

ارزیابی تکامل هیدروژئوشیمیایی و فرآیندهای واکنش آب و سنگ در آبخوان مرزی درگز

حسین محمدزاده^{۱*}، فاطمه فنودی^۲

۱- استاد، گروه زمین‌شناسی و رئیس گروه پژوهشی تحقیقات آب‌های زیرزمینی و ژئوترمال (متاب)، پژوهشکده آب و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

* نویسنده مسئول: mohammadzadeh@um.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۹/۱۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۱/۰۷

چکیده

دشت درگز تنها دشت شمال ارتفاعات هزار مسجد در مرز شمالی کشور بوده و در مرز ترکمنستان واقع شده است. با توجه به اهمیت آبخوان درگز در تأمین نیازهای آبی منطقه و وابستگی شدید معیشت مرزنشینان منطقه به آب‌های زیرزمینی و اهمیت منطقه از نظر پدافند غیرعامل، شناخت دقیق سیستم آبخوان ضرورت دارد. جهت بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی، فرآیند غالب کنترل‌کننده کیفیت آب زیرزمینی، و روند تکامل هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت درگز، تعداد ۴۵ نمونه آب از منابع آبی منطقه نمونه‌برداری و با استفاده از تکنیک‌های هیدروژئوشیمیایی مختلف، نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، برای فهم لایه‌بندی، ساختارهای زمین‌شناسی زیرسطحی آبخوان، تغییرات ضخامت و پیوستگی جانبی لایه‌ها، و ارتباط آبخوان‌های آبرفتی با کارستی، مقاطع عرضی لیتولوژی در راستاهای مختلف دشت و مدل سه‌بعدی آبخوان، از روی تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی و لاگ‌های ۸۳ حلقه چاه به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد در آبخوان درگز، تکامل هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی در مسیر جریان آب‌های زیرزمینی، از مناطق تغذیه در شمال غرب به سمت مناطق تخلیه در جنوب شرق و شرق صورت می‌گیرد و واکنش آب و سنگ و تا حدی تبخیر، عامل اصلی تعیین‌کننده شیمی آب‌های زیرزمینی است. تیپ آب‌ها از کربناته (به دلیل تغذیه از سازند تیرگان) به سولفاته سدیک-کلسیک، به دلیل تاثیر کانی‌های تبخیری سازندهای سرچشمه، پسته‌لیق، چهل کمان و رسوبات نئوژنی تغییر می‌کند. نتایج مقاطع عرضی زمین‌شناسی و مدل سه‌بعدی لیتولوژی نشان دهنده تغییرات ضخامت آبرفت‌ها در آبخوان می‌باشد. در آبخوان جنوبی به دلیل ضخامت زیاد رسوبات رسی، تغذیه کم و عدم ظهور چشمه‌های پرآب در پیرامون ارتفاعات الله‌اکبر، ارتباط آبخوان آبرفتی با کارستی تنها در مناطق جنوب شرقی چابسلو و پرکند وجود دارد. اما، در آبخوان شمالی در ابتدای رودخانه درونگر، احتمال تغذیه آبخوان آبرفتی از ارتفاعات آهکی سازند تیرگان (از دره کارستی شمشال) وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان کارستی الله‌اکبر، آبخوان مرزی درگز، تکامل هیدروژئوشیمیایی، مدل سه‌بعدی لیتولوژی.

مقدمه

قابل اطمینان‌تر است (Medici et al., 2023; Goldscheider

et al., 2020). در کنار آبخوان‌های آبرفتی، آبخوان‌های کارستی و سازندهای سخت مانند سازندهای آهکی و کنگلومرایی به‌ویژه در نواحی خشک، به‌عنوان مهم‌ترین منبع آب شرب دنیا (حدود ۲۵ درصد (Ford and Williams, 2007)) و ایران (حدود ۱۱ درصد از مساحت کشور (Naseri, 1991)) محسوب

امروزه، بحران آب یکی از چالش‌های مهم کشور و کمبود بارندگی و برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها، سبب کاهش کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی شده است. آب‌های زیرزمینی، جزء مهم منابع آب شیرین بوده و کیفیت این منابع نسبت به منابع آب‌های سطحی، در برابر تغییرات اقلیمی پایدارتر و

2023; Ahankoub et al., 2022; Mohammadzadeh et al., 2022; Nikbakht et al., 2022; Fazel-Valipour, 2021; Gholamdokht-Bandari et al., 2018; Salim, 2010

علاوه بر واکنش آب و سنگ و فرایندهای طبیعی مانند تبادل یونی و بیولوژیکی، فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، صنعت، بهره‌برداری از سد، معدن‌کاری و نفوذ آب دریا نیز بر تکامل هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی آبرفتی و کارستی یک منطقه تأثیر دارند (Gao et al., 2023; Lu et al., 2023; Kalantari et al., 2021; Vahidifar et al., 2019). دشت درگز تنها دشت شمال ارتفاعات هزار مسجد در مرز شمالی کشور بوده و در مرز ترکمنستان واقع شده است. با توجه به اهمیت آبخوان درگز در تأمین نیازهای آبی منطقه و وابستگی شدید معیشت مرزنشینان منطقه به آب‌های زیرزمینی، شناخت دقیق کیفیت آب آبخوان از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از این پژوهش، ارزیابی کیفیت منابع آب، تبیین فرایندهای مؤثر بر تکامل هیدروژئوشیمیایی، فرایندهای واکنش آب و سنگ و بررسی ارتباط آب‌های زیرزمینی میان آبخوان‌های آبرفتی و کارستی دشت مرزی درگز، به منظور دستیابی به مدیریت بهینه و پایدار منابع آب منطقه، می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آبخوان دشت درگز، در شمال‌شرق ایران و نزدیک مرز ترکمنستان، در فاصله ۲۲۰ کیلومتری شمال غرب مشهد با محدوده جغرافیایی $58^{\circ}38'$ تا $59^{\circ}11'$ طول شرقی و $37^{\circ}11'$ تا $37^{\circ}43'$ عرض شمالی، واقع شده است. این محدوده، بخشی از پهنه کپه‌داغ است که دارای سازندهای زمین‌شناسی از دوره کرتاسه تا ترشیر-کواترنری است (AfsharHarb, 1994). دشت درگز با اقلیم نیمه‌خشک (بارندگی ۲۷۷ میلی‌متر و دمای ۱۳ درجه‌سانتی‌گراد) دارای رودخانه‌های دائمی درونگر و زنگلانو است (Error! Reference source not found.). رودخانه درونگر در آبخوان شمالی، از شمال غرب به جنوب شرق جریان داشته و در تأمین آب شرب و کشاورزی منطقه نقش مهمی ایفا می‌کند. رودخانه زنگلانو نیز با سرچشمه گرفتن از رشته‌کوه‌های هزارمسجد، به‌خصوص رشته‌کوه کماس (واقع در جنوب غرب)، به سمت شمال شرق جریان یافته و از نزدیکی شهر لطف‌آباد، وارد کشور ترکمنستان می‌گردد. سدهای درونگر و ابیورد، برای ذخیره و جلوگیری از اتلاف آب سطحی در این منطقه ساخته شده‌اند (شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و

می‌شوند. برهم‌کنش آب و سنگ در این هیدروسستم‌ها، موجب انحلال کانی‌ها و تغییر کیفیت آب می‌شود (Bakalowicz, 2005). در بسیاری از دشت‌ها، از نظر کمی و کیفی، ارتباط نزدیکی بین آبخوان‌های آبرفتی و منابع آبی کارستی وجود دارد. به طوری که برداشت بی‌رویه آب از آبرفت‌ها نه تنها کیفیت آن را کاهش می‌دهد، بلکه گاهی سبب انتقال آب از آبخوان‌های کارستی تغذیه کننده مجاور نیز می‌گردد (Ghaznavi, 2010). کاهش سطح آب زیرزمینی نیز منجر به خشک شدن چشمه‌های کارستی و مشکلات زیست‌محیطی می‌شود (Qibo et al., 2016; Keqiang et al., 2019; Barzegar et al., 2019). بنابراین، بررسی نوسانات سطح ایستابی و کیفیت آب‌های زیرزمینی (توزیع مکانی انواع تیپ شیمیایی آب، توصیف تکامل شیمیایی و قابلیت استفاده آب جهت مصارف مختلف (Alley, 1993))، به درک بهتر ارتباط هیدرولیکی آبخوان‌ها کمک می‌کند (Najafi et al., 2017; Torabi, 2017; Ajam et al., 2022). درک تکامل هیدروژئوشیمیایی آب برای حفاظت و بهره‌برداری صحیح از آب‌های زیرزمینی ضروری است و تکنیک‌های متعددی مانند: نمودارهای پایپر، گیبس، شاخص اشباع و ترکیبی، جهت تجزیه و تحلیل تکامل هیدروژئوشیمیایی آب به کار می‌روند. این تکنیک‌ها به شناسایی توزیع و حرکت آب در زیرزمین و فرایندهای واکنش آب و سنگ کمک و اطلاعاتی ارزشمندی را از جمله محل تغذیه، اختلاط منابع آب، نوع مخزن آبخوان و زمان ماندگاری نسبی آب ارائه می‌دهند. همچنین امروزه استفاده از روش‌های تلفیقی هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی به عنوان ابزارهای مؤثر در شناخت منشأ، تکامل و رفتار آب‌های زیرزمینی مورد توجه قرار گرفته است؛ به عنوان مثال، این رویکرد در منطقه ایزده برای بررسی ارتباط هیدرولیکی ساختارهای کارستی و در دشت‌های رامهرمز، بهبهان و زیدون برای شناسایی فرایندهای هیدروژئوشیمیایی مؤثر بر ترکیب آب‌های زیرزمینی به کار رفته است (Sajadi et al., 2022; Mohammadi et al., 2024). در سال‌های اخیر، تحقیقات زیادی در جهان و ایران، پیرامون تکامل هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی و عوامل مؤثر بر کیفیت آن انجام شده است (Citirini et al., 2024; Khong et al., 2024; Gao et al., 2023; Sun et al., 2023; Li Vigni et al., 2023; Li et al., 2022; Motyka et al., 2022; Heydari-Motlagh & Vaisi,

برای ارزیابی نوسانات سطح ایستابی و جهت جریان آب زیرزمینی در دشت درگز، از داده‌های ماهانه ۲۴ پیزومتر در دوره آبی (۱۴۰۳-۱۳۷۷) استفاده و هیدروگراف واحد آبخوان برای محاسبه متوسط افت سالانه با روش درون‌یابی و داده‌های بارندگی ایستگاه‌های مربوطه، طی دوره ۲۴ ساله (۱۳۷۷-۱۴۰۱) ترسیم گردید (در سال‌های ۱۴۰۳-۱۴۰۲ داده‌های بارندگی ثبت نشده‌اند). برای شناسایی ناهمگنی لایه‌ها در آبخوان آبرفتی دشت درگز، پیچیدگی رسوبات تأثیرگذار بر جریان آب زیرزمینی (Tajabadi et al., 2017) و جهت تعیین ارتباط منابع آبی کارستی با آبرفتی، از ۸۳ لاگ چاه موجود در سطح آبخوان استفاده و مقاطع عرضی^۲ آن تهیه شد. همچنین با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی، لاگ چاه‌های بهره‌برداری، مطالعات ژئوفیزیکی و مقاطع عرضی (Wang, 2012)، مدل سه‌بعدی لیتولوژی آبخوان دشت درگز طراحی و تهیه شد. برای ترسیم هیدروگراف واحد، نمودارهای گیبس، ترکیبی، نقشه‌های تراز آب زیرزمینی، نقشه‌های کیفیت آب و نمایش مقاطع عرضی از نرم‌افزارهای Excel و ArcGIS (10.8.1)؛ برای محاسبه شاخص اشباع از نرم‌افزار PHREEQC 2.15، برای تهیه مقاطع عرضی و مدل سه‌بعدی لیتولوژی، از نرم‌افزار Rockworks 17؛ و برای تعیین کیفیت آب جهت مصارف مختلف (شرب، کشاورزی و صنعت) از نرم‌افزار Water Chemistry استفاده شد.

رودخانه‌های مهم در نقشه زمین‌شناسی آبخوان دشت درگز (برگرفته از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۸۲).

Figure 1- Geographical location and major rivers in the geological map of the Dargaz Plain aquifer (Geological Survey and Mineral Explorations of Iran, 1982).

(همچنین رودخانه فصلی شورکال، از کوه قزل‌بایر در جنوب‌غرب (ارتفاعات الله‌اکبر) منشأ گرفته و به سمت شمال‌شرق حرکت می‌کند (Regional Water Company of Khorasan Razavi, 2010).

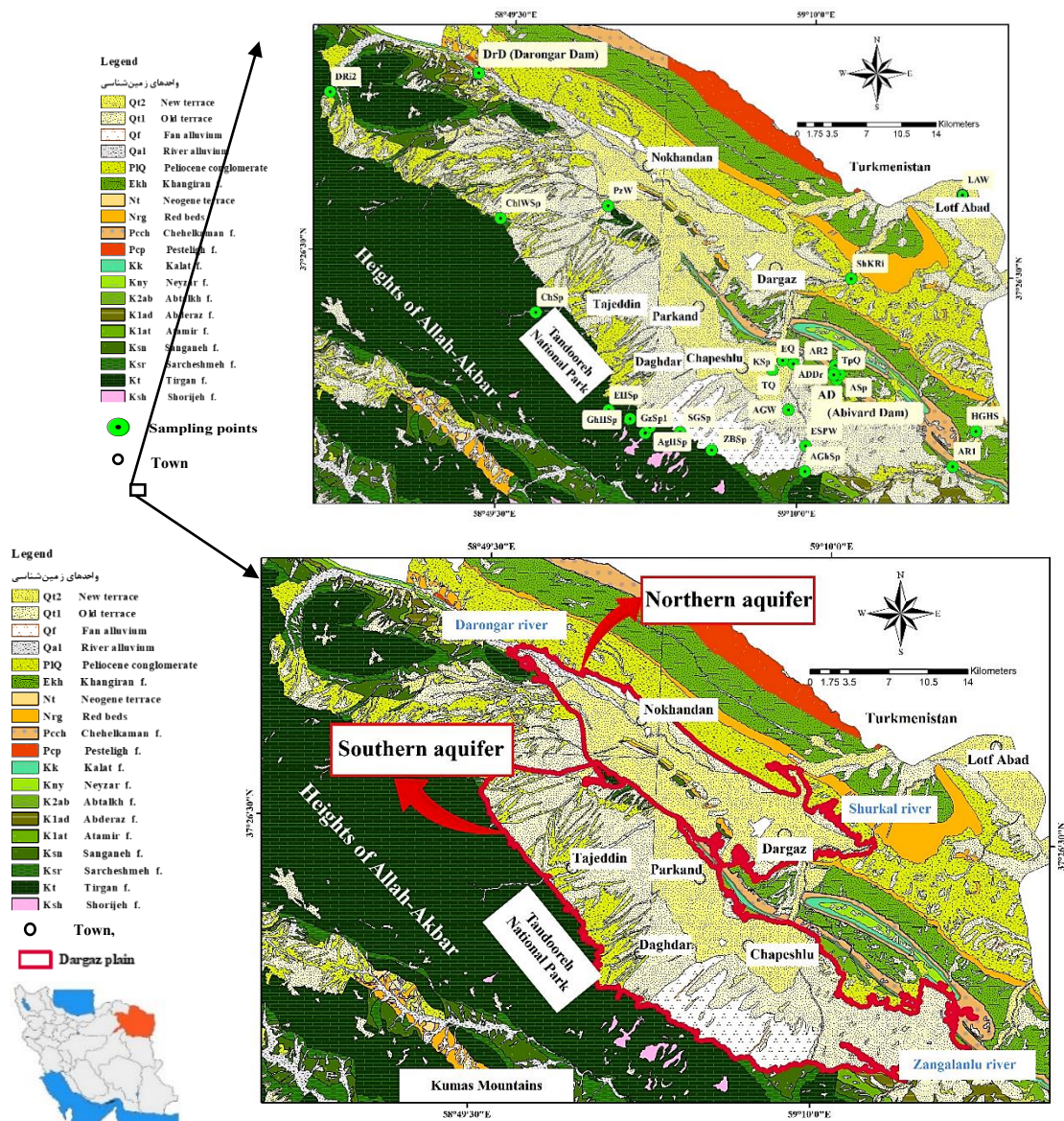
برای رسیدن به اهداف پژوهش، با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۸۲) و تصاویر گوگل ارث، موقعیت منابع آبی (شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و رودخانه‌های مهم در نقشه زمین‌شناسی آبخوان دشت درگز (برگرفته از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۸۲).

Figure 1- Geographical location and major rivers in the geological map of the Dargaz Plain aquifer (Geological Survey and Mineral Explorations of Iran, 1982).

(و موقعیت پیزومترها Error! Reference source not found. تعیین شد. بر اساس روش‌های استاندارد نمونه‌برداری found. (Mohammadzadeh, 2020)، در دو دوره خشک (مهر ۱۴۰۱) و مرطوب (فروردین ۱۴۰۲)، تعداد ۱۹ و ۲۶ نمونه جمع‌آوری و جهت آنالیز شیمیایی (غلظت یون‌های اصلی، هدایت الکتریکی و مواد جامد محلول^۱)، به آزمایشگاه آب منطقه‌ای خراسان رضوی منتقل شدند.

² Cross section

¹ Total dissolved solid



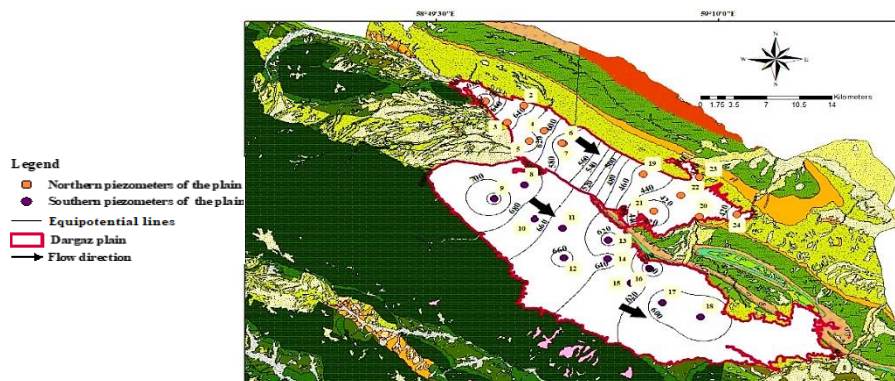
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و رودخانه‌های مهم در نقشه زمین‌شناسی آبخوان دشت درگز (برگرفته از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۸۲).

Figure 1- Geographical location and major rivers in the geological map of the Dargaz Plain aquifer (Geological Survey and Mineral Explorations of Iran, 1982).

پیزومتر نسبت به پیزومترهای عمیق‌تر مجاور است. پیزومتر داغدار-کاریز دیوانه (شکل ۶-۵)، علی‌رغم داشتن نوسانات اندک و منظم، از روند افت دائمی سطح آب برخوردار است. مطالعات ژئوفیزیکی (بررسی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری لایه‌ها و عمق سنگ کف) نشان می‌دهد که بالا آمدگی سطح آب در محدوده چرلاق و چهل‌میر، به دلیل تغذیه از برخی چشمه‌های کارستی واقع در ارتفاعات الله‌اکبر است (Mohammadzadeh et al., 2024). از آنجا که در سایر بخش‌های این ارتفاعات چشمه‌ای مشاهده نمی‌شود، می‌توان نتیجه گرفت بیشتر منابع کارستی سازند تیرگان در تغذیه آبخوان جنوبی نقشی ندارند و بارندگی، عامل اصلی افزایش سطح آب در بعضی پیزومترهای آبخوان جنوبی است. بیشترین افت و بالا آمدگی سطح آب در آبخوان شمالی به ترتیب متعلق به پیزومترهای نوخندان-در بند (۸.۷۵- متر) و درگز (۲.۵۴ متر) و در آبخوان جنوبی، تاج‌الدین-کنار جاده (۲.۶۸- متر) و پرکند (۱.۰۴ متر) می‌باشد (جدول ۱).

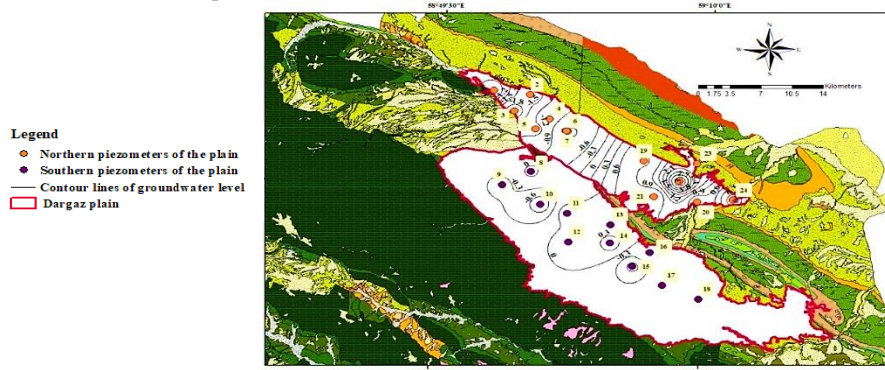
آب، بارندگی و سیلاب سال ۱۳۹۷ و سرریز سد درونگر برای تأمین آب منطقه بوده است. این بیان، با ارتفاع سطح آب در پیزومترها هماهنگی دارد، با این حال تمام پیزومترها به جز درگز، از افت کلی سطح آب برخوردارند.

پیزومترهای آبخوان جنوبی مشابه آبخوان شمالی، دارای نوسانات فصلی تغذیه- تخلیه بوده، اما شدت تغییرات در هر یک از پیزومترها متفاوت است (شکل ۶-۶). مثلاً، پیزومتر کاهو شماره ۲ (شکل ۶-۷) و پیزومتر جاده قزلق (شکل ۶-۸) دارای نوسانات نامنظم بوده و طی سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۹۰ و پس از ۱۳۹۸، ابتدا روندی افزایشی و سپس کاهشی نشان می‌دهند. پیزومتر دو راهی چاپشلو (شکل ۶-۹)، دارای نوسانات تغذیه و تخلیه منظم بوده و طی سال ۱۳۸۱ و مهر ۱۳۹۰ به بعد، افزایش سطح آب در آن قابل مشاهده است. اگرچه افت کل سطح آب زیرزمینی در این پیزومتر مقدار مثبتی را نشان می‌دهد (جدول ۱)، اما در پیزومترهای مجاور کاهش سطح آب ثبت شده است؛ این تفاوت احتمالاً به دلیل عمق کمتر این



شکل ۴- نقشه تراز سطح آب و جهت جریان آب‌های زیرزمینی در آبخوان شمالی (بالا) و جنوبی (پایین) دشت درگز (مهرماه ۱۴۰۲- فروردین ماه ۱۴۰۳).

Figure 4- Water table map and the direction of the groundwater flow in the northern (above) and southern (below) aquifers of Dargaz plain (Mehr 1402- Farvardin 1403).



شکل ۵- نقشه هم افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های شمالی و جنوبی دشت درگز (از مهر ۱۴۰۲ تا فروردین ۱۴۰۳).

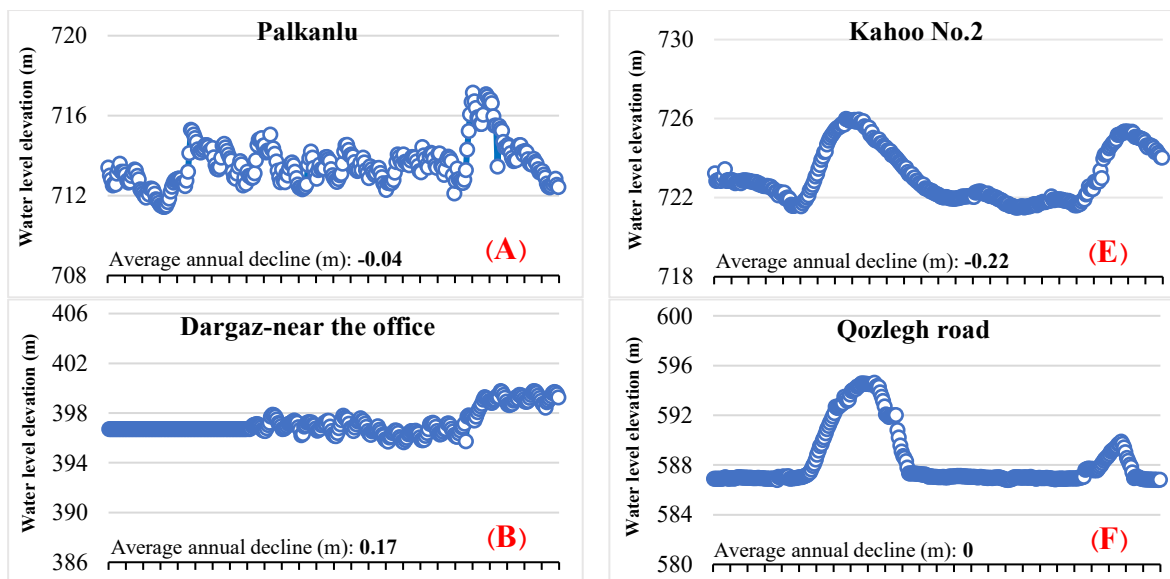
Figure 5- The water table drop map in the northern and southern aquifers of Dargaz plain (Mehr 1402- Farvardin 1403).

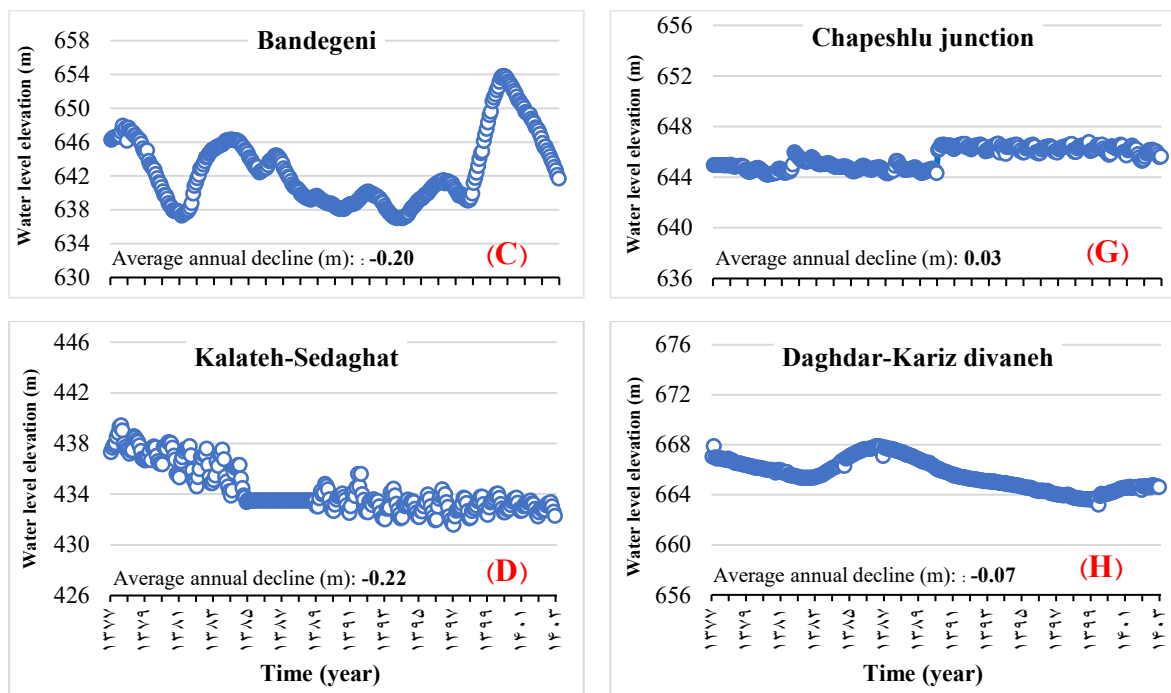
جدول ۱- افت کل سطح آب زیرزمینی و متوسط افت سالیانه در چاه‌های پیزومتری طی دوره‌های آبی مختلف در دشت درگز.

Table 1- Total water table drop and the average annual drop in piezometric wells during different water periods in Dargaz plain.

NO.	Piezometer	X (Utm)	Y (Utm)	Period (water-year)	Water level elevation (m) in October 2023	Water level elevation (m) in April 2024	Decline of the year (m) (2023-2024)	Total decline (m)*	Average annual decline (m)
1	Palkanlu	666973	4158797	1377-1403	713.22	712.47	-0.75	-0.98	-0.04
2	Jolfan-Abolma'jan	671060	4158476	1377-1403	648.03	646.26	-1.77	-5.34	-0.23
3	Bandegeni	669442	4156142	1377-1403	645.93	643.9	-2.03	-4.56	-0.20
4	Khanlanlu	673483	4155312	1385-1403	608.26	607.31	-0.95	-4.36	-0.27
5	Hazrat Sultan	671980	4153813	1381-1403	635.41	634.14	-1.27	1.62	0.09
6	Nokhandan-Health center	675628	4153709	1386-1403	581.31	579.74	-1.57	-5.13	-0.37
7	Nokhandan-Darband	675453	4153751	1363-1394	559.02	559.02	0	-8.75	-0.28
8	Kahoo N.1	671807	4147898	1377-1403	685.91	685.94	0.03	-0.16	-0.21
9	Kahoo N.2	668730	4145895	1377-1403	724.64	724.3	-0.34	0.79	-0.22
10	Tajeddin-Beside the road	673190	4143448	1363-1403	669.43	668.65	-0.78	-2.68	-0.07
11	Ezzatabad	676274	4142422	1363-1403	646.85	646.98	0.13	-1.11	-0.03
12	Daghdar-Kariz divaneh	676638	4138500	1363-1403	664.67	664.76	0.09	-2.43	-0.07
13	Parkand	681232	4141163	1363-1403	614.2	614.38	0.18	1.04	0.03
14	Chapeshlu junction	681329	4138619	1378-1403	645.62	646.06	0.44	0.69	0.03
15	Chapeshlu-Martyrs' cemetery	684040	4135553	1377-1403	635.86	635.18	-0.68	-0.24	-0.01
16	Kalateh-Kendi	685890	4137621	1363-1393	590.94	590.94	0	-0.9	-0.03
17	Qozleg road	687549	4133155	1363-1403	586.86	586.82	-0.04	-0.08	0
18	Old lands of Espahan	691726	4131553	1364-1398	590.98	590.98	0	0.85	0.03
19	Artian	684408	4153751	1377-1403	455.6	456.48	0.88	-4.89	-0.20
20	Kalateh-Sedaghat	690704	4144936	1377-1403	432.57	433.28	0.71	-5.03	-0.22
21	Dargaz-near the office	685813	4145333	1385-1403	398.74	399.36	0.62	2.54	0.17
22	Chegher-Lotfi garden	688599	4147600	1363-1403	434.39	437.66	3.27	1.78	0.05
23	Chegher-Coastal wall turn	690404	4150188	1377-1403	418.65	420.56	1.91	0.03	0
24	Ashayer village	694720	4145425	1377-1403	414.93	414.82	-0.11	-5.96	-0.26

*افت کل، اختلاف ارتفاع سطح آب هر پیزومتر در طی یک دوره (سال آبی) است.



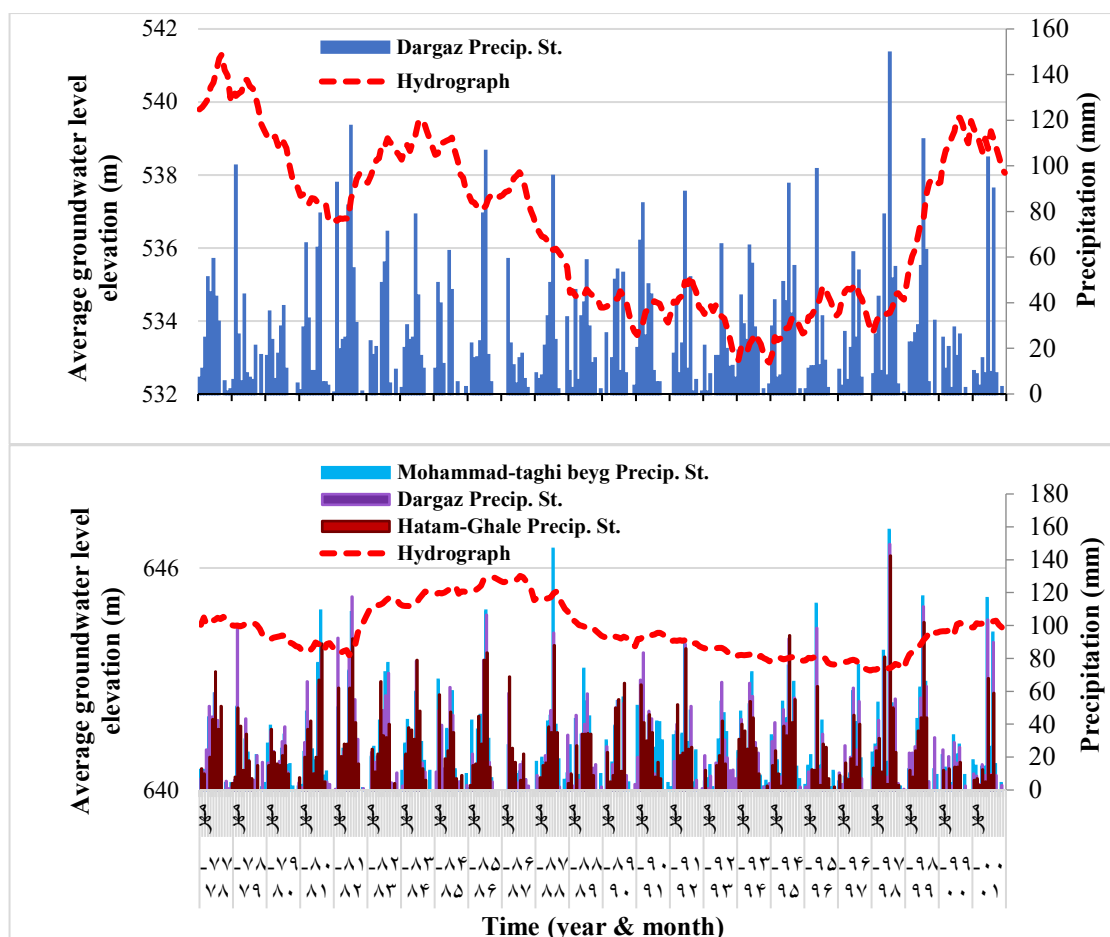


شکل ۶- هیدروگراف پیزومترهای واقع در آبخوان شمالی (پالکانلو، درگز کنار اداره آب، بندگنی و کلاته صداقت) و آبخوان جنوبی (کاهو شماره ۲، جاده قزلق، دو راهی چاپشلو و داغدار-کاریز دیوانه) (دوره آبی ۱۴۰۳-۱۳۷۷).

Figure 6- Hydrograph of piezometrics located in northern aquifer (Palkanlu, Dargaz-near the office, Bandegeni and Kalateh-Sedaghat) and in southern aquifer (Kahoo No.2, Qozlegh road, Chapeshlu junction and Daghdar-Kariz divaneh) of (water period of 1377-1403).

آمده است. به طور کلی، علی‌رغم نوسانات سطح آب طی دوره ۲۴ ساله، میزان متوسط افت سالیانه در آبخوان شمالی و جنوبی، به ترتیب $1/74$ - و $0/66$ - متر می‌باشد که بیانگر نوسانات بیشتر سطح آب زیرزمینی در آبخوان شمالی است. طولانی‌ترین دوره‌ای که هر دو آبخوان آن را سپری کرده‌اند، متعلق به مرحله سوم، با میانگین مدت حدود $12/5$ سال است. تغییرات سطح آب در هر دو هیدروگراف واحد، به برداشت بی‌رویه از چاه‌ها، تعداد زیاد چاه‌های کشاورزی به خصوص در حوالی نوخندان و درگز (آبخوان شمالی)، بارندگی و در برخی نقاط، تغذیه از کارست‌ها و سرریز شدن سد (خصوصاً درونگر) مرتبط است. لازم به ذکر است در صورت ادامه برداشت غیر اصولی، افت سطح آب در منطقه تشدید خواهد شد.

رفتار دراز مدت هیدروگراف واحد آبخوان‌های شمالی و جنوبی دشت درگز طی ۲۴ سال (۱۳۷۷-۱۴۰۱) شامل چهار مرحله رفتاری است (شکل ۷). در آبخوان شمالی، میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۷۷-۱۳۸۱ کاهش حدود $2/99$ - متر، و در ادامه، از سال ۱۳۸۱-۱۳۸۳ افزایش $2/64$ متر و مجدداً از سال ۱۳۸۳-۱۳۹۷ دچار افت $5/76$ - متر شده است. در مرحله آخر، یعنی از ۱۳۹۷ به بعد، سطح آب حدود $4/39$ متر بالا آمده است. در آبخوان جنوبی تاحدی تغییرات میانگین سطح آب زیرزمینی به لحاظ زمانی، مشابه آبخوان شمالی است، به طوری که از سال ۱۳۷۷-۱۳۸۱، حدود $0/85$ - متر افت و سپس از سال ۱۳۸۱-۱۳۸۶، به اندازه $2/18$ متر صعود کرده است. در ادامه، از سال ۱۳۸۶-۱۳۹۷ مجدد حدود $2/51$ - متر افت و در نهایت از ۱۳۹۷ به بعد، $0/51$ متر بالا



شکل ۷- هیدروگراف واحد و میزان بارندگی دراز مدت آبخوان شمالی (بالا) و آبخوان جنوبی (پایین) (دوره آبی ۱۳۷۷-۱۴۰۱) دشت درگز.

Figure 7- Long-term unit hydrograph and precipitation of northern (above) and southern (below) aquifers of Dargaz Plain (water period 1377-1401).

پشت سد) بیشترین و نمونه‌های ChlWSp (چشمه چرلاغ غربی) و DRI2 (رودخانه درونگر-۲)، کمترین میزان TDS را نشان می‌دهند. همچنین به علت تبخیر کم و بارندگی بالا، مقدار TDS در دوره مرطوب نسبت به خشک کمتر است. جزئیات مربوط به نتایج کاربری‌های متفاوت منابع آب (جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت) و تیپ و رخساره آن‌ها در (جدول ۲) و (۲)

تکامل هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت درگز

جهت بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی، فرآیند غالب کنترل‌کننده کیفیت آب زیرزمینی، و روند تکامل هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت درگز، تکنیک‌های هیدروژئوشیمیایی مختلف برای تفسیر آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب به کار گرفته شد.

نمودارهای کیفی دایره‌ای: مطابق نمودار دایره‌ای کیفیت منابع

آب، تغییرات هیدروژئوشیمیایی در مسیر جریان از محل تغذیه به تخلیه رخ داده و مقدار TDS، از غرب و جنوب غرب به شمال و شمال شرق افزایش می‌یابد (شکل ۸). علاوه بر آن، از مقدار یون بیکربنات کاسته شده و به تدریج به مقدار یون‌های سولفات، کلر و سدیم افزوده می‌شود. این تغییرات ناشی از انحلال سازندهای مختلف (سرچشمه، پسته‌لیق و ...)، بارندگی کم، تبخیر و آب برگشتی کشاورزی است. در هر دو دوره خشک و مرطوب، نمونه Asp (آب چشمه

جدول ۳) ارائه شده است.

Location name	Geographical Coordinates		Field parameters					Drinking		Agriculture		Industrial	
	x	y	pH	TH (mg li-1)	TDS (mg li-1)	EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Ion balance %	Ca/Mg	Scholler Class.	Wilcox Class.	Quality	LSI	pHs
Dam Reservoir	695465	4135242	7.8	338.8	491	981	5.05	4.23	Good	C3-S1	Moderate	-0.53	7.3
in Downstream	707653	4135817	8.1	3786.7	11900	23800	2.64	0.81	Undrinkable	C4-S4	Unsuitable	-3.17	4.9
River1	695227	4127177	8.1	492.1	529	1058	3.24	1.41	Acceptable	C3-S1	Moderate	-0.14	8
River2	695281	4136651	8.3	696.1	1480	2960	4.75	1.59	Moderate	C4-S2	Unsuitable	-1.77	6.5
age from Dam	695729	4135894	8.3	874.6	2080	4180	5.11	1.32	Unsuitable	C4-S3	Unsuitable	-2.01	6.3
ery in Dam	695180	4136008	8.1	2904	773	15460	3.93	0.88	Acceptable	C4-S4	Unsuitable	-2.92	5.2
njogh Qanat	691018	4136575	7.9	426.5	1705	3410	4.39	0.82	Moderate	C4-S3	Unsuitable	-1.39	6.6
agoz Well	690815	4131885	7.6	490.9	1815	3630	3.73	0.6	Moderate	C4-S4	Unsuitable	-1.03	6.6
alek Qanat	688946	4135816	7.7	427.1	1140	2289	3.91	1.05	Moderate	C4-S2	Unsuitable	-0.98	6.8
achkhor Qanat	689924	4136842	7.1	1582.7	2450	4900	4.36	0.73	Unsuitable	C4-S2	Unsuitable	-0.85	6.3
anabad Qanat	689134	4134732	8.2	461.5	1205	2410	4.76	0.79	Good	C4-S2	Unsuitable	-1.45	6.8
Ghale Spring	692860	4125744	8.0	203.8	340	679	2.55	1.41	Good	C2-S1	Good	-0.29	7.8
lot Spring	674972	4129977	7.6	243.4	367	733	1.63	1.13	Moderate	C2-S1	Good	0.19	7.8
ozorg Spring	683363	4127317	8.0	392.9	560	1120	3.8	1.72	Acceptable	C3-S1	Moderate	-0.63	7.4
aldy Spring	680087	4128924	7.7	313	412	832	2.06	1.25	Good	C3-S1	Moderate	0.08	7.8
spian Well	692770	4128333	7.3	11.9	895	1790	3.1	1.13	Acceptable	C3-S1	Moderate	-0.32	7
ongar River2	642770	4161131	8.0	158.86	270	406	1.11	0.88	Good	C2-S1	Good	0.42	8.4
ongar Dam	657565	4163984	7.7	238.26	573	871	0.73	0.85	Acceptable	C3-S1	Moderate	0.02	7.7
ehelmir Sp.	664825	4140134	7.4	666.73	868	1022	2.65	2.05	Moderate	C3-S1	Moderate	0.25	7.7
ghanbar Hot Sp.	672768	4130706	7.2	216.18	456	796	0.9	1.29	Acceptable	C3-S1	Moderate	0.60	7.8
agh Hot Spring	674915	4129894	7.4	213.73	476	824	1.62	1.39	Acceptable	C3-S1	Moderate	0.45	7.8
dash Hot Sp.	676572	4128611	7.5	258.46	519	862	0.35	1.36	Acceptable	C3-S1	Moderate	0.22	7.7
ozlegh Sp.1	683360	4127308	7.5	203.52	435	638	1	0.86	Acceptable	C2-S1	Good	0.35	7.9
orkal River	696276	4145548	7.3	2642.59	9767	11405	4.83	0.55	Undrinkable	C4-S4	Unsuitable	-1.85	5.5
ale Hydrometric St.	709777	4130907	7.7	511.64	802	1166	3.21	1.1	Acceptable	C3-S1	Moderate	-0.23	7.5
ivard Dam	695142	4135730	7.7	672.23	1305	1828	2.56	2.86	Moderate	C3-S1	Moderate	-0.78	6.9

Legend

Piper diagram

TDS (mg/Li)

0-1,400

Ca^{2+}

Mg^{2+}

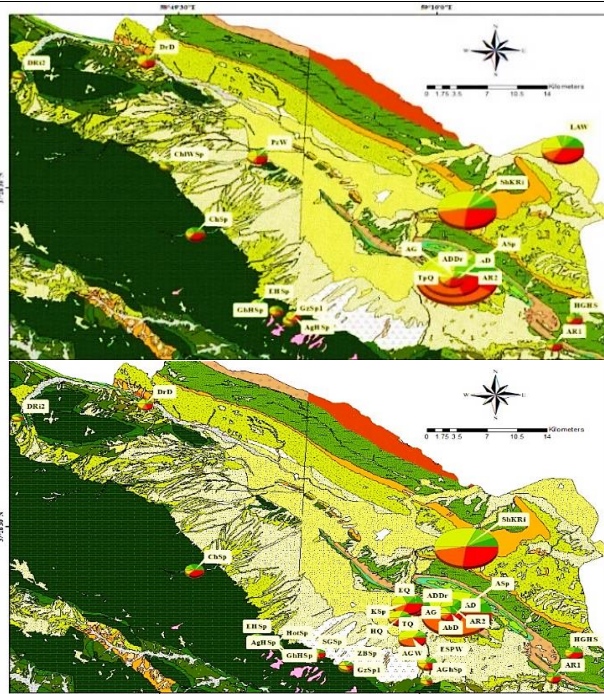
$\text{Na}^{+}\text{K}^{+}$

$\text{CO}_3^{2-}\text{HCO}_3^{-}$

Cl^{-}

SO_4^{2-}

غلظت یون‌ها بر حسب (mg/L)

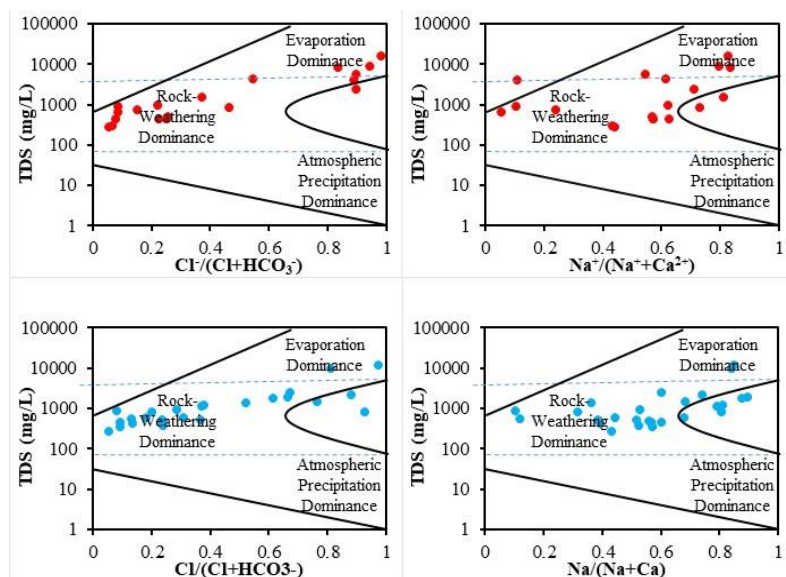


شکل ۸- پراکندگی غلظت یونی نقاط نمونه برداری شده در آبخوان دشت درگز طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۴۰۲ و نمودار دایره‌ای ترسیم شده آن‌ها (بالا، دوره خشک-پایین، دوره مرطوب).

Figure 8- Distribution of ion concentration of sampled points in Dargaz Plain reservoir during 1400-1402 and their drawn pie charts (up, dry period; down, wet period).

نمونه‌ها قابل توجه است (شکل ۹). این امر نشان‌دهنده نقش قابل توجه انحلال سازندهای زمین‌شناسی در کیفیت آب منطقه است.

نمودار گیبس: مطابق نمودار گیبس (Gibbs, 1970)، بیشتر نمونه‌های آبی دشت درگز تحت تأثیر برهم‌کنش آب و سنگ قرار دارند، هرچند تأثیر فرآیندهای تبخیری نیز در برخی

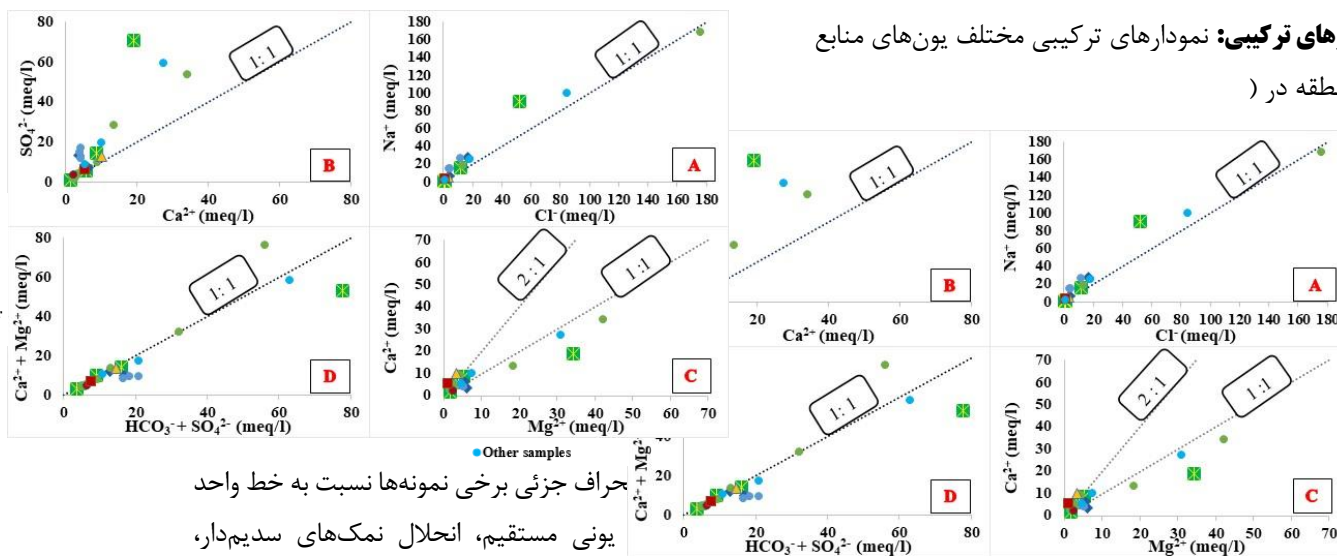


شکل ۹- تعیین عوامل مؤثر بر کیفیت آب آبخوان دشت درگز با استفاده از نمودار گیبس (بالا، دوره خشک - پایین، دوره مرطوب).

Figure 9- Determining the effective factors on the water quality of Dargaz plain reservoir using Gibbs diagram, (up, dry period, down, wet period).

نمودارهای ترکیبی: نمودارهای ترکیبی مختلف یون‌های منابع

آبی منطقه در)



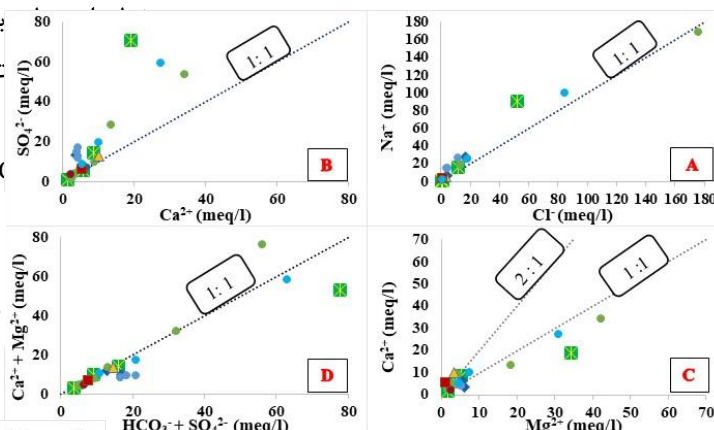
جراف جزئی برخی نمونه‌ها نسبت به خط واحد یونی مستقیم، انحلال نمک‌های سدیم‌دار،

هوازدگی کانی‌های سیلیکاته (بالای خط واحد ۱:۱) و یا تحت تأثیر تبادل یونی معکوس و جذب آب توسط کانی‌های رسی (پایین خط واحد ۱:۱) می‌باشد (Jahanshahi Zare., 2017, Liu et al., 2016). در نمودار Ca^{2+} در برابر SO_4^{2-} ، بیشتر نمونه‌ها روی یا بالای خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند که به ترتیب نشان‌دهنده انحلال ژپس و انیدریت (سازند سرچشمه)، و افزایش یون سولفات احتمالاً ناشی از به کارگیری کودهای

شکل ۱۰) ارائه شده است. طبق نمودار Na^+ در برابر Cl^- ، بیشتر نمونه‌های آب بر روی خط واحد ۱:۱ (انحلال هالیت) قرار دارند)

سولفات کشارزی و انحلال دیگر مواد معدنی حاوی سولفات (شکل ۱۰-۱). در نمودار $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ در برابر $HCO_3^- + SO_4^{2-}$ برخی نمونه‌ها و تعدادی از چشمه‌های آب گرم روی

با غلظت کمتر از ۱۰ میلی اکی والان بر لیتر (کلسیت) قرار دارند. همچنین، نمونه‌های با ۱۰ میلی اکی والان بر لیتر (مانند چشمه) نیز در محدوده رسوب و انیدریت مرتبط هستند؛ در حالی که قرارگیری مگر تبادل یونی مستقیم است

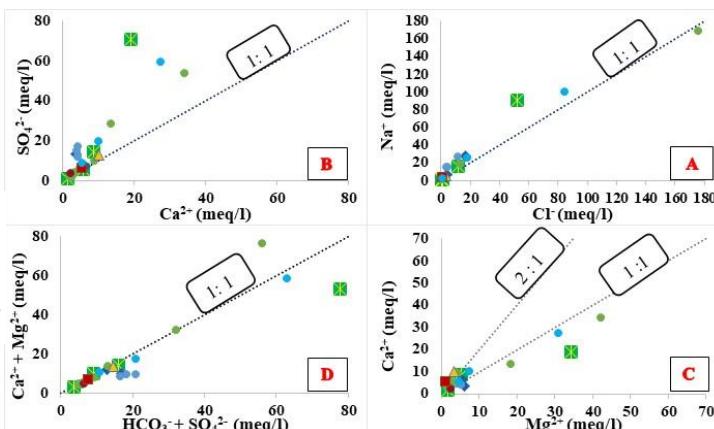


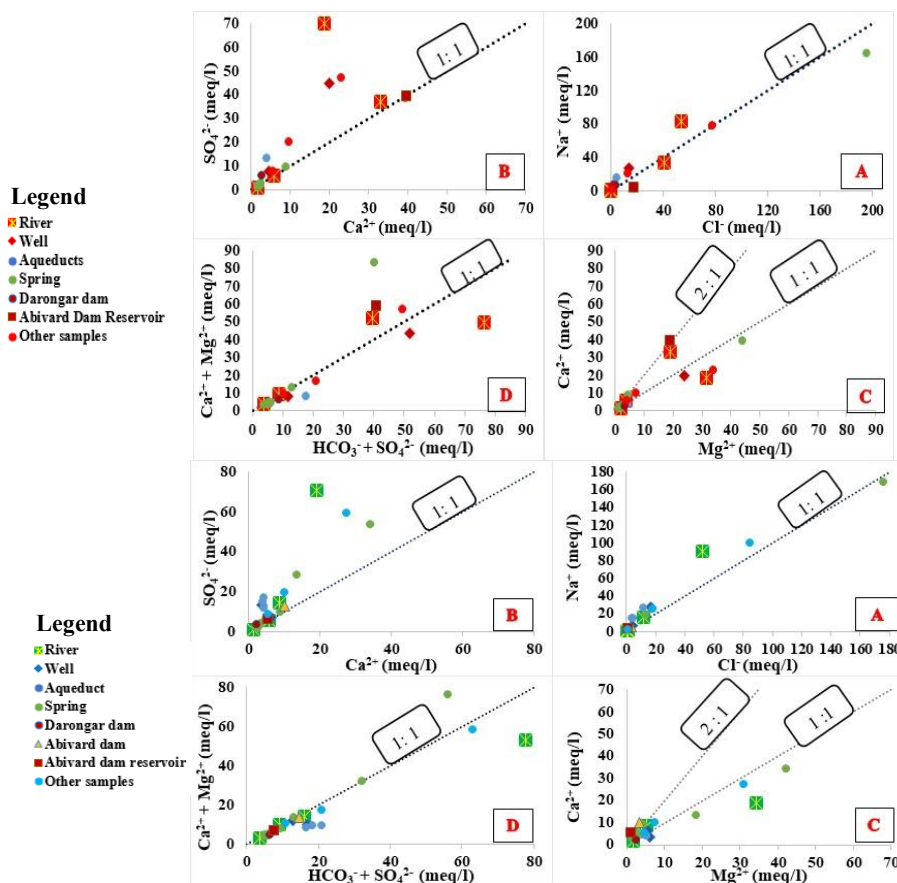
شکل ۱۰-۱). در نمودار Ca^{2+} در برابر Mg^{2+} ، نمونه‌ها بین خطوط ۱:۱ و ۲:۱ (انحلال کلسیت و آراگونیت) و برخی زیر خط ۱:۱ (به دلیل افزایش مقدار منیزیم) قرار دارند. با توجه به موقعیت برخی از نمونه‌ها، این الگو می‌تواند نشان‌دهنده تبخیر بالا و یا تأثیرپذیری از اراضی کشاورزی باشد. در واقع، افزایش منیزیم در نمونه‌ها ناشی از انحلال دولومیت نبوده، بلکه تحت تأثیر انحلال کانی‌های رسی و فلدسپاتی است. نمونه‌های بالای خط ۲:۱ (مانند سد ابیورد و چشمه چهل‌میر)، از هوازنگی سیلیکات‌ها تأثیر گرفته‌اند

شکل ۱۰-۱). (D-۱۰)

Legend

- River
- Well
- ▲ Aqueduct
- Spring
- Darongar dam
- ▲ Abivard dam
- Abivard dam reservoir
- Other samples



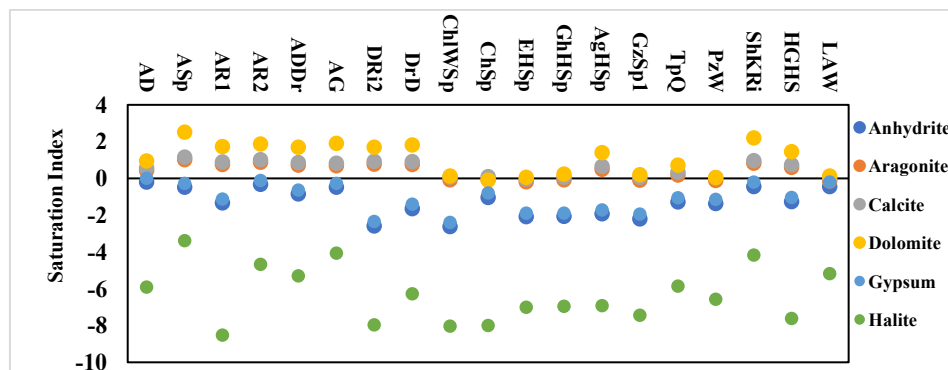


شکل ۱۰- نمودار ترکیبی (A) سدیم-کلر، (B) کلسیم-سولفات، (C) کلسیم-منیزیم و (D) کلسیم+منیزیم-بیکربنات+سولفات)، آبخوان دشت درگز، دوره‌های خشک و مرطوب.

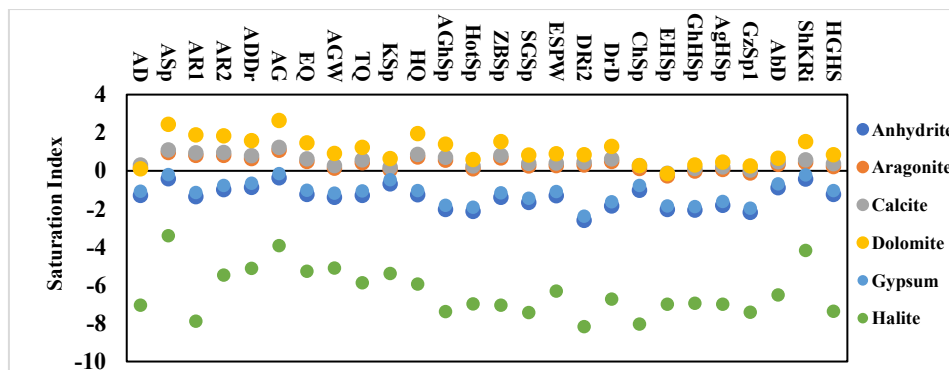
Figure 10- Compound diagram, A) Na^+ -Cl, B) Ca^{2+} - SO_4^{2-} , C) Na^+ - Ca^{2+} and D) Ca^{2+} + Mg^{2+} - HCO_3^- + SO_4^{2-} of Dargaz Plain aquifer during dry and wet periods.

قابلیت انحلال در آب را دارند. علاوه بر این، مقادیر شاخص اشباع در هر دو آبخوان (شمالی و جنوبی)، از بخش‌های غربی به سمت شمال و شمال شرقی بیشتر می‌شود که علت آن را می‌توان به تکامل هیدروژئوشیمیایی آب از محل تغذیه به تخلیه دانست.

شاخص اشباع^۳: مقادیر شاخص اشباع محاسبه شده نشان می‌دهد که همه نمونه‌ها نسبت به کانی‌های کلسیت، دولومیت و آراگونیت فوق اشباع بوده و تمایل به ته نشست دارند (شکل ۱۱). این امر، نشان‌دهنده انحلال واحدهای آهکی (سازند تیرگان) است. همچنین، نسبت به کانی‌های انیدریت، ژپس و هالیت تحت اشباع (منفی) بوده که نشان می‌دهد این کانی‌ها



³ Saturation Index (SI)



شکل ۱۱- پراکندگی شاخص اشباع کانی‌های مختلف در منابع آبی آبخوان دشت درگز (بالا، دوره خشک- پایین، دوره مرطوب).
Figure 11- Dispersion of the saturation index of different minerals in the water resources of the Dargaz plain (up, dry period; down, wet period).

بررسی ارتباط آبخوان‌های آبرفتی و کارستی منطقه

با توجه به Error! Reference source not found. در مقطع AA' (آبخوان جنوبی)، واحدهای رسی- مازنی در مرکز دشت ضخیم‌تر بوده و به سمت طرفین، رسوبات ماسه‌سنگی و ماسه- گراولی مشاهده می‌شوند. مقطع BB' (آبخوان شمالی) نیز مشابه AA' است، اما برخلاف آن، دارای ضخامت کمتر و رسوبات ماسه- گراولی بیشتری است. حضور این رسوبات، با تراکم چاه‌ها در آبخوان شمالی (حوالی نوخندان) هم‌خوانی دارد. مقاطع CC' و DD'، هر دو آبخوان شمالی و جنوبی را قطع نموده و حضور واحدهای رسی در حدفاصل بین دو آبخوان، تأییدی بر نتایج ژئوفیزیکی است. در مقطع CC'، ماسه و گراول غالب است و به سمت شمال شرق منطقه، اندازه رسوبات بزرگتر می‌شود، اما در مقطع DD'، ضخامت کمتری از رسوبات درشت‌دانه دیده می‌شود و در بخش‌های انتهایی آبخوان شمالی، واحدهای رسی نیز قابل مشاهده است.

مدل‌های سه‌بعدی، ابزارهایی کاربردی برای درک ساختارهای زمین‌شناسی زیرسطحی بوده و اکتشاف منابع آب زیرزمینی را آسان‌تر می‌کنند. در Error! Reference source not found. A، توزیع چاه‌ها و توالی واحدهای سنگ‌شناسی و در Error! Reference source not found. B، مدل سه‌بعدی لیتولوژی،

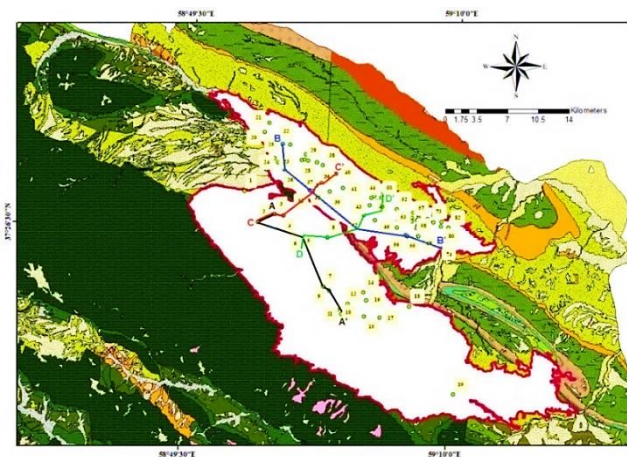
که تغییرات ضخامت و پیوستگی جانبی لایه‌ها را مشخص می‌کند، نشان داده شده است. متمایل بودن و تغییر شیب لایه‌ها با شواهد ژئوفیزیکی تطابق داشته و نشان‌دهنده گسل خوردگی طی یک فرآیند تکتونیکی است. واحدهای رسی (رنگ سبز) در بخش زیرین محدوده آبرفتی، ماسه- گراول (رنگ قهوه‌ای) در بالای آن و ماسه‌سنگ (رنگ آبی) در برخی

برای فهم ارتباط آبخوان‌های آبرفتی با کارستی، نتایج ژئوفیزیکی و لاگ چاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعات ژئوفیزیکی (۱۳۵۰)، نشان می‌دهد که جنس سنگ کف دشت عمدتاً از واحدهای نئوژنی است، به جز بخش مرکزی که رخنمون آهکی دارد. گسل عبوری از مرکز دشت، واحدهای نئوژنی را بالا آورده و ارتباط آبخوان‌های شمالی و جنوبی را قطع کرده است. رخنمون یافتن لایه‌های آهکی تیرگان نیز در برخی نقاط دشت، تحت تأثیر همین فعالیت تکتونیکی روی داده است (Velaati, 1983). بررسی نقشه‌های هم‌عمق و تغییرات مقاومت ویژه ظاهری ρ_a لایه‌ها در آبخوان جنوبی نشان می‌دهد که با افزایش عمق، ضخامت واحدهای آهکی ارتفاعات الله‌اکبر بیشتر ولی درز و شکاف‌ها کمتر می‌شود. به دلیل ضخامت کم آبرفت و عدم چشمه‌های پرآب در این محدوده، رابطه چندانی بین آبخوان آبرفتی (جنوبی) با آبخوان کارستی تیرگان جز در بخش محدودی (چرلاق و چهل‌میر) وجود ندارد. در واقع، حضور لایه‌های دانه‌ریز رسی در عمق، مانع ایجاد این ارتباط می‌شود (Mohammadzadeh et al., 2024).

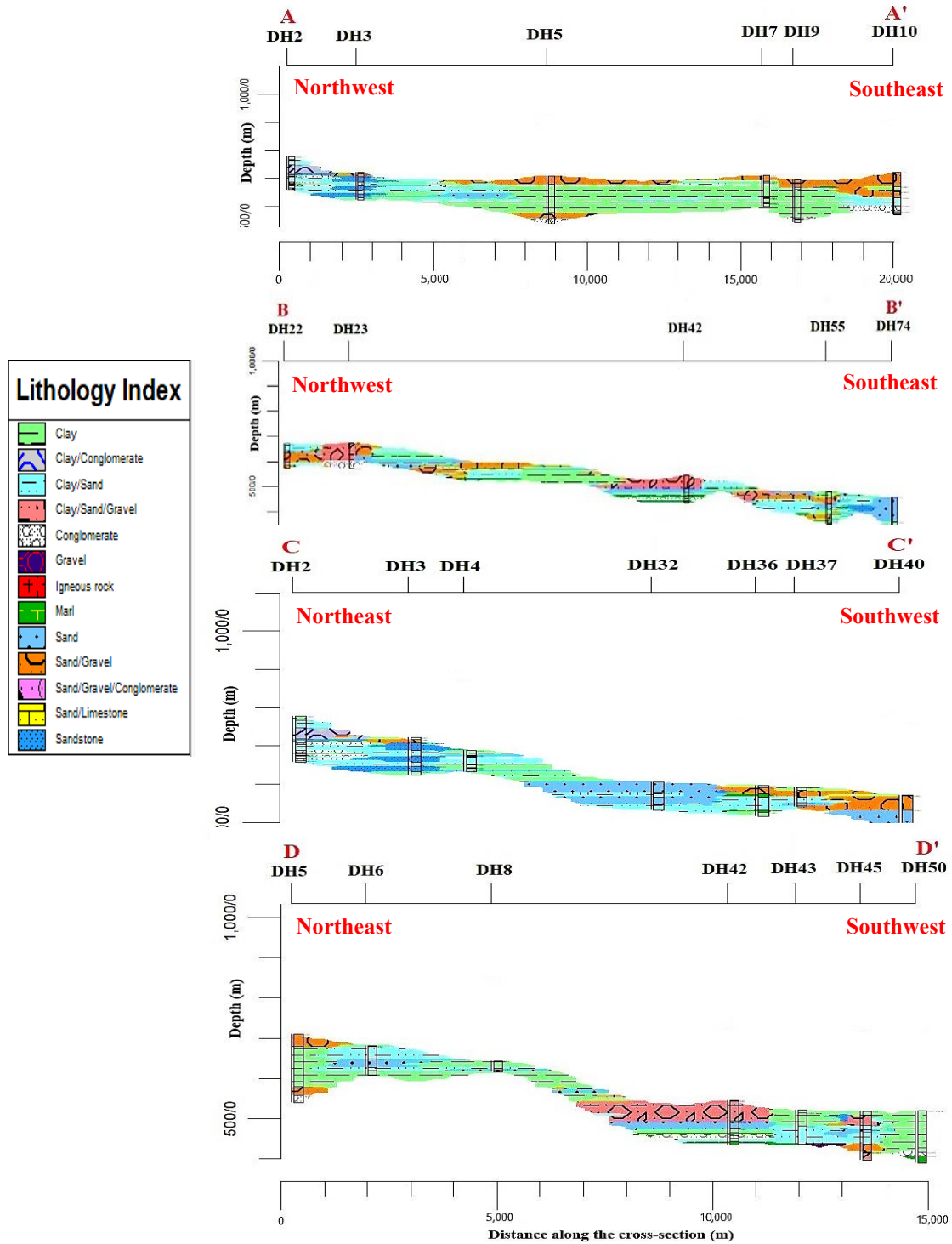
با استفاده از لاگ ۸۳ چاه بهره‌برداری (کشاورزی و صنعت)، که تراکم آن‌ها در آبخوان شمالی بیشتر است (شکل ۱۲)، چهار مقطع عرضی لیتولوژی در راستاهای مختلف دشت جهت بررسی لایه‌بندی آبخوان تهیه شد (Error! Reference source not found). علت انتخاب این مقاطع عرضی، قرارگیری چاه‌های عمیق‌تر در راستای سطح دشت بوده است.

⁴ Specific apparent resistance (ρ_a)

نواحی، عمده‌ترین ترکیب لیتولوژیکی مدل را تشکیل می‌دهند. شمال غرب آبخوان شمالی، به دلیل تأثیر رودخانه درونگر (دره شمخال) و وجود واحدهای ماسه‌سنگی با پتانسیل ذخیره آب، ارتباط هیدرولیکی قابل توجهی بین آبخوان‌های آبرفتی و کارستی تیرگان مشاهده می‌شود. اگرچه در اعماق آبخوان جنوبی رسوبات دانه متوسط وجود دارد، اما به دلیل تغذیه اندک و حضور لایه‌های رسی ضخیم، تنها در مناطق جنوب شرقی چاپشلو و پرکند، ارتباط میان آبخوان آبرفتی و کارستی برقرار است. در حالی که در

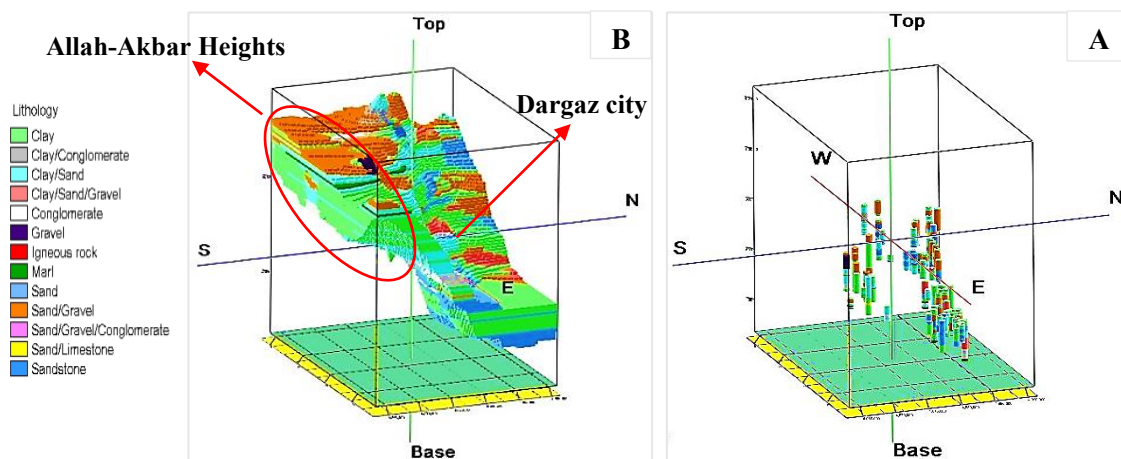


شکل ۱۲- موقعیت چاه‌های بهره‌برداری و راستای مقاطع عرضی لیتولوژی در سطح آبخوان آبرفتی دشت درگز
Figure 12- Location of exploitation wells and trends of lithological cross-sections in the alluvial aquifer of the Dargaz plain.



شکل ۱۳- مقاطع عرضی لیتولوژی دشت درگز (AA' و BB' در جهت شمال غرب- جنوب شرق و CC' و DD' در جهت شمال شرق- جنوب غرب)

Figure 13- Lithological cross-sections of the Dargaz plain (AA' & BB' in the northwest-southeast direction and CC' & DD' in the northeast-southwest direction).



شکل ۱۴- A) نمای سه بعدی لاگ چاه‌ها، و B) مدل سه بعدی لیتولوژی در آبخوان آبرفتی دشت درگز.

Figure 14- A) Three-dimensional view of well logs, and B) Three-dimensional lithology model in the alluvial aquifer of the Dargaz plain.

جدول ۲- انواع کاربری‌های متفاوت (شرب، صنعت و کشاورزی) دشت درگز، دوره خشک.

Table2- Different types of uses (drinking, industry and agriculture) of Dargaz plain, Dry period.

Abbrevia tion	Location name	Geographical Coordinates		Field parameters					Drinking		Agriculture		Industrial			Type & Facies
		x	y	pH	TH (mg li ⁻¹)	TDS (mg li ⁻¹)	EC (μS cm ⁻¹)	Ion balance %	Ca/ Mg	Scholler Class.	Wilcox Class.	Quality	LSI	pHs	Quality	
AD	Abivard Dam Reservoir	695465	4135242	7.6	2915.8	4069	6260	4.1	2.08	Unpalatable	C ₄ -S ₁	Unsuitable	-1.3	6.3	Precipitating	CaSO ₄
ASp	Spring in Downstream	695729	4135894	8.3	4140.3	15665	24100	2.6	0.9	Undrinkable	C ₄ -S ₄	Unsuitable	-3.35	4.9	Precipitating	NaCl
AR1	River1	707653	4135817	8.1	472.4	623	959	3.52	1.64	Acceptable	C ₃ -S ₁	Moderate	0.14	8.2	Corrosive	CaSO ₄
AR2	River2	695227	4127177	8.2	2586.2	5519	8490	3.7	1.74	Unpalatable	C ₄ -S ₃	Unsuitable	-2.63	5.6	Precipitating	NaCl
ADDr	Drainage from Dam	695281	4136651	8.4	844.9	2405	3700	4.99	1.36	Unsuitable	C ₄ -S ₂	Unsuitable	-2.12	6.3	Precipitating	Na ₂ SO ₄
AG	Gallery in Dam	695180	4136008	8.2	2827.5	8593	13220	3.48	0.68	Undrinkable	C ₄ -S ₄	Unsuitable	-2.83	5.4	Precipitating	NaCl
DRi2	Darongar River2	642770	4161131	8.4	181.22	285	408	2.73	0.92	Good	C ₂ -S ₁	Good	-0.06	8.3	Precipitating	Mg(HCO ₃) ₂
DrD	Darongar Dam	657565	4163984	8.4	312.66	806	1153	1.34	0.8	Acceptable	C ₂ -S ₁	Good	-1.05	7.3	Precipitating	Na ₂ SO ₄
ChlWSp	Westen Chorlagh Sp.	660688	4149432	7.7	156.5	266	406	1.38	1.17	Good	C ₂ -S ₁	Good	0.56	8.3	Corrosive	Ca(HCO ₃) ₂
ChSp	Chehelmir Sp.	664825	4140134	7.2	656.8	871	1129	2.49	2.07	Moderate	C ₃ -S ₁	Moderate	0.46	7.7	Corrosive	CaSO ₄
EHSp	Emamghanbar Hot Sp.	672768	4130706	7.3	208.68	425	880	1.45	1.21	Acceptable	C ₃ -S ₁	Moderate	0.50	7.8	Corrosive	NaHCO ₃
GhHSp	Gholjeagh Hot Spring	674915	4129894	7.4	218.62	431	911	0.67	1.2	Good	C ₃ -S ₁	Moderate	0.35	7.8	Corrosive	NaHCO ₃
AgHSp	Aghdash Hot Sp.	677006	4129266	8.1	238.42	482	857	1.91	1.09	Acceptable	C ₃ -S ₁	Moderate	-0.26	7.8	Precipitating	NaHCO ₃
GzSp1	Ghozlegh Sp.1	676572	4128611	7.6	193.62	418	652	1.05	0.9	Acceptable	C ₂ -S ₁	Good	0.33	7.9	Corrosive	NaHCO ₃
TpQ	Tepalek Qanat	695142	4135730	7.7	417.09	1494	2105	3.61	0.95	Moderate	C ₃ -S ₂	Moderate	-0.82	6.9	Precipitating	Na ₂ SO ₄
PzW	Pirzad Well	671402	4151367	7.3	402.55	911	1342	4.11	1.31	Moderate	C ₃ -S ₁	Moderate	-0.10	7.2	Precipitating	Na ₂ SO ₄
ShKRi	Shorkal River	696276	4145548	7.9	2479.42	8225	10139	1	0.59	Undrinkable	C ₄ -S ₄	Unsuitable	-2.40	5.5	Precipitating	Na ₂ SO ₄
HGHS	Hatam Ghale Hydrometric St.	709777	4130907	8.1	477.13	705	1065	0.44	1.34	Acceptable	C ₃ -S ₁	Moderate	-0.40	7.7	Precipitating	CaSO ₄
LAW	Lotf Abad Well	706903	4154737	6.7	2174.04	4321	5604	4.39	0.84	Unpalatable	C ₄ -S ₂	Unsuitable	-0.81	5.9	Precipitating	Na ₂ SO ₄

جدول ۳- انواع کاربری‌های متفاوت (شرب، صنعت و کشاورزی) دشت درگز، دوره مرطوب.

Table3- Different types of uses (drinking, industry and agriculture) of Dargaz plain, Wet period.

Abbrevia tion	Location name	Geographical Coordinates		Field parameters					Drinking	Agriculture		Industrial		Type & Facies		
		x	y	pH	TH (mg li ⁻¹)	TDS (mg li ⁻¹)	EC (μS cm ⁻¹)	Ion balance %	Ca/ Mg	Scholler Class.	Wilcox Class.	Quality	LSI		pHs	Quality
AD	Abivard Dam Reservoir	695465	4135242	7.8	338.8	491	981	5.05	4.23	Good	C ₃ -S ₁	Moderate	-0.53	7.3	Precipitating	CaSO ₄
ASp	Spring in Downstream	707653	4135817	8.1	3786.7	11900	23800	2.64	0.81	Undrinkable	C ₄ -S ₄	Unsuitable	-3.17	4.9	Precipitating	NaCl
AR1	River1	695227	4127177	8.1	492.1	529	1058	3.24	1.41	Acceptable	C ₃ -S ₁	Moderate	-0.14	8	Precipitating	CaSO ₄
AR2	River2	695281	4136651	8.3	696.1	1480	2960	4.75	1.59	Moderate	C ₄ -S ₂	Unsuitable	-1.77	6.5	Precipitating	Na ₂ SO ₄
ADDr	Drainage from Dam	695729	4135894	8.3	874.6	2080	4180	5.11	1.32	Unsuitable	C ₄ -S ₃	Unsuitable	-2.01	6.3	Precipitating	Na ₂ SO ₄
AG	Gallery in Dam	695180	4136008	8.1	2904	773	15460	3.93	0.88	Acceptable	C ₄ -S ₄	Unsuitable	-2.92	5.2	Precipitating	NaCl
EQ	Elanjogh Qanat	691018	4136575	7.9	426.5	1705	3410	4.39	0.82	Moderate	C ₄ -S ₃	Unsuitable	-1.39	6.6	Precipitating	Na ₂ SO ₄
AGW	Alagoz Well	690815	4131885	7.6	490.9	1815	3630	3.73	0.6	Moderate	C ₄ -S ₄	Unsuitable	-1.03	6.6	Precipitating	NaCl
TQ	Tepalek Qanat	688946	4135816	7.7	427.1	1140	2289	3.91	1.05	Moderate	C ₄ -S ₂	Unsuitable	-0.98	6.8	Precipitating	Na ₂ SO ₄
KSp	Komachkhor Qanat	689924	4136842	7.1	1582.7	2450	4900	4.36	0.73	Unsuitable	C ₄ -S ₂	Unsuitable	-0.85	6.3	Precipitating	MgSO ₄
HQ	Hasanabad Qanat	689134	4134732	8.2	461.5	1205	2410	4.76	0.79	Good	C ₄ -S ₂	Unsuitable	-1.45	6.8	Precipitating	Na ₂ SO ₄
AGhSp	Ab Ghale Spring	692860	4125744	8.0	203.8	340	679	2.55	1.41	Good	C ₂ -S ₁	Good	-0.29	7.8	Precipitating	NaHCO ₃
HotSp	Hot Spring	674972	4129977	7.6	243.4	367	733	1.63	1.13	Moderate	C ₂ -S ₁	Good	0.19	7.8	Corrosive	Ca(HCO ₃) ₂
ZBSp	Zobozorg Spring	683363	4127317	8.0	392.9	560	1120	3.8	1.72	Acceptable	C ₃ -S ₁	Moderate	-0.63	7.4	Precipitating	CaSO ₄
SGSp	Sogaldy Spring	680087	4128924	7.7	313	412	832	2.06	1.25	Good	C ₃ -S ₁	Moderate	0.08	7.8	Corrosive	CaSO ₄
ESPW	Espian Well	692770	4128333	7.3	11.9	895	1790	3.1	1.13	Acceptable	C ₃ -S ₁	Moderate	-0.32	7	Precipitating	CaSO ₄
DRi2	Darongar River2	642770	4161131	8.0	158.86	270	406	1.11	0.88	Good	C ₂ -S ₁	Good	0.42	8.4	Corrosive	Mg(HCO ₃) ₂
DrD	Darongar Dam	657565	4163984	7.7	238.26	573	871	0.73	0.85	Acceptable	C ₃ -S ₁	Moderate	0.02	7.7	Corrosive	Na ₂ SO ₄
ChSp	Chehelmir Sp.	664825	4140134	7.4	666.73	868	1022	2.65	2.05	Moderate	C ₃ -S ₁	Moderate	0.25	7.7	Corrosive	CaSO ₄
EHSp	Emamghanbar Hot Sp.	672768	4130706	7.2	216.18	456	796	0.9	1.29	Acceptable	C ₃ -S ₁	Moderate	0.60	7.8	Corrosive	NaHCO ₃
GhHSp	Gholjeagh Hot Spring	674915	4129894	7.4	213.73	476	824	1.62	1.39	Acceptable	C ₃ -S ₁	Moderate	0.45	7.8	Corrosive	NaHCO ₃
AgHSp	Aghdash Hot Sp.	676572	4128611	7.5	258.46	519	862	0.35	1.36	Acceptable	C ₃ -S ₁	Moderate	0.22	7.7	Corrosive	Ca(HCO ₃) ₂
GzSp1	Ghozlegh Sp.1	683360	4127308	7.5	203.52	435	638	1	0.86	Acceptable	C ₂ -S ₁	Good	0.35	7.9	Corrosive	NaHCO ₃
ShKRi	Shorkal River	696276	4145548	7.3	2642.59	9767	11405	4.83	0.55	Undrinkable	C ₄ -S ₄	Unsuitable	-1.85	5.5	Precipitating	Na ₂ SO ₄
HGHS	Hatam Ghale Hydrometric St.	709777	4130907	7.7	511.64	802	1166	3.21	1.1	Acceptable	C ₃ -S ₁	Moderate	-0.23	7.5	Precipitating	CaSO ₄
AbD	Abivard Dam	695142	4135730	7.7	672.23	1305	1828	2.56	2.86	Moderate	C ₃ -S ₁	Moderate	-0.78	6.9	Precipitating	CaSO ₄

نتیجه گیری

نتایج نشان می‌دهد در آبخوان در گزر واکنش آب و سنگ، عامل اصلی تعیین‌کننده شیمی آب‌های زیرزمینی بوده و تکامل هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی در مسیر جریان آب‌های زیرزمینی، از مناطق تغذیه از سازند تیرگان در شمال غرب (تیپ آب کربناته) به سمت مناطق تخلیه در جنوب شرق و شرق (تیپ آب سولفاته سدیک-کلسیک) صورت می‌گیرد. در شرق، کانی‌های تبخیری سازند سرچشمه، سازندهای پسته‌لیق، چهل کمان و رسوبات نئوژنی، کیفیت منابع آبی را به شدت تخریب می‌کنند. مقاطع عرضی زمین‌شناسی و مدل سه‌بعدی لیتولوژی تهیه شده از آبرفت‌های آبخوان، به خوبی تغییرات ضخامت آبرفت‌ها را در آبخوان نشان می‌دهد. هرچند در اعماق آبخوان جنوبی، رسوبات دانه متوسط مشاهده می‌شود، اما به دلیل ضخامت زیاد رسوبات رسی، تغذیه کم و عدم ظهور چشمه‌های پرآب در پیرامون ارتفاعات الله‌اکبر، ارتباط میان آبخوان آبرفتی و کارستی تنها در مناطق جنوب شرقی چاپشلو و پرکند وجود دارد، اما، در آبخوان شمالی در ابتدای رودخانه درونگر، احتمال تغذیه آبخوان آبرفتی از ارتفاعات آهکی سازند تیرگان (از دره کارستی شمخال) وجود دارد. با توجه به شرایط زمین‌شناسی، هیدروژئوشیمیایی و روند افت سطح ایستابی (میانگین نوسانات سطح آب در آبخوان شمالی بیشتر از آبخوان جنوبی است)، مدیریت صحیح منابع آب در این دشت ضروری است. اجرای طرح‌های پایش منظم سطح ایستابی، کنترل برداشت از چاه‌ها، گسترش سامانه‌های آبیاری تحت فشار و مطالعه دقیق‌تر ارتباط آبخوان‌های آبرفتی و کارستی با بررسی مطالعات لرزه‌نگاری شرکت نفت، می‌تواند به پایداری منابع آبی کمک کند. افزون بر این، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، مدل‌سازی عددی رفتار آبخوان، و بررسی هیدروژئولوژی اجتماعی منطقه از جمله اقدامات آتی پیشنهادی برای حفظ و بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی دشت مرزی درگز است که از نظر پدافند غیر عامل بسیار ضروری می‌باشد.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد، از مدیریت محترم مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه‌ای

خراسان رضوی، جناب آقای دکتر محمود ارجمند شریف و از کارشناسان محترم آزمایشگاه این شرکت جهت آنالیز آزمایشگاهی نمونه‌های آب و ارائه اطلاعات پی‌زومترها، و از مدیریت محترم حفاظت و بهره‌برداری منابع آب شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، جناب آقای دکتر رحیمی، به منظور در اختیار قرار دادن اطلاعات لاگ چاه‌های دشت درگز تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- آهنکوب، م.، آیتی، ف.، باقری، ح.، ۱۴۰۱. مطالعه ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی آبخوان دشت لردگان، استان چهارمحال و بختیاری، زون زاگرس چین خورده، مطالعات علوم محیط زیست، ۷(۴): ۵۵۳۰-۵۵۴۰.
- افشارحرب، ع.، ۱۳۷۳. کتاب زمین‌شناسی ایران، زمین‌شناسی کپه‌داغ، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ۲۷۵ص.
- ترابی، م.، ۱۳۹۶. بررسی ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان کارستی و آبخوان‌های آبرفتی مجاور در منطقه کوه دوقرال، شمال کرمانشاه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۶۳ص.
- تاج‌آبادی، م.، نقی ضیایی، ع.، ایزدی، ع.، بهرامی، ر.، مشکینی، ج.، ۱۳۹۶. معرفی مدل‌های سه‌بعدی زمین‌شناسی و کاربرد آن در لایه‌بندی آبخوان آبرفتی بجنورد، نشریه آب و توسعه پایدار، ۴(۲): ۱۰۳-۱۱۰.
- حیدری‌مطلق، آ.، ویسی، ش.، ۱۴۰۲. بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی آبخوان کارستی دشت الشتر (استان لرستان)، پژوهش‌های کاربردی مهندسی آب، ۱۱(۱): ۱۰۹-۱۲۷.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۸۲. نقشه زمین‌شناسی درگز، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، خراسان رضوی.
- سجادی، ز.، کلانتری، ن.، چرچی، ع.، موسوی، س.، ۱۴۰۱. بررسی ارتباط هیدرولیکی ساختارهای کارستی با روش‌های هیدروژئوشیمی و ایزوتوپی منابع آب منطقه ایزه شمال استان خوزستان، نشریه هیدروژئولوژی، ۷(۲): ۱۲۱-۱۴۲.

- سلیم، ق.، ۱۳۸۹. بررسی ارتباط هیدرولیکی آبخوان‌های آبرفتی و سازندهای کارستی زیرین آن‌ها در دشت‌های ذهاب و اسلام‌آباد غرب در استان کرمانشاه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۶۴ص.
- شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۹. گزارش نهایی بهنگام سازی مطالعات منابع آب حوضه آبریز قره‌قوم، جلد دوم: بررسی‌ها و مشخصات عمومی، شرکت مهندسين مشاور طوس آب، مشهد.
- عجم، ح.، محمدزاده، ح.، کرمی، غ.، کاظمی گلپان، ر.، ۱۳۹۶. بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان سملقان بر اساس تغییرات تحت الارضی رخساره‌های آبرفتی و سنگی، نشریه علمی- پژوهشی رخساره‌های رسوبی، ۱۰(۲): ۲۹۱-۳۱۰.
- غلام دخت بندری، م.، رضایی، پ.، غلام دخت بندری، ز.، ۱۳۹۷. ارزیابی کیفیت هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی حوزه سیاهو، شمال شرق شهر بندرعباس، فصلنامه سلامت و محیط زیست، ۱۱(۱): ۹۷-۱۱۰.
- فاضل‌ولی‌پور، م.، ۱۴۰۰. بررسی هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی آبخوان جنوب شرق مشکان، استان خراسان رضوی، فصلنامه علمی تخصصی مهندسی آب، ۹(۳): ۵۱-۶۴.
- کلانتری، ن.، شیخ‌زاده، ع.، محمدی، ه.، چقازردی، ز.، ۱۴۰۰. ارزیابی وضعیت هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی آبخوان عقیلی با تأکید بر روش‌های آماری چند متغیره، نشریه هیدروژئولوژی، ۶(۲): ۹۵-۱۰۸.
- محمدزاده، ح.، ۱۳۹۹. راهنمای عملیات صحرایی و آزمایشگاهی مطالعات هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی. چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ۱۲۸ص.
- محمدزاده، ح.، حسین‌زاده، ج.، سامانی، س.، ۱۴۰۱. ارزیابی خصوصیات و تکامل هیدروژئوشیمیایی آبخوان مشهد - چناران با مدل‌سازی ژئوشیمیایی معکوس در Phreeqc، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳(۴): ۷۷۷-۷۹۳.
- محمدزاده، ح.، غلامکار، م.، هاشمی، ج.، ۱۴۰۳. برهمکنش آبخوان‌های آبرفتی و کارستی شمال ارتفاعات
- الله‌اکبر درگز با روش سوندینگ مقاومت ویژه الکتریکی قائم (VES)، نشریه آب و توسعه پایدار، ۱۱(۴): ۱۷-۲۶.
- محمدی، ه.، کلانتری، ن.، علیجانی، ف.، محرابی نژاد، ع.، ۱۴۰۳. فرآیندهای هیدروشیمی در آبخوان‌های بهبهان، رامهرمز و زیدون استان خوزستان با استفاده از نمودارهای ترکیبی و ایزوتوپی، نشریه هیدروژئولوژی، ۹(۲): ۱۵-۲۹.
- ناصری، ح. ر.، ۱۳۷۰. مطالعه هیدروژئولوژیکی چشمه‌های کارستی حوضه آبریز سد درودزن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آب‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز.
- نجفی، ز.، کرمی، غ.، کریمی، ح.، ۱۴۰۱. تأثیر برداشت از منابع آب آبرفتی بر آبدی چشمه‌های کارستی (مطالعه موردی: نواحی مرکزی استان کرمانشاه)، مجله علوم مهندسی آبیاری، ۴۵(۱): ۱۱۷-۱۲۹.
- نیک‌بخت، م.، نخعی، م.، شاکری، ع.، امیری، و.، ۱۴۰۱. ارزیابی هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی در آبخوان زرآباد (استان سیستان و بلوچستان) با هدف تعیین کیفیت آب برای مصرف کشاورزی، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، ۱۶(۴): ۱-۳۶.
- وحیدی‌فر، ز.، شاکری، ع.، رضایی، م.، اشجاری، ج.، ۱۳۹۸. تکامل هیدروژئوشیمیایی، کیفیت آب زیرزمینی و ارزیابی ریسک سلامت آرسنیک، کروم، نیکل و سرب در آبخوان زرآباد، استان سیستان و بلوچستان، نشریه علوم دانشگاه خوارزمی، ۵(۱): ۱۱۹-۱۳۸.
- ولایتی، س.، ۱۳۶۲. گزارش مقدماتی منابع آب دشت درگز (حوضه آبریز رودخانه درونگر). امور مطالعات منابع آب، شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، وزارت نیرو، ۹۰ص.
- ولایتی، س.، ۱۳۷۰. درباره منابع آب زیرزمینی دشت درگز، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲۳، صص ۹۶-۱۱۵.

Reference

- AfsharHarb, A., 1994. Geology of Iran: Kopet-Dagh Geology, Geological Survey of Iran, Tehran, 275 p. [In Persian].
- Ahankoub, M., Ayati, F., Bagheri, H., 2022. Study of hydrogeochemical characteristics of groundwater in the Lordegan Plain aquifer, Chaharmahal and Bakhtiari Province, Zagros Folded Zone. Environmental Science Studies, 7(4): 5530-5540. [In Persian].

- Goldscheider, N., Chen, Z., Auler, A.S., Bakalowicz, M., Broda, S., Drew, D., Hartmann, J., Jiang, G., Moosdorf, N., Stevanovic, Z. Veni, G., 2020. Global distribution of carbonate rocks and karst water resources. *Hydrogeology Journal*, 28: 1661–1677.
- Heydari-Motlagh, A., Vaisi, Sh., 2023. Assessment of groundwater quality variations in the karstic aquifer of the Alashtar plain (Lorestan Province), *Applied Water Engineering Research*, 1(1): 109-127. [In Persian].
- Jahanshahi, R. Zare, M., 2017. Delineating the origin of groundwater in the Golgohar Mine area of Iran using stable isotopes of ^2H and ^{18}O and hydrochemistry. *Mine Water & Environment*, 36: 550–563.
- Kalantari, N., Sheikhzadeh, A., Mohammadi, H., Chaghazardi, Z., 2021. Hydrogeochemical assessment of groundwater in the Aghili aquifer with emphasis on multivariate statistical methods, *Hydrogeology Journal*, 6(2): 95-108. [In Persian].
- Keqiang, H., Lu, G., Yuanyuan, G., Huilai, L., Yongping, L., 2019. Research on the effects of coal mining on the karst hydrogeological environment in Jiaozuo mining area, China. *Environmental Earth Sciences*, 78(434).
- Khong, X.L., Nizar, N.H.A, Ismail, S., Saad, N.A., Kamaruddin, M.A., Zabidi, H., 2024. Assessing the groundwater quality and hydrogeochemical characteristics of karst aquifers in Kinta Valley, Perak. *Applied Mechanics and Materials*, 920: 219–225.
- Li, J., Yang, G., Zhu, D., Xie, H., Zhao, Y., Fan, L., Zou, S., 2022. Hydrogeochemistry of karst groundwater for the environmental and health risk assessment: The case of the suburban area of Chongqing (southwest China), *Geochemistry*, 82(2), 125866, DOI: 10.1016/j.chemer.2022.125866.
- Li Vigni, L., Daskalopoulou, K., Calabrese, S., Bruska, L., Bellomo, S., Cardellini, C., Kyriakopoulos, K. Brugnone, F., Parello, F., D'Alessandro, W., 2023. Hellenic karst waters: geogenic and anthropogenic processes affecting their geochemistry and quality. *Scientific Reports*, 13(1), 11191.
- Liu, J., Chen, Z., Wang, L., Zhang, Y., Li, Z., Xu, J. Peng, Y., 2016. Chemical and isotopic constrains on the origin of brine and saline groundwater in Hetao plain, Inner Mongolia. *Environ Sci Pollut Res*, 23(15): 15003–15014.
- Lu, S., Zhou, N., Jiang, S. Zheng, X., 2023. Combining hydrochemistry and environmental isotopes to study hydrogeochemical evolution of karst groundwater in the Jinci spring area, North China. *Carbonates & Evaporites* 38(2).
- Medici, G., Lorenzi, V., Sbarbati, C., Manetta, M. Petitta, M., 2023. Structural classification, discharge statistics, and recession analysis from the springs of the
- Ajam, H., Mohammadzadeh, H., Karami, G., Kazemi-Golian, R., 2017. Assessment of groundwater quality in the Samalqan aquifer based on subsurface variations of alluvial and rock facies, *Sedimentary Facies Research Journal*, 10(2): 291-310. [In Persian].
- Alley, W.M., (Ed.). 1993. Regional groundwater quality. New York, Van Nostrand Reinhold, 634p.
- Bakalowicz, M., 2005. Karst groundwater: A challenge for new resources. *Hydrogeology Journal*, 13(1): 148–160.
- Barzegar, R., Asghari Moghaddam, A., Adamowski, J. and Nazemi, A. H., 2019. Assessing the potential origins and human health risks of trace elements in groundwater: A case study in the Khoy plain, Iran. *Environ Geochem Health*, 41, 981–1002.
- Citrini, A., Mayer, A., Camera, C.A.S., Eross, A., Sultenfub, J., Pezzera, G., Pietro Beretta, G., 2024. Hydrogeochemical and isotope characterization of the main karst aquifers of the middle Valseriana (Northern Italy): Nossana and Ponte del Costone springs. *Applied Geochemistry*, 169, 106046, DOI: 10.1016/j.apgeochem.2024.106046.
- Fazel-Valipour, M., 2021. Hydrogeochemical investigation of groundwater in the southeast Meshkan aquifer, Khorasan Razavi Province, *Journal of Water Engineering*, 9(3): 51-64. [In Persian].
- Ford, D.C. Williams, P.W., 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley & Sons, Chichester, 562p.
- Gao, S., Li, C., Liu, Y., Sun, B., Zhao, Z., Lv, M. Gang, S., 2023. Hydrogeochemical characteristics and evolution processes of karst groundwater affected by multiple influencing factors in a karst spring basin, eastern China. *Water*. 2023; 15(22): 3899.
- Gao, M., Li, X., Qian, J., Wang, Z., Hou, X., Fu, C., Ma, J., Zhang, C., Li, J., 2023. Hydrogeochemical characteristics and evolution of karst groundwater in Heilongdong spring basin, northern China. *Water*. 2023; 15(4): 726.
- Geological Survey and Mineral Explorations of Iran, 1982. *Geological map of Dargaz, scale 1:250,000, Khorasan Razavi Province*. [In Persian].
- Ghaznavi, K., 2010. Evaluating the reasons of decrease in the discharge rate of Sarab- Nilofar karst spring in Kermanshah Province, MSc Thesis, University of Shahrood Technology, Iran. 118p.
- Gholamdokht-Bandari, M., Rezaei, P., Gholamdokht-Bandari, Z., 2018. Hydrogeochemical quality assessment of groundwater in the Siahu catchment, northeast of Bandar-Abbas, *Health and Environment Quarterly*, 11(1): 97-110. [In Persian].
- Gibbs, R.J., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. *American Association for the Advancement of Science*, 170(3692): 1088-1090.

Investigations and general characteristics, Tousab Consulting Engineers, Mashhad. [In Persian].

Sajadi, Z., Kalantari, N., Charchi, A., Mousavi, S., 2022. Hydraulic connection of karstic structures using hydrogeochemical and isotopic methods in the water resources of Izeh area, north of Khuzestan Province, Hydrogeology Journal, 7(2): 121-142. [In Persian].

Salim, Gh., 2010. Investigation of the hydraulic connection between alluvial aquifers and their underlying karstic formations in the Zahab and Eslamabad-e-Gharb plains, Kermanshah Province, M.Sc. thesis in Hydrogeology, Department of Hydrology and Environmental Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, 164 pp. [In Persian].

Sun, H., Bian, K., Wang, T., Jin, Z., Niu, Z., 2023. Hydrogeochemical characteristics and genetic analysis of karst groundwater in the Fengfeng mining area. Water. 2023; 15(23): 4049.

Tajabadi, M., Naghi Ziaei, A., Izadi, A., Bahrami, R., Meshkini, J., 2017. Introduction of 3D geological models and their application in stratification of the Bojnourd alluvial aquifer. Water and Sustainable Development Journal, 4(2): 103-110. [In Persian].

Torabi, M., 2017. Investigation of the hydraulic connection between the karstic aquifer and adjacent alluvial aquifers in the Doqaral Mountain area, north of Kermanshah, M.Sc. thesis in Hydrogeology, Department of Hydrology and Environmental Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, 163 pp. [In Persian].

Vahidifar, Z., Shakeri, A., Rezaei, M., Ashjari, J., 2019. Hydrogeochemical evolution, groundwater quality, and health risk assessment of arsenic, chromium, nickel, and lead in the Zarabad aquifer, Sistan and Baluchestan Province, Kharazmi University Science Journal, 5(1): 119-138. [In Persian].

Velaiati, S., 1983. Preliminary report on water resources of the Dargaz plain (Darounger River basin). Water Resources Studies, Regional Water Company of Khorasan Razavi, Ministry of Energy, 90 pp. [In Persian].

Velaiati, S., 1991. On groundwater resources of the Dargaz plain, Geographical Research Quarterly, 23: 96-115. [In Persian].

Wang, Z., 2012. Characterization of the stream-aquifer hydrologic connection in the Elkhorn river basin, Master's thesis, University of Nebraska-Lincoln. Dissertations & Theses in Natural Resources.

Gran Sasso (Italy) carbonate aquifer; comparison with selected analogues worldwide. Sustainability. 2023; 15(13), 10125.

Mohammadi, H., Kalantari, N., Alijani, F., Mehrabi-Nezhad, A., 2024. Hydrochemical processes in the Behbahan, Ramhormoz, and Zeidun aquifers of Khuzestan Province using combined and isotopic diagrams, Hydrogeology Journal, 9(2): 15-29. [In Persian].

Mohammadzadeh, H., 2020. Field and laboratory guide for hydrogeochemical and isotopic studies. 1st edition, Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, 128 pp. [In Persian].

Mohammadzadeh, H., Gholamkar, M., Hashemi, J., 2024. Interaction of alluvial and karstic aquifers in the northern Allah-Akbar heights of Dargaz using Vertical Electrical Sounding (VES), Water and Sustainable Development Journal, 11(4): 17-26. [In Persian].

Mohammadzadeh, H., Hosseinzadeh, J., Samani, S., 2022. Evaluation of hydrogeochemical characteristics and evolution of the Mashhad-Chenaran aquifer using inverse geochemical modeling in Phreeqc. Iranian Journal of Water and Soil Research, 53(4): 777-793. [In Persian].

Motyka, J., d'Obyrn, K., Sracek, O., Postawa, A., Żróbek, M., 2022. Pit lakes affected by a river contaminated with brines originated from the coal mining industry: evolution of water chemistry in the Zakrzówek horst area (Krakow, southern Poland). Energies. 2022; 15(12), 4382.

Najafi, Z., Karami, G., Karimi, H., 2022. Impact of extraction from alluvial water resources on the discharge of karstic springs (Case study: central areas of Kermanshah Province), Journal of Irrigation Engineering Sciences, 45(1): 117-129. [In Persian].

Naseri, H. R., 1991. Hydrogeological study of karstic springs in the Doroudzan dam watershed. Master's thesis in Hydrogeology, Faculty of Science, Shiraz University. [In Persian].

Nikbakht, M., Nakhaei, M., Shakeri, A., Amiri, V., 2022. Hydrogeochemical assessment of groundwater in the Zarabad aquifer (Sistan and Baluchestan Province) to determine water quality for agricultural use, Journal of Engineering Geology, 16(4): 1-36. [In Persian].

Qibo, H., Xiaoqun, Q., Qiyong, Y., Pengyu, L., Jinsong, Z., 2016. Identification of dissolved sulfate sources and the role of sulfuric acid in carbonate weathering using $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ and $\delta^{34}\text{S}$ in karst area, northern China. Environmental Earth Sciences, 75(51).

Regional Water Company of Khorasan Razavi, 2010. Final report on the updating of water resources studies of the Qara-Qom basin, Volume II: