نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۹، آذر - دی ۱۴۰۴، ص. ۷۹۳-۷۸۳

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 19, Dec.-Jan. 2026, p. 783-793

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی کیفی آب ۲۰ رشته از قنات‌های استان خراسان‌جنوبی برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت

مهدی دستورانی*[۱]، شقایق خسروی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۲

چکیده

مطالعه‌ی انجام‌شده با هدف ارزیابی کیفیت شیمیایی آب ۲۰ رشته قنات در استان خراسان جنوبی در سال ۱۴۰۳ انجام شده است. اهمیت کیفیت آب برای سلامت عمومی و توسعه‌ی اقتصادی، بررسی کیفیت شیمیایی را به‌عنوان عاملی تعیین‌کننده در مصارف مختلف آب مطرح می‌کند. در ابتدا، قبل از هر کاری، به بررسی نرمال بودن داده‌ها پرداخته شد و سپس با استفاده از داده‌های سازمان آب منطقه‌ای و همین‌طور تجزیه و تحلیل شیمیایی، آب قنات‌ها مورد بررسی قرار گرفت و با ترسیم نمودارهای شولر، ویلکوکس و پایپر به کمک برنامه‌ی متلب، کیفیت آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تجزیه و تحلیل‌ها، کیفیت آب قنات‌ها را برای مصارف مختلف مشخص می‌کند. بر اساس نمودار پایپر ترسیم‌شده برای ۲۰ رشته قنات در مناطق خراسان جنوبی، کیفیت آب قنات‌ها برای مصارف مختلف مشخص می‌شود. بالا بودن مقادیر سدیم و سولفات در آب شرب می‌تواند بر کیفیت آب و سلامت انسان تأثیر بگذارد. مقدار بالای سدیم می‌تواند باعث بالا رفتن فشار خون شود و مقدار بالای سولفات نیز می‌تواند باعث مشکلات گوارشی و تغییر طعم آب شود. از نظر مصارف کشاورزی نیز، آب تمامی قنوات برای کشاورزی مناسب بوده است. در خصوص مصارف صنعتی نیز می‌توان گفت که آب ۴ قنات شمس‌آباد، قطارگز، طبس مسینا و قنات قمری، با توجه به رسوب‌گذاری بالایی که دارند، برای مصارف صنعتی نامناسب هستند.

واژه‌های کلیدی: پایپر، رخساره‌ی شیمیایی، شولر، ویلکاکس

مقدمه

منابع آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع آبی محسوب می‌شوند. این منابع همواره با چالش‌های مختلفی مانند کاهش سطح آب، کمبود تغذیه ناشی از بارندگیِ کمتر، و آلودگی‌های طبیعی و انسانی مواجه هستند. بنابراین، نظارت بر کیفیت آب‌های زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردار است (ایزدی و همکاران، ۱۴۰۰). اهمیت آن‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک، که منابع سطحی آب محدودتر است، دوچندان می‌شود. اما استفاده‌ی بی‌رویه و ناپایدار از این منابع می‌تواند عواقب جبران‌ناپذیری به همراه داشته باشد. افت سطح آب‌های زیرزمینی، شور شدن خاک، آسیب به اکوسیستم‌های وابسته به آب‌های زیرزمینی و در نهایت بحران‌های آبی، از جمله چالش‌های ناشی از بهره‌برداری نامناسب این منابع است (Jackson, 2011). بنابراین، مدیریت پایدار و مسئولانه‌ی آب‌های زیرزمینی از طریق برنامه‌ریزی دقیق، استفاده‌ی بهینه و حفاظت از منابع آب زیرزمینی، برای تأمین نیازهای حال و آینده، ضروری و حیاتی است (Çelik, 2015). بررسی‌های صورت‌گرفته درباره کیفیت آب‌های زیرزمینی کشور نشان می‌دهد که دو مشکل اساسی وجود دارد:

– عدم دسترسی به داده‌های جامع درباره کیفیت آب، به دلیل محدودیت در اندازه‌گیری‌ها، یک چالش اساسی محسوب می‌شود. اگرچه در بسیاری از مناطق کشور، مطالعات کمی و کیفی بر روی آب‌های زیرزمینی صورت گرفته است، اما این اندازه‌گیری‌ها غالباً به پارامترهای پایه مانند آنیون‌ها (نظیر کلرید و سولفات) و کاتیون‌ها (مانند سدیم و پتاسیم) محدود شده‌اند (Clark, 2015).

– افزایش شوری آب: این مشکل در اغلب مناطق کشور مشاهده می‌شود و ناشی از عوامل مختلفی مانند افزایش استخراج آب، استفاده نادرست از منابع آب سطحی، زهکشی کشاورزی و تغییرات اقلیمی

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، پردیس کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، پردیس کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
(*-نویسنده مسئول: mdastiuraci@birjand.ac.ir_)

است. افزایش شوری کیفیت آب را برای مصارف کشاورزی، صنعتی و شرب کاهش می‌دهد و می‌تواند به تخریب اکوسیستم‌های آبی منجر شود. به طور کلی، مشکلات کیفیت آب‌های زیرزمینی در کشور ناشی از فقدان اطلاعات جامع و پایدار درباره کیفیت آب و افزایش شوری است. برای حل این مشکلات، نیاز به برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری بیشتر در جهت انجام اندازه‌گیری‌های جامع، مداوم و دقیق آب‌های زیرزمینی، نظارت بر روند تغییرات و انجام تحقیقات بیشتر درباره عوامل مؤثر بر کیفیت آب، ضروری است (دستورالعمل پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی). شاخص آلودگی آب‌های زیرزمینی اولین بار توسط سوبا در سال ۲۰۱۸ مطرح شد. وی به این نتیجه رسید که عناصر پتاسیم، منیزیم، کلسیم، سولفات، سدیم، کلر و بیکربنات به همراه کل مواد محلول جامد TDS و pH از عوامل مؤثر در تعیین این شاخص هستند. با استفاده از این شاخص، وی توانست آلودگی مناطق را طبقه‌بندی کند (Subba, 2018). ورما در سال ۲۰۲۱ در منطقه Unnao، اوتار پرادش، هند، به ارزیابی تناسب آب‌های زیرزمینی برای مصارف خانگی و آبیاری با استفاده از شاخص PIG پرداخته و پارامترهای اندازه‌گیری‌شده را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است. نتایج نشان می‌دهد که اکثر پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در محدوده مجاز سازمان بهداشت جهانی (WHO) و استانداردهای هند (BIS) قرار دارند. این مطالعه بخشی از تحقیقات گسترده‌تری درباره کیفیت آب‌های زیرزمینی است که از شاخص‌های ارزیابی کیفیت آب مانند WQI، EWQI، IRWQI و GQI استفاده می‌کنند (Verma, 2021) . مطالعه‌ی چراغی و همکاران نشان می‌دهد که کیفیت آب‌های زیرزمینی خرم‌آباد برای مصارف شرب در محدوده‌ی مناسب تا قابل قبول قرار دارد. شاخص کیفی آب در این منطقه بین ۷۳ تا ۸۱ محاسبه شده است که نشان‌دهنده‌ی کیفیت قابل قبول و مناسب است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که سختی کل، میزان بی‌کربنات و جامدات محلول، بیشترین تأثیر را بر کیفیت آب زیرزمینی در این منطقه دارند (Cheraghi, 2019). مطالعه‌ی فاضل‌پور و همکاران (۱۳۹۷) نشان می‌دهد که کیفیت آب‌های زیرزمینی حوزه‌ی آبخیز خوانسار–هرات، به ویژه در مناطق ورودی حوزه، مناسب و با کیفیت بالا است. این آب‌ها عمدتاً از نوع کربناته هستند. این مطالعه، با بررسی دو رشته قنات و پنج دهنه چشمه در این حوزه، به مدیریت بهینه‌ی منابع آب زیرزمینی کمک می‌کند.

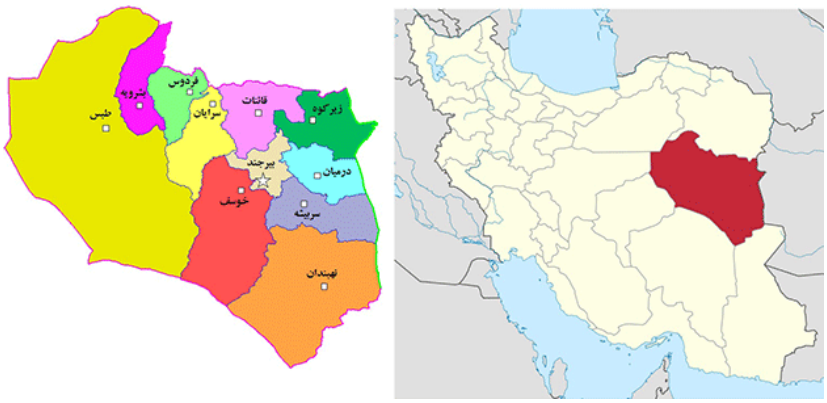
مطالعه‌ی حیدری و رضایی (۱۳۹۰) نشان می‌دهد که شوری و کیفیت نامطلوب آب‌های زیرزمینی دشت آبدان‌دیر هرمزگان، عمدتاً ناشی از نفوذ آب دریا به‌دلیل برداشت بیش‌ازحد آب‌های زیرزمینی است. این تحقیق با استفاده از روش درون‌یابی و نرم‌افزار ArcGIS انجام شده است. روزرخ و همکاران (۱۳۹۶) تحقیقی را با این هدف انجام دادند که ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی و ناهنجاری‌های موجود در آب‌های زیرزمینی یک منطقه را بررسی کنند و تعیین نمایند که این آب‌ها برای چه مصارفی (آشامیدنی، کشاورزی و صنعتی) مناسب هستند. نتایج این تحقیق مشخص کرد که بیشتر آب‌های با کیفیت نامناسب برای مصارف آشامیدنی، کشاورزی و صنعتی در نواحی مرکزی و شمالی دشت مورد مطالعه قرار دارند. حسین یوسفی و همکارانش (۱۳۹۰) به بررسی کیفیت آب قنوات شهرستان نائین، از توابع استان اصفهان، با استفاده از نرم‌افزار Chemistry پرداختند و به نتایج نسبتاً دقیقی دست یافتند. در این پژوهش، پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها و تحلیل داده‌های مذکور با نمودارهای ویلکاکس، پایپر و شولر، و همچنین بررسی پارامترهای EC وSAR ، به بررسی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی و صنعتی پرداخته شد و با سنجش میزان رسوب‌گذاری، کیفیت آب این قنات‌ها برای مصارف صنعتی نیز مورد بررسی قرار گرفت. هدف کلی این مطالعه، تحلیل کیفیت آب زیرزمینی قنات‌های استان خراسان جنوبی در محدوده‌ی شهرستان‌های بیرجند، نهبندان و طبس است که برای داشتن مدیریتی بهینه، مناسب و جامع برای منابع آب زیرزمینی موجود ضرورت دارد. زیرا برای حفظ و صیانت از منابع آب موجود، داشتن درک درست و مناسبی از سیستم هیدرولیکی و کیفیت آن‌ها ضروری است. نتایج حاصل می‌توانند به منظور برنامه‌ریزی برای استفاده‌ی مناسب از منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرند.

مواد و روش ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان خراسان جنوبی با مساحتی حدود ۱۵۱۹۱۳ کیلومتر مربع، در ناحیه‌ی شرقی ایران واقع شده است. این استان از شمال با استان خراسان رضوی، از شرق با کشور افغانستان، از جنوب با استان سیستان و بلوچستان و از جنوب‌غربی و غرب با استان‌های کرمان و یزد هم‌مرز است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان خراسان جنوبی نمایش داده شده است.

در این پژوهش که برای بررسی کیفیت شیمیایی آب ۲۰ رشته قنات واقع در استان خراسان جنوبی در محدوده‌ی بیرجند، نهبندان و طبس انجام شده است، داده‌های کیفی آب در استان خراسان جنوبی به‌صورت فصلی و توسط سازمان آب منطقه‌ای برداشت می‌شوند. در این مقاله نیز از داده‌های فصل پایانی سال ۱۴۰۳ استفاده شده است. برای تجزیه و تحلیل شیمیایی آب، ابتدا نرمال بودن داده‌ها بررسی و سپس نمودارهای شولر، ویلکاکس و پایپر و جداول مربوطه با استفاده از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار متلب ترسیم شده‌اند. در جدول ۱ اطلاعات دریافتی از سازمان آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی مبنی بر آنالیز شیمیایی کیفیت آب قنات‌های مورد مطالعه به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان خراسان جنوبی

جدول ۱- آنالیز شیمیایی کیفیت آب قنات‌های مورد مطالعه

محل نمونه برداری	علامت اختصاری	EC (meq)	T.D.S(meq)	PH (meq)	Ca^{2+}(meq)	Mg^{2+}(meq)	Na^{+}(meq)	K^{+}(meq)	HCo_3^{-}(meq)	CI^{-}(meq)	SO_4^{2-}(meq)
شمس‌آباد	aq1	۴۶۲۰	۳۳۵۰	۷/۴	۸	۷/۳	۲۹/۵	۶/۶	۵/۸	۲۵/۲	۱۴/۹
قطارگز	aq2	۷۷۷۰	۵۶۳۳	۷/۷	۲/۴	۷/۷	۶۷/۲	۴/۲	۴/۱	۵۵/۹	۱۷/۲
دستگرد	aq3	۸۶۰	۶۲۴	۷/۹	۱/۹	۱/۱	۵/۵	۵	۳/۵	۳/۱	۱/۹
شوکت‌آباد	aq4	۱۹۶۰	۱۴۲۱	۸	۳/۲	۶/۱	۱۰/۲	۴/۹	۶/۱	۸/۳	۴/۹
امیرآباد	aq5	۶۳۳۰	۴۵۸۹	۷/۴	۱۰/۴	۱۵	۳۶/۹	۱۳/۳	۲/۶	۴۷/۹	۱۲/۳
مرک	aq6	۵۵۱۰	۳۹۹۵	۷/۶	۴/۴	۱۱/۷	۳۸/۲	۱۳/۵	۸/۳	۳۳/۲	۱۳/۶
سیچ	aq7	۱۲۱۰	۸۷۷	۷/۳	۱/۸	۲/۲	۸	۸/۶	۳/۴	۵/۳	۳/۵
حاجی‌آباد	aq8	۶۸۷۰	۴۹۸۱	۷/۹	۱۲	۲۱	۳۳/۷	۸/۹	۱/۴	۴۹/۲	۱۷
مهدی‌آباد	aq9	۵۵۰۰	۳۹۸۸	۷/۳	۱۳/۶	۹/۱	۳۳/۶	۱۵/۴	۵/۲	۳۹	۱۱/۱
دهنو	aq10	۷۵۵۰	۵۴۷۴	۶/۹	۶/۴	۱۱/۳	۵۸	۶/۵	۴/۲	۴۸	۲۵/۳
اکبریه	aq11	۲۵۷۰	۱۸۶۳	۸/۱	۲	۹/۳	۱۴/۲	۱۰	۶/۲	۱۲/۲	۶/۵
گیو	aq12	۱۴۵۰	۱۰۵۱	۸/۱	۱/۵	۶/۶	۶/۱	۷/۵	۵/۹	۵/۵	۲/۶
گاریچ کان	aq13	۷۵۸۰	۵۴۹۶	۷/۷	۷/۲	۲۲/۷	۴۵	۶/۸	۷/۷	۴۹/۵	۱۸/۷
قومنجان	aq14	۶۹۸۰	۵۰۶۱	۷/۶	۵/۶	۱۰/۱	۵۳/۷	۶/۸	۲/۹	۴۷/۳	۱۸
درمیان	aq15	۱۸۷۰	۱۳۵۶	۸/۴	۳/۳	۳/۷	۱۱/۴	۷	۵/۵	۶/۸	۴/۸
دشت طبس	aq16	۲۵۰۰	۱۸۱۳	۷/۴	۲/۸	۳/۷	۱۷/۹	۳/۵	۲/۳	۱۵/۶	۶/۸
هندوالان	aq17	۵۰۰۰	۳۶۲۵	۷/۸	۶/۴	۶/۹	۳۶/۱	۵/۲	۳/۸	۲۹/۲	۱۶/۳
طبس مسینا	aq18	۴۱۵۰	۳۰۰۹	۷/۹	۶/۶	۶/۹	۲۵/۹	۷	۴/۵	۲۵/۵	۱۰/۲
سوغات	aq19	۴۱۸۰	۳۰۳۱	۷/۶	۶/۷	۱۳/۴	۲۱/۹	۶/۶	۲/۸	۲۶/۸	۱۲/۸
قنات قمری	aq20	۲۳۲۰	۱۶۸۲	۷/۸	۲/۸	۴	۱۵/۶	۷/۶	۴/۵	۵/۵	۲/۳

نرمال بودن داده‌ها

برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از روش‌های مختلفی ازجمله بررسی چولگی و کشیدگی داده‌ها، آزمون چندک‌چندک، آزمون کلموگروف–اسمیرنوف و... می توان استفاده کرد. در این پژوهش، با استفاده از نرم‌افزار SPSS به بررسی چولگی و کشیدگی داده‌ها پرداخته شد و نتایج در جدول ۲ به نمایش گذاشته شده است:

جدول ۲- بررسی نرمال بودن متغیرها بااستفاده از SPSS

متغیرها	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Std.Error	Statistic	Std.Error
EC	۰/۱۲	۰/۱٤	۰/٤۲	۰/٥
T.D.S	۰/۸۷	۱/۳۱	۰/۸۸	۱/۳۹
Ca^{2+}	۰/۸٥	۱/۱۱	۱/۱۷	۰/٥۹
PH	۱/۰۲	۰/۶۸	۰/۹۱	۱/۲۴
Mg^{2+}	۰/۹۶	۰/۸۷	۰/۹۳	۰/۸۳
Na^{+}	۱/۱۴	۲/۲۸	۱/۲۲	۱/۴۷
K^{+}	۰/۷۳	۰/۸۲	۱/۳۴	۰/۹۴
HCo_3^-	۰/۶۶	۰/۳۸	۰/۶۲	۰/٥۳
CI^-	۰/٥۷	۰/۷۶	۰/٥٥	۰/۴۱
SO_4^{2-}	۱/۱۳	۰/۶۱	۰/۴۸	۰/۳۴

در این روش، داده‌ها در صورتی نرمال محسوب می‌شوند که حاصل نسبت مقادیر چولگی و کورتوسیس به مقدار استاندارد در هر متغیر همواره بین ۲ و ۲- باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این بازه برای داده‌های جدول ۲ صدق می‌کند. پس می‌توان نتیجه گرفت که داده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. برای تحلیل کیفیت آب باید به بررسی نمودارهای شولر، ویلکاکس و پایپر پرداخت. رسم این نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف و برنامه‌های کدنویسی انجام می‌شود. در این پژوهش، پس از دریافت داده‌ها از سازمان آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی، با استفاده از کدنویسی به زبان متلب، به رسم نمودارهای مذکور جهت بررسی کیفیت آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت پرداخته شد.

رای ۲۰ رشته قنات مورد نظر، اقدامات زیر انجام شده است:

۱ .تعیین طبقه‌بندی کیفیت آب برای آشامیدن.

۲ .تعیین طبقه‌بندی کیفیت آب برای استفاده در کشاورزی.

۳ .تعیین طبقه‌بندی کیفیت آب برای استفاده در صنعت.

۴ .محاسبه درصد کلاس‌های آب برای مصارف کشاورزی (بر اساس نمودار ویلکاکس) و مصارف شرب (بر اساس نمودار شولر) در کل منطقه مورد مطالعه.

طبقه‌بندی کیفیت آب برای آشامیدن

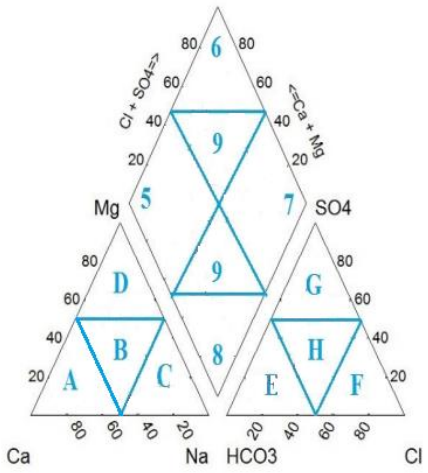
در این مرحله، با استفاده از نمودار پایپر، تیپ آب تعیین شده است. نمودار پایپر یکی از روش‌های رایج برای تعیین تیپ (یا رخساره هیدروشیمیایی) آب به شمار می‌رود.

طبق شکل شماره‌ی ۲، نواحی A ، B، C، D، E و F نیز برای تشریح بهتر تیپ‌بندی آب به کار می‌روند. در ناحیه‌ی A تیپ منیزیمی، ناحیه‌ی B تیپ کلسیمی، ناحیه‌ی C تیپ سدیم و پتاسیم، ناحیه‌ی D تیپ سولفاته و در ناحیه‌ی E تیپ بی‌کربناته به چشم می‌خورد. نمودار شولر نیز یک نمودار نیمه‌لگاریتمی است که برای نمایش غلظت یون‌های اصلی موجود در نمونه‌های آب استفاده می‌شود. این نمودار به‌عنوان یک ابزار گرافیکی، امکان مقایسه و تفسیر سریع کیفیت آب‌های مختلف را فراهم می‌کند. در ادامه، نتایج نمودار شولر برای این بیست رشته قنات به نمایش گذاشته شده‌است.

طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی

کیفیت آب برای کشاورزی به عواملی مثل شوری و میزان سدیم موجود در آن اهمیت دارد. این دو عامل نه تنها بر رشد گیاه اثر می‌گذارند، بلکه بر مناسب بودن آب برای آبیاری و نفوذپذیری خاک نیز تأثیر می‌گذارند. نمودار ویلکاکس، شوری آب را در محور افقی و نسبت جذب سدیم (SAR) را در محور عمودی نشان می‌دهد. موقعیت هر نمونه آب در این نمودار، طبقه‌بندی آن را از نظر شوری و جذب سدیم مشخص می‌کند. نسبت جذب سدیم (SAR) از فرمول زیر محاسبه می‌شود (Chai, 2020):

$$SAR=\frac{Na^{+}}{\sqrt{0.5(Ca^{++}+Mg^{++})}} \quad (۱)$$



شکل ۲- نمودار پایپر(Sikdar,2001)

مطابق جداول ۳ و ۴ که نتایج بررسی کیفیت آب‌های کشاورزی را ارائه می‌کنند، طبقه‌بندی نمونه‌ها بر اساس میزان سدیم در چهار کلاس و بر اساس هدایت الکتریکی در سه کلاس انجام شده است:

جدول ۳- طبقه‌بندی آب برای کشاورزی بر اساس نسبت جذب سدیم (SAR)

کیفیت آب	کلاس	SAR
عالی	S1	<۱۰
خوب	S2	۱۰-۱۸
متوسط	S3	۱۸-۲۶
ضعیف	S4	>۲۶

جدول ٤ - طبقه‌بندی آب برای کشاورزی بر اساس هدایت الکتریکی (EC)

کیفیت آب	کلاس	EC(µmhos/cm)
عالی	C1	<۲۵۰
خوب	C2	۲۵۰-۷۵۰
متوسط	C3	۷۵۰-۲۲۵۰
ضعیف	C4	>۲۲۵۰

طبقه‌بندی کیفیت آب برای مصارف صنعتی

با توجه به اهمیت تعیین کیفیت آب در مصارف صنعتی، به‌ویژه بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری در شبکه‌های آبرسانی و تأسیسات مربوطه، ارزیابی دقیق این ویژگی‌ها برای آب‌های مورد استفاده در صنعت ضروری است. اغلب آب‌ها یا خاصیت خورندگی دارند که باعث تخریب مواد فلزی می‌شود، یا رسوب‌گذار هستند و موجب انسداد لوله‌ها و جداره چاه‌ها می‌گردند. برای ارزیابی کیفیت آب در مصارف صنعتی، از شاخص اشباع لانژلیه (LSI) استفاده می‌شود. محاسبه این شاخص نیازمند تحلیل پارامترهایی نظیر قلیائیت، سختی کلسیمی، کل مواد جامد محلول(TDS) ، دما و pH آب است. کیفیت آب، تغییرات دما و تبخیر می‌توانند بر این شاخص تأثیرگذار باشند. شاخص لانژلیه به‌عنوان معیاری برای تعیین میزان خورندگی یا رسوب‌گذاری آب، بر اساس تفاوت بین pH واقعی آب و pH اشباع‌شده توسط کربنات کلسیم محاسبه می‌شود و از روابط مشخصی به دست می‌آید (Editioner, 2011).

$$LSI = PHS - PH \quad (۲)$$

$$PHs = (9.3+A+B) - (C-D) \quad (۳)$$

$$A= (\log10\ [TDS]-1) / 10 \quad (۴)$$

$$B = -13.12 \times \log10(C°+273) + 34.55 \quad (۵)$$

$$C = \log10\ [Ca^{2+}\ as\ CaCO3] - 0.4 \quad (۶)$$

$$D = \log10\ [alkalinity\ as\ CaCO3] \quad (۷)$$

تفسیر نتایج شاخص LSI به صورت زیر است:

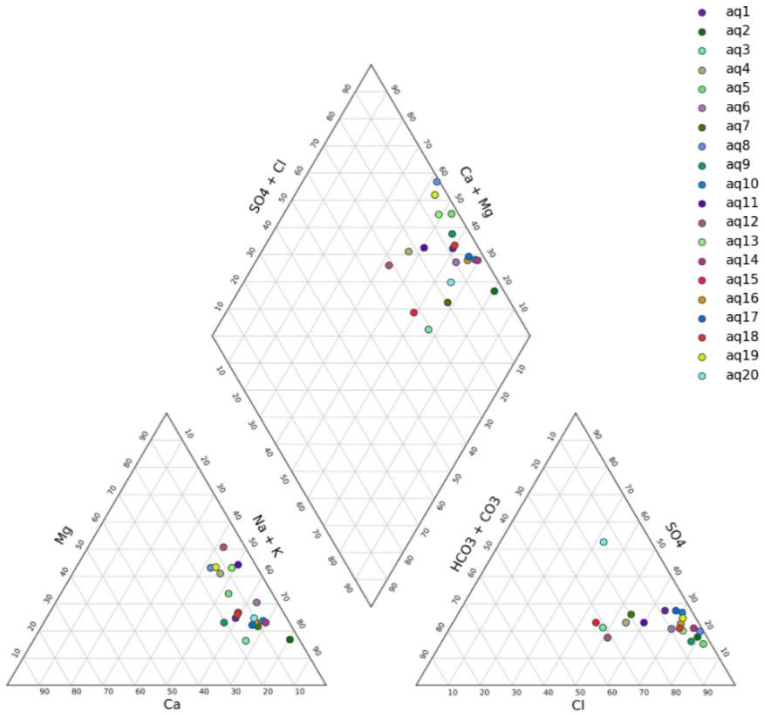
LSI > 0 پتانسیل تشکیل پوسته وجود ندارد و آب CaCO3 را در خود حل میکند (خورندگی)

LSI = 0 حالت تعادل و عدم تمایل به رسوب گذاری و خوردگی

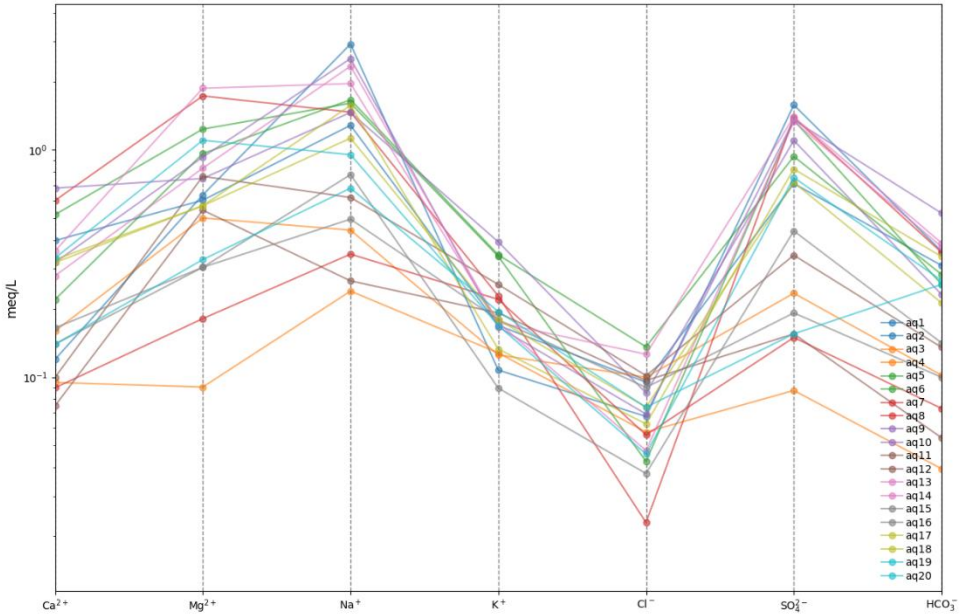
LSI < 0 تمایل به تشکیل پوسته رسوبC۳

نتایج و بحث

همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها توضیح داده شد، در این مقاله با روش‌های مختلف به بررسی کیفیت آب در ۲۰ رشته قنات در محدوده‌ی استان خراسان جنوبی پرداخته شده است؛ نتایج این بررسی در ادامه به نمایش گذاشته شده‌اند. در شکل شماره‌ی ۳، نمودار پایپر قنات‌های مربوطه مشاهده می‌شود.



شکل ۳- نمودار پایپر ترسیمی منطقه موردمطالعه



شکل ٤- نمودار شولر ترسیمی برای قنات‌های مورد مطالعه

این نمودار نشان می‌دهد که نمونه‌ها بیشتر در محدوده‌ی آب‌های شور و ترکیبی و در نواحی F و C با تیپ سدیمی متمرکز شده‌اند (Piper, 1994).

در شکل شماره‌ی ۴، نمودار شولر مربوط به داده‌های مورد نظر ارائه شده است.

با توجه به اینکه این ۲۰ رشته قنات در یک محدوده جغرافیایی قرار دارند، همه‌ی نمونه‌ها الگوی مشابهی را دنبال می‌کنند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سدیم و سولفات نسبت به سایر یون‌ها در اکثر

نمونه‌ها نسبتاً بالا هستند. نقطه شروع در سمت چپ قرار دارد. مقدار بالای Ca^{2+} می‌تواند نشان‌دهنده انحلال مواد معدنی کربناته (مانند سنگ آهک یا دولومیت) یا ورودی از گچ باشد (Mirzavand et al., 2020). مقدار کلسیم اغلب با منیزیم همراه است که می‌تواند ناشی از هوازدگی مواد معدنی فرومنیزیم باشد. مقدار کلرید نیز ممکن است به دلیل نفوذ آب شور، رواناب کشاورزی یا آلودگی فاضلاب افزایش یابد. مقادیر بالای سدیم و سولفات در آب شرب می‌تواند بر کیفیت آب و سلامت انسان تأثیرگذار باشد؛ مقدار بالای سدیم می‌تواند باعث افزایش فشار خون شود و مقدار بالای سولفات نیز ممکن است مشکلات گوارشی ایجاد کند و طعم آب را تغییر دهد.

برای بررسی آب این قنوات در مصارف کشاورزی، پارامتر SAR و نمودار ویلکاکس استفاده شده است که نتایج آن در جدول ۵ و همچنین شکل ۵ برای قنات‌های مذکور نمایش داده شده است:

با توجه به تجمع بیشتر نمونه‌ها در دسته‌های S3C4 وS1C3 ، می‌توان نتیجه گرفت که آب قنوات مورد بررسی از نظر شوری برای مصارف کشاورزی مناسب است. تنها استثنا، آب قنات قطارگز است که در این ارزیابی به‌عنوان نامناسب برای کشاورزی شناخته شده است.

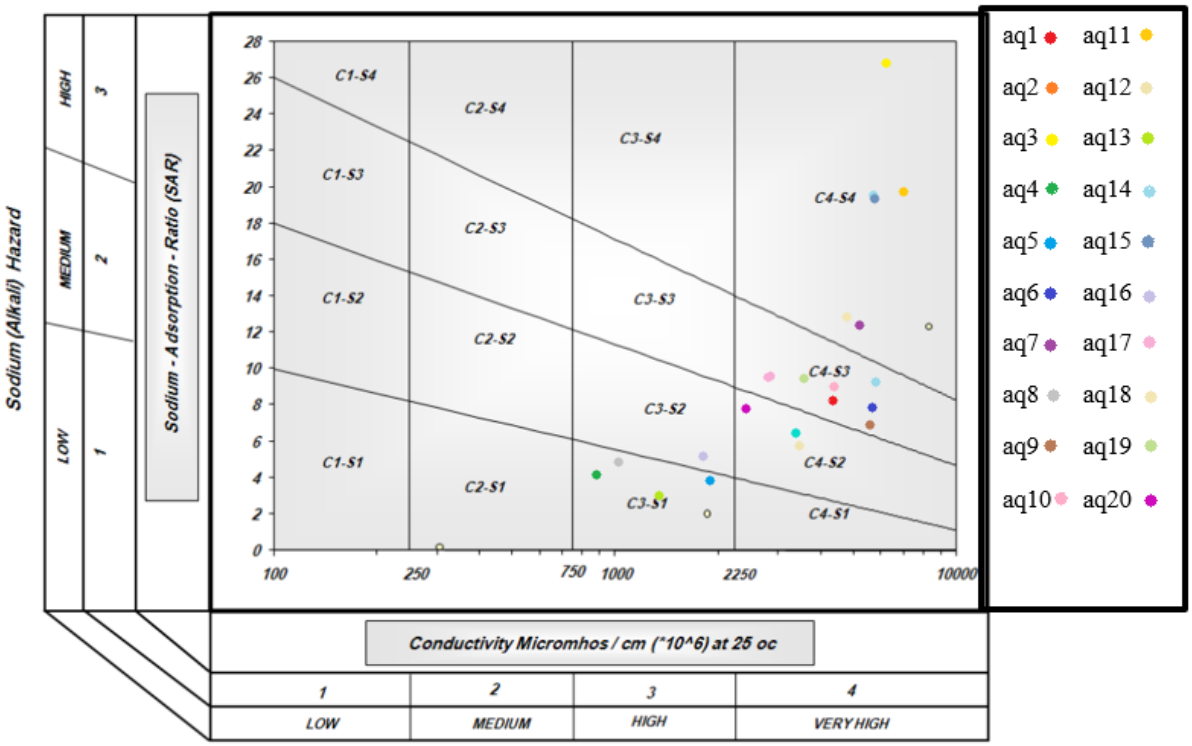
طبقه‌بندی کیفیت بر اساس درصد سدیم و درجه قلیائیت

شاخص‌های RSC و SAR از جمله عوامل مهم و کاربردی در تعیین کیفیت استفاده از آب در کشاورزی محسوب می‌شوند. مقدار RSC(بازمانده کربنات سدیم) برای آبیاری باید زیر ۲.۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر باشد تا از نظر کیفیت قابل قبول باشد. همچنین مقادیر SAR در این حوزه به پنج دسته‌ی متفاوت تقسیم می‌شوند: دسته عالی (کمتر از ۲۰)، خوب (۲۰ تا ۴۰)، قابل‌قبول (۴۰ تا ۶۰)، مشکوک (۶۰ تا ۸۰) و دسته نامناسب (بیشتر از ۸۰). مقادیر کمتر از ۱ نیز برای پارامتر RSC به‌عنوان مناسب برای کشاورزی در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۶، کیفیت آب قنات‌های مورد مطالعه بر اساس درصد سدیم (Na%) و RSC بررسی شده است.

با توجه به اطلاعات مندرج در جدول ۶، می‌توان نتیجه گرفت که آب بیشتر قنوات این محدوده برای مصارف کشاورزی مناسب است. در جدول ۷، طبقه‌بندی کیفیت آب قنات‌های مورد مطالعه برای مصارف صنعتی ارائه شده است:

جدول ۵- طبقه بندی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی

محل نمونه برداری	علامت اختصاری	SAR	EC	کلاس	کیفیت برای کشاورزی
شمس‌آباد	aq1	۱۰/۶۷	۴۶۲۰	S2C4	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
قطارگز	aq2	۲۹/۹	۷۷۷۰	S4C4	خیلی شور- نامناسب برای کشاورزی
دستگرد	aq3	۴/۴۹	۸۶۰	S1C3	کمی شور- مناسب برای کشاورزیر
شوکت‌آباد	aq4	۴/۷۳	۱۹۶۰	S1C3	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
امیرآباد	aq5	۱۰/۳۵	۶۳۳۰	S2C4	شور-قابل استفاده برای کشاورزی
مرک	aq6	۱۳/۴۶	۵۵۱۰	S2C4	شور-قابل استفاده برای کشاورزی
سیچ	aq7	۵/۶۶	۱۲۱۰	S1C3	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
حاجی‌آباد	aq8	۸/۳	۶۸۷۰	S1C4	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
مهدی‌آباد	aq9	۹/۹۷	۵۵۰۰	S1C4	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
دهنو	aq10	۱۹/۵	۷۵۵۰	S1C4	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
اکبریه	aq11	۵/۹۷	۲۵۷۰	S3C4	خیلی شور- مناسب برای کشاورزی
گیو	aq12	۳/۰۳	۱۴۵۰	S1C3	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
گاریچکان	aq13	۱۱/۶۴	۷۵۸۰	S1C4	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
قومنجان	aq14	۱۹/۱۷	۶۹۸۰	S2C4	شور-قابل استفاده برای کشاورزی
درمیان	aq15	۶/۰۹	۱۸۷۰	S3C3	خیلی شور- مناسب برای کشاورزی
دشت طبس	aq16	۹/۹۳	۲۵۰۰	S1C3	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
هندوالان	aq17	۱۴	۵۰۰۰	S1C4	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
طبس مسینا	aq18	۹/۹۷	۴۱۵۰	S1C4	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
سوغات	aq19	۶/۹۱	۴۱۸۰	S1C4	کمی شور- مناسب برای کشاورزی
قنات قمری	aq20	۸/۴۶	۲۳۲۰	S1C3	کمی شور- مناسب برای کشاورزی



شکل ۵- نمودر ویلکاکس ترسیمی برای قنات‌های مورد مطالعه

جدول ٦- کیفیت آب قنات‌ها

محل نمونه برداری	SAR	Na%	کیفیت براساس Na%	RSC	کیفیت براساس RSC
شمس‌آباد	۱۰/۶۷	۲۹/۵	عالی	-۰/۹۱	مناسب
قطارگز	۲۹/۹	۶۷/۲	قابل قبول	-۰/۶۹	مناسب
دستگرد	۴/۴۹	۵/۵	عالی	-۰/۱۳	مناسب
شوکت‌آباد	۴/۷۳	۱۰/۲	عالی	-۰/۵۷	مناسب
امیرآباد	۱۰/۳۵	۳۶/۹	عالی	-۱/۷۳	مناسب
مرک	۱۳/۴۶	۳۸/۲	عالی	-۱/۰۶	مناسب
سیچ	۵/۶۶	۸	عالی	-۰/۲۲	مناسب
حاجی‌آباد	۸/۳	۳۳/۷	عالی	-۲/۳۳	مناسب
مهدی‌آباد	۹/۹۷	۳۳/۶	عالی	-۱/۳۵	مناسب
دهنو	۱۹/۵	۵۸	قابل قبول	-۱/۱۹	مناسب
اکبریه	۵/۹۷	۱۴/۲	عالی	-۰/۷۷	مناسب
گیو	۳/۰۳	۶/۱	عالی	-۰/۵۳	مناسب
گاریچکان	۱۱/۶۴	۴۵	عالی	-۲/۱۳	مناسب
قومنجان	۱۹/۱۷	۵۳/۷	قابل قبول	-۱/۰۷	مناسب
درمیان	۶/۰۹	۱۱/۴	عالی	-۰/۳۳	مناسب
دشت طبس	۹/۹۳	۱۷/۹	عالی	-۰/۴۱	مناسب
هندوالان	۱۴	۳۶/۱	عالی	-۰/۸۳	مناسب
طبس مسینا	۹/۹۷	۲۵/۹	عالی	-۰/۸۳	مناسب
سوغات	۶/۹۱	۲۱/۹	عالی	-۱/۴۱	مناسب
قنات قمری	۸/۴۶	۱۵/۶	عالی	-۱/۴	مناسب

جدول ۷- طبقه بندی کیفیت آب برای مصارف صنعتی

محل نمونه برداری	علامت اختصاری	قلیاییت‌براساس CaO	Ca(mg/l)	PHs	PH	LSI	کیفیت صنعتی
شمس‌آباد	aq1	۱/۴۵	۸	۷/۶	۷/۴	۰/۲	رسوب گذار
قطارگز	aq2	۰/۷۷	۲/۴	۷/۸	۷/۷	۰/۱	رسوب گذار
دستگرد	aq3	۳/۲	۱/۹	۷/۳	۷/۹	-۰/۶	خورنده
شوکت‌آباد	aq4	۱/۷۵	۳/۲	۷/۷	۸	-۰/۳	خورنده
امیرآباد	aq5	۲/۰۸	۱۰/۴	۷	۷/۴	-۰/۴	خورنده
مرک	aq6	۷/۴۵	۴/۴	۷/۴	۷/۶	-۰/۲	خورنده
سیچ	aq7	۲/۵	۱/۸	۶/۱	۷/۳	-۱/۲	خورنده
حاجی‌آباد	aq8	۱۱/۱۶	۱۲	۷/۶	۷/۹	-۰/۳	خورنده
مهدی‌آباد	aq9	۲/۸۸	۱۳/۶	۷	۷/۳	-۰/۳	خورنده
دهنو	aq10	۶/۴	۶/۴	۷/۵	۶/۹	۰/۶	خورنده
اکبریه	aq11	۴/۲۹	۲	۷	۸/۱	-۱/۱	خورنده
گیو	aq12	۶/۷۷	۱/۵	۷/۲	۸/۱	-۰/۹	خورنده
گاریچکان	aq13	۴/۳۲	۷/۲	۶/۴	۷/۷	-۱/۳	خورنده
قومنجان	aq14	۱۰/۱	۵/۶	۶/۶	۷/۶	-۱	خورنده
درمیان	aq15	۱۳/۸۶	۳/۳	۷/۸	۸/۴	-۰/۶	خورنده
دشت طبس	aq16	۱۳/۴۱	۲/۸	۶/۷	۷/۴	-۰/۷	خورنده
هندوالان	aq17	۱۸/۱۲	۶/۴	۶/۶	۷/۸	-۱/۲	خورنده
طبس مسینا	aq18	۱۱/۱۵	۶/۶	۸/۱	۷/۹	۰/۲	رسوب گذار
سوغات	aq19	۱۵/۱۵	۶/۷	۷/۳	۷/۶	-۰/۳	خورنده
قنات قمری	aq20	۱۰/۱۷	۲/۸	۷/۹	۷/۸	۰/۱	رسوب گذار

نمونه‌هایی که شاخص LSI آن‌ها منفی است، خورنده بوده و برای استفاده در سیستم‌های صنعتی حساس مناسب نیستند. از سوی دیگر، اگر نمونه‌هایی با سختی بالا دارای شاخص LSI مثبت باشند، رسوب‌گذار محسوب شده و نیاز به تصفیه قبل از استفاده در مصارف صنعتی دارند.

با توجه به اعداد و ارقام حاصل از محاسبات جدول ۷، می‌توان نتیجه گرفت که آب چهار قنات شمس‌آباد، قطارگز، طبس مسینا و قنات قمری برای مصارف صنعتی نامناسب است.

نتیجه گیری

منابع آب زیرزمینی با کیفیت و کمیت مناسب، تأمین‌کننده‌ی قابل‌اطمینان نیازهای انسانی هستند. کیفیت شیمیایی آب، عاملی تعیین‌کننده در مصارف مختلف آن به شمار می‌رود. این مقاله به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی (قنات‌ها) در استان خراسان جنوبی در سال ۱۴۰۳ می‌پردازد و کیفیت آب برای مصارف گوناگون و روند تغییرات پارامترهای کیفی آن را بررسی می‌کند. استفاده از نمودار پایپر، روشی مرسوم برای تعیین نوع هیدروشیمی آب است. بر اساس نمودار پایپر ترسیم‌شده برای ۱۷ رشته قنات در مناطق خراسان جنوبی، کیفیت آب قنات‌ها برای مصارف مختلف مشخص شده است.

از جمله چالش‌های مهم در این گونه پژوهش‌ها، هزینه‌ی بالای نمونه‌برداری است که موجب شده نمونه‌برداری‌ها به جای ماهانه، به صورت فصلی یا حتی سالانه انجام شود. قطعاً هرچه فواصل نمونه‌برداری‌ها کمتر باشد، نتایج به‌دست‌آمده معتبرتر و دقیق‌تر خواهند بود. بالا بودن مقادیر سدیم و سولفات در آب شرب می‌تواند بر کیفیت آب و سلامت انسان تأثیر بگذارد؛ مقدار بالای سدیم ممکن است باعث افزایش فشار خون شود و مقدار بالای سولفات می‌تواند موجب مشکلات گوارشی و تغییر طعم آب گردد. از نظر مصارف کشاورزی نیز، آب تمامی قنوات برای آبیاری مناسب است. در خصوص مصارف صنعتی، می‌توان گفت که آب چهار قنات شمس‌آباد، ریال، قطارگز، طبس مسینا و قنات قمری، به دلیل رسوب‌گذاری بالایی که دارند، برای مصارف صنعتی نامناسب است.

منابع

حیدری ،ز. و رضایی ،م. ۱۳۹۰. بررسی هیدروژئوشیمی به روش درونیابی با استفاده از نرم‌افزار (ARCGIS مطالعه موردی دشت آبدان دیر استان هرمزگان). سومین گردهمایی علوم زمین.

دستورالعمل پایش کیفیت آبهای زیرزمینی، ۱۳۹۱، نشریه شماره ۲۰، وزارت نیرو.

روزرخ، ج.، اصغری مقدم، ا.، و ندیری، ع.. ۱۳۹۶. بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی و طبقه‌بندی کیف ی منابع آب زیرزمینی دشت هرزندات برای مصارف مختلف با استفاده از روشهای هیدروشیمیایی. علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۱۹(۵): ۹۷-۹۲.

فاضل‌پور ،ع.. ملکی نژاد، ح.. اختصاصی، م.. و برخورداری، ج. ۱۳۹۷. تحلیل کیفیت منابع آب زیرزمینی به منظور مدیریت بهینه منابع، مطالعه موردی حوزه آبخیز خوانسار هرات. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. سال پنجم. ۹۶:۲۰-۱۰۶.

ایزدی،ن.. خاشعی سیوکی، ع.، پوررضا بیلندی.. و هاشمی، رضا . ۱۴۰۰. ارزیابی آلودگی شیمیایی آبخوان دشت بیرجند با استفاده از شاخص آلودگی آب های زیرزمینی. پنجمین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران.

یوسفی، ح.، ریحانی، ا.، امینی، ل.، و قاسمی، ل. ۱۴۰۱. ارزیابی کیفیت آب قنات‌ها بااستفاده از برنامه Chemistry جهت مصارف مختلف در نائین. نشریه‌ی علمی پژوهشی آبیاری و آب ایران. ۱۳(۵): ۴۸۶-۴۶۳.

BRUNGS, W. A. 1973. Effects of residual chlorine on aquatic life. Journal (Water Pollution Control Federation), 2180-2193.

Çelik, R. 2015. Temporal cha nges in the groundwater level in the Upper Tigris Basin, Turkey, determined by a GIS technique. Journal of African Earth Sciences. 107: 134-143.

Chai, T., Xiao, C., Li, M. and Liang, X. 2020. Hydrogeochemical Characteristics and Groundwater Quality Evaluation Based on Multivariate Statistical Analysis. Water. 12: 2792.

Clark, I. D. 2015. Groundwater Geochemistry and Isotopes. Taylor & Francis Group

Edition, F. 2011. Guidelines for drinking-water quality. WHO chronicle, 38, 104-8. Hounslow, A. 2018. Water quality data: analysis and interpretation, CRC press.

Jackson, C. R., Meister, R. and Prudhomme, C. 2011. Modelling the effects of climate change and its uncertainty on UK Chalk groundwater resources from an ensemble of global climate model projections. Journal of Hydrology.399: 12-28.

Mirzavand, M., Sadeghi, S. H. and Bagheri, R. 2020. Groundwater and soil salinization and geochemical evolution of Femenin-Ghahavand plain, Iran. Environmental Science and Pollution Research. 27(34): 43056–43066

Piper, A. M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. Eos, Transactions American Geophysical Union. 25: 914-928

Subba Rao, N., 2018. Groundwater quality from a part of Prakasam district, Andhra Pradesh, India. Appl Water Sci 8:30.

Verma, A. and Singh, N. B. 2021. Evaluation of groundwater quality using pollution index of groundwater (PIG) and non-carcinogenic health risk assessment in part of the Gangetic Basin. Acta Geochimica. 40: 419-440.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 19, Dec.-Jan. 2026, p. 783-793

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۹، آذر - دی ۱۴۰۴، ص. ۷۹۳-۷۸۳

Water quality assessment of 20 qanats in South Khorasan Province for drinking, irrigation and industrial purposes

M. Dastoorani[1]*, S. Khosravi[2]
Recived: Jun.07, 2025 Accepted: Aug.24, 2025

Abstract

The study was conducted with the aim of evaluating the chemical quality of water in 20 qanats in South Khorasan Province in 2024. The importance of water quality for public health and economic development raises the issue of chemical quality as a determining factor in various water uses. First, before any work, the normality of the data was checked, and then Using data from the regional water organization, as well as chemical analysis of the water from the aqueducts, and by drawing Schuler, Wilcox, and Piper diagrams, using the MATLAB program, the water quality for drinking, agricultural, and industrial uses has been evaluated. The results of these analyses determine the water quality of the aqueducts for various uses. Based on the Piper diagram drawn for 20 qanats in the regions of South Khorasan, it determines the water quality of the qanats for different uses. High levels of sodium and sulfate in drinking water can affect water quality and human health. High levels of sodium can cause high blood pressure, and high levels of sulfate can cause digestive problems and change the taste of the water. In terms of agricultural uses, the water of all the qanats is suitable for agriculture. Regarding industrial uses, it can be said that the water of the four qanats of Shamsabad, Qatargaz, Tabas Messina, and Qanat Qamari is unsuitable for industrial uses due to their high sedimentation.

Keywords: Piper diagram, chemical facies, Schoeller, Wilcox.

1 Associate Professor, Department of Water Engineering and Sciences, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. mdastiuraci@birjand.ac.ir
2 PhD student in Water Resources, Department of Water Engineering and Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran