فصلنامهٔ کواترنری ایران (علمی ـ پژوهشی)، دورهٔ ٦، شمارهٔ ١، بهار ١٣٩٩
ص ١١٥-١٣٠

بررسی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی مرتبط با رسوبات کواترنری دشت جوین با استفاده از روش‌های آماری و هیدروشیمیایی

غلامرضا فتح‌آبادی؛ دانشجوی دکتری زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشکدهٔ علوم، دانشگاه ارومیه، ایران

خلیل رضایی*؛ استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، ایران

ژاله پیرخراطی؛ دانشجوی کارشناسی ارشد شیمی کاربردی ، دانشکدهٔ علوم، دانشگاه ارومیه، ایران

فاطمه کاکویی؛ کارشناس ارشد مهندسی کشاورزی،گروه زمین شناسی پزشکی، مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی، ایران

تاریخ دریافت: ١٣٩٨/٠٩/٠١ تاریخ پذیرش: ١٣٩٩/٠٣/٢٦

چکیده

بررسی و پهنه‌بندی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی جهت تعیین کاربری‌های مختلف اهمیت بسزایی دارد. گاه، نوع و کیفیت رسوبات کواترنر تأثیر بسزایی در این پارامترها دارند. هدف از این تحقیق ارزیابی کیفی آب زیرزمینی در رسوبات کواترنری دشت جوین واقع در شمال شرق ایران و ارزیابی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف دشت و تعیین عوامل مؤثر بر آن است. در این مطالعه برای ارزیابی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی تلفیقی از روش‌های آماری مانند تجزیهٔ خوشه‌ای و ضرایب همبستگی و روش‌های هیدروشیمیایی مانند نسبت‌های یونی و نمودارهای ترکیبی به کار گرفته شد. بر اساس نتایج تجزیهٔ خوشه‌ای می‌توان آبخوان را به چهار زون تقسیم کرد که هر زون ترکیب شیمیایی متفاوتی دارد. بر اساس تطبیق لایه‌های اطلاعاتی (گروه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی با رخنمون‌های کواترنری منطقه)، به لحاظ زمین‌شناسی، چاه‌هایی که از لحاظ کیفیت آب زون ١ را تشکیل می‌دهند در پهنهٔ ساختاری آبرفت‌های درشت‌دانهٔ کوهپایه‌ای، چاه‌هایی که زون ٢ را تشکیل می‌دهند در ساختارهای بادبزنی آبرفتی جوان، و چاه‌هایی که زون ٣ و٤ را تشکیل می‌دهند در نهشته‌های پهنهٔ سیلابی واقع شده‌اند. تیپ غالب آب در جهت حرکت آب زیرزمینی از ارتفاعات جنوبی دشت به سمت شمال دشت تا رودخانهٔ کال‌شور (از زون ١ به سمت زون ٤) از بی کربناته سدیک به سولفاته سدیک و در نهایت به کلرور سدیک تغییر می‌کند. این روند بر اساس تطبیق نمودار کاتیون سدیم با آنیون‌های سولفات و کلرید به دست آمد. لیتولوژی حاشیهٔ دشت و رسوبات حاصل از هوازدگی آن‌ها در دشت این پهنه‌بندی را تأیید می‌کند. در بررسی نسبت‌های یونی، منشأ سدیم از هوازدگی پلاژیوکلاژها- آلبیت و تبادل یونی، منشأ منیزیم از گرانیت‌های بالادست، و منشأ کلسیم تبادل یونی با رسوبات کواترنری آبخوان است.

کلیدواژگان: تطبیق لایهٔ تجزیهٔ خوشه‌ای، جوین، کیفیت آب زیرزمینی، کواترنری، نسبت‌های یونی.

مقدمه

یکی از مطالعاتی که بر رسوبات کواترنر انجام می‌شود تأثیر متقابل این نهشته‌ها بر آب و سیالات درون آن‌هاست. آب زیرزمینی حاصل نفوذ ریزش‌های جوّی در شکاف و درز سنگ‌ها در نواحی کوهستانی و خلل‌وفرج زمین در دشت‌های آبرفتی کواترنر است. آب زیرزمینی بخشی از چرخهٔ آب در طبیعت است که از طریق چاه‌ها، قنات‌ها، زهکش‌ها، یا

* رایانامهٔ نویسندهٔ مسئول: Khalil.rezaei@Khu.ac.ir

چشمه‌های طبیعی قابل جمع‌آوری است. آب زیرزمینی عمده‌ترین تأمین‌کنندهٔ نیازهای کشاورزی و شرب است و به دلیل پتانسیل آلودگی کمتر و همچنین ظرفیت ذخیرهٔ زیاد نسبت به آب‌های سطحی منبعی مهم در منابع آب به شمار می‌رود (چیت‌سازان و اختری ۱۳۸۵). جریان آب به سوی شیب هیدرولیکی سفره‌های آب زیرزمینی است. ترکیب شیمیایی یون‌های محلول در آب متأثر از واکنش‌های مختلف است که در تقابل بین آب و سنگ‌ها یا رسوبات آبرفتی اتفاق می‌افتد. تعیین و شناسایی منابع ژئوشیمیایی طبیعی یا مصنوعی و مقایسهٔ آن‌ها با داده‌های استاندارد جهانی و مقدار طبیعی عناصر و ترکیبات به مطالعات ژئوشیمیایی زیست‌محیطی فعالیت‌های بشری نیاز دارد (بهاروند و همکاران ۱۳۸۶). از سوی دیگر، امکان استفاده از آب در مناطق کشاورزی به میزان بهره‌برداری از زمین، نوع کودها، فاصله از رودخانه و سطح ایستابی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، رسوبات کواترنر، و شرایط آب‌وهوایی منطقه بستگی دارد (روگوسکی[1] ۱۹۹۰). شوری منابع آب و خاک از پدیده‌های آشکار پایین بودن کیفیت آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. دورنمای بهره‌برداری از این منابع به‌ویژه منابع آب زیرزمینی در خاورمیانه و در بسیاری دیگر از مناطق خشک در جهان تا حد زیادی به درجهٔ شوری و مقدار آب بستگی دارد (مت[2] و همکاران ۲۰۰۰؛ گای[3] ۲۰۰۱؛ ونگوش[4] ۲۰۰۵). عوامل متعددی می‌توانند بر شوری آب زیر زمین اثر بگذارند؛ از جمله عدم تغذیهٔ مناسب، واکنش‌های بین آب و سنگ، مانند انحلال سنگ‌های تبخیری، پدیدهٔ تبادل یونی، نظیر وضعیت منطقهٔ جوین، اختلاط آب‌ها، مانند نفوذ آب شور دریا به آبخوان‌های ساحلی، و آب‌های برگشتی کشاورزی (ونگوش ۲۰۰۵؛ ریچتر[5] و کریتلر ۱۹۹۳). هیدروژئوشیمی ابزاری مفید برای شناسایی این فرایندهاست که خصوصیات شیمیایی آب‌های زیرزمینی را تعیین می‌کند (اسمیل[6] ۱۹۹۹؛ فنگ[7] و همکاران ۱۹۸۷؛ فنگ ۱۹۹۹). بنابراین با مطالعهٔ ترکیب شیمیایی منابع آب و با استفاده از روش‌های مختلف می‌توان به دلایل تغییرات کیفی آب و در نتیجه شناخت منشأ املاح موجود در آن‌ها پی برد. در یک مطالعه، که روی کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقهٔ جنوب شرق فاروج (خراسان شمالی) انجام شد، منشأ یون سدیم انحلال کانی‌های تبخیری و همچنین آلبیت موجود در آندزیت‌های منطقه و پلاژیوکلازهای موجود در آن‌ها و تبادل یونی تشخیص داده شد (خسروانی شیری و همکاران ۱۳۹۶). به‌کارگیری یک روش طبقه‌بندی مناسب، از نظر شیمیایی، برای تقسیم‌بندی نمونه‌های آب به گروه‌های مختلف مشابه ابزاری کارآمد به منظور توصیف محیط‌های هیدرولوژیکی است (کلانتری و علیجانی ۱۳۸۷؛ کلانتری و همکاران ۱۳۸۶؛ محمدی‌بهزاد ۱۳۸۹). هدف از این تحقیق بررسی تأثیر نهشته‌های کواترنر بر آب زیرزمینی و ارزیابی کیفی آب زیرزمینی رسوبات کواترنری دشت جوین، واقع در شمال شرق ایران، است که بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف و تعیین عوامل مؤثر بر آن را دربرمی‌گیرد.

در این مطالعه از روش‌های آماری استفاده شد. زیرا در عمل اغلب روش‌های گرافیکی مورد استفاده محدودیت تعداد نمونه و پارامتر دارند. از طرفی هیچ‌یک از روش‌های گرافیکی قدرت تمایز بین گروه‌ها و آزمایش میزان شباهت بین

1. Rogowski
2. Mehta
3. Gaye
4. Vengosh
5. Richter
6. Smil
7. Feng

گروه‌ها را ندارند. برخلاف روش‌های گرافیکی، روش‌های آماری قابلیت استفاده از همهٔ پارامترها را دارند. استفاده از روش‌های گرافیکی در مقایسه با روش‌های چندمتغیره با مجموعه اطلاعات زیاد محدود است و در این حالت کارآمدترین روش گروه‌بندی برای درک و تفسیر شیمی نمونهٔ آب روش خوشه‌بندی آماری است (کولر و همکاران ۲۰۰۲). در برخی مطالعات استفاده از روش‌های تحلیل عاملی چندمتغیره، همچون ضریب همبستگی، آمار توصیفی، تحلیل عاملی، و تجزیه‌وتحلیل خوشه‌ای توجه شده است (ادت و همکاران ۲۰۱۲). ضریب همبستگی ابزاری مفید در تعیین درجهٔ وابستگی یا ارتباط خطی بین پارامترهاست (بو و همکاران ۲۰۱۰). تحلیل خوشه‌ای شامل تعدادی روش و الگوریتم مختلف است که به منظور گروه‌بندی داده‌های آماری مشابه و قرارگیری آن‌ها در گروه‌های مناسب به کار می‌رود؛ که داده‌های متعلق به یک گروه بیشترین درجهٔ شباهت را دارند. تکنیک‌های خوشه‌بندی مختلفی وجود دارد و تحلیل خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی یکی از روش‌های پرکاربرد در علوم زمین است (تیلی‌زلی و همکاران ۲۰۱۲).

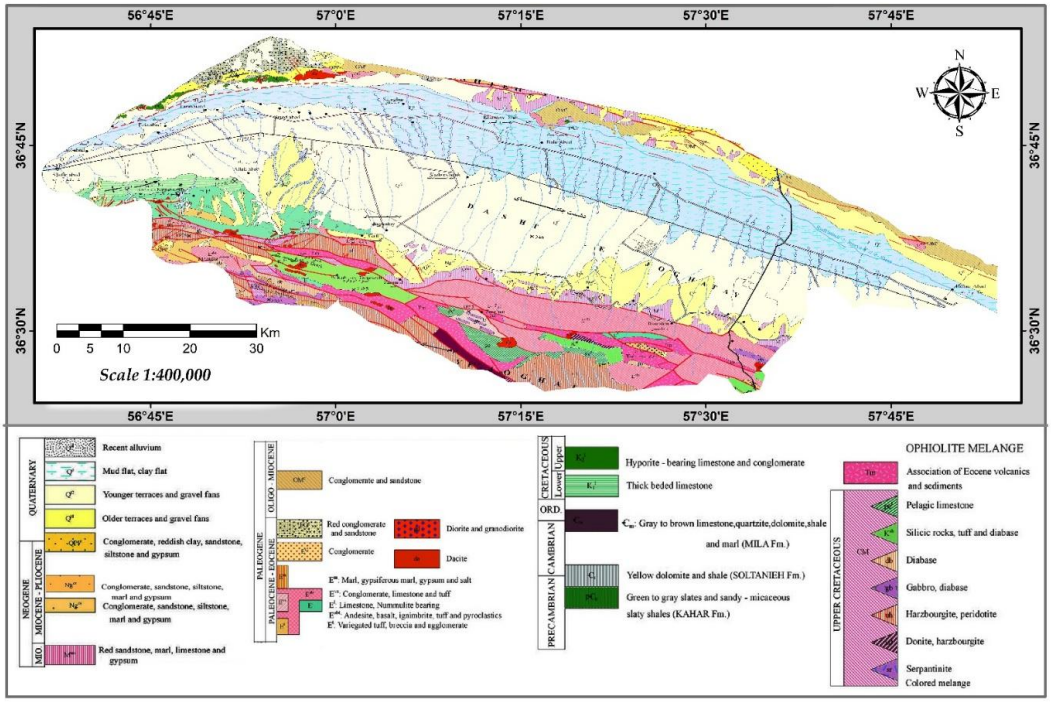
مواد و روش تحقیق

منطقهٔ مورد مطالعه

حوزهٔ آبریز دشت جوین بین مدارهای '۱۷ ۳۶ تا '۵۵ ۳۶ شمالی و نصف‌النهارهای '۲۰ ۵۶ تا '۳۶ ۵۸ شرقی قرار دارد. رودخانهٔ کال‌شور جوین، با طول بیش از ۲۰۰ کیلومتر، از شرق به غرب جریان دارد و کل حوزه را زهکشی می‌کند. اقلیم این حوزه نیمه‌استپی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک و متوسط بارش آن ۳۰۰ میلی‌متر است. این حوزه با ارتفاعات جغتای از حوزهٔ آبریز سبزوار و داورزن جدا می‌شود. وسعت کل حوزه ۶۱۲۰ کیلومتر مربع است که بلندترین نقطهٔ آن، با بلندای ۲۸۵۸ متر، در کوه نظرگاه قرار دارد. به دلیل مرتفع بودن این حوزه نسبت به حوزه‌های مجاور و طبیعتاً بیشتر بودن نزولات جوّی، جریان‌های سطحی بیشتری در این حوزه وجود دارد که در نهایت همهٔ آن‌ها به مهم‌ترین رودخانهٔ این دشت، یعنی کال‌شور جوین، سرازیر می‌شوند (رهنما و همکاران ۱۳۹۱).

منطقهٔ جوین دربرگیرندهٔ بخشی از پهنهٔ ساختاری البرز (در شمال) و کمربند افیولیتی سبزوار (در جنوب) است. مرز جداکنندهٔ این نواحی دشت‌های پوشیده از آبرفت‌های کواترنری است. رسوبات تشکیل‌دهندهٔ آبخوان دشت جوین حاصل فرسایش ارتفاعات مجاور است. این رسوبات روند مشخصی را از نظر اندازهٔ ذرات و جنس نشان می‌دهند. رسوباتی که از ارتفاعات جنوبی منطقه نشئت می‌گیرند، به دلیل گسترش سنگ‌های آذرآواری و آهکی و آمیزهٔ رنگین در این ارتفاعات، عمدتاً درشت‌دانه‌اند و به سمت شمال دشت از اندازهٔ دانه‌ها کاسته می‌شود؛ طوری که در حوالی رودخانهٔ شور جوین رسوبات تشکیل‌دهندهٔ آبخوان بر اساس مقاطع حفاری چاه‌ها عمدتاً رس و سیلت است. بنابراین، بیشترین تغذیهٔ آبخوان در سمت جنوب دشت است و هر چه به سمت شمال دشت برویم از میزان تغذیهٔ آبخوان کاسته می‌شود (هاتفی و همکاران ۱۳۹۲). رسوبات کواترنری، که در دامنه‌های شمالی کمربند افیولیتی سبزوار واقع شده‌اند، محیطی مناسب برای شکل‌گیری آبخوان آب‌های زیرزمینی است. در این دشت سه پهنهٔ بزرگ از سمت جنوب به سمت شمال دیده می‌شود؛ بدین شرح: الف) آبرفت‌های درشت‌دانهٔ کوهپایه‌ای. جنس این نهشته‌ها بیشتر شنی است، اما، دربردارندهٔ لایه‌ها و عدسی‌های درشت‌دانه و ریزدانه نیز هست. ویژگی‌های فیزیکی این واحد، مانند تخلخل و نداشتن سیمان و کج‌شدگی و

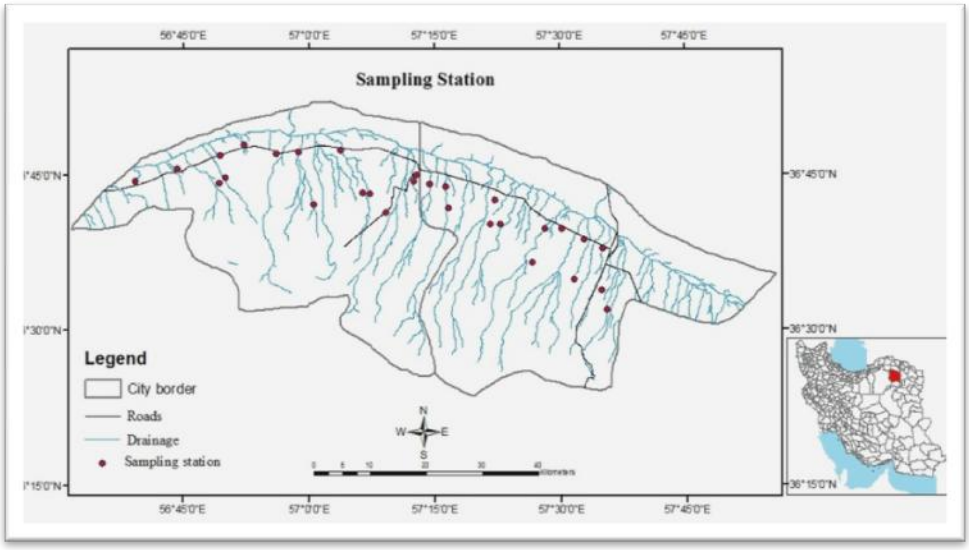
میزان هوازدگی آن، مشابه واحدهای آبرفتی بسیار درشت‌دانه است؛ ب) ساختارهای بادبزنی آبرفتی جوان. این واحد بیشتر از مصالح ریزدانه، همچون ماسه و سیلت، همراه افق‌هایی از شن به وجود آمده‌اند و پنجهٔ آن‌ها به دلیل وجود خاک حاصلخیز و منابع آب کافی محل تمرکز کشاورزی است. ساختارهای بادبزنی یادشده از نگاه ریخت‌شناسی، به دلیل جوانی، هنوز مرفولوژی خود را از دست نداده‌اند. ازاین‌رو، با توجه به نبود فرسایش و شیارهای فرسایشی، سن آبرفت‌های جوان را هولوسن تشخیص داده‌اند؛ ج) نهشته‌های پهنهٔ سیلابی. در بخش شمالی منطقهٔ مورد بررسی دو پهنهٔ سرتاسری به موازات بلندی‌های کوه جوین شکل گرفته است. این دو پهنه، که در حقیقت پست‌ترین زمین‌های دشت را به خود اختصاص داده است، از نهشته‌های ریزدانه، همچون سیلت و رس، پدید آمده‌اند. پیدایش این پهنه‌های ریزدانه می‌تواند وابسته به آخرین دورهٔ یخچالی، یعنی وورم، باشد که ریزدانه بودن و نفوذناپذیری بالا و نیز وقوع بارش‌های جوّی فراوان باعث خروج آب رودخانه از کانال همیشگی خود می‌شود (رحمتی ایلخچی ۱۳۶۰).



نقشهٔ ۱. نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ جوین، برگرفته از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ سبزوار و جاجرم

نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی

برای بررسی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت جوین، بیست و نُه نمونه آب از چاه‌هایی عمدتاً با کاربری کشاورزی واقع در دشت در تاریخ ۱۵ مهرماه ۱۳۹۷ جمع‌آوری شد. موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری‌شده در نقشهٔ ۲ آمده است. سپس، نمونه‌ها برای اندازه‌گیری کاتیون‌ها (Na^{+}, Mg^{2+}, Ca^{2+}) و آنیون‌های ($So4^{2-}$, HCO^{3-}, Cl^{-}) اصلی و سایر پارامترهای شیمیایی، شامل هدایت الکتریکی EC و مجموع جامدات محلول TDS و سختی کل TH و pH، آنالیز شد.



نقشهٔ ۲. محدوده و موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری

روش پژوهش و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

در بخش اول این تحقیق با هدف بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف و تعیین عوامل مؤثر بر آن سعی شد از روش‌های آماری چندمتغیره، مانند تجزیهٔ خوشه‌ای و ضریب همبستگی و نسبت‌های یونی، که می‌توانند ابزاری قدرتمند برای تحلیل داده‌های هیدروشیمیایی باشند، استفاده شود. این روش‌ها می‌توانند برای بررسی داده‌های کیفیت آب استفاده شوند. همچنین می‌توانند نمونه‌ها را به گروه‌های متمایز، که از لحاظ زمین‌شناسی و آماری معنادار باشند، تقسیم کنند. خوشه (گروه) را می‌توان با مفهوم پیوستگی درونی و انزوای بیرونی تعریف کرد (Guler et al 2002). به این مفهوم که نمونه‌های موجود در یک گروه خیلی شبیه به یک‌دیگر هستند و در مقابل نمونه‌های خوشه‌های متفاوت به طور کامل از هم مجزا هستند. یکی از راه‌های تعیین میزان ارتباط و همبستگی بین دو متغیر استفاده از ضریب همبستگی (R^2) است. نسبت‌های یونی معرف‌های مناسبی برای بررسی شیمی منابع آب زیرزمینی هستند و استفاده از آن‌ها می‌تواند روش مناسبی برای تعیین منشأ املاح باشد. در پیدایش ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی این نسبت‌ها متأثر از ترکیب شیمیایی کانی‌های محلول در آب است و مقدار کانی انحلال‌یافته در درجهٔ بعدی اهمیت قرار دارد (جعفرآبادی و همکاران ۱۳۹۲). در بخش دوم، بر اساس ترکیب شیمیایی و آنالیز سنگ‌های ارتفاعات مجاور و نیز خاک‌ها و رسوبات دشت، ارتباط بین این رسوبات و سنگ‌های منشأ آن‌ها با کیفیت آب‌ها بررسی شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های آماری

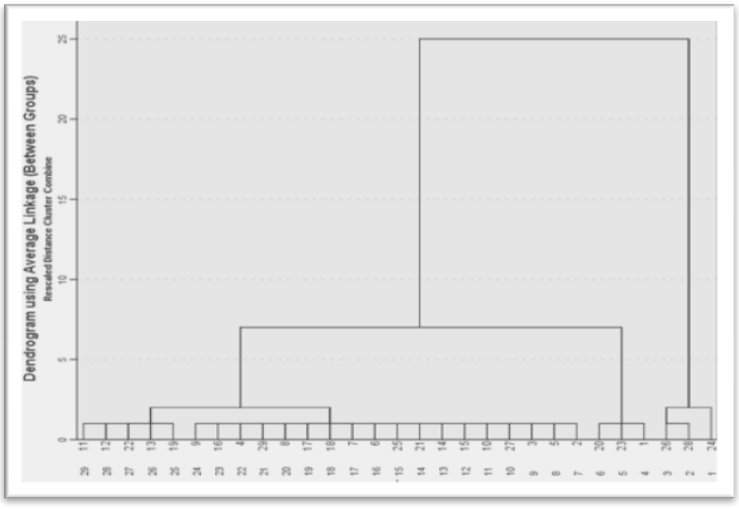
برای بررسی داده‌های هر یک از پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در نرم‌افزار SPSS از شاخص‌های مرکزی و شاخص‌های پراکندگی استفاده شد. این داده‌ها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. شاخص‌های آماری

	`	TH	EC	pH	TDS	anion	kation	Na	Mg	CL	Ca	So^4	Hco_3
N	Valid	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	Missing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean		150.75	931.03	7.57	586.59	9.72	9.59	6.57	2.00	4.30	1.00	2.49	2.85
Std.Deviation		95.48	587.79	.43	370.31	5.88	5.87	4.13	1.14	4.78	.86	1.56	.67
Variance		9117.33	345508.10	.19	137131.32	34.58	34.53	17.10	1.30	22.94	.74	2.43	.46
Minimum		50.00	327.00	6.90	206.01	3.30	3.30	1.80	.40	.30	.20	.50	1.50
Maximum		417.00	2585.00	8.40	1628.55	26.40	26.20	17.80	5.10	17.60	3.30	6.80	4.00
unit		mg/l $CaCo^3$	µs/Cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l

تحلیل خوشه‌ای

جهت بررسی میزان تشابه نمونه‌های آب زیرزمینی و گروه‌بندی آن‌ها از روش تجزیهٔ خوشه‌ای استفاده شد. فرضیات روش تجزیهٔ خوشه‌ای شامل واریانس همسانی و توزیع نرمال متغیرهاست. به همین منظور، قبل از تجزیه، داده‌ها را استانداردسازی می‌کنند. اما، چون در برخی موارد باعث تفسیرهای نادرست می‌شود (Rogowski 1990) در اینجا از این کار خودداری شد. در این مطالعه از روش HCA برای گروه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی استفاده شد. از ویژگی‌های مهم این روش ارائهٔ نمودار گرافیکی دندروگرام و انتخاب تعداد خوشه‌ها به صورت خودکار است. بنابراین، داده‌های نمونه‌های آب زیرزمینی با استفاده از روش یادشده گروه‌بندی شدند. پارامترهای مورد استفاده برای تقسیم‌بندی گروه‌ها یون‌های اصلی و مجموع املاح بودند و همهٔ پارامترها بر اساس میلی‌گرم بر لیتر هستند. در شکل ۱ دندروگرام نمونه‌های آب زیرزمینی ارائه شده است. با توجه به شکل دندروگرام و تراکم گروه‌ها و ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی به چهار گروه تقسیم شده‌اند. در واقع، با توجه به نتایج حاصل از تجزیهٔ خوشه‌ای، آبخوان از لحاظ کیفی به چهار منطقه یا زون تقسیم شد.

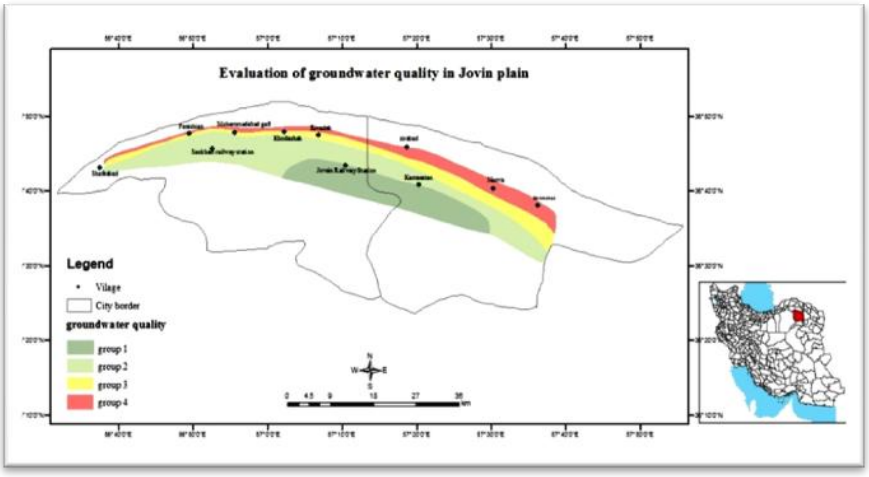


شکل ۱. دندروگرام نمونه‌های آب زیرزمینی دشت جوین

میانگین هر یک از متغیرها در هر گروه (زون) در جدول ۲ مشخص شده است. با توجه به اطلاعات جدول ۲، غلظت یون‌های محلول در آب زیرزمینی از گروه اول به سمت گروه چهارم افزایش می‌یابد. نقشهٔ ۳ محدودهٔ تقریبی گروه‌های مختلف آب زیرزمینی در دشت جوین را نشان می‌دهد. نکتهٔ قابل توجه در این شکل روند تکاملی آنیونی است که به‌خوبی در دشت جوین دیده می‌شود. در گروه اول و دوم نوع آب به صورت بی کربناته سدیک است، در گروه سوم سولفاته سدیک، و در گروه چهارم کلروره سدیک؛ که نشان‌دهندهٔ سری تکامل آنیونی چبوتار و از سمت جنوب به سمت شمال دشت در جهت جریان آب زیرزمینی است.

جدول ۲. میانگین هر یک از متغیرها در هر گروه (زون)

	Cluster			
	1	2	3	4
anion	5.42	8.73	15.13	24.13
cation	5.28	8.60	15.03	23.97
Na	3.65	5.70	11.07	16.33
Mg	1.18	1.98	2.53	4.67
CL	1.15	3.13	8.47	16.47
Ca	.45	.92	1.43	2.93
So4	1.29	2.31	4.27	5.90
Hco^3	2.95	3.16	2.40	1.73
TDS	313.49	522.21	944.26	1487.85



نقشهٔ ۳. محدودهٔ تقریبی گروه‌های مختلف آب زیرزمینی دشت جوین

ضریب همبستگی بین پارامترهای هیدروشیمیایی

ضریب همبستگی ابزاری آماری برای تعیین نوع و درجهٔ رابطهٔ یک متغیر کمّی با متغیر کمّی دیگر است. این ضریب بین ۱ تا ۱- است و نبودِ رابطه بین دو متغیر برابر با صفر است. با توجه به اینکه تعداد داده‌ها کم و فرض نرمال بودن آن‌ها معقول نبود، در این پژوهش، از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد. در جدول ۳ ضریب همبستگی بین همهٔ

پارامترهای هیدروشیمیایی همبستگی کامل و مستقیم دارند.

جدول ۳. ضریب همبستگی پارامترهای هیدروشیمیایی

Hco3	So4	Ca	CL	Mg	Na	TDS	EC	Spearman's rho
							1.000	EC
						1.000	1.000**	TDS
					1.000	.921**	.921**	Na
				1.000	.610**	.823**	.823**	Mg
			1.000	.787**	.931**	.971**	.971**	CL
		1.000	.730**	.653**	.632**	.779**	.779**	Ca
	1.000	.663**	.931**	.806**	.922**	.945**	.945**	So4
1.000	.668**	.973**	.742**	.639**	.639**	.770**	.770**	Hco3

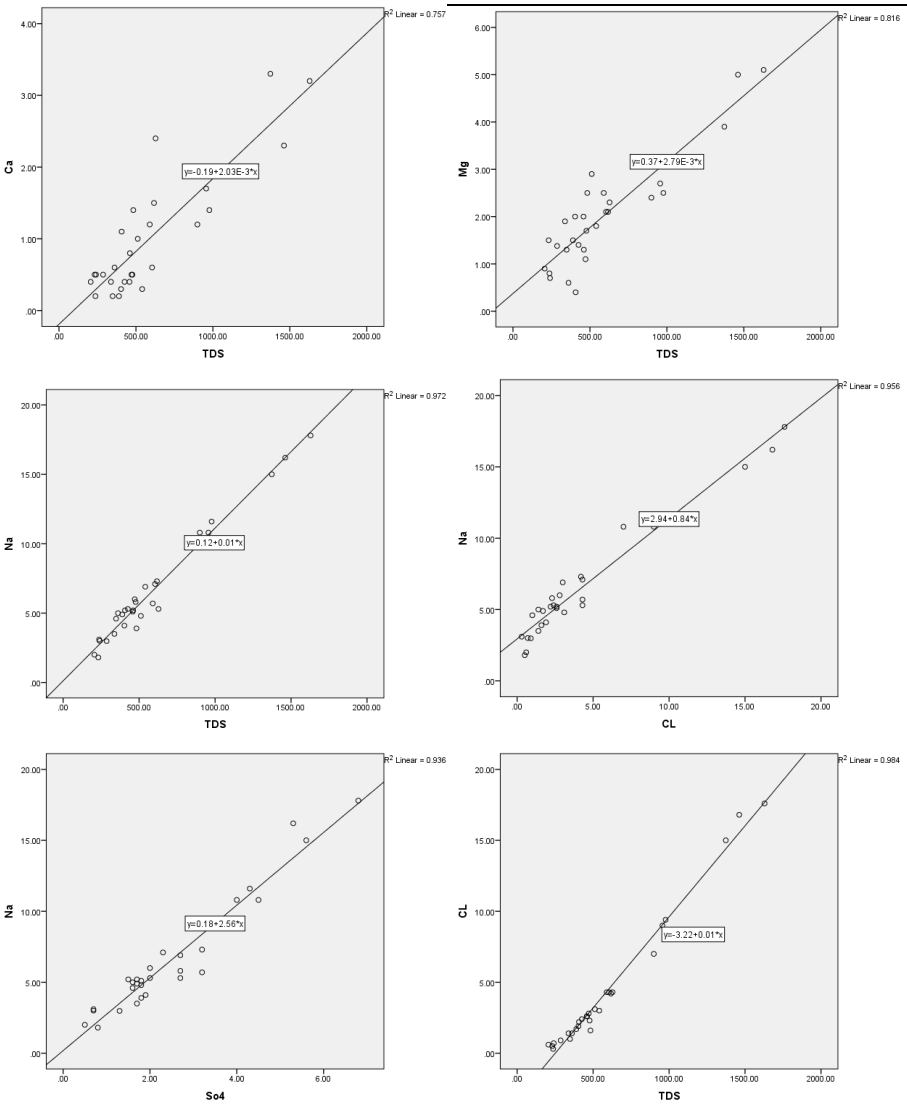
** Correlation is significant

نسبت‌های یونی

برای بررسی منشأ مواد محلول در آب زیرزمینی و واکنش‌های حاکم بر آبخوان، از نسبت‌های یونی استفاده شد. این نسبت‌ها بر اساس برخی منابعی (Hounslow 1995) تفسیر شده‌اند. در جدول ۴ میانگین ترکیب شیمیایی یونی مختلف برای نمونه‌های آب زیرزمینی محاسبه شد و در جدول ۵ نتایج اولیهٔ حاصل از تحلیل این نسبت‌های یونی ارائه شده است.

انحلال کانی‌های سولفاتی

در بررسی غلظت یون سولفات، فرض بر این است که سولفات به طور غالب از انحلال ژیپس و انیدریت یا خنثی شدن آب‌های اسیدی توسط انحلال کربنات‌ها یا حتی هوازدگی سیلیکات‌ها ناشی می‌شود که در این صورت یون کلسیم نیز به مقدار قابل توجهی در آب وجود خواهد داشت (Hounslow 1995). از دیگر مواردی که منشأ یون سولفات در نظر گرفته می‌شود اکسایش پیریت موجود در سنگ‌ها و رسوبات است. اگر غلظت یون کلسیم و سولفات مساوی باشد یا به عبارتی نسبت Ca2+/(Ca2+SO42+) برابر با ۰/۵ باشد، می‌توان انحلال کانی ژیپس را منبع یون سولفات و همچنین کلسیم در نظر گرفت. اما، اگر میزان سولفات بیشتر از کلسیم و مقدار pH نیز کمتر از ۵/۵ باشد، سولفات به دلیل اکسایش پیریت در محلول افزایش می‌یابد و چنانچه pH در محدودهٔ خنثی یا قلیایی قرار گیرد، افزایش مقدار سولفات به کلسیم را می‌توان به دلیل زدایش کلسیم از تبادل یونی یا ته‌نشینی کلسیت دانست. در حالت سوم، اگر میزان کلسیم بیش از سولفات باشد، می‌توان منبع دیگری، مانند کربنات‌ها (کلسیت و دولومیت) یا سیلیکات‌ها، را برای یون کلسیم در نظر گرفت که در این حالت وابستگی به مقدار pH وجود ندارد (Hounslow 1995).



نمودار ۱. ضریب همبستگی پارامترهای هیدروشیمیایی رسوبات کواترنری دشت جوین

جدول ٤. میانگین ترکیب شیمیایی گروه‌های مختلف آب زیرزمینی دشت جوین (برحسب میلی‌گرم بر لیتر)

	Cluster			
	1	2	3	4
Na	3.65	5.70	11.07	16.33
Mg	1.18	1.98	2.53	4.67
CL	1.15	3.13	8.47	16.47
Ca	.45	.92	1.43	2.93
So4	1.29	2.31	4.27	5.90
Hco3	2.95	3.16	2.40	1.73
TDS	313.49	522.21	944.26	1487.85

جدول ۵. میانگین نسبت‌های یونی گروه‌های چهارگانهٔ نمونه‌های آب زیرزمینی دشت جوین

	Cluster			
	1	2	3	4
Na/(Na +Cl)	.55	.72	.72	.74
Mg/(Ca+Mg)	.62	.70	.71	.75
Ca)+Ca/(So4	.31	.19	.41	.25
(Ca+Mg)/So4	1.22	.86	2.36	1.41
HSo3/Sum-Anion	.18	.42	.57	.53
Cl/ Sum Anion	.55	.30	.22	.23

از دیگر نسبت‌هایی که برای بررسی انحلال ژیپس استفاده می‌شود نسبت یون بی کربنات به مجموع آنیون‌هاست که بستگی زیادی به میزان سولفات در نمونه دارد؛ به گونه‌ای که اگر این نسبت بیش از ۰/۸ باشد هوازدگی سیلیکات‌ها یا کربنات‌ها، اگر کمتر از ۰/۸ و میزان سولفات بالا باشد انحلال ژیپس، و اگر میزان سولفات کم باشد آب دریا منبع کلسیم و سولفات در نظر گرفته می‌شود (جدول ۶).

با توجه به نسبت یونی به‌دست‌آمده HSo3/Sum-Anion در چهار گروه آب زیرزمینی دشت جوین کمتر از ۰/۸ است. محتوای سولفات در گروه ۴ نسبت به گروه‌های ۱ و ۲ و ۳ پایین است. بنابراین، در محدودهٔ گروه ۴، میزان انحلال شورابه بالاست. با بررسی شوری لایهٔ سطحی رسوبات این محدوده (Ec در حدود ۵,۵–۱۹,۵ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر) بالاترین مقدار را در سطح دشت این گروه از چاه‌ها نشان می‌دهد. همچنین، همبستگی کامل و مستقیم بین شوری رسوبات سطحی و آب زیرزمینی در این محدوده است. از طرفی در سمت شمالی دشت، یعنی در محدودهٔ چاه‌های گروه ۴، رودخانهٔ فصلی واقع شده که زهکش اصلی دشت است. بنابراین، احتمال نفوذ آب شور به آبخوان وجود دارد.

با توجه به نسبت یونی Ca/(Ca+So⁴) در چهار گروه مقدار آن 0/5> است. از طرفی pH آب نیز اسیدی نیست. بنابراین، در کل منطقه زدایش کلسیم از طریق تبادل یونی یا ته‌نشینی کلسیت وجود خواهد داشت. از آنجا که در اثر پمپاژ آب زیرزمین و آبیاری بیشترین تبادلات یونی بین آبخوان و سطح رسوبات کواترنری ایجاد می‌شود، با بررسی میزان کلسیم رسوبات سطحی دشت، میزان متوسط کلسیم (زمینه) مقداری در حدود ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است؛ که نشان‌دهندهٔ تجمع کلسیم در سطح رسوبات، به‌خصوص در مناطق دارای بافت سنگین، است.

جدول ٦. نسبت‌های یونی مورد استفاده در بررسی انحلال ژیپس (Hounslow 1995)

منشأ	نسبت یون‌های SO_4^{2-} , Ca^{2+}
انحلال ژیپس	$Ca^{2+} = SO_4^{2-}$
اکسایش پیریت زدایش Ca^{2+} توسط ته‌نشینی کلسیت با نرم‌کنندهٔ طبیعی	$SO_4^{2-} > Ca^{2+}$
منبع دیگری به غیر از ژیپس مانند کلسیت، دولومیت، یا سیلیکات‌ها	$SO_4^{2-} < Ca^{2+}$
انحلال ژیپس	$Ca^{2+} / SO_4^{2-} + Ca^{2+}$

منشأ	نسبت یون‌های SO_4^{2-} , Ca^{2+}
= ۰,۵ اکسایش پیریت < ۰,۵ pH < ۵,۵ زدایش کلسیم از طریق تبادل یونی یا ته‌نشینی کلسیت خنثی < ۰,۵ منبعی به غیر از ژیپس مانند کربنات‌ها یا سیلیکات‌ها > ۰,۵	
هوازدگی سیلیکات‌ها یا کربنات‌ها > ۰,۸ انحلال ژیپس محتوای بالای سولفات ۰,۸ < آب دریا یا شورابه محتوای پایین سولفات ۰,۸ <	HCO_3^- / Sum anions

انحلال هالیت‌ها

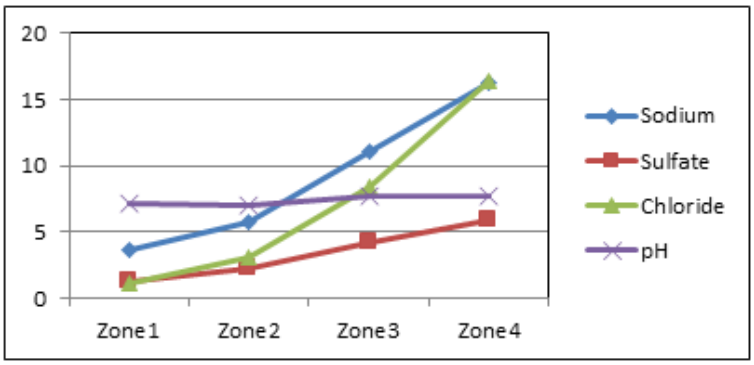
در مقایسهٔ غلظت یون کلراید و سدیم در آب، فرض بر این است که منبع اولیه برای یون کلراید کانی هالیت (NaCl) است که در این صورت غلظت یون سدیم و کلراید با هم برابر است (Mazor 2004). افزون بر انحلال هالیت، فرایندهای تبادل یونی طبیعی و هوازدگی پلاژیوکلازهایی مانند آلبیت می‌توانند منبع تولید سدیم در نظر گرفته شوند که در این حالت غلظت یون سدیم بیش از یون کلراید خواهد بود. اما، اگر غلظت یون کلراید بیشتر از سدیم باشد، نشان می‌دهد ترکیب آب ناشی از شورابه‌هایی است که از تبادل یونی وارون به وجود آمده است. در تبادل یونی طبیعی، یون کلسیم موجود در آب جانشین یون‌های سدیم جذب‌شده بر سطح کانی‌های رسی می‌شود و سدیم در محیط رها می‌شود. در نتیجه، غلظت آن نسبت به کلراید در آب افزایش می‌یابد و در برابر آن در فرایند تبادل یونی وارون یون کلسیم موجود در سطح کانی‌های رسی رها و یون سدیم موجود در آب جانشین آن می‌شود که در این حالت غلظت یون کلراید نسبت به یون سدیم در آب بیشتر می‌شود. متغیر مجموع مواد جامد محلول نیز باید در بررسی انحلال کانی هالیت در نظر گرفته شود؛ به گونه‌ای که اگر غلظت یون کلراید بیش از یون سدیم و در عین حال میزان TDS بیش از ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد تبادل یونی وارون اتفاق می‌افتد، اما، اگر مقدار TDS کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت یون کلراید بیشتر از یون سدیم باشد آب باران منبع این دو یون در نظر گرفته می‌شود (Hounslow 1995). خلاصهٔ این مطالب در جدول ۷ آمده است.

وجود همبستگی بالا بین کلر و سدیم (R^2=0/93) نشان‌دهندهٔ وجود رابطهٔ خطی بین این عناصر و نقش انحلال هالیت در ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی منطقه است. اما، برابر نبودن غلظت کلر و سدیم (بر حسب اکی والان گرم) در

نمونه‌های آنالیزشدهٔ آبخوان جوین نشان‌دهندهٔ منشأ دیگر (تجزیهٔ آلبیت یا تبادل یونی) این دو یون است و بنابراین با بررسی نسبت یونی Na/ (Na+Cl) در همهٔ نمونه‌ها مقدار عددی به‌دست‌آمده بیش از ۰/۵ بود. در نتیجه سدیم موجود در آب منشأ آلبیت یا تبادل یونی دارد.

جدول ۷. نسبت‌های یونی استفاده‌شده در بررسی انحلال کانی هالیت (Hounslow 1995)

منشأ	نسبت یون‌های Na^+ , Cl^-
انحلال هالیت	$Na^+ = Cl^-$
تبادل یونی وارون (شورابه و یا آب دریا) $2Na^+ + Ca\text{-}Clay \rightarrow Ca^{2+} + 2Na - Clay$	$Na^+ < Cl^-$
منبعی به غیر از هالیت، مانند آلبیت (پلاژیوکلاز) تبادل یونی طبیعی $Ca^{2+} + 2Na - Clay \rightarrow 2Na^+ + Ca - Clay$	$Na^+ > Cl^-$
منبعی به غیر از هالیت، مانند آلبیت یا تبادل یونی < 0.5 انحلال هالیت = 0 تبادل یونی وارون، آب دریا TDS > 500 و < 0.5 آب باران TDS < 50 و < 0.5	$Na^+ / Na^+ + Cl^-$



نمودار ۲. تطبیق کاتیون سدیم با آنیون‌های سولفات و کلرید

بر اساس نمودار تطبیق کاتیون سدیم با آنیون‌های سولفات و کلرید، در زون ۱ میزان آنیون‌های سولفات و کلرید تقریباً با هم برابر و با کاتیون سدیم متناسب‌اند. به‌تدریج در زون‌های بعدی میزان یون سدیم و میزان یون کلرید افزایش می‌یابد. از زون ۳ به بعد میزان یون کلرید و سدیم متناسب با هم افزایش پیدا می‌کند و در ادامه در زون ۴ کاملاً بر هم منطبق می‌شوند. این در حالی است که میزان یون سولفات نسبت به این دو یون افزایش چندانی از خود نشان نمی‌دهد. افزایش کلر و سدیم در زون سه و چهار باعث بالا رفتن شوری آبخوان می‌شود. بنابراین، در زون ۳ و ۴ از کیفیت آب کاسته می‌شود. مادامی که سدیم با سولفات تشکیل یک بنیان محلول در آب را می‌داد pH آب خنثی بود. اما، از حوالی

زون ۳ به بعد با ورود نمک به آب pH آب کمی قلیایی شده است. افزایش سدیم در این دو زون احتمالاً در اثر تبادل یونی در آبخوان رخ می‌دهد. کانی‌های رسی غنی از سدیم، مانند مونت موریلونیت، با یون‌های کلسیم و منیزیم موجود در آب زیرزمینی واکنش می‌دهد و باعث ورود سدیم به آب زیرزمینی می‌شود (Drever 1985). نقشهٔ درصد رس رسوبات سطحی و مقایسهٔ آن با نقشهٔ شوری آب زیرزمینی منطقه نشان می‌دهد بین میزان رس رسوبات سطحی و میزان شوری آب زیرزمینی همبستگی کامل و منطقی وجود دارد و تقریباً ۱/۴ قسمت شمالی دشت میزان رس بالایی دارد.

جدول ۸. نتایج تحلیل نسبت‌های یونی نمونه‌های آب زیرزمینی رسوبات کواترنری دشت جوین

Ionic Ratio	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Na/(Na +Cl)	>0.5 (Sodium source other than Halite – Albite or Ion Exchange)			
Mg/(Ca+Mg)	<0.5 (Granitic weathering)			
Ca / (Ca + SO4)	<0.5 (Calcium removal , Ion Exchange or Calcite Precipitation)			
(Ca + Mg) / SO4	>0.8 (Dedolomitization unlikely			
Cl / Sum Anions	<0.8 (Rock weathering)			
HCO3/Sum Anions	<0.8 and sulphate Low (Evaporates or brine)		<0.8 and sulphat high (Gepsum dissolution)	
TDS	<500 (silicate weathering		>500 (Carbonate weathering or brine	

تطبیق لایه‌های اطلاعاتی

بر اساس مطالعات انجام‌شده دربارهٔ کیفیت آب‌های زیرزمینی، که به چهار گروه تقسیم شدند، همچنین با توجه به انطباق این گروه‌بندی‌ها با رخنمون‌های کواترنری منطقه می‌توان به این نتایج رسید: چاه‌هایی که از لحاظ کیفیت آب زون ۱ را تشکیل می‌دهند، به لحاظ زمین‌شناسی، در پهنهٔ ساختاری آبرفت‌های درشت‌دانهٔ کوهپایه‌ای واقع شده‌اند. جنس رسوبات این نهشته‌ها بیشتر شنی است. ویژگی فیزیکی این واحد- مانند تخلخل، نداشتن سیمان، میزان هوازدگی آن- مشابه واحدهای آبرفتی بسیار درشت‌دانه است. بنابراین، کیفیت آب در زون ۱ خیلی بالاست. چاه‌هایی که زون ۲ را تشکیل می‌دهند، به لحاظ ساختار زمین‌شناسی، در پهنهٔ ساختاری بادبزنی آبرفتی جوان واقع شده‌اند که از مصالح ریزدانه همچون ماسه و سیلت همراه افق‌هایی از شن به وجود آمده‌اند. ساختارهای بادبزنی یادشده، از نگاه ریخت‌شناسی، جوان‌اند و سن آبرفت را هولوسن تشخیص داده‌اند. بنابراین، از لحاظ کیفیت در مقام دوم قرار دارند و بیشتر چاه‌ها در این ساختار واقع شده‌اند. چاه‌هایی که زون ۳ و ۴ را تشکیل می‌دهند، به لحاظ ساختار زمین‌شناسی، در نهشته‌های پهنهٔ سیلابی واقع شده‌اند. این دو زون پست‌ترین بخش‌های دشت را به خود اختصاص داده‌اند و از نهشته‌های ریزدانه، همچون سیلت و رس، هستند. به دلیل نزدیکی به رودخانهٔ شور و نفوذ آب شور به این زون‌ها کیفیت این بخش از آبخوان در ردهٔ پایین قرار دارد.

نتیجه

در این تحقیق، با هدف بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف و تعیین عوامل مؤثر بر آن، تجزیه‌وتحلیل داده‌های آب زیرزمینی دشت جوین به روش‌های آماری چندمتغیره، مانند تجزیهٔ خوشه‌ای و ضریب

همبستگی و نسبت‌های یونی، انجام شد. تجزیه‌وتحلیل نمونه‌ها نشان داد کاتیون و آنیون غالب به ترتیب Na, CL, SO^4 است و تیپ آب در جهت حرکت آب زیرزمینی از ارتفاعات جنوبی دشت به سمت شمال دشت تا رودخانهٔ کال‌شور از بی کربناته سدیک به سولفاته سدیک و در نهایت به کلرور سدیک تغییر می‌کند. با توجه به نتایج تجزیهٔ خوشه‌ای، آبخوان از لحاظ کیفی به چهار گروه، منطقه، یا زون تقسیم شده است. غلظت یون‌های محلول در آب زیرزمینی از گروه اول به سمت گروه چهارم افزایش می‌یابد. همچنین از سمت شرق به سمت غرب از میزان و وسعت غلظت آلاینده‌ها کاسته می‌شود. در بررسی نسبت‌های یونی، نسبت Na/(Na+CL) بین چهار گروه بیشتر از ۰/۵ بود. بنابراین، منشأ سدیم آلبیت یا تبادل یونی است. نسبت Mg/(Ca+Mg) بین چهار گروه کمتر از ۰/۵ بود. بنابراین، منشأ آن را می‌توان گرانیت‌ها دانست. با توجه به آنچه آمد و بررسی سازندهای زمین‌شناسی ارتفاعات بالادست جنوبی دشت، که تغذیهٔ آبخوان از آن منشأ می‌گیرد، یون سدیم از هوازدگی پلاژیوکلازها به آبخوان تزریق می‌شود. در بررسی نسبت Ca/(Ca+SO4) در چهار گروه کمتر از ۰/۵ بود. بنابراین خروج کلسیم بر اثر تبادل یونی و رسوب کلسیت اتفاق می‌افتد. با بررسی غلظت مواد محلول آب زیرزمینی دشت TDS در گروه ۱ و ۲ زیر ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که نشان‌دهندهٔ هوازدگی سیلیکات‌هاست و در گروه‌های ۳ و ۴ که قسمت پایین دشت واقع شده‌اند بالای ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که هوازدگی کربنات‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس نمودار تطبیق کاتیون سدیم با آنیون‌های سولفات و کلرید، در زون ۱ که تغذیه از این منطقه وارد آبخوان می‌شود میزان سولفات و کلرید تقریباً با هم برابر و با کاتیون سدیم متناسب‌اند. به‌تدریج در زون‌های بعدی (زون ۲ و ۳ و ۴) میزان یون سدیم هم‌زمان با یون کلرید افزایش پیدا می‌کند؛ به‌خصوص از زون ۳ به بعد میزان کلرید و سدیم متناسب با هم افزایش پیدا می‌کند، طوری که در زون ۴ کاملاً با هم برابر می‌شوند. این در حالی است که میزان یون سولفات افزایش چندانی نسبت به این دو آنیون از خود نشان نمی‌دهد. این رویه احتمال ورود نمک از زون ۳ و ۴ به آبخوان را توجیه می‌کند. مادامی که سدیم با سولفات تشکیل یک بنیان محلول در آب را می‌دهد pH خنثی است. اما، از حوالی زون ۳ به بعد با ورد نمک pH افزایش می‌یابد.

منابع

بهاروند، س.؛ ا. خلجی، (۱۳۷۶). «نقش سازندهای مختلف زمین‌شناسی در کیفیت آب‌های زیرزمینی شمال خرم‌آباد»، سومین همایش زمین‌شناسی کاربردی و محیط زیست اسلام‌شهر، دانشگاه آزاد اسلام‌شهر.

جعفرآبادی، م.؛ ح. نقوی (۱۳۹۲). «سری آمار: همبستگی و رگرسیون»، *دیابت و لیپید ایران*، د ۱۲، ش ۶، صص ۴۷۹ ـ ۵۰۶.

چیت‌سازان، م.؛ ی. اختری (۱۳۸۵). «پتانسیل‌یابی آلودگی آب‌های زیرزمینی در دشت‌های زویرچی و خران با استفاده از مدل دراستیک و GIS»، *آب و فاضلاب*، ش ۵۹، صص ۳۹ ـ ۵۱.

خسروانی، ع.؛ ز. شیری (۱۳۹۶). «هیدروژئوشیمی و ارزیابی کیفی منابع آب موجود در رسوبات کواترنری جنوب شرق فاروج (خراسان شمالی) از نظر مصارف آشامیدن و صنعتی»، *کواترنری ایران* (علمی- پژوهشی)، د ۳، ش ۳، صص ۲۶۵ ـ ۲۷۶.

رحمتی ایلخچی (۱۳۶۰). *تهیهٔ نقشهٔ زمین‌شناسی برگهٔ ۱/۱۰۰۰۰۰ جغتای*، سازمان زمین‌شناسی.

رضایی. م. (۱۳۹۰). «مطالعهٔ عوامل کنترل‌کنندهٔ شوری در آبخوان آبرفتی دشت مند، استان بوشهر»، *محیط‌شناسی*، س ۳۷، ش ۵۸، ص ۱۱۶.

رهنما. ع.؛ خ. رضایی (۱۳۹۱). «بررسی وضعیت کمّی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت جوین»، *جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای*، ش ۳، صص ۳۱ ـ ۴۶.

کلانتری. ن.؛ م.ح. رحیمی؛ ع. چرچی (۱۳۹۰). «استفاده از دیاگرام‌های ترکیبی، تحلیل عاملی و نمایه‌های اشباع در ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت‌های زویرچری و خران»، *زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه تربیت معلم*، ش ۱، ص ۳۳۹.

کلانتری. ن.؛ ز. سجادی؛ م. کشاورزی؛ ز. احمدنژاد؛ ز. بوسلیک (۱۳۸۹). «بررسی فرایندهای ژئوشیمیایی مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت عسلویه با استفاده از مدل‌سازی ژئوشیمیایی»، چهارمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور، مشهد.

کلانتری، ن.؛ ف. علیجانی (۱۳۸۷). «بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت عباس استان خوزستان»، *علوم دانشگاه شهید چمران اهواز*، ۱۹.

محمدی‌بهزاد، ح.؛ غ.ر. رحمانی؛ ن. کلانتری؛ م. چیت‌سازان؛ ح. روحی (۱۳۸۹). «بررسی فرایندهای اثرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی دشت گتوند عقیلی»، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، وزارت نیرو، کرمانشاه.

هاتفی، ر.؛ ع. احمدی (۱۳۹۲). «ارزیابی عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی جوین با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، *زمین‌شناسی ایران*، س ۷، ش ۲۸، صص ۸۷ ـ ۹۸.

Baharvand, S. & khalaji, A. (1998). "The role of different geological formations in the quality of groundwater north of Khorramabad", The third conference on applied geology and environment of Islamshahr, Islamshahr Azad University.

Bu, H., Tan, X., Li, S., & Zhang, Q. (2010). "Water quality assessment of the Jinshui River (China) using multivariate statistical techniques", *Environmental Earth Sciences*, 60, pp. 1631–1639.

chetsazan, M. & Akhtari, I. (2007). "Potential detection of groundwater pollution in Zovirchi and Kharran plains using Drastik and GIS models", *Water and Wastewater*, Vol. 59, pp. 39-51.

Edet, TN., Nganje, AJ., Ukpong, A., & Ekwere, AS. (2012). "Groundwater chemistry and quality of Nigeria: A status rewiew", *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(13), pp. 1152-1169.

Feng, Q. (1999). "Sustainable utilization of water resources in Gansu Province", *Chinese Journal of Arid Land Research*, Vol. 11, pp. 293-299.

Feng, Q., Cheng, G. D., & Mikami, M. (1999). "Water resources in China: Problems and countermeasures", *Ambzo*, No. 28, pp. 202-203.

Guler, C., Thyne, GD., McCray, JE., & Tumer, AK. (2002). "Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data", *Hydrogeology Journal*, 10, pp. 455-474.

Hatefi, R. & Ahmadi, A. (2014). "Evaluation of Factors Affecting the Groundwater Quality of Joven Using the Principal Component Analysis Method", *Geology of Iran*, Vol, 7, No. 28.

pp. 87-98.

Ilael, V. (1987). "Land degradation in China: An ancient problem getting worse", In Blaikie. P. and Brookfield. H. (eds.), Land Degradation and Society, Methuen, London. 284 p.

Jafarabadi, M. & Naghavi, H. (2014). "Statistics Series: Correlation and Regression", *Iranian Diabetes and Lipids*, Vol. 12, No. 6, pp. 479-506.

Kalantari, N. & Alijani, F. (2009). "Assessment of groundwater resources quality in Abbas plain, Khuzestan province", Shahid Chamran University of Ahvaz, 19.

Kalantari, N., Rahimi, M.H., & Church, A. (2012). "Using Composite Diagrams, Factor Analysis and Saturation Indices in Groundwater Quality Assessment of Zavircheri and Kharan Plains", Engineering Geology of Tarbiat Moallem University, Vol. 1, p. 339.

Kalantari, N., sajjadi, M., keshavarzi, Z., Ahmadinejad, Z., & Boslik (2011). "Study of Geochemical Processes Affecting Groundwater Quality in Assaluyeh Plain Using Geochemical Modeling", 4th National Conference on Geology, Payame Noor University, Mashhad.

Khosravani, A. & Shiri, Z. (2018). "Hydrogeochemistry and quality assessment of water resources in Quaternary sediments southeast of Farouj (North Khorasan) in terms of drinking and industrial uses", *Quaternary of Iran* (Scientific-Research), Vol. 3, No. 3, pp. 265-276.

Mohammadi Behzad, H., Rahmani, Gh, R., Kalantari, N., CHitsazan, M., & Rohi, H. (2011). "Study of processes affecting groundwater quality in Gotvand Aghili plain", The first national conference on applied research in Iranian water resources, Ministry of Energy, Kermanshah.

Rahmati Ilkhchi (1982). Preparation of geological map sheet 100000/1 Joghatai, Geological Survey.

Rahnama, A. & Rezaei, Kh. (2013). "Quantitative and qualitative study of groundwater resources in Joven plain", *Geography and urban-regional planning*, Vol. 3, pp. 31-46.

Rezaei, M. (2012). "Study of salinity control factors in mand plain alluvial aquifer, Bushehr province", *Environmental Science*, Vol. 37, No. 58, p. 116.

Richter, B.C. & Kreitler, C.W. (1993). *Geochemical techniques for identifying sources of ground-water salinization*, Pub. C. K. Smoley, 258 p.

Rogowski, A. S. (1990). "Estimation of the groundwater pollution potential on an agricultural watershed", *Agricultural Water Management*, 18, pp. 209-230.

Tlili-Zrelli, B., Azaza, FH., Gueddari, M., & Bouhlila, R. (2012). "Geochemistry and quality assessment of groundwater using graphical and multivariate statistical methods", A case study: Grombalia phreatic aquifer (Northeastern Tunisia), *Arabian Journal of Geosciences*, 6, pp. 3545-3561.

Vengosh, A. (2005). Salinization and Saline Environmental, chapter 9.09: in *Environmental Geochemistry*, Edited by Lollar. B.S., 1st Edition, Elsevier Science, 648 p.