

ارزیابی عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی جویین با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی

راحله هاتفی^(۱*)، علی اکبر شهسواری^۱، فرهاد اسدیان^۱ و کمال خدایی^۲

۱. مربی پژوهشی، گروه زمین‌شناسی محیطی، پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی
۲. استادیار پژوهشی، گروه زمین‌شناسی محیطی، پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۹

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۲۰

چکیده

آبخوان جویین در شمال شرق ایران واقع شده است. این آبخوان توسط رشته ارتفاعات متشکل از سنگ‌های اولترامافیک با پتانسیل اقتصادی بهره‌برداری از کرومیت تغذیه می‌گردد. هدف از این مطالعه، شناسایی عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان جویین با استفاده از روش آماری چند متغیره تحلیل مولفه‌های اصلی است. برای دستیابی به این هدف، از ۲۲ چاه در محدوده مطالعاتی در خرداد ماه ۱۳۸۸ نمونه برداری شده است. پارامترهای فیزیکی دما، pH، DO و EC در محل نمونه برداری اندازه‌گیری شده‌اند. یون‌های اصلی، فرعی و فلزات سنگین با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. سپس تکنیک‌های آماری چند متغیره مانند تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مولفه اصلی/تحلیل عاملی برای بررسی ترکیبات شیمیایی آب زیرزمینی و مشخص کردن فاکتور و میزان تاثیر هر کدام استفاده شد که چهار عامل اصلی تکامل هیدروشیمیایی، توده‌های کرومیتی و معدن‌کاری، فرسایش و شرایط اکسیدی آب شناسایی گردید.

واژه‌های کلیدی: کیفیت آب زیرزمینی - تحلیل عاملی - آبخوان جویین.

مقدمه

این روش برای تعیین تأثیرگذارترین متغیرها در زمانی که تعداد متغیرهای مورد بررسی زیاد و روابط بین آنها ناشناخته باشد، استفاده می‌شود. روش تحلیل خوشه‌ای شامل چندین الگوریتم طبقه‌بندی شده متفاوت می‌باشد که هدف این الگوریتم‌ها اتصال متغیرها در داخل خوشه‌های بزرگتر می‌باشد.

تحلیل عاملی یک روش آماری چند متغیره است که عمده‌ترین هدف استفاده از آن، کاهش حجم داده‌ها و تعیین مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در شکل‌گیری پدیده‌ها و همبستگی بین آنها در ارتباط با تعداد کوچکی فاکتور اساسی است بدون این‌که اطلاعات زیادی از دست برود (Jackson, 1991; Melgen, 1992). از آنجاکه در پژوهش‌های آب زیرزمینی، شرایط محیط تحت کنترل پژوهشگر نیست، غالباً تعداد متغیرها زیاد است. در نتیجه برای کاهش حجم متغیرها می‌توان از تحلیل عاملی به عنوان یک روش مناسب استفاده کرد. این روش در دهه‌های اخیر به ویژه با پیشرفت استفاده از برنامه‌های آماری در رایانه در سطح

فرآیندهای مختلفی توزیع عناصر کمیاب و ترکیب شیمیایی آنها را در آب زیرزمینی کنترل می‌کنند (Hem, 1970; Drever, 1982; Appelo and Pastma, 1993). این عوامل می‌توانند شامل عوامل طبیعی مانند لیتولوژی در برگیرنده سفره آب زیرزمینی، کیفیت آب تغذیه کننده، سرعت و جهت جریان آب زیرزمینی و بر هم کنش آب و سفره آب‌دار و عوامل انسانی باشند (Helena et al., 2000) که احتمال دارد به آلودگی آب زیرزمینی توسط مواد مختلف و مشکلات زیست محیطی و اجتماعی - اقتصادی جدی منجر شود (Kumar and Riazuddin, 2008). بنابراین توصیف هیدروشیمی سیستم‌ها نیاز به آگاهی و علم به ترکیبات یون‌های اصلی، فرعی و محتوای فلزات سنگین در آب زیرزمینی دارد. محققین از روش‌های متعددی برای این منظور استفاده کرده‌اند که از جمله آنها می‌توان به روش‌های گرافیکی نظیر پایپر، استیف و ویلکوکس، تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی اشاره کرد. از

* نویسنده مرتبط rahele.hatefi@gmail.com

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

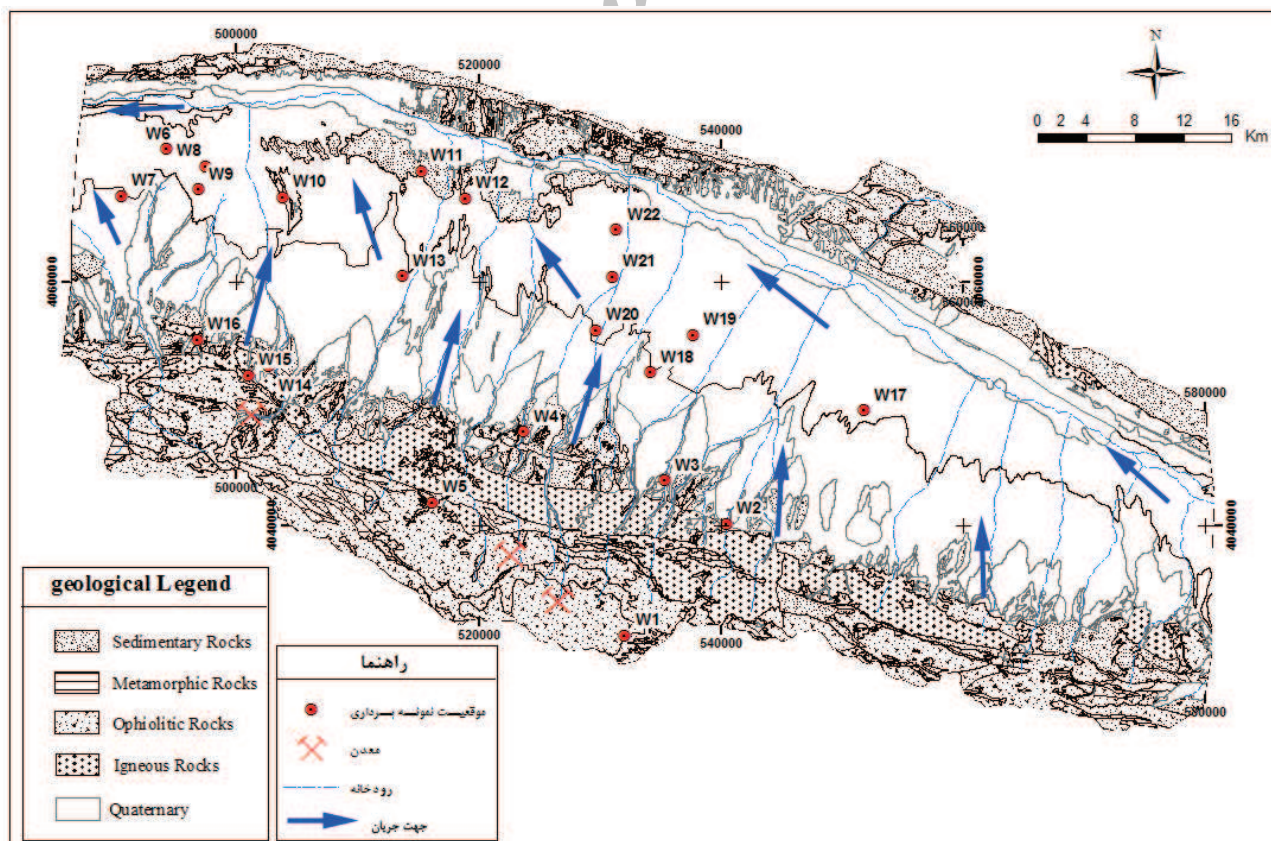
محدوده مطالعاتی با موقعیت تقریبی $56^{\circ} 50'$ تا $57^{\circ} 55'$ طول شرقی و $36^{\circ} 15'$ تا $36^{\circ} 45'$ عرض شمالی در شمال شرق ایران، در شمال شهرستان سبزوار، جنوب شهرستان اسفراین و غرب شهرستان نیشابور واقع شده است و بخشی از استان‌های خراسان رضوی و شمالی می‌باشد. با توجه به آمار ۲۵ ساله بارندگی، متوسط بارندگی سالانه محدوده مطالعاتی $245/86$ میلی‌متر می‌باشد که به دلیل پتانسیل خوب آبی، تراکم مناطق مسکونی در منطقه زیاد است و جمعیتی بالغ بر ۱۲۰۰۰۰ نفر در آن ساکن هستند. شکل ۱ محدوده مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

زمین شناسی و هیدروژئولوژی

محدوده مطالعاتی بخش مرکزی دشت جویین است که توسط دو رشته ارتفاعات شمالی و جنوبی محصور شده است و در آن تشکیلات زمین‌شناسی از پرکامبرین تا عهد حاضر رخمون دارند: (۱) ارتفاعات شمالی که غالباً منشأ رسوبی دارند و از مارن‌های نئوژن تشکیل شده‌اند. (۲) ارتفاعات جنوبی شامل سنگ‌های افیولیتی کرتاسه فوقانی همراه با رخمون‌هایی از سنگ‌های دگرگونی قدیمی است که توسط سنگ‌های رسوبی، رسوبی-

وسیع مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفته است. در مطالعات آب زیرزمینی متغیرهای مشاهده‌ای در واقع آنیون‌ها، کاتیون‌ها و سایر عناصر موجود در ترکیب آب زیرزمینی را شامل می‌شوند که معرف کیفیت آب هستند. محققین مختلفی از روش تحلیل عاملی جهت تشخیص تغییرات زمانی- مکانی و منشأهای آلودگی در آب رودخانه (Kowalkowski et al., 2006; Zhou et al., 2007b) ، آب زیرزمینی (Singh et al., 2005) و آب‌های ساحلی (Her- nandez- Romero et al., 2004; Zhou et al., 2007a) استفاده کرده‌اند.

هدف از این پژوهش، به‌کارگیری روش تحلیل مولفه‌های اصلی برای تعیین عوامل موثر بر کیفیت و آلودگی آب زیرزمینی با تمرکز بر حضور فلزات سنگین در آبخوان جویین می‌باشد. معمولاً فعالیت‌های معدنی به کیفیت محیط زیست صدمه می‌زنند (Marszalek and Wasik, 2000; Karbassi et al., 2007) وجود چندین معدن فعال کرومیت در منطقه می‌تواند بر تغییرات شیمیایی منابع آب تاثیرگذار باشد. تعیین عوامل موثر بر کیفیت و آلودگی آب زیرزمینی با توجه به گسترش فعالیت‌های معدنی، کشاورزی و صنعتی در این دشت و واقع شدن آن در منطقه خشک و کم بارش در مدیریت کیفیت آب زیرزمینی آن منطقه از اهمیت زیادی برخوردار است.



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه، نقشه زمین‌شناسی منطقه و محل نمونه‌برداری.

همچنین عمق آب از ۱۹۹ متر در شرق که ورودی دشت است تا حدود ۷ متر در محل خروجی دشت (غرب) در تغییر است. سطح تراز آب زیرزمینی بین ۱۲۵۱ در محل ورودی محدوده تا ۹۸۵ متر در محل خروجی در نوسان است. جهت جریان در بخش جنوبی دشت جنوبی - شمالی است ولی در مرکز جهت جریان از شرق به غرب می باشد و هم روند با رودخانه کال شور جویین می گردد (شکل ۱).

نمونه برداری و آنالیز شیمیایی

نمونه برداری در خرداد ماه ۱۳۸۸ انجام شده است. موقعیت نقاط نمونه برداری براساس قضاوت کارشناسی طوری انتخاب شده است که محدوده را به طور کامل پوشش دهد. در جهت انجام این پژوهش، بازدیدهای میدانی از مناطق انجام شده است و تعداد ۲۲ نمونه از چاه، قنات و چشمه از منطقه جویین برداشت شده است. موقعیت نقاط نمونه برداری در شکل ۱ نشان داده شده است. پارامترهای EC، DO، pH و T توسط دستگاه مولتی پارامتر قابل حمل در محل اندازه گیری شده اند. آنیون ها شامل کلراید، بیکربنات، کربنات و سولفات و TDS در آزمایشگاه شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی به روش اسپکترومتری و کاتیون های اصلی شامل Na+2، Ca+2، Mg+2، K+ و عناصر جزئی در آزمایشگاه ACME کانادا و به روش ICP-MS آنالیز شده اند. این نمونه ها در ابتدا با استفاده از فیلترهای با منافذ ۰/۴۵ میکرون فیلتر شده و سپس توسط اسید نیتریک مرک (pH=۲) اسیدی شده اند. برای جمع آوری نمونه ها، از بطری های پلی اتیلن ۲۵۰ CC استفاده شده است. بطری ها دو تا سه بار توسط آب چشمه، چاه یا قنات آبکشی (شسته) شده و سپس نمونه برداری انجام شده است. در هر محل دو بطری نمونه برداشت شده که یک نمونه جهت آنالیز کاتیون ها اسیدی شده است و نمونه دوم برای آنالیز آنیون ها برداشت شده که اسیدی نشده است.

نتایج حاصل از آنالیز داده ها با استفاده از روش های استاتیکی مانند تعیین فاکتورهای تطابق، آنالیز خوشه ای و عامل های اصلی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته اند. برای انجام عملیات تحلیل عاملی متغیرها نرمالایز شده و عوامل با استفاده از روش Con-troid استخراج و با استفاده از Varimax چرخش داده شده است. هر کدام از عوامل فرآیند شیمیایی مستقل هستند که براساس میزان بارگذاری و مقدار ویژه آن ها به یک فرآیند شیمیایی نسبت داده می شود. عدد حاصل برای هر نمونه مبین اهمیت آن عامل است (Klovan, 1975). برای تعیین اهمیت منطقه ای فرآیندهای مختلف که توسط عامل ها نمایش داده می شود، نقشه کنوری ترسیم شده است.

نتایج و بحث

پارامترهای هیدروشیمیایی اندازه گیری شده در ۲۲ نمونه آب زیرزمینی برداشت شده از محدوده مطالعاتی در جدول ۱ نشان

آتشفشانی و آتشفشانی ائوسن به طور دگرشیب پوشیده شده اند. بخش شمالی از شیست، فیلیت، سنگ های ریولیتی دگرسان شده، سنگ آهک تبلور مجدد یافته و گاهاً چرتی، شیل و ماسه سنگ با تداخل هایی از سنگ آهک آلیتی و دولومیت خاکستری تیره، ماسه سنگ نازک لایه قهوه ای تا خاکستری با میان لایه هایی از میکروکنگلومر، ماسه سنگ و مارن، تناوبی از توف، ماسه سنگ و کنگلومرا و در بخش هایی گدازه های آندزیتی، داسیت، آندزیت داسیتی تا کوارتز تراکی آندزیت، ژپس های مارن دار و لایه های کنگلومرا همراه با میان لایه های مارن تشکیل شده است.

بخش جنوبی غالباً از مجموعه افیولیتی تشکیل شده که یک سری سنگ های دگرگونی شامل آمفیبولیت و آمفیبولیت شیست گارنت دار با مرز گسله در داخل آن ها هستند که احتمالاً از افیولیت ها قدیمی تر بوده و تحت تأثیر یک دگرگونی ناحیه ای قرار گرفته اند. مجموعه اصلی و مهم در بخش جنوبی افیولیت ها هستند که عمدتاً از سنگ های اولترابازیک تشکیل شده و غالباً ترکیب هارزبورژیتی دارند ولی مقداری دونیت و لرزولیت نیز دیده می شود. گدازه های بازالتی زیردریایی که گاهی ساخت بالشی نشان می دهند، همراه با رادیولاریت و سنگ آهک پلاژیک بر روی اولترابازیک ها قرار می گیرند. دایک های دیابازی موجود در این بخش، سنگ های اولترابازیک را قطع کرده و به رودنگینت تبدیل شده و سبب سرپتینی شدن هارزبورژیت ها نیز شده اند. توالی ضخیمی از سنگ های رسوبی (کنگلومر، شیل و سنگ آهک گلوبوترونکانادار) و آتشفشانی (توف، گدازه های آندزیت بازالتی، آندزیت و داسیت) مجموعه افیولیتی را می پوشانند که در بعضی قسمت ها به علت عملکرد گسل های رورانده، سنگ های اولترابازیک بر روی رسوبات جوان تر (سنگ های آتشفشانی - رسوبی) رانده شده اند و مخلوط های رنگین^۱ را که شامل سنگ های اولترابازیک، رادیولاریت و آهک پلاژیک است، تشکیل داده اند که رسوبات حاصل از هوازگی این بخش در تشکیل آبخوان و تغذیه آن نقش اساسی ایفا می نمایند.

بررسی های اکتشافی نشان می دهد که آبخوان محدوده مطالعاتی جویین، حوضه فروافتاده ای با روند تقریبی شرقی - غربی است که ضخامت آبخوان به دلیل نیروهای تکتونیکی شدید حاکم بر منطقه و به تبع گسترده بودن دشت در مناطق مختلف آن متفاوت و از حدود ۳۰ متر تا حدود ۴۰۰ متر متغیر می باشد. آبخوان در جنوب به صورت آزاد است و در شمال محدوده به دلیل عملکرد گسل شرقی - غربی جویین به صورت محصور در می آید (خدایی و همکاران، ۱۳۸۴). رسوبات تشکیل دهنده آبخوان محدوده مطالعاتی حاصل فرسایش ارتفاعات مجاور و عمدتاً آبرفتی می باشند که از ارتفاعات جنوبی منشأ می گیرند و عمدتاً درشت دانه بوده و از پتانسیل خوبی برای تشکیل آبخوان برخوردار هستند. عمق آب زیرزمینی به تبع تغییرات توپوگرافی سطح زمین از جنوب به شمال کاهش می یابد و از ۷۰ متر به ۱۵۰ متر در مرکز دشت و حدود ۱۵ متر در شمال کاهش می یابد.

1. Colored melange
2. Correlation

در ۴۱٪ نمونه ها بالاتر از حد مجاز استاندارد است (WHO, 2004). حد مجاز WHO برای کروم ۵۰ ppb است. آرسنیک از کمتر از حد تشخیص دستگاه تا ۱۰/۵ ppb با میانگین ۴/۳ ppb، مس ۳/۱-۰/۳ ppb با میانگین ۱/۲ ppb، مولیبدن از ۳/۸-۰/۵ ppb با میانگین ۲/۶ ppb، اورانیوم از کمتر از حد تشخیص تا ۶/۰ ppb با میانگین ۰/۶ ppb، وانادیوم از ۵۴/۶-۰/۸ ppb با میانگین ۱۶/۱ ppb، روی از کمتر از حد تشخیص دستگاه تا ۱۲/۷ با میانگین ۰/۱۴ ppb و تنگستن از کمتر از حد تشخیص دستگاه تا ۰/۱۴ ppb با میانگین ۰/۰۵ ppb است.

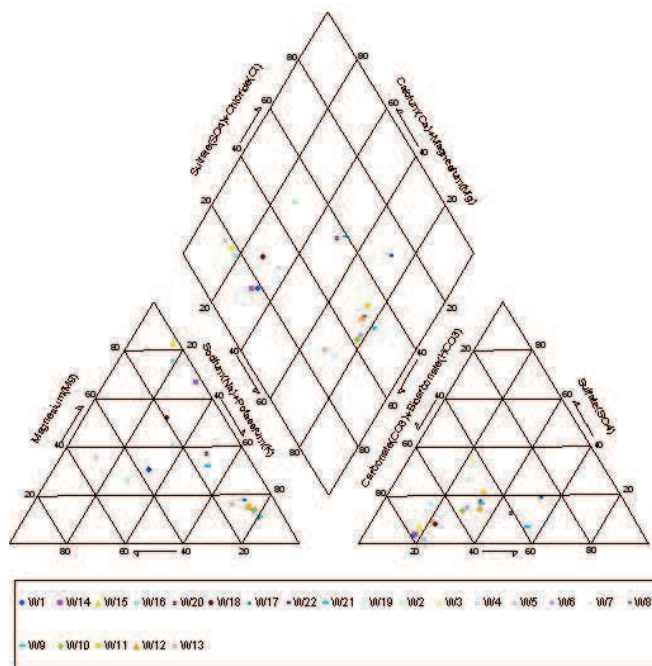
هیدروشیمی

خصوصیات شیمیایی آب های زیرزمینی در محدوده مطالعاتی براساس میزان آنیون ها و کاتیون های اصلی با دیاگرام های پایپر، شولر و ویلکوکس بررسی شده اند (اشکال ۲،۳ و ۴). با پلات نمونه ها بر روی دیاگرام پایپر مشخص شد که اغلب آن ها در نمودار آنیون ها نزدیک به راس بی کربنات و بر روی نمودار

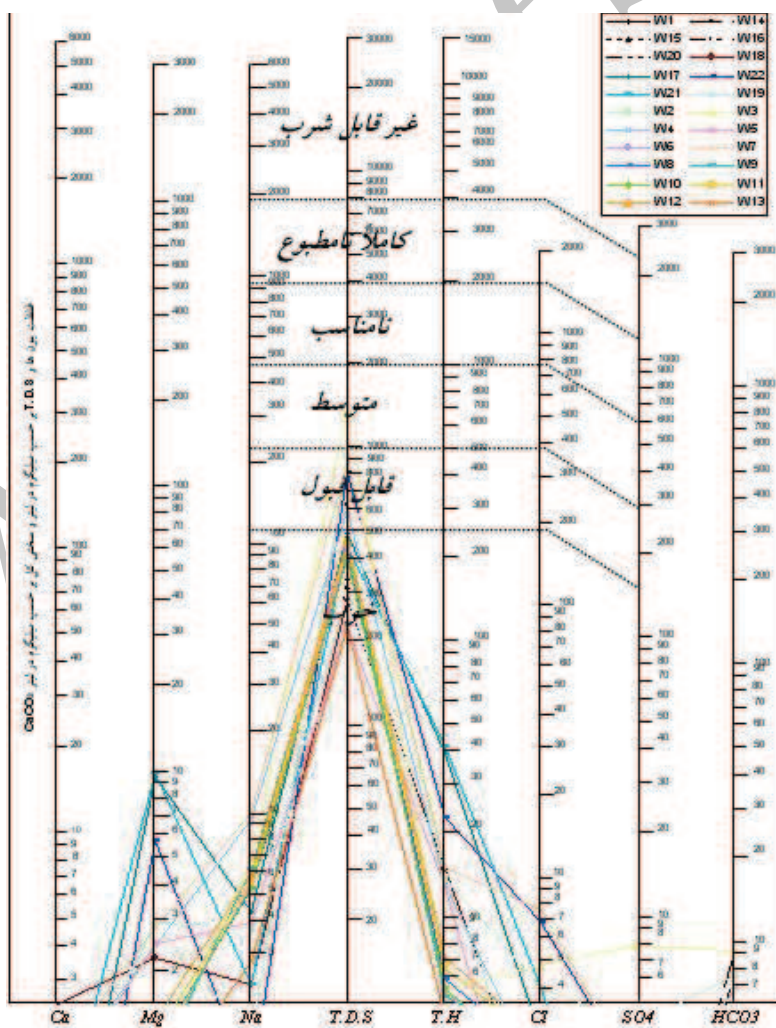
داده شده است. pH از ۷/۲۰ تا ۸/۷۷ با میانگین ۸/۱۴ و انحراف معیار ۰/۳۹ تغییر می کند. بنابراین pH آب زیرزمینی به طور ضعیفی قلیایی است. مقادیر هدایت الکتریکی (EC) از ۲۱۸۰-۳۵۴ μs/cm تغییر می کند. مقادیر کم EC در جنوب محدوده منطبق بر مناطق تغذیه آبخوان است و مقادیر زیاد EC در شمال و غرب محدوده است و به عبارت دیگر در جهت جریان افزایش می یابد. TDS از ۱۳۷۳-۲۲۳ mg/l تغییر می کند. Freez and Cherry (1979) آب زیرزمینی با مقادیر TDS کمتر از ۱۰۰۰ mg/l به عنوان آب شیرین و آب های دارای TDS بالاتر از ۱۰۰۰ mg/l را جزء آب های شور طبقه بندی کرده اند. بنابراین آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی عمدتاً در زمره آب های شیرین می باشد. کاتیون عمده در محدوده مطالعاتی Na^+ ، Ca^{+2} ، Mg^{+2} و K^+ است. آنیون عمده در آب های منطقه HCO_3^- است که با Cl^- و SO_4^{2-} دنبال می شود. فلزات سنگین Cd, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn در غالب نمونه ها کمتر از حد تشخیص دستگاه هستند. کروم از ۱۲۲/۹-۱۲/۰ ppb با میانگین ۴۴/۵ ppb تغییر می کند. این عنصر

جدول ۱. خلاصه آماری پارامترهای اندازه گیری شده در ۲۲ نمونه آب زیرزمینی (ppb)

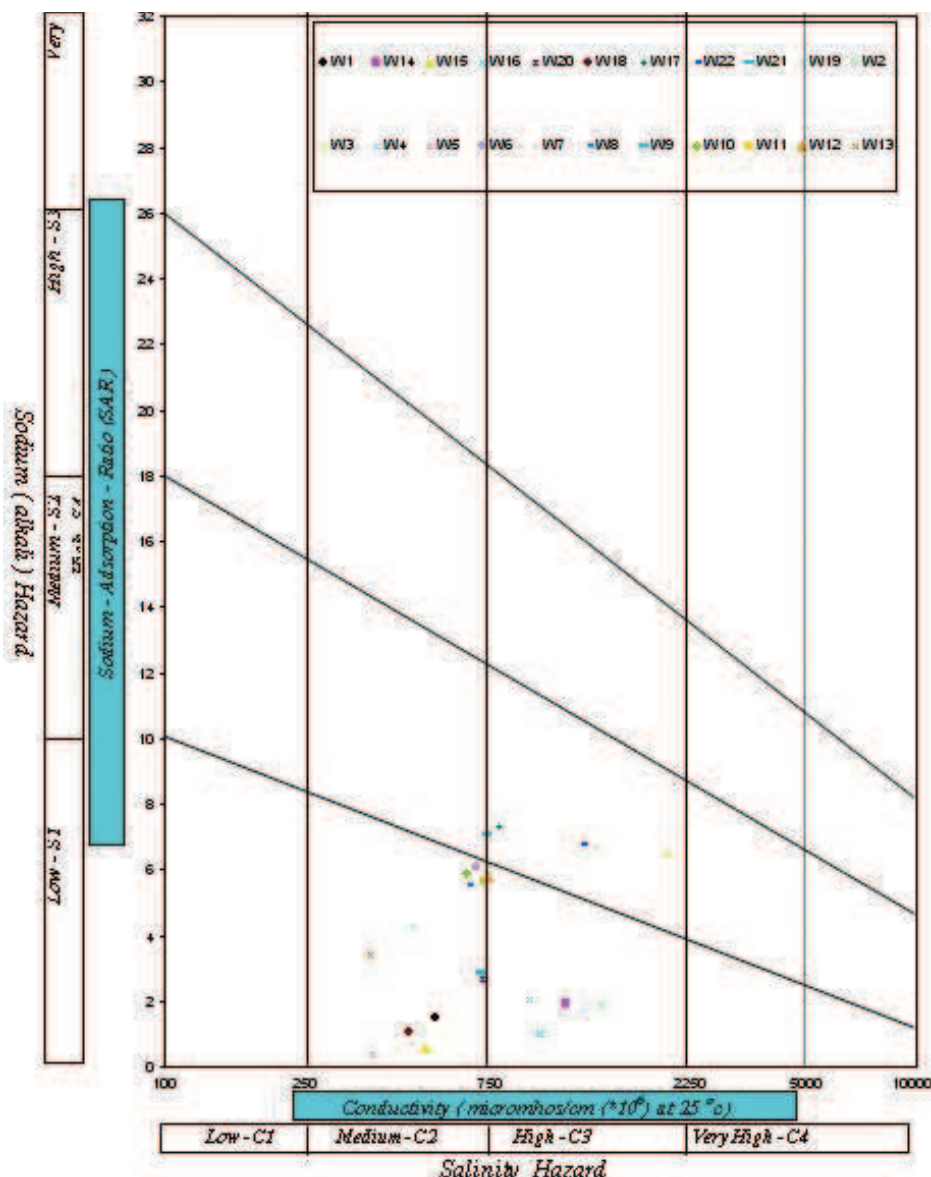
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
As	0.00	10.50	4.29	3.01
Al	1.00	14.00	4.05	3.39
B	30.00	1475.00	218.55	289.68
Ba	4.46	63.75	23.90	17.61
Ca	2607	144691	29169.36	32316.88
Cr	12.00	122.90	44.53	29.51
Cu	0.30	3.10	1.25	0.70
K	222	2074	812.91	559.14
Li	1.00	22.20	3.74	4.32
Mg	8180	114055	34512.59	30828.34
Mo	0.50	5.50	2.61	1.48
Na	11709	332671	111321.09	73192.40
S	6.00	189	36.50	37.31
Se	0.80	13.20	2.86	2.57
Si	1917	17662	10551.73	3419.59
U	0.00	6.01	0.60	1.40
V	0.90	54.60	16.09	15.70
W	0.00	0.14	0.06	0.04
Zn	0.00	12.70	1.20	2.76
Cl	0.50	7.40	2.58	1.78
SO4	0.20	7.80	1.42	1.71
HCO3	2.70	9.40	4.59	2.16
EC	354	2180	833.55	437.84
TDS	223.02	1373.40	525.13	275.84
PH	7.20	8.60	8.14	0.39
DO	6.74	11.70	8.58	1.38



شكل ٢. نمودار پایپر نمونه های آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی.



شكل ٣. نمودار شولر نمونه های آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی.



شکل ۴. نمودار دیاگرام ویلکوکس نمونه های آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی.

مطالعه آماری

در این مطالعه تحلیل مولفه اصلی بر مبنای مقادیر ویژه ماتریکس همبستگی صورت گرفته است. بررسی ماتریکس همبستگی می تواند ارتباط بین متغیرهایی را که می توانند با هم تغییر کنند را نشان دهند و شرکت پارامترهای شیمیایی منفرد را در رویدادهای مختلف تعیین کند (Helena et al., 2000). جدول ۲ ماتریکس همبستگی ۲۶ متغیر را نشان می دهد ولی تنها آنهایی که مقدار بالاتر از ۰/۵ دارند، مورد توجه قرار داده شدند.

بررسی ماتریکس همبستگی نشان می دهد که عناصر Cr، As، Cr، Mo؛ $r=0.522$ ، Cr،) Cu و Mo؛ $r=0.522$ ، Cr، V؛ $r=0.502$ ، V، AS؛ $r=0.857$ ، V، Mo؛ $r=0.736$ ، As، Mo، As، Cr؛ DO و pH همچنین $r=0.840$ ، Mo، Cu؛ $r=0.831$ Zn و V، W، Mo بالاترین همبستگی را با کروم دارا می باشند. این اطلاعات نشان

کاتیون ها نزدیک به راس سدیم و منیزیم قرار گرفته اند و دارای تیپ $Na, Mg-HCO_3^-$ می باشند. تعداد معدودی از نمونه ها در مثلث کاتیون ها در مرکز واقع شده اند که مبین آمیختگی آب ها یا تیپ های مختلف است.

برطبق دیاگرام شولر تنها در مناطق شمالی و غربی دشت که بر منطقه تخلیه منطبق می باشند، کیفیت آب از نظر شرب نامناسب است و در دیگر نقاط دشت آب کیفیت قابل قبولی از نظر شرب دارد. همچنین عمده نمونه ها دارای EC متوسط و SAR پایین بوده که می توانند برای آبیاری در انواع مختلف خاک استفاده شوند. سایر نمونه ها در محدوده های شوری متوسط تا بالا و قلیائیت متوسط قرار می گیرند (هاتفی و همکاران، ۱۳۹۰) و به طور کلی آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی در گروه آب های نسبتاً مناسب برای کشاورزی قرار می گیرد ولی باید تمهیدات لازم جهت بهره برداری در نظر گرفته شود.

جدول ۲. ضریب همبستگی پیرسون برای پارامترهای اندازه‌گیری شده در ۲۲ نمونه آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی.

	Al	As	B	Ba	Ca	Cr	Cu	K	Li	Mg	Mo	Na	S	Se	Si	U	V	W	Zn	Cl	SO ₄	HCO ₃	EC	TDS	PH	DO			
Al	1.000																												
As	.102	1.000																											
B	-.213	.538	1.000																										
Ba	-.267	-.025	.206	1.000																									
Ca	-.334	.089	.521	.411	1.000																								
Cr	.173	.407	-.137	-.033	-.396	1.000																							
Cu	.223	.657	.715	.075	.428	.225	1.000																						
K	.483	-.300	-.108	.355	.236	-.188	-.016	1.000																					
Li	-.052	.562	.974	.188	.502	-.107	.770	.010	1.000																				
Mg	.502	-.123	.163	.262	.153	-.225	.187	.796	.331	1.000																			
Mo	-.209	.848	-.528	-.060	.068	-.522	-.788	-.201	-.573	-.058	1.000																		
Na	-.072	.616	.781	.188	.256	.368	.831	-.189	.757	-.043	.765	1.000																	
S	-.199	.497	.963	.277	.567	-.023	.768	-.037	.956	.197	.555	.842	1.000																
Se	-.153	.550	.946	.186	.454	-.097	.751	-.112	.937	.161	.567	.790	.936	1.000															
Si	-.176	.610	.578	-.020	.428	-.135	.674	-.337	.587	.571	.497	.547	.664	1.000															
U	-.321	-.010	.452	.122	.372	-.267	.211	.118	.445	.199	.073	.209	.432	.507	.423	1.000													
V	-.032	.857	.433	-.046	-.026	.502	.434	-.404	.394	-.335	.736	.539	.378	.424	.331	-.015	1.000												
W	.130	.253	-.094	-.323	-.246	.403	.075	-.148	-.076	-.108	.178	.101	-.082	-.157	-.027	-.078	.347	1.000											
Zn	.125	.122	-.009	-.142	-.163	.104	.134	-.253	-.039	-.268	.104	.105	-.043	.089	.171	-.031	.077	-.219	1.000										
Cl	-.001	.138	.380	.322	.280	.345	.616	.099	.381	.080	.422	.756	.565	.412	.166	-.013	.076	.002	-.060	1.000									
SO ₄	-.199	.471	.921	.323	.690	-.027	.777	.031	.899	.139	.544	.819	.959	.854	.523	.438	.378	-.045	-.043	.575	1.000								
HCO ₃	.291	.261	.521	.330	.486	-.207	.537	.612	.653	.829	.272	.267	.520	.511	.353	.439	-.010	-.097	-.136	.134	.508	1.000							
EC	.070	.401	.786	.402	.598	.060	.843	.311	.840	.462	.556	.799	.879	.773	.458	.355	.207	.051	-.091	.727	.886	.714	1.000						
TDS	.070	.401	.786	.402	.598	.060	.843	.311	.840	.462	.556	.799	.879	.773	.458	.355	.207	-.051	-.091	.727	.886	.714	1.000	1.000					
PH	.184	.094	-.330	-.297	-.774	.488	-.262	-.288	-.359	-.415	.154	.062	-.312	-.269	-.277	-.345	.207	.304	.166	.016	-.368	-.604	-.392	-.392	1.000				
DO	-.108	.228	-.212	-.358	-.387	.588	-.063	-.482	-.249	-.517	.168	.086	-.184	-.232	-.060	-.224	.300	.532	.440	-.053	-.177	-.446	-.283	-.283	.482	1.000			

تحلیل عاملی

در این مطالعه به منظور دستیابی به اطلاعات دقیق تر از روش آماری PCA نیز برای تعیین منشأ عناصر مورد مطالعه استفاده شده است و جهت جلوگیری از بدست آمدن بازه های عددی متفاوت برای متغیرهای اصلی، تمامی متغیرها با واحد واریانس سنجدیده شده اند. جدول ۳ نتایج PCA چرخشی متغیرها را همراه با load-ings و مقادیر ویژه هر PCA نشان می‌دهد.

اولین فاکتور (PC1) با ۳۵/۹۹٪ واریانس کل، همبستگی بالایی با متغیرهای فیزیکیوشیمیایی اصلی شامل EC, SO₄, TDS, Cl و عناصر فرعی محلول شامل B, Ca, Cu, Li, Mo, Na, Se, Si است. اغلب این متغیرها عوامل شوری هستند که غلظت نمک کل محلول و تغییرات شیمیایی را نشان می‌دهند. نقشه میزان بارگذاری هر نمونه در شکل ۷ ارائه شده است.

در شکل ۷a، محدوده متاثر از عامل اول را نشان می‌دهد که میزان بارگذاری بین ۳/۹۷- و ۳/۴۳ تغییر می‌کند. بیشترین بارگذاری این عامل مربوط به بخش خروجی دشت (شمال و غرب محدوده) در جهت جریان و واحدهای زمین‌شناسی مارن و ژپسی است که در حدود ۳۰٪ از محدوده مقادیر مثبت نشان می‌دهد که نشان دهنده تکامل هیدرووشیمیایی و انحلال عوامل موثر در شوری آب است.

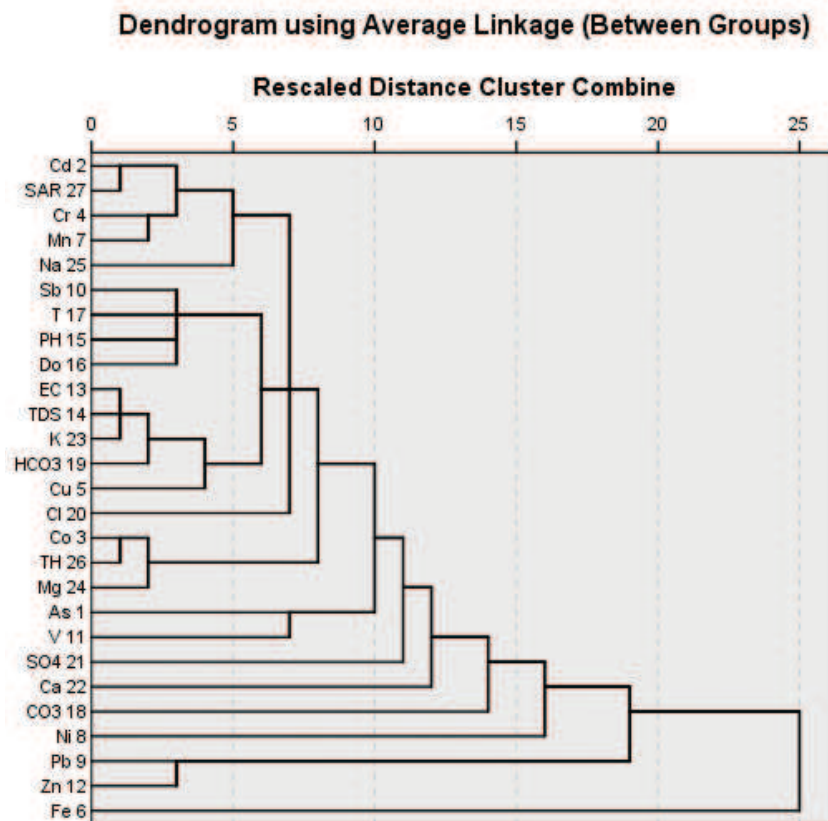
PC2، ۱۲/۸۰٪ واریانس کل را شامل می‌شود و توسط Cr قابل توضیح است که احتمالاً نشان‌دهنده تاثیر مجموعه افیولیتی و معدن کاری کرومیت در محدوده است که سبب رهاسازی کروم به محیط شده است. همچنین مقادیر pH و DO از سایر متغیرها

می‌دهند که عناصر مذکور در آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی، خصوصیات هیدرووشیمیایی مشابه دارند. تفسیر دیگری از این مشاهدات این است که عناصر Cr, Mo, As و V غلظت‌های بیشتری در آب‌های اکسیدی دارند و معمولاً بصورت اکسی آنیون‌های محلول در آب‌های اکسید حضور دارند (Farnham et al., 2003; Ball and Izbicki, 2008; Colleur, 1984; Chen et al., 2007) ولی در آب‌های احیا عناصر Mn, Co و Ba غلظت بیشتری را نشان می‌دهند (Chen et al., 2007).

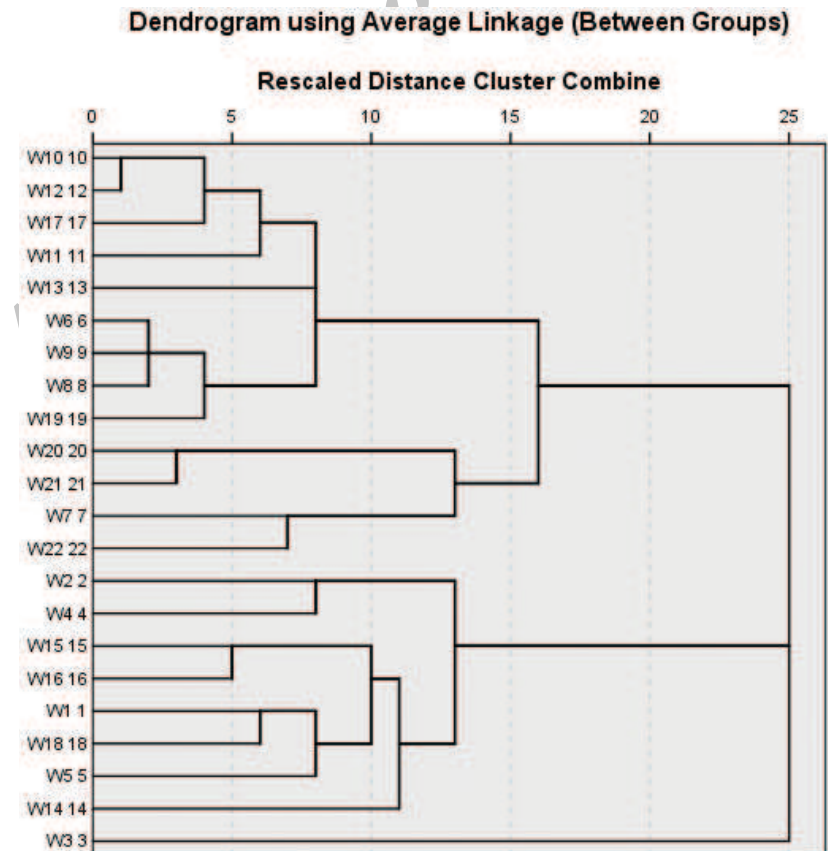
تحلیل خوشه‌ای

نتیجه تحلیل خوشه‌ای به صورت دو دندروگرام ارائه شده است (شکل ۵ و ۶). دندروگرام مربوط به پارامترهای فیزیکی و شیمیایی شامل سه خوشه با نام‌های A, B و C هستند. تطابق بین EC, TDS, Cu, Na, B, Li, S, SO₄, Cl, Si, Ca, As, V, Mo, U, Ba می‌تواند نشان دهنده شباهت در منشأ و فعالیت شیمیایی آنها باشد. تطابق دیگر بین K, Al و HCO₃⁻, Mg می‌تواند تعیین‌کننده رفتار مشابه این پارامترها باشد. تطابق بین DO, pH, W, Zn و Cr نشان دهنده رفتار مشابه این عناصر فرعی و طبیعت آلكالی و اکسیدان آب زیرزمینی محدوده است.

نتایج تحلیل خوشه‌ای Q-mode نمونه‌ها به شکل دندروگرام ارائه شده است (شکل ۶) که میزان شباهت بین نمونه‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۶، ۲۲ نمونه برداشت شده از محدوده مطالعاتی در ۳ گروه توسط تحلیل خوشه‌ای چند متغیره تقسیم می‌شود.



شکل ۵. نمودار دندروگرام ۲۶ متغیر از تحلیل خوشه‌ای در R-mode



شکل ۶. نمودار دندروگرام ۲۶ متغیره تحلیل خوشه‌ای Q-mode نمونه‌های برداشت شده از محدوده مطالعاتی.

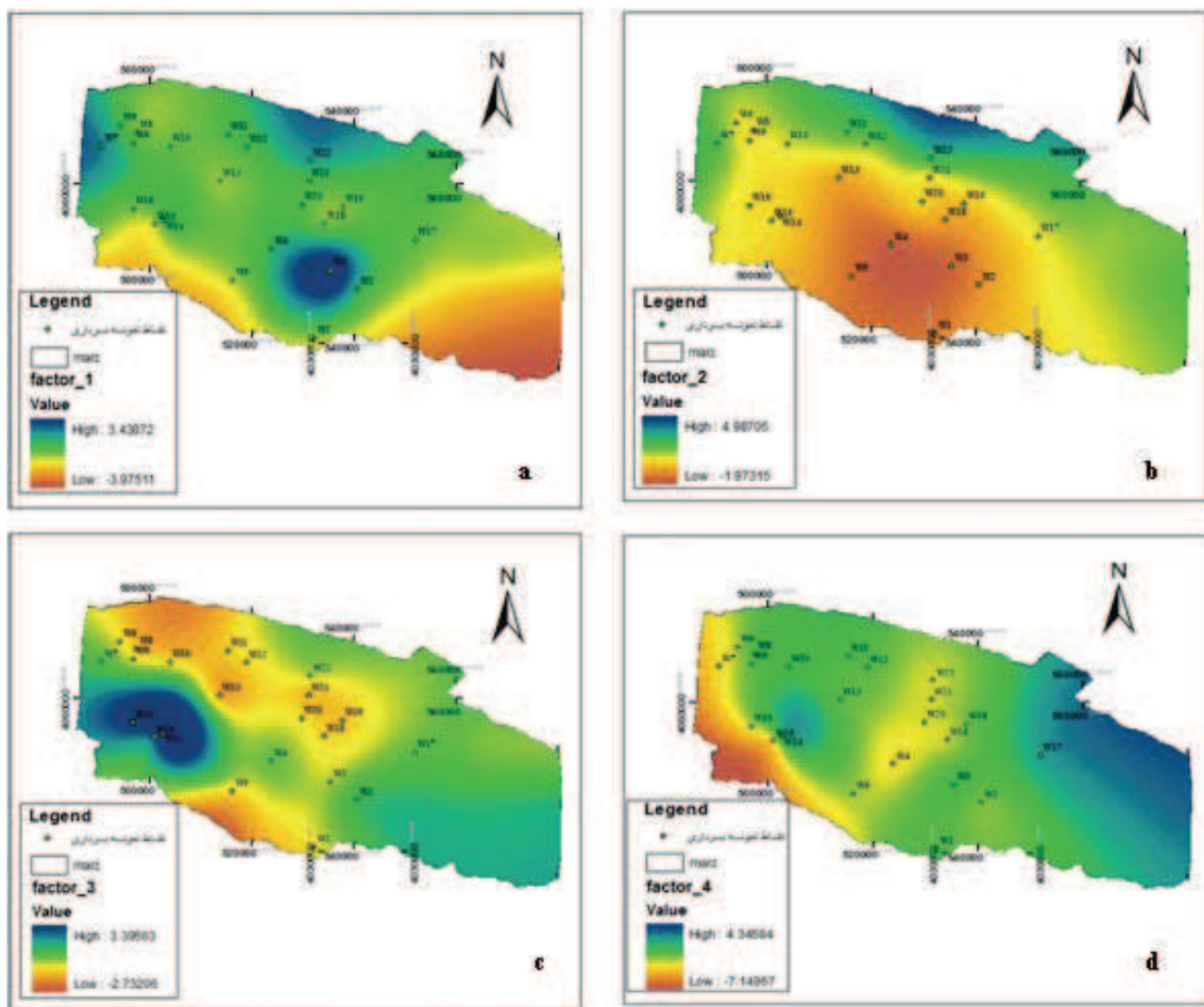
جدول ۳. بارگذاری عامل های ۲۶ متغیر براساس واریانس چرخشی در محدوده جوین. اشکال ایتالیک مقادیر مطلق بیشتر از ۰/۵ است.

	PC 1	PC 2	PC 3	PC4
Al	-.138	.303	.821	.161
As	.400	.120	-.028	.880
B	.848	-.315	-.055	.283
Ba	.257	.030	.057	-.093
Ca	.520	-.506	-.021	-.039
Cr	.105	.824	-.063	.299
Cu	.825	.055	.212	.377
K	.016	-.054	.815	-.315
Li	.846	-.305	.131	.308
Mg	.180	-.216	.885	-.160
Mo	.567	.290	.066	.679
Na	.903	.275	-.108	.255
S	.934	-.179	-.028	.179
Se	.846	-.293	-.028	.290
Si	.525	-.396	-.152	.456
U	.447	-.575	-.034	-.146
V	.271	.222	-.236	.826
W	.016	.322	-.019	.169
Zn	.044	.110	-.134	.027
Cl	.748	.485	.023	-.217
SO ₄	.925	-.171	-.037	.157
HCO ₃	.481	-.398	.697	.142
EC	.922	-.025	.313	.065
TDS	.922	-.025	.313	.065
PH	-.237	.672	-.208	.062
DO	-.067	.487	-.410	.093
eigenvalue	9.358	3.330	3.205	3.037
%variance	35.991	12.808	12.328	11.681
%cumulative	35.991	48.799	61.126	72.808

زیرزمینی محدوده مطالعاتی به کروم داشته باشد. از طرف دیگر آبخوان جوین در جنوب یک لایه و از نوع آزاد است در حالی که در شمال محصور و دو لایه است. آبخوان محصور مستقیماً از افیولیت‌ها تغذیه می‌گردد و مقدار کروم بیشتر از حد استاندارد را نشان می‌دهد.

PC3، ۱۲/۳۲۸٪ واریانس کل را شامل می‌شود و Al, K^+, Mg^{+2} HCO_3^- مقادیر زیاد مثبت، pH منفی و TDS مقدار مثبت متوسطی دارند. اگر pH نیز در این عامل مثبت بود، احتمال داشت که تجزیه مواد آلی سبب تولید گاز دی اکسید کربن شده و نفوذ آن به داخل آب، HCO_3^- را تشکیل داده باشد (Ganyaglo et al., 2011) ولی در محدوده مطالعاتی به نظر می‌رسد که فرسایش نقش اصلی را در این عامل دارد. بالا بودن Al مبین جانشینی آن در ساختمان پیروکسن‌ها به جای Si و رها شدن در نتیجه فرسایش است. مقدار بالای K^+ ناشی از فرسایش ماسه‌سنگ

بیشتر است که احتمالاً مربوط به اکسیدی بودن محیط است. در شکل b۷، مقادیر از ۱/۹۷- تا ۴/۲ تغییر می‌کنند. ۹۰٪ وسعت محدوده دارای مقادیر بارگذاری مثبت است که خطر متوسط تا بالایی را بر روی مجموعه داده های هیدروشیمیایی نشان می‌دهند. مقادیر زیاد بارگذاری عامل دوم در شمال و غرب محدوده مشاهده می‌شود (شکل b۳). مجموعه افیولیتی شمال و شمال شرق کشور که محتوی تعداد زیادی کانسارهای کرومیت لایه‌ای، عدسی و مدادی شکل با ابعاد متفاوت است و در حال حاضر از بسیاری از مناطق آن، کرومیت استخراج می‌شود و معادن فعال و متروکه بسیاری در این زون وجود دارد (از جمله این محدوده‌ها، مناطق معدنی کرومیت گت و فرومد سبزوار در غربی‌ترین بخش رشته افیولیتی سبزوار و در شمال غربی شهرستان سبزوار است)، در جنوب آبخوان جوین واقع شده است که تغذیه غالب دشت را عهده دار است و می‌تواند مهم‌ترین تاثیر را در آلودگی آب



شکل ۷. نقشه میزان بارگذاری عامل‌های استخراج شده.

محلول‌تر است. همان‌طور که در شکل ۵d، مشاهده می‌شود مقادیر بارگذاری در بازه $4/3 - 7/2$ تغییر می‌کنند. که حدود ۹۰٪ محدوده مقادیر بیش از ۷- را نشان می‌دهند که مبین درجه اهمیت شرایط اکسایش - کاهش در محدوده است. از طرف دیگر این عامل نیز در تمامی محدوده دارای مقادیر متوسطی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی جوین نشان داد که آب زیرزمینی آکالیینیتی با میانگین pH $8/14$ و اکسیدان با میانگین DO $8/57$ است. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی جوین نشان داده است که EC در جهت جریان افزایش می‌یابد و از $2180 - 354 \mu\text{s/cm}$ تغییر می‌کند. TDS در اغلب نمونه‌ها کمتر از 1000 mg/l است که مبین آب شیرین در محدوده است. کاتیون‌های عمده به ترتیب Na^+ و Mg^{+2} و آنیون عمده HCO_3^- است که تیپ Na, Mg-HCO_3^- را برای آب زیرزمینی محدوده تعیین می‌کند. به لحاظ شرب، کیفیت آب در مناطق شمالی و غربی نامناسب است ولی در دیگر بخش‌ها از

و کنگلومراها و HCO_3^- ناشی از فرسایش سنگ‌های آهکی محدوده مطالعاتی است. Mg^{+2} نیز عنصری است که به فراوانی در کانی‌های پیروکسن و اولیوین موجود در سنگ‌های اولترامافیک شرکت دارد و فرسایش مجموعه افیولیتی می‌تواند عامل غلظت بالای آن باشد. در شکل ۷c، میزان بارگذاری بین $2/05 - 3/4$ تغییر می‌کند و در حدود ۳۰٪ محدود مقادیر مثبت دارد که شامل بخش‌های جنوب شرق و جنوب غربی محدوده مطالعاتی است و منطبق بر مجموعه افیولیتی می‌باشد. تجزیه شیمیایی کانی‌های موجود در این لیتولوژی‌ها و رهاسازی یون‌ها در آب زیرزمینی دلیل رخداد این عامل است ولی مقادیر متوسطی از این عامل در سراسر دشت دیده می‌شود.

PC4، $11/681$ ٪ واریانس کل را تشکیل می‌دهد که As, Mo, V شرکت‌کننده‌های اصلی هستند که در محیط‌های آکالی اکسید محلول‌تر می‌باشند (Hem, 1989). همان‌طور که در مبحث ماتریکس همبستگی ذکر شد، این عناصر به‌طور تیبیک به‌صورت اکسی آنیون‌های محلول در آب‌های اکسیدی دیده می‌شوند درحالی‌که Ba با PC4 منفی عموماً در آب‌های تهی از اکسیژن

groundwater in a coastal area in Shenzhen, China. *Environmental Pollution*, 147, 771-780.

- Collier, R.W., 1984. Particulate and dissolved vanadium in the north Pacific ocean. *Nature*, 309, 441-444.

- Drever, J., 1982. *The Geochemistry of Natural Waters*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

- Farnham, I.M., Johannesson, K.H., Singh, A.K., Hodge, V.F. and Stetzenbach, K.J., 2003. Factor analytical approaches for evaluating groundwater trace element chemistry data. *Analytica Chimica Acta*, 490, 123e138.

- Freeze, R.A. and Cherry, J.A., 1979, "Groundwater", Pentice-Hall.

- Ganyaglo, S.Y., Osa, S., Dampare, B.D., Fianko, J.R., Bhuiyan, M.A.H., Gibrilla, A., Bam, E., Ahiale, E. and Osei, J., 2011. Preliminary groundwater quality assessment in the central region of Ghana. *Environmental Earth Science*, DOI 10.1007/s12665-011-1266-7

- Helena, B., Pardo, B., Vega, M., Barrado, E., Fernandez, J.M., and Fernandez, L., 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. *Water Research*, 34, 3, 807-816.

- Hem, J.D., 1970. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters. *Geological Survey Water-Supply*, paper 1473.

- Hem, J.D., 1989. *U.S. Geological Survey Water-Supply*, 263.

- Hern-Romero, A.H., Tovilla-Hern, C., Malo, E.A., 2004. Water quality and presence of pesticides in a tropical coastal wetland in southern Mexico[J]. *Marine Pollutant Bulletin*, 48, 11/12, 1130-1141.

- Izbicki, J.A., Ball, J.W., Thomas, D., Bullen, T.D., and Sutley, S.J., 2008. Chromium, chromium isotopes and selected trace elements, western Mojave Desert, USA. *Applied Geochemistry*, 23, 1325-1352.

- Jackson, J.E., 1991. *A User's Guide to Principal Components*. Wiley, New York.

- Karbassi, A.R., Nouri, J., and Ayaz, G.O., 2007. Flocculation of trace metals during mixing of Talar river water with Caspian Seawater. *International Journal of Environmental Research*, 1, 1, 66-73.

- Klován, J.E., 1975. R-mode and Q-mode factor analysis. In: McCammon RB (ed) *Concepts in geostatistics*. Springer, Berlin Heidelberg New York, 168.

- Kowalkowski, T., Zbytowski, R. and Szpejna,

کیفیت قابل قبولی برخوردار است. بررسی نمونه‌ها از نظر کیفیت کشاورزی نشان می‌دهد که اغلب نمونه‌ها دارای EC متوسط و SAR پایین می‌باشند و می‌توانند برای آبیاری انواع خاک استفاده شوند ولی باید تمهیدات لازم برای بهره‌برداری در آینده در نظر گرفته شود.

بر اساس نتایج تحلیل عاملی، ماتریکس همبستگی متغیرها حاکی از همبستگی مثبت با As, Cr, V, W, Mo, Zn با pH و DO است. غلظت بالای این عناصر معمولاً در آب‌های اکسید دیده می‌شود که می‌تواند نشان‌دهنده اکسید بودن آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی باشد. تحلیل خوشه‌ای متغیرها، سه خوشه اصلی را در محدوده تعیین می‌کند. خوشه اول شوری، خوشه دوم تأثیر فرسایش و خوشه سوم تأثیر معدن و خصوصیات آکالینیته و اکسیدی بودن محیط را نشان می‌دهند. در تحلیل مولفه‌های اصلی چهار عامل اصلی ۷۲/۸۰۸٪، واریانس کل را تشکیل می‌دهد. PC1 با ۳۵/۹۹٪ واریانس کل عوامل شوری است و تغییرات آب را در طی تکامل هیدروشیمیایی و جهت جریان نشان می‌دهد. PC2 تأثیر توده‌های کرومیت، معدنکاری و رهاسازی کروم به محیط را بیان می‌کند و متغیر مهم در آن Cr می‌باشد. PC3، ۱۲/۳۲۸٪ واریانس کل را شامل می‌شود که با Mg, K و HCO₃، Al و pH منفی و TDS متوسط مثبت مشخص می‌شود. این متغیرها می‌توانند بیانگر فرسایش سنگ‌های محدوده باشند. در PC4 که ۱۱/۶۷٪ واریانس کل را شامل می‌شود، As, Mo و V شرکت‌کننده‌های اصلی هستند. این متغیرها نسبت به شرایط اکسایش - کاهش حساس هستند و می‌توانند بیانگر اکسیدی بودن آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی باشند. با توجه به پارامترهای کیفی آب و نیز تحلیل عاملی، کروم متغیر مهمی در کیفیت آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی است. هر چند آب زیرزمینی در اغلب مناطق محدوده دارای کیفیت قابل قبولی است ولی باید تمهیدات لازم جهت جلوگیری از آلودگی آب در آینده و پاکسازی‌های مورد نیاز در مناطق آلوده شده صورت پذیرد.

منابع

- خدائی، ک.، شهبواری، ع.، اعتباری ب. و هاتفی، ر.، ۱۳۸۴. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت جوبین در مقابل آلودگی با استفاده از روش‌های GODS و DRASTIC. کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان.

- هاتفی، ر.، اسدیان، ف.، خدایی، ک. و شهبواری، ع.ا.، ۱۳۹۰. بررسی خصوصیات هیدروشیمیایی و کیفیت آب زیرزمینی محدوده جوبین سبزوار. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران.

- Appelo, C.A.J. and Postma, D., 1993. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. Balkema, Rotterdam.

- Chen, K., Jiao, J.J., Huang, J., and Huang, R., 2007. Multivariate statistical evaluation of trace elements in

J., 2006. Application of chemometrics in river water classification[J]. *Water Research.*, 40, 744–752.

- Kumar, R.A., and Riyazuddin, P., 2008. Application of chemometric techniques in the assessment of groundwater pollution in a sub-urban area of Chennai city, India. *Current Science.*, 94,8, 25.

- Marszalek, H., and Wasik, M., 2000. Influence of arsenic-bearing gold deposits on water quality in Zloty Stok mining area (SW Poland). *Environmental Geology*, 39, 8, 888–892.

- Meglen, R.R., 1992. Examining large databases: a chemometric approach using Principal Component Analysis. *Marine Chemistry*, 39, 217-237.

- Singh, K.P., Malik, A., and Mohan, D., 2004. Multi-

variate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variation in water quality of Gomti River (India) a case study. *Water Research.*, 38, 3980–3992.

- Website of World Health Organization, 2004, at www.who.int.

- Zhou, F., Huang, G.H., and Guo, H.C., 2007a. Spatiotemporal patterns and source apportionment of coastal water pollution in eastern Hong Kong. *Water Research.*

- Zhou, F., Liu, Y. and Guo, H.C., 2007b. Application of multivariate statistical methods to the water quality assessment of the watercourses in the northwestern New Territories, Hong Kong. *Environmental Monitoring Assessment.*

Archive of SID