

## ارزیابی آلودگی فلزات سنگین و عناصر کمیاب در فصل‌های تر و خشک آب زیرزمینی شمال بروجرد، لرستان - ایران

منوچهر چیت‌سازان<sup>۱</sup>، غلامرضا میرزاوند<sup>۲\*</sup>، عادل ساکی<sup>۳</sup>

۱. استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. دانشجوی دکترای هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۸/۱۴؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۰/۲۰)

### چکیده

با توجه به آلودگی فزاینده منابع آب و اهمیت پایش مداوم آنها، در این تحقیق نسبت به بررسی جامع عناصر کمیاب و فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی دشت اشترینان در محدوده شمال بروجرد، به منظور بررسی تأثیر هوازدگی کانی‌ها، فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی اقدام شد. نمونه‌های آب زیرزمینی از ۱۰ حلقه چاه، پنج دهانه قنات و یک چشمه در دو فصل تر و خشک جمع‌آوری شدند. سپس با استفاده از طیف‌سنج جرمی آنالیز و بیشترین سطح آلاینده‌گی توسط سازمان بهداشت جهانی مقایسه شدند. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان داد از تعداد ۶۳ عنصر اندازه‌گیری شده، میزان بیشترین غلظت آهن، منیزیم، سرب، استرانسیم و وانادیم به ترتیب ۰/۴، ۳۶/۳، ۶۲/۹، ۰/۸۹، ۱۹۵/۵ و بیشتر از سطح مجاز است. بررسی میزان عنصر سرب، بر و آهن در آب زیرزمینی در محدوده مطالعه شده نشان می‌دهد غلظت این عناصر از شرق و غرب دشت به سمت مرکز در حال افزایش است. همچنین سطوح افزایشی غلظت Sr در آب زیرزمینی بیشتر ناشی از فرایندهایی همچون هوازدگی کانی‌هایی مانند فلدسپات‌های مربوط به گرانیت‌ها و گرانودیوریت‌های شرق دشت تشخیص داده شد. از موارد محتمل آلاینده‌گی می‌توان به موتورهای دیزلی چاه‌های آب در منطقه، چاه‌های دهانه‌گشاد متروک، صنایع فولاد آلیاژی در ورودی شمالی دشت و فعالیت‌های معدن‌کاری اشاره کرد که از پتانسیل‌های آلاینده‌گی فلزات سنگین در آب زیرزمینی و تهدیدی برای محیط زیست منطقه است. با استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی، سه عامل اصلی در تعیین کیفیت هیدروشیمیایی عبارت‌اند از تأثیر یون‌های اصلی، عناصر کمیاب و فلزات سنگین که در مجموع نزدیک به ۶۸ درصد واریانس عوامل را به خود اختصاص داده‌اند.

**کلیدواژگان:** آب زیرزمینی، آلودگی، تحلیل مؤلفه اصلی، عناصر کمیاب، فلزات سنگین.

## مقدمه

رشد فرایندهای صنعتی به همراه رشد جمعیت به افزایش منابع آب به‌ویژه آب‌های زیرزمینی منجر شده است. این افزایش برداشت بی‌رویه به همراه عوامل آلاینده، محیط زیست بشر را با خطر مواجه ساخته است [۱]. در این بین، آبخوان‌های زیرزمینی از مهم‌ترین منابعی هستند که در معرض آلودگی‌ها قرار می‌گیرند [۲]. تأثیر فلزات سنگین در آلودگی منابع تجدیدپذیر حیاتی است و در کانون توجه محققان در تحقیقات سال‌های اخیر است، زیرا در غلظت‌های بسیار کم هم ایجاد آلودگی و مسمومیت می‌کنند. فلزات سنگین عناصر شیمیایی هستند که وزن اتمی آنها بین ۶۳/۵۴۶ تا ۲۰۰/۵۹ و وزن مخصوصی بیشتر از ۴ دارند و حضور آنها در آب می‌تواند به اشکال کلوئیدی، ذره‌ای و یا فازهای انحلالی باشد. وجود آنها می‌تواند از رخدادهای طبیعی (مانند فرسایش کانی‌های درون رسوبات، آب‌سویی از نهشته‌های کانی و یا خروج آتشفشانی) و یا بشرزاد (مانند دفع زباله‌ها، فضولات خانگی و صنعتی و غیره) باشد [۳]. فلزات سنگین به‌طور طبیعی، ذاتاً خطر چندانی برای محیط زیست و سلامت انسان ندارند و می‌توان گفت که مقدار محدود از این عناصر همچون کبالت، مس، منگنز و آهن در غلظت‌های کم به‌عنوان کاتالیست برای فعالیت آنزیم‌ها در بدن انسان ضروری‌اند. در شرایطی که مقدار این فلزات از محدوده طبیعی خارج شود، می‌توان انتظار تأثیرات فیزیولوژیکی آنها را روی اندام‌های انسان به‌واسطه سمی بودن آنها، داشت [۴]. کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی در هر مکان به‌وسیله محیطی تعیین می‌شود که آب از عبور می‌کند. بنابراین، فلزات سنگین از طریق زباله‌های صنعتی، ترافیکی، زباله‌های شهری، مکان زباله‌های خطرناک و همین‌طور کاربرد غیراصولی نهاده‌های کشاورزی و نشت ناگهانی مواد نفتی از مخازن به آب زیرزمینی وارد می‌شود که تداوم این موارد به زیاده‌شدن غلظت عناصر یادشده و در نتیجه آلودگی آب‌های زیرزمینی منجر می‌شود.

دشت اشترینان در محدوده شمال حوضه آبریز بروجرد با وسعت تقریبی ۳۸۹ کیلومتر مربع توسط دو زون ساختاری متفاوت از شرق و غرب احاطه شده است. آب زیرزمینی به‌عنوان منبع اصلی تأمین‌کننده آب در بخش‌های صنعت، کشاورزی و خانگی از طریق برداشت از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها صورت می‌گیرد. وجود پتانسیل‌های آلودگی در این منطقه، نبود مطالعات مطلوب و جامع و همچنین آلودگی در

دشت‌های مجاور ضرورت انجام این تحقیق را بیش از پیش افزایش داده است [۵-۱۰]. انجام مطالعات آب زیرزمینی و بررسی هیدروشیمیایی در حوضه‌های بالادست همچون ملایر و همدان و همین‌طور در حوضه پایین‌دست مانند بروجرد و درود، آلودگی این منابع به فلزات سنگین را نشان می‌داد. با توجه به اینکه در این زمینه در زیرحوضه یادشده تا کنون مطالعه جامعی صورت نپذیرفته بود، بنابراین این ضرورت احساس شد تا ضمن مطالعه این جنبه از آلودگی‌ها، به ارتباط بین روند آلودگی از منشأهای مختلف پرداخته شود. در ایران، مقادیر فلزات سنگین در رواناب جاده‌ای و گیاهان مطالعه شده است که در برخی از این مطالعات، فلزات سنگین در گیاهان جمع‌آوری شده در بزرگراه‌ها اندازه‌گیری شده است [۱۱ و ۱۲] که می‌تواند در تفسیر داده‌های جمع‌آوری شده در دشت اشترینان کمک‌کننده باشد. در این تحقیق با مطالعه هم‌زمان آلودگی‌های ناشی از فلزات سنگین و نیز اندازه‌گیری عناصر کمیاب با دقت زیاد توسط آنالیز ICP-MS و همچنین توزیع مکانی غلظت این عناصر و منشأ احتمالی آلاینده‌ها با استفاده از روابط آماری و همبستگی بین عناصر سعی شده تا با ارزیابی جامع کیفی منابع آب‌های زیرزمینی دشت اشترینان وضعیت کنونی آن به‌طور کامل بررسی شود و با استفاده از تحلیل عامل اصلی مؤلفه‌های ترکیب آب زیرزمینی مرتبط با دو زون ساختاری سنندج-سیرجان و زاگرس که تا کنون مطالعه نشده، شناسایی شده و پایش منشأ بالقوه آلاینده‌ها در آینده سهولت یابد.

## مواد و روش‌ها

## زمین‌شناسی منطقه مطالعه‌شده

دشت اشترینان یک زیرحوضه کوچک در شمال استان لرستان و در گوشه شمالی حوضه آبریز بروجرد است (شکل ۱). این ناحیه بین دو زون ساختاری سنندج-سیرجان در شرق و زاگرس در غرب واقع شده و از هر دوی آنها تأثیر پذیرفته است. این دشت با وسعتی برابر ۳۸۹ کیلومتر مربع بین ۳۳-۵۶ تا ۰۳-۳۴ شمالی و ۴۸-۵۶ تا ۰۷-۴۹ شرقی قرار گرفته و به‌طور متوسط ۱۶۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد و میانگین بارش سالانه در محدوده مطالعه‌شده حدود ۴۶۴ میلی‌متر است [۱۳].

ارتفاعات شمال غرب بیشتر از سنگ آهک، مارن، ماسه‌سنگ و کنگلومرا تشکیل شده که سن آنها میوسن است.

اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (Ec)، دما (T)، پتانسیل احیا (Eh) و اکسیژن محلول (Do) در محل توسط یک سنجنده قابل حمل (Hach-HQ40d, USA) و کالری‌متر Hach-890 اندازه‌گیری شده است (جدول ۱).

در نمونه‌های اسیدی‌شده، توسط طیف‌سنج جرمی جفت‌شده القایی (ICP-MS, HP-4500) تعداد ۶۳ عنصر اندازه‌گیری شده و آنیون‌ها به وسیله دستگاه کروماتوگرافی یونی اندازه‌گیری شده‌اند. برای ترسیم نقشه‌های توزیع مکانی در آب زیرزمینی از نرم‌افزار Arc GIS 9.3 استفاده شده و آمار توصیفی و ضرایب همبستگی و تحلیل چندمتغیره با استفاده از نرم‌افزار SPSS 19 استخراج شده است.

#### تحلیل مؤلفه اصلی (Principal Component Analysis)

در سال‌های اخیر روش‌های آماری چندمتغیره در تحلیل‌های مهم زیست‌محیطی به‌طور گسترده‌ای استفاده شده‌اند. اخیراً در تحلیل داده‌های کیفی آب، استفاده از روش‌های PCA برای کاهش تعداد متغیرها و تفسیر بهتر نتایج به‌دست‌آمده از آنها رواج یافته است. زمانی که داده‌ها، حاصل از تعداد زیادی متغیر و منابع تغییر (ایستگاه یا دوره) باشند، یکی از روش‌های اصلی در تحقیق و تحلیل دقیق داده‌ها با توجه به در نظر گرفتن رابطه بین آنها استفاده از روش‌های چندمتغیره کاهش داده‌هاست. یکی از این روش‌های رایج، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) است؛ با هدف اینکه چند مؤلفه اصلی را به‌عنوان ملاک تشخیص تهیه کنیم. با توجه به اینکه مؤلفه‌ها به‌صورت تجمعی تقریباً ۱۰۰ درصد تغییرات یا واریانس موجود بین منابع تغییر (مثلاً ایستگاه‌ها) ناشی از تغییرات متغیرهای اصلی را توجیه می‌کنند و بدون اینکه اطلاعات زیادی از دست بدهیم، آنها را به‌جای متغیرهای اصلی در تجزیه و تحلیل‌های بعدی به‌کار بریم. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی یک ابزار بسیار قدرتمند آماری در کارهای مدیریتی مانند مسائل مدیریت کیفی و کمی منابع آب است [۱۹-۲۲].

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی تشریح مجموعه‌ای از داده‌های هم‌بسته در قالب مجموعه‌ای از متغیرهای غیرهم‌بسته است که ترکیب خطی از متغیرهای اصلی هستند. به این ترکیب‌های خطی غیرهم‌بسته مؤلفه هم گفته می‌شود.

در شرق و شمال شرق، سنگ‌های آذرین ژوراسیک و کرتاسه مشتمل بر گرانیت، گرانودیوریت و همچنین سنگ‌های دگرگونی مانند شیست، گنایس و هورنفلس است. رخنمون تشکیلات آهکی نزدیک زاگرس با درزه‌های توسعه‌یافته و چشمه‌های پرآب بوده است در حالی که رخنمون تشکیلات آذرین و دگرگونی دبی کمتری را نشان می‌دهد. منطقه دگرگونی سنندج-سیرجان چشم‌انداز تپه‌ماهوری دارد اما گاهی تزریق سنگ‌های نفوذی در میان آنها سبب به‌وجود آمدن مرفولوژی خشن‌تر شده است. شکل ظاهری زاگرس در غرب و جنوب غربی یک کمربند چین‌خورده با ارتفاع زیاد است. نقشه زمین‌شناسی منطقه در دشت اشترینان نشان می‌دهد در آن هجده واحد لیتولوژیکی عبارت‌اند از: نهشته‌های عهد حاضر، هورنفلس، کفه‌های رسی، گرانیت، گرانودیوریت، سنگ آهک، مارن، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، شیست لکه‌دار، دولومیت، فیلیت، ماسه‌سنگ دگرگون‌شده، آمیزه‌های رنگین و تراس‌های آبرفتی قدیم و جدید [۱۴-۱۷]. این مقاله تلاش دارد تا تأثیر احتمالی این سنگ‌ها و سازندهای یادشده را با ذکر شواهد ژئوشیمیایی و همچنین پارامترهای اندازه‌گیری‌شده صحرائی و به‌دنبال آن تحلیل‌های آماری چندمتغیره، نشان دهد.

#### نمونه‌برداری

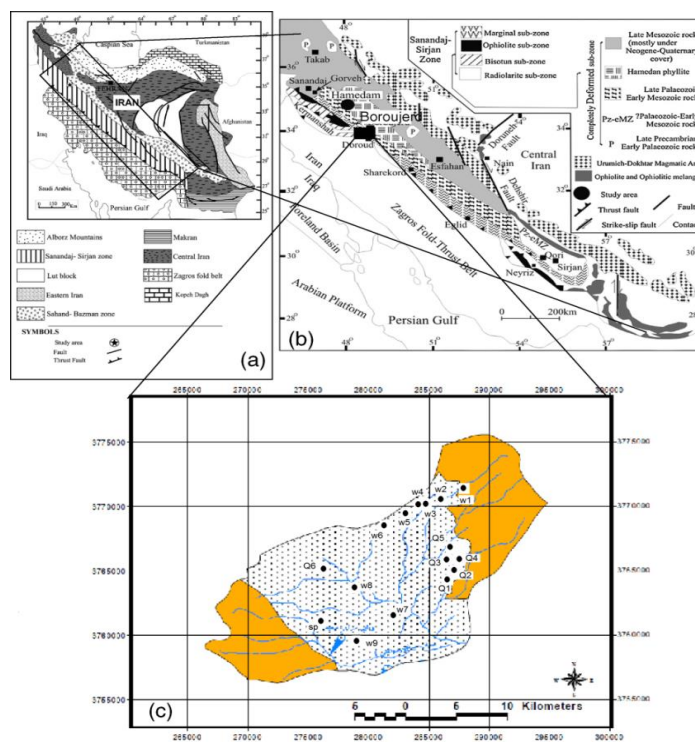
در این مطالعه در مجموع ۳۲ نمونه از منابع مختلف (چاه، قنات و چشمه) در دشت اشترینان برای پوشش و توزیع مناسب آنها در محدوده مطالعه‌شده برداشت شده است. در خلال نمونه‌گیری همه موارد احتیاط مطابق با دستورالعمل‌های استاندارد رعایت شده تا از هرگونه آلودگی احتمالی نمونه‌ها دوری شود. نمونه‌های آب زیرزمینی از چاه‌ها بعد از ۱۰ تا ۱۵ دقیقه از شروع پمپاژ برای تازه‌بودن آب، برداشت شده و در بطری‌های پلی‌اتیلن فشرده (HDPE) ریخته شده‌اند. قبل از استفاده، بطری‌ها با آب مقطر شسته شده‌اند و نمونه‌ها از فیلتر سلولزی ۰/۴۵ میکرون عبور داده شده‌اند. برای جلوگیری از رسوب فلزات و رشد بیولوژیک، چند قطره اسیدنیتریک غلیظ به نمونه‌ها اضافه شده تا pH محلول به حدود ۲ برسد [۱۸]. سپس نمونه‌ها به‌سرعت تحت شرایط استاندارد دما برای آنالیز به آزمایشگاه فرستاده شده‌اند. فاکتورهای همچون

2. Electric conductivity  
3. Redox potential  
4. Dissolved oxygen

1. High density polyethylene

تغییرات یا واریانس بین منابع تغییر را توجیه می‌کند و مؤلفه دوم در مرتبه بعد و... در این حالت تنوع موجود بین منابع تغییر (مثلاً ایستگاه‌ها) می‌تواند توسط تعداد کمی از مؤلفه‌های اصلی با برخورداری از واریانس‌های شایان توجه توجیه شود [۲۳-۲۵].

در این روش P متغیر (پارامترهای کیفی) براساس ساختار ماتریس واریانس- کوواریانس و یا ماتریس ضرایب همبستگی در قالب q مؤلفه مستقل و متعامد بیان می‌شوند که عدم همبستگی مؤلفه‌های اصلی بیانگر این مطلب است که آنها جنبه‌های متفاوتی از داده‌ها را توصیف می‌کنند. مؤلفه‌ها طوری به دست می‌آیند که اولین مؤلفه بیشترین میزان از



شکل ۱. نقشه محدوده مطالعاتی دشت اشترینان

جدول ۱. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری به همراه اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی

ردیف	نام محل	منبع	X	Y	Z	Ph	Eh	T	EC	Do
۱	دره گرم	قنات	۲۸۸۱۳۴	۳۷۶۵۱۰۳	۱۸۴۴	۸/۱۱	-۲۷/۲	۱۴/۹	۵۵۷	۷/۸۲
۲	ده ترکان	قنات	۲۸۹۴۲۴	۳۷۶۶۵۰۶	۱۹۲۵	۸/۱۴	-۲۴/۵	۱۴/۷	۵۳۵	۷/۸۵
۳	دعویی	قنات	۲۸۹۴۸۸	۳۷۶۸۱۶۶	۱۹۷۲	۸/۱۶	-۳۲/۴	۱۳/۴	۴۸۰	۷/۸۴
۴	قورچعلی	قنات	۲۹۰۵۵۲	۳۷۶۹۷۳۱	۲۰۷۴	۸/۱۹	-۳۷/۳	۱۴/۵	۲۶۹	۷/۵۵
۵	احمدی	قنات	۲۹۱۳۸۲	۳۷۶۸۳۳۴	۱۹۸۱	۸/۱۲	-۲۹	۱۵/۱	۳۸۱	۷/۴۵
۶	بیاتان	چاه	۲۸۹۷۴۹	۳۷۷۴۳۷۰	۲۱۶۴	۷/۶۶	-۲۹	۱۴/۷	۵۷۲	۶/۸۲
۷	یوسف‌علی	چاه	۲۸۳۸۴۰	۳۷۷۲۹۷۸	۱۹۱۴	۷/۸۸	-۳۲/۱	۱۶/۲	۴۰۲	۷/۴۲
۸	محمودی	چاه	۲۸۵۷۹۲	۳۷۷۳۳۸۷	۱۹۶۹	۷/۸۱	-۲۷/۱	۱۵/۹	۴۲۶	۷/۴۲
۹	سنگ‌شکن	چاه	۲۸۳۲۶۶	۳۷۷۲۵۶۴	۱۹۲۲	۷/۸۴	-۳۹/۷	۱۸/۲	۴۱۳	۷/۵۴
۱۰	دهریز	چاه	۲۸۱۸۸۷	۳۷۷۳۰۴۰	۱۹۰۶	۸/۹۹	-۴۷/۶	۱۷/۳	۵۱۱	۷/۵۸
۱۱	رضاآباد	چاه	۲۸۰۰۵۱	۳۷۷۱۳۳۸	۱۸۶۲	۷/۷	-۲۷/۷	۱۸/۳	۶۲۹	۷/۵۱
۱۲	توده زن	چاه	۲۸۱۸۸۶۵	۳۷۶۱۸۴۰	۱۷۲۹	۷/۶۲	-۲۹/۳	۱۹/۷	۱۰۸۵	۷/۲۶
۱۳	قائدطاهر	قنات	۲۷۶۲۰۱	۳۷۶۴۷۶۰	۱۸۰۷	۷/۳۴	-۱۲/۱	۱۴/۵	۳۵۰	۸/۴
۱۴	چهاربره	چاه	۲۷۹۰۱۱	۳۷۶۳۴۵۵	۱۷۴۹	۷/۳	-۸/۴	۱۴/۹	۵۹۵	۹/۹۳
۱۵	بن دیزه	چاه	۲۷۸۴۴۴	۳۷۵۹۴۹۷	۱۷۶۸	۷/۸۲	-۳۸/۲	۱۸/۷	۴۲۴	۶/۳۳
۱۶	کرتیل	چشمه	۲۷۵۸۹۰	۳۷۶۰۵۸۹	۱۸۳۸	۸	-۷۸	۱۱/۵	۲۴۱	۸/۸

## بحث و نتایج

### منابع فلزات سنگین و عناصر کمیاب در محدوده مطالعه‌شده

عناصر کمیاب و فلزات سنگین در محیط‌های زیرسطحی ناشی از عوامل طبیعی و منابع انسانی هستند. در این ناحیه فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی محتمل‌ترین منابع اصلی آلودگی هستند. شاخص‌های اصلی در این منطقه عبارت‌اند از منشأ سنگی، فعالیت کشاورزی، مناطق توسعه‌یافته و شهری، نبود سیستم زهکشی مناسب، ترافیک زیاد، صنایع و موتورهای دیزلی.

وسایط نقلیه موتوری به‌نظر می‌رسد که در آلودگی در جاده‌ها سهیم باشند. مواد آلاینده روی سطوح جاده و محیط اطراف انباشته و سپس به‌وسیله رواناب شسته و در نهایت جمع می‌شوند و به درون آبخوان نفوذ می‌کنند. این آلاینده‌ها شامل فلزات سنگین و مواد شیمیایی آلی هستند [۲۶-۲۸]. در دشت اشرینان از مجموع ۱۴۴ حلقه چاه فعال بهره‌برداری آب زیرزمینی، تعداد ۸۸ حلقه توسط موتور دیزلی کار می‌کنند و همچنین چاه‌های دهانه‌گشاد زیادی که در منطقه حفاری و رها شده‌اند و می‌توانند عامل انتقال آسان آلودگی به سطوح زیرین باشند. در ضمن، در حفاری و نگهداری این چاه‌ها هیچ‌گونه نظارت بهداشتی وجود ندارد که در بازدیدهای صحرائی تعدادی از این چاه‌ها مشاهده شد.

بازدید از فعالیت‌های صنعتی مانند کارخانه فولاد آلیاژی به‌ویژه در منطقه شمال دشت اشرینان که مواد زائد آن در سطح زمین رها شده‌اند، می‌تواند منشأ احتمالی آلودگی‌ها نظیر فلزات سنگین و عناصر کمیاب باشند و محیط زیست و آب زیرزمینی را تهدید کنند. مطابق یافته‌های این تحقیق، بسیاری از نمونه‌های آب زیرزمینی برای مصرف کشاورزی و آشامیدن مناسب هستند، ولی غلظت Pb، Fe، Mg، V، Sr در برخی نمونه‌ها بیشتر از سطح مجاز است که می‌توان آنها را به عوامل انسانی و فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و عوامل طبیعی مانند هوازگی نسبت داد. استخراج و مقایسه مقادیر حداکثر مجاز با استانداردهای مجاز [۲۹] صورت پذیرفته و به‌صورت نقشه‌های توزیعی آورده شده است.

### توزیع عناصر کمیاب و فلزات سنگین در آب زیرزمینی دشت اشرینان

هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی آلودگی آب زیرزمینی

توسط عناصر کمیاب و فلزات سنگین است. نمونه‌های آب زیرزمینی در چشمه‌ها و منابع مجاور دامنه‌های کوهستانی با مناطق کشاورزی، شهری و صنعتی قابل مقایسه و عاری از عوامل و تأثیرات انسانی است. بنابراین، می‌توانند معیار ارزیابی آلاینده‌های فلزی و عناصر کمیاب در آب زیرزمینی استفاده شوند. در جدول ۲ خلاصه آماری از غلظت‌ها در فصول تر و خشک نشان داده شده است. مطابق نتایج آنالیزها، نمونه‌های آب زیرزمینی جمع‌آوری‌شده در دامنه‌های زاگرس و در منطقه سنندج- سیرجان اندکی اکسیژن محلول (Do) بیشتر از نواحی توسعه‌یافته شهری در هر دو فصل تر و خشک نشان می‌دهند. بیشتر نمونه‌های آب زیرزمینی در محدوده مطالعه‌شده pH بین ۷ تا ۸/۲ داشته و حالت اکسیدی (Do) بیشتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر) دارند. تحلیل آماری نشان می‌دهد در هر دو فصل نمونه‌گیری غلظت عناصر با اکسیژن محلول (Do) همبستگی منفی نشان می‌دهد. مقدار اکسیژن محلول در نواحی غرب مربوط به سنگ‌های آهکی زاگرس نسبت به نواحی دگرگونی و آذرین مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد که می‌توان آن را به سنگ‌های آهکی با درز و شکاف زیاد نسبت داد که همین عامل یعنی نزدیکی به محل تغذیه سبب کمترشدن غلظت عناصر می‌شود و همبستگی منفی با اکسیژن را توجیه می‌کند. توزیع فلزات و عناصر سنگین در دامنه‌های پایین‌دست با اندرکنش آب و سنگ تعدیل شده است، اما در نواحی مرکزی دشت، غلظت متوسط این عناصر نسبت به اطراف و مناطق بالادست، مقادیر بیشتری نشان می‌دهند.

نمونه‌های آب زیرزمینی در نواحی مرکزی دشت و مناطق کشاورزی (W4, W5, W8) حاوی مقادیر نسبتاً زیاد Fe و Pb است که دلایل مختلفی را می‌توان برای آنها در نظر گرفت که یکی از آنها شرایط رداکس است. غلظت آهن با pH همبستگی مثبت نشان می‌دهد و برای سایر فلزات سنگین اندازه‌گیری‌شده همبستگی منفی است (جدول ۳). فرسایش و دگرسانی سنگ‌های زون سنندج- سیرجان در منطقه می‌تواند سبب افزایش و انحلال آهن در آب زیرزمینی شود و افزایش pH با مقادیر آهن سبب ایجاد همبستگی مثبت شده است.

غیر از فرایندهای طبیعی، عوامل انسانی می‌توانند در زیادشدن غلظت برخی عناصر مانند آهن و سرب مؤثر باشند. در شمال دشت یک کارخانه فولاد آلیاژی قرار دارد

است. هوازدگی شیب‌ها و هورنفلس‌های زون سنندج-سیرجان سبب آشوبی منیزیم به درون آب‌های زیرزمینی می‌شود (شکل ۲- و). غلظت باریم (Ba) از ۳ تا ۱۳۳ ppm متغیر است. کمترین غلظت باریم در نمونه (Sp1) است در حالی که بیشترین غلظت در چاه W9 مشاهده شده است (شکل ۲- ج). تفاوت برخی عناصر بین چشمه کرتیل و منابع آب مجاور آن را می‌توان به شرایط هیدروژئولوژیکی بین سازندهای آهکی و چگونگی تغذیه از آنها نسبت داد. مقدار عنصر انتیموان (Sb) به جز در نمونه Q1 با غلظت ۵/۱ ppb که تحت تأثیر هوازدگی شیب‌ها و هورنفلس‌هاست، در نمونه دیگری یافت نشده است. غلظت وانادیم (V) بین ۷۹ تا ۱۹۶ ppb است که بیشترین آن در جنوب غرب است. غلظت استرانسیم (Sr) بین ۱۲۰ تا ۸۹۰ ppb با میانگین ۵۷۸ است که در نمونه‌های نزدیک به زون سنندج-سیرجان بیشتر از نمونه‌های مجاور سنگ‌های آهکی است که می‌تواند ناشی از منابع طبیعی همچون هوازدگی فلدسپات‌های پلاژیوکلازدار موجود در سنگ‌های آذرین گرانیتی و گرانودیوریتی باشد (شکل‌های ۲- د و ۲- ه).

که پتانسیل رهاسازی عوامل آلاینده را دارد و متأسفانه در بازدید صورت گرفته بدون هیچ‌گونه کنترل و پایش در دشت، پساب آن رها می‌شود. همچنین در نمونه‌گیری از کارخانه خودروسازی پروتون در میانه دشت آلودگی به عنصر آهن را تأیید کرده است. شکل‌های (۲- الف) و (۲- ب) توزیع مکانی Fe و Pb با استفاده از درون‌یابی در محیط GIS را نشان می‌دهند.

غلظت سرب در آب زیرزمینی ممکن است ناشی از ورود آلاینده‌های صنعتی، فاضلاب‌های خانگی و رواناب‌های کشاورزی حاوی کودهای فسفاته و یا فضولات حیوانی و انسانی باشد. بیماری‌های مختلفی بر اثر حضور بیش از حد عنصر سرب در آب زیرزمینی ظاهر شود که از آن جمله می‌توان به حساسیت‌ها، فعالیت بیش از حد، آبریزش، نبود تمرکز، بی‌حسی، سرگیجه، کاهش وزن و صرع اشاره کرد [۳۱-۳۳]. نمونه (W9) بیشترین غلظت سرب در محدوده مطالعه شده را دارد.

مقدار عنصر منیزیم در نمونه‌های Q1 و Q2 مقادیر زیادی است که مربوط به قنات‌های دره‌گرم و دره‌گرگ

جدول ۲. تغییرات فصلی غلظت عناصر کمیاب در منابع آب زیرزمینی دشت اشترینان (ppb)

عناصر	فصل خشک					فصل تر				
	کمیانه	میانگین	بیشینه	انحراف معیار	ضریب تغییرات	کمیانه	میانگین	بیشینه	انحراف معیار	ضریب تغییرات
As	۲/۹	۳/۸۳	۵/۶	۰/۸۳	۰/۶۸۹	۱/۹	۳/۵۶	۶/۱	۱/۱	۰/۸۴۵
Ba	۳/۲	۳۶/۶۶	۱۳۴/۴	۲۹/۴۶	۱۶/۸۳	۱/۲	۳۵/۰۶	۱۲۱/۹	۲۷/۳۳	۱۶/۹۱
Zn	۷/۵	۱۲/۵۳	۲۰/۱	۶/۶۷	۵/۰۴	۶/۲	۱۲	۱۸/۸	۶/۳۵	۰/۵۳
Sr	۰/۱۲	۰/۵۵	۰/۸۹	۰/۲۱۱	۰/۱۷۱	۰/۰۹	۰/۵۷۸	۰/۹۳	۰/۲۲۸	۰/۱۸
V	۸۵/۸	۱۴۱/۶	۱۹۵/۵	۳۱/۸	۲۵/۹	۷۹/۳	۱۳۴/۴	۱۸۲/۳	۳۰/۶۶	۲۷/۰۷
Pb	۳۰/۶	۴۳/۷۲	۶۲/۹	۹/۷	۸/۰۱	۲۵/۲	۲۵/۴۳	۴۷/۱	۷/۰۳	۵/۵
Mg (ppm)	۶/۹	۱۶/۳۳	۳۶/۳	۸/۴۳	۶/۴۹	۵/۶	۱۵/۱۷	۲۶/۶	۵/۳۶	۵/۱۱
Ni	۱۱	۱۳/۸۱	۲۰	۲/۷۱	۲/۱۶	۹	۱۳/۳۱	۲۲	۳/۱۹	۲/۳۱
Sn	۰/۱۲	۰/۵۵	۰/۸۹	۰/۲۱	۰/۱۷	۱/۶	۲/۳۸	۵/۲	۰/۹۱	۰/۶۳
Ta	۱	۱/۹۸	۴/۵	۰/۹۷	۰/۷۵	۰/۸	۱/۷۱	۴/۲	۰/۹۸	۰/۷۴
U	۱۱	۴	۸/۸	۲/۳۷	۱/۹	۰/۹	۳/۵۷	۶/۸	۲/۹۰	۱/۷۹
Bi	۱/۶	۲/۴	۹/۲	۱/۸۶	۱/۰۱	۱/۴	۲/۴	۸/۶	۱/۷۴	۰/۹۶
Nb	۰/۸	۱/۶۶	۴/۹	۱/۰۲	۰/۶۹	۰/۶	۱/۶۳	۴/۷	۱/۰۱	۰/۷
Sc	۱۴	۲۰/۵۶	۳۴	۶/۷۶	۵/۶۳	۱۲	۱۶/۸۱	۲۶	۳/۸۸	۳/۰۶
W	۱۸/۱	۲۱/۱۱	۳۰	۳/۲۴	۲/۲۵	۱۵/۷	۱۹/۸۹	۲۵/۲	۲/۵۶	۱/۹۱
Fe	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۴	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۳۱	۰/۹۸	۰/۱۹	۰/۱
B	۱	۱۳۴/۰۶	۳۸۷	۱۲۲/۶۳	۹۵/۸۲	۵	۱۳۹/۷۳	۳۰۴	۱۱۸/۵۸	۹۰/۴۸

را از آب باران وارد آبخوان کند. همچنین مقادیر غلظت بیشتر در فصل تر با تعداد چاه‌های دهانه‌گشاد در منطقه می‌تواند در ارتباط باشد [۳۵].

**تحلیل مؤلفه اصلی کیفیت آب زیرزمینی دشت اشرینان**  
پارامترهای کیفی استفاده‌شده در آنالیز مؤلفه اصلی شامل T, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl, K, Na, Mg, Ca, TDS, EC, pH, F, Ba, B, Fe, Pb, Sc, Sr, V, می‌شوند.

#### محاسبه فاکتور KMO

این فاکتور شاخصی برای مقایسه مقادیر ضرایب همبستگی ساده و جزئی روی همه متغیرهاست. مقادیر بزرگ KMO بر رضایت‌بخش بودن تحلیل عاملی دلالت دارد و آزمون بارتلت نیز فرض یکه‌بودن ماتریس ضرایب همبستگی را آزمون می‌کند به طوری که اگر آزمون بارتلت معنادار نباشد (احتمالی که بزرگ‌تر از ۵ درصد باشد)، به معنای آن است که ماتریس یادشده برای تحلیل‌های بعدی مناسب نیست. همان‌گونه که نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد چون مقدار آماره KMO برابر ۰/۶۲ است، پس داده‌ها برای انجام تحلیل عاملی مناسب‌اند.

مقادیر ویژه نشان‌دهنده میزان تأثیر عامل‌ها در توجیه تغییرات بین ایستگاه‌ها هستند. نمودار اسکری تعداد مناسب این عوامل را نشان داده است. جدول ۵ نتایج مقادیر ویژه عامل‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌گونه که جدول یادشده نشان می‌دهد سه عامل قابلیت تبیین واریانس‌ها را دارند. عامل اول ۳۵/۶۷۶، عامل دوم ۱۸/۷۲۲ و ... که در مجموع ۸۴/۲۸۸ درصد از واریانس را دربردارند (شکل ۴).

#### نشت از فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی

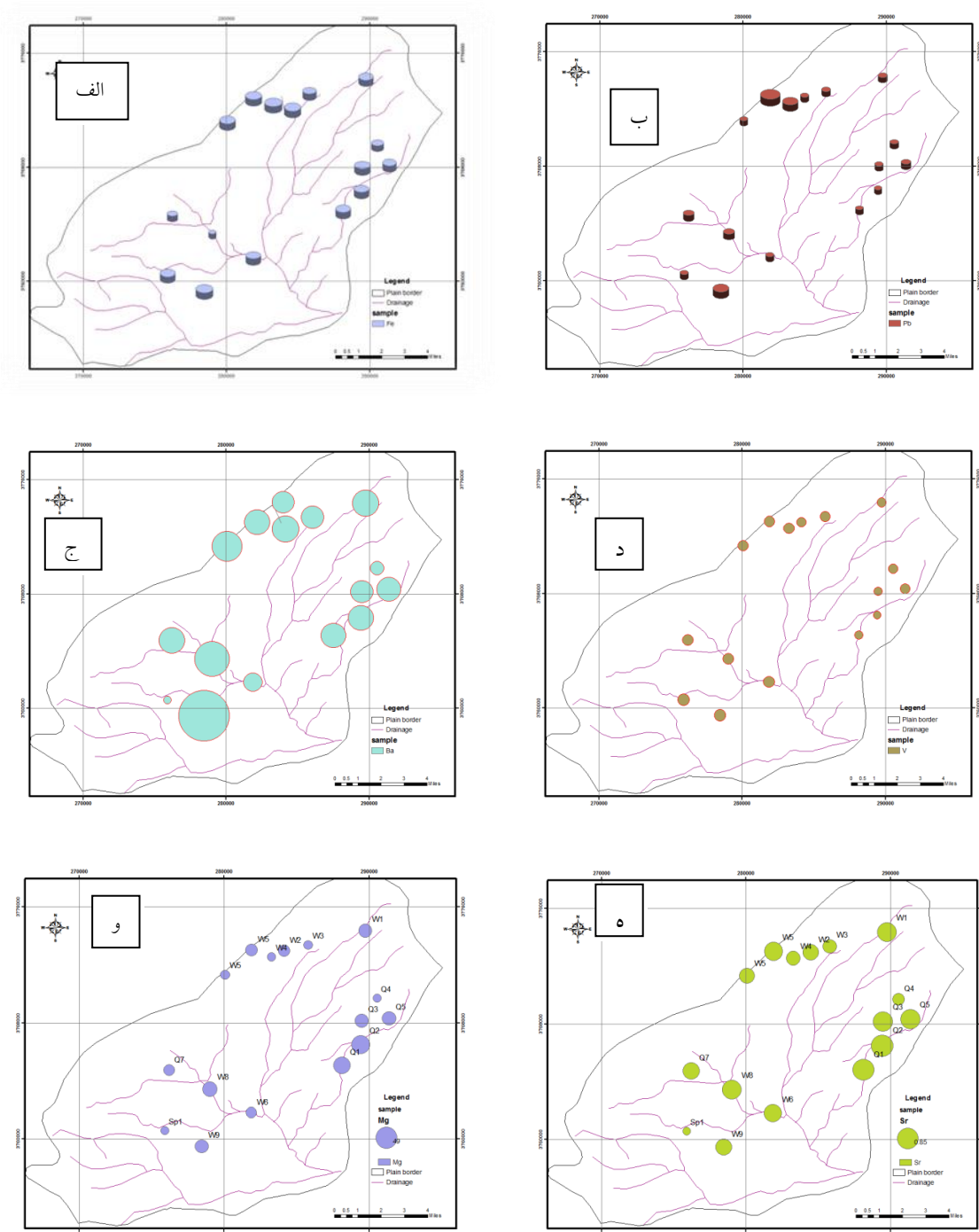
عنصر بر (B) شاخص خوبی برای حضور فاضلاب است [۳۴] و در میانه دشت اشرینان غلظت B در آب زیرزمینی از تا ۳۹۴ ppb و در دامنه‌های زون سنندج- سیرجان و زاگرس بین ۵ تا ۶۹ با میانگین ۴۱ ppb است. غلظت این عنصر در مرکز دشت تا پنج برابر مقدار آن در دامنه‌هاست و بیانگر آن است که آب زیرزمینی در نواحی شهری و توسعه‌یافته توسط نشت از فاضلاب آلوده شده است. عنصر بر با آهن همبستگی مثبت نشان داده و این احتمال وجود دارد که بر و آهن از منشأ یکسانی (احتمالاً فاضلاب) در این نواحی مشتق شده‌اند.

#### تغییرات فصلی میزان عناصر کمیاب در منطقه مطالعه‌شده

هر دو نمونه جمع‌آوری‌شده در فصول خشک و تر تأثیر زمان را روی میزان عناصر کمیاب و فلزات سنگین نشان می‌دهند. مطابق جدول ۲ نمونه‌های آب زیرزمینی در هر دو زون زاگرس و سنندج- سیرجان در فصل تر اندکی pH پایین‌تر دارند و مقادیر اکسیژن محلول (Do) بیشتری نسبت به فصل خشک نشان می‌دهند. برای هر دو منطقه، دامنه‌ها و نواحی مسکونی، غلظت‌های متوسط فلزات سنگین و عناصر کمیاب در فصل تر نسبت به فصل خشک، مقادیر بیشتری را نشان داده است. تصور بر این است که غلظت این عناصر در رواناب‌های بعد از تابستان با شدت زیاد و دوره زمانی کوتاه که در خلال آن عوامل آلاینده انباشته شده‌اند، می‌تواند افزایش یابد. از دیگر عوامل می‌توان به بالارفتن سطح آب زیرزمینی در فصل تر و آبشویی بیشتر در خلال این فصل اشاره کرد که می‌تواند مستقیم از زون وادوز مقادیر بیشتری

جدول ۴. ضرایب همبستگی عناصر کمیاب و فلزات سنگین در آب زیرزمینی دشت اشرینان

	Pb	Mg	Fe	Sr	V	B	Do	EC	Eh	Ph
Pb	۱									
Mg	۰/۲۰۳۵۴۷	۱								
Fe	۰/۰۲۳۸۴۴	۰/۱۸۶۶۲۵	۱							
Sr	۰/۰۵۴۴۵۱	۰/۸۹۰۸۶۲	۰/۲۰۷۱۶۲	۱						
V	۰/۴۶۴۳۱۴	-۰/۵۹۰۹۸	-۰/۲۶۶۱۷	-۰/۶۲۲۱	۱					
B	-۰/۰۸۲۱۷	-۰/۲۸۳۷۴	۰/۳۲۷۱۸۱	-۰/۰۰۶۰	۰/۱۲۳۴۱۶	۱	۱			
EC	-۰/۰۸۱۳۷	-۰/۲۰۵۹۷۸	۰/۳۴۱۱۰۲	۰/۴۲۳۷۱۶	-۰/۰۰۴۵۹	۰/۶۰۸۲۶۶	۰/۱۱۹۶۵	۱		
Eh	۰/۲۷۸۲۸۲	-۰/۴۰۰۸۹	۰/۳۵۶۲۴۷	-۰/۵۷۳۹۹	۰/۳۵۲۴۴۸	۰/۰۳۸۰۶۷	۰/۱۲۴۷۱	۰/۳۴۵۵۹	۱	
Ph	-۰/۰۴۷۶۷	۰/۱۸۰۳۸۳	۰/۴۲۳۷۰۳	۰/۰۶۴۵۰۷	-۰/۵۰۲۵۳	۰/۰۴۱۹۰۲	۰/۳۲۳۹۴	۰/۳۳۳۲۹	۰/۴۹۲۷۱	۱

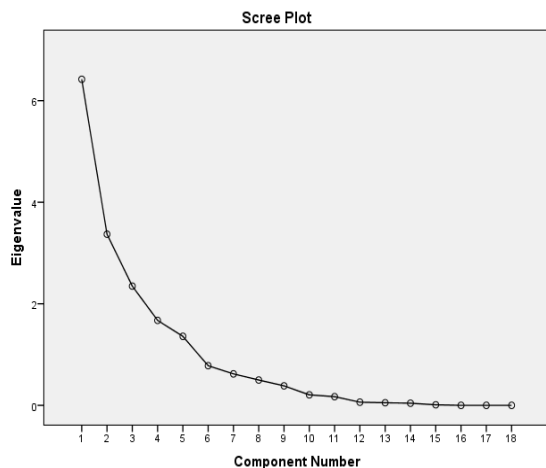


شکل ۲. نقشه توزیع میزان غلظت عناصر در آب زیرزمینی دشت اشترینان  
 الف آهن (Fe)؛ ب سرب (Pb)؛ ج باریم (Ba)؛ د وانادیم (V)؛ و منیزیم (Mg)؛ ه استرانسیم (Sr)

سهم تغییرات مدل را دارد گویای تأثیرپذیری و وجود اختلاف زیادتر بین ایستگاه‌ها در دوره‌های مختلف بر اثر پارامترهای Sr, Ca, K, Na, So4, Hco3, F, Cl است. ضرایب منفی بیان می‌کنند که اگر مقدار پارامتری که ضریب منفی دارد افزایش یابد، تأثیرپذیری و اختلاف بین

به‌طور مثال، عامل اول ۳۵/۶۷۶ درصد تغییرات بین ایستگاه‌ها را توجیه می‌کند. بقیه مؤلفه‌ها سهم جزئی در تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دارند. مقایسه ضرایب هر پارامتر (بردارهای ویژه) برای مؤلفه‌های یک تا سه براساس جدول ۵ نشان می‌دهد مؤلفه اول (PC1) که بیشترین



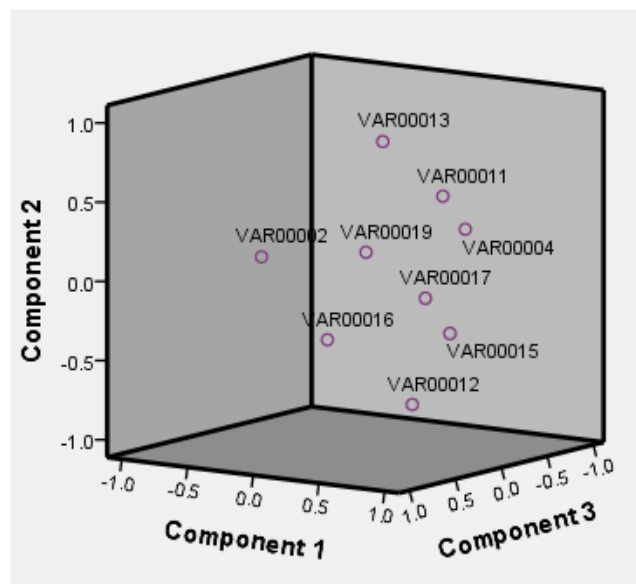


شکل ۳. نمودار اسکری برای تعیین تعداد عامل‌ها

جدول ۴. قضاوت درباره مقدار ضریب KMO

مقدار KMO	تناسب داده‌ها برای تحلیل عاملی
$0/9 \leq$	عالی
$0/80 - 0/89$	بسیار خوب
$0/70 - 0/79$	خوب
$0/60 - 0/69$	متوسط
$0/59 - 0/5$	ضعیف

ایستگاه‌ها بر اثر آن پارامتر کمتر می‌شود. ضرایب مثبت بیانگر این مطلب هستند که اگر مقدار پارامتری با ضریب مثبت افزایش یابد، تأثیرپذیری و اختلاف بین ایستگاه‌ها بر اثر آن پارامتر بیشتر می‌شود. منظور از تأثیرپذیری زیاد، وجود اختلاف زیاد بین مقادیر در ایستگاه متفاوت است که این مسئله بیانگر تفاوت در منابع آلاینده هر ایستگاه است. در واقع، جدول ۵ نشان می‌دهد هر متغیر در عاملی قرار می‌گیرد که با آن عامل همبستگی زیاد معناداری داشته باشد. ترکیب خطی PC2 بازتابی متفاوت از پارامترها را نشان می‌دهد. در این مؤلفه پارامترهای Ba, B, Ec و TDS بیشترین سهم تغییرات مدل را دارند. در واقع، مؤلفه دوم بیان می‌کند که ۱۸/۷۲۲ درصد تغییرات در بین ایستگاه‌ها مربوط به پارامترهای با ضرایب بیشتر در مؤلفه دوم است. با توجه به اینکه بیشتر پارامترها با ضرایب بالا و مثبت در مؤلفه PC1 ظاهر شده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که این مؤلفه شاخص تعیین کیفیت آب زیرزمینی یون‌های اصلی است و آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی کیفیت را تعیین می‌کنند و به‌عنوان مؤلفه اصلی تأثیرگذار معرفی می‌شوند. نتایج آنالیز واریانس نیز تأیید می‌کند که این ایستگاه‌ها مقادیر بیشتری از پارامترهای یادشده را نسبت به بقیه ایستگاه‌ها دارند.



شکل ۴. نمودار سه‌بعدی عامل‌ها برای متغیرهای مختلف

جدول ۵. درصد واریانس و مقادیر ویژه مؤلفه‌ها

مؤلفه	مقادیر ویژه اولیه			واریانس تبیین شده	
	کل	واریانس %	تجمعی %	کل	واریانس
۱	۶/۴۲۲	۳۵/۶۷۶	۳۵/۶۷۶	۶/۴۲۲	۳۵/۶۷۶
۲	۳/۳۷	۱۸/۷۲۲	۵۴/۳۹۸	۳/۳۷	۱۸/۷۲۲
۳	۲/۳۴۸	۱۳/۰۴۶	۶۷/۴۴۵	۲/۳۴۸	۱۳/۰۴۶
۴	۱/۶۷۳	۹/۲۹۴	۷۶/۷۳۹	۱/۶۷۳	۹/۲۹۴
۵	۱/۳۵۹	۷/۵۴۹	۸۴/۲۸۸	۱/۳۵۹	۷/۵۴۹
۶	۰/۷۸۱	۴/۳۳۶	۸۸/۶۲۵		
۷	۰/۱۶۲	۳/۴۴۴	۹۲/۰۶۹		
۸	۰/۴۹۹	۲/۷۷۱	۹۴/۸۴		
۹	۰/۳۸۴	۲/۱۳۶	۹۶/۹۷۵		
۱۰	۰/۲۰۷	۱/۱۵	۹۸/۱۲۵		
۱۱	۰/۱۷۱	۰/۹۴۹	۹۹/۰۷۴		
۱۲	۰/۰۶۲	۰/۳۴۶	۹۹/۴۲۱		
۱۳	۰/۰۵۱	۰/۲۸۴	۹۹/۷۰۵		
۱۴	۰/۰۴۲	۰/۲۳۶	۹۹/۹۴		
۱۵	۰/۰۱۱	۰/۰۶	۱۰۰		

آب زیرزمینی در منطقه اشترینان با عناصر سنگین آلوده شده که منشأ آن از طریق فعالیت‌های انسانی و یا منابع طبیعی ناشی از هوازدگی و یا تغییر در شرایط اکسایش و کاهش محیط زیرسطحی است. به هر حال، مجموع دو عامل یادشده در برخی نواحی سطح عناصر سنگین را افزایش داده است. میزان عناصر Fe, Pb, B در آب زیرزمینی از شرق و غرب به سمت مرکز دشت افزایش می‌یابد (W4, W5, W8) و غلظت عناصر Sr, V, Mg در نواحی شرقی دشت از سایر مناطق بیشتر است (Q1, Q2). یافته‌ها بیانگر آن است که غلظت بالارونده استرانسیم در آب زیرزمینی بیشتر مربوط به فرایندهای طبیعی همچون هوازدگی کانی‌هایی مانند فلدسپات‌ها در سنگ‌های گرانیتی و گرانودیوریتی مربوط به زون سنندج- سیرجان است. اندرکنش آب و سنگ از یک سو و فعالیت‌های بشر مانند معدن‌کاری از سوی دیگر می‌تواند تأثیر شایانی بر بالارفتن غلظت فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها بر آب زیرزمینی داشته باشد. به‌طور مثال، نمونه آب زیرزمینی W6 با تأثیرپذیری از فعالیت سنگ‌شکن مجاور آن مقادیر غلظت عناصر متفاوتی با سایر نمونه‌های مجاور نشان می‌دهد. غلظت‌های زیاد عناصر در نمونه Q1 نسبت به نمونه‌های مجاور بر اثر هوازدگی هورنفلس‌ها و شیب‌هاست که در بازدید صحرایی به‌وضوح قابل مشاهده است. بررسی

با توجه به ضرایب پارامترها در ترکیب خطی PC2 مشاهده می‌کنیم ضرایب پارامترهای TDS, B, EC Ba بسیار بیشتر از بقیه است، پس می‌توانیم PC2 را به‌عنوان مؤلفه بعدی معرفی کنیم. یعنی هر ایستگاهی که مقدار PC2 بیشتری داشته باشد، دارای مقادیر بیشتری از پارامترهای یادشده است. مؤلفه PC3 نشان می‌دهد سه پارامتر V و Pb، پارامتر Fe ضریب بالاتری دارد و مثبت است. یعنی هر چه مقدار آن بیشتر شود، اختلاف ایستگاه‌ها از نظر این پارامتر بیشتر می‌شود. در واقع، عناصر سنگین آهن و سرب که در برخی نقاط بیشتر از حد مجاز بوده‌اند، عامل سوم تأثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی دشت اشترینان هستند که دلیل آن را هم می‌توان به منبع نقطه‌ای و محلی این عناصر نسبت داد.

### نتیجه‌گیری

مطالعه اخیر روی غلظت فلزات سنگین و عناصر کمیاب در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اشترینان برای اولین بار صورت گرفته و نتایج این تحقیق به شرح زیر است:  
از مجموع ۶۳ عنصر اندازه‌گیری شده توسط دستگاه ICP-MS به‌جز عناصر Fe, Mg, Pb, V و Sr همگی از بیشترین میزان مجاز مطابق با استاندارد WHO کمتر هستند و برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب‌اند. این تحقیق نشان داد

[7].Jalali M. Phosphorous concentration, solubility and species in the groundwater in a semi-arid basin, southern Malayer, western Iran. *Environmental Geology*. 2009;57(5):1011-20.

[8].Khaniki GRJ, Dehghani H, Mahvi A, Rafati L, Tavanfar F. Investigation of Nitrite and Nitrate in Ground Water Sources of Hamadan Province, Iran.

[9].Rafati L, Mokhtari M, Fazelinia F, Momtaz S, Mahvi AH. Evaluation of Ground Water Fluoride Concentration in Hamadan Province West of IRAN (2012). *Iranian journal of health sciences*. 2013;1(3):71-6.

[10]. Rafiei B, Khodaei AS, Khodabakhsh S, Hashemi M, Nejad MB. Contamination assessment of lead, zinc, copper, cadmium, arsenic and antimony in Ahangaran mine soils, Malayer, West of Iran. *Soil and Sediment Contamination*. 2010;19(5):573-86.

[11]. Soltani N, Keshavarzi B, Moore F, Tavakol T, Lahijan-zadeh AR, Jaafarzadeh N, et al. Ecological and human health hazards of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Isfahan metropolis, Iran. *Science of the Total Environment*. 2015;505:712-23.

[12]. Saeedi M, Hosseinzadeh M, Jamshidi A, Pajoohe-shfar S. Assessment of heavy metals contamination and leaching characteristics in highway side soils, Iran. *Environmental monitoring and assessment*. 2009;151(1-4):231-41.

[13]. Asarab. Hydrochemical study of Boroujerd basin. *Iran Power Ministry*2012.

[14]. Hajmollali A, Hosseini M, Farhadian MB, Sedaghat E, cartographers. Geological map of Boroujerd quadrangle 5757: Geological Survey of Iran; 1991.

[15]. Khalaji AA, Esmaeily D, Valizadeh M, Rahimpour-Bonab H. Petrology and geochemistry of the granitoid complex of Boroujerd, Sanandaj-Sirjan Zone, Western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2007;29(5):859-77.

[16]. Mokhtari Zg-S. Chemical Composition Of Tourmaline As Exploration Guide, A Case Study: Northern Boroujerd, Iran.

[17]. Ahmadi Ka, Tahmasbi Z, Keshtgar S. A New View On The Metamorphic Rocks Of The Boroujerd Area. 2008.

[18]. Association APH. Water Environment Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater. 1995;19.

آلودگی‌ها در برخی نقاط به‌صورت نقطه‌ای است و در برخی مناطق روند مشخصی را نشان می‌دهد که می‌تواند در مطالعات آبی در این حوزه بسیار مفید واقع شود و از آلودگی بیشتر محیط و آب زیرزمینی در این منطقه جلوگیری شود. با استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی، سه عامل اصلی در تعیین کیفیت هیدروشیمیایی منطقه تشخیص داده شده است که به ترتیب عبارت‌اند از تأثیر یون‌های اصلی، عناصر کمیاب و فلزات سنگین که در مجموع نزدیک به ۶۸ درصد واریانس عوامل را به خود اختصاص داده‌اند. عوامل اصلی تأثیرگذار بر ماهیت هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت اشتهرینان، هوازدگی و انحلال و تأثیر عوامل انسانی همچون فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی هستند.

#### تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از کارشناسان آب منطقه‌ای استان لرستان به موجب رهنمودهای لازم و حضور در عملیات صحرائی ابراز می‌دارند.

#### منابع

[1].Mandour R, Azab Y. Toxic levels of some heavy metals in drinking groundwater in Dakahlyia Governorate, Egypt in the year 2010. *The international journal of occupational and environmental medicine*. 2011;2(2) April.

[2].Vodela J, Renden J, Lenz S, McElhenney W, Kempainen B. Drinking water contaminants (arsenic, cadmium, lead, benzene, and trichloroethylene). 1. Interaction of contaminants with nutritional status on general performance and immune function in broiler chickens. *Poultry Science*. 1997;76(11):1474-92.

[3].Marcovecchio JE, Botté SE, Freije RH. Heavy metals, major metals, trace elements. *Handbook of water analysis*. 2007;2:275-311.

[4].Pirsahab M, Khosravi T, Sharafi K, Babajani L, Rezaei M. Measurement of Heavy Metals Concentration in Drinking Water from Source to Consumption Site in Kermanshah-Iran. *World Applied Sciences Journal*. 2013;21(3):416-23.

[5].Jalali M. Application of multivariate analysis to study water chemistry of groundwater in a semi-arid aquifer, Malayer, western Iran. *Desalination and Water Treatment*. 2010;19(1-3):307-17.

[6].Jalali M, Kolahchi Z. Groundwater quality in an irrigated, agricultural area of northern Malayer, western Iran. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2008;80(1):95-105.

- [19]. Parizi HS, Samani N. Geochemical evolution and quality assessment of water resources in the Sarcheshmeh copper mine area (Iran) using multivariate statistical techniques. *Environmental earth sciences*. 2013;69(5):1699-718.
- [20]. Güler C, Thyne GD. Delineation of hydrochemical facies distribution in a regional groundwater system by means of fuzzy c-means clustering. *Water Resources Research*. 2004;40(12).
- [21]. Yidana SM, Ophori D, Banoeng-Yakubo B. A multivariate statistical analysis of surface water chemistry data—The Ankobra Basin, Ghana. *Journal of Environmental Management*. 2008;86(1):80-7.
- [22]. Mirzaei R, Sakizadeh M. Comparison of interpolation methods for the estimation of groundwater contamination in Andimeshk-Shush Plain, Southwest of Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016;23(3):2758-69.
- [23]. Loucks DP, Van Beek E, Stedinger JR, Dijkman JP, Villars MT. *Water resources systems planning and management: an introduction to methods, models and applications*: Paris: Unesco; 2005.
- [24]. Rollinson HR. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*: Routledge; 2014.
- [25]. Buccianti A, Pawlowsky-Glahn V. New perspectives on water chemistry and compositional data analysis. *Mathematical Geology*. 2005;37(7):703-27.
- [26]. Krein A, Schorer M. Road runoff pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons and its contribution to river sediments. *Water Research*. 2000;34(16):4110-5.
- [27]. Ball JE, Wojcik A, Tilley J. *Stormwater Quality from Road Surfaces: Monitoring of the Hume Highway at South Strathfield*: University of New South Wales, School of Civil and Environmental Engineering, Water Research Laboratory; 2000.
- [28]. Dannecker W, Au M, Stechmann H. Substance load in rainwater runoff from different streets in Hamburg. *Science of the total environment*. 1990;93:385-92.
- [29]. WHO G. *Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organization. 2011;216:303-4.
- [30]. Grenthe I, Stumm W, Laaksuharju M, Nilsson A, Wikberg P. Redox potentials and redox reactions in deep groundwater systems. *Chemical Geology*. 1992;98(1):131-50.
- [31]. Sirajudeen J, Abdul Jameel A. Studies on heavy metal pollution of Groundwater sources between Tamilnadu and Pondicherry India. *J Ecotoxicol Environ Monit*. 2006;16(5):443-6.
- [32]. Wuana RA, Okieimen FE. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *Isrn Ecology*. 2011;2011.
- [33]. Förstner U, Wittmann GT. *Metal pollution in the aquatic environment*: Springer Science & Business Media; 2012.
- [34]. Leung C-M, Jiao JJ. Heavy metal and trace element distributions in groundwater in natural slopes and highly urbanized spaces in Mid-Levels area, Hong Kong. *Water Research*. 2006;40(4):753-67.
- [35]. Vaze J, Chiew FH. Study of pollutant washoff from small impervious experimental plots. *Water Resources Research*. 2003;39(6).