

Spatial and Temporal Variations of Groundwater Quality Parameters in Qorveh- Dehgolan Plain and its Relationship with Drought

F Abasi¹, J. Farzadmehr², K. Chapi³, M. Bashiri⁴, M. Azarakhshi⁵

Abstract

In most regions of Iran the requisite water for population and industry is supplied by groundwater resources. Drought is an important factor, which affects groundwater quality. Demand for groundwater resources is increasing in Qorveh - Dehgolan plain due to its location and limited access to surface water resources. In this research, the effects of drought on water quality of wells in Qorveh – Dehgolan was studied. Water quality data in 38 wells for 21 years (1992 to 2013) were used to determine dry and wet periods the Standardized Precipitation Indexes (SPI) for 3, 6, 12 and 24 months' time scales. Using Mann-Kendall tests, the trends of ground water quality parameters were investigated and the relation between climatological drought and groundwater quality parameters was obtained using correlation coefficients. Study of correlation coefficients between quality parameters and SPI showed in 22.2% of the cases, drought affected groundwater quality (at 95% level). Correlation coefficients were positive in some wells and were negative in other wells. Also in most quality parameters, with increasing of SPI time scale, the rate of correlation was increased. The results of Mann-Kendall test showed that the most parameters of water quality had increasing trend and Cl^- , HCO_3^- and Mg^{2+} had negative trend in 60.53%, 60.53%, and 52.63% of wells, respectively. In addition, CO_3^{2-} had not trend in any wells. Zoning map of water quality showed that most reduction of groundwater quality happened in eastern part of the plain, because the groundwater level downfall in the mentioned part was higher than other parts.

Keywords: Qorveh –Dehgolan, Quality, Trend, Zoning.

Received: 2016/01/03
Accepted: 2016/08/23

تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت قروه و دهگلان و ارتباط آن با خشکسالی

فریده عباسی^۱، جلیل فرزادمهر^{۲*}، کامران چپی^۳، مهدی بشیری^۴، مریم آذرخشی^۵

چکیده

در بیشتر مناطق ایران آب مورد نیاز جوامع و صنعت از منابع زیرزمینی تامین می‌شود. خشکسالی از مهمترین فاکتورهای موثر بر کیفیت آب زیرزمینی است. تقاضای آب زیرزمینی در دشت قروه دهگلان به دلیل موقعیت آن و محدودیت دسترسی به آب‌های سطحی افزایش یافته است. در این تحقیق اثر خشکسالی بر کیفیت آب چاه‌های دشت قروه و دهگلان بررسی شد. از داده‌های کیفیت آب ۳۸ چاه در دوره آماری ۲۱ ساله (۱۳۹۲-۱۳۷۱) استفاده شده و برای تعیین دوره‌های ترسالی و خشکسالی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در پایه‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه بکار رفت. با استفاده از آزمون من-کندال روند تغییر پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی بررسی شده و رابطه بین خشکسالی اقلیمی و کیفیت آب زیرزمینی با ضریب همبستگی بدست آمد. بررسی ضرایب همبستگی نشان داد در ۲۲/۲٪ موارد، بین پارامترهای کیفیت در سطح اطمینان ۹۵٪ رابطه معنی‌داری با SPI وجود دارد. ضرایب همبستگی در برخی از چاه‌ها مثبت و در برخی منفی می‌باشد. نتایج نشان داد در مورد بیشتر پارامترهای کیفیت آب، با افزایش پایه زمانی SPI میزان همبستگی افزایش می‌یابد. نتایج آزمون من - کندال نشان داد بیشتر پارامترهای کیفیت آب روند افزایشی داشته و فقط Cl^- و HCO_3^- و Mg^{2+} به ترتیب در ۶۰/۵۳٪، ۶۰/۵۳٪ و ۵۲/۶۳٪ چاه‌ها روند منفی دارند و CO_3^{2-} نیز در هیچ یک از چاه‌ها روند نداشته است. نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت آب نشان داد بیشترین کاهش کیفیت آب در قسمت‌های شرقی دشت اتفاق می‌افتد، زیرا مقدار افت تراز آب در بخش‌های ذکر شده بیشتر از سایر قسمت‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، روند، قروه و دهگلان، کیفیت.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۱۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۰۲

1- MSc Student, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Torbat Heydarieh.

2, 4 and 5: Assistant Professor, Faculty of agriculture and Natural Resources, University of Torbat Heydarieh. E-mail: farzadm102000@yahoo.com.

3- Assistant Professor, Faculty of agriculture and Natural Resources, University of Kurdistan.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه.

۲، ۴ و ۵: استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربت حیدریه.

۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان.

* نویسنده مسئول

مقدمه

بهبود انجام می‌شود. عوامل مختلفی در تغییر کیفیت آب زیرزمینی دخیل می‌باشند که در مطالعات متعددی به آنها اشاره شده است. از جمله این عوامل می‌توان به اثر خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها و افت تراز آب زیرزمینی اشاره کرد. امینی و همکاران (۲۰۱۶) از روش من کندال برای تعیین روند غلظت یون فلوراید در آب‌های زیرزمینی لارستان و گراش استفاده کردند. نتایج نشان داد که در یک شهر و ۱۱ روستا غلظت فلوراید افزایش معنی‌داری داشته است. رستمی خلج و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت مشهد با استفاده از زمین آمار در دوره‌های خشک و مرطوب نشان دادند، پارامترهای کیفی مورد بررسی در دوره‌های مرطوب همبستگی مکانی بیشتری نسبت به دوره‌های خشک دارند. همچنین مناطق با کیفیت آب پایین در دوره‌های مرطوب ارتقای بیشتری می‌یابند. ژایمینگ و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی مکانی تراز آب زیرزمینی و بعضی پارامترهای شیمیایی مربوط به ۱۳۰ چاه واقع در دشت بهای^۱ در شمال کشور چین پرداختند. نتایج نشان داد تراز آب زیرزمینی از غرب به سمت شرق دشت دارای افت بوده و روند تغییرات TDS و EC به صورت افزایشی می‌باشد و بیشترین میزان TH مربوط به قسمت میانی و خط ساحلی دشت است. السی و پولات (۲۰۱۰) روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی سفره‌ی کارستی نزدیک شهر ازمیر ترکیه را با استفاده از نمونه‌های آب ۵۷ چاه بررسی کردند. نتایج نشان دادند که مقدار غلظت کلراید در فصول بارانی نسبت به فصل‌های خشک کاهش داشته است. نترات روند افزایشی و فسفات و سختی کل روند کاهشی را نشان دادند. کتاتا و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی روند تغییرات متغیرهای هیدروشیمیایی آب زیرزمینی و عوامل و پدیده‌های حاکم بر جنوب شرقی تونس نشان دادند میزان شوری و سایر متغیرهای شیمیایی در طول زمان روند کاهشی داشته است. یی دانا و همکاران (۲۰۱۰) کیفیت آب زیرزمینی حوضه کتا^۲ واقع در کشور غنا را با استفاده از روش‌های رگرسیون چندگانه و تحلیل مکانی بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که شوری، نترات و فلوراید آب زیرزمینی منطقه‌ی مذکور غلظت بالایی داشته و علت آن را پیشروی آب دریا، تزریق فاضلاب خانگی و زه آب

ایران در منطقه‌ی خاورمیانه واقع شده است و از نظر بارندگی جزء مناطق کم‌بارش محسوب می‌شود. با وجود نوسانات شدید مقدار بارش در مناطق مختلف کشور، خشکسالی از جمله بلایای طبیعی است که هر ساله اثرات زیانباری را بر بخش کشاورزی و اقتصادی آن تحمیل می‌نماید (علوی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۰). یکی از منابع مهم تأمین آب شیرین مورد نیاز انسان آب زیرزمینی می‌باشد که بعد از یخچال‌ها و یخ پهنه‌ها بزرگ‌ترین ذخیره آب شیرین زمین را تشکیل می‌دهد (تاد و میز، ۲۰۰۵). آب‌های زیرزمینی برای مقاصد مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند، برای مثال آب آشامیدنی بیش از ۹۰٪ شهرها و حدوداً ۴۰٪ نیاز بخش کشاورزی در سراسر جهان از این منبع تأمین می‌شود (عرفان منش و افیونی، ۱۳۸۵). برخلاف بسیاری از منابع آب سطحی، آب زیرزمینی طبیعی دارای مقدار کمی از مواد جامد معلق، غلظت کمی از باکتری و ویروس و اغلب حاوی غلظت ناچیزی از نمک‌های معدنی محلول می‌باشد. این ویژگی‌ها آب زیرزمینی را به یک منبع ایده‌آل برای حیات بشری تبدیل می‌کند. بنابراین خطرات ناشی از آلودگی آب زیرزمینی و حفاظت آن از آلودگی، خود دلیل مهم دیگری در مطالعه آب زیرزمینی است (طاهری تیزرو، ۱۳۸۴). همچنین وقوع خشکسالی‌ها و بارش‌های شدید مهم‌ترین عواملی هستند که قابلیت آب زیرزمینی را در کوتاه‌مدت و بلندمدت متأثر می‌سازند (پاندا و همکاران، ۲۰۰۷). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کاهش سطح ایستابی آب زیرزمینی و تنزل کیفیت شیمیایی آن (در اثر افزایش غلظت املاح) در ایجاد شوری ثانویه خاک، شوری آب‌های سطحی، کاهش باروری خاک‌ها و غیره، نقش اساسی دارد (مالینز و مترنیچت، ۲۰۰۶). این پدیده‌ها که شوری منابع آب و خاک را در پی دارند، از عوامل مؤثر در بیابانی شدن مناطق مختلف جهان می‌باشند (عبدی‌نژاد، ۱۳۸۷). از این رو برای مدیریت و برنامه‌ریزی پایدار منابع آب و خاک در نواحی که در معرض خطر شوری قرار دارند، پایش مکانی تغییر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی در مواقع خشکسالی و ترسالی ضروری به نظر می‌رسد. به این ترتیب با شناخت این تغییرات و پیامدهای ناشی از آن، بویژه در صورت وقوع خشکسالی با برنامه‌ریزی صحیح، بهره‌برداری از منابع آب به طور اصولی و

1 - Bohai
2 - Keta basin

کشاورزی به خاک دانستند. واهلین و گریموال (۲۰۰۹) روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی سفره‌ی سویدیش^۱ جنوب سوئدان را با روش ناپارامتری من- کندال مطالعه کردند. نتایج حاکی از وجود روند کاهش در مقدار غلظت یون سولفات بود ولی در غلظت یون‌های قلیایی روندی مشاهده نشد. هوبن و همکاران (۲۰۰۹) کیفیت آب زیرزمینی را در حوضه‌ی آبریز کابل در دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ بررسی کردند. آنها نشان دادند که سختی و شوری آب زیرزمینی در این ناحیه بالا بوده و وقوع خشکسالی متمادی آن را تشدید کرده بود. ابارشی و همکاران (۱۳۹۳) روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت زرین‌گل را بررسی کرده و نتایج نشان داد روند تغییرات غلظت بیشتر متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در این دشت رو به افزایش بوده و کیفیت آب رو به کاهش است. بیشترین روند مثبت مربوط به EC می‌باشد. یعقوبی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی میزان شوری دشت موسیان و ارتباط آن را با افت تراز آب‌های زیرزمینی نشان دادند که افت آب زیرزمینی سبب افزایش مقدار EC شده است، مخصوصاً در چاه‌هایی که در قسمت جنوبی منطقه قرار گرفته‌اند، میزان شوری و کلر و EC آنها افزایش یافته است. ایشان عوامل تأثیرگذار بر کیفیت نامطلوب آب‌های زیرزمینی دشت موسیان را بارش بسیار کم در منطقه، خشکسالی‌های پی در پی و در نهایت وجود سازندهای تخریبی آجاجاری دانستند. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۹۲) تأثیر افت سطح ایستابی بر کیفیت آب زیرزمینی دشت مرند در استان آذربایجان شرقی را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی برای آب مورد نیاز کشاورزی بررسی کردند. در این پژوهش، دوره‌های متوالی خشکسالی هیدروژئولوژی با استفاده از شاخص خشکسالی SWI در ۶ بازه زمانی (۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه) بررسی شد. نتایج بررسی خشکسالی آب‌های زیرزمینی نشان داد که خشکسالی آب‌های زیرزمینی به طور تصادفی در منطقه رخ نداده و تمرکز آن در غرب آبخوان بیش از شرق آن بوده است. بررسی مقادیر کیفیت آب برای مصارف کشاورزی بر مبنای دیاگرام ویلکوکس نشان داد که در خشکسالی هیدروژئولوژیک ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ حدود ۴۴٪ آب‌های زیرزمینی دشت مرند دارای کیفیت خیلی شور می‌باشند. دانشور وثوقی و دین پژوه (۱۳۹۱) روند تغییرات

کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل را بررسی کردند و نشان دادند که روند تغییرات غلظت تمام متغیرهای کیفی مورد بررسی آب در همه‌ی ایستگاه‌ها افزایشی بوده است. زارعی و همکاران (۱۳۹۱) در ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت قروه در طول ۸ سال (۸۷-۱۳۸۰) دریافتند که وجود عواملی چون ورود آب‌های شور و آب‌های سطحی، عوامل زمین‌شناسی و ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی آبخوان نقش مهمی در کیفیت آب زیرزمینی دشت قروه دارند. صیف و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت فسا را با استفاده از شاخص‌های معیار شده، منابع آب زیرزمینی و قابلیت هدایت الکتریکی معیار شده ارزیابی کردند. نتایج نشان داد شاخص SPI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه‌ی بدون تأخیر زمانی، با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص SESI^۲ رابطه‌ی معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد دارد، که تأثیرپذیری مستقیم کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه را از خشکسالی در این دشت تأیید می‌کند. کرمی و کاظمی (۱۳۹۱) تغییرات کیفیت شیمیایی و شوری آب‌های زیرزمینی را در مواقع حداکثرهای اقلیمی (خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها) در دشت تبریز بررسی نمود. نتایج این مطالعه نشان داد که میزان آب-های زیرزمینی شور و خیلی شور در دشت تبریز در سال شاخص خشکسالی ۲۸/۲ درصد و آب‌های زیرزمینی با قلیائیت زیاد ۲۵/۳۵ درصد بوده در حالی که در سال شاخص ترسالی آب‌های زیرزمینی شور و خیلی شور ۱۸/۱۵ درصد و با قلیائیت زیاد ۴/۹۲ درصد آب‌های زیرزمینی را تشکیل می‌دهند. مقدم و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب دشت مشهد نشان دادند که در سال مرطوب با کاهش قابل توجه در غلظت مواد محلول در آب، میزان TDS و pH کاهش قابل توجهی داشته‌اند. اکرامی و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی روند تغییرات کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان در دهه ۸۸-۱۳۷۹ نشان دادند که با افزایش تکرار خشکسالی و افت شدید سفره آب زیرزمینی، کیفیت آب زیرزمینی، خصوصاً در بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ دارای روند نزولی بوده است. نتایج نشان داد که در ۵۰ سال اخیر، تکرار وقوع خشکسالی اقلیمی در دهه اخیر نسبت به چهار دهه گذشته، ۴ برابر شده است و با تکرار خشکسالی و افت شدید

2 - Standardized electrical conductivity index

1 -Swedish

نوع بازالت و آندریت در منطقه شده است. در نیمه جنوبی فعالیت ماگمایی گاهی به صورت فوران‌های زیردریایی صورت گرفته و نتیجه آن سنگ‌های بازالت، اسپیلیت، آندزیت و گاهی ریولیت همراه با آهک و شیل است. طبقات زمین‌شناسی در دشت دهگلان از رسوبات عهد حاضر و تشکیلات زمین‌شناسی متعلق به دوران قدیم به وجود آمده است. این دشت از غرب به ارتفاعات ماسه سنگ قرمز و آهک‌های دولومیتی دوران اول، از شرق به آهک‌های دولومیتی و از شمال و شمال شرقی به تشکیلات پلیو-پلئستوسن و از جنوب به تشکیلات آذرین درونی و دگرگونی محدود شده و توسط ارتفاعات بی‌خیر از دشت قروه جدا می‌گردد. حداقل و حداکثر دمای آن به ترتیب ۲۳- و ۴۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میانگین رطوبت نسبی سالانه ۴۵٪ و حداکثر تبخیر در تیرماه به بیش از ۳۵۰ میلی-متر می‌رسد. اراضی دشت قروه و دهگلان غالباً جزء اراضی قابل کشت می‌باشند. خاک این اراضی از نظر آبیاری و زراعت دارای استعداد و قابلیت زیادی بوده و کشت انواع گیاهان زراعی بومی با هزینه کم عملکرد خوبی دارد. این اراضی دارای خاک‌های سطحی عمیق با بافت متوسط تا سنگین و قدرت نگهداری آب زیاد می‌باشند. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

تهیه و آماده سازی داده‌ها

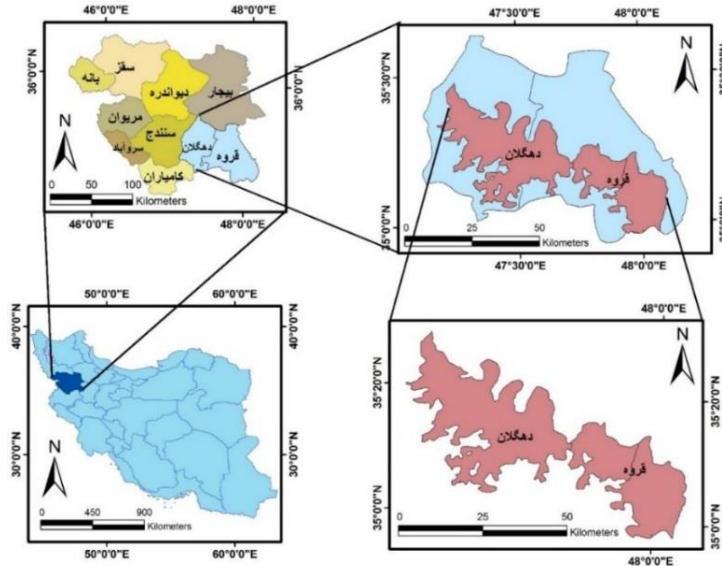
برای انجام این تحقیق از داده‌های بارش ماهانه هفت ایستگاه هواشناسی (جدول ۱) و داده‌های سالانه کیفیت آب زیرزمینی چاه‌های موجود در دشت قروه و دهگلان استفاده شد که این آمار از شرکت آب منطقه‌ای کردستان اخذ شده است. دوره مشترک آماری ۲۱ سال (۱۳۷۱ تا ۱۳۹۲) می‌باشد. برای بررسی صحت داده‌های بارش از آزمون جرم مضاعف و برای بازسازی نواقص آماری ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های کیفیت آب چاه‌ها از روش نسبت نرمال استفاده شد.

سفره آب زیرزمینی، کیفیت آب زیرزمینی دارای روند نزولی بوده و اکثر پارامترهای کیفی آن شامل EC، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Cl^- ، HCO_3^- ، TH و pH افزایش یافته است.

وقوع خشکسالی‌های اخیر، افزایش فعالیت‌های کشاورزی، دامداری و صنعتی و همچنین افزایش جمعیت به خصوص در ۱۰ سال اخیر باعث افزایش مصرف آب و در نتیجه کاهش ذخایر آب زیرزمینی و بیلان منفی سفره‌های آب دشت-های قروه و دهگلان شده است. لازمه اعمال مدیریت صحیح، شناخت وضعیت کمی و کیفی آب زیرزمینی و شناخت عوامل اثرگذار و میزان تأثیر این عوامل بر کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد. از جمله عواملی که هم بر کمیّت و هم بر کیفیّت منابع آب زیرزمینی اثر می‌گذارد میزان بارش و تغییرات آن در طی سال‌های مختلف است لذا این تحقیق بنا دارد که تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت‌های قروه و دهگلان را بررسی نماید و مناطقی که بیشتر در معرض تغییرات کیفیت آب زیرزمینی می‌باشند را مشخص نماید.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد تحقیق: دشت قروه و دهگلان با متوسط بارندگی سالانه ۳۵۲ میلی‌متر و اقلیم نیمه‌خشک و سرد، در شرق شهرستان سنندج و شمال غربی همدان بین طول‌های جغرافیایی $47^{\circ} 14' 42''$ تا $48^{\circ} 04' 06''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ} 06' 21''$ تا $35^{\circ} 20' 09''$ عرض شمالی قرار دارد و از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای جزء زون ساختاری-زمین‌شناسی سنندج-سیرجان می‌باشد. ارتفاعات جنوب دشت قروه متشکل از سنگ‌های دگرگونی از نوع شیست، مرمر، آمفیبولیت و گنیس همراه با توده‌های آذرین با ترکیبات مختلف می‌باشد و نیز شدت نیروهای تکتونیکی در قسمت‌های شمال منطقه کم‌تر از قسمت‌های جنوبی می‌باشد. در نیمه‌شمالی دشت، از فاصله میوسن تا ابتدای کواترنر فعالیت‌های ماگمایی موجب تشکیل سازندهای آتشفشانی از



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت قروه و دهگلان.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه.

ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)	ارتفاع از سطح دریا (m)
بلبان‌آباد	تبخیرسنجی	۳۸۹۱۴۹۳	۷۱۱۴۲۴	۲۰۳۵
دوسر	تبخیرسنجی	۳۸۸۸۲۸۲	۲۲۹۰۰۵	۱۸۳۸
حسن‌آباد	باران‌سنجی	۳۹۲۴۹۰۷	۷۴۴۰۹۱	۱۷۰۰
خسروآباد	تبخیرسنجی	۳۹۳۴۲۰۲	۷۳۷۵۶۸	۱۸۷۹
صلوات‌آباد	باران‌سنجی	۳۹۱۲۴۶۷	۶۹۵۱۸۹	۲۱۳۰
قروه	باران‌سنجی	۳۹۹۵۳۳۰	۷۵۵۵۵۶	۱۹۲۵
ناصرآباد	تبخیرسنجی	۳۹۰۸۵۱۴	۷۲۸۱۰۹	۱۷۹۹

که در آن α پارامتر شکل، β پارامتر مقیاس، X مقدار بارندگی و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما بوده و از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$\Gamma(\alpha) = \int y^{-1} e^{-y} dy \quad [2]$$

چون تابع گاما برای $X=0$ (بارندگی صفر میلی‌متر) تعریف نشده است و توزیع بارندگی ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، تابع احتمال تجمعی که در برگزیده مقادیر صفر هم باشد از رابطه ۳ دست می‌آید:

$$H(X) = q + (1 - q)G(X) \quad [3]$$

که در آن q احتمال صفر بودن مقدار بارندگی می‌باشد. تغییر شکل احتمالی تابع تجمعی گاما به متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z (یا SPI) با میانگین صفر و واریانس یک صورت می‌گیرد. برای دستیابی راحت‌تر به مقادیر Z یا SPI از تقریب آبراموویتز و استگان (۱۹۶۵) استفاده می‌شود (رابطه ۴).

وضعیت خشکسالی و ترسالی دشت قروه و دهگلان با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده SPI^1 در ۴ پایه زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه با استفاده از نرم‌افزار DIP^2 (میرزایی و همکاران ۱۳۹۴) مشخص شد.

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

این شاخص که توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) ارائه شده، فقط از داده‌های بارندگی ماهانه استفاده می‌کند و برای تشخیص کمبود مقدار بارندگی در مقیاس‌های زمانی چندگانه طراحی شده است. شرط استفاده از شاخص SPI برآزش داده‌های بارش با توزیع گاما می‌باشد (بذرافشان، ۱۳۸۱). تابع چگالی احتمال توزیع گاما به صورت زیر تعریف شده است.

$$g(x) = \frac{1}{B \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot X^{-1} \cdot e^{-x/B} \quad [1]$$

1 - Standardized Precipitation Index
2- Drought Indices Package

روند کیفیت آب زیرزمینی استفاده شده است (ابارشی و همکاران، ۱۳۹۳ و امینی و همکاران ۲۰۱۶). در آزمون من-کندال هر مقدار در سری زمانی، پیوسته و پشت سر هم، با بقیه مقادیر سری مقایسه می‌شود. برای آزمون من-کندال نخست باید مقدار S را، که جمع شمارش‌ها را نشان می‌دهد، مشخص کرد. رابطه ۷:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sgn}(X_k - X_i) \quad [7]$$

که در آن X_i و X_k مقادیر پشت سر هم سری زمانی‌اند. n طول دوره آماری، و $\text{sgn}(\theta)$ نیز برابر است با ۱، صفر، و -۱. نتیجه آزمون Z بر اساس رابطه ۸ ارزیابی می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \rightarrow S > 0 \\ 0 \rightarrow S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \rightarrow S < 0 \end{cases} \quad [8]$$

که در آن $\text{Var}(S)$ از رابطه ۹ به دست می‌آید:

$$\text{Var}(s) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad [9]$$

که در آن t_p تعداد مقادیر مشابه برای مقدار P ام و q تعداد مقادیر مشابه در سری است. در یک آزمون دو دامنه‌ای برای روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در حالتی پذیرفته می‌شود که رابطه ۱۰ برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z\alpha/2 \quad [10]$$

که α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و $Z\alpha$ آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون از $\alpha/2$ استفاده شده است. چنانچه $Z > 0$ روند مثبت و چنانچه $Z < 0$ روند داده‌ها منفی است. در این تحقیق سطوح معنی‌داری ۵٪ و ۱٪ مورد استفاده قرار گرفته است. برای برآورد شیب واقعی خط روند (میزان تغییر در هر سال) از روش ناپارامتری سن^۱ استفاده شده است. در این روش خط روند دارای معادله به شرح رابطه ۱۱ می‌باشد:

$$F(t) = Qt + B \quad [11]$$

در رابطه اخیر Q شیب خط و B مقدار ثابت می‌باشد. مقدار Q از رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود:

$$Z = \text{SPI} = \pm \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad [4]$$

برای $0 < H(X) \leq 0.5$ از رابطه ۵ و برای $0.5 < H(X)$ از رابطه ۶ استفاده می‌شود.

$$t = \sqrt{\text{Ln} \left[\frac{1}{(H(X))^2} \right]} \quad [5]$$

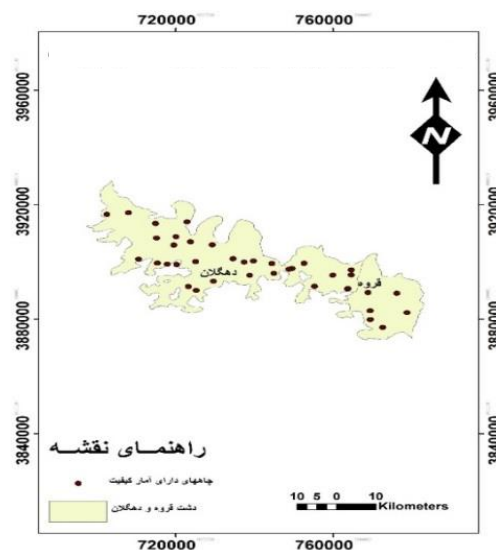
$$t = \sqrt{\text{Ln} \left[\frac{1}{(1.0 - H(X))^2} \right]} \quad [6]$$

ثابت‌های معادله عبارتند از:

$$\begin{aligned} C_0 &= 2.515517 & C_1 &= 0.802853 & C_2 &= 0.010328 \\ d_1 &= 1.432788 & d_2 &= 0.189269 & d_3 &= 0.001308 \end{aligned}$$

پارامترهای کیفیت آب

پارامترهای کیفی مورد بررسی در این تحقیق شامل Na^+ ، Mg^{+2} ، K^+ ، Na^+ ، Ca^{+2} ، CO_3^{-2} ، HCO_3^- ، Cl^- ، SO_4^{-2} ، مجموع آنیون‌ها، مجموع کاتیون‌ها، EC، pH، TH، SAR، TDS می‌باشد. تعداد چاه‌های مورد بررسی ۳۸ حلقه می‌باشد. شکل ۲ موقعیت چاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی چاه‌های مورد بررسی در دشت قروه و دهگلان.

تحلیل روند پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

یکی از روش‌هایی که در بررسی وجود یا عدم وجود روند جهت تحلیل سری‌های زمانی داده‌های هیدرولوژیکی به کار گرفته می‌شود استفاده از آزمون‌های آماری می‌باشد. آزمون من-کندال جزو متداول‌ترین آزمون ناپارامتری تعیین روند داده‌ها می‌باشد. در مطالعات مختلف از این آزمون برای تعیین

1 - Sen's method

نتایج

فراوانی وقوع وضعیت‌های خشکسالی و ترسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص SPI در چهار پایه زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است.

ضریب همبستگی بین پارامترهای کیفیت آب و شاخص بارش استاندارد شده در پایه‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه محاسبه شد. درصد فراوانی همبستگی معنی‌دار در سطح ۵٪ بین پارامترهای کیفیت آب و شاخص SPI در پایه‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه در چاه‌های مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد بیشترین درصد ضریب همبستگی معنی‌دار بین پارامترهای کیفیت و شاخص خشکسالی به ترتیب مربوط به SPI24، SPI12، SPI6 و SPI3 است. یعنی هر چه پایه زمانی خشکسالی بزرگتر در نظر گرفته شود اثر آن بر کیفیت آب زیرزمینی بیشتر است. بر اساس نتایج این جدول پتاسیم و pH به ترتیب در ۵۲/۶۳٪ و ۷/۸۹٪ موارد با خشکسالی همبستگی معنی‌دار دارند، لذا پتاسیم بیشتر تحت تاثیر خشکسالی و pH کمتر تحت تاثیر خشکسالی قرار می‌گیرند. در بررسی همبستگی پارامترهای کیفی آب با شاخص SPI، هر پارامتر در تعدادی از چاه‌ها دارای ضریب همبستگی معنی‌دار با SPI می‌باشد. در بعضی از چاه‌ها این ضریب مثبت و در بعضی منفی می‌باشد. درصد فراوانی بیشترین ضریب همبستگی معنی‌دار مثبت و منفی بین SPI و پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در جدول ۴ آورده شده است.

$$Q = \frac{X_j - X_k}{j - k} \quad [12]$$

وضعیت روند مثبت، منفی یا بدون روند پارامترهای کیفیت آب مورد نظر در چاه‌های مورد مطالعه مشخص شد و در نهایت، با استفاده از نرم‌افزار GIS و روش IDW^۱ پهنه‌های دارای روند مثبت یا منفی یا بدون روند مشابه مشخص شده است. استفاده از روش IDW به دلیل سرعت بالای تجزیه و دقت قابل قبول، در تجزیه و تحلیل مسائل آب‌های زیرزمینی رایج است (ویو و همکاران، ۲۰۰۵، اشرفی و اشرفی، ۲۰۱۳). این روش با وزن-دهی به داده‌های اطراف نقطه‌ی مورد برآورد کمیّت مجهول را به دست آورده و درون‌یابی را انجام می‌دهد همچنین فرض می‌شود که نقاط نزدیک به یکدیگر شباهت بیشتری نسبت به نقاط دورتر دارند. بنابراین نقاط نزدیک‌تر دارای وزن بیشتری هستند (ایساک و سریواستوا، ۱۹۸۹). معادله این روش به صورت رابطه ۱۳ می‌باشد (جین و آندریو، ۲۰۰۸). [۱۳]

$$\lambda_i = \frac{\frac{1}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}}$$

که در آن d_i فاصله میان X_i و X_0 : p: توان پارامتر و n تعداد کل نمونه‌ها می‌باشد.

برای تعیین رابطه بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی از ضریب همبستگی استفاده شد. ضریب همبستگی بین SPI در چهار پایه زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه و پارامترهای کیفی آب با استفاده از نرم‌افزار SPSS20 محاسبه شد.

جدول ۲- میانگین فراوانی وقوع وضعیت‌های خشکسالی و ترسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI.

ایستگاه	خشکسالی بسیار شدید٪	خشکسالی شدید٪	خشکسالی متوسط٪	نرمال٪	ترسالی متوسط٪	ترسالی شدید٪	ترسالی بسیار شدید٪
بلبان‌آباد	۳/۱۵	۴/۵۷	۸/۹۴	۶۷/۳۸	۹/۵۵	۵/۵۹	۰/۸۱
دوسر	۰/۶۱	۲/۴۴	۶۰/۴۰	۷۵/۵۱	۷/۴۲	۳/۷۶	۳/۸۶
قروه	۰/۹۱	۳/۲۵	۸/۱۳	۶۸/۹۰	۹/۶۵	۵/۱۸	۳/۹۶
حسن‌خان	۰/۹۱	۳/۹۶	۷/۸۳	۶۸/۰۹	۱۰/۳۷	۵/۸۹	۲/۹۵
خسروآباد	۱/۵۲	۳/۹۶	۷/۱۱	۷۳/۹۸	۶/۰۰	۳/۰۵	۴/۳۷
ناصرآباد	۳/۶۶	۳/۳۵	۴/۹۸	۷۳/۵۸	۸/۲۳	۳/۷۶	۲/۴۴
صلوات‌آباد	۴/۱۷	۲/۲۴	۷/۹۳	۶۹/۷۲	۸/۲۳	۵/۷۹	۱/۹۳

1-Inversre Distance Weighted

جدول ۳- درصد فراوانی همبستگی معنی دار در سطح ۵٪ بین پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی و شاخص SPI در پایه‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه.

پارامترهای کیفی	SPI ₃	SPI ₆	SPI ₁₂	SPI ₂₄	جمع
SO ₄ ²⁻	۷/۸۹	۲/۶۳	۷/۸۹	۲/۶۳	۲۱/۰۴
Cl ⁻	۲/۶۳	۵/۲۶	۵/۲۶	۱۰/۵۳	۲۳/۶۸
HCO ₃ ⁻	۷/۸۹	۵/۲۶	۷/۸۹	۱۰/۵۳	۳۱/۵۷
CO ₃ ²⁻	۵/۲۶	۰/۰۰	۵/۲۶	۲/۶۳	۱۳/۱۵
Anion	۵/۲۶	۵/۲۶	۱۰/۵۳	۱۳/۱۶	۳۴/۲۰
pH	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۷/۸۹	۷/۸۹
TDS	۵/۲۶	۷/۸۹	۷/۸۹	۵/۲۶	۲۶/۳۰
TH	۰/۰۰	۵/۲۶	۵/۲۶	۲/۶۳	۱۳/۱۵
SAR	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۶۳	۱۰/۵۳	۱۴/۱۵
EC	۲/۶۳	۷/۸۹	۷/۸۹	۵/۲۶	۲۳/۶۷
Na%	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۳/۱۶	۱۳/۱۶
K ⁺	۵/۲۶	۱۸/۴۲	۱۸/۴۲	۱۰/۵۳	۵۲/۶۳
Na ⁺	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۶۳	۱۰/۵۳	۱۳/۱۶
Mg ²⁺	۷/۸۹	۱۰/۵۳	۲/۶۳	۵/۲۶	۲۶/۳۱
Ca ²⁺	۲/۶۳	۷/۸۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۰/۵۲
Cation	۵/۲۶	۱۰/۵۳	۱۰/۵۳	۵/۲۶	۳۱/۵۸
میانگین	۳/۶۲	۵/۴۳	۵/۹۲	۷/۲۴	۲۲/۲۱

جدول ۴- درصد فراوانی بیشترین ضرایب همبستگی معنی دار مثبت و منفی بین SPI و پارامترهای کیفی آب زیرزمینی.

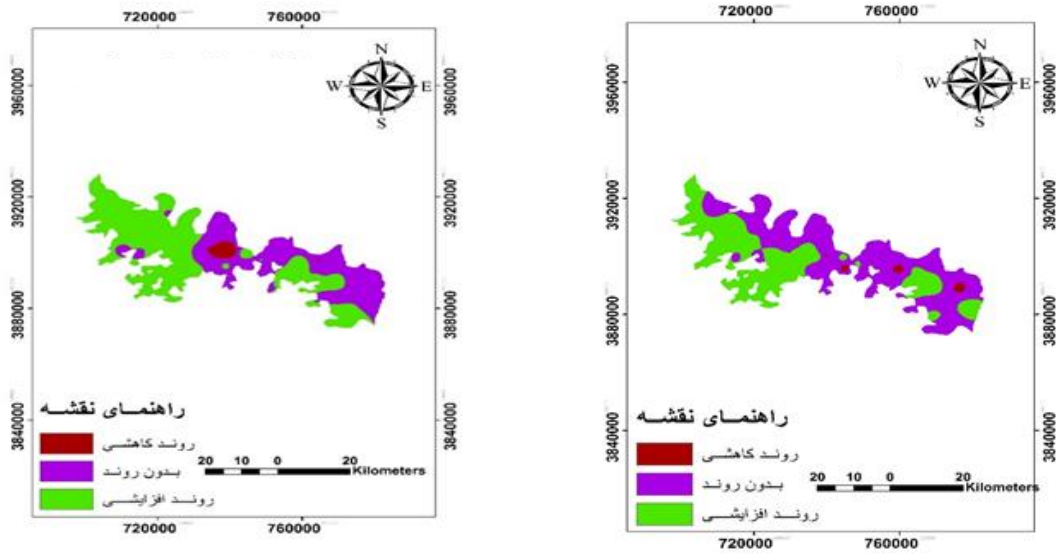
پارامتر	درصد فراوانی چاه‌های دارای همبستگی مثبت	درصد فراوانی چاه‌های دارای همبستگی منفی
SO ₄ ²⁻	۱۰/۵۳	۰/۰۰
Cl ⁻	۱۸/۴۲	۲/۶۳
HCO ₃ ⁻	۷/۸۹	۵/۲۶
CO ₃ ²⁻	۷/۸۹	۰/۰۰
Anion	۱۵/۷۹	۷/۸۹
pH	۵/۲۶	۲/۶۳
TDS	۱۸/۴۲	۲/۶۳
TH	۱۰/۵۳	۲/۶۳
SAR	۰/۰۰	۱۰/۵۳
EC	۱۳/۱۶	۲/۶۳
Na%	۲/۶۳	۱۰/۵۳
K ⁺	۱۵/۷۹	۱۰/۵۳
Na ⁺	۲/۶۳	۱۰/۵۳
Mg ²⁺	۵/۲۶	۷/۸۹
Ca ²⁺	۱۰/۵۳	۰/۰۰
Cation	۱۰/۵۳	۵/۲۶

جدول ۵ درصد فراوانی چاه‌هایی را که در مورد هر پارامتر کیفیت دارای روند کاهشی، افزایشی یا بدون روند بوده نشان می‌دهد. نتایج جدول ۵ نشان داد که غلظت HCO_3^- و Cl^- در ۶۰/۵۳ (بیشترین) درصد از چاه‌ها و Mg^{2+} در ۵۲/۶۳ درصد از چاه‌ها دارای روند کاهشی و CO_3^{2-} در هیچکدام از چاه‌ها روند کاهشی نداشته است. غلظت SO_4^{2-} در ۵۵/۲۶ (بیشترین) درصد از چاه‌ها و Na^+ در ۵۰ درصد و پارامترهای Cl^- و pH در ۵/۲۶ (کمترین) درصد از چاه‌ها دارای روند افزایشی می‌باشد. پارامتر CO_3^{2-} در ۶۸/۴۲ درصد و HCO_3^- و TH در ۲۳/۶۸ درصد از چاه‌ها بدون روند است.

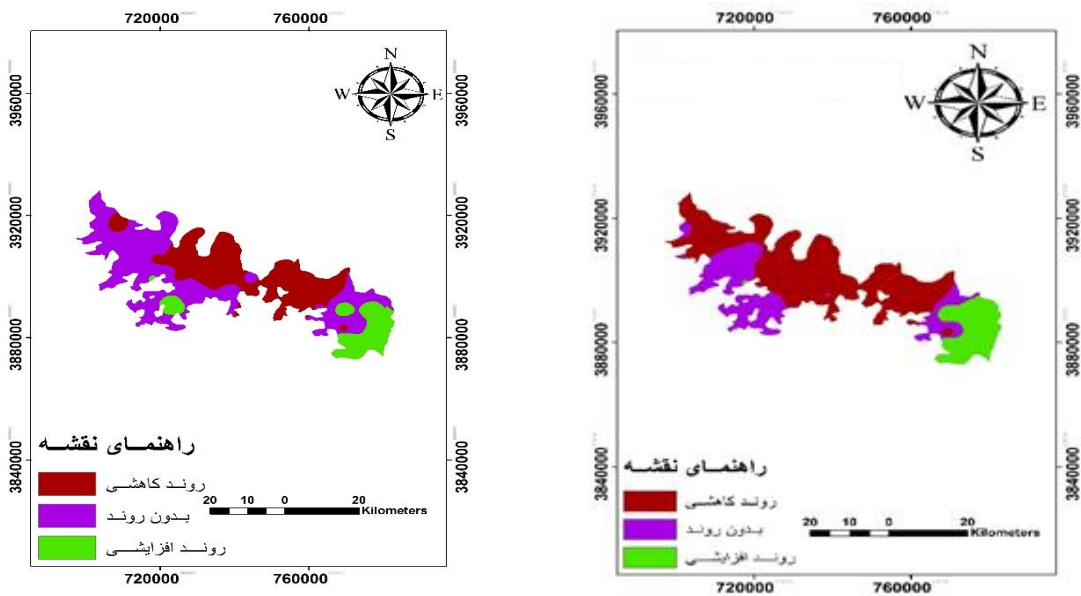
جدول ۵ - درصد فراوانی چاه‌های دارای روند کاهشی، افزایشی و بدون روند از نظر پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی دشت قره و دهگلان از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۲.

پارامتر کیفی	درصد فراوانی روند کاهشی	درصد فراوانی روند افزایشی	درصد فراوانی بدون روند
SO_4^{2-}	۱۰/۵۳	۵۵/۲۶	۳۴/۲۱
Cl^-	۶۰/۵۳	۵/۲۶	۳۴/۲۱
HCO_3^-	۶۰/۵۳	۱۳/۱۶	۲۳/۶۸
CO_3^{2-}	۰/۰۰	۲۸/۹۵	۶۸/۴۲
Anion	۴۲/۱۱	۲۱/۰۵	۳۶/۸۴
pH	۴۲/۱۱	۵/۲۶	۵۲/۶۳
TDS	۴۷/۳۷	۲۱/۰۵	۳۱/۵۷
TH	۴۷/۳۷	۲۸/۹۵	۲۳/۶۸
SAR	۱۳/۱۶	۴۲/۱۱	۴۴/۷۴
EC	۴۷/۳۷	۲۱/۰۵	۳۱/۵۷
Na%	۱۸/۴۲	۴۷/۳۷	۳۴/۲۱
K	۱۰/۵۳	۳۱/۵۸	۵۷/۸۹
Na^+	۱۰/۵۳	۵۰/۰۰	۳۹/۴۷
Mg^{2+}	۵۲/۶۳	۱۸/۴۲	۲۸/۹۵
Ca^{2+}	۲۸/۹۵	۲۶/۳۲	۴۴/۷۴
Cation	۴۲/۱۱	۲۶/۳۲	۲۸/۹۵

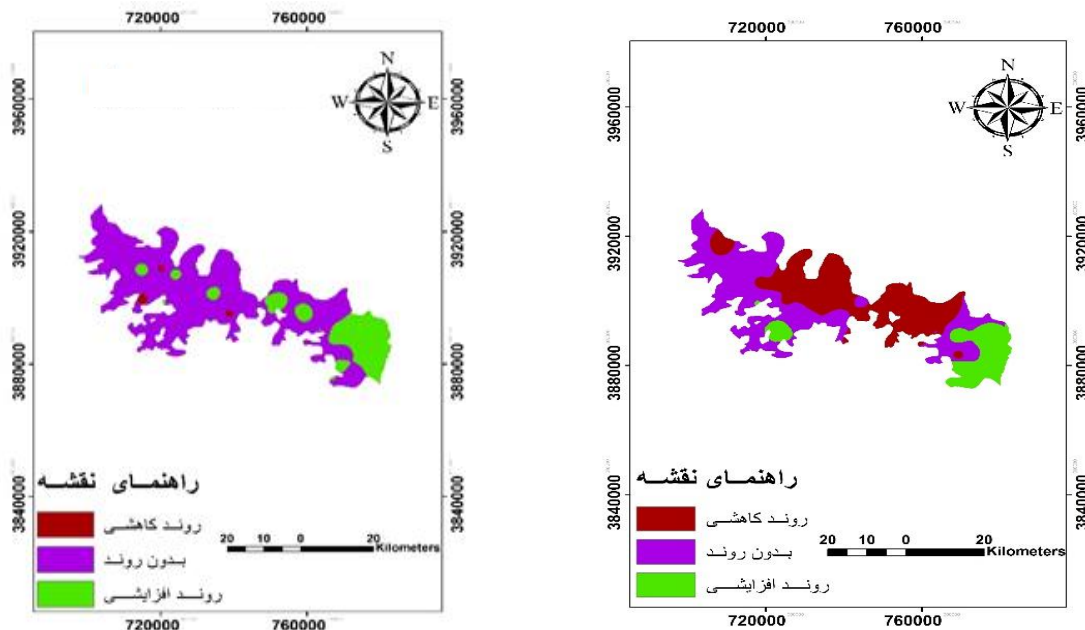
نقشه‌های پهنه‌بندی روند تغییرات مربوط به هر پارامتر کیفی آب تهیه شد. به عنوان نمونه نقشه پهنه‌بندی ۳ و ۴ و ۵ نشان داده شده است.



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی روند تغییرات SO_4^{2-} و Na^+ در آب‌های زیرزمینی قروه و دهگلان.



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی روند تغییرات EC و HCO_3^- در آب‌های زیرزمینی قروه و دهگلان.



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی روند تغییرات TDS و K^+ در آب‌های زیرزمینی قروه و دهگلان.

خشکسالی آب زیرزمینی باعث کاهش تراز آب شده و غلظت املاح بالا می‌رود. اما وقوع خشکسالی هواشناسی بلافاصله باعث کاهش تراز آب زیرزمینی نمی‌شود. مطالعات مختلف نشان داده که وقوع خشکسالی اقلیمی با تاخیر زمانی از حدود چند ماه تا چند سال بر تراز آب زیرزمینی اثر می‌گذارد (محمدی قلعه‌نی و همکاران، ۱۳۹۰، ملکی‌نژاد و سلیمانی مطلق، ۱۳۹۰، یاسمنی و همکاران، ۱۳۹۱). بنابر این در بیشتر چاه‌های مورد مطالعه کیفیت آب همبستگی معنی‌داری با خشکسالی اقلیمی نشان نداده است. بررسی همبستگی بین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت قروه و دهگلان با شاخص SPI نشان داد که تغییرات بارش روی برخی پارامترها به میزان بیشتر و در برخی به میزان کمتر تأثیر گذاشته است. بیشترین تأثیر بر میزان پتاسیم و مجموع آنیون‌ها (به ترتیب ۵۲/۶۳٪ و ۳۴/۲۰٪) و کمترین تأثیر بر میزان pH و یون کلسیم (به ترتیب ۷/۸۹ و ۱۰/۵۲) بوده است. غلظت اکثر پارامترهای مورد بررسی در بیشتر چاه‌ها روند افزایشی داشته است اما غلظت پارامترهای SAR و Mg^{2+} و Na^+ و Na^+ در بیشتر چاه‌ها روند کاهشی داشته است.

به وجود تفاوت در روند تغییر پارامترهای مختلف در مطالعات متعددی مثل (کریمی و کاظمی، ۱۳۹۱، مقدم و

به طور کلی نتایج پهنه‌بندی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت قروه و دهگلان نشان داد که در جنوب شرقی منطقه پارامترهای Ca^{2+} ، EC، HCO_3^- ، K^+ ، Mg^{2+} ، TDS، TH، مجموع آنیون‌ها و مجموع کاتیون‌ها دارای روند افزایشی هستند و پارامترهای SO_4^{2-} ، Na^+ ، $Na\%$ ، SAR در قسمت غربی منطقه دارای روند افزایشی هستند. پارامترهای HCO_3^- و Cl^- و Mg^{2+} در بیش‌تر مساحت منطقه دارای روند کاهشی هستند و پارامترهای CO_3^{2-} ، Ca^{2+} ، K^+ ، $Na\%$ ، pH، SAR در بیش‌تر مساحت منطقه بدون روند هستند.

بحث

بر اساس نتایج شاخص SPI در همه‌ی ایستگاه‌های مورد مطالعه بیشترین درصد فراوانی مربوط به وضعیت نرمال می‌باشد و ترسالی بسیار شدید و خشکسالی بسیار شدید کمترین درصد فراوانی وقوع را دارند. این نتایج با نتایج بوردی و سوترا (۲۰۰۷) و خلیقی سیگارودی و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت دارد.

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که همبستگی بین مقدار شاخص خشکسالی و پارامترهای کیفیت آب فقط در حدود ۲۲ درصد موارد از نظر آماری معنی‌دار است و بیشترین معنی‌داری نیز در پایه زمانی بلند مدت مشاهده می‌شود. وقوع

بذرافشان، ج.، ۱۳۸۱. بررسی تطبیقی برخی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ۱۴۲ ص.

خلیقی سیگارودی، ش.، صادقی سنگدهی، س.ع.، اوسطی، خ.، قوبدل رحیمی، ی.، ۱۳۸۷. بررسی نمایه‌های ارزیابی پدیده‌های ترسالی و خشکسالی *SPI*, *PNPI*, *Nitche* (مطالعه موردی: استان مازندران). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۶، شماره ۱، ۵۴-۴۴.

دانشور وثوقی، ف.، دین‌پژوه، ی.، ۱۳۹۱. بررسی روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل با استفاده از روش اسپیرمن. محیط‌شناسی، شماره ۴، ۲۸-۱۷.

زارع‌زاده مهریزی، ش.، ۱۳۸۹. اثر ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها بر کیفیت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: استان یزد). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۱۲ ص.

زارعی، و. حسینی، م.، شکل آبادی، م.، ۱۳۹۱. ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت قروه با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره. ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، ۲۷ آبان، تهران.

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۱۳۹۲. ارزیابی تأثیر خشکسالی هیدرولوژی بر کیفیت آب زیرزمینی دشت مرند. سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، ۳۰ بهمن، دانشگاه یزد.

صیف، م.، محمدزاده، ح.، مساعدی، ا.، ۱۳۹۱. ارزیابی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت فسا با استفاده از شاخص‌های بارندگی معیار شده، منابع آب زیرزمینی و قابلیت هدایت هیدرولیکی معیار شده. مهندسی منابع آب، شماره ۱۵، ۴۵-۵۹. طاهری تیزرو، ع.، ۱۳۸۴. آب‌های زیرزمینی. انتشارات دانشگاه رازی، چاپ اول، ۲۸۲ ص.

عبدی‌نژاد، غ.، ۱۳۸۷. بررسی عوامل مؤثر در بیابان‌زایی و خشک‌سالی. جنگل و مرتع، شماره ۷۸، ۸-۱۰.

همکاران، ۱۳۹۱، زارع‌زاده مهریزی و همکاران، ۱۳۸۹، هوبن و همکاران، ۲۰۰۹، صیف و همکاران، ۱۳۹۱، ژایمینگ و همکاران، ۲۰۱۲، یعقوبی و همکاران، ۱۳۹۳) اشاره شده است. علت این تغییرات می‌تواند تفاوت‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی، نحوه استفاده از کودهای شیمیایی و آلی، توسعه کشاورزی، خصوصیات خاک و غیره باشد که بر میزان تاثیر-پذیری کیفیت آب آبخوان از خشکسالی اثر می‌گذارد.

افت کیفیت آب زیرزمینی در جنوب شرق دشت قروه و دهگلان بیشتر است زیرا میزان افت سطح آب زیرزمینی در این منطقه بیشتر از سایر نواحی بوده است و افت سطح آب زیرزمینی از عوامل مؤثر در کاهش کیفیت آن است. نتایج مشابهی توسط زارعی و همکاران (۱۳۹۱) و هسو و همکاران (۲۰۰۷) بدست آمده است.

این تحقیق نشان داد که کیفیت آب زیرزمینی در دشت قروه و دهگلان رو به کاهش است و اگر روند کنونی ادامه یابد در آینده نزدیک می‌تواند بحران‌های زیادی را از نظر آب قابل دسترس برای کشاورزی و شرب ایجاد کند. عوامل مختلفی بر این کاهش کیفیت اثر دارند که یکی از این عوامل خشکسالی می‌باشد. برخی پارامترها مثل پتاسیم بیشتر تحت تاثیر خشکسالی قرار می‌گیرند و با توجه به وقوع خشکسالی‌های متعدد در این منطقه در مورد افزایش کودهای شیمیایی به خاک باید دقت نظر بیشتری داشت زیرا در دوره خشکسالی به دلیل کاهش سطح آب زیرزمینی غلظت این مواد در آب زیرزمینی بیشتر افزایش می‌یابد.

منابع

ابارشی، ف.، مفتاح هلقی، م.، دهقانی، ا.ا.، ۱۳۹۳. روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت زرین‌گل با استفاده از آزمون ناپارامتری من‌کندال اصلاح شده و تخمین شیب سن. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۱، شماره ۳.

اکرامی، م.، شریفی، ذ.، ملکی نژاد، ح.، اختصاصی، م.، ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی دشت-اردکان در دهه ۱۳۷۹-۸۸. فصلنامه‌ی علمی پژوهشی دانشکده بهداشت یزد طلوع بهداشت، شماره ۲ و ۳، ۹۱-۸۲.

- Hsu, K.C., Wang, C. H., Chen, K.C., Chen, C. T., Ma, K.W. 2007. *Climate Induced Hydrological Impacts on the Groundwater System of the Pingtung Plain, Taiwan. Hydrogeology Journal*, 5, 903-913.
- Issak, E.H., Srivastava, R.M., 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York*, 561 p.
- Jin, L., Andrew, D.H., 2008. *A Review of Spatial Interpolation Methods For Environmental Scientists. Geoscience Australia Record, Canberra*, 137 p.
- Ketata, M., Hamzoui, F., Gueddari, M., Bouhlila, R., 2010. *Hydro Chemical and Statistical Study of Groundwater in Gabes-South Deep Aquifer (South- Eastern Tunisia). Physics and Chemistry of the Earth*, 36(5), 187-196.
- Malins, D., Metternicht, G., 2006. *Assesing the spatial extent of dry land salinity through fuzzy modeling. Ecological Modeling*, 193 (4), 378-411.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. *The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, California*, 170-184.
- Panda, D. K., Mishra, A., Jena, S. K., James, B. K., Kumar, A., 2007. *The Influence of drought and anthropogenic effect on groundwater levels in Orissa, India. Journal of Hydrology*, 343 (4), 140-153.
- Rostami Khalaj, M., Mohseni Saravi, M., Hesami, D., Rashidpour, M., Salmani, H., Farokzadeh, B., 2014. *Evaluation of groundwater quality in Mashhad city, using geostatistical methods in drought and wet periods. Journal of Applied Hydrology*, 1(1), 49- 57.
- Todd, Dk., and Mays, L.W., 2005. *Groundwater hydrology. Third Edition. John Wiley & Sons, New York*, 636 p.
- Wahlin, K., Grimvall, A., 2009. *Roadmap for Assessing Regional Trends in Groundwater Quality. Environmental Monitoring and Assessment*, 165, 217-231.
- Wu J. Chunmiao, Z., Calvin, CC., 2005. *Cost-effective sampling network design for contaminant plume monitoring under general hydrogeological conditions. Journal of Contaminant Hydrology*, 77, 41- 65.
- Yidana, S.M., Banoeng-Yakubo, B., Akabzaa, T.M. 2010. *Analysis of Groundwater Quality Using Multivariate and Spatial Analysis in the Keta Basin, Ghana. Journal of African Earth Science*, 58(2), 220-234.
- Zaiming, Z., Guanghui, Z., Mingjiang, Y., Jinzh, W., 2012. *Spatial Variability of the Shallow Groundwater Level and its Chemistry Characteristics in the Plain around the Bohai Sea, North China. Environmental Monitoring and Assessment*, 134(6), 3697-3710.
- عرفان منش، م.، افیونی، م. ۱۳۸۵. آلودگی محیط زیست آب، خاک و هوا. انتشارات ارکان، اصفهان، ۳۱۸ ص.
- علوی نیا، ح.، ساداتی نژاد، ج.، عبداللهی، خ.، ۱۳۹۰. ارائه مدلی برای پیش بینی خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه کارون یک. پژوهش های فرسایش محیطی، شماره ۱، ۱-۱۱.
- کرمی، ف.، کاظمی، ه.، ۱۳۹۱. پایش مکانی شوری آب های زیرزمینی در سال شاخص خشکسالی و ترسالی (مورد: دشت تبریز). فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۲۸، ۹۴-۷۹.
- مقدم، ع.ر.، قلعه بان تکمه داش، م.، اسماعیلی، ک.، ۱۳۹۱. بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. پژوهش های حفاظت آب و خاک. شماره ۳، ۲۱۱-۲۲۵.
- میرزایی، ع.ا.، یکانی مطلق، ی. و سبوعه، غ. ع.، ۱۳۹۴. نرم افزارهای تخصصی مهندسی آب. انتشارات نشر دانشگاهی کیان، ۵۲۴ صفحه.
- یعقوبی، ث.، امینی، د.، کریمی، ح.، ۱۳۹۳. بررسی رابطه شوری با تراز آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت موسیان، ایلام). اولین کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری، منابع طبیعی و توسعه پایدار، آذر ۱۳۹۳، تهران.
- Ashraf, Sh., Afshari, H., 2013. *Assessment of Groundwater Chemical Quality, Using Inverse Distance Weighted Method, Journal of Chemical Health Risks*, 3(4), 65-62.
- Amini, H., Haghghat, G.A., Yunesian, M., Nabizadeh, R., Mahvi, A.H., Hadi Dehghani, M., Davani, R., Aminian, A., Shamsipour, M., Hassanzadeh, N., Faramarzi, H., Mesdaghinia, A.R., 2016. *Spatial and temporal variability of fluoride concentrations in groundwater resources of Larestan and Gerash regions in Iran from 2003 to 2010. Environmental Geochemistry and Health*, 38, 25-37.
- Bordi, I., Sutra, A., 2007. *Drought Monitoring and Forecasting at Large Scale. Water Science and Technology*, 62, 3-27.
- Elci, A., Polate, R., 2010. *Assessment of the Statistical Significance of Seasonal Groundwater Quality Change in Karstic Aquifer System Near Izmir-Turkey. Environmental Monitoring and Assessment*. 172(4), 445-462.
- Houben, G., 2009. *Hydrology of the Kabul Basin (Afghanistan). Part II: Geochemistry, Hydrogeology Journal*, 17, 935-948.