



## تحلیل آماری پارامترهای هیدروشیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت لاله‌زار (بردسیر) با استفاده از آزمون مؤلفه اصلی و تحلیل خوشه‌ای

ملیحه زمانی<sup>۱\*</sup>، حسام‌الدین معین‌زاده<sup>۲</sup>، علی مصطفوی<sup>۳</sup>، احمد عباس‌نژاد<sup>۴</sup>

۱- کارشناسی ارشد ژئوشیمی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- دانشیار پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۳- استاد شیمی تجزیه، گروه شیمی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۴- دانشیار زمین‌شناسی زیست‌محیطی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

\* عهده‌دار مکاتبات: malihe.zamani@ymail.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۶/۸، پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۹/۱

### چکیده

امروزه آب به‌عنوان یکی از عوامل بهبود و رشد اقتصادی جوامع به شمار می‌رود، بنابراین مدیریت بهینه منابع آب به‌ویژه آب شیرین نیز یکی از مهم‌ترین برنامه‌های کشورهاست. هدف این مطالعه، تعیین منشأ و غلظت عناصر و ترکیبات محلول در آب زیرزمینی لاله‌زار است. محدوده مطالعاتی لاله‌زار در ۷۵ کیلومتری جنوب‌شرقی بردسیر و جنوب‌غربی کرمان بین طول جغرافیایی ۵۶ درجه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و در زون ساختاری ایران مرکزی، در جنوب‌شرقی کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر قرار گرفته که سازندهای آن مربوط به دوران سوم زمین‌شناسی است. سنگ‌شناسی غالب این منطقه، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سنگ سیلیتی، توف، کنگلومرای آتشفشانی، مارن ماسه‌ای، گرانیت، آندزیت، بازالت و گدازه‌های بازالتی و سنگ‌های آذرآواری است. بدین‌منظور ۱۴ نمونه برداشت و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و برخی فلزات و عناصر فرعی و کمیاب اندازه‌گیری شد. از روش‌های آماری تحلیل مؤلفه اصلی و خوشه‌ای در نرم‌افزار SPSS و از نرم‌افزار GIS برای تحلیل تغییرات غلظت عناصر استفاده شد. در تحلیل مؤلفه اصلی، عناصر در ۳ گروه (عامل) مختلف قرار گرفتند. نیترات و سولفات و پتاسیم و بی‌کربنات احتمالاً دارای منشأ مشترک انسانی و کشاورزی است؛ اما بخش عمده بی‌کربنات از انحلال توسط آمیختگی آب‌های جوی با CO<sub>2</sub> حاصل شده است که این عناصر در برخی نمونه‌ها همگی روند افزایشی دارند. به‌طورکلی می‌توان گفت بخش عمده عناصر موجود در آب منطقه، ناشی از آزادسازی از آبکافت سیلیکات‌ها و همچنین آب باران و تغلیظ طی تبخیر است. غلظت فلزات سنگین حتی از حد آشکارسازی دستگاه و نیز استانداردهای WHO و EPA پایین‌تر بوده است.

واژه‌های کلیدی: آزمون مؤلفه اصلی، تحلیل خوشه‌ای، دشت لاله‌زار، هیدروژئوشیمی

### ۱- مقدمه

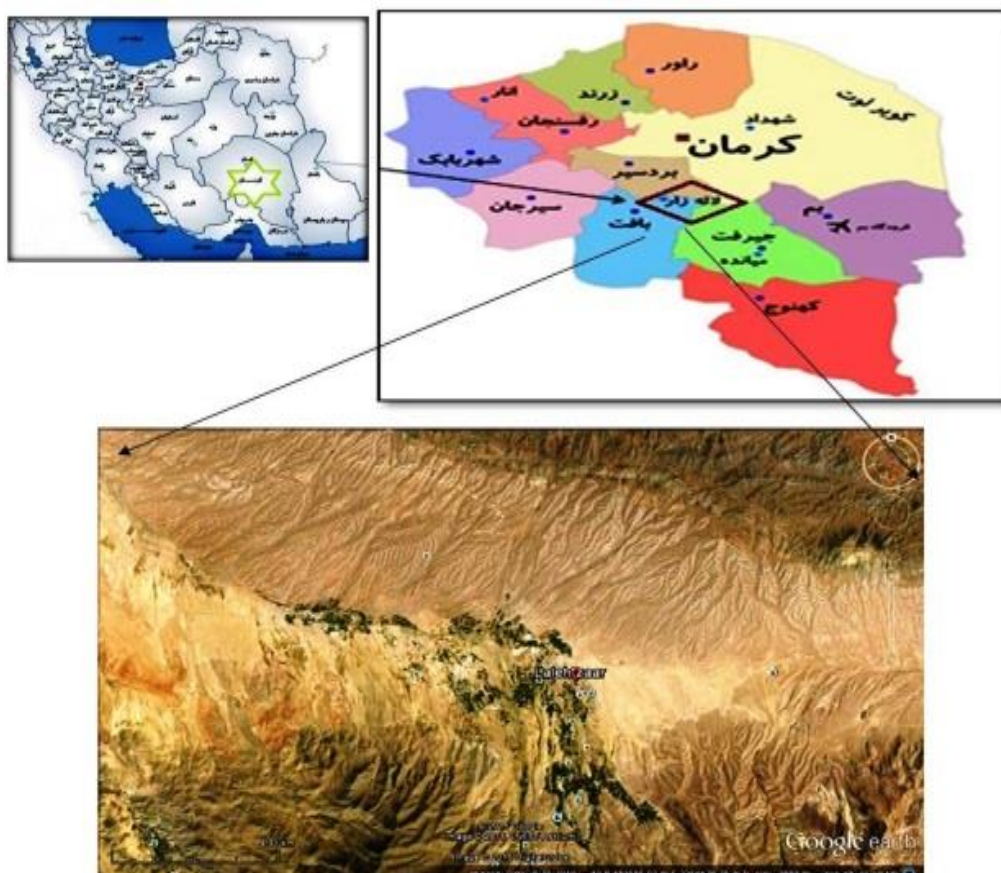
به‌گونه‌ای که در برخی مناطق کل جامدات حل‌شده در آب به حدی می‌رسد که استفاده از آب زیرزمینی را محدود می‌سازد (Rouabhia et al., 2009, Kumar et al., 2009, Jiang et al., 2009, Lorite Herrera & Jime nez-Espinosa, 2008, Hosono et al., 2009). در این تحقیق بنابر اهمیت بررسی متغیرهای مختلف و نقش آنها در تغییر کیفیت آب، از روش‌های آماری مانند تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای و ماتریس همبستگی استفاده شد. این روش‌ها به‌دلیل اینکه قادر به تشخیص شباهت‌ها و تفاوت‌های بین متغیرها و پارامترها هستند، امروزه به‌صورت گسترده‌ای استفاده می‌شوند. هرچند که ارزیابی کمی و کیفی آبخوان‌ها در مطالعات هیدروژئولوژیکی بررسی می‌شوند، اما به جنبه‌های آماری هیدروشیمیایی کمتر توجه می‌شود.

دشت لاله‌زار به مرکزیت روستای لاله‌زار در ۷۵ کیلومتری جنوب‌شرقی مرکز بخش بردسیر بین طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۵۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۴۲ دقیقه قرار گرفته است. از شمال به شهرستان کرمان و از باختر به شهرستان

در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، استفاده از آب زیرزمینی همراه با آب سطحی رایج است. با توجه به کم‌بودن میانگین بارندگی در کشور و تبخیر بالا و همچنین اهمیت زیاد آب‌های زیرزمینی ضرورت مطالعات کمی در زمینه آلودگی آب‌های زیرزمینی را ایجاب می‌کند. (Hillel, 1980; Botkin & Keller, 2003). آب در نواحی کوهستانی از نظر ترمودینامیکی ناپایدار است و ترکیب شیمیایی آن براساس تعادل آب- سنگ تعیین می‌شود. افزون بر این مقادیر EC این آب‌ها معمولاً پایین است و برخی از گونه‌های شیمیایی اصلی زیر حد تشخیص قرار دارند. کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی تابع عوامل مختلفی مانند شرایط زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و اقلیم یک منطقه است. تغییرات زمانی و مکانی شیمی آب زیرزمینی در طول خطوط جریان به‌وسيله نهشته‌های زمین‌شناسی و زمان ماندگاری در زیر سطح کنترل می‌شود و نتیجه آن افزایش مواد محلول و به مقدار کمتر گازها و برخی مواد معلق در آب است،

از طی مسافتی حدود ۱۲۰ کیلومتر از کرمان، محل مورد مطالعه قرار دارد. تنها جاده آسفالتی موجود در محدوده مورد مطالعه، جاده لاله‌زار است. این جاده ارتباط روستای لاله‌زار را با جاده اصلی منطقه (کیلومتر ۵۹ محور بردسیر- بافت) برقرار کرده است. سایر راه‌های ارتباطی منطقه خاکی بوده که از نظر ارتباطی جنبه درون‌منطقه‌ای و محلی دارند (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۸۲).

سیرجان، از شمال باختری به شهرستان رفسنجان، از جنوب به دهستان سیه‌بنویه از شهرستان بافت محدود می‌شود (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۸۲). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. از جمله راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه می‌توان به راه‌های زیر اشاره کرد: (۱) جاده کرمان- بردسیر: در این مسیر پس از طی حدود ۵۰ کیلومتر جاده‌ای به سمت بافت جدا شده و پس از عبور از بخش نگار، بعد از حدود ۵۵ کیلومتر، به روستای لاله‌زار می‌رسد. (۲) جاده کرمان- بافت: پس



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

## ۲- زمین‌شناسی

کمپلکس رازک به سن ائوسن میانی- پسین دارای سنگ‌شناسی آندزیت تا آندزیت‌بازالت، داسیت، آذرآواری (عمدتاً آندزیت و آندزیت‌بازالت)، آهک نومولیت‌دار است؛ بنابراین در بخش‌های مختلف منطقه لاله‌زار سازندهای ائوسن پراکنده شده‌اند، که جنس آنها اغلب آگلومرا، آذرآواری ماسه‌سنگ، سنگ‌های آتشفشانی، بازالت و آندزیت هستند. همچنین از نظر زمین‌شناسی شامل کنگلومرای سخت‌نشده، به‌ندرت ماسه‌سنگی با تکه سنگ‌های آتشفشانی و در محل کوه سیاه شامل برش‌های ریولیتی مربوط به دوران میوسن است (محمدی، ۱۳۸۶). کمپلکس هزار در این منطقه شامل گدازه آندزیتی، آگلومرا، توف و گدازه ریولیتی تا داسیتی با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و کنگلومرا به سن الیگوسن است. در طی مطالعات میدانی انجام شده مشاهده شد که سازندهای تخریبی آتشفشانی در این منطقه به طور

منطقه لاله‌زار در زون ساختاری ایران مرکزی، در جنوب شرقی کمر بند آتشفشانی ارومیه- دختر قرار دارد که سازندهای آن مربوط به دوران سوم زمین‌شناسی است و با توجه به تقسیمات زمین‌شناسی استان کرمان این ناحیه بر روی نوار آتشفشانی دهج- ساردوئیه قرار دارد. نوار دهج- ساردوئیه با روند شمال غرب- جنوب شرق بین کمر بند رفسنجان و سیرجان واقع می‌شود. در این کمر بند مجموعه‌های رسوبی- آتشفشانی و توده‌های نفوذی به‌ویژه گرانیتوئیدها گسترش زیادی دارند (Dimitrijevic, 1973). مطابق نقشه زمین‌شناسی (شکل ۲) واحدهای سنگی غالب در این منطقه به شرح زیر است:

سه طرف آب برداشته شد که در یکی اندازه‌گیری آنیون‌های اصلی و دو طرف دیگر اندازه‌گیری کاتیون‌ها و فلزات مدنظر بود. pH و دمای آب در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد و موقعیت جغرافیایی هر نقطه با GPS ثبت شد و نمونه‌ها تا رسیدن به آزمایشگاه در مکانی خنک و دور از نور قرار گرفتند. برای تجزیه فلزات سنگین از ICP-OES در آزمایشگاه زرآرما ماهان استفاده شد و برای تجزیه آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی از روش تیتراسیون (بجز سدیم که از روش نورسنجی شعله) در آزمایشگاه آب منطقه‌ای استفاده شد و برای تجزیه نیترات و بور از روش طیف‌سنجی آزمایشگاه مولکول کرمان استفاده شده است.

#### ۴- تحلیل نتایج با استفاده از روش‌های آماری

برای بررسی رفتار ژئوشیمیایی عناصر در محیط ژئوشیمیایی آب چشمه‌ها و قنات‌ها به تحلیل و تفسیر پارامترهای آماری مربوط به مقادیر عناصر می‌پردازیم. در این مطالعه در ابتدا برای تعیین توزیع پارامترها از هیستوگرام فراوانی عناصر (شکل ۳) استفاده شد که نشان می‌دهد عناصر کلسیم، کلر، بیسموت، بیکربنات، بور، استرانسیم و سیلیسیم از نوع نرمال و عناصر منیزیم، سولفات، سدیم، نیترات و پتاسیم از نوع غیرنرمال هستند. غیرنرمال بودن هیستوگرام فراوانی برخی عناصر به علت افزایش این عناصر در برخی نمونه‌هاست که می‌تواند ناشی از عوامل طبیعی یا انسانی باشد. خلاصه آماری پارامترهای شیمیایی در جدول ۱ و نتایج حاصل از آزمون مؤلفه اصلی، تحلیل خوشه‌ای و ماتریس همبستگی به ترتیب در جدول ۲ و شکل ۴، ۵ و جدول ۳ آورده شده است.

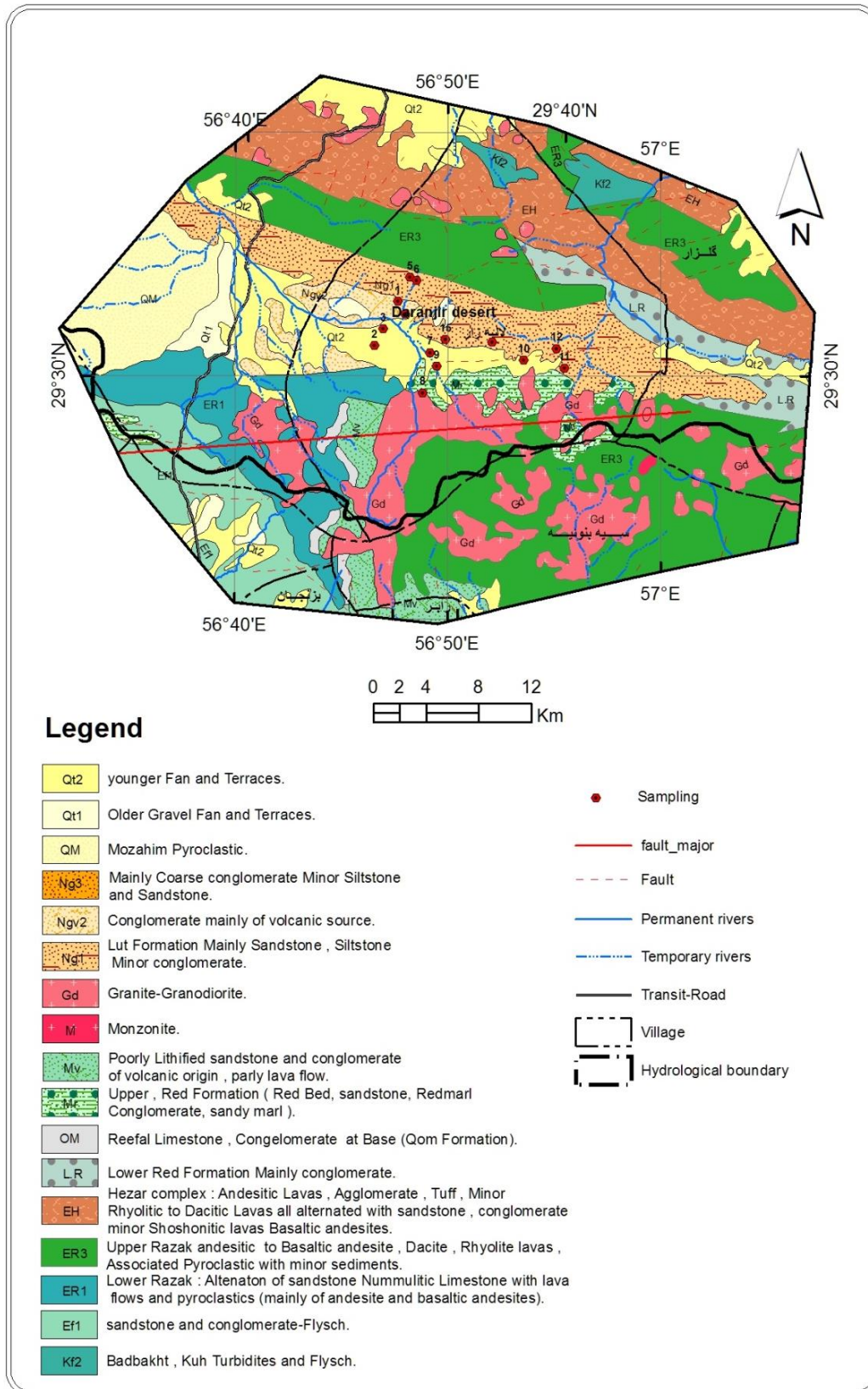
#### ۴-۱- تحلیل مؤلفه اصلی (Principal Component Analysis)

روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) یکی از مهم‌ترین روش‌های آماری در مطالعات زیست‌محیطی است. هدف اصلی از به کارگیری این آزمون کاهش مجموعه داده‌های اولیه به یک سری مؤلفه‌های غیرهمبسته اما با ابعاد کوچک‌تر است (Borůvka and et al., 2005). متغیرهایی که در یک مؤلفه قرار می‌گیرند معمولاً دارای صفات مشترک یا مشابهی هستند (Miller, 2000). بر اساس این آزمون سه عامل، در مجموع ۸۱/۲۰ درصد از واریانس داده‌ها را به خود اختصاص داده است. بر اساس جدول، عامل اول با ۴۴/۷۳ درصد بیشترین درصد از کل واریانس را به خود اختصاص داده است. در عامل یک عناصر پتاسیم، کلسیم، بیکربنات، نیترات، استرانسیم قرار دارند. استرانسیم به دلیل داشتن ماهیتی ناسازگار معمولاً در انتهای تفریق، جانشین کلسیم و پتاسیم در پلاژیوکلازها و فلدسپارها می‌شود (Mason and Moore, 1982). همچنین کلسیم معمولاً در پلاژیوکلازهای تشکیل‌دهنده در آندزیت‌ها و داسیت‌ها یافت می‌شود. اما با این وجود، این عامل را می‌توان ناشی از عوامل انسانی دانست که از جمله این فعالیت‌ها می‌توان به ورود کودهای شیمیایی یا پساب کشاورزی اشاره کرد. عامل دوم: در عامل دوم که ۲۴/۶۶ درصد از کل واریانس را در بردار عناصر سدیم، کلر، منیزیم، سولفات و سیلیسیم قرار دارند.

متنوب با گدازه‌ها و مواد آذرآواری تکرار شده‌اند که این سازندها شامل ماسه‌سنگ‌ها، سیلتستون‌ها و کنگلومراها است. گدازه‌ها تنها محصولات باقیمانده از یک فاز فورانی هستند و گاهی به صورت متنوب با نهشته‌های آذرآواری (برش آتشفشانی، نهشته‌های ایگنیمبریتی، توف جوش‌خورده) قرار گرفته و یا روی نهشته‌های یادشده را می‌پوشانند (محمدی، ۱۳۸۶). از کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده آندزیت و آندزیت-بازالت، پلاژیوکلاز، هورنبلند و به مقدار کمتر پیروکسن است که به صورت درشت‌بلور در این گروه جای دارند. فلدسپار قلیایی نیز کم و بیش در این سنگ‌ها وجود دارد ولی کوارتز غالباً وجود ندارد (درویش‌زاده، ۱۳۶۰). سنگ‌های آندزیتی موجود در منطقه از نوع یک سنگ تمام بلورین آذرین درونی است که حاوی شکستگی‌های فراوان است که از هوازدگی آنها منبسط به داخل آب آزاد می‌شود. پلاژیوکلازهای موجود در آندزیت‌های این منطقه بسته به نوع پلاژیوکلاز تجزیه شده و از آن Na یا Ca آزاد می‌شود. از جمله سنگ‌های دیگر آندزیت‌بازالت است که رنگ آنها از خاکستری تا خاکستری تیره تغییر می‌کند. از جمله واحدهای سنگی دیگری که در منطقه دیده می‌شود، توده‌های نفوذی است. بر اساس مطالعات انجام‌شده توسط (رضایی‌نژاد، ۱۳۹۰). این توده‌ها به سن الیگوسن بوده و درون سنگ‌های آتشفشانی مجموعه هزار نفوذ کرده‌اند که در جنوب‌شرقی کمر بند ماگمایی ارومیه-دختر (نوار دهج-ساردوئیه) قرار دارد و سنگ‌های رسوبی آتشفشانی ائوسن را مورد هجوم قرار داده‌اند و بنابراین از سنگ‌های مذکور جوان‌تر هستند. بررسی ژئوشیمیایی و سنگ‌نگاری نشان داد که ترکیب سنگ‌شناسی توده نفوذی لاله‌زار حدواسط تا اسیدی است و سنگ‌ها از نوع دیوریت و گرانودیوریت هستند. در این توده کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز-رتوز و کوارتز کانی‌های تیره و بیوتیت و آمفیبول و زیرکن و آپاتیت کانی فرعی هستند. واحدهای سنگی بعدی سازند قرمز بالایی (میوسن) که عمدتاً از کنگلومرا تشکیل شده و همچنین پادگانه‌های آبرفتی جوان و رسوبات آبرفتی دوران چهارم است. جنس سنگ مظهر در قنات‌های محدوده مورد مطالعه، آبرفتی، شن، ماسه و رس، جنس سنگ مظهر چشمه‌ها از نوع شن و ماسه و قلوه‌سنگ، ماسه‌سنگ و آهک است. سنگ مخزن آبخوان در این منطقه از نوع آبرفت‌های درشت‌دانه هستند که با واریزه‌ها در دامنه‌ها به هم می‌پیوندند. ماسه‌سنگ، کنگلومرا و آتشفشان‌های نئوژن که بخش‌های وسیعی از دره لاله‌زار را در برمی‌گیرد جزو سنگ‌های غیرکربناتی مؤثر در تغذیه منابع آب زیرزمینی است. سنگ‌های آذرین، توف، آگلومرا و ماسه‌سنگ‌های ترشیری که بخش‌های وسیعی از ارتفاعات لاله‌زار را تشکیل می‌دهند از سنگ‌هایی به شمار می‌روند که تأثیر چندانی بر منابع آب زیرزمینی ندارند.

#### ۳- روش تحقیق

در این مطالعه از منابع آب برخی از قنات‌ها و چشمه‌ها نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری در تاریخ ۱۳۹۳/۴/۱۰ از ۱۴ منبع آبی در منطقه انجام شد. ظرف نمونه‌برداری از جنس پلی‌اتیلن ۱ لیتری بود. ظروف مورد استفاده پیش از نمونه‌برداری با اسید و آب مقطر و هنگام نمونه‌برداری نیز سه بار با آب مورد استفاده برای نمونه‌گیری، شستشو شدند. در هر نقطه نمونه‌برداری



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- خلاصه آماری پارامترهای شیمیایی در نمونه‌های آب دشت لاله‌زار (ppm) و مقادیر استاندارد جهانی

پارامتر	میانگین	بیشینه	کمینه	میان	انحراف معیار	سازمان جهانی بهداشت (۲۰۱۱)	سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (۲۰۱۱)
K	۱/۳۴	۲/۵	۰/۳	۱/۵	۲/۲	-	-
Mg	۲۶/۵۹	۶۱	۶/۱	۲۲	۵۴/۹	-	-
Ca	۵۲/۸	۱۰۴	۲۴	۵۲	۸۰	-	-
SO <sub>4</sub>	۸۹/۲۸	۲۳۵/۲	۱۴/۴	۳۸/۴	۲۲۰/۸	فاقد راهنمایی	۲۵۰ mg/l
Cl	۲۲/۷۶	۴۲/۶	۷/۱	۲۱/۳	۳۵/۵	فاقد راهنمایی	۲۵۰ mg/l
HCO <sub>3</sub>	۲۰۰/۴	۳۰۵	۱۳۴/۲	۱۸۹/۱	۱۷۰/۸	-	-
NO <sub>3</sub>	۶/۱۴	۲۴/۳۷	۰/۸۹	۴/۸۷	۲۳/۴۸	۵۰ mg/l	۱۰ mg/l
Na	۲۲/۲۳	۵۰/۶	۴/۶	۲۳	۴۶	< ۲۰ mg/l	۲۰ mg/l
Bi	۰/۵۴	۰/۶۳	۰/۵	۰/۵۳	۰/۱۳	-	-
Sr	۰/۸	۱/۴۲	۰/۱۶	۰/۹۳	۱/۲۶	-	-
S	۳۸/۳	۱۰۴/۹۹	۸/۰۶	۱۵/۶۸	۹۶/۹۳	-	-
Si	۱۵/۲	۲۴/۲۳	۷/۸۴	۱۳/۸۱	۱۶/۳۹	-	-
B	۰/۲	۰/۳۲	۰/۰۶	۰/۲	۰/۲۶	-	-
TDS	۳۴۹/۹	۵۶۴	۱۹۴	۳۱۳	۳۷۰	-	-
pH	۷/۲	۷/۸	۶/۷	۷/۴	۱/۱	-	-
Ec	۵۳۸/۴	۸۶۷	۲۹۸	۴۸۲	۵۶۹	-	-
TH	۲۴۱	۳۹۵	۱۲۵	۲۳۵	۲۷۰	-	-

کلسیم به جای هم و در نتیجه در طی فرایند تبخیر و همچنین رسوب کربنات کلسیم و خارج شدن کلسیم از محیط، منیزیم به جای کلسیم جانشین شود و علت همبستگی بین منیزیم و استرانسیم و سولفات شاید به همین علت باشد.

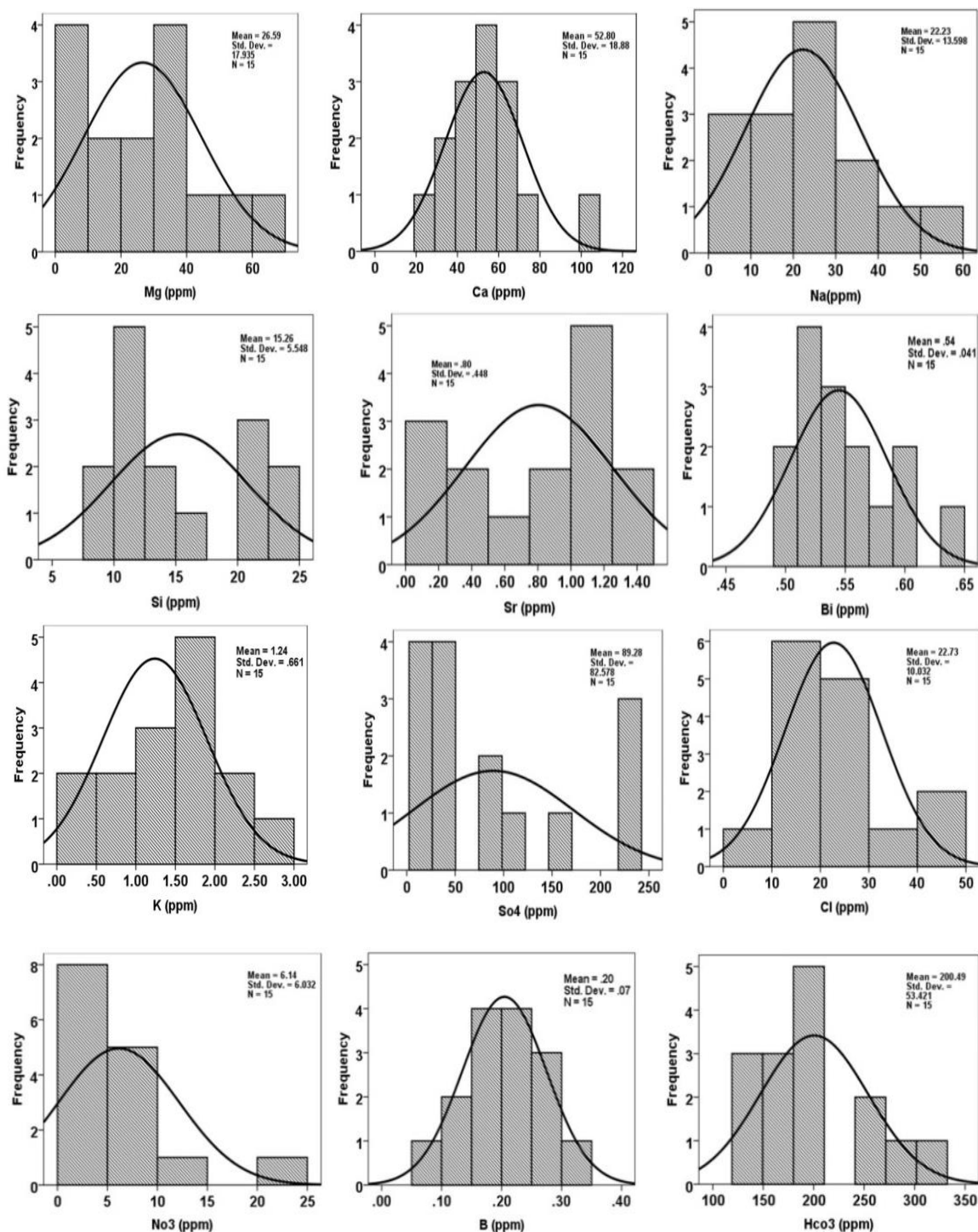
جدول ۲- شبکه مؤلفه‌های اصلی پارامترهای شیمیایی نمونه‌های آب لاله‌زار

Rotated Component Matrix <sup>a</sup>			
	Component		
	۱	۲	۳
NO <sub>3</sub>	۰/۸۱۶		
K	۰/۷۵۷		
HCO <sub>3</sub>	۰/۹۴۵		
Ca	۰/۹۵۳		
Sr	۰/۷۹۱	۰/۳۷۱	
Cl		۰/۸۴۴	
Mg		۰/۷۵۷	
Na		۰/۹۴۸	
SO <sub>4</sub>		۰/۸۳۸	
Si		۰/۶۱۵	
B			-۰/۸۲۳
Bi			۰/۷۲۳
Extraction Method: Principal Component Analysis.			
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.			
a. Rotation converged in 4 iterations.			

این عامل به عوامل طبیعی و عواملی مانند جنس سنگ و جنس سازند برمی‌گردد. منشأ اصلی سدیم و کلر را می‌توان به آب باران نسبت داد. آب باران دارای سولفات و کلر است و در نتیجه واکنش با سنگ‌ها و ایجاد هوازدگی شیمیایی، عناصر سدیم و منیزیم و غیره را از سنگ‌ها می‌شوید و با خود حمل می‌کند. بنابراین منشأ تمامی این عناصر که موجب شده در یک مؤلفه قرار بگیرند، سنگ‌های منطقه و آب باران است. عامل سوم: عنصری که در عامل سوم قرار دارند، بیسموت و بور است که ۱۱/۷۹ درصد از کل واریانس را به خود اختصاص داده‌اند. این عناصر همبستگی معناداری با سایر عناصر ندارند و در تحلیل خوشه‌ای نیز در فاصله‌ای دورتر، با پارامترهای شیمیایی در عامل اول مرتبط است. عامل‌های استخراج‌شده در شکل ۴، گروه‌بندی عناصر و ارتباط آنها را با مؤلفه‌های اصلی به صورت سه‌بعدی به خوبی نشان می‌دهد.

#### ۴-۲- تحلیل خوشه‌ای

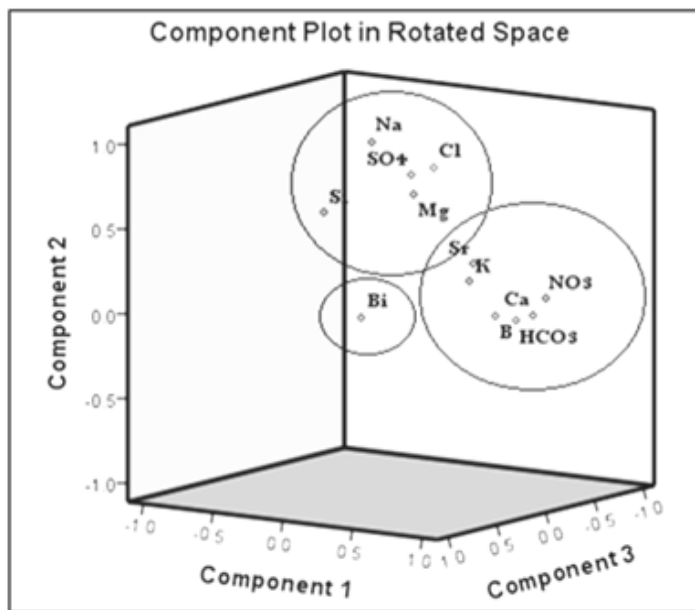
تحلیل خوشه‌ای شامل یک فرایند رده‌بندی غیرکنترلی برحسب اندازه‌گیری شباهت و یا فاصله در موارد موردنظر، به منظور خوشه‌بندی آنهاست. در این تحلیل می‌توان نمونه‌ها یا متغیرها را در رده‌هایی مشابه گروه‌بندی کرد. از این روش به منظور بررسی ارتباط ژئوشیمیایی و ویژگی‌های یکسان نمونه‌های آب و بررسی ارتباط بین عناصر استفاده شد. فواصل بین خوشه‌ها با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون مرتب شده‌اند. در یک قالب کلی می‌توان نمونه‌های آب را در سه‌گروه و چندین زیرگروه فرعی به شرح زیر تفکیک کرد. گروه اول شامل سه زیرگروه است: زیرگروه اول شامل عناصر منیزیم و سولفات است که در مرتبه بالاتری با عنصر استرانسیم همبستگی دارد که احتمالاً به دلیل جانشینی منیزیم و



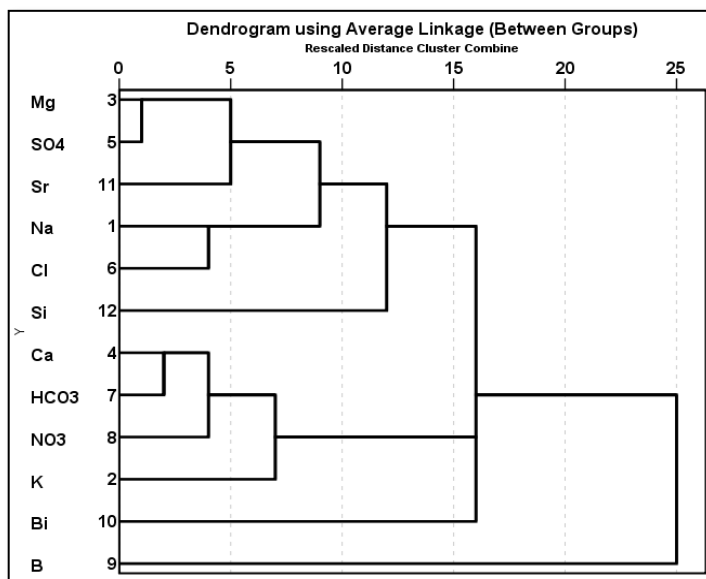
شکل ۳- هیستوگرام فراوانی عناصر

دارد و این عناصر با پتاسیم در مرتبه بالاتری همبستگی دارند. قرار گرفتن نیترات، پتاسیم و بیکربنات در یک گروه نشان می‌دهد، احتمالاً ناشی از آلودگی فاضلاب و ورود کودهای شیمیایی است. گروه سوم شامل عناصر بور و بیسموت است. بور که با همبستگی منفی در عامل سوم قرار گرفته است، با سایر عناصر ضعیف‌ترین همبستگی را دارد.

در زیرگروه دوم عناصر سدیم و کلر قرار گرفته که با درجه همبستگی بالا با زیرگروه اول در ارتباط است. سیلیسیم را با درجه همبستگی بالا با دو زیرگروه قبلی می‌توان در زیرگروه سوم در نظر گرفت. گروه دوم شامل عناصر کلسیم، بیکربنات است که با نیترات همبستگی



شکل ۴- نمودار سه‌بعدی آزمون مؤلفه‌های اصلی در نمونه‌های آب لاله‌زار



شکل ۵- تحلیل خوشه‌ای عناصر در نمونه‌های آب لاله‌زار

تعیین می‌کند. رایج‌ترین ضریب همبستگی مورد استفاده، ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) یا خطی است زیرا ارتباط خطی بین دو متغیر را تعیین می‌کند (دهقانی، ۱۳۸۹). با توجه به ضرایب همبستگی پیرسون نتایج زیر به دست آمد:  
 ۱- همبستگی مثبت و قوی بین EC و TDS دیده شد اما علت اینکه

#### ۳-۴- ماتریس همبستگی (Correlation Matrix)

برای تعیین روابط زمین‌شیمیایی بین عناصر از روش‌های آماری استفاده می‌شود. ضرایب همبستگی، میزان ارتباط بین دو متغیر پیوسته را

مناسب است. در ادامه، غلظت استرانسیم آورده شده است. در بررسی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌ها، با استفاده از داده‌های خلیلی مبرهن، (۱۳۹۰) مشخص شد که میانگین استرانسیم در گدازه‌های آندزیتی، داسیتی نسبت به عیار این عنصر در سنگ‌های حدواسط غنی‌شدگی نشان می‌دهد. بنابراین غلظت استرانسیم در آب انعکاسی از غلظت این عنصر در سنگ‌هاست. استرانسیم جزو عناصر خاص نهشته‌های تیخیری و کربناتی است. استرانسیم تنها فلز فرعی است که مقدار آن از حد تشخیص دستگاه بالاتر است. به دلیل کمیاب بودن داده‌های مرتبط با جذب و سمیت استرانسیم، سازمان جهانی بهداشت هیچ مقدار پیشنهادی برای جذب روزانه و حد استاندارد استرانسیم ارائه نکرده است؛ از این‌رو، مقایسه‌ای میان غلظت این عنصر در آب منطقه با آب آشامیدنی برخی کشورها انجام شد. بر این اساس غلظت استرانسیم در آب آشامیدنی کانادا ۰/۱۹ تا ۳/۲ میلی‌گرم در لیتر (Skoryna, 1981)، در نروژ ۱/۵ تا ۵۷۰ میکروگرم بر لیتر (Merian and et al., 2004) تغییر می‌کند و بنابراین غلظت این عنصر در آب را می‌توان در حد معمولی در نظر گرفت. نقشه هم‌غلظت استرانسیم در شکل ۶ نشان داده شده است. دامنه تغییرات استرانسیم بسیار کم (۱/۲۶) است بنابراین؛ مقدار این عنصر از حد مجاز هم پایین‌تر است. علت پایین بودن مقدار این عنصر به دلیل کمیاب بودن و تحرک کمتر آن نسبت به سایر عناصر است.

### نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که منشأ برخی عناصر، آب باران یا خاک است، اما در مجموع منبع مهم ورود کاتیون‌های اصلی، فلزات سنگین و سایر عناصر، هوازدگی و آبکافت سیلیکات‌ها و تغلیظ از راه تیخیر است. همچنین منبع مهم سدیم و کلر، آب باران فرض می‌شود. معمولاً در آب باران مناطق خشک، مانند منطقه مورد مطالعه، غلظت سولفات نیز می‌تواند بالا باشد. براساس تحلیل خوشه‌ای می‌توان عناصر را در سه گروه تقسیم‌بندی کرد. با توجه به سنگ‌شناسی غالب منطقه می‌توان گفت که سنگ‌های موجود در این منطقه، از مجموعه سنگ‌هایی به‌شمار می‌روند که تأثیر چندانی بر منابع آب زیرزمینی ندارد. بنابراین میزان آزادسازی عناصر بسیار پایین بوده و حتی پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه به‌دست آمده است. از سوی دیگر، بیشتر عناصر و پارامترها دارای توزیع نرمال هستند. تیپ آب در ابتدا و امتداد دشت بیکربناتی و در انتهای دشت به سولفاتی تغییر می‌کند. می‌توان گفت کیفیت منابع آب سطحی در ارتفاعات لاله‌زار و ابتدای ورود به دشت، خوب و سپس در امتداد دشت به تدریج کیفیت آن کاهش می‌یابد. پیشنهاد می‌شود با تجزیه ژئوشیمیایی رسوبات، درباره غلظت عناصر در رسوبات و همچنین مطالعه تخصصی خاک‌های منطقه و ارتباط بین آنها و آیخون‌های آب زیرزمینی نیز بحث شود تا بتوان دید بهتری از میزان کل ورود عناصر به آب و رفتارهای جذب و واجذب داشت. همچنین با توجه به اینکه مقادیر فلزات سنگین زیر حد تشخیص دستگاه است، برای تعیین دقیق مقادیر فلزات سنگین از روش‌های دقیق‌تر مانند ICP-MS استفاده شود.

ضریب همبستگی برابر با ۱، به‌دست آمده این است که TDS را از ضرب کردن EC در یک عدد ثابت به‌دست آورده‌اند. طبیعی است که با افزایش جامدات حل‌شده در آب، رسانایی افزایش یابد. TDS همچنین همبستگی قوی ( $r = 0.91$ ) با یون سولفات، کلر ( $r = 0.761$ )، منیزیم ( $r = 0.795$ )، گوگرد ( $r = 0.86$ ) و استرانسیم ( $r = 0.85$ )، پتاسیم ( $r = 0.67$ )، کلسیم ( $r = 0.63$ )، بیکربنات ( $r = 0.60$ ) و سدیم ( $r = 0.53$ ) در آب نشان داد. انحلال سیلیسیم در آب کم است به‌همین علت همبستگی معنی‌داری با TDS نشان نمی‌دهد. از سوی دیگر، EC نیز همبستگی قوی و مثبت با عناصر یادشده در بالا دارد که می‌تواند نشان‌دهنده نقش رسانایی در کنترل غلظت این عناصر باشد. با حرکت آب در جهت گرادیان هیدرولیک از منطقه تغذیه به سمت محل تخلیه، غلظت یون‌های اصلی و کل مواد جامد محلول، افزایش می‌یابد، برخی از یون‌ها به حد اشباع رسیده و رسوب می‌نمایند.

۲- یون بیکربنات با استرانسیم، نیترات، پتاسیم، کلسیم همبستگی مثبت و قوی دارد. غلظت یون پتاسیم دارای همبستگی کمی با دیگر یون‌هاست که دلیل آن منبع غیرمشترک طبیعی و ورود از طریق انحلال کودهای شیمیایی است. مقداری از یون سولفات نیز می‌تواند از همین طریق وارد آب‌های زیرزمینی شده باشد. غلظت یون نیترات نیز همبستگی زیادی با دیگر یون‌ها دارد که دلیل آن ورود از راه فاضلاب‌های خانگی و یا کودهای شیمیایی است. با بارش باران گازهای جوی مانند  $CO_2$ ، در آن حل می‌شود و با رسیدن به سطح زمین، با اجزای خاک‌ها و سنگ‌ها وارد واکنش می‌شود. بر اثر این واکنش‌ها ترکیب شیمیایی آب تغییر می‌کند (Appelo & Postma, 2005). بنابراین بخش عمده بیکربنات موجود که تعیین‌کننده تیپ آب است از این طریق حاصل شده است.

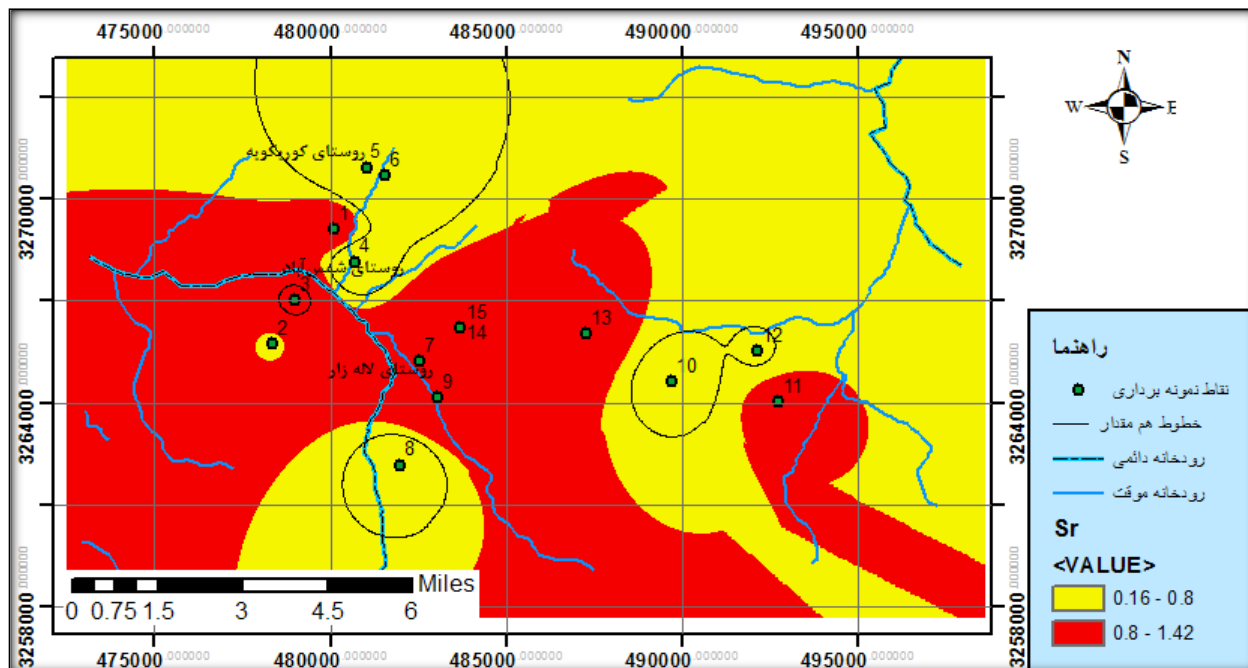
۳- pH همبستگی منفی معنی‌داری با کلسیم و بیکربنات دارد. انحلال کلسیم باعث افزایش pH می‌شود. همبستگی منفی pH با بیکربنات به علت تغییرات بسیار کم pH نمونه‌های آب است. همبستگی سایر عناصر با pH معنی‌دار نیست.

۴- همبستگی خوبی که بین EC و  $Na^+$  و  $Cl^-$  وجود دارد نشان‌دهنده این است که این دو یون عامل رسانایی الکتریکی هستند. همبستگی بین EC و  $Na^+$  برابر ۰/۵۳ و همبستگی بین EC و  $Cl^-$  برابر ۰/۷۶ است. همچنین همبستگی بین سدیم و کلر برابر ۰/۷۶ است که نشان‌دهنده منشأ یکسان برای هر دو عنصر است که احتمالاً آب باران است.

### ۵- بررسی غلظت عناصر فرعی و کمیاب در نمونه‌های آب

حد تشخیص دستگاه برای عناصر Cd, As, Al, Mo, Li, Ba, Zn, Ag, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, V, W, Y, Cu, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Ag پی‌پی‌ام بوده است که این عناصر در تمامی نمونه‌ها زیر حد تشخیص هستند. افزون بر این، غلظت این عناصر که با روش ICP-OES اندازه‌گیری شده، نسبت به استاندارد حفاظت محیط‌زیست آمریکا و سازمان جهانی بهداشت مقدار کمتری است. از این‌رو، کیفیت آب از نظر این فلزات سنگین





شکل ۶- نقشه هم‌غلظت استرانسیم

جدول ۳- ضریب همبستگی پارامترهای شیمیایی

Correlations

S	Ec	PH	TDS	Si	Sr	Bi	B	NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	K	Na	
.654	.536	.26	.537	.585	.142	.075	-.199	.025	-.122	.762	.717	-.109	.581	.141	1	Na
.408	.672	-.17	.671	.435	.694	.388	-.046	.515	.718	.353	.476	.682	.558	1		K
.917	.951	.001	.951	.550	.788	.430	-.324	.145	.458	.743	.917	.398	1			Mg
.298	.633	-.48	.632	-.219	.734	.186	.165	.817	.834	.247	.387	1				Ca
.975	.912	.02	.913	.485	.637	.281	-.303	.147	.247	.709	1					SO <sub>4</sub>
.682	.760	.01	.761	.364	.543	.309	-.094	.355	.313	1						Cl
.165	.603	-.49	.602	.010	.785	.321	.126	.738	1							HCO <sub>3</sub>
.006	.405	-.27	.405	-.272	.478	-.005	.356	1								NO <sub>3</sub>
-.350	-.194	-.300	-.194	-.458	-.206	-.474	1									B
.280	.383	-.323	.382	.213	.326	1										Bi
.635	.858	-.361	.857	.274	1											Sr
.481	.392	.446	.393	1												Si
.876	1.000	-.155	1													TDS
.216	-.156	1														PH
.876	1															Ec
1																S

## مراجع

- Hillel, D., 1980, "Fundamentals of Soil Physics", *Academic Press, New Yor, P.413*.
- Hosono, T., Ikawa, R., Shimada, J., Nakano, T., Saito, M., Onodera, S., Lee, K. & Taniguchi, M., 2009, "Human impacts on groundwater flow and contamination deduced by multiple isotopes in Seoul City", *South Korea, Science of The Total Environment, 407: P.3189-3197*.
- Hounslow, A.W., 1995, "water qulity data s:Analysis and Interpretation", *Lewis Publishers, P.397*.
- Jiang, Y., Wue, Y., Groves, C., Yuan, D. & Kambesis, P., 2009, "Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in the Nandong karst underground river system in Yunan, China", *Journal of Contaminant Hydrology, 109: P.49-61*.
- Kumar, S. K., Rammohan, V., Sahayam, J. D. & Jeevanandam, M., 2009, "Assessment of groundwater quality and hydrogeochemistry of Manimuktha River basin, Tamil Nadu, India", *Environ. Monit. Assess, 159: P.341-351*.
- Lorite-Herrera, M. & Jime'nez-Espinosa, R., 2008, "Impact of agricultural activity and geologic controls on groundwater quality of the alluvialaquifer of the Guadalquivir River (province of Jae'n, Spain): a case study", *Environ. Geol., 54: P.1391-1402*.
- Mason, B. H. & Moore, C. B., 1982, "Principles of geochemistry", *Wiley, P.344*.
- Merian, E., Anke, M. & Stopler, M., 2004, "Element and thire compound in the environment", *Wiley-VCH GMBH & CO.KGA, Weinheim, Second Edition, P.976*.
- Miller, N. J. & Miller, J. C., 2000, "Statistics and chemometrics for analytical chemistry (4th. ed.)", *Pearson Education, Englewood Cliffs, New Jerse, P.288*.
- Rouabhia, A., Fehdi, Ch., Baali, F., Djabri, L. & Rouabhi, R., 2009, "Impact of human activities on quality and geochemistry of groundwater in the Merdja area, Tebessa, Algeria", *Environ. Geol., 56:P.1259-126*.
- Skoryna, S.C., 1981, "Effects of oral supplementation with stable strontium", *Can Med Assoc, 125: P.703-71*.
- خلیلی مبرهن، ش.، ۱۳۹۰، "آتش‌فشان‌شناسی، ژئوشیمی و پتروژنز آتش‌فشان بیدخوان واقع در جنوب بردسیر- استان کرمان" رساله‌ی دکترا، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۶۵ صفحه.
- درویش‌زاده، ع.، ۱۳۶۰، "اصول آتشفشان‌شناسی" ۳۴۲ صفحه.
- دهقانی، ش.، ۱۳۸۹، "تعیین غلظت عناصر کمیاب در خاک و گیاهان اطراف معدن مس میدوک با تأکید بر توزیع پراکندگی گیاهان در اطراف معدن" پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، ۱۰۲ صفحه.
- رضایی‌نژاد، ا.، ۱۳۹۰، "مطالعه پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز گرانیتوئیدهای منطقه لاله‌زار بردسیر (استان کرمان)" پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی گرایش پتروژنی، دانشگاه آزاد خوراسگان، ۸۵ صفحه.
- سازمان جغرافیایی وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، ۱۳۸۲، "فرهنگ جغرافیایی آبادی‌های استان کرمان، شهرستان بردسیر" صفحات ۵-۳۰.
- محمدی، م.، ۱۳۸۶، "پتروژنی و بررسی محیط تشکیل سنگ‌های آتش‌فشانی و آتش‌فشانی رسوبی مجموعه سنگ صیاد واقع در جنوب شرق شهرستان بردسیر" پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، صفحات ۱۲-۲۴.
- Appelo, C. A. S. & Postma, D., 2005, "Geochemistry , Groundwater and pollution", *Second Edition, A. BALKEMA Publishers, P. 237*.
- Borůvka, L., Vacek, O. & Jehlicka, J., 2005, "Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils", *Geoderma., Vol. 128, P. 289-300*.
- Botkin, D. & E.A., Keller., 2003, "Environmental science, Earth as a living planet", *4th ed, John Willey, P.668*.
- Chebotarev, I.I., 1955, "Metamorphism of natural waters in the crust of wethering", *Geochemica Cosmochemica Acta P.822-48*.
- Dimitrijevic MD., 1973, "Geology of Kerman Region", *G. S. A. Rep. No Yu52, P.334*.