Original Article, Vol. 9, No. 2, Summer, 2021, pp 63-78

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Effect of Wet and Drought Periods on Physico–Chemical Properties of Groundwater Resources in the Eastern Part of Gorgan Plain

N. Jandaghi[1*], M. Ghare Mahoodlu[1], A. Nasiri[3]

1. Assistant Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad Kavous, Iran.
2. Assistant Professor, Faculty of Geography, Firouzabad Institute of Higher Education, Firouzabad, Iran.

* Corresponding Author: nader.jandaghi@gonbad.ac.ir

Received date: 20/05/2021 **Accepted date: 27/07/2021**

doi 10.22034/JDMAL.2021.246300

Abstract

The occurrence of droughts and wet periods can affect the quantity and quality of surface and groundwater. In the present study, the 3-year drought and wet periods were determined using 23-year rainfall data of four meteorological stations and the SIAP index. To investigate the physicochemical properties of groundwater, after considering the data of observation wells in the Eastern part of Gorgan plain, 14 deep and semi-deep wells were selected. Then, three criteria of EC, SAR, and Na were used to assess the water in the agricultural sector and the Schoeller diagram was used to assess the water in the drinking sector. To estimate the significant differences between the physicochemical properties of groundwater in the three periods of the wet period, drought, and long-term, an F-test at the probability level of 0.05 was used. The results revealed that the water quality of semi-deep wells is better than for deep wells in agriculture and drinking water sections. Based on the Piper diagram, the chemical facies of semi-deep wells are less diverse than deep wells. The results of both deep and semi-deep wells showed that chemical facies in the dry season show a greater tendency to achieve seawater composition. The results of the F test showed that there is a significant difference with 95% probability between groundwater quality parameters in semi-deep aquifers in wet and dry periods. In contrast, the occurrence of wet and dry periods in the study area had little effect on the physicochemical properties of deep aquifers.

Keywords: Groundwater; Water Quality; Schoeller Diagram; Piper Diagram; Hydrogeochemical Facies

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

مقاله پژوهشی، سال نهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰، صفحات ۶۳ تا ۷۸

نشریه مدیریت بیابان
www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

تأثیر دوره‌های ترسالی و خشکسالی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آبخوان در بخش شرقی دشت گرگان

نادر جندقی[۱*]، مجتبی قره‌محمودلو[۱]، ابوذر نصیری[۲]

۱. استادیار، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.
۲. استادیار، دانشکدهٔ جغرافیا، مرکز آموزش عالی فیروزآباد، فیروزآباد، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: nader.jandaghi@gonbad.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۵

doi 10.22034/JDMAL.2021.246300

چکیده

وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها می‌تواند برویژگی‌ها کمی و کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی تاثیرگذار باشد. در پژوهش حاضر، ابتدا با استفاده از آمار ۲۳ سالهٔ بارش مربوط به چهار ایستگاه هواشناسی و با محاسبهٔ شاخص SIAP، دورهٔ خشکسالی و ترسالی سه ساله تعیین شد. به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب زیرزمینی، پس از بررسی آمار چاه‌های مشاهده‌ای در بخش شرقی دشت گرگان، تعداد ۱۴ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق انتخاب شد. به‌منظور ارزیابی آب در بخش کشاورزی از سه معیار EC، SAR و Na% و برای ارزیابی آب در بخش شرب از نمودار شولر استفاده شد. به‌منظور بررسی اختلاف معنی‌داری بین ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی آب زیرزمینی در سه دورهٔ ترسالی، خشکسالی و طولانی‌مدت، از آزمون F در سطح احتمال ۰/۰۵ استفاده شد. نتایج نشان داد که کیفیت آب چاه‌های نیمه‌عمیق در هر دو بخش کشاورزی و شرب به‌مراتب بهتر از چاه‌های عمیق است. براساس نمودار پایپر، رخسارهٔ شیمیایی چاه‌های نیمه‌عمیق، تنوع کم‌تری نسبت به چاه‌های عمیق دارد. نتایج مربوط به هر دو نوع چاه عمیق و نیمه‌عمیق نشان داد که رخساره‌های شیمیایی در دورهٔ خشکسالی تمایل بیشتری برای رسیدن به ترکیب آب دریا نشان می‌دهند. نتایج آزمون F نشان داد که با احتمال ۹۵٪ بین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در آبخوان نیمه‌عمیق در دورهٔ ترسالی و خشکسالی اختلاف معنی‌دار وجود دارد. در مقابل وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی در محدودهٔ مورد مطالعه تأثیر چندانی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آبخوان عمیق نداشته است.

واژگان کلیدی: آب زیرزمینی؛ کیفیت آب؛ دیاگرام شولر؛ دیاگرام پایپر؛ رخسارهٔ هیدروژئوشیمیایی

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

■ مقدمه

خشکسالی از مخرب‌ترین رویدادهای آب‌وهوایی است که موجب بروز خسارت‌های قابل‌توجهی در بخش منابع طبیعی و زندگی انسان‌ها می‌شود. پدیدهٔ خشکسالی بعد از دو چالش عمدهٔ تغییر اقلیم و کمبود آب شیرین، به‌عنوان سومین چالش عمدهٔ جهانی در قرن ۲۱ از سوی کارشناسان قلمداد می‌شود و از مخاطرات اصلی مرتبط با منابع آب است. به‌طورکلی خشکسالی زمانی روی می‌دهد که کاهش چشمگیر منابع آب، هم در مکان و هم در زمان ویژه‌ای روی دهد (۹).

به‌طور مسلم یکی از اکوسیستم‌هایی که خشکسالی در آن تأثیرهای به‌سزایی دارد، بوم‌نظام‌های (اکوسیستم) آبی کشورهاست و به‌دنبال آن مناطقی که قابلیت خشکسالی دارند، محدودیت و حساسیت منابع آبی در آن‌ها بیشتر است (۱۷). علاوه‌بر خشکسالی، ترسالی‌ها نیز سیستم‌های هیدرولوژیک را اعم از آب‌های سطحی و زیرسطحی شامل منطقهٔ اشباع و غیراشباع تحت تأثیر قرار داده و می‌تواند باعث تغذیه و پرشدن سفره‌های آب زیرزمینی شود (۲۰،۱۹). کشور ایران به‌علت واقع‌شدن در منطقهٔ خشک و نیمه‌خشک، از نظر منابع آب در وضعیتی نامطلوب نسبت به متوسط دنیا قرار دارد (۲۷). در حال حاضر حدود ۵۵٪ نیاز آبی کشور، از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود که به‌هیچ‌وجه با تغذیهٔ آبخوان‌ها مطابقت ندارد. در چند سال اخیر، افت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در اغلب مناطق ایران مشاهده شده، به‌طوری‌که در بیشتر آبخوان‌ها، بیلان آب منفی بوده است (۱۵). داشتن منابع آب سالم پیش‌نیاز ضروری و اساسی برای حفظ محیط‌زیست و رشد و توسعهٔ اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و فرهنگی است. بنابراین کنترل و پایش آب‌های زیرزمینی جهت مصارف مختلف آن امری لازم و ضروری است تا آب با کیفیت مناسب برای مصارف مختلف در دسترس قرار گیرد. درک عمیق از نقش عوامل مؤثر در تغییر کیفیت منابع آب می‌تواند در توسعهٔ استراتژی مدیریت حوزه‌های آبخیز مؤثر باشد و به حفاظت از منابع آب کمک کند (۲۸). تاکنون پژوهش‌های مختلفی در زمینهٔ نقش خشکسالی و ترسالی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در ایران و دیگر نقاط دنیا انجام شده است. در این پژوهش به بررسی این پدیده بر ویژگی‌های هیدروشیمیایی و کیفی آب زیرزمینی پرداخته شده است. هیدروشیمی آب‌های زیرزمینی در یک آبخوان متأثر از ترکیب آب‌های تغذیه‌کننده، وضعیت خشک‌سالی و ترسالی منطقه، جنس سازندهای زمین‌شناسی موجود در منطقه، فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر منابع تغذیه‌کنندهٔ آن‌ها و همچنین کاربری اراضی است (۱، ۳، ۷، ۱۴، ۱۶، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۳۰).

بررسی‌های انجام‌شده روی تأثیرهای خشکسالی برکمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت باغ‌ملک شهرستان ایذه نشان داد که کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان تغییرات قابل‌توجهی به تبعیت از تغییرات بارش داشته است (۲۶). همچنین در بررسی اثر دوره‌های ترسالی و خشکسالی بر تغییرات منابع آب دشت بوئین مشخص شد که ریزش‌های جوی با تأخیر ۳ ماهه بر سطح آب زیرزمینی مؤثر بوده، اگرچه روند کلی تغییرات آن نزولی است (۶). نتایج بررسی وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی دشت تبریز مشخص کرد که در دورهٔ شاخص ترسالی، میزان آب‌های زیرزمینی شور و خیلی شور ۱۸/۵٪ و آب‌های زیرزمینی با قلیاییت زیاد ۴/۹۲٪ بوده درحالی‌که در سال شاخص خشکسالی، این مقادیر به‌ترتیب ۲۸/۲ و ۲۵/۳۵٪ افزایش داشته‌اند (۱۰). نتایج بررسی تغییرات آب زیرزمینی دشت فسا نیز نشان داد که در دورهٔ خشکسالی تمامی فاکتورهای کیفی روند افزایشی داشته‌اند. این امر باعث کاهش کیفیت آب شده است (۲۹). در پژوهشی دیگر، تأثیر خشکسالی بر ویژگی‌های کیفی آب زیرزمینی دشت ساوه با استفاده از دیاگرام‌های پایپر و دوروف بررسی شد. نتایج این پژوهش بیانگر افزایش ناگهانی میزان کل مواد جامد محلول در طول زمان خشکسالی است (۱۸). در دشت سیستان و بلوچستان نیز در اثر وقوع خشکسالی، میانگین کل عناصر و مواد در آب‌های زیرزمینی ۲۰ تا ۲۵٪ افزایش داشته است (۲). در پژوهشی دیگر مشخص شد که وقوع دورهٔ ترسالی در پهنهٔ سیلاب دشت انتهایی حوزهٔ آبریز گرگانرود باعث تغذیهٔ طبیعی آبخوان و بهبود وضعیت کیفی آب زیرزمینی شده است (۸). نتایج مطالعهٔ اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی در استان کرمانشاه نشان داد که با توجه به وجود

ضریب همبستگی بین مقادیر SPI[1] و عمق آب زیرزمینی، شاخص SPI شاخص مناسبی برای بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی است (۲۲). در پژوهش دیگر مشخص شد که در طی ۲۳ سال اخیر، تکرار وقوع خشکسالی ۴ برابر شده و با افت سطح آب زیرزمینی و کیفیت آب زیرزمینی همراه بوده است (۱۲). همچنین مشخص شد که در ۷۰٪ دشت قروه و چهاردولی کردستان، کیفیت آب از منظر کشاورزی در دورهٔ خشکسالی در کلاس C2S1 «کمی شور و برای کشاورزی تقریباً مناسب» و C3S1 «شور و برای کشاورزی با تمهیدات مناسب است» و کیفیت آب در دورهٔ ترسالی به‌دلیل اضافه برداشت از چاه‌ها، در برخی مناطق حتی بدتر شده است (۵). در پژوهش دیگری، بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای اهداف کشاورزی در کشور هند انجام و مشخص شد که بیشتر نمونه‌ها در گروه C2S1 قرار گرفته‌اند. در این پژوهش به‌منظور بررسی هیدروشیمی آب زیرزمینی از دیاگرام‌های پایپر و دوروف استفاده شده است (۲۵). همچنین مشخص شد که وقوع خشکسالی و تغییرات کاربری اراضی، بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دشت داراب اثر مستقیم دارد و شوری آب زیرزمینی ۲۹۳ µmoh/cm افزایش یافته است (۴). دشت گرگان در نیمهٔ شمالی استان گلستان و جنوب شرق دریای خزر واقع شده است. به‌دلیل نوسانات بارندگی و وقوع دوره‌های خشکسالی و ترسالی در این دشت و از آنجاکه قسمت عمدهٔ مساحت آن پوشیده از اراضی کشاورزی است و از منابع آب زیرزمینی آن برای مصارف آبیاری و حتی خانگی استفاده می‌شود، پایش کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی این دشت در توسعهٔ فعالیت‌های اقتصادی‌ـاجتماعی و همچنین در حوزهٔ سلامت، برای ساکنین منطقه و استان گلستان بسیار حائز اهمیت است. از این‌رو پژوهش حاضر با هدف ۱) تغییرات کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و شرب در سه دورهٔ خشکسالی، طولانی‌مدت و ترسالی، ۲) تغییرات هیدروشیمی در سه دورهٔ خشکسالی، طولانی‌مدت و ترسالی و ۳) تغییرات آماری پارامترهای کیفی آب در سه دورهٔ خشکسالی، طولانی‌مدت و ترسالی انجام شد.

■ مواد و روش‌ها

دشت گرگان با مساحت ۴۷۲۶/۵km^2 یکی از بزرگترین دشت‌های کشور است که در حوزه‌های آبخیز گرگانرود، اترک و قره‌سو در استان گلستان واقع شده است. بررسی حاضر در بخش شرقی آبخوان دشت گرگان به مساحت تقریبی ۴۸۰km^2 و در محدوده شهرستان‌های گنبد کاووس، مینودشت، گالیکش و آزادشهر واقع در حوضه آبریز گرگانرود انجام شده است (شکل۱). محدوده مورد مطالعه از شمال به حوضه آبریز اترک، از غرب به شهرستان رامیان، از شرق به شهرستان کلاله و از جنوب به دامنه‌های شمالی کوه البرز منتهی می‌شود. حوضه آبریز گرگانرود نقش مهمی در تأمین منابع آب مورد نیاز این استان دارد (۹).

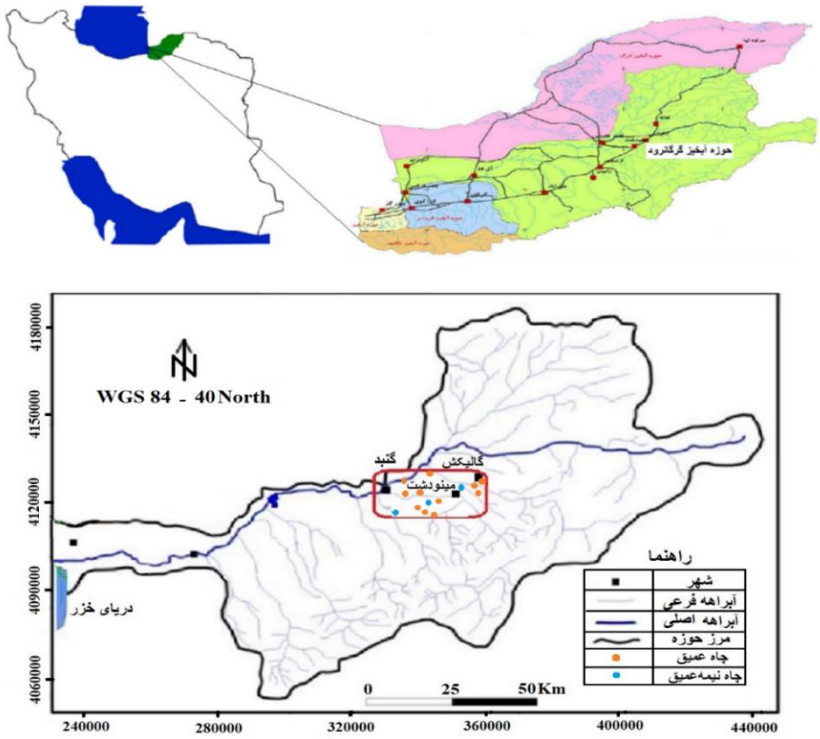
در پژوهش حاضر در ابتدا ۶ ایستگاه هواشناسی واقع در منطقه مورد بررسی برای تعیین دوره‌های ترسالی و خشکسالی شناسایی شدند. پس از بررسی آمار این ایستگاه‌ها، چهار ایستگاه هواشناسی گالیکش، مینودشت، ارازکوسه و گنبد انتخاب شدند (جدول ۱). دوره آماری مشترک برای ایستگاه‌های هواشناسی منتخب ۲۳ ساله و از سال ۱۳۷۴-۱۳۷۳ تا ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در نظر گرفته شد. برای بررسی صحت و همگنی داده‌های آماری بارش، از روش آزمون توالی[2] استفاده شد.

شاخص‌های مختلفی برای تعیین دوره‌های خشکسالی و ترسالی ارائه شده که در این تحقیق از شاخص SIAP[3] استفاده شد. مقیاس زمانی این شاخص سالانه است و اساس محاسبه آن انحراف داده‌های بارندگی از نرمال است. برای محاسبه شاخص SIAP از رابطه ۱ استفاده شد (۹).

$$SIAP = \frac{P_i - \overline{P}}{S} \qquad (۱)$$

که در آن: P_i مقدار بارش سالانه به میلی‌متر، $\overline{P}$ میانگین بارش به میلی‌متر و S انحراف از معیار مقادیر بارندگی در مقیاس زمانی موردنظر است. هر چه مقدار این شاخص کوچکتر شود، خشکسالی شدیدتر می‌باشد (جدول۲). با استفاده از روش SIAP دوره خشکسالی و ترسالی شاخص ۳ ساله برای ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه تعیین شد.

1 Standard Precipitation Index
2 Run Test
3 Statistical Index Annual Precipitation



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران، استان گلستان و حوضه آبریز گرگانرود

جدول ۱. ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در حوضه آبریز گرگانرود

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱	گالیکش	°۵۵ ۲۷′	°۳۷ ۱۵′	۲۵۰
۲	مینودشت	°۵۵ ۲۲′	°۳۷ ۱۴′	۱۵۵
۳	ارازکوسه	°۵۵ ۰۸′	°۳۷ ۱۳′	۳۴
۴	گنبد	°۵۵ ۰۹′	°۳۷ ۱۴′	۳۶

جدول ۲. طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس شاخص SIAP

مفهوم اقلیمی	درجه خشکسالی
سال خیلی مرطوب	≥ +۱
سال مرطوب	+۱ تا +۰/۵
سال نرمال	+۰/۵ تا -۰/۵
سال خشک	-۰/۵ تا -۱
سال بسیار خشک	<۱

برای بررسی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی، پس از کنترل آمار بیش از ۳۰ چاه مشاهده‌ای در محدوده مورد مطالعه، تعداد ۱۴ حلقه چاه که از نظر پراکنش و کیفیت آمار مناسب بود، انتخاب شد. از این تعداد ۱۱ حلقه چاه عمیق و ۳ حلقه چاه نیمه‌عمیق بودند (جدول۳). دوره آماری مورد استفاده ۲۳ ساله و منطبق بر داده‌های هواشناسی انتخاب شد. پارامترهای کیفی مورد بررسی شامل K^+، Na^+، Mg^{2+}، Ca^{2+}، SO_4^{2-}، Cl^-، HCO_3^-، pH، TH[1]، SAR، TDS، EC و Na% که از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان تهیه شده است.

1 Total Hardness

جدول ۳. چاه‌های مشاهده‌ای عمیق و نیمه‌عمیق مورد استفاده در محدوده مورد بررسی

شماره چاه	نام چاه مشاهده‌ای	نوع چاه مشاهده‌ای	مختصات جغرافیایی UTM	
			طول	عرض
۱	ایگدرسفلی	نیمه‌عمیق	۳۴۹۱۰۷	۴۱۲۵۴۶۰
۲	پشمک‌پناده	نیمه‌عمیق	۳۴۳۵۵۸	۴۱۲۲۵۸۹
۳	جنوب آقچی‌بالا	نیمه‌عمیق	۳۳۶۵۴۹	۴۱۱۶۵۲۳
۴	امان خواجه	عمیق	۳۵۷۷۴۷	۴۱۳۴۰۷۷
۵	میرزا یانگ	عمیق	۳۵۹۲۳۷	۴۱۲۸۷۲۲
۶	گالیکش	عمیق	۳۵۹۷۵۳	۴۱۲۵۸۸۳
۷	آرتق مخدوم	عمیق	۳۳۹۶۴۷	۴۱۱۸۶۶۵
۸	قزلجه آق‌امام	عمیق	۳۴۰۴۸۰	۴۱۱۰۵۰۵
۹	ایمر محمدقلی	عمیق	۳۴۵۰۹۲	۴۱۲۷۷۳۶
۱۰	قوینلی	عمیق	۳۴۸۲۷۳	۴۱۲۱۶۶۴
۱۱	سارجه‌کر	عمیق	۳۵۰۳۲۴	۴۱۳۲۳۴۲
۱۲	قلمی	عمیق	۳۵۰۵۷۴	۴۱۱۸۱۲۰
۱۳	ده حسن‌خان	عمیق	۳۵۲۹۲۸	۴۱۲۱۴۰۴
۱۴	سیلو گنبد	عمیق	۳۳۷۲۶۶	۴۱۲۰۰۴۸

پس از تعیین دوره‌های خشکسالی، طولانی‌مدت و ترسالی، برای تعیین کیفیت آب از دیدگاه کشاورزی از دیاگرام ویلکوکس که یکی از مهمترین طبقه‌بندی‌ها در این زمینه می‌باشد، استفاده شد. همچنین برای تعیین کیفیت آب در بخش شرب از دیاگرام شولر[1] استفاده شد (۱۳). به منظور بررسی تغییرات هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، از نمودار پایپر[2] و استیف[3] استفاده شد (۷). در نمودار استیف Ca در مقابل HCO_3^-+ CO_3^{2-}، Mg^{2+} در مقابل SO_4^{2-}، Na^+ و K^+ در برابر Cl^- قرار می‌گیرند. هرچه مقدار کاتیون‌ها و آنیون‌ها از نظر مقدار به هم نزدیک‌تر باشند شکل حاصل منظم‌تر خواهد بود.

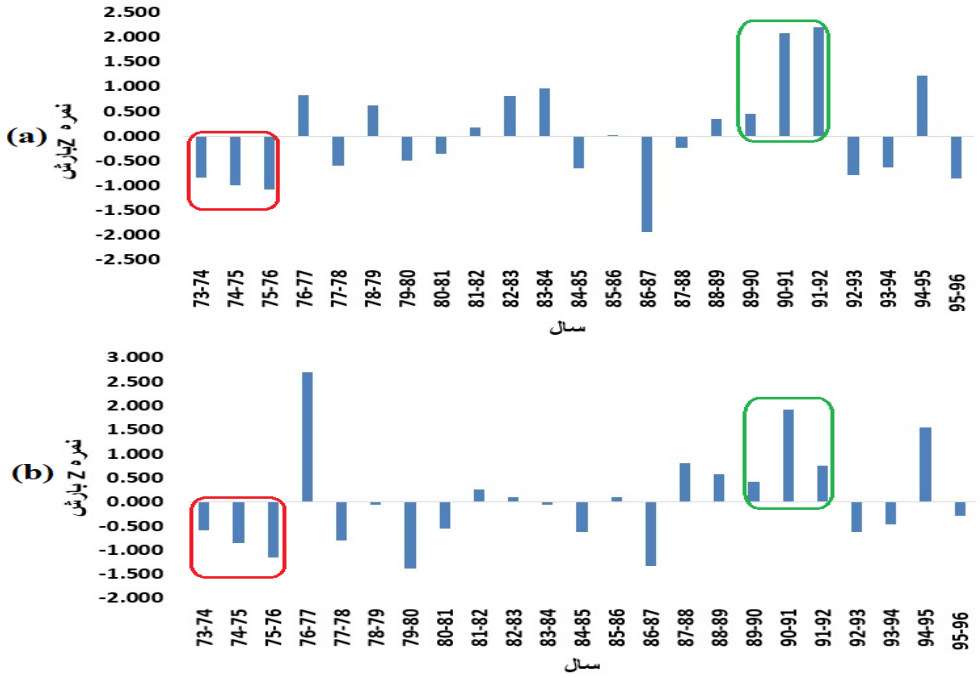
برای مقایسه و تعیین اختلاف معنی‌داری پارامترهای کیفی آب بین ۳ دوره طولانی‌مدت، خشکسالی و ترسالی از آزمون F در سطح احتمال ۰/۰۵ استفاده و تجزیه واریانس داده‌ها در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شده است. قبل از تجزیه واریانس فرض نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون اندرسون- دارلینگ[4] و یکسان بودن واریانس‌ها با استفاده از آزمون بارتلت[5] و لون[6] مورد بررسی قرار گرفت (۲۴). در آزمون F چنانچه p-value محاسباتی کوچکتر از ۰/۰۵ محاسبه شود با احتمال ۹۵٪ فرض H_0 رد و فرض H_1 یعنی وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین تیمارهای مورد بررسی پذیرفته می‌شود. در این‌صورت برای تعیین اختلاف آماری بین میانگین تیمارهای مورد بررسی از آزمون توکی[7] و گیمز-هاول[8] استفاده شد (۲۴).

■ نتایج و بحث

نتایج بررسی تغییر سالانهٔ شاخص SIAP در ایستگاه‌های هواشناسی ارازکوسه و گالیکش نشان داد که در محدوده مورد مطالعه، دوره خشکسالی سه‌ساله از سال آبی ۷۴-۷۳ تا ۷۶-۷۵ و دوره ترسالی از سال ۹۰-۸۹ تا ۹۲-۹۱ به وقوع پیوسته است (شکل ۲).

برای ارزیابی آب در بخش کشاورزی باتوجه به پارامترهای شیمیایی موجود از ۳ معیار مختلف EC، SAR و Na% استفاده شده است (جدول ۴). بطورکلی براساس میزان EC، چاه‌های عمیق را می‌توان در دورهٔ خشکسالی در دو گروه خوب با حدود ۲۷٪ تا قابل‌قبول حدود ۷۳٪ طبقه‌بندی کرد.

1 Schoeller Diagram
2 Piper Diagram
3 Stiff Diagram
4 Anderson-Darling Normality Test
5 Bartlett's Test
6 Levene's Test
7 Tukey
8 Games-Howell



شکل ۲. هیستوگرام تغییرات سالانه شاخص SIAP در ایستگاه هواشناسی (a) ارازکوسه و (b) گالیکش

جدول۴. میزان تغییرات معیارهای کشاورزی در سه دوره مورد بررسی برای چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق

شماره چاه	نوع چاه	EC(µmoh/cm)			SAR			Na%		
		خشکسالی	ترسالی	طولانی‌مدت	خشکسالی	ترسالی	طولانی‌مدت	خشکسالی	ترسالی	طولانی‌مدت
۱	عمیق	۹۶۴/۷	۱۱۵۶/۸	۱۰۸۲/۵	۱/۹۶	۱/۳۳	۱/۸۳	۳۴/۸۹	۲۳/۹۶	۳۱/۸۳
۲	عمیق	۹۱۵/۲	۱۶۰۶/۸	۱۲۲۰/۹	۱/۷۶	۲/۶۱	۲/۲۹	۳۲/۸۳	۳۶/۴۸	۳۵/۹۳
۳	عمیق	۲۹۷۶/۷	۴۶۲۰/۰	۳۸۶۵/۴	۶/۵۰	۶/۴۰	۶/۴۳	۵۴/۹۰	۴۷/۱۶	۵۰/۵۱
۴	عمیق	۱۱۵۰/۸	۱۱۴۹/۵	۱۱۳۱/۰	۵/۱۴	۴/۱۹	۴/۳۶	۶۱/۷۶	۵۶/۰۸	۵۷/۴۲
۵	عمیق	۶۷۵/۵	۷۶۹/۰	۷۴۰/۰	۱/۵۳	۱/۱۳	۱/۴۴	۳۲/۸۵	۲۴/۸۱	۳۰/۵۲
۶	عمیق	۷۲۸/۸	۹۰۵/۵	۸۳۵/۳	۱/۳۵	۱/۳۰	۱/۴۶	۲۸/۸۳	۲۵/۹۷	۲۹/۶۲
۷	عمیق	۶۳۱/۰	۷۶۱/۵	۶۹۷/۸۷	۱/۸۷	۱/۴۷	۱/۸۲	۳۸/۹۵	۳۰/۸۹	۳۷/۳۲
۸	عمیق	۹۱۰/۷	۷۵۴/۸	۷۵۸/۴	۱/۴۱	۱/۳۷	۱/۸۲	۲۷/۵۶	۲۹/۳۵	۳۶/۳۰
۹	عمیق	۸۲۲/۷	۹۷۸/۷	۹۰۳/۱۵	۳/۷۶	۳/۳۷	۳/۷۶	۵۷/۰۷	۵۱/۴۹	۵۶/۳۱
۱۰	عمیق	۱۲۴۶/۵	۱۴۲۱/۲	۱۳۵۸/۰	۴/۳۹	۳/۳۳	۴/۰۰	۵۶/۰۰	۴۶/۳۱	۵۲/۱۷
۱۱	عمیق	۱۰۷۳/۸	۱۰۸۳/۸	۱۰۴۸/۷	۴/۸۸	۳/۸۷	۴/۲۰	۶۱/۳۹	۵۴/۶۵	۵۷/۶۶
۱۲	نیمه‌عمیق	۵۵۸/۷	۷۱۹/۸	۵۹۱/۰	۰/۷۴	۰/۵۴	۰/۷۱	۱۹/۳۳	۱۳/۲۹	۱۸/۵۱
۱۳	نیمه‌عمیق	۶۱۰/۳	۶۸۶/۰	۷۳۳/۳	۰/۸۶	۰/۷۶	۰/۹۴	۲۱/۲۲	۱۷/۰۶	۲۱/۶۹
۱۴	نیمه‌عمیق	۷۰۷/۲	۶۴۷/۵	۷۵۰/۶	۱/۶۶	۱/۰۳	۱/۴۳	۳۳/۸۶	۲۱/۸۶	۳۰/۱۰

در مقابل برای تمامی چاه‌های نیمه‌عمیق کیفیت خوب ۷۵۰-۲۵۰µS/cm مشاهده شد. در تمامی چاه‌های عمیق و همچنین دو چاه نیمه‌عمیق در دوره ترسالی، افزایش میزان پارامتر مذکور دیده می‌شود به‌طوریکه کیفیت آب آن‌ها در بخش کشاورزی در گروه قابل‌قبول قرار قبول "۲۰۰۰-۷۵۰µS/cm"، قرار می‌گیرد. در دوره طولانی‌مدت، میزان هدایت الکتریکی نسبت به دوره ترسالی کاهش داشته اگرچه هنوز نسبت به دوره خشکسالی افزایش داشته است. بنظر می‌رسد در دوره ترسالی میزان فرآیندهای واکنش آب و سنگ فعال‌تر بوده است. براساس پارامتر نسبت جذب سدیم کیفیت آب تمامی چاه‌ها در رده عالی

قرار می‌گیرد. اگرچه کیفیت آب چاه‌های نیمه‌عمیق در بخش کشاورزی به مراتب بهتر از چاه‌های عمیق است.

در این پژوهش نسبت جذب سدیم (SAR) به‌عنوان یک شاخص مؤثر در ارزیابی خطر بالقوه سدیم در محلول در حال تعادل با فاز جامد خاک مورد بررسی قرار گرفت (۱۱). براساس جدول ۴، میزان SAR در تمام چاه‌ها در هر سه دوره کمتر از ۱۰ بدست آمد. از این‌رو کیفیت آب براساس معیار SAR در رده عالی (۱۰>)، قرار می‌گیرد. اگرچه در این مورد وضعیت چاه‌های نیمه‌عمیق به‌مراتب از چاه‌های عمیق بهتر است.

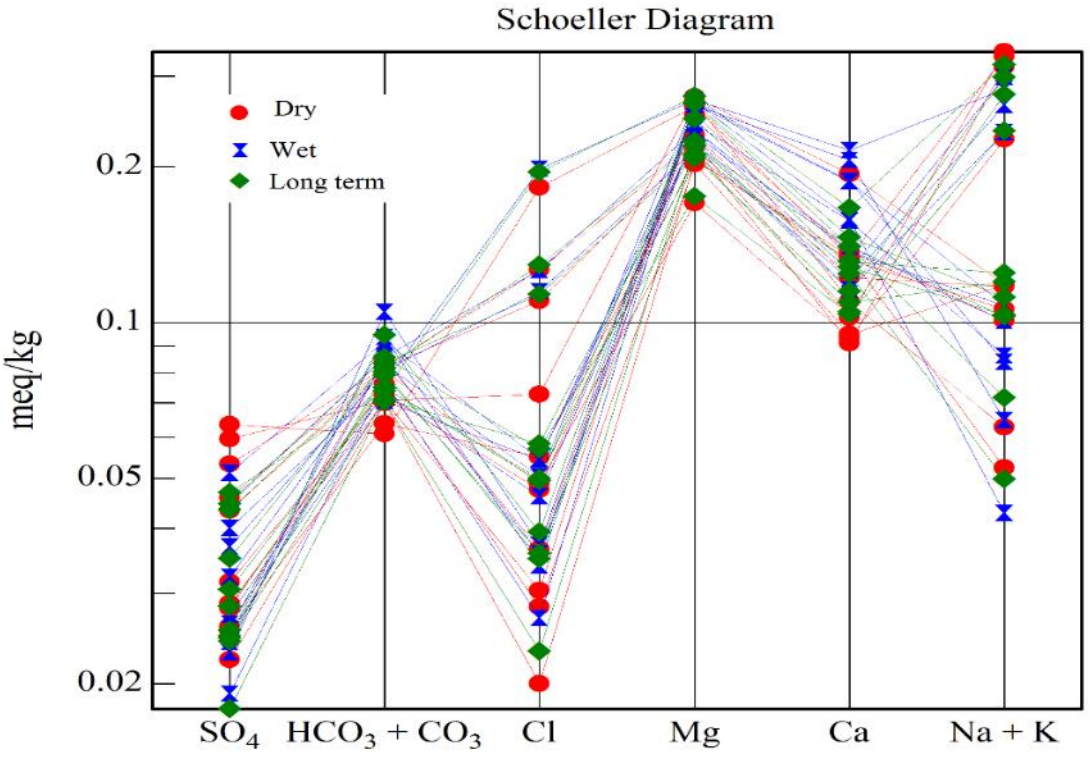
همانند SAR، درصد سدیم محلول (Na%) به‌عنوان یک معیار مهم در طبقه‌بندی کیفی آب برای آبیاری در چاه‌های نیمه‌عمیق به مراتب کمتر از چاه‌های عمیق است. براساس این معیار اکثر نمونه‌ها دارای کیفیت خوب "۴۰-۲۰" تا قابل قبول "۶۰-۴۰" برای کشاورزی می‌باشند. تنها در یک مورد در چاه عمیق شماره ۴ در دوره خشکسالی میزان Na% بیشتر از ۶۰ می‌باشد که این امر بیانگر آن است که آب چاه مذکور می‌بایست با احتیاط در این بخش استفاده شود.

همچنین در دو چاه نیمه‌عمیق ۱۲ و ۱۳ میزان معیار درصد سدیم محلول خصوصا در دوره‌های ترسالی و طولانی‌مدت کمتر از ۲۰ می‌باشد که بیانگر کیفیت عالی آب چاه‌های مذکور برای استفاده در بخش کشاورزی می‌باشد.

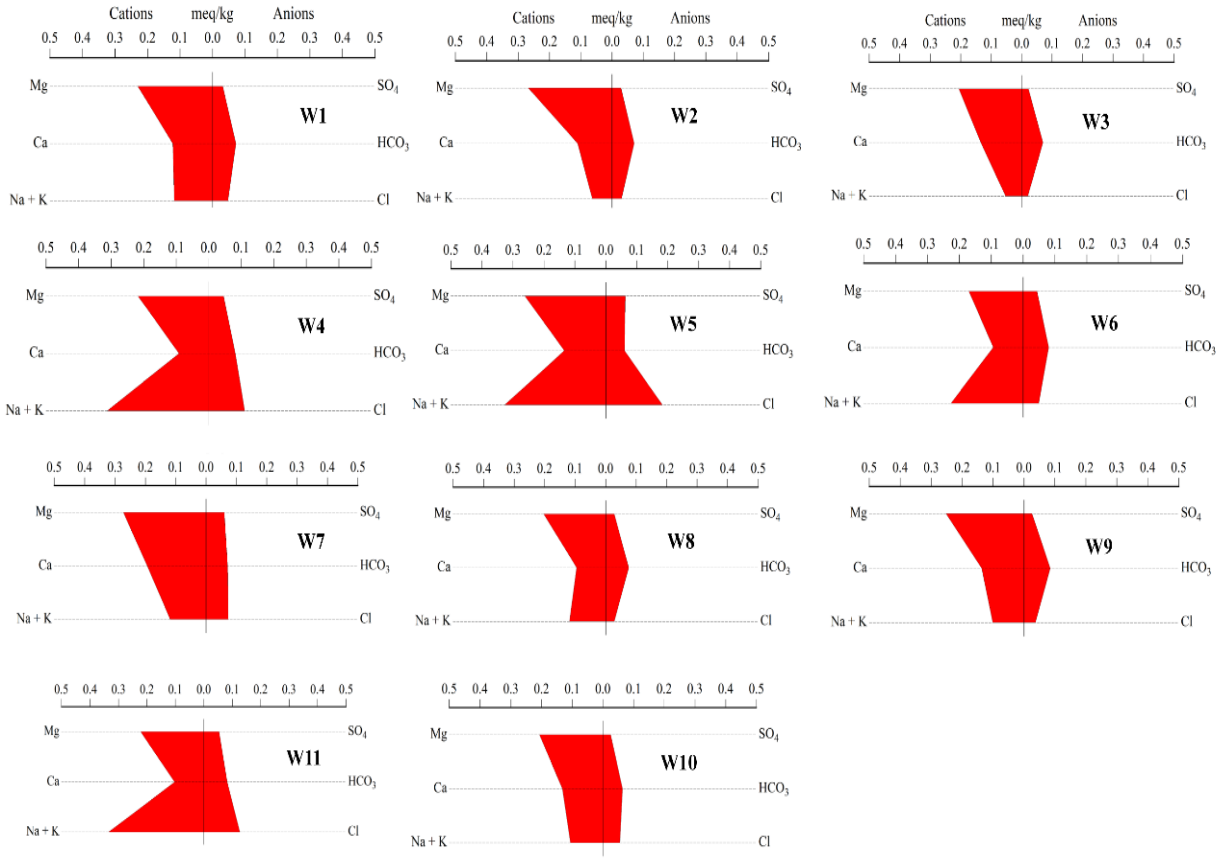
به‌طورکلی براساس دیاگرام شولر کیفیت آب چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق از قابل‌قبول تا نامناسب متغیر می‌باشد (شکل۳). در این بررسی همچنین مشخص شد که کیفیت چاه‌های نیمه‌عمیق به مراتب بهتر از چاه‌های عمیق می‌باشد.

براساس دیاگرام‌های استیف مربوط به چاه‌های عمیق، تیپ غالب آب زیرزمینی دشت در آبخوان عمیق در محدوده مورد مطالعه از $Mg\text{-}HCO_3$ تا Na-Cl شورمزه متغیر می‌باشد (شکل‌های ۴ و ۵). این تغییرات را می‌توان در هر دو دوره خشکسالی و ترسالی مشاهده نمود.

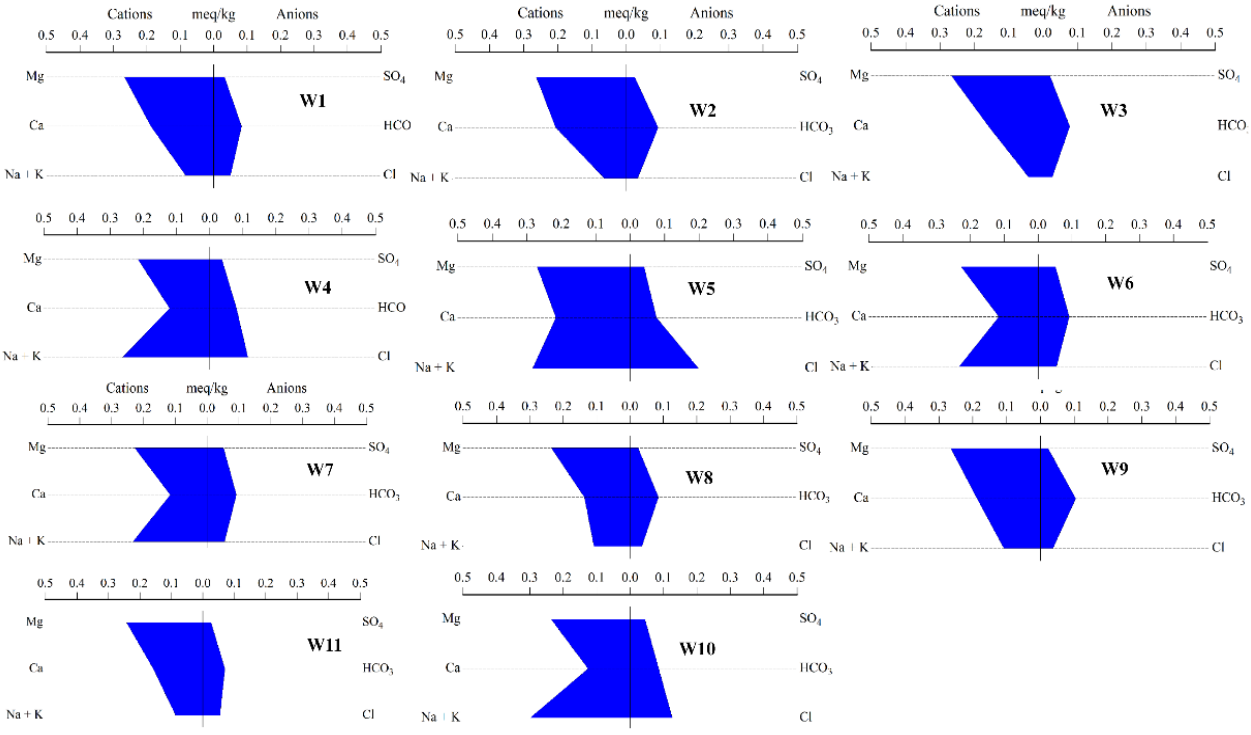
در چاه‌های نیمه‌عمیق Mg-Cl تیپ غالب آب زیرزمینی در آبخوان نیمه‌عمق دشت می‌باشد (شکل ۶). با توجه به نمودارهای استیف مربوط به این چاه‌ها، میزان املاح چاه‌ها در دوره ترسالی از دوره خشکسالی بیشتر بوده است.



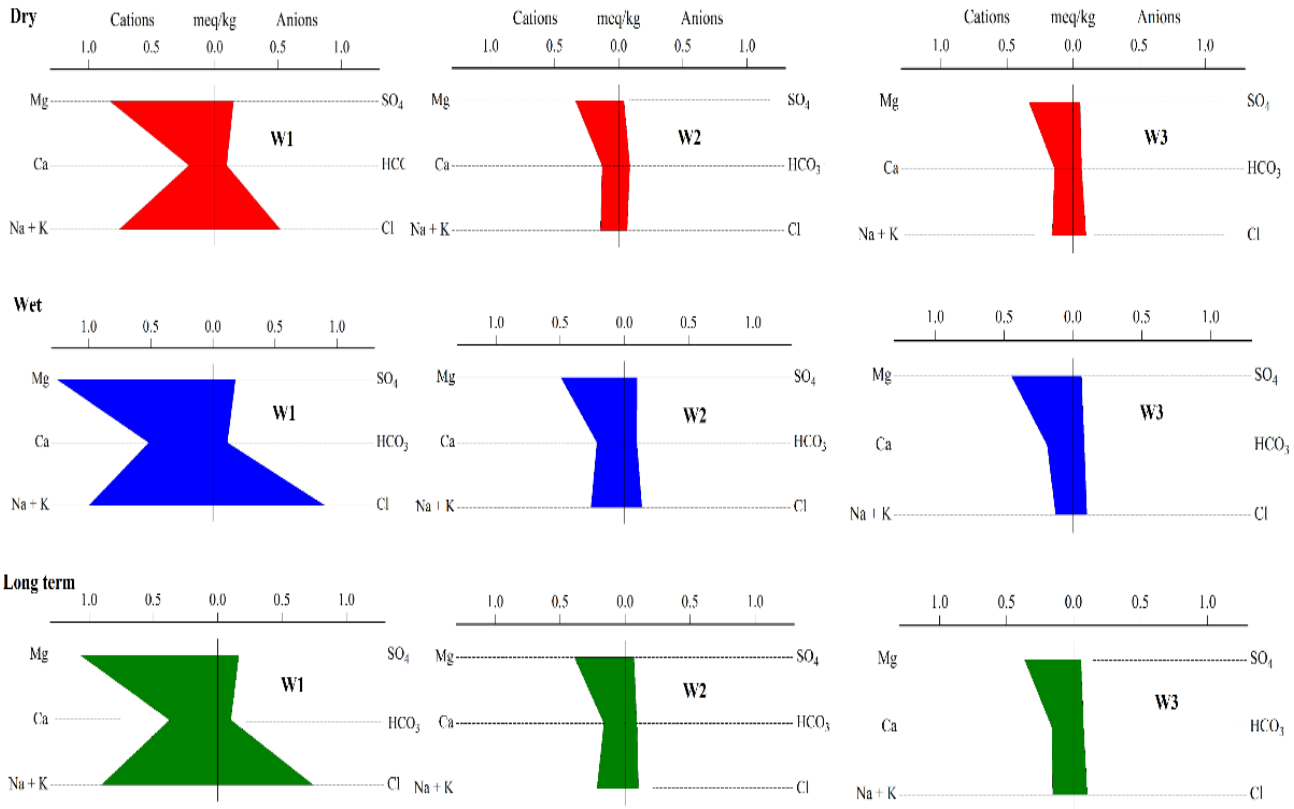
شکل ۳. دیاگرام شولر نمونه‌های آب چاه‌های منطقه مورد مطالعه در سه دوره مورد بررسی



شکل۴. دیاگرام استیف چاه‌های عمیق منتخب در دوره خشکسالی



شکل۵. دیاگرام استیف چاه‌های عمیق منتخب در دوره ترسالی



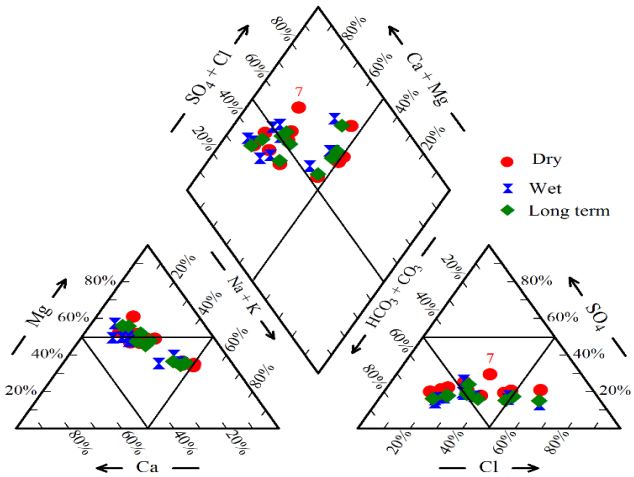
شکل ۶. دیاگرام استیف چاه‌های نیمه‌عمیق در دوره‌های خشکسالی، ترسالی و طولانی‌مدت

براساس دیاگرام پایپر تنوعی از رخساره شیمیایی مربوط به آب‌های شیرین[1]، آب‌های ترکیبی[2] و آب‌های شورمزه[3] نظیر $Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$، $Na\text{-}HCO_3\text{-}Cl$، $Na\text{-}HCO_3$، $Ca\text{-}Mg\text{-}Cl\text{-}HCO_3$، $Na\text{-}Cl\text{-}HCO_3$، $Ca\text{-}Mg\text{-}Cl$ و $Na\text{-}Cl$ را می‌توان در آبخوان عمیق مشاهده نمود (شکل‌های ۷ و ۸).

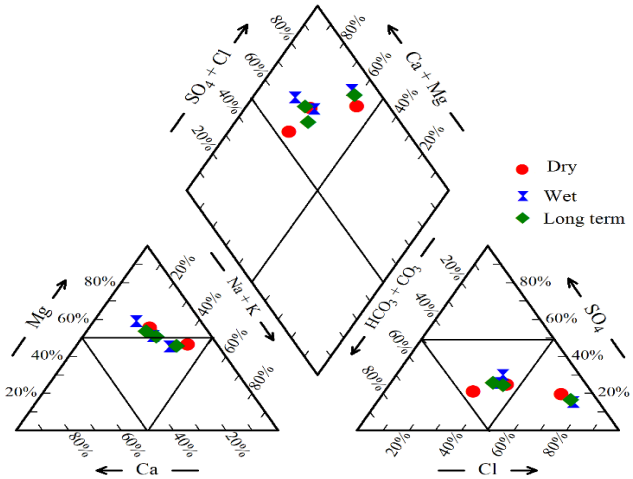
همچنین نتایج نشان داد که نمونه‌ها در دوره خشکسالی به سمت رخساره شورمزه تمایل بیشتری از خود نشان می‌دهند. همچنین رخساره‌های مربوط به دوره طولانی‌مدت در بین دو دوره خشک و مرطوب قرار می‌گیرند. براساس دیاگرام پایپر مربوط به چاه‌های نیمه‌عمیق، رخساره شیمیایی مربوط به این چاه‌ها، از تنوع کمتری برخوردار می‌باشند اگرچه همانند دیاگرام پایپر مربوط به چاه‌های عمیق، رخساره‌های شیمیایی در دوره خشکسالی تمایل بیشتری برای رسیدن به ترکیب آب دریا یا رخساره شورمزه از خود نشان می‌دهند.

بر اساس نتایج آماری مشخص شد مقادیر p-value آزمون F برای ۹ پارامتر کیفی مجموع کاتیون‌ها، مجموع آنیون‌ها، K^+، Mg^{2+}، SO_4^{2-}، Cl^-، TH، TDS و EC کوچکتر از ۰/۰۵ محاسبه شده است (جدول ۵). این شرایط در دو چاه نیمه‌عمیق ایگدرسفلی و جنوب آقچی‌بالا تقریبا مشابه با چاه پشمک‌پناده به وقوع پیوسته به‌گونه‌ای که برای چاه ایگدرسفلی ۷ و چاه جنوب آقچی‌بالا ۸ پارامتر کیفی مقادیرp-value آزمون F کوچکتر از ۰/۰۵ محاسبه شده است. نتایج آزمون توکی و گیمزهاول نشان داد که در چاه نیمه‌عمیق پشمک‌پناده بین دوره ترسالی و خشکسالی بیشترین اختلاف معنی‌دار بین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی مشاهده شده است به‌طوری‌که ۹ پارامتر مجموع کاتیون‌ها، مجموع آنیون‌ها، K^+، Mg^{2+}، SO_4^{2-}، Cl^-، TH، TDS و EC اختلاف معنی‌دار داشته‌اند. این شرایط در دو چاه نیمه‌عمیق ایگدرسفلی و جنوب آقچی‌بالا تقریبا مشابه با چاه پشمک‌پناده به وقوع پیوسته است.

1 Fresh
2 Blended
3 Brackish



شکل ۷. دیاگرام پایپر چاه‌های عمیق در دوره‌های خشکسالی، ترسالی و طولانی‌مدت



شکل ۸. دیاگرام پایپر چاه‌های نیمه‌عمیق در دوره‌های خشکسالی، ترسالی و طولانی‌مدت

جدول ۵. نتایج آزمون F، توکی و گیمز-هاول پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در سه دوره مورد بررسی در چاه نیمه‌عمیق پشمک‌پناده

پارامترهای کیفی آب	مقادیر p-value آزمون F	نتایج آزمون توکی و گیمز-هاول		
		ترسالی و خشکسالی	ترسالی و طولانی‌مدت	خشکسالی و طولانی‌مدت
TH	۰/۰۲۴	*	NS	NS
SAR	۰/۱۸۱	NS	NS	NS
Na%	۰/۳۹۵	NS	NS	NS
Sum Kation	۰/۰۴۲	*	NS	NS
K^+	۰/۰۰۲	*	NS	*
Na^+	۰/۱۰۱	NS	NS	NS
Mg^{2+}	۰/۰۰۷	*	*	NS
Ca^{2+}	۰/۱۳۵	NS	NS	NS
Sum Anion	۰/۰۴۲	*	NS	NS
SO_4^{2-}	۰/۰۳۰	*	NS	NS
Cl^-	۰/۰۰۳	*	NS	*
HCO_3^-	۰/۴۳۳	NS	NS	NS
pH	۰/۱۴۱	NS	NS	NS
TDS	۰/۰۲۰	*	NS	NS
EC	۰/۰۲۳	*	NS	NS

*. وجود اختلاف معنی‌دار ، NS. عدم وجود اختلاف معنی‌دار

در آبخوان نیمه‌عمیق منطقه مورد مطالعه، بین ۲ دوره ترسالی با طولانی‌مدت کمترین تفاوت معنی‌دار مشاهده شد به‌طوری‌که در چاه پشمک‌پناده تنها برای فاکتور Mg^{2+} اختلاف معنی‌دار مشاهده شده است. همچنین در چاه پشمک‌پناده بین دوره خشکسالی و طولانی‌مدت تنها دو فاکتور Cl^- و K^+ اختلاف معنی‌دار داشته و این شرایط در دو چاه ایگدرسفلی و جنوب آقچی‌بالا تقریبا مشابه با چاه پشمک‌پناده اتفاق افتاده است.

نتایج مقایسه آماری پارامترهای کیفی آب در آبخوان عمیق برای پنج چاه سیلوگنبد، گالیکش، آرتق‌مخدوم، قزلجه‌امام و سارجه‌کر نشان داد که در ۳ دوره مورد بررسی وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی هیچ‌گونه تفاوت معنی‌دار بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان عمیق ایجاد نکرده است. چاه عمیق ده‌حسن‌خان، قلمی، امان‌خواجه، ایمرمحمدقلی و میرزایانگ ۵ چاهی است که وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی تنها باعث تغییر معنی‌دار در حداکثر ۳ فاکتور کیفی آن‌ها شده است. در این ۵ حلقه‌چاه تحت‌تأثیر دوره‌های ترسالی و خشکسالی تغییرات کاملا مشابهی به وقوع پیوسته به‌طوریکه بین دوره خشکسالی و طولانی‌مدت هیچ‌گونه تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. بین دوره ترسالی و طولانی‌مدت تنها دو پارامتر کیفی Na^+و TH و بین دوره خشکسالی و ترسالی ۳ پارامتر کیفی SAR، Na^+ و TH تفاوت معنی‌دار ملاحظه شد.

از ۱۱ چاه عمیق مورد بررسی تنها چاه قوینلی در دوره‌های ترسالی و خشکسالی دارای تغییرات نسبتا زیاد بوده است که دلیل آن با نوع کاربری اراضی و همچنین نوع آبخوان آن منطقه مرتبط می‌باشد (جدول۶). بر اساس (جدول۵) بین دوره‌های ترسالی و طولانی‌مدت در چاه عمیق قوینلی، پارامتر کیفی مورد بررسی هیچ‌گونه تفاوت معنی‌دار ملاحظه نشد. بین دوره خشکسالی و طولانی‌مدت ۸ فاکتور و همچنین خشکسالی و ترسالی ۶ فاکتور کیفی تفاوت معنی‌دار داشته‌است.

بر اساس شاخص SIAP، محدوده مورد مطالعه در طول دوره آماری ۲۳ ساله، به تناوب شاهد خشکسالی‌ها و ترسالی‌های مختلفی بوده است. به‌طوری‌که دوره خشکسالی سه‌ساله از سال آبی ۷۳-۷۴ تا ۷۵-۷۶ و دوره ترسالی نیز از سال ۸۹-۹۰ تا ۹۱-۹۲ به وقوع پیوسته است. هدایت الکتریکی (EC) یکی از مهمترین پارامترها در تعیین کیفیت آب برای کشاورزی است که می‌تواند بر رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصولات زراعی تأثیر گذار باشد.

جدول ۶. نتایج آزمون F، توکی و گیمز-هاول پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در سه دوره مورد بررسی در چاه مشاهده‌ای عمیق قوینلی

پارامترهای کیفی آب	مقادیر p-value	نتایج آزمون توکی و گیمز-هاول		
	آزمون F	ترسالی و خشکسالی	ترسالی و طولانی‌مدت	خشکسالی و طولانی‌مدت
TH	۰/۰۰۰	*	NS	*
SAR	۰/۰۶۶	NS	NS	NS
Na%	۰/۰۵	NS	NS	NS
Sum Kation	۰/۰۱۰	*	NS	*
K^+	۰/۰۲۲	*	NS	*
Na^+	۰/۱۵۸	NS	NS	NS
Mg^{2+}	۰/۰۵۶	NS	NS	NS
Ca^{2+}	۰/۰۵۸	NS	NS	NS
Sum Anion	۰/۰۰۹	*	NS	*
SO_4^{2-}	۰/۰۰۴	*	NS	*
Cl^-	۰/۰۰۷	*	NS	*
HCO_3^-	۰/۸۵۹	NS	NS	NS
pH	۰/۳۲۱	NS	NS	NS
TDS	۰/۰۱۰	*	NS	NS
EC	۰/۰۱۳	*	NS	NS

*. وجود اختلاف معنی‌دار ، NS. عدم وجود اختلاف معنی‌دار

بطورکلی براساس میزان هدایت الکتریکی، چاه‌های عمیق را می‌توان در دوره خشکسالی در دو گروه خوب حدود ۲۷٪ تا قابل‌قبول حدود ۷۳٪ طبقه‌بندی کرد در حالیکه تمام چاه‌های نیمه‌عمیق کیفیت خوب داشته‌اند. در اغلب چاه‌های مورد بررسی در دوره ترسالی، هدایت الکتریکی افزایش داشته‌است و در گروه قابل‌قبول قرار می‌گیرد. در دوره طولانی‌مدت، هدایت الکتریکی نسبت به دوره ترسالی کاهش داشته ولی نسبت به دوره خشکسالی افزایش داشته است. نتایج این بررسی با مطالعات (۴) که به افزایش مقدار شوری در دوره خشکسالی اشاره داشته است، همسویی ندارد. بنظر می‌رسد در منطقه مورد مطالعه میزان فرآیندهای واکنش آب و سنگ در دوره ترسالی فعال‌تر بوده است. یکی از محتمل‌ترین دلایل برای افزایش شوری در دوران ترسالی، نوسانات تراز آب زیرزمینی می‌باشد. این امر می‌تواند برخی از لایه‌های انحلال‌پذیر نظیر تشکیلات تبخیری را اشباع و در نتیجه باعث انحلال و آزادسازی برخی از پارامترهای شیمیایی در آب زیرزمینی شود. باتوجه به گسترش تشکیلات تبخیری و مارنی در برخی از زیرحوضه‌های گرگان‌رود که از عوامل مهم در زوال کیفیت آب‌های زیرزمینی و سطحی در برخی از زیرحوضه‌ها می‌باشند، می‌توان نتیجه گرفت که انحلال این سازندها در سطح و زیرزمین در دوره ترسالی می‌تواند در افزایش میزان شوری تأثیرگذار باشد.

نسبت جذب سدیم یا SAR بعنوان یک شاخص مؤثر در ارزیابی خطر بالقوه سدیم در محلول در حال تعادل با فاز جامد خاک و همچنین یک معیار مناسب برای ارزیابی خطر قلیایی شدن خاک است. براساس پارامتر نسبت جذب سدیم کیفیت آب تمامی چاه‌ها در رده عالی قرار گرفته با این وجود کیفیت آب چاه‌های نیمه‌عمیق در بخش کشاورزی به مراتب بهتر از چاه‌های عمیق بوده است. غلظت یون سدیم در آب برای طبقه‌بندی کیفی آب برای مصارف آبیاری بسیار مهم است. براساس درصد سدیم محلول، کیفیت آب چاه‌های عمیق در دوره خشکسالی بیشتر در رده خوب تا قابل‌قبول قرار می‌گیرد. نتایج مربوط به غلظت یون سدیم در کل مشابه نسبت جذب سدیم بوده به‌طوری‌که میزان این پارامتر در دوره خشکسالی نسبت به دوره ترسالی و طولانی‌مدت بیشتر است. نتایج این بررسی با مطالعات (۲، ۵، ۱۲، ۲۵ و ۲۸) که به افزایش فاکتورهای کیفی و کاهش کیفیت آب کشاورزی در دوره خشکسالی اشاره داشته‌اند، همسویی داشته است.

نتایج بررسی طبقه‌بندی کیفی آب برای مصارف شرب با استفاده از نمودار شولر نشان داد که وقوع دوره خشکسالی در دشت مورد مطالعه، هرچند که در مدت زمان کوتاهی اتفاق افتاده است اما توانسته است که کیفیت آب را در بخش شرب در هر دو آبخوان نیمه‌عمیق و عمیق کاهش دهد، با این وجود کیفیت چاه‌های نیمه‌عمیق به مراتب بهتر از چاه‌های عمیق می‌باشد.

براساس دیاگرام‌های استیف مربوط به چاه‌های عمیق، تیپ غالب آب زیرزمینی در محدوده موردنظر از $Mg\text{-}HCO_3$ تا Na-Cl متغیر می‌باشد. این تغییرات را می‌توان در هر دو دوره خشکسالی و ترسالی مشاهده نمود. اگرچه تغییراتی در تعداد تیپ‌های آب در هر دو دوره دیده نمی‌شود، اما میزان املاح کل جامدات محلول در دوره ترسالی از دوره خشکسالی بیشتر می‌باشد. در چاه‌های نیمه‌عمیق Mg-Cl تیپ غالب آب زیرزمینی دشت می‌باشد. با توجه به نمودارهای استیف مربوط به این چاه‌ها، میزان املاح چاه‌ها در دوره ترسالی از دوره خشکسالی بیشتر بوده است ولی تغییری در تیپ آب‌زیرزمینی نداشته است. نتایج این بررسی با مطالعه (۱۷) که اشاره داشت در دوره خشکسالی املاح کل جامدات محلول افزایش داشته است، همسویی نداشته است. بنظر می‌رسد در منطقه مورد مطالعه میزان فرآیندهای واکنش آب و سنگ در دوره ترسالی فعال‌تر بوده است.

یکی از روش‌های متداول در تعیین تیپ و رخساره هیدروشیمی آب، استفاده از نمودار پایپر می‌باشد. این نمودار وسیله مفیدی برای نشان دادن تفاوت‌ها و شباهت‌های بین آب‌ها است که تأثیر اختلاط بین آب‌های مختلف را نیز نشان می‌دهد. براساس نمودار پایپر هشت رخساره شیمیایی قابل تشخیص است. نمودار استیف روشی سریع برای تعیین تیپ آب می‌باشد. براساس دیاگرام پایپر تنوعی از رخساره شیمیایی مربوط به آب‌های شیرین، آب‌های ترکیبی و آب‌های شورمزه را می‌توان در آبخوان عمیق مشاهده نمود. نتایج این تحقیق نشان داد که نمونه‌ها در دوره خشکسالی

به سمت رخساره شورمزه تمایل بیشتری از خود نشان می‌دهند. همچنین رخساره‌های مربوط به دوره طولانی‌مدت در بین دو دوره خشک و مرطوب قرار می‌گیرند. براساس دیاگرام پایپر مربوط به چاه‌های نیمه‌عمیق، رخساره شیمیایی مربوط به این چاه‌ها، از تنوع کمتری برخوردار می‌باشند اگرچه همانند دیاگرام پایپر مربوط به چاه‌های عمیق، رخساره‌های شیمیایی در دوره خشکسالی تمایل بیشتری برای رسیدن به ترکیب آب دریا از خود نشان می‌دهند.

بررسی آزمون آماری F نشان داد که بیشتر پارامتر کیفی مانند مجموع کاتیون‌ها، مجموع آنیون‌ها، K^{+}، Mg^{2+}، SO_4^{2-} ، Cl^{-}، TH، TDS و EC برای چاه‌های نیمه‌عمیق اختلاف معنی‌دار در سه دوره مورد بررسی داشته است. در چاه‌های نیمه‌عمیق بیشترین اختلاف معنی‌دار بین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی بین دوره ترسالی با خشکسالی مشاهده شده است در حالی‌که تغییرات بین دوره خشکسالی با طولانی‌مدت و ترسالی با طولانی‌مدت کمتر بوده است. این موضوع بیانگر تأثیر نسبتا زیاد وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی در ایجاد تغییرات پارامترهای کیفی آب در آبخوان نیمه‌عمیق در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در این بررسی همچنین مشخص شد کیفیت آب در آبخوان عمیق در منطقه مورد مطالعه برخلاف آبخوان نیمه‌عمیق چندان متاثر از وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی نبوده است. در این بررسی از ۱۱ حلقه چاه عمیق مورد بررسی، ۹ حلقه چاه تقریبا فاقد هرگونه تفاوت معنی‌دار بوده و یا تغییرات بسیار ناچیزی را شاهد بوده است. نتایج این بررسی با مطالعات (۲ و ۲۸) همسویی داشته است. به‌طور کلی می‌توان اظهار داشت که وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی باعث ایجاد تغییرات قابل ملاحظه‌ای در ویژگی‌ها فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان نیمه‌عمیق شده در حالیکه تأثیر چندانی بر ویژگی ها کیفی آبخوان عمیق در این منطقه نداشته است. به‌طور کلی در آبخوان‌های عمیق که عمدتا از نوع تحت فشار یا محصور هستند نفوذ از سطح زمین تأثیری بر روی سطح آب پیزومتری و در پی آن خصوصیات کیفی ندارد. تغذیه آبخوان‌های محصور از منطقه تغذیه صورت گرفته که لایه محصور در سطح زمین رخنمون پیدا می‌کند. بنابراین وقوع خشکسالی یا ترسالی تأثیری زیادی بر روی تغییرات سطح پیزومتری و خصوصیات کیفی ندارد. اما برعکس در آبخوان‌های آزاد، چون قسمت اعظم تغذیه از سطح انجام می‌شود، بنابراین وقوع ترسالی و خشکسالی بر روی کمیت و کیفت آب تأثیرگذار خواهد بود.

■ نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تأثیر وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و هیدروشیمی آب زیرزمینی که به منابع آب زیرزمینی وابستگی زیادی دارد، در بخش شرقی دشت گرگان بررسی شد. در ارزیابی آب در بخش کشاورزی از ۳ معیار مختلف EC، SAR و Na% استفاده شده و مشخص شد در دوره خشکسالی، کیفیت آب چاه‌های نیمه‌عمیق به مراتب بهتر از چاه‌های عمیق می‌باشد. در بخش شرب نیز کیفیت چاه‌های نیمه‌عمیق به مراتب بهتر از چاه‌های عمیق بوده و از قابل‌قبول تا نامناسب متغیر بوده است. براساس دیاگرام‌های استیف در هر دو دوره خشکسالی و ترسالی تیپ غالب آب زیرزمینی دشت در آبخوان عمیق از $Mg\text{-}HCO_3$ تا Na-Cl شورمزه متغیر بوده در حالی‌که در چاه‌های نیمه‌عمیق Mg-Cl تیپ غالب آب زیرزمینی است. همچنین مشخص شد میزان املاح چاه‌ها در دوره ترسالی از دوره خشکسالی بیشتر بوده که به‌نظر می‌رسد در دوره ترسالی میزان فرآیندهای واکنش آب و سنگ فعال‌تر بوده‌است. براساس دیاگرام پایپر تنوعی از رخساره شیمیایی در آبخوان عمیق مشاهده شد در حالی‌که در آبخوان نیمه‌عمیق از تنوع کمتری برخوردار بوده است. در بررسی آماری نیز مشخص شد کیفیت آب در آبخوان عمیق در منطقه مورد مطالعه برخلاف آبخوان نیمه‌عمیق، چندان متاثر از وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی نبوده است. با توجه به وقوع خشکسالی با شدت‌های مختلف که در بیشتر سال‌ها در این منطقه محتمل است، همچنین وابستگی بسیار زیاد منابع آب زیرزمینی این منطقه به رژیم بارش، عدم توجه به شرایط خشکسالی می‌تواند تأثیرات سویی از نظر کمی و کیفی بر منابع آب زیرزمینی و همچنین فعالیت‌های کشاورزی داشته باشد. با در نظر گرفتن این موضوع که ماهیت پدیده خشکسالی به‌گونه‌ای است که حذف آن امری

غیرممکن می‌باشد، با انجام اقداماتی می‌توان ریسک این بلای طبیعی را کاهش داده و آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی وارده را به حداقل رساند. راهکار اساسی در این زمینه می‌تواند مدیریت برداشت آب باشد که با مصرف قانونمند و جلوگیری از برداشت بی‌رویه، مانع از افت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی، جلوگیری از نشست زمین و غیره شود. همچنین می‌توان با مدیریت کاربری اراضی و انجام اقدامات آبخیزداری، شرایط مناسب برای نفوذ آب و تغذیه آبخوان فراهم کرد.

■ References

1. Abbas, M., Shen, S.L., Lyu, H.M., Zhou, A. & Rashid, S. (2021). Evaluation of the hydrochemistry of groundwater at Jhelum Basin, Punjab, Pakistan. *Environmental Earth Sciences*, *80*(8), 1-7.
2. Ahrariroudi, M. (2018). Assessment the effects of drought on groundwater quantity and quality of Sistan and Baluchistan Province. *New Findings in Applied Geology*, *12*(23), 104-113. (in Farsi)
3. Arpine, H. & Gayane, S. (2016). Determination of background concentrations of hydrochemical parameters and water quality assessment in the Akhuryan River Basin (Armenia). *Physics and Chemistry of the Earth*, *94*, 2-9.
4. Asadi, M.A., Jamnezhad, F., Ekhtesasi, M.R. & Hosseini, S.Z. (2020). Investigating the effects of drought and land-use changes on quantity and quality of groundwater resources: a case study of Darab plain**.** ***Desert Ecosystem Engineering Journal*****,** *9*(28), 89-102. (in Farsi)
5. Asadzadeh, F., Kaki, M., Shakiba, S., Raei, B. (2016). Impact of drought on groundwater quality and groundwater level in Qorveh-Chardoli Plain. *Iran-Water Resources Research*, *12*(3), 153-165. (in Farsi)
6. Eslamian, S., Nasri, M. and Rahimi, M. (2009). Investigation of wet and drought periods and its effects on changes in water resources of Boein plain. *Geography and Environmental Planning*, *33*(1), 75-90. (in Farsi)
7. Ghareh Mahmoodlu, M. Jandaghi, N. Sayadi, M. (2020). Hydrochemical evaluation and qualitative deterioration assessment of Gorganrud River. *Geology*, *14*(55), 129 -145. (in Farsi)
8. Gorganly Davaji, A. (2021). *Water flood effect on the quantity and quality of groundwater in the Golestan province*. Msc in Watershed Management, Gonbad Kavous University. (in Farsi)
9. Heshmatpour, A., Jandaghi, N., Pasand, S. & Ghareh Mahmoodlu, M. (2020). Drought effects on surface water quality in Golestan province for Irrigation Purposes, Case study: Gorganroud River, *Physical Geography Quarterly*. *13*(48), 75-88 (in Farsi).
10. Karami, F. & Kazemi, H. (2012). Spatial monitoring of groundwater salinity in drought and wet periods case study: Tabriz plain, *Geography and Development*, *10*(28), 79-94. (in Farsi)
11. Kaur, T., Bhardwaj, R., & Arora, S. (2017). Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using hydrochemical studies in Malwa region, southwestern part of Punjab, India. *Applied Water Science*. *7*(6), 3301-3316.
12. Khajeh, M., Bazrafshan, O., Vagharfard, H. & Esmaeelpoor, Y. (2015). An investigation on the quantity and quality of groundwater in the Persian Plain. *Spatial Planning*, *18*(4), 71-96. (In Farsi)
13. Mahdavi, M. (2013). Applied hydrology. Vol. 2, 7th Edition, Iran: Tehran University Publication. (in Farsi)
14. Mahadev, S., Ahamad, A., Kushwaha, J., Singh, P. & Mishra, P.K. (2018). Geochemical assessment of ground water quality for its suitability drinking and irrigation purpose in rural areas of Sant Ravidas Nagar Bhadohi UP. *Geology, Ecology and Landscapes*, *2*(2), 127–136.

15. Mirnezami, S.J. & Bagheri, A. (2017). Assessing the water governance system for groundwater conservation in Iran. *Iran-Water Resources Research, 13*(2), 32-55. (in Farsi)

16. Nepolian, M., Chidambram, S., Thivya, P.K., Pradeep, K., Banaja, R.P., Devar,aj N. & Vasudevan, U. (2016). Assessment of hydrochemical and qualities studies in ground water of Villupuram district Tamilnadu, India. *Earth Sciences*, *4*(3), 1-10.

17. Nohegar, A., Heydarzadeh, M., Eydoon, M. & Pannahi, M. (2016). Assessment of drought and its impact on surface and groundwater resources (Case study: River basin Minab). *Researches in Earth Sciences*, *27*(7), 28-43 (in Farsi).

18. Pak, Z. & Mohseni Movahhed, S. (2018). The Effects of excessive withdrawal and recent droughts on Saveh plain aquifer. *Iran-Water Resources Research*, *13*(4), 154-160. (in Farsi)

19. Panda, D.K., Mishra, A., Jean, S.K., James, B.K. & Kumar, A. (2007). The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India. *Hydrology*, *343*(3), 140-153.

20. Peters, E., Bier, G., Van Lanen, H.A.J. & Torfs, P.J.J.F. (2006). Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment. *Hydrology*, *321*(1), 257-275.

21. Ramamoorthy, P., Backiraj, S. & Ajithkumar, R. (2018). Evaluation of ground water quality for drinking and irrigation suitability: a case study iun Marakkanam block Villupuram district, Tamilnadu, India. *Industrial Pollution Control*, *34*(2), 2159-2163.

22. Shakiba, W. & Mirbagheri, B. Kheiri, A. (2010). Drought and its impact on groundwater resources in East of Kermanshah province using SPI. *Geography*, *8*(25), 105-124. (in Farsi)

23. Sharma, A.D., Rishi, S.M. & Keesari, T. (2017). Evaluation of ground water quality and suitability for irrigation and drinking purpose in south west Punjab, India using hydrochemical approach. *Applied Water Sciences*, *7*(5), 3137-3150.

24. Shirazi, E. (2016). Statistical software training Minitab 16. Iran: Noruzi Publications. (in Farsi)

25. Singh, K.K., Tewari, G. & Kumar, S. (2020). Evaluation of groundwater quality for suitability of irrigation purposes: a case study in the Udham Singh Nagar, Uttarakhand. *Chemistry*, *2020*, 1-15.

26. Soltani Tudashki, F. (2009). *Quantitative and qualitative changes of groundwater in Baghmalek plain due to drought and estimation of changes in aquifer volume*. Second National Conference on Drought Impact and Management Strategies. Esfahan, 129. (in Farsi)

27. Van Loon, A.F. & Laaha, G. (2015). Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *Hydrology*, *526*, 3-14.

28. Xu, H., Zheng, H., Chen, X., Ren, Y. & Ouyang, Z. (2016). Relationships between river water quality and landscape factors in Haihe River Basin, China: Implications for environmental management. *Chinese Geographical Science*, *26*, 197-207.

29. Zareei, A. & Bahrami, M. (2016). Evaluation of quality and quantity changes of underground water in Fasa plain, Fars (2006 - 2013). *Irrigation and Water Engineering*, *6*(4), 103-113. (in Farsi)

30. Zhao, Y., Han, J., Zhang, B. & Gong, J. (2021). Impact of transferred water on the hydrochemistry and water quality of surface water and groundwater in Baiyangdian Lake, North China. *Geoscience Frontiers*. *12*(3), 1-9.