

بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت منابع آب در ساختگاه سد بازفت

احمد رستگاریان^۱ - مهدی کرمی^۲ - محمد غفوری^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۹

چکیده

بررسی کیفیت منابع آب موجود در ساختگاه سدها یکی از مطالعات اولیه در طراحی چنین سازه‌هایی می‌باشد. در این پژوهش با انجام مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی، شاخص‌های متعددی جهت بررسی کیفیت منابع آب ساختگاه سد بازفت برای اهداف مختلف بررسی شد. سد بازفت از نوع بتنی دو قوسی با ارتفاع ۲۱۱ متر از پی در جنوب غرب ایران در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. پی سنگ ساختگاه سد شامل آهک‌ها و دولومیت‌های سازند آسماری و جهرم می‌باشد. پس از مطالعات صحرایی، آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب برداشت شده از منابع آبی چشمه، رودخانه و گمانه‌های اکتشافی واقع در ساختگاه سد انجام شد. نتایج نشان داد که آنیون‌های HCO_3 ، Cl ، SO_4 ، CO_3 و NO_3 به ترتیب و کاتیون‌های Ca ، Na ، Mg و K به ترتیب بیشترین هستند. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که ۸۷،۱۳ درصد از تغییرات کیفی آب توسط چهار گروه عاملی کنترل می‌شود. مهمترین عامل مؤثر بر کیفیت آب ساختگاه شامل EC ، TDS ، Na\% ، SAR ، کلرید، سولفات، قلیابیت، Na و کربنات با ۵۰،۹۱ درصد می‌باشند. ماتریکس همبستگی عناصر بررسی شد و دقت برخی از روابط بر اساس معیارهای مختلف آماری بررسی شد. خوردگی آب بالا و تمام شاخص‌ها نشانگر کیفیت مناسب منابع آب ساختگاه برای کشاورزی و آشامیدن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی منابع آب، تحلیل عاملی، سد بازفت، هیدروژئوشیمی

مقدمه

در تعیین درجه وابستگی و یا ارتباط خطی بین متغیرها می‌باشد (۹ و ۲۶). تحلیل عاملی روشی مناسب برای تحلیل داده‌های نمونه‌های آبی هستند که برای ارزیابی داده‌های کیفی آب و امکان گروه‌بندی هیدروشیمیایی نمونه‌ها به کار برده می‌شوند و از نقطه نظر آماری در هیدرولوژی و زمین‌شناسی دارای اهمیت خاصی هستند (۱۴). Acikel و Ekmekci کیفیت آب زیرزمینی را با استفاده از تحلیل عاملی در یک آبخوان کربناته کارستی در شهر Mugla کشور Turkey را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییرات کیفیت آب توسط سه عامل کنترل می‌شود (۱). منشاء آلودگی نترات در یک آبخوان کارستی بررسی شد و مشخص شد که منشاء آلودگی نترات منحصر از کاربرد کود نیتروژن حاصل شده است زیرا سایر منابع بالقوه توسط داده‌های تحلیلی و کارهای میدانی تأیید نشد. در این تحقیق با استفاده از PCA پنج عامل برای منشاء یون‌ها و پارامترهای فیزیکی شیمیایی تعیین شد (۲۴).

هدف از تحقیق حاضر بررسی پارامترهای فیزیکی شیمیایی در ساختگاه سد بازفت می‌باشد. کیفیت منابع آب در ساختگاه بر اساس معیارها مختلف و تعیین عوامل مؤثر بر کیفیت منابع آب ساختگاه به روش تحلیل عاملی با هدف خلاصه کردن متغیرها انجام شد. مجموعه داده‌های شامل نتایج آنالیز شیمیایی تعداد ۲۰ نمونه آب

مطالعه منابع آب سازندهای کارستی، به دلیل تأمین آب مصرفی جمعیت قابل توجهی از مردم مناطق مختلف جهان دارای اهمیت بسیار زیادی است. بخش عمده‌ای از این منابع به شکل منابع آب کارست در سازندهای مستعد توسعه کارست مانند سازند کربناته آسماری در زاگرس، ایران شکل گرفته است (۱۷ و ۱۹). برخی از تحقیقات انجام شده پیرامون آبخوان‌های کارستی و مسئله آلودگی منابع آب آن در ادامه بیان می‌شود.

در مطالعات متعددی استفاده از روش‌های تحلیل عاملی چندمتغیره همچون ضریب همبستگی، آمار توصیفی، تحلیل عاملی و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای جهت گروه‌بندی و تفسیر شیمی نمونه‌های آب مورد توجه بوده است (۱۱ و ۱۴). ضریب همبستگی یک ابزار مفید

۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

۲ و ۳- دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی و استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(*- نویسنده مسئول: (Email: ghafoori@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.v33i2.77970

روش‌های استاندارد (۲۱)، pH و هدایت الکتریکی (EC) با دستگاه‌های pH متر و دستگاه سنجش هدایت الکتریکی در ۲۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات، کلر به روش تیتراسیون (حجم‌سنجی) غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم به روش فلیم فتومتری (Flame photometry) و یون سولفات به روش اسپکتروفوتومتری (Spectrophotometry) اندازه‌گیری شدند. روش پتانسیومتری برای اندازه‌گیری یون نیترات استفاده شد. خطای انجام آزمایش در تمامی موارد کمتر از ۵ درصد بوده و نتایج تمامی آزمایشات مورد تأیید قرار گرفت.

محاسبه شاخص‌های لانژلیه و رایزنر

شاخص لانژلیه (Langelier Saturation Index) و شاخص رایزنر (RSI) با استفاده از pH واقعی آب و pHs در حالت اشباع از کربنات کلسیم (محاسبه شدند (روابط ۱ تا ۷)). اگر شاخص $pH > pHs$ باشد، $LSI > 0$ است در این حالت آب از کربنات کلسیم اشباع خواهد بود و آب رسوبگذار است و بر عکس اگر $LSI < 0$ باشد آب خورنده است. اگر شاخص رایزنر کمتر از ۶٫۵ باشد آب تمایل به رسوبگذاری دارد و بر عکس اگر این شاخص از ۶٫۵ بیشتر شود آب خورنده است (۱۶).

$$LSI = pH - pHs \quad (1)$$

$$RSI = 2(pHs) - pH = pHs - LSI \quad (2)$$

برداشت شده از منابع آبی چشمه، رودخانه و گمانه‌های اکتشافی واقع در محدوده ساختگاه سد می‌باشد.

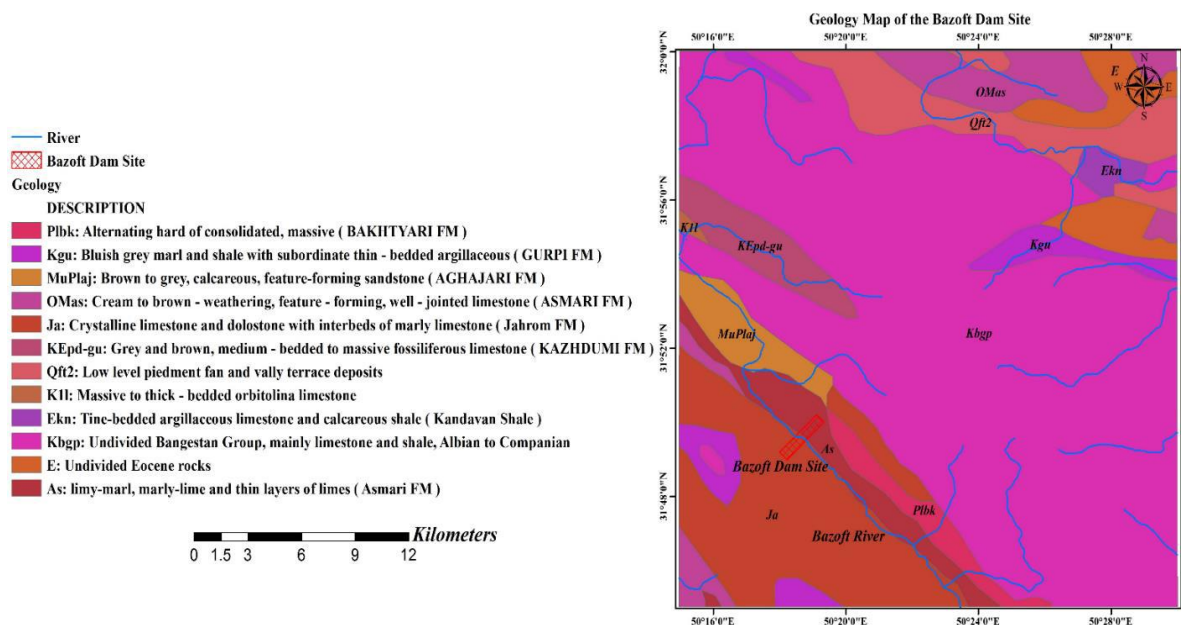
ساختگاه سد بازفت

احداث سد مخزنی بازفت برای استفاده بهینه از آب رودخانه بازفت به منظور تولید بیشینه انرژی برق-آبی، تأمین آب کشاورزی و آشامیدنی می‌باشد. این سد با ارتفاع ۲۱۱ متر در مرحله طراحی و از نوع بتنی دو قوسی است که دارای دو نیروگاه هر کدام با ظرفیت اسمی ۱۸۰ MW می‌باشد. ساختگاه سد مخزنی بازفت در حدود ۲۰۰ کیلومتری جنوب باختری شهرکرد قرار دارد. سنگ بستر ساختگاه سد بازفت به سازندهای آسماری (AS) و جهرم (Ja) (اٲو- الیگو- میوسن) تعلق دارد که سازند جهرم جناح راست، بستر رودخانه و بخش پایینی تکیه‌گاه چپ و سازند آسماری بخش میانی و بالایی تکیه‌گاه چپ را تشکیل می‌دهد. سازند جهرم از سنگ آهک بلورین و سنگ دولومیت همراه با درون لایه‌هایی از سنگ آهک مارنی بوجود آمده است.

مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی

در این تحقیق برای ارزیابی کیفیت منابع آب، آنالیز شیمیایی بر روی ۲۰ نمونه آب برداشت شده از منابع آبی چشمه، رودخانه و گمانه‌های اکتشافی واقع در محدوده ساختگاه سد انجام شد. نمونه‌های آب براساس دستورالعمل‌های مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند و براساس



شکل ۱- نقشه زمین شناسی ساختگاه سد بازفت
Figure 1- Geological map of Bazoft dam site

جدول ۱- درجات مختلف خوردگی و رسوبگذاری آب (۱۰)
Table 1- The degrees of corrosion and scaling of water (10)

مقدار شاخص RSI The value of RSI index	مقدار شاخص LSI The value of LSI index	رفتار آب Water behavior	رفتار آب Water behavior
5-6	0-0.5	رسوبگذاری ضعیف Weak scaling	رسوبگذاری کم Low scaling
6-7	0.5-1	رسوبگذاری و خوردگی ناچیز Weak scaling and corrosion	رسوبگذاری متوسط Medium scaling
7-7.5	1-2	خوردگی متوسط Medium corrosion	رسوبگذاری شدید High scaling
>7.5		خوردگی زیاد High corrosion	

در رابطه ۱۲ واحد یون‌ها میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد.

شاخص نفوذپذیری (Permeability index: PI)

استفاده طولانی مدت از آب با شوری و سدیم زیاد سبب کاهش نفوذپذیری خاک می‌گردد. با توجه به اینکه نفوذپذیری خاک وابسته به میزان یون‌های Ca, Mg, HCO₃, Na است، Doneen (۳) پیشنهاد کرد که از رابطه زیر تأثیر پارامتر نفوذپذیری خاک در رده‌بندی آب برای مصارف کشاورزی محاسبه گردد.

$$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Na^+ + Mg^{2+} + Ca^{2+}} * 100 \quad (۱۳)$$

در رابطه بالا واحد یون‌ها میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. آب را می‌توان از لحاظ سختی، TDS، EC، SAR، RSC، Kelly Ratio (KR)، و درصد سدیم مطابق جدول ۲ به گروه‌های گوناگون تقسیم‌بندی کرد (۲۳).

نتایج و بحث

بررسی‌های صحرایی چشمه‌ها

رودخانه بازفت (دوآب) یکی از سرشاخه‌های مهم و اصلی رودخانه کارون می‌باشد. مساحت حوزه آبریز برابر با ۱۷۸۲ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط آن ۲۲۶۴ متر از سطح دریا می‌باشد. در محل سد تراز بستر رودخانه حدود ۱۰۳۸،۵ متر از سطح دریا می‌باشد. طول شاخه اصلی رودخانه ۱۲۲،۴ کیلومتر و شیب متوسط حوزه ۴۳،۴ درصد است. متوسط آبدهی سالانه رودخانه ۶۳،۳ متر مکعب در ثانیه برآورد شده است. بارنگی متوسط حوزه سد بازفت ۱۰۸۰ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به مقادیر بارنگی متوسط در سطح حوزه سد و آبدهی حوضه، ضریب رواناب حوزه سد بازفت ۱۰۳،۷۵ درصد محاسبه شده است. این نشان می‌دهد که حوزه مطالعه شده به وسیله حوضه‌های مجاور خود تغذیه می‌شود.

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad (۳) \quad C = \log_{10}[TH] - 0.4 \quad (۴)$$

$$D = \log_{10}[TA] \quad A = \frac{\log_{10}(TDS) - 1}{10} \quad B = -13.12 * \log_{10}(C + 273) + 34.55 \quad (۵) \quad (۶) \quad (۷)$$

$$TH (CaCO_3 mg/L) = 50 * (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (۸) \quad TA (CaCO_3 mg/L) = (HCO_3^- + CO_3^{2-}) \quad (۹)$$

که در این روابط غلظت کلسیم، منیزیم، کربنات و بیکربنات به meq/L است. TDS کل جامدات محلول به (mg/L) °C درجه حرارت به درجه سلسیوس، سختی کل (TH) بر حسب کربنات کلسیم معادل mg/L و TA کلیاییت کل معادل کربنات کلسیم به mg/L است. جدول ۱ درجات مختلف خوردگی و رسوبگذاری را نشان می‌دهد.

نسبت جذب سدیم (Sodium Adsorption Ratio: SAR) و درصد سدیم (Soluble Sodium Percentage: Na %) مطابق روابط زیر محاسبه شد.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}} \quad Na\% = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} * 100 \quad (۱۰) \quad (۱۱)$$

در روابط فوق غلظت‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشند.

سدیم کربنات باقی مانده (Residual Sodium Carbonate: RSC)

مقادیر بالای یون‌های کربنات و بی کربنات سبب افزایش RSC شده و یون‌های کلسیم و منیزیم مقدار این پارامتر را کاهش می‌دهند. یون‌های بی کربنات و کربنات با کلسیم و منیزیم ترکیب شده و به صورت CaCO₃ و MgCO₃ رسوب می‌کنند. طی این واکنش غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم نسبت به یون سدیم کاهش یافته و در نتیجه pH افزایش می‌یابد. RSC توسط رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود (۲۰):

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (۱۲)$$

جدول ۲- رده بندی نوع آب زیرزمینی براساس پارامترهای مختلف (۲۳)

Table 2- the classification of the type of groundwater based on different parameters (23)

میزان سختی CaCO ₃ (Mg/l) Hardness value as CaCO ₃ (mg/l)	نوع آب Water type	TDS (Mg/l)	نوع آب Water type	EC $\mu s / cm$	کلاس آب Water type	SAR	کلاس کلاس Class	درصد سدیم % Na	کلاس کلاس Class	RSC	کیفیت Quality	Kelly Ratio (KR)	توصیف Description
>75	نرم soft	<1000	آب تازه Fresh water	< 250	عالی Excell ent	< 10	S1	<20	عالی Excell ent	1.25>	عالی Excell ent	<1	مناسب Suitabl e
75-150	نسبتاً سخت Relati vely hard	1000- 10000	آب لب شور Brackis h water	250- 750	خوب good	10- 18	S2	20-40	خوب good	1.25- 2.5	خوب Good	1<	نامناسب Unsuita ble
150-300	سخت Hard	10000- 100000	آب شور Salt water	750- 2000	مجاز Permiss ible	18- 26	S3	40-60	مجاز Permiss ible	2.5<	نامناسب Unsuita ble		
300<	خیلی سخت Veryh ard	100000<	آب خیلی شور Very salt	2000- 3000	مشکوک Doubtful	>26	S4	60-80	مشکوک Doubtful				
				>3000	نامناسب Unsuita ble			>80	نامناسب Unsuita ble				

جنجاق چپ) و BZ22 (بستر رودخانه) و همچنین آب رودخانه در بالا دست و پایین دست محور سد مورد ارزیابی هیدروشیمی قرار گرفت.

جدول ۳- مختصات و تراز ارتفاعی چشمه‌های مورد بررسی
Table 3- The coordinates and the altitude level of the studied springs

نام چشمه Spring name	x	y	z
ابدود Abdud	432125	3524434	1100
اب دوغ ترش Abdughtorsh	432207	3524299	1137
پس انگبین Pasangabin	432061	3524493	1085
ده زیر Dehzir	432231	3524800	1058
ده پیر Dehpir	433179	3523673	1188

میزان املاح موجود در آب‌های زیرزمینی تابعی از عوامل متعددی است که از مهمترین آنها می‌توان جنس واحدهای سنگی، طول مسیر جریان، میزان نزولات جوی، پوشش گیاهی و منشأ اولیه آب را نام برد (۱۳). در منطقه مورد مطالعه از میان این عوامل، جنس واحدهای

از ۲۵۰ چشمه شناسایی شده در محدوده ساختگاه تنها ۴ چشمه بنام ابدود، ابدوغ ترش، پس‌انگبین و ده‌زیر در مخزن قرار گرفته و بعد از آبیگری سد در دریاچه سد غرق خواهند شد. تمام این چشمه‌ها از سنگ آهک‌های کرتاسه بالایی منشأ می‌گیرند. مقدار آب‌دهی متوسط کل چشمه‌های جنجاق چپ رودخانه ۱۳۰ لیتر در ثانیه بوده است. مختصات و تراز ارتفاعی چشمه‌های مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است.

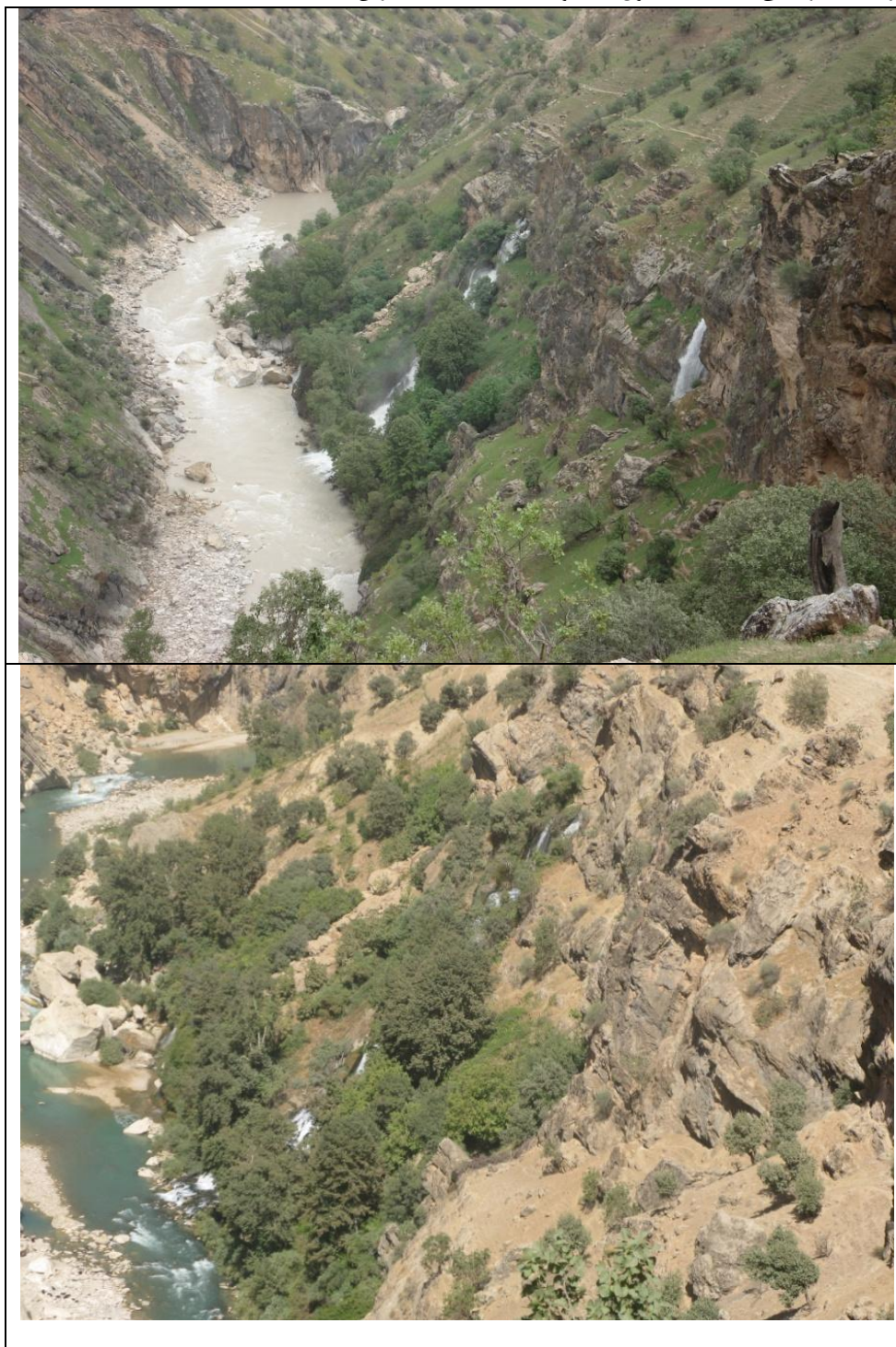
فقط سه چشمه ابدود، آب دوغ ترش، پس‌انگبین دارای آب‌دهی حدود ۲ متر مکعب در ثانیه می‌باشند. چشمه ابدود دارای آب‌دهی حدود ۲٫۵ متر مکعب بر ثانیه است. این چشمه از تیپ کربناته و دارای TDS بسیار پایین (۱۱۵ ppm) و درجه خلوص آن بسیار بالا می‌باشد. مشخصات آب این چشمه و حجم بالای آب‌دهی آن نشان می‌دهد که این چشمه تحت تأثیر بار هیدرواستاتیکی بسیار بالاتر قرار دارد و همچنین مسیر طولانی را طی می‌کند. چشمه ابدوغ‌ترش در پایین دست چشمه پس‌انگبین فصلی می‌باشد (مقایسه شکل ۲ سمت بالا در بهمن ۱۳۸۶ و پایین در آبان ۱۳۸۸ تهیه شده‌اند).

آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب

نمونه‌های آب تهیه شده از چشمه‌های جنجاق چپ (چشمه‌های ابدود، پس‌انگبین و ابدوغ‌ترش)، گمانه‌های BR1 (جنجاق راست)، BZ8

است. میانگین آنیون‌ها HCO_3 ، Cl ، SO_4 ، CO_3 و NO_3 به ترتیب بیشترین مقدار را در دارند و کاتیون‌ها به ترتیب Ca ، Na ، Mg و K بیشترین هستند.

سنگی و منشأ اولیه آب مهمترین عوامل تأثیرگذار بر میزان کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب چشمه‌های مورد بررسی هستند. پارامترهای آماری ترکیبات بررسی شده در جداول ۴، ۵ و ۶ آمده



شکل ۲- چشمه پس‌انگبین و آبدوغ‌ترش
Figure 2- Abdughtorsh and Pasangabin springs

توسط دان (۲) بررسی و نتایج در ادامه ارائه شده است. بر اساس EC و SAR آب چشمه‌ها در رده C1S1 و از نظر رده‌بندی برای کشاورزی آب چشمه‌ها شیرین و کاملاً بی‌ضرر است. آب گمانه‌ها و رودخانه در رده C2S1 قرار می‌گیرند که همگی برای کشاورزی مناسب هستند. کیفیت آب چشمه‌ها، رودخانه و گمانه‌ها برای کشاورزی از نظر درصد سدیم به ترتیب عالی، خوب و مجاز می‌باشد (جدول ۴). پایین بودن میزان TDS (کمتر از ۲۰۰) چشمه‌ها و گمانه‌ها نشانگر زمان ماندگاری کم آب در سیستم کارستی و توسعه محدود کارست در جناح چپ ساختگاه می‌باشد (جدول ۴). بر اساس رده‌بندی RSC و با توجه به اینکه میزان تغییرات این پارامتر بین حداقل ۱،۲۹- تا حداکثر ۲،۴۸ قرار دارد، تمامی نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در رده خوب قرار دارند (جدول ۴).

رخساره‌های هیدروشمیایی آب زیرزمینی تعیین کننده توده‌های آبی با ماهیت ژئوشیمی متفاوت است. تیپ و رخساره غالب منابع آب ساختگاه بی‌کربناته کلسیک ($Ca > Na + K > Mg$) و HCO_3^- و $Cl > SO_4$ می‌باشد. محدوده هدایت الکتریکی آب‌های کارستی معمولاً کمتر از ۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است (۱۵). نتایج این تحقیق نیز نشان داد که EC چشمه‌ها و گمانه‌ها در ساختگاه سد بازفت کمتر از ۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است. EC چشمه‌ها حدود ۱۹۶ و گمانه‌ها ۳۲۹ و رودخانه ۶۶۵ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشند (جدول ۴). مقدار EC کم چشمه‌ها (کمتر از ۲۰۰) نشانگر عدم دخالت ناخالصی‌های محلی در کیفیت آب چشمه‌ها می‌باشد. میزان مقادیر هدایت الکتریکی بالا نشانگر سرعت کم جریان می‌باشد. کیفیت منابع آب موجود در ساختگاه بر اساس طبقه‌بندی ارائه شده

جدول ۴- توصیف پارامترها در منابع مختلف آب ساختگاه

Table 4- Description of the parameters in the different water sources of dam site

منبع Source	EC ($\mu S/cm$)	S.A. R	کلاس Class	Na %	توصیف Description	TDS (Mg/l)	توصیف Description	TH (ppm)	توصیف Description	قلیائیت حساب CaO Alkalinity (CaO)	RSC (meq /l)	توصیف Description
چشمه Spring	195.72	0.03	C1S1	1.22	عالی Excellent	108.6	آب تازه Fresh water	161.23	سخت Hard	1.02	-0.34	عالی Excellent
گمانه Borehole	329.4	0.6	C2S1	13.45	عالی Excellent	194.2	آب تازه Fresh water	199.62	سخت Hard	21.24	-0.46	عالی Excellent
رودخانه River	664.83	3.25	C2S1	54.37	قابل قبول Permissible	434.1	آب تازه Fresh water	189.6	سخت Hard	109.15	-1.1	عالی Excellent
کل ساختگاه Total dam site	369.87	1.14	C2S1	20.23	خوب good	227.63	آب تازه Fresh water	179.34	سخت Hard	38.51	-0.61	عالی Excellent

یکی از جنبه‌های مهم کیفیت آب، پتانسیل خوردگی و رسوبگذاری آن است. رخداد یکی از این دو پدیده می‌تواند هزینه‌های نگهداری را افزایش و عمر سامانه‌های ذخیره، انتقال و توزیع آب آشامیدنی، کشاورزی و صنعتی را کاهش یابد. با توجه به اینکه شاخص LSI منفی و RSI بیشتر از ۷،۵ می‌باشد، از دیدگاه مصرف در صنعت منابع آب ساختگاه خورنده می‌باشد (جدول ۵). بر اساس شاخص نفوذپذیری (PI) تمامی نمونه‌های ساختگاه در کلاس ۲ قرار دارند لذا برای مصرف در کشاورزی مناسب هستند.

مقادیر متوسط پارامترهای بررسی شده به تفکیک در جناح راست و چپ در جدول ۷ آمده است. چنانچه مشاهد می‌شود غلظت املاح، کاتیون‌ها و آنیون‌ها و در نتیجه شاخص‌ها در جناح راست بیشتر از جناح چپ می‌باشند (جدول ۷).

نسبت Na اندازه‌گیری شده به مجموع Ca و Mg را شاخص کلی (Kelly Rate: KR) می‌نامند. هرچه Na در خاک بیشتر گردد سبب کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود، لذا مقادیر بیشتر شاخص کلی بعنوان شاخصی از خطر کاهش نفوذپذیری نیز می‌تواند بکار رود. شاخص کلی همچنین می‌تواند بعنوان شاخص خطر آکالینیت در آب نیز مطرح گردد. مقدار این پارامتر توسط معادله زیر محاسبه می‌گردد (۸).

$$KR = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \quad (14)$$

در رابطه ۱۴ واحد یون‌ها میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. بر طبق رده‌بندی کلی، اگر میزان این پارامتر کمتر از یک باشد، آب برای کشاورزی مناسب و در غیر این صورت نامناسب می‌باشد که بر این اساس در منطقه مورد مطالعه، تمامی نمونه‌ها برای کشاورزی مناسب می‌باشند. بر طبق رده‌بندی کلی (Kely Ratio) در منطقه مورد مطالعه، تمامی نمونه‌ها برای کشاورزی مناسب می‌باشند (جدول ۵).

جدول ۵- توصیف شاخص‌های منابع آب ساختمانی

Table 5- Description of the indicators in the dam site water resources

منبع Source	KR	توصیف Description	RSI	توصیف Description	LSI	توصیف Description	PI %	کلاس class	توصیف Description
چشمه Spring	0.01	مناسب Suitable	10.37	خورندگی زیاد High corrosive	-1.15	رسوبگذاری کم Low scaling	52	کلاس ۲ Class 2	مناسب Suitable
گمانه Borehole	0.02	مناسب Suitable	10.8	خورندگی زیاد High corrosive	-1.01	رسوبگذاری کم Low scaling	53	کلاس ۲ Class 2	مناسب Suitable
رودخانه River	1.23	نامناسب unsuitable	10.36	خورندگی زیاد High corrosive	-1.12	رسوبگذاری کم Low scaling	73	کلاس ۲ Class 2	مناسب Suitable
کل ساختمانی Total dam site	0.42	مناسب Suitable	10.29	خورندگی زیاد High corrosive	-1.11	رسوبگذاری کم Low scaling	58	کلاس ۲ Class 2	مناسب Suitable

جدول ۶- پارامترهای آماری عناصر و ترکیبات بررسی شده و مقایسه با مقادیر مجاز بنا به پیشنهاد سازمان جهانی بهداشت (۲۵)

Table 6- The statistical properties of the assessed parameters and compared with the allowable values of WHO

پارامتر Parameter	حداقل Min.	حداکثر Max.	انحراف				چوایی Skewness	کشیدگی Kurtosis	حد مجاز مطابق WHO (1994a) WHO (1994a) permissible
			میانگین Mean	استاندارد Std. Deviation	واریانس Variance	انحراف			
pH	7.87	8.23	8.08	0.115	0.013	-0.302	-1.08	6.5-8.5	
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	172	735	369.87	218.55	47764	0.654	-1.41	750	
TDS	100	495.58	227.63	153.28	23495.8	0.712	-1.31	1000	
Na%	0.83	58.08	20.23	24.97	623.66	0.636	-1.65		
SAR	0.01	3.88	1.14	1.51	2.28	0.771	-1.35		
HCO ₃ ⁻	128.10	237.94	167.24	30.04	902.72	1.053	1.62		
Cl	4.25	202.10	67.27	83.05	6897.5	0.738	-1.46	250	
SO ₄	4.10	37.08	14.05	11.99	143.79	0.723	-1.13	500	
CO ₃	0.00	21.00	8.11	8.342	69.59	0.182	-1.85		
Ca	37.00	78.00	49.36	9.32	86.81	1.669	3.73	200	
Mg	3.60	21.00	13.72	3.13	9.82	-1.194	6.53	150	
Na	0.5	126.1	37.73	50.28	2528.1	0.791	-1.276	200	
K	0.20	3.80	0.63	.794	0.63	3.626	14.71	30	
NO ₃ ⁻	2.60	4.20	3.62	.586	0.34	-0.774	-0.97	50	
TH	159.25	221.53	179.34	19.22	369.31	0.556	-0.69	500	
Alkalinity	0.69	131.20	38.51	50.96	2596.8	0.794	-1.239	600	
LSI	-1.31	-78	-1.104	.13674	.019	1.139	1.389	-	
RSI	10.53	9.80	10.293	.19082	.036	-1.713	2.977	-	

جدول ۷- مقادیر متوسط پارامترهای بررسی شده در جناح راست و چپ (غلظت‌ها بر حسب ppm)

Table 7- Values of the investigated parameters on the right and left abutments (concentrations in ppm)

پارامتر/جناح Abutment/parameter	PH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS	Na %	SAR	HCO ₃ ⁻	CL ⁻	SO ₄ ⁻	CO ₃ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺
جناح چپ Left abutment	8.02	249	139.2	0.86	0.02	164.7	4.25	12.36	21	37	21
جناح راست Right abutment	7.92	433	265.6	22.31	0.77	167.75	42.9	16.48	21	78	3.6
جناح/ پارامتر Abutment/parameter	TH	Alkal. (CaO)	Alkal. (CaCO ₃)	LSI	RSI	RSC	PI	KR	K ⁺	NO ₃ ⁻	Na ⁺
جناح چپ Left abutment	179	0.87	3.4	-1.1	10.2	-0.2	45.97	0.01	0.37	3	0.5
جناح راست Right abutment	210	29.3	3.45	-1.15	10.22	-0.75	52.12	0.26	3.8	4	25.5

ماتریکس همبستگی

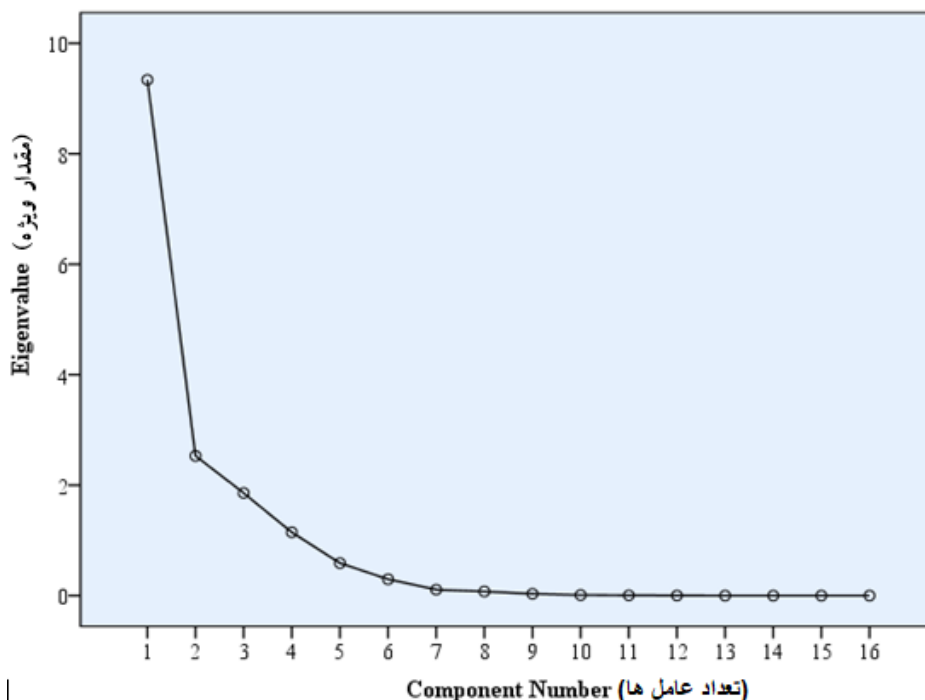
به طور صریح می‌توان گفت پارامترهایی که $r > 0/7$ نشان می‌دهند، به صورت همبستگی قوی، $0/7 < r < 0/5$ همبستگی متوسط و $r < 0/5$ همبستگی ضعیف در نظر گرفته می‌شوند (۱۲). ماتریس همبستگی رسم شده، نشان‌دهنده وجود همبستگی بالای یون‌های کلسیم، منیزیم، می‌باشد که نشانگر منشأ (به دلیل انحلال سنگ‌های کربناته) این عناصر در آب زیرزمینی می‌باشد که در ارتباط با خصوصیات زمین‌شناسی نمونه‌ها است (۷). غلظت یون نیترات نیز همبستگی بالایی با بی‌کربنات دارد که علت آن می‌تواند منشأ

مشترک آن‌ها باشد. همبستگی مثبت EC با pH نشانگر ارتباط مستقیم آن‌ها در فرآیندهای انحلال است که با افزایش pH انحلال و در نتیجه آن مواد محلول افزایش می‌یابد. همبستگی منفی pH با دیگر یون‌ها به خوردگی بالای محیط اسیدی نسبت به خاک و سنگ میزبان نسبت داده می‌شود که غلظت بیشتر یون‌ها را افزایش می‌دهد. همبستگی قوی بین سدیم و کلرید را می‌توان به انحلال هالیت و آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی نسبت داد (۲۲). قلیائیت کل نیز با سختی همبستگی متوسطی دارد (جدول ۸)، Rafferty (۱۶) نیز همبستگی معنی دار قلیائیت کل و سختی کل را گزارش کردند.

جدول ۸- ماتریکس همبستگی پارامترها

Table 8- Correlation matrix of the parameters

	pH	EC (μS/cm)	TDS (Mg/l)	Na %	S.A.R	HCO ₃ ⁻	CL ⁻	SO ₄ ⁻	CO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NO ₃ ⁻	TH (ppm)
pH	1														
EC(μS/cm)	0.21	1													
TDS(Mg/l)	0.21	1	1												
Na%	0.21	0.98	0.98	1											
S.A.R	0.24	0.96	0.96	0.99	1										
HCO ₃ ⁻	0.06	(0.63)	(0.63)	(0.62)	(0.65)	1									
CL ⁻	0.21	0.96	0.96	0.99	0.99	(0.64)	1								
SO ₄ ⁻	0.16	0.89	0.89	0.93	0.91	(0.56)	0.92	1							
CO ₃ ²⁻	(0.04)	0.45	0.43	0.37	0.37	(0.63)	0.33	0.41	1						
Ca ²⁺	(0.20)	0.44	0.44	0.45	0.36	0.06	0.37	0.47	0.15	1					
Mg ²⁺	0.25	(0.00)	(0.00)	0.01	0.07	(0.04)	0.08	0.07	(0.06)	(0.70)	1				
Na ⁺	0.24	0.95	0.95	0.99	0.99	(0.65)	1.00	0.92	0.36	0.37	0.07	1			
K ⁺	(0.25)	0.35	0.34	0.29	0.20	(0.13)	0.19	0.30	0.47	0.85	(0.76)	0.20	1		
NO ₃ ⁻	(0.07)	0.20	0.20	0.24	0.24	(0.58)	0.21	0.15	0.32	0.00	(0.27)	0.25	0.21	1	
TH (ppm)	(0.02)	0.63	0.62	0.65	0.58	0.03	0.60	0.72	0.21	0.83	(0.20)	0.59	0.58	(0.20)	1
Alkalinity (cao)	0.23	0.95	0.94	0.99	0.99	(0.65)	1	0.92	0.37	0.38	0.05	1	0.22	0.26	0.60



شکل ۳- نمودار سنگریزه مربوط به مقادیر ویژه عامل‌ها
Figure 3- The Scree plot of eigenvalues of the factors

تحلیل مؤلفه اصلی^۱

کاربرد تکنیک‌های آماری چند متغیره مانند تحلیل عاملی به ما این امکان را می‌دهد تا منابعی را که ممکن است سیستم‌های آبی را تحت تأثیر قرار دهد شناسایی کرده، و ابزاری مناسب برای مدیریت صحیح منابع آب پیشنهاد کنیم (۲۶). تحلیل مؤلفه اصلی کاهش ابعاد مجموعه داده‌های اولیه را از طریق چرخاندن مؤلفه‌های اصلی حول محورهای عمودی و افقی مختصات انجام می‌دهد. این چرخش در حقیقت اختلاف واریانس بین مؤلفه‌های اصلی را به حداکثر می‌رساند و به همین دلیل به آن چرخش Varimax گفته می‌شود.

نمودار سنگریزه (Scree plot) بصورت بصری تعداد عامل‌های استخراج شده را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن مقدار یک در محور عمودی میتوان تعداد عامل‌های نهایی را مشخص کرد. وجود شیب تند بین عامل‌ها می‌تواند مبنای تکمیلی جهت انتخاب عامل‌های نهایی باشد. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود بین عامل چهارم و پنجم شیب تندی وجود دارد و بعد از عامل چهارم شیب مقدار ویژه به طور محسوسی کاهش می‌یابد.

جدول ۹ سهم متغیرها را در عامل‌ها بعد از چرخش نشان می‌دهد. هر متغیر در عاملی قرار می‌گیرد که با آن عامل همبستگی بالایی معنی داری داشته باشد. زمانی که هر متغیر تنها با یک عامل دارای همبستگی بالا باشد و با عامل‌های دیگر دارای همبستگی ضعیف و ناچیز (کمتر از ۰٫۳۰) باشد نشان از مناسب بودن عامل‌های استخراج شده می‌باشد.

در تحلیل عاملی عناصر، ۴ عامل که زیر مجموعه ۱۹ پارامتر مورد تحلیل می‌باشند، شناسایی شدند (جدول ۹). نتایج نشان می‌دهد که در این ساختمان می‌توان به میزان ۸۷٫۱۳ درصد تغییرات کیفی منابع آب را با استفاده از ۴ عامل مورد ارزیابی قرار دارد. عامل اول شامل EC، TDS، Na، SAR، کلرید، سولفات و قلیابیت با ۵۸٫۳۷ درصد دارای بالاترین تأثیرگذاری بر کیفیت منابع آب این ساختمان می‌باشد. پس از آن عامل‌های دوم شامل کلسیم، منیزیم و پتاسیم با ۱۵٫۸۲ درصد می‌باشند. عامل سوم شامل یون‌های بیکربنات، نیترات و سختی با ۱۱٫۶۱ درصد می‌باشند. در نهایت کربنات و pH با ۷٫۱۷ درصد در عامل چهارم قرار می‌گیرند. عامل اول را می‌توان به انحلال کانی‌های موجود در سازندهای منطقه نسبت داد. عامل دوم نشان دهنده واکنش آب-سنگ است که این عامل در ارتباط با انحلال سنگ‌های کربناته است. عامل سوم را با توجه به وجود یون نیترات می‌توان عامل انسانی دانست. استفاده از کودهای شیمیایی نیترات‌دار در زمین‌های کشاورزی و فعالیت‌های انسانی در ایجاد آلودگی نیترات

در آب زیرزمینی مؤثرند (۵). تأثیر منفی اسیدیته در عامل چهارم بر این نکته اشاره دارد که سرعت هوازدگی کانی‌ها در محیط‌های اسیدی بیشتر از محیط‌های بازی است.

شکل ۴ مشخصه‌های مؤثر در هر عامل در فضا را نشان می‌دهد. در این نمودار پراکنش متغیرهای مورد بررسی نسبت به عامل‌های اول، دوم، سوم و چهارم مشاهده می‌شود.

رابطه EC با TDS

با توجه به این که هدایت الکتریکی رابطه مستقیمی با TDS و نمک‌های محلول در آب دارد، لذا اندازه‌گیری آن به منظور کنترل کیفیت آب از اهمیت زیادی برخوردار است. هدایت الکتریکی معیاری از توان آب برای هدایت جریان الکتریکی می‌باشد که این ویژگی با کل غلظت مواد یونیزه شده در آب (یون‌های مثبت و منفی) و دمایی که اندازه‌گیری در آن انجام می‌شود مرتبط می‌باشد. نمودار هدایت الکتریکی در مقابل مجموع املاح جهت تعیین رابطه این دو پارامتر در ساختمان سد بازفت به شکل زیر می‌باشد (شکل ۵):

$$TDS = 0.70Ec - 31.24 \quad (15)$$

پارامترهای مربوط به روابط EC با TDS و LSI با RSI جهت سنجش اعتبار آن‌ها در جدول ۱۰ آمده است. به منظور بررسی استقلال خطاها از یکدیگر از آزمونی به نام آزمون دوربین واتسون استفاده می‌شود. مقدار این آماره باید بین ۱٫۵ تا ۲ باشد. در اینجا مقدار Durbin-Watson نشان می‌دهد که استقلال خطاها از یکدیگر وجود دارد و امکان استفاده از مدل‌ها وجود دارد (جدول ۱۰). مقدار سطح معنی‌داری (Sig.<0.05) حاصل از آنالیز واریانس (ANOVA) نشان می‌دهد که مدل‌های برازش شده مناسب می‌باشند (جدول ۱۰).

واسنجی روابط Ihejirika و همکاران (۶) کلاتتری و همکاران (۲۷)، اسپنادر و همکاران (۲۸) و تحقیق حاضر بر اساس R^2 و RMSE در شکل ۶ ارائه شده است. پارامترهای R^2 و RMSE به منظور بررسی عملکرد روابط استفاده می‌شود (۴ و ۱۸). هر چه R^2 به عدد یک و RMSE به عدد صفر نزدیکتر باشد رابطه ارائه شده عملکرد بهتری خواهد داشت.

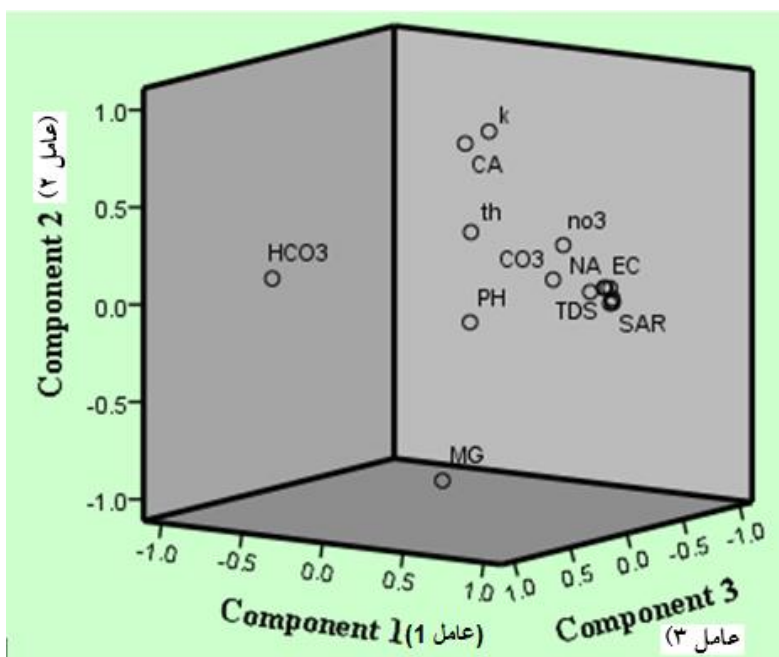
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y - y')^2} \quad (16)$$

y' و y در این روابط به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد که روند مناسبی بین EC و TDS حاصل از روابط مختلف وجود دارد. کمترین خطا مربوط به تحقیق حاضر هست (شکل ۶). در مجموع می‌توان گفته که هر رابطه برای یک ناحیه بخصوص کاربرد دارد چونکه روابط سایر محققین دارای خطای زیادی می‌باشد.

جدول ۹- مقدار بار عاملها بعد از چرخش Varimax

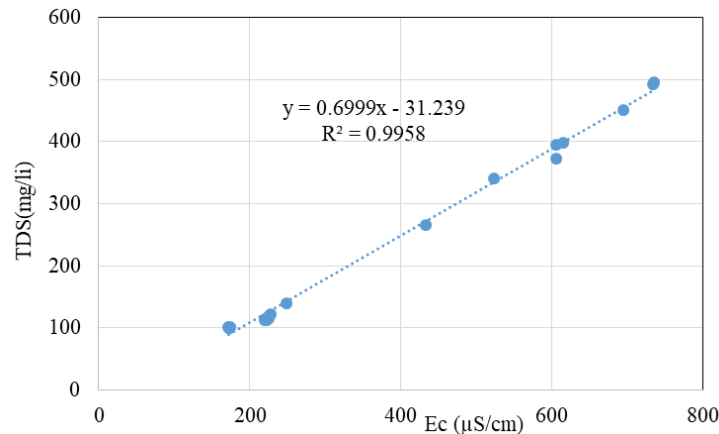
Table 9- The loading value of the factors following the Varimax rotation

	Component			
	1	2	3	4
pH				-0.88
EC	0.97			
TDS	0.97			
Na%	0.99			
SAR	0.99			
HCO ₃	-0.64		0.64	-0.34
Cl	0.99			
SO ₄	0.94			
CO ₃	0.51			0.62
Ca	0.34	0.86	0.34	
Mg		-0.89	0.32	
Na	0.99			
K		0.86		0.36
No ₃			-0.90	
TH	0.57	0.47	0.61	
قلیابیت Alkalinity	0.99			
درصد واریانس % of variance	58.37	15.82	11.61	7.17
درصد واریانس تجمع % of cumulative variance	58.368	74.185	85.8	92.97



شکل ۴- دیاگرام ضرایب چرخش عاملها

Figure 4- Factors rotation coefficients diagram



شکل ۵- رابطه هدایت الکتریکی EC با TDS در ساختگاه
Figure 5- The relationship of the EC with TDS in dam site

جدول ۱۰- پارامترهای آماری مربوط به روابط EC با TDS و LSI با RSI

Table 10- The statistical parameters related to EC relation with TDS and LSI with RSI

مدل Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	ANOVA	
						F	Sig.
EC با TDS TDS correlation with EC	0.998	0.996	0.996	10.19	1.51	4280	0
RSI با LSI LSI correlation with RSI	0.94	0.88	0.87	0.07	1.84	127.6	0

کشاورزی، صنعت و آشامیدن در ساختگاه سد بازفت بررسی شد. نتایج نشان داد که غلظت املاح، کاتیون‌ها و آنیون‌ها، در نتیجه شاخص‌های بررسی شده در جناح راست بیشتر از جناح چپ می‌باشد. همچنین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها همه کمتر از حد مجاز WHO می‌باشند. از نظر رده‌بندی برای کشاورزی آب چشمه‌ها شیرین و کاملاً بی‌ضرر است و در رده C1SI قرار می‌گیرد. آب رودخانه و گمانه‌ها کمی شور ولی مناسب برای کشاورزی است.

از دیدگاه مصرف در صنعت آب، منابع آب در ساختگاه در رده خوردگی زیاد قرار می‌گیرند که باید برای جلوگیری از خوردگی لوله‌ها و تاسیسات نیروگاه‌ها تمهیداتی در نظر گرفته شود. از دیدگاه سختی تمام آب‌ها در رده سخت قرار می‌گیرند. بر اساس رده بندی درصد Na، آب چشمه‌ها عالی، آب گمانه‌ها خوب و مابقی قابل قبول می‌باشد. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که ۴ عامل به میزان ۸۷،۱۳ درصد تغییرات کیفی منابع آب را کنترل می‌کنند. عامل اول شامل EC، TDS، SAR، %Na، کلرید، سولفات و قلیائیت با ۵۸،۳۷ درصد عامل‌های دوم شامل کلسیم، منیزیم و پتاسیم با ۱۵،۸۲ درصد، عامل سوم شامل یون‌های بی‌کربنات، نیترات و سختی با ۱۱،۶۱ درصد و کربنات و pH با ۷،۱۷ درصد در عامل چهارم قرار می‌گیرند.

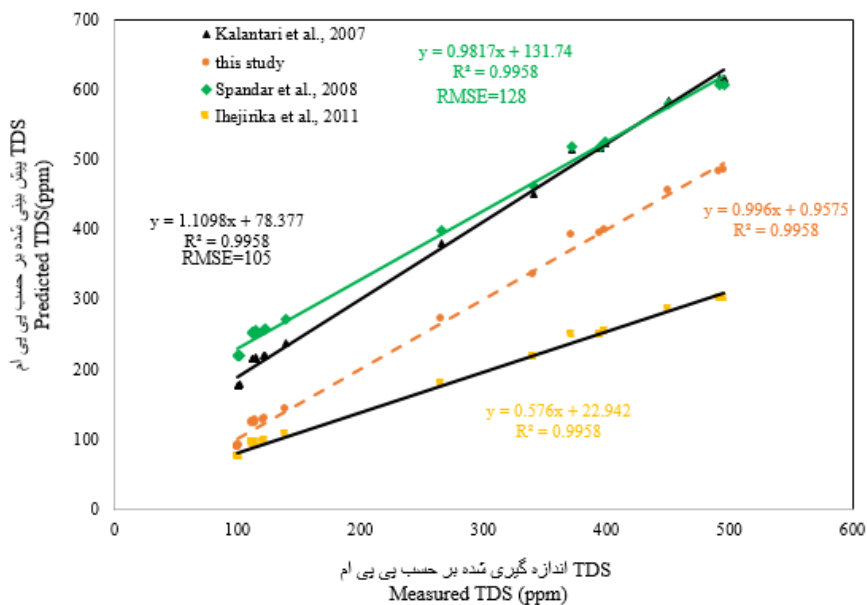
ارتباط LSI با RSI

گاهی اوقات لازم خواهد بود که بتوان مقدار شاخص رایزنر را از مقدار شاخص لانژلیه تخمین زد. مانند هنگامی که مقدار شاخص لانژلیه گزارش شده ولی مقدار برخی مولفه‌ها گزارش نشده باشد که محاسبه شاخص RSI را غیر ممکن می‌سازد. در این صورت با وجود رابطه‌ی واقعی بین دو شاخص لانژلیه و رایزنر می‌توان مقدار شاخص رایزنر را در صورت نیاز برآورد کرد. رابطه‌ی معکوس LSI و RSI (شکل ۷) طبق معادله دور از انتظار نیست.

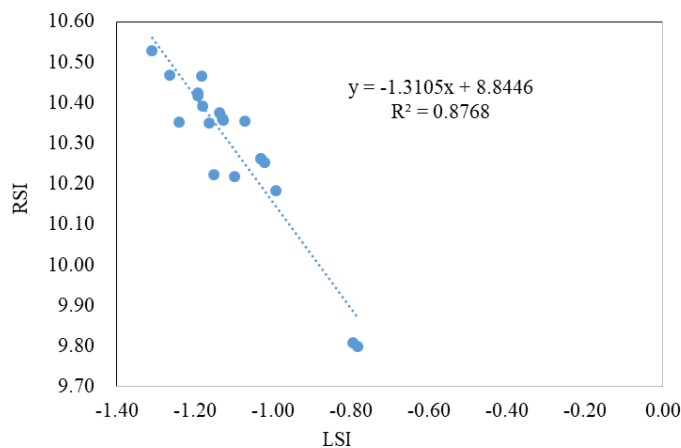
واسنجی رابطه حاصل از تحقیق حاضر (منابع آب ساختگاه سد بازفت) و روابط استواری و بیگی هرچگانی (۲۹) که برای آب زیرزمینی دشت جمال و دشت لردگان در غرب ایران ارائه شده، در شکل ۸ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که همبستگی بالای بین مقادیر اندازه‌گیری شده در تحقیق حاضر وجود دارد. روند نقاط حاصل از هر معادله دارای سازگاری مناسبی می‌باشد.

نتیجه گیری

در این پژوهش خطرات آلودگی مربوط به پارامترهای فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های متعددی (LSI، RSI، RSC، PI، KR) جهت تعیین کیفیت منابع آب (چشمه، گمانه و رودخانه) برای اهداف



شکل ۶- مقایسه رابطه شاخص EC با TDS حاصل از تحقیقات پیشین و تحقیق حاضر
 Figure 6- The comparison of EC with TDS in the present study and previous studies

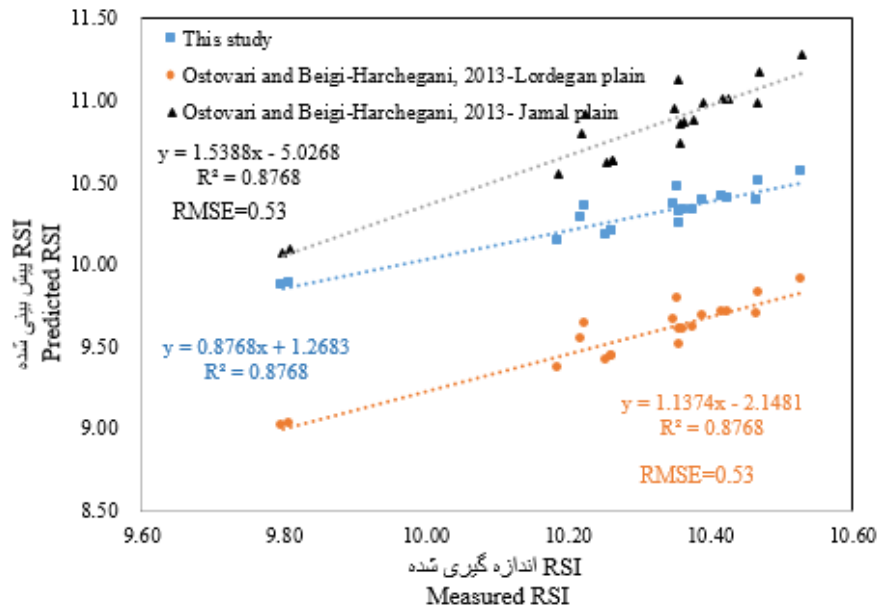


شکل ۷ - ارتباط شاخص LSI با RSI در منابع آب ساختگاه
 Figure 7- The correlation of RSI index with LSI in water resources of the site

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از شرکت مهندسی مشاور قدس نیرو به دلیل در اختیار قرار دادن اطلاعات جهت انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌نمایند.

رابطه شاخص LSI با RSI و رابطه هدایت الکتریکی با TDS در ساختگاه و مقایسه با روابط پیشین بر اساس پارامترهای آماری (مانند ضریب تعیین، RMSE، آماره دوربین-واتسون و آنالیز واریانس) نشان می‌دهد که همبستگی بالایی وجود دارد و هر رابطه برای یک ناحیه بخصوص کاربرد دارد.



شکل ۸- مقایسه رابطه شاخص RSI اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با تحقیقات پیشین
 Figure 8- The comparison of predicted and measured RSI with previous equations

منابع

- 1- Acikel S., and Ekmekci M. 2018. Assessment of groundwater quality using multivariate statistical techniques in the Azmak Spring Zone, Mugla, Turkey. *Environmental Earth Sciences* 77: 1–14.
- 2- Don C.M. 1995. A grows guide to water quality. University college station, Texas, pp. 601–9
- 3- Doneen L.D. 1962. The influence of crop and soil on percolating water. *Proceedings: in Biennial Conference on Groundwater recharge*, 156–163.
- 4- Ghafoori M., Rastegarnia A., and Lashkaripour G.R. 2018. Estimation of static parameters based on dynamical and physical properties in limestone rocks. *Journal of African Earth Sciences* 137: 22–31.
- 5- Hounslow A.W. 2018. *Water quality data: Analysis and interpretation*. CRC press. 1-398 pp.
- 6- Ihejirika C.E, Njoku J.D, Ujowundu C.O, Uchenna S., and Uzoka C.N. 2011. Synergism between Season , pH , conductivity and total dissolved solids (TDS) of Imo River quality for agricultural irrigation. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* 1: 26–31.
- 7- Karimi H., Raeisi E., and Rezaei A. 2018. Determination of karst aquifer characteristics using physicochemical parameters (A case study from west of Iran). *Geopersia* 8: 293-305.
- 8- Kelley W.P. 1951. Alkali soils; their formation, properties, and reclamation No. 04; RMD, S595 K4. 1951.
- 9- Lashkaripour G.R., Rastegarnia A., and Ghafoori M. 2018. Assessment of brittleness and empirical correlations between physical and mechanical parameters of the Asmari limestone in Khersan 2 dam site, in southwest of Iran. *Journal of African Earth Sciences* 138: 124–32.
- 10- Liska R., Margolin L., and Wendroff B. 1995. *Nonhydrostatic two-layer models of incompressible flow*, Vol. 29. McGraw-Hill Companies. 25-37 pp.
- 11- Ndlovu M.S., and Demlie M. 2018. Statistical analysis of groundwater level variability across KwaZulu-Natal Province, South Africa. *Environmental Earth Sciences* 77: 739.
- 12- Oinam J.D., Ramanathan A.L., and Singh G. 2012. Geochemical and statistical evaluation of groundwater in Imphal and Thoubal district of Manipur, India. *Journal of Asian Earth Sciences* 48: 136–49.
- 13- Prasanna M.V., Chidambaram S., Senthil Kumar G., Ramanathan A.L, and Nainwal HC. 2011. Hydrogeochemical assessment of groundwater in neyveli basin, Cuddalore district, South India. *Arabian Journal of Geosciences* 4: 319–30.
- 14- Prusty P., Farooq S.H, Zimik H.V., and Barik S.S. 2018. Assessment of the factors controlling groundwater quality in a coastal aquifer adjacent to the Bay of Bengal, India. *Environmental Earth Sciences* 77: 762.
- 15- Raeissi E., and Moore F. 1993. Hydrochemistry of karst springs from two carbonatic units in Zagrosides of Iran. *J Sci Islam Repub Iran* 4: 302–7.
- 16- Rafferty K. 1999. *Scaling in Geothermal Heat Pump Systems*. Geo-Heat Center Klamath Falls, OR. 63 pp.

- 17- Rastegar Nia A., Lashkaripour G.R., and Ghafoori M. 2017. Prediction of grout take using rock mass properties. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 76: 1643–54.
- 18- Rastegarnia A., Sharifi Teshnizi E., Hosseini S., Shamsi H., and Etemadifar M. 2018. Estimation of punch strength index and static properties of sedimentary rocks using neural networks in south west of Iran. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* 128: 464–78.
- 19- Rastegarnia A., Sohrabibidar A., Bagheri V., Razifard M., Zolfaghari A. 2017. Assessment of Relationship Between Grouted Values and Calculated Values in the Bazoft Dam Site. *Geotechnical and Geological Engineering*. 35:1299–1310.
- 20- Richards A.L. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agric. Handbook* 60. Agriculture handbook. 60:160.
- 21- Snyder R.G. 1961. Vibrational spectra of crystalline n-paraffins. II. Intermolecular effects. *Journal of Molecular Spectroscopy* 7: 116–44.
- 22- Srivastava S.K, and Ramanathan AL. 2008. Geochemical assessment of groundwater quality in vicinity of Bhalswa landfill, Delhi, India, using graphical and multivariate statistical methods. *Environmental Geology* 53: 1509–28.
- 23- Subramani T., Elango L., and Damodarasamy S.R. 2005. Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Chithar River Basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Geology* 47: 1099–1110.
- 24- Tziritis E.P. 2010. Assessment of NO₃-contamination in a karstic aquifer, with the use of geochemical data and spatial analysis. *Environmental Earth Sciences* 60: 1381–90.
- 25- WHO. 1994. Drinking water guidelines., Vol. 102. World Health Organization. 271 pp.
- 26- Xiao M., Bao F., Wang S., and Cui F. 2016. Water quality assessment of the Huaihe River segment of Bengbu (China) using multivariate statistical techniques. *Water Resources* 43: 166–76.
- 27- Kalantari N., Rahimi M.H., and Churchchi A. 2007. Using Combined Diagrams, Factor Analysis and Saturation Indexes in Groundwater Quality Evaluation of Zvirjary and Khuran Plains, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 2 (1), https://www.civilica.com/PaperJR_JEGJR_JEG21_004. (In Persian)
- 28- Spindar R., Beigi M., and Siarian Nejad M. 2008. Hydrogeological study of Seymare Dam site using Hydrogeochemical data; Second National Conference on Hydroelectric Power Plants, Tehran, Iran Water and Power Resources Development Co., https://www.civilica.com.PaperNCHP02NCHP02_112. (In Persian)
- 29- Ostovari Y., and Beigi Harchegani H. 2013. Comparison of scaling and corrosion potentials and their components in two aquifers of the Lordegan and Jamal plains (Case study in Charmahal va Bakhtiari province) *Iranian Journal of Water & Environment Engineering* 1: 15-26. (In Persian)

Investigation of Influence Factors on Water Resources Quality in Bazoft Dam Site

A. Rastegarnia¹ - M. Karami² - M. Ghafoori^{3*}

Received: 28-01-2019

Accepted: 29-04-2019

Introduction: Water resources quality assessment of the dam sites is one of the primary studies in the designing of these structures. The main challenges in Iran are the reduction of water resources and the limitation of groundwater exploitation. Much of these resources are formed in karst water resources in the karstic susceptible formations such as the Asmari carbonate formation in Zagros Mountain, Iran. In this study using laboratory and field studies, various parameters and indices were assessed to investigate the water resources quality of Bazoft dam site for different purposes. Bazoft dam is a double-curvature arch dam with a height of 211 meters which is located in Chaharmahal and Bakhtiari Province of Iran. The bedrock of the dam site consists of limestone and dolomite rocks of the Asmari and the Jahrom formations. The Jahrom formation formed the right abutment, the riverbed and the lower parts of the left abutment. The Asmari formation formed the rocks in the middle and upper part of the left abutment.

Materials and Methods: After field studies, chemical analyses have been performed on the collected water samples from the water resources such as springs, river and the exploratory boreholes in the dam site. PH and electrical conductivity (EC) were measured by pH meter and electrical conductivity apparatus was measured at 25 ° C. Concentration of ions such as calcium, magnesium, bicarbonate was measured by titration method. The concentration of ions such as sodium and potassium, sulfate and nitrate were measured using the Flame-Photometry, and Spectrophotometry methods, respectively. The test error in all cases was low and the results were confirmed. The indices such as Langelier saturation index and Ryznar stability index, sodium adsorption ratio (SAR), soluble sodium percentage, residual sodium carbonate, permeability index, Kelly ratio, were calculated based on related equations. Principal factor analysis (PCA) is used to determine the most influential variables when the number of variables is investigated and the relationship between them is unknown. In this method the variables are set on the elements so that the first factor is reduced to the next factor of the variance, hence the variables that are based on the first factors are the most influential. PCA reduces the dimensions of the initial data by turning the main components around the vertical and horizontal axes of coordinates. This rotation actually increases the variance between the main components and therefore it is called Variance Maximize Varimax or orthogonal rotation. The Varimax command is one of the most common methods of orthogonal rotation that preserves the independence between the extracted agents. This method reduces the number of the larger factor loadings to the lowest number. In this method, the scree plot chart determined the number of factors extracted. Parameters of R² and RMSE in order to investigate the performance of relations have been used. As R² is closer to the one and the RMSE is closer to the zero, the proposed relationship will yield better performance.

Results and Discussion: Anions such as HCO₃, Cl, SO₄, CO₃ and NO₃ and cations such as Ca, Na, Mg, and K are the most, respectively. From the viewpoint of hardness, all waters are placed in the hard category. According to the percentage of Na, the spring's water is excellent, the water of the borehole is good and the river is acceptable. The results of factor analysis showed that 87.13 percent of the water quality variations are controlled by four factors. The most important factors affecting the water quality of the dam site include EC, TDS, Na %, SAR, Cl, SO₄, alkalinity, Na, and CO₃ with 50.91 %. The second factor include calcium, magnesium, potassium ions with 15.82 %, the third factor include nitrate, bicarbonate, and hardness with 11.61 % and pH and carbonate with 7.17 % are fall into the fourth factor. The correlation matrix of the parameters was investigated and the accuracy of some relationships was examined on the basis of different statistical criteria. The relationships of LSI with RSI and EC with TDS in the dam site and their comparison with previously

1- Young Researchers and Elite Club, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

2 and 3- Ph.D Student of Engineering Geology and Professor Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: ghafoori@um.ac.ir)

suggested equations indicated that there is a high correlation and each relationship is applicable for a particular area. Also, the trend of points obtained from each equation has the appropriate consistency but the RMSE of the assessed equations is high. EC plot against TDS to determine the relationship between the two parameters in the Bazoft dam site is $TDS=0.70Ec-31.24$.

Conclusion: The concentration of all assessed cations and anions is lower than the WHO permissible limit. The water resources are corrosive and all indices indicated the appropriate quality of water resources for farming and drinking.

Keywords: Bazoft dam, Factor analysis, Hydrogeochemistry, Water resources pollution