذیه‌ی آبخوان

جدول ۱- میانگین ویژگی‌های شیمیایی دوازده‌گانه‌ی آب در ۲۰ چاه (پاییز ۱۳۹۷ تا بهار ۱۳۹۹).

شماره‌ی چاه	pH	EC μScm ⁻¹	TDS mgL ⁻¹	Na ⁺ mgL ⁻¹	K ⁺ mgL ⁻¹	Mg ⁺² mgL ⁻¹	Ca ⁺² mgL ⁻¹	Cl ⁻ mgL ⁻¹	SO ₄ ⁻² mgL ⁻¹	HCO ₃ ⁻¹ mgL ⁻¹	TH mgL ⁻¹	SAR mgL ⁻¹
W1	۷/۷۴	۱۵۲۵/۴۰	۹۹۶/۸۰	۸/۳۹	۰/۲۰	۴/۹۵	۵/۳۳	۶/۷۲	۸/۳۴	۳/۰۷	۵۰/۴۷	۳/۲۸
W2	۷/۷۸	۱۵۹۲/۷۰	۱۰۴۶/۵۰	۱۱/۲۹	۰/۲۱	۷/۳۴	۷/۵۱	۷/۴۵	۸/۶۸	۳/۷۷	۵۴/۹۳	۳/۴۶
W3	۷/۴۷	۴۷۷۵/۳۰	۳۰۸۹/۱۰	۲۴/۶۱	۰/۲۸	۱۳/۷۰	۱۲/۵۲	۲۰/۰۸	۲۵/۶۰	۳/۷۵	۱۳۰/۲۳	۶/۶۸
W4	۷/۵۲	۵۷۱۴/۷۰	۳۷۲۶/۳۰	۲۹/۵۹	۰/۲۷	۱۵/۹۸	۱۵/۸۶	۲۳/۸۴	۳۲/۳۱	۳/۹۸	۱۵۷/۹۵	۷/۲۶
W5	۷/۴۳	۵۴۵۶/۱۰	۳۵۴۶/۱۰	۲۷/۵۴	۰/۲۹	۱۴/۹۹	۱۲/۵۰	۲۰/۳۷	۲۹/۳۴	۴/۱۰	۱۳۶/۶۴	۷/۳۳
W6	۷/۶۶	۳۵۰۳/۲۰	۲۲۷۶/۹۰	۱۹/۷۷	۰/۲۵	۹/۵۸	۸/۷۷	۱۳/۵۲	۱۹/۹۸	۳/۴۶	۹۱/۰۳	۶/۵۳
W7	۷/۴۶	۴۵۷۷/۶۰	۲۹۵۰/۵۰	۲۳/۶۰	۰/۲۷	۱۵/۵۳	۱۳/۵۱	۱۸/۲۷	۲۸/۳۴	۴/۵۳	۱۴۴/۴۵	۶/۱۴
W8	۷/۴۲	۶۸۴۲/۱۰	۴۴۶۲/۹۰	۳۳/۷۷	۰/۳۲	۱۹/۵۸	۱۹/۲۳	۲۸/۳۳	۳۹/۲۲	۶/۶۳	۱۹۳/۴۲	۷/۶۱
W9	۷/۳۵	۷۱۰۹/۸۰	۴۶۴۹/۱۰	۳۴/۲۴	۰/۳۳	۲۱/۵۹	۱۸/۲۹	۳۰/۱۲	۳۸/۱۷	۳/۷۴	۱۹۸/۸۵	۷/۵۷
W10	۷/۶۱	۴۳۰۸/۱۰	۳۰۱۳/۲۰	۲۴/۲۳	۰/۲۸	۱۳/۸۸	۱۱/۲۷	۱۷/۷۸	۲۶/۶۰	۳/۳۲	۱۲۵/۲۳	۶/۷۳
W11	۷/۶۶	۲۵۶۲/۲۰	۱۶۵۱/۳۰	۱۵/۸۴	۰/۲۲	۷/۱۲	۵/۳۹	۸/۸۴	۱۳/۴۳	۴/۷۰	۶۲/۰۸	۶/۲۳
W12	۷/۳۷	۸۲۳۳/۹۰	۵۳۴۸/۲۰	۴۳/۷۵	۰/۳۶	۲۳/۷۵	۲۱/۰۲	۳۵/۱۰	۴۶/۳۸	۴/۳۳	۲۲۳/۳۶	۹/۰۶
W13	۷/۴۶	۵۴۷۰/۴۰	۳۵۳۷/۷۰	۲۷/۸۶	۰/۳۰	۱۹/۹۶	۱۳/۵۸	۲۳/۹۷	۳۱/۱۶	۳/۹۳	۱۶۷/۲۸	۶/۷۲
W14	۷/۳۵	۸۰۰۵/۴۰	۵۱۷۸/۸۰	۳۹/۹۱	۰/۳۳	۲۱/۸۹	۲۲/۱۲	۳۷/۰۷	۴۰/۴۸	۳/۸۷	۲۱۹/۶۶	۸/۳۷
W15	۷/۴۴	۶۲۹۱/۲۰	۳۸۹۴/۳۰	۷۴/۸۹	۰/۳۳	۱۴/۹۴	۱۴/۱۴	۲۲/۳۴	۳۸/۴۵	۴/۰۵	۱۳۰/۴۳	۱۰/۳۷
W16	۷/۸۲	۱۶۸۴/۴۰	۱۰۹۰/۲۰	۱۳/۳۳	۰/۲۱	۶/۱۴	۵/۱۴	۸/۰۵	۱۱/۲۷	۳/۶۹	۵۶/۱۱	۵/۱۵
W17	۷/۴۴	۴۱۶۳/۸۰	۲۶۶۱/۵۰	۲۲/۵۰	۰/۲۷	۱۳/۶۹	۱۱/۱۱	۱۴/۰۲	۲۶/۸۱	۴/۱۱	۱۲۲/۳۶	۵/۸۲
W18	۷/۵۳	۴۰۶۸/۲۰	۲۸۰۹/۹۰	۲۵/۸۰	۰/۲۷	۱۴/۲۶	۱۲/۵۵	۱۸/۰۴	۲۵/۱۸	۳/۴۸	۱۳۶/۶۵	۶/۸۶
W19	۷/۶۰	۳۵۳۵/۹۰	۲۶۲۰/۷۰	۲۷/۳۵	۰/۲۹	۱۵/۷۹	۱۰/۸۶	۲۰/۵۰	۲۶/۵۵	۴/۰۹	۱۱۷/۴۶	۷/۲۰
W20	۷/۳۸	۷۱۰۰/۹۰	۴۲۶۴/۲۰	۳۲/۲۲	۰/۳۱	۱۹/۹۶	۱۴/۳۹	۲۴/۳۴	۳۴/۵۸	۴/۵۴	۱۸۴/۲۶	۷/۷۸



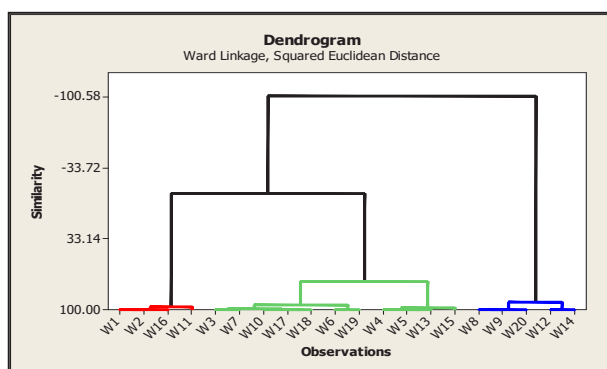
شکل ۴- نمودار بارگذاری‌شده‌ی تجزیه به مولفه‌های اصلی (۱۲ عامل شیمیایی در ۲۰ چاه).



شکل ۵- نمودار رتبه‌بندی تجزیه به مولفه‌های اصلی (اندازه‌ی عامل‌ها در ۲۰ چاه).

چشم‌گیری با دیگر چاه‌ها دارد (شکل ۵). علت آن ممکن است اندازه‌ی بسیار زیاد HCO_3^- در این چاه باشد. تجزیه‌ی عاملی نشان‌دهنده‌ی زیادبودن Na^+ ، HCO_3^- و TH است، چون خط این سه متغیر به محور اول و دوم نزدیک‌تر است. پراش تولیدشده از این دو عامل حدود ۸۵٪، و سه مولفه‌ی اول حدود ۹۵٪ است. در نمودار رتبه‌بندی چاه ۱۵ با دیگر چاه‌ها تفاوت چشم‌گیری داشت. علت آن شاید اندازه‌ی زیاد Na^+ در این چاه باشد.

موثرترین ویژگی‌ها در کیفیت آب چاه‌های بررسی‌شده با تجزیه به مولفه‌های اصلی و در نظر گرفتن سه مولفه‌ی اول ۹۶/۶٪ از تغییرها را تبیین کرد. ضریب متغیرها نشان داد که TDS ، SO_4^{2-} ، HCO_3^- و Na^+ موثرترین متغیرها است. نزدیکی و طول متغیرها به محورهای اول و دوم در نمودار بارگذاری شده (شکل ۴) نیز نشان‌دهنده‌ی برتری TDS ، SO_4^{2-} و HCO_3^- به متغیرهای دیگر بود. در نمودار رتبه‌بندی نیز مشاهده شد که چاه ۸ تفاوت



شکل ۶- نمودار گروه‌بندی چاه‌ها با تحلیل خوشه‌یی.

۲/۲۴ آب از راه طرح پخش سیلاب وارد آبخوان شد. این مقدار حدود ۱۵٪ از کل آب استخراج‌شده از آبخوان در همین دوره است. به‌طور کلی فرآیند تغذیه‌ی سیلاب موجب خیز چشم‌گیر تراز سفره و افزایش حجم بخش اشباع آبخوان شده‌است (مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس ۲۰۲۱). در این دوره‌ی ده ساله، بیشینه‌ی افت سالانه‌ی تراز سفره‌ی آب زیرزمینی ۴۳ cm و بیشینه‌ی خیز تراز سفره ۱/۵۱ m (در ۱۳۹۶) بود.

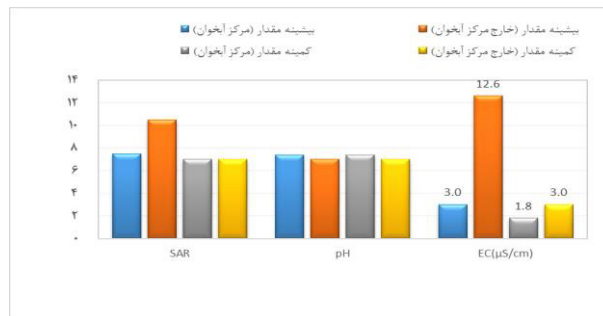
در تجزیه‌ی تحلیل خوشه‌یی، با به‌کارگیری روش وارد، مجذور فاصله‌ی اقلیدسی، و شباهت ۶۰٪ بین چاه‌ها سه گروه مجزا مشاهده شد. گروه اول شامل ۴ چاه (۱، ۲، ۱۱ و ۱۶) که نزدیک به ۹۷٪ شباهت نشان داد. گروه دوم ۵ چاه (۹، ۸، ۱۲، ۱۴ و ۲۰) با حدود ۹۳٪ شباهت، و چاه‌های دیگر در گروه سوم با حدود ۷۳٪ شباهت بود (شکل ۶). در بررسی افت‌وخیز تراز سفره‌ی آب زیرزمینی در دوره‌ی ده‌ساله (۱۳۸۹-۱۳۹۹) گردش سفره حدود 0.6 Mm^3 مثبت بود. در ۵ سال نخست این دوره سالانه حدود Mm^3



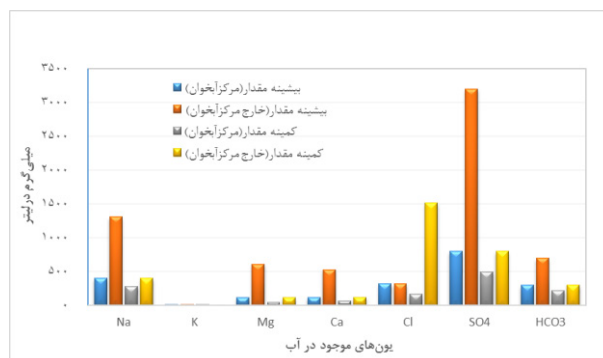
شکل ۷- تغییر هدایت الکتریکی آب زیرزمینی آبخوان ایستگاه آبخوان‌داری کوثر (گربایگان) از ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۹.

ساله‌ی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۹ تغییرهایی نشان می‌دهد که روند کلی آن افزایشی است (شکل ۷). کم‌ترین هدایت الکتریکی در سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ دیده می‌شود، که متناثر از بارش زیاد (۵۷۳ mm) در سال آبی ۱۳۹۶-۱۳۹۵، و در نتیجه تغذیه شدن طبیعی و مصنوعی بسیار زیاد آبخوان با سیلاب‌ها است (مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس ۲۰۲۱).

بررسی داده‌های ویژگی‌های شیمیایی آب زیرزمینی آبخوان، برگرفته از پژوهش‌های پیشین (شرکت سهامی آب منطقه‌ی فارس ۲۰۰۶، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس ۲۰۰۹ و ۲۰۲۱، حسینی مرندی ۲۰۱۴) به‌طور کلی نشان می‌دهد که شرایط کیفیت آب زیرزمینی آبخوان نسبتاً نامناسب‌تر شده‌است. هدایت الکتریکی آب زیرزمینی آبخوان ایستگاه کوثر در دوره‌ی ۱۶



شکل ۸- بیشینه و کمینه هدایت الکتریکی، اسیدیته و نسبت جذب سدیم آب در محدوده‌ی مرکزی آبخوان و بیرون آن.



شکل ۹- بیشینه و کمینه یون‌های آب در محدوده‌ی مرکزی آبخوان و بیرون آن.

و ترکیب نوع‌های اصلی آب نیز تأثیر زیاد نفوذ آب‌های سطحی بر شیمی آب‌های زیرزمینی را نشان می‌دهد. سونیل و همکاران (۲۰۲۰) در آبخیز گنگ توسعه‌دادن پروژه‌های تغذیه‌ی مدیریت‌شده‌ی آبخوان را برای بهبود دادن کیفیت آب، به‌ویژه در جاهایی که آبخوان‌ها در فشار بهره‌برداری است، پیشنهاد داده‌اند.

در نمودارهای شکل ۸ و ۹ تفاوت مقدار عامل‌های شیمیایی آب زیرزمینی در دو محدوده‌ی مرکزی (در پخش سیلاب) و بیرون از آن دیده می‌شود. در محدوده‌ی بیرون از مرکز، کمینه‌ی شوری بیش از ۱/۵ برابر محدوده‌ی دلخواه مرکزی بود و بیشینه‌ی آن به بیش از چهار برابر این محدوده رسید

کیفیت آب زیرزمینی از نظر عامل‌های دوازده‌گانه‌ی بررسی‌شده در محدوده‌ی مرکزی آبخوان با وسعت حدود ۸۸/۸۶ ha دلخواه‌ترین شرایط است، اما بیرون از این محدوده بسیار متغیر است. محدوده‌ی مرکزی آبخوان منطبق با محل اجرای طرح آبخوانداری است. بنابراین می‌توان گفت که اندوخته‌های آب در این محدوده بخشی از کیفیت برتر خود را بر اثر نفوذ سیلاب‌های با کیفیت خوب به‌دست آورده است. میلاد و همکاران (۲۰۱۸) نیز در غرب عربستان سعودی نشان دادند که پس از روی داد تغذیه‌ی سریع سیلاب به آب زیرزمینی، غلظت متوسط، TDS، EC و NO_3^- ، Cl^- ، Na^+ ، Mg^{+2} بسیار کاهش یافت،

شدن کیفیت آب، عامل‌های HCO_3^- ، SO_4^{2-} ، TDS را موثرترین متغیرهای کیفیت آب در این آبخوان، و HCO_3^- و SO_4^{2-} ، TDS را مهم‌تر از دیگر متغیرها نشان داد. اندوخته‌های اب (چاه‌ها) در جاهای گوناگون آبخوان اختلاف چشم‌گیری دارند، که ناشی از جای آن‌ها نسبت به سرچشمه‌های تغذیه‌ی طبیعی (بستر خشک‌رود و سیلاب‌گذرهای بیشه‌زرد و چاه‌قوچ)، سامانه‌ی پخش سیلاب (آبراه‌ها و حوضچه‌های تغذیه)، رود شور جهرم، و دگرگونی ماده‌های سازنده‌ی آبخوان است. بودن مواد سازنده‌ی گچی (سازند گچساران) در بخش غربی آبخوان ممکن است نقش موثری در ترکیب اصلی یونی آب زیرزمینی داشته باشد. از نظر مکانی، بیش‌ترین تغییر کیفیت آب زیرزمینی در چاه‌های حاشیه‌ی خشک-رودها، به‌ویژه در خشک‌رود بیشه‌زرد و رود فصلی شور است. اندوخته‌های آبی در محل تغذیه‌ی آبخوان، یا در شبکه‌های پخش سیلاب (چاه‌های ۱، ۲، ۸، ۱۲، ۱۴ و ۲۰) با شباهت شبیه‌اند. این وضعیت نشان‌دهنده‌ی تأثیرپذیری آن‌ها از تغذیه، و نقش سیلاب در بهبود کیفیت آب زیرزمینی است. اندوخته‌های آبی که در حاشیه‌ی شبکه‌های پخش سیلاب اند (چاه‌های ۶، ۸، ۱۲، ۱۴ و ۲۰) با شباهت حدود ۹۳٪، کیفیت متوسط و نسبتاً دلخواه، و تأثیرپذیری کم‌تری از سامانه‌ی پخش سیلاب دارند. اندوخته‌های آبی در حاشیه‌ی بیرونی شبکه‌های پخش سیلاب و دور از سامانه‌ی آبخوان‌داری، شباهت کم‌تری با هم (حدود ۷۳٪)، و تأثیرپذیری کم‌تری نیز از طرح آبخوان‌داری دارند. بین EC و TDS سیلاب‌ها همبستگی کامل هست. هرچند تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان با سیلاب مناسب کیفیت آب زیرزمینی آبخوان را تعدیل کرده است، مدیریت نامناسب بهره‌برداری و برداشت بی‌رویه از آبخوان موجب تخریب کیفیت آب زیرزمینی، به‌ویژه در حاشیه‌ی و فراتر از محل مرکزی طرح آبخوان‌داری شده است.

کیفیت شیمیایی سیلاب بیش‌تر رودها و خشک‌رودها مناسب است. بنابراین توسعه‌ی طرح‌های آبخوان‌داری (اجرای طرح‌های پخش سیلاب، ساخت حوضچه‌های تغذیه، و ...) راه‌کاری برای مهار کردن، تعدیل کردن، و بهبود دادن کیفیت آب زیرزمینی آبخوان‌ها است. آموزش‌های پیوسته به بهره‌برداران (کشاورزان) هم برای بهره‌برداری کردن از اندوخته‌های آب، و هم برای رعایت کردن الگوی کشت متناسب با کیفیت اندوخته‌های آب دست‌رس‌شان، کارآیی و اثربخشی سامانه‌های آبخوان‌داری را در بهبود دادن کیفیت آب زیرزمینی

(شکل ۸). نتیجه‌های بررسی یون‌های آب زیرزمینی در محدوده‌ی اجرای طرح پخش سیلاب (غزای و همکاران ۲۰۱۲) نشان داد که غلظت یون‌ها در همه‌ی چاه‌ها در دوره‌ی بررسی افزایش یافت، اما افزایش غلظت یون‌ها در چاه‌های نزدیک به محل بسیار کم‌تر بود، که تأثیر نفوذ سیلاب بر بهبود کیفیت آب را بازگو می‌کند، و با نتیجه‌های این تحقیق منطبق است. هرچند برخی یافته‌های علمی نشان می‌دهد که نفوذ آب رودها به آبخوان‌ها در زمان سیلاب کیفیت آب زیرزمینی را تخریب کرده است (ساراتویید ۲۰۱۱). از این‌رو نتیجه‌های متفاوت این تحقیق می‌تواند این موضوع را روشن کند که تغذیه‌ی سیلاب‌های فصلی در منطقه‌های خشک به‌درون آبخوان‌هایی که مواد سازنده‌ی آن مخرب نباشد، موجب بهبود دادن کیفیت آب خواهد شد. دیگر بررسی‌ها نیز نشان می‌دهد که کیفیت ناخواسته‌ی آب زیرزمینی در آبخوان ناشی از ضخامت کم آبخوان و مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن مانند رس‌های سولفات‌سدیمی است (ملکیان و همکاران، ۲۰۱۶).

میانگین هدایت الکتریکی ۲۳ سیلاب رخ داده در رود بیشه‌زرد که از اندوخته‌های مهم آب سطحی موقتی برای تغذیه کردن آبخوان است $918/2 \mu\text{Scm}$ بود. بیش‌ترین مقدار متوسط یون‌های اصلی سیلاب به‌ترتیب در بی‌کربنات، کلر، و سدیم، و کم‌ترین مقدار در پتاسیم و سولفات بود. میان هدایت الکتریکی و مجموع جامدهای محلول سیلاب‌ها همبستگی کامل است (حسینی مرندي و همکاران ۲۰۱۴). جدول ضریب همبستگی نشان می‌دهد که همه‌ی متغیرها (جز بی‌کربنات) با هم رابطه‌ی معنادار قوی در تراز ۱٪ داشت. بنابراین، در این آبخوان همبستگی قوی بین هدایت الکتریکی و مجموع جامدهای محلول آب زیرزمینی (که عامل‌های مهم کیفیت آب زیرزمینی است) مشاهده شد. پژوهش‌های دیگری با تغییر هم‌زمان شوری (EC) و ارتفاع تراز سفره‌ی آب زیرزمینی (GH)، نشان می‌دهد که در آبخوان‌های شبیه به این آبخوان در منطقه‌ی خشک، در فاصله‌ی زمانی حدود یک هفته تا ۵۰ روز پس از رخداد سیلاب، در جاهایی با فاصله‌ی حدود ۲۰۰ m تا ۲ km از بستر رودیا محل تغذیه‌ی مصنوعی، امکان تشخیص دادن تداخل آب سطحی با زیرزمینی هست (حسینی مرندي و همکاران ۲۰۱۵).

نتیجه‌گیری

نتیجه‌های تجزیه‌تحلیل آخرین داده‌های کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی در ۱۳۹۹ علاوه بر تأیید کردن روند نامناسب

سیاس‌گذاری

از همکاری اداره‌ی کل منابع طبیعی و آبخیزداری فارس، که اعتبار این پژوهش را تامین کردند، از مدیریت مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، که آن را تصویب و از آن پشتیبانی مالی و اجرایی کردند، و از همکاران ایستگاه تحقیقاتی و آموزشی و ترویجی کوثر برای کمک در اجرای میدانی پژوهش سپاس‌گزار ام.

پایدارتر می‌کند. پیشنهاد می‌شود بهره‌برداران منطقه‌ی از آغاز در بررسی، طراحی، و اجرای طرح‌های آبخوان‌داری مشارکت داده شوند. آشنایی بهره‌برداران با کارکرد طرح آبخوان‌داری و آموزش دادن آن‌ها برای بهره‌برداری از اندوخته‌های آب آبخوان متناسب با کیفیت آب، موجب پایداری کیفی و حتی کمی آبخوان‌ها خواهد شد.

فهرست منابع

- Al-Otaibi M, Al-Senafy M. 2004. Re-charging aquifers through surface ponds. *Emirates Journal for Engineering Research*. 9(1): 21–27
- Ascott MJ, Goody DC, Wang L, Stuart ME, Lewis MA, Ward, RS, Binley AM. 2017. Global patterns of nitrate storage in the vadose zone. *Nature Communications*. 7 p. DOI, 10.1038/s41467-017-01321-w.
- Busico G, Cuoco E, Kazakis N, Colombani N, Mastrocicco M, Tedesco D, Voumouris K. 2018. Multivariate statistical analysis to characterize/discriminate between anthropogenic and geogenic trace elements occurrence in the Campania Plain, Southern Italy. *Environmental Pollution*. 234: 260 – 269.
- Cors Van Den B, Willem J, Bas Van Der G, Peter C, Jasper G. 2008. Using a groundwater quality negotiation support system to change land-use management near a drinking-water abstraction in the Netherlands. *Journal of Hydrology*. 350(3-4): 339 –356.
- Ehyaie A, Behbahanizadeh A. 1993. Description of soil chemical decomposition methods (Vol. I), Journal No. 893, Soil and Water Research Institute, 129 p. (In Persian).
- Fars Agricultural and Natural Resources Research Center. 2009. Groundwater consumption pattern optimization (Project Final Report). Shiraz. 98 p. (In Persian).
- Fars Agricultural and Natural Resources Research Center. 2021. Recharge assessment by integrated water balance at saturated and unsaturated zones in Gareh Bygone Plain (Project Final Report). Shiraz. 59 p. (In Persian).
- Fars Regional Water Company. 2006. Groundwater report of Shib-Kuh Plain(Fasa). 125 p. (In Persian).
- Freeze R, Cherry J. 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall Inc. USA(New Jersey). 624 p.
- Geological Survey of Iran. 2007. Geological Map (1:100000). Fasa Sheet. Tehran. (In Persian).
- Ghahari G, Pakparvar M. 2008. Effect of floodwater spreading and consumption on groundwater resources in Gareh-Bygone Plain. *Iranian Journal of Rang and Desert Research*. 14 (3):368–390. (In Persian).
- GhazaviR,Vali AB, Eslamian S. 2012. Impact of flood spreading on groundwater level variation and groundwater quality in an arid environment. *Water Resources Management*, 26:1651–1663. (In Persian).
- Hashemi H, Berndtsson R, Kompani-Zare M. 2012. Steady-state unconfined aquifer simulation of the Gareh-Bygone Plain, Iran. *The Open Hydrology Journal*, 6(1):

- 58–67
- Hashemi H. 2008. Quantitative estimation of recharge rate and effects of flood spreading on groundwater resources in Gareh-Bygone Plain of Fasa in Fars Province using MODFLOW software. Master Thesis in Desert Management. School of Agriculture. Shiraz University. 80 p. (In Persian).
- Hosseinimrandi H, Mahdavi M, Ahmadi H, Motamedvaziri B, Adelpur A. 2014. Assessment of groundwater quality monitoring network using cluster analysis, Shibkuh Plain, Shur Watershed, Iran. *Journal of Water Resources and Protection*. 06 (06): 618–624.
- Hosseinimrandi H, Mahdavi M, Ahmadi H, Motamedvaziri B, Adelpur A. 2015. Evaluation of groundwater changes in a shallow aquifer using time series analysis of groundwater head, electrical conductivity and temperature. *Rangeland and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*. 70 (3): 635–645. (In Persian).
- Khorsandi F, Vaziri J, Azizian A. 2010. Haloculture sustainable use of saline soil and water resources in agriculture. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRN-CID). 141. 322 p. (In Persian).
- Konrad M, Poštma D, Kowalczyk A. 2012. Variable infiltration and river flooding resulting in changing groundwater quality, A case study from Central Europe. *Journal of Hydrology*. 414 -415: 211 –219
- Malekian A, Razandi y, Kalighi Sh, Farokhzadeh B. 2016. Assessment of temporal and spatial changes of groundwater quality using hybrid Boolean, Fuzzy and Geostatistical, Case study: Varamin Plain. *Watershed Management Research*. 29 (2): 100–109. (In Persian).
- Milad H, Jalal M, Natarajan R. 2018. Impact of flash flood recharge on groundwater quality and its suitability in the Wadi Baysh Basin, Western Saudi Arabia: An integrated approach. *Environmental Earth Sciences*, Vol. 77. 395 p.
- SerreKawo N, Karuppanan S. 2018. Groundwater quality assessment using water quality index and GIS technique in Modjo River Basin, central Ethiopia, *Journal of African Earth Sciences*. 147: 300–311. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.06.034>.
- NiladriD, Prolay M, Ranajit G, Subhasish S. 2019. Groundwater quality assessment using multivariate statistical technique and hydro chemical facies in Birbhum District, West Bengal, India. *SN Applied Sciences*. 1(825). <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s42452-019-0841-5.pdf>.
- Okkonen J, Klove B. 2012. Assessment of temporal and spatial variation in chemical composition of groundwater in an unconfined Eesker aquifer in the cold temperate climate of northern Finland. *Cold Regions Science and Technology*. 71: 118–128.
- Omo I, Samuel B, Kehinde O, Joseph A. 2008. Surface and groundwater water quality assessment using multivariate analytical methods. A case study of the Western Niger Delta. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33: 666 – 673.
- Pakparvar M, Walraevens K, Cheraghi SAM, Ghahari G, Cornelis W, Gabriels D, Kowsar SA. 2017. Assessment of groundwater recharge influenced by floodwater spreading: an integrated approach with limited accessible data. *Hydrological Sciences Journal*. 62(1): 147– 164.
- Sandow M, Yidana P, Bawoyobie P, Sakyi O, Fiifi F. 2018. Evolutionary analysis of groundwater flow: Application of multivariate statistical analysis to hydrochemical data in the Densu Basin, Ghana. *Journal of African Earth Sciences*, 138: 167– 176.
- Sanchez-Pereza JM, Tremolieresb M. 2003.

- Change in groundwater chemistry as a consequence of suppression of floods. The Case of the Rhine Floodplain. *Journal of Hydrology*, 270: 89–104.
- Sarah T, Marc L, Ian C, Guillaume F, Christian L. 2011. Arid zone groundwater recharge and stalinitization processes an example from the Lake Eyre Basin. *Journal of Hydrology*. 408: 257–275.
- Scheibera L, Cendónbcd D, Iverachbcd P, Vázquez E, Kellycd J. 2020. Hydrochemical apportioning of irrigation groundwater sources in an alluvial aquifer. *Science of the Total Environment*. 744: 140 – 156.
- Srinivasa R, Prashant B, Ajit PS. 2015. Groundwater quality assessment in some selected area of Rajasthan, India Using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Tool. *Aquatic Procedia*. 4: 1023 – 1030.
- Stigter TY, Ribeiro L, Carvalho DA. 2006. Application of a groundwater quality index as an assessment and communication tool in Agro-Environmental Policies – Two Portuguese Case Studies. *Journal of Hydrology*. 327: 578–591.
- Sunil K, Vinay K, Mishra C, Lalverma N, Sharma A. 2020. Groundwater quality concern for wider adaptability of novel modes of managed aquifer recharge (MAR) in the Ganges Basin, *Agricultural Water Management*, Elsevier. 246 p.
- Todd DK. 1976 . *Groundwater Hydrology*. 2ed Edition. John Willey and Sons Inc. New York. 638 p.
- Vetrimurugan E, Vhonani G, Manivannan V, Rajmohan N, Elango L. 2020. Groundwater quality assessment and application of multivariate statistical analysis in Luvuvhu catchment, Limpopo, South Africa. *Journal of African Earth Sciences*. (171): <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103967>.
- Vahedi M, Masoodi M. 2018. Investigating the risk of degradation of groundwater resources using Iranian modification model assessing desertification potential in the Plains of Fars Province. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 8(4): 93 – 104. (In Persian).



Analysis of Groundwater Quality and Determination of its Main Chemical Factors in the Kowsar Aquifer Management Station

Hamid Hosseinimarandi

(Corresponding Author)* Assistant prof., Soil Conservation and Watershed Management department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Hojatolah Keshavarzi

M.Sc. Resources Research and Education Center Expert of Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Maryam Enayati

M.Sc. Resources Research and Education Center Expert M.Sc. Resources Research and Education Center Expert of Soil Conservation and Watershed Management department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Gholamali Nekuian

M.Sc. Resources Research and Education Center Expert of Kowsar Research, Education and Extension Station, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Fasa, Iran

*Corresponding Author's Email: hhmarand@gmail.com

Received: 15 September 2021

Accepted: 12 December 2021

Abstract

Groundwater samples were prepared from 20 wells in the Gareh Bygone aquifer during the 2018 to 2020 years seasonally. Chemical characteristics of these samples including EC, pH, TDS, TH, SAR, SO_4^{-2} , Cl^- , Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{2+} and HCO_3^- were analyzed. The average of water salinity was 4.7dS/m, the acidity was 7.5, the average SAR value is about 6.7 and in some wells, this factor is about 10.6. Analysis of variance shows that all chemical characteristics except HCO_3^- have a significant difference. The principal component analysis identifies TDS, SO_4^{-2} , HCO_3^- and Na as the most effective variables in reflecting groundwater quality. Factor analysis also shows high TH, Na^+ , and HCO_3^- . Aquifer water resources are divided into three separate groups. The first group (with 97% similarity) receives the most impact from floodwater spreading and artificial recharge, and the other two groups (with 93 and 70% similarity) are located in the marginal areas or outside the floodwater spreading system. Despite poor management and uncontrolled discharge of the aquifer, at least in the central parts of the aquifer, which are more affected by artificial recharge by floodwater spreading, groundwater quality is more desirable.

Keywords: Aquifer, chemical analysis, electrical conductivity, GarehBygone