

## ارزیابی زیست محیطی آبهای زیرزمینی مرتبط با توالی افیولیتی نورآباد لرستان

طیبه کارخانه؛ کارشناس ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان

آرتمس قاسمی دهنوی\*؛ عضو هیئت علمی گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان

علی مرادپور؛ دکترای پتروولوژی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

رامین ساریخانی؛ عضو هیئت علمی گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۰

### چکیده

آلودگی آب و خاک بر اثر عناصر بالقوه سمی ناشی از منابع انسان زاد و زمین زاد همواره تهدیدی جدی برای سلامت زنجیره غذایی انسان محسوب می شود. در این میان، سنگ های اولترامافیک موجود در مجموعه های افیولیتی به دلیل استعداد بالای دگرسانی، پتانسیل بالقوه ای در ایجاد آلودگی های زیست محیطی ناشی از فلزات سنگین دارند. بر این اساس با هدف تشخیص فاکتورهای کنترل کننده شیمی آب زیرزمینی در افیولیت های جنوب شرق کرمانشاه تعداد ۲۰ حلقه چاه و چشمه در منطقه نورآباد-هرسین مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بدست آمده حاکی از آن است کلسیم، منیزیم و خطر جذب سدیم در برخی نمونه ها بالاتر از حد استاندارد جهانی است. همچنین براساس نتایج به دست آمده، مهمترین فاکتورهای کنترل کننده شیمی آب زیرزمینی منطقه شامل انحلال ژئیس بعنوان منشأ مشترک ورود کلسیم، استرانسیم و سولفید، انحلال و هوازگی کانی اسپینل کروم دار موجود در پریدوتیت ها بعنوان منشأ مشترک سیلیس، منیزیم و کروم، انحلال کانی های فرومنیزین الیوین و پیروکسن موجود در پریدوتیت های منطقه به عنوان منشأ مشترک منیزیم و نیکل و انحلال کوارتز کریستالین، باریت و کلسیت بعنوان سه کانی با بیشترین انحلال در واکنش آب/سنگ در نمونه های آب زیرزمینی می باشند.

واژه های کلیدی: آلودگی زیست محیطی، سنگ های اولترامافیک، نورآباد، هرسین، کرمانشاه.

### مقدمه

به اعتقاد برخی محققین هر گونه تغییر در ویژگی های اجزای تشکیل دهنده محیط به نحوی که عملکرد طبیعی و تعادل زیستی را مختل نماید و به طور مستقیم یا غیرمستقیم منافع و حیات موجودات زنده را به مخاطره بیندازد، آلودگی زیست محیطی گفته می شود (دبیری، ۱۳۹۲). در این میان آلودگی ناشی از عناصر (فلز و غیر فلز) بالقوه سمی (PTE) حاصل از منابع انسان زاد و زمین زاد مختلف که از طریق فرآیندهای طبیعی و یا فعالیت های صنعتی به منابع آب و خاک وارد گردیده اند با ورود به زنجیره غذایی خطری جدی برای سلامتی انسان محسوب می شوند (فاجینلی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۱). فرآیندهای هوازگی نظیر تشکیل کانی های ثانویه، نقش بسیار مهمی بر تحرک این عناصر دارند (آووی و ترورز، ۲۰۰۵).

وقوع فرآیندهای مختلف هوازدهی حادث شده بر روی سنگ‌های وابسته به توالی‌های افیولیتی و تشکیل سرپانتین، خاک‌های سرپانتینی در مناطقی که این نوع سنگ‌ها دارای رخنمون هستند و متعاقب آن آزاد سازی و انتشار بالای فلزات بالقوه و سمی از نظر زیست محیطی پیامدهایی نظیر آلودگی خاک، آب و گیاه را به دنبال دارد. در این میان آلودگی ناشی از این فلزات در آب و خاک نه تنها به‌طور مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و خاک، کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی و کاهش دستیابی زیستی مواد غذایی تأثیر می‌گذارد، بلکه به دلیل ورود به زنجیره غذایی و نیز امنیت غذایی از طریق نفوذ در آب‌های زیرزمینی خطری جدی برای سلامتی انسان محسوب می‌شود (فانچینی و همکاران، ۲۰۰۱؛ لی و همکاران، ۲۰۱۰). مطالعه آلودگی آب به فلزات بالقوه سمی می‌تواند کمک شایانی به بهبود کیفیت آب و کاهش بیماری‌ها، افزایش ایمنی و سلامت نماید. بر این اساس در راستای بررسی تأثیرات ناشی از وقوع هوازدهی سنگ‌های افیولیتی، مطالعات گوناگونی در ایران و جهان به انجام رسیده است (خالدی و محمدزاده، ۱۳۹۱؛ هرمزی نژاد و همکاران، ۱۳۹۵).

کریمی<sup>۲</sup> و همکاران ۲۰۲۰ با بررسی تحرک فلزات بالقوه سمی نیکل، کروم، کبالت، سرب و وانادیوم در خاک‌های حاصل از اولترامافیک‌های افیولیت کردستان (محور کامیاران - مریوان) به بررسی نقش و تأثیر فرآیند سرپانتینیزاسیون، معدنکاری و تغییرات pH در آزاد سازی و غنی‌شدگی این عناصر در خاک مناطق مورد اشاره پرداختند. نتایج مطالعات انجام گرفته توسط پونتورو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۹ بر روی خاک‌های حاوی کانی‌های رشته‌ای و غیر رشته‌ای گروه سرپانتین در منطقه باسیلیکاتا (جنوب ایتالیا) نشان داد که انجام عملیات کشاورزی بر روی خاک‌های تولید شده بر سنگ بستر متشکل از آزبست، کریزوتیل، ترمولیت و آنتی گوریت، علاوه بر آلودگی عناصر سنگین در خاک این مناطق، به علت پراکنده شدن عناصر آلاینده‌ی حاصل از این خاک‌ها در هوا، منبع آلودگی زیست محیطی و تهدیدی جدی برای ساکنین روستاهای این محدوده به شمار می‌آید.

در یونان نیز مطالعات صورت گرفته در خصوص آلودگی آب‌های زیرزمینی به PTE ها با منشأ زمین زاد افیولیتی نشان داده که در دو منطقه Eubo-ia و Asopos منشأ آلودگی آب‌های زیرزمینی به کروم شش ظرفیتی در رابطه با کروم و اکسیداسیون آن از سرپانتینیت‌های حاصل از سنگ‌های افیولیتی منطقه است که میزبان طولانی مدت آبخوان منطقه بوده‌اند. مطالعه سیستماتیک آب‌های زیرزمینی ایالت La Spezra کشور ایتالیا نیز نشان داد که آلودگی به کروم سه ظرفیتی و کروم شش ظرفیتی ناشی از کنش این آب‌ها با سرپانتین و سنگ‌های افیولیتی موجود در منطقه است (فانتونی، ۲۰۰۲).

در بخش شمال غربی زون افیولیتی زاگرس مجموعه افیولیتی کرمانشاه که در بین سپر عربی و زون سندج - سیرجان استقرار یافته، از اجزای پوسته‌ای و گوشته‌ای مختلف و متنوعی تشکیل شده است. در منطقه هرسین - صحنه - نورآباد (شمال شرق کرمانشاه) سنگ‌های وابسته به توالی پوسته‌ای وسعت قابل ملاحظه‌تری را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین توضیحات ارائه شده در خصوص نقش و اهمیت سنگ‌های وابسته به توالی افیولیتی در آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از آنها، نگارندگان این پژوهش را بر آن داشته تا با تجزیه شیمیایی آب چاه‌ها و چشمه‌های منطقه میزان

---

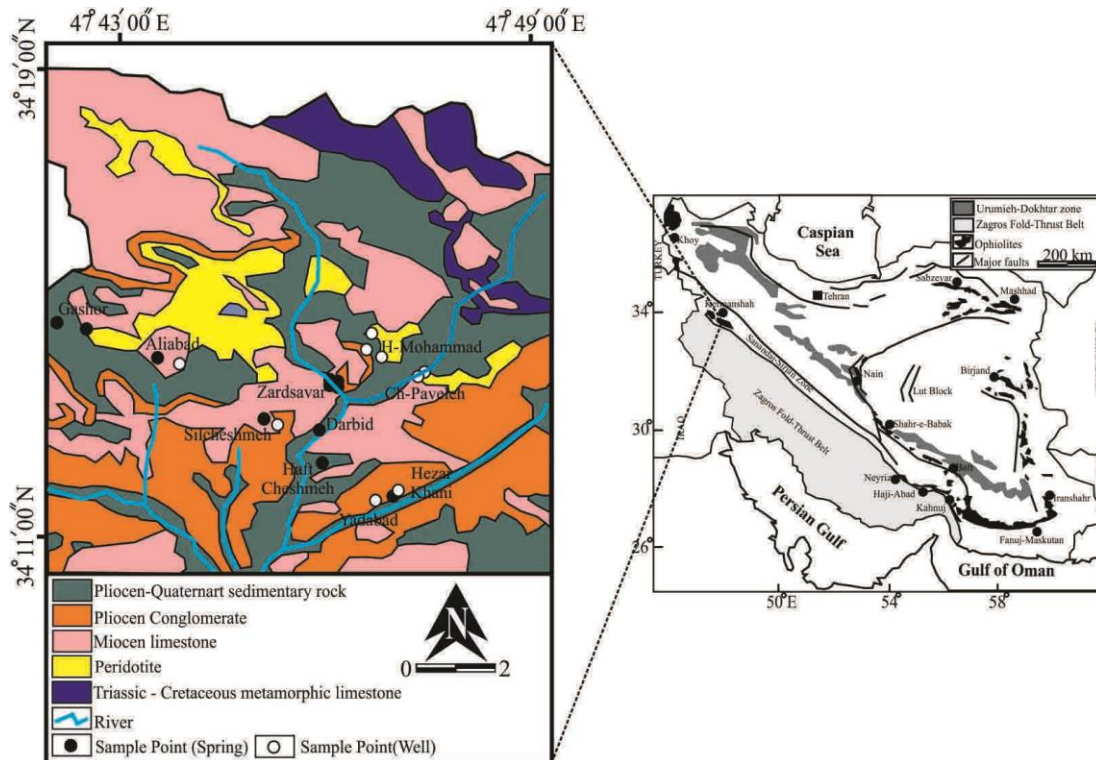
1. Lee  
2. Karimi  
3. Punturo  
4. Fantoni

آلودگی این آب‌ها به عناصر سنگین و سمی را بررسی نموده و با استفاده از تحلیل‌های آماری نسبت به تشخیص و معرفی مناطق آلوده در مناطق مورد اشاره اقدام نمایند.

### موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه

در ایران کمربند چین خورده-رورانده زاگرس با طولی معادل ۳۰۰۰ کیلومتر، بخشی از سیستم کوهزایی تصادم قاره‌ای مزوزوئیک و سنوزوئیک آلپ-همیالیا محسوب می‌گردد، بر اثر تصادم قاره‌ای حادث شده بین آفریقا-عربی و ایران، سفره‌های کم عمق تا عمیق و توالی‌های افیولیتی در کمربند زاگرس رخنمون یافته‌اند و در امتداد زون خرد شده زاگرس قابل مشاهده‌اند. بر این اساس افیولیت‌های موجود در این زون که در مناطقی نظیر سرو آباد، کرمانشاه، نیریز، بافت (وایت چرچ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۳؛ ساکانی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۳، الهیاری<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۴) و پنجوبین-والش در عراق (اسواد<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۱) قابل رویت‌اند، تاریخی از همگرایی تئیس جنوبی مستقر بین سپر عربی و بلوک قاره‌ای سندج-سیرجان ایران را در خود ثبت نموده‌اند (آگارد<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). در این میان مجموعه افیولیتی کرمانشاه به عنوان بخشی از کمربند افیولیتی زاگرس در بخش شمال غربی این زون و در بین سپر عربی و زون سندج-سیرجان واقع شده است. مجموعه هرسین-صحنه-نورآباد که در جنوب شرق استان کرمانشاه قرار گرفته با مختصات ۳۴°۳۰' تا ۳۴°۱۰' عرض شمالی و ۴۷°۳۰' تا ۴۸°۰۰' طول شرقی عمدتاً متشکل از پریدوتیت‌ها در جایگاه نخست و توالی گابرویی در جایگاه بعدی است که توسط دایک‌ها مورد هجوم قرار گرفته و بوسیله گدازه‌های بالشی و جریان‌های بازالتی و همچنین سنگ آهک (واحد بیستون) پوشیده شده‌اند (شکل ۱). به لحاظ سنگ‌شناسی پریدوتیت‌ها شامل دونیت، هارزبورژیت، لرزولیت و ورلیت (زارعی سهامیه<sup>۶</sup> و مرادپور، ۲۰۱۵؛ ) می‌باشند. در این مجموعه توالی گابرویی عمدتاً به صورت گابروهای پگماتوئیدی و گابروهای فولیاسیون دار قابل مشاهده‌اند که به ترتیب در شمال غرب و جنوب شرق منطقه ذکر شده دارای رخنمون‌اند. در هر دو نوع گابرو، تروکتولیت‌ها بصورت اجزائی کوچک وجود دارند. کمپلکس دایکی در چند رخنمون کوچک در امتداد روخانه گاماسیاب (جنوب صحنه) قابل رویت می‌باشند. سنگ‌های آتشفشانی که عمدتاً متشکل از گدازه‌های بالشی با بافت حفره‌دار و جریان‌های بازالتی هستند، در اطراف روستاهای گشور-تمرک و سرماج (به ترتیب شرق و شمال هرسین) دیده می‌شوند (مرادپور<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۷).

1. Whitechurch
2. Saccani
3. Allahyari
4. Aswad
5. Agard
6. Zarei Sahamieh
7. Moradpour



شکل (۱): نقشه زمین شناسی ساده شده منطقه هرسین-صحنه-نورآباد (اصلاح شده توسط شهیدی و نظری، ۱۳۷۶)

از نظر کانی شناسی پریدوتیت‌های منطقه (دونیت، هارزبورژیت، لرزولیت و ورلیت) عمدتاً متشکل از الیوین فورستریتی، ارتوپروکسن انستاتی، کلینوپروکسن، کروم اسپینل و کانی‌های ثانویه مانند کریزوتیل، آنتیگوریت، لیزاردیت و باسیت می‌باشند. سنگ‌های اولترامافیک در محدوده هرسین-نورآباد عمدتاً در اثر فرآیند هوازدگی به کانی‌های ثانویه فوق‌الذکر تبدیل گردیده‌اند. به لحاظ کانی شناسی سنگ‌های گابرویی از بلورهای پلاژیوکلاز (لابرادوریت) و کلینوپروکسن (دیوپسید تا اوژیت دیوپسیدی) و آمفیبول تشکیل شده‌اند. گدازه‌های بالشی در منطقه نیز متشکل از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز، شیشه و کانی‌های کدر نظیر پیروکسن و گاهی اولیوین‌های ایدنگزیتی شده‌اند. پلاژیوگرانیت‌ها نیز عمدتاً از کانی‌های پلاژیوکلاز، کوارتز، آلکالی فلدسپار، آمفیبول، اپیدوت، اسفن و کلریت می‌باشند.

بیشترین فراوانی در سنگ‌های رسوبی موجود در مناطق هرسین، صحنه-نورآباد مربوط به رادیولاریت‌های دگرشکل شده، واحد بیستون و سازند قم می‌باشند. رادیولاریت‌های به شدت تغییرشکل یافته عمدتاً در منطقه هرسین-صحنه-نورآباد دیده می‌شوند (شکل ۱). در این مناطق واحد بیستون متشکل از ضخامت زیادی از کربنات کم عمق بوده و به لحاظ سنی دامنه‌ای از تریاس پایانی تا کرتاسه آغازین-پایانی را شامل می‌گردد (ریکو<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۷۷). سازند قم نیز که در محدوده‌های مورد بررسی متشکل از کربنات‌های پلت فرم دریایی کم عمق با کنگلومرای قاعده‌ای است، سن الیگوسن تا اوایل میوسن دارد. این سازند بصورت ناپیوسته بر روی کل افیولیت‌های کرمانشاه قرار گرفته است (وایت چرچ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۳).

1. Ricou
2. Whitechurch

## مواد و روش ها

در راستای انجام این پژوهش ابتدا در منطقه‌ای به وسعت ۱۸۹۲ کیلومترمربع، نقاط مورد نظر که در برگیرنده ۹ حلقه چاه (عمیق و نیمه عمیق) و ۱۱ چشمه موجود در منطقه بوده مشخص شدند. منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای مدیترانه‌ای با زمستان‌های نسبتاً مرطوب / سرد و تابستان‌های گرم / خشک با پوشش گیاهی جنگلی و مرتعی است. با توجه به این که غلظت عناصر موجود در آب طی فصول خشک سال به دلیل پدیده تبخیر بیشتر می‌باشد، لبه همین دلیل عملیات نمونه برداری پس از گذشت فصل تابستان و در اوایل مهرماه (قبل از آغاز بارش) صورت پذیرفته است. در راستای نمونه برداری از چشمه‌ها و چاه‌های مورد بررسی از ظروف پلاستیکی نیم لیتری که قبل از برداشتن نمونه سه با آب چاه یا چشمه مورد نظر شستشو داده شده استفاده شد و پس از برداشت به جهت ثابت ماندن ترکیب نمونه برداشت شده تا زمان آنالیز به ازای هر لیتر از نمونه ده سی سی اسید نیتریک اضافه گردید. تجزیه ۲۰ نمونه برداشت شده از ۹ حلقه چاه و ۱۱ چشمه در شرکت مواد معدنی زرآما به روش ICP-MS صورت گرفته است. پس از انجام آنالیزهای شیمیایی، برای بررسی همبستگی عناصر از آنالیز همبستگی پیرسون استفاده شد. در ادامه از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی یا HCA برای ارزیابی فاصله بین خوشه‌ها و تجزیه واریانس<sup>۲</sup> برای شکل دادن به دندروگرام استفاده شد. از تجزیه مولفه اصلی<sup>۳</sup> برای یافتن فاکتورهای اصلی کنترل کننده شیمی آب زیرزمینی و تهیه جداول توصیفی واریانس کل بعد از ضرایب چرخش عامل‌ها استفاده گردید و در برآورد تکامل ژئوشیمیایی نمونه‌ها و شاخص اشباع کانی‌ها از نرم افزار Phreeqc استفاده شده است. نمودارهای مرتبط با عوامل مهم ترسیم و توسط نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند.

## یافته ها و نتایج

در جدول شماره ۱ نتایج حاصل از تجزیه ICP-MS به همراه پارامترهای آماری اولیه حاصل از ۲۰ نمونه آب برداشت شده از منطقه مورد بررسی ارائه شده است. لازم به ذکر است در جدول مذکور غلظت عناصری نظیر (As,Pb,Mn,Fe,Zn,Cu,Ag) که دارای حد پایین تری از مقدار استاندارد بوده‌اند ارائه نشده است.

جدول (۱): میانگین نتایج تجزیه ICP-MS پارامترهای آماری اولیه نمونه های آب منطقه هرسین-صحنه-نورآباد

. (mg/L)

	کمترین	بیشترین	میانگین	چولگی	کشیدگی
Be	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۰۳	۲/۳۳	۷/۱۹
Ca	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۱۵	-۰/۴۵
Mg	۱/۱۵	۱۲۹/۷۰	۴۷/۹۷	۱/۴۵	۴/۴۸
Na	۱/۰۰	۵۲/۰۰	۲۸/۹۹	-۰/۱۶	-۰/۵۴
Ni	۰/۲۳	۶۵/۶۷	۷/۹۵	۳/۹۷	۱۶/۸۴
	۱/۱۰	۶/۸۰	۳/۲۲	۰/۶۶	-۰/۴۸

1. Hierarchical Cluster Analysis
2. ANOVA
3. PCA

فصلنامه کواترنری ایران، دوره ۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹					۶۰۰
P	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۱	۱/۷۸	۳/۱۴
S	۱۷/۵۶	۳۹/۰۳	۲۱/۲۷	۳/۴۴	۱۳/۸۱
Si	۱/۹۹	۱۴/۵۳	۱۰/۶۶	-۱/۰۸	۰/۶۹
Sr	۰/۰۷	۱/۹۶	۰/۶۴	۱/۹۷	۵/۷۷
Cr	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۳۰	-۰/۳۱
Cs	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۷۸	۶/۴۷

پس از انجام تجزیه های شیمیایی، به منظور بررسی نحوه ارتباط عناصر با یکدیگر و نیز تعیین منشأ آنها، نتایج به دست آمده تحت آنالیزهای آماری قرار گرفتند. نتایج حاصل از آنالیز همبستگی پیرسون در جدول ۲ ارائه شده است.

بر اساس این جدول، کروم دارای همبستگی مثبت نسبتاً بالایی با سیلیسیم است که این موضوع می تواند بیانگر هم منشأ بودن این دو عنصر از کانی های سیلیکاته باشد. نیکل و منیزیم نیز دارای همبستگی مثبتی هستند که می تواند نشان از هم منشأ بودن آنها از کانی های سیلیکاته ای نظیر الیون باشد. بطور کلی در این جدول مشاهده می شود که یک همبستگی مثبت بین کلسیم و گوگرد و استرانسیم و نیز بین کروم و سیلیسیم و تا حدودی با منیزیم وجود دارد. همچنین همبستگی مثبت نسبتاً بالایی بین نیکل با فسفر و تا حدودی بین نیکل با منیزیم دیده می شود. این همبستگی ها می تواند اطلاعاتی از هم منشأ بودن عناصر در اختیار قرار دهد که در مباحث بعدی مورد بررسی بیشتر قرار خواهد گرفت.

در روش HCA که برای ارزیابی فاصله بین خوشه ها و آنالیز واریانس اجرا می گردد، فاصله کم خوشه ها بیانگر تشابه و فاصله زیاد نشان از عدم تشابه یا تشابه اندک دارد (مالکنخت و همکاران؛ ۲۰۰۴)، لذا در شکل ۲ دندروگرام نمونه های آب برداشت شده بیانگر آنند که نمونه ها در دو گروه اصلی و هفت زیرگروه قرار می گیرند. خوشه یک و ۱۸ دارای بیشترین فاصله عمودی و در نتیجه بیشترین اختلاف با یکدیگر می باشند. این موضوع می تواند ناشی از اختلاف بالای بین عناصر سدیم و منیزیم و کلسیم در این نمونه ها باشد. همانگونه که در شکل ۳ نیز مشخص است، نمونه ۱۸ دارای بیشترین میزان عنصر سدیم و دارای کمترین میزان عناصر کلسیم و منیزیم می باشد و حداکثر مقدار عناصر کلسیم و منیزیم مربوط به نمونه شماره ۱ می باشد.

در شکل ۴ مقدار غلظت کلسیم و منیزیم در نمونه های آب با مقدار مجاز آن در استاندارد WHO مقایسه شده است. همانگونه که از این نمودارها نیز مشخص است، غلظت کلسیم در نمونه های یک و هفت و غلظت منیزیم در نمونه هفت از حد مجاز بالاتر است.

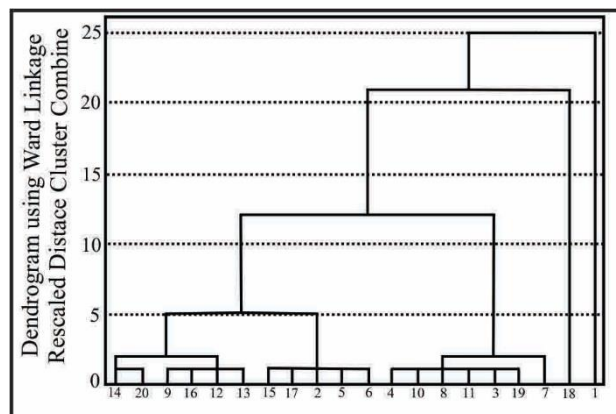
نسبت جذب سدیم برای ۲۰ نمونه آب اندازه گیری و در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده در همه نمونه ها به جز نمونه ۱۸ که مقدار SAR = ۶۵ می باشد و در رده با خطر بسیار بالا قرار می گیرد مابقی نمونه ها از نظر خطر سدیم در محدوده بدون خطر و کاملاً مناسب قرار می گیرند.

## تجزیه مولفه اصلی

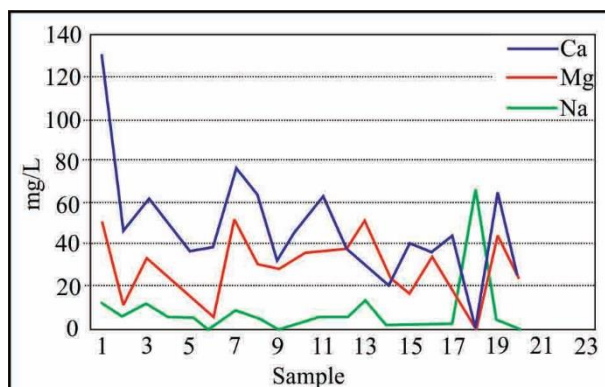
تجزیه مولفه اصلی، یکی از روش‌های آماری چند متغیره است که کاربرد گسترده‌ای در تحلیل داده‌های زیست محیطی دارد. در این روش، عناصر بر پایه رفتار و ژئوشیمی مشابه گروه بندی شده و در یک مؤلفه قرار می‌گیرند. برای یافتن فاکتورهای اصلی کنترل کننده شیمی آب زیرزمینی، ابتدا اقدام به تهیه جداول توصیفی واریانس کل بعد از ضرایب چرخش عامل‌ها نموده (جدول ۴) و سپس تحلیل عاملی و همچنین نمودار مربوطه از طریق نرم افزار SPSS در شکل ۵ رسم شد. مطابق جدول ۴ تعداد ۹ فاکتور، شیمی آب زیرزمینی منطقه را کنترل می‌کنند که در بین آنها سه فاکتور اصلی دارای اهمیت بالاتری می‌باشند. اولین فاکتور با ۳۸/۸ درصد دارای بیشترین اهمیت است، این فاکتور با افزایش غلظت کلسیم، استرانسیم و سولفید رابطه مستقیم دارد.

جدول (۲): ضریب همبستگی بیرونی عناصر در منطقه هرسین-صحنه-نورآباد.

	Ca	Cr	Mg	Na	Ni	P	S	Si	Sr
Ca	۱	*	*	*	*	*	*	*	*
Cr	-۰/۴۲	۱	*	*	*	*	*	*	*
Mg	۰/۶۱	۰/۱۸	۱	*	*	*	*	*	*
Na	-۰/۲۵	-۰/۲	-۰/۲۹	۱	*	*	*	*	*
Ni	۰/۴۲	-۰/۲۲	۰/۴	-۰/۱	۱	*	*	*	*
P	۰/۲۵	-۰/۲۶	۰/۱۳	-۰/۱۱	۰/۴۴	۱	*	*	*
S	۰/۸۳	-۰/۳۱	۰/۴۲	۰/۰۵	۰/۱۵	-۰/۰۲	۱	*	*
Si	۰/۱۹	۰/۵۴	۰/۷۶	-۰/۵۴	۰/۲	۰/۰۰۱	-۰/۰۱	۱	*
Sr	۰/۸۳	-۰/۲۸	۰/۴۹	-۰/۱۵	۰/۲۵	-۰/۰۱	۰/۷۹	۰/۰۹۲	۱



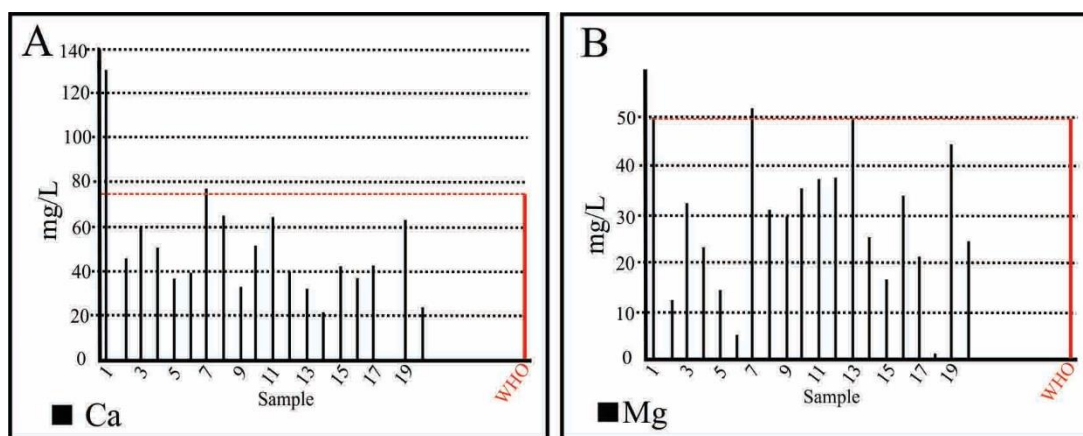
شکل (۲): دندروگرام نمونه‌های در نمونه‌ها در منطقه هرسین-صحنه-نورآباد.



شکل (۳): مقایسه غلظت Ca، Mg و Na در نمونه های منطقه هرسین-صحنه-نورآباد.

جدول (۳): مقدار SAR در نمونه های آب زیرزمینی نمونه های منطقه هرسین-صحنه-نورآباد.

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
SAR	۱/۳	۱/۱	۱/۶	۰/۹	۱	۰/۰۴	۰/۹	۰/۵	۰/۱۴	۰/۴
نمونه	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
SAR	۰/۷	۰/۸۷	۲	۰/۱۸	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۶۵/۶	۰/۶	۰/۱



شکل (۴): مقایسه Ca و Mg در نمونه های منطقه هرسین-صحنه-نورآباد با استاندارد WHO.

## جدول (۴): نتایج تجزیه به عوامل بعد از چرخش (جدول راست) و شرح واریانس کل (جدول چپ)

نمونه های منطقه هرسین-صحنه-نورآباد.

فکتور	% واریانس کل	واریانس تجمعی	تجزیه عوامل			متغیرها
			عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳	
۱	۳۸/۸۴	۳۸/۸۴	۰/۲۷	۰/۰۱	-۰/۰۸	Ca
۲	۲۴/۵۶	۶۳/۴	-۰/۱۱	۰/۳۱	-۰/۲۳	Cr
۳	۱۵/۷۶	۷۹/۱۷	۰/۱۲	۰/۲۸	۰/۰۲	Mg
۴	۸/۶۳	۸۷/۸۱	-۰/۰۳	-۰/۲۷	-۰/۰۸	Na
۵	۵/۴۳	۹۳/۲۴	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۴۵	Ni
۶	۳/۶۹	۹۶/۹۴	-۰/۱۴	-۰/۰۲	-۰/۵۷	P
۷	۱/۹۳	۹۸/۸۷	۰/۳۵	-۰/۰۷	-۰/۱۶	S
۸	۰/۷۷	۹۹/۶۵	-۰/۰۳	۰/۴۱	-۰/۰۱	Si
۹	۰/۳۵	۱۰۰	۰/۳۲	-۰/۰۱	-۰/۱۱	Sr

عامل دوم موثر در کنترل شیمی آب زیرزمینی منطقه، با ۲۴ درصد اهمیت، با افزایش غلظت کروم و سیلیسیم رابطه مستقیم دارد. عامل سوم با ۸/۶ درصد اهمیت، با افزایش غلظت نیکل و فسفر رابطه مستقیم دارد. این موضوع در شکل ۵ و در نمودار ضرایب چرخش عاملها به وضوح قابل تشخیص می باشد. همان گونه که مشاهده می شود این عناصر دارای بیشترین همبستگی با هم نیز می باشند.

## واکنش آب-سنگ

به طور کلی برهم کنش آب-سنگ بدین معناست که یک سیستم تا چه حد به تعادل نزدیک شده و یا به عبارت بهتر فاز جامد (کانی) تا چه اندازه با محلول در تماس است. برای تشخیص این مطلب می توان از مدل های کامپیوتری استفاده کرد. مدل هایی که اثر فرایندهای انتقال جرم مانند فرایندهای انحلال- ته نشینی را از طریق شاخص اشباع ارزیابی می کنند، می توانند جهت بررسی واکنش آب-سنگ مورد استفاده قرار گیرند. با استفاده از روش محاسبه شاخص اشباع بر روی نمونه های خاک و سنگ می توان به پیش بینی واکنش های کانی شناسی زیرسطحی در تماس با آب زیرزمینی و تجزیه و تحلیل های پتروگرافی پرداخت (هانسلو، ۱۹۹۵).

چنانچه شاخص اشباع برای یک کانی بیشتر از صفر باشد، کانی در آب به صورت فوق اشباع بوده و ممکن است در آب رسوب کند. برعکس، در صورتی که شاخص اشباع کمتر از صفر باشد، آب نسبت به کانی تحت اشباع بوده و می تواند در آن انحلال یابد (راجمهان و الانگو، ۲۰۰۴). شاخص اشباع کانی ها از رابطه (۱) محاسبه می شود:

$$SI = \log(IAP/K_s)$$

رابطه ۱

1. Hounslow
2. Rajmohan and Elango

در این رابطه  $K_s$  ثابت انحلال پذیری است. در واقع برای تشخیص این که آیا واکنش به حالت تعادل نزدیک است یا خیر، باید ثابت تعادل را نسبت به ثابت دیگری به نام حاصل ضرب اکتیویته یونی مقایسه کنیم.

در این بررسی برای برآورد تکامل ژئوشیمیایی نمونه‌های آب، شاخص اشباع کانی‌های مختلف با استفاده از نرم افزار Phreeqc محاسبه شده است. از آنجا که با توجه به مطالب فوق، کانی‌های موجود در مسیر آب زیرزمینی در شیمی آب تاثیر بسزایی دارند لذا برای ارزیابی بهتر و شناسایی دقیق‌تر کانی‌های موجود در مسیر آب زیرزمینی، منطقه مورد بررسی به سه زون تقسیم گردیده است. زون اول شامل مناطق هزارخانی و یادآباد، زون دوم شامل مناطق هفت چشمه، داربید، زرده سوار، چمن پاوله و چشمه حاجی محمد، زون سوم شامل مناطق سیل چشمه و گشور می‌باشد.

بر اساس جدول ۵ که مربوط به زون ۱ یا مناطق هزارخانی و یاد آباد است، کانی‌های آلبیت، انیدریت، آنورتیت، باریت، مونت موریونیت، کلسدونی، کریزوتیل، گیبسیت، ژپس، هیدروکسی آپاتیت، کائولینیت، کوارتز، سپیولیت و تالک حضور دارند که در بین آنها کانی‌های رسی شامل کائولینیت، مونت موریونیت، گیبسیت و کوارتز دارای شاخص اشباع مثبت می‌باشند. بدین معنا که آب زیرزمینی نسبت به این کانی‌ها اشباع است و این کانی‌ها در حال ته نشست اند. اما دیگر کانی‌های موجود در این زون تحت اشباع بوده و بنابراین این کانی‌ها هنوز می‌توانند در آب انحلال یابند.

بر اساس جدول ۶ در زون ۲ (مناطق هفت چشمه، داربید، زرده سوار، چمن پاوله و چشمه حاجی محمد) کانی‌های باریت، سلسیت، کلسدونی، کریزوتیل، ژپس، سپیولیت، کوارتز، انیدریت و تالک حضور دارند. در بین این کانی‌ها تنها کوارتز دارای شاخص اشباع مثبت بوده و فوق اشباع می‌باشد و مابقی کانی‌های این زون می‌توانند در آب زیرزمینی این انحلال یابند.

در زون ۳ (مناطق سیل چشمه و گشور) که کانی‌های آن در جدول ۷ ارائه گردیده، کانی‌های انیدریت، باریت، کلسدونی، کریزوتیل، ژپس، کوارتز، سپیولیت و تالک در شیمی آب موثرند و در بین آنها تنها کوارتز دارای شاخص اشباع مثبت می‌باشد. بنابراین کانی‌های دیگر در این زون تحت اشباع بوده و می‌توانند در حالت انحلال در آب زیرزمینی این زون باشند.

با توجه به جداول ۵، ۶ و ۷ در کل منطقه، موثرترین کانی‌ها در شیمی آب، کانی‌های کریزوتیل، کلسدونی، ژپس، کوارتز، انیدریت، سپیولیت، باریت و تالک می‌باشند. با توجه به این که بیشترین مقادیر شاخص اشباع مربوط به زون ۱ است، بنابراین آب این محدوده به لحاظ غلظت عناصر غنی تر می‌باشد. به نظر می‌رسد بالا بودن مقادیر شاخص اشباع کانی‌های رسی نظیر کائولینیت، مونت موریونیت و ژپسیت به دلیل گسترش سنگ‌های اولترامافیک در این زون باشد. دو کانی کلسیت و دولومیت در هر سه زون دارای شاخص اشباع منفی است، بنابراین آب زیرزمینی منطقه از این دو کانی تحت اشباع بوده و کلسیت و دولومیت هنوز در حال انحلال می‌باشند. نمودار کانی‌های مشترک در هر سه زون نسبت به شاخص اشباع در شکل ۶ ارائه شده است.

جدول (۵): شاخص اشباع کانی‌های موجود در زون ۱ منطقه هرسین-صحنه-نورآباد.

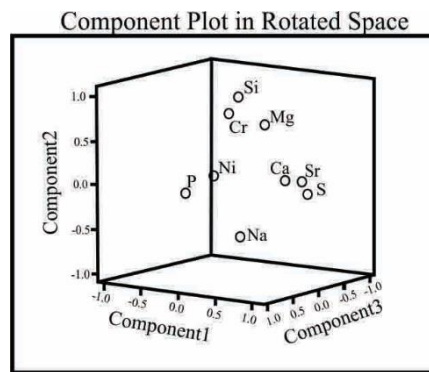
کانی	آلبیت	انیدریت	آنورتیت	باریت	مونت موریونیت	کلسدونی	کریزوتیل
SI	-۲/۰۱	-۲/۳۲	-۱/۱۴	-۰/۲۹	۴/۲۹	-۰/۲۶	-۶/۹
کانی	گیبسیت	ژپس	آپاتیت	کائولونیت	کوارتز	سپیولیت	تالک
SI	۲/۳۷	-۲/۱	-۳/۷۹	۵/۹۱	۰/۱۷	-۵/۲۸	-۳/۷

جدول (۶): شاخص اشباع کانی‌ها در زون ۲ منطقه هرسین-صحنه-نورآباد.

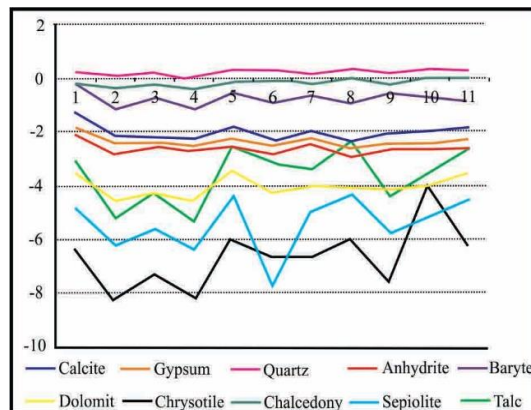
کانی	باریت	سلسیت	کلسدونی	کریزوتیل	ژیپس	کوارتز	سپولیت	انیدریت	تالک
SI	-۰/۷۶	-۲/۵۹	-۰/۱۹	-۶/۷۷	-۲/۴۱	۰/۲۴	-۵/۰۳	-۲/۶۳	-۳/۴۴

جدول (۷): شاخص اشباع کانی‌ها در زون ۳ منطقه هرسین-صحنه-نورآباد.

کانی	انیدریت	باریت	کلسدونی	کریزوتیل	ژیپس	کوارتز	سپولیت	تالک
SI	-۲/۷۱	-۰/۶۸	-۰/۲	-۷/۱۱	-۲/۴۹	۰/۲۳	-۵/۲۸	-۳/۸



شکل (۵): نمودار ضرایب چرخش عامل‌ها در نمونه های منطقه هرسین-صحنه-نورآباد.



شکل (۶): نمودار شاخص اشباع کانی‌های در نمونه های منطقه هرسین-صحنه-نورآباد.

### ارزیابی مدل‌های تک متغیره

همان گونه که پیش از این نیز ذکر شد مهمترین فاکتور کنترل کننده شیمی آب زیرزمینی با افزایش غلظت سه عنصر کلسیم، استرانسیم و سولفید همراه است و یا به عبارت دیگر انحلال سنگ منشأ حاوی این سه عنصر مهمترین فاکتور کنترل کننده شیمی آب منطقه می‌باشد. از سویی این سه عنصر بیشترین همبستگی را با یکدیگر داشته که بیانگر هم منشأ بودن آنهاست. از آنجا که کلسیم و استرانسیم دارای شعاع یونی بسیار مشابه بوده و می‌توانند در کانی‌ها جانشین یکدیگر شوند و با توجه به واکنش آب-سنگ ذکر شده مبنی بر شاخص اشباع منفی کانی ژپس، مشخص می

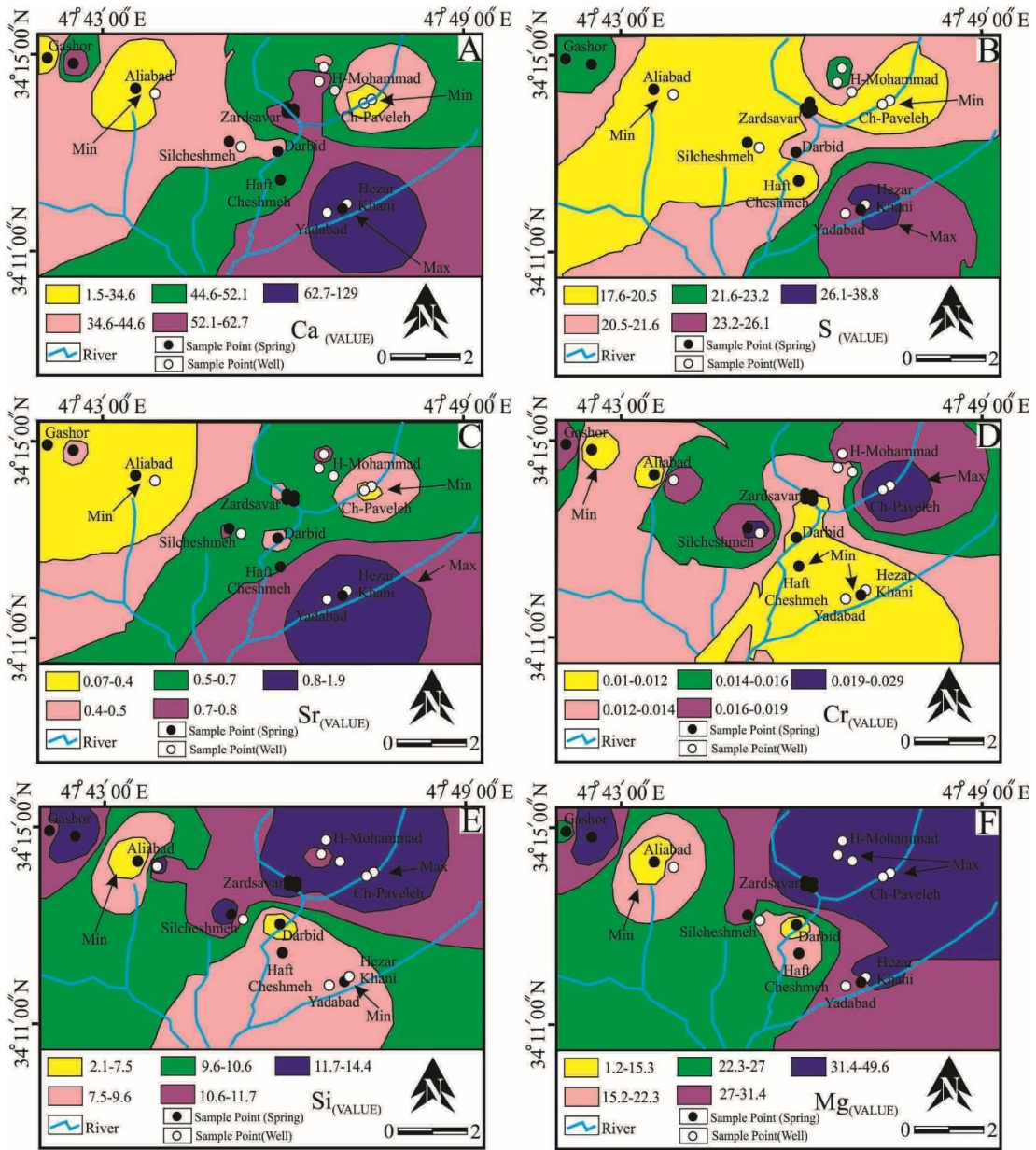
شود که این کانی منشأ مهمی برای تامین این سه عنصر است. همبستگی بالای بین سه عنصر Ca, Sr, S را می‌توان از روی نقشه‌های تک متغییره توسط نرم افزار ArcGIS بدرستی تشخیص داد. آنگونه که در شکل A ۷ تا F مشاهده می‌شود، مناطق با کمترین و بیشترین غلظت از هر یک از عناصر کلسیم، استرانسیم و سولفید بر هم منطبق اند. این موضوع می‌تواند بیانگر همبستگی بالای این سه عنصر و هم منشأ بودن آنها باشد. با توجه به این نقشه‌ها، بیشترین غلظت سه عنصر کلسیم، استرانسیم و سولفید مربوط به منطقه هزارخانی و یادآباد (زون یک) می‌باشد و کمترین غلظت مربوط به مناطق علی آباد و چمن پاوله و منطبق بر سنگ‌های رسوبی-کنگلومرایی منطقه است.

دومین فاکتور کنترل کننده شیمی آب زیرزمینی شامل هوازدگی و انحلال سنگ منشأ کروم، منیزیم و سیلیسیم می‌باشد. آن گونه که مشاهده می‌شود این سه عنصر نیز دارای همبستگی مثبت اند. بررسی نقشه هم ارزش این سه عنصر (شکل A ۷ تا F) نشان می‌دهد که نقاط بیشترین و کمترین غلظت این سه عنصر نیز تاحد زیادی از نظر موقعیت جغرافیایی شبیه به هم بوده که این نیز می‌تواند دال بر همبستگی بالا و هم منشأ بودن این سه عنصر باشد.

با توجه به شکل‌های A ۷ تا F بیشترین غلظت این سه عنصر مربوط به منطقه چمن پاوله و کمترین غلظت آنها مربوط به منطقه علی آباد و گشور می‌باشد. بررسی‌های زمین شناسی صورت گرفته (مرادپور<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷) حاکی از آن است در منطقه چمن پاوله بیشترین گسترش سنگ‌های وابسته به مجموعه افیولیتی در اختیار توالی پریدوتیتی و در محدوده گشور و علی آباد در اختیار توالی پیلو بازالتی ست.

از آنجا که عنصر کروم دارای همبستگی مثبت بالایی با سیلیس است و با توجه به حضور کروم اسپینل در سنگ‌های اولترامافیک منطقه می‌توان نتیجه گرفت که غلظت بالای کروم در محدوده‌های ذکر شده وابسته به این سنگ‌ها است. در واقع پریدوتیت ها به عنوان بخشی از مجموعه افیولیتی و مهمترین سنگ تامین کننده این عنصر در منطقه می‌توانند عامل اصلی ورود کروم و منیزیم به آب‌های منطقه باشند.

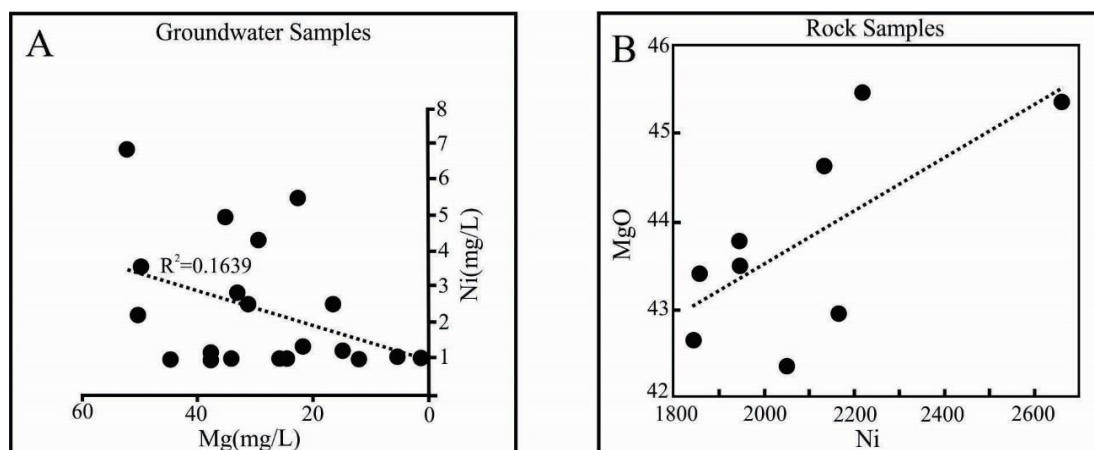
بر اساس تحقیقات انجام شده بررسی میزان نسبت منیزیم به کلسیم می‌تواند بیانگر نوع منشأ منیزیم موجود در آب زیرزمینی باشد. به عبارتی اگر این نسبت کمتر از ۰/۷ باشد منشأ منیزیم از سنگ‌های آهکی، بین ۰/۷ و یک منشأ دولومیتی و اگر این نسبت از یک بیشتر باشد منشأ منیزیم از سنگ‌های اولترامافیک مجموعه‌های افیولیتی ست (هانسلو، ۱۹۹۵). بر اساس داده‌های موجود در جدول و شکل ۸ نسبت منیزیم به کلسیم در نمونه‌های ۱۳، ۱۴ و ۲۰ که مربوط به مناطق چمن پاوله و گشور است، بیشتر از یک بوده و این بدین معناست که منشأ منیزیم در این مناطق وابسته به توالی افیولیتی است. در خصوص نیکل می‌توان بیان داشت به علت نزدیکی شعاع یونی نیکل به یون منیزیم این دو می‌توانند جانشین یکدیگر در کانی‌های فرومنیزین از جمله اولیوین شوند. در واقع به علت ورود نیکل در مراحل اولیه تبلور به جای منیزیم در شبکه الیوین ارتباط مثبت بین منیزیم و نیکل یک امر عادی و طبیعی است. این ارتباط مثبت در نمونه‌های سنگی منطقه (ولی پور<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۶) و نمونه‌های آب منطقه در شکل ۸ به خوبی قابل تشخیص است.



شکل (۷): نقشه نقاط هم ارزش عناصر در نمونه‌های منطقه هرسین-صحنه-نورآباد.

جدول (۸): نسبت Ca/Mg در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه هرسین-صحنه-نورآباد.

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
Ca/Mg	۲/۶	۳/۶۸	۱/۸	۲/۲	۲/۵	۷/۴	۱/۴	۲/۱	۱/۰۹	۱/۴
نمونه	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
Ca/Mg	۱/۶	۱/۰۶	۰/۶۵	۰/۸	۲/۴	۱/۰۷	۱/۹۷	۱/۱	۱/۴۲	۰/۹۳



شکل (۸): نمودار همبستگی Ni و Mg در A: نمونه‌های آب (ولی پور و همکاران، ۲۰۱۶) B: در نمونه‌های سنگ منطقه هرسین-صحنه-نورآباد.

### نتیجه گیری

فرآیند هوازدگی موثر بر روی سنگ‌های وابسته به توالی‌های افیولیتی منطقه هرسین-صحنه-نورآباد (شمال شرق کرمانشاه) منجر به آزاد سازی و انتشار عناصر بالقوه سمی (PTE) در آب‌های زیرزمینی منطقه شده است. مطالعات زیست‌محیطی آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، میزان بالایی از آلودگی عناصر بالقوه سمی ناشی از سنگ‌های افیولیتی را نشان می‌دهد. حضور سنگ بستر اولترامافیک با نرخ بالای هوازدگی در این مناطق نشان از برهم کنش آب/سنگ و انتشار این فلزات به آب سفرهای زیرزمینی منطقه دارد. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه غلظت بالایی از عناصر کروم، نیکل، استرانسیم، منیزیم و گوگرد وجود دارد، لذا به نظر می‌رسد عناصر با همبستگی بالاتر دارای منبع یکسانی می‌باشند. بر این اساس نتایج حاصل از همبستگی پیرسون بین عناصر نشان از همبستگی مثبت کروم و نیکل با سیلیسیم و منیزیم داشته که این موضوع بیانگر منشأ مشترک آنها از کانی‌های سیلیکاته نظیر الیون است. همچنین تجزیه مولفه اصلی آب حاکی از آن است که این فاکتور بیشترین همبستگی را با عناصری نشان می‌دهد که دارای بالاترین همبستگی پیرسون هستند که خود بیانگر اهمیت بسیار زیاد وقوع انحلال و هوازدگی سنگ منشأ در این میان است. از نقشه‌های تک متغیره در راستای تعیین منشأ و موقعیت جغرافیایی منشأ عناصر مشابه جهت بیشترین همبستگی بین عناصر استفاده شد. براساس این نقشه‌ها و واکنش آب-سنگ مهمترین فاکتورهای کنترل کننده شیمی آب شامل هوازدگی و انحلال نهشته‌های رسوبی آهکی-کنگومرایی منطقه جهت انحلال کانی ژپس به عنوان منشأ مشترک کلسیم، استرانسیم و سولفید، آلتراسیون پریدوتیت‌ها و کانی‌های فرومنیزین به عنوان منشأ مشترک منیزیم و نیکل و کانی کروم اسپینل به عنوان منشأ مشترک کروم، سیلیس و منیزیم می‌باشد. بر اساس فاکتور شاخص اشباع انحلال سه کانی کوارتز متبلور، باریت و کلسیت بعنوان سه عضو دارای بیشترین شاخص اشباع هستند همچنین

کانی‌های رسی نظیر کائولینیت، مونت مورینیت ژپسیت در زون یک دارای شاخص اشباع مثبت و بالا می‌باشند. لذا به نظر می‌رسد علاوه بر عوامل انسانزاد، تاثیر عوامل زمین زاد نظیر تشکیل کانی‌های رسی و فرایند سرپانتینیزاسیون نقش بسزایی در ایجاد آلودگی زیست محیطی منطقه داشته اند.

## منابع

- دبیری، مینو. (۱۳۹۲). «آلودگی محیط زیست (هوا-آب-خاک-صوت)». انتشارات اتحاد - ۳۹۹ صفحه
- خالدی، زهرا، محمدزاده، حسین. (۱۳۹۱). «ارزیابی کروم افیولیت ها و آبهای زیرزمینی و پتانسیل آلودگی زیست محیطی آن در جنوب شرقی بیرجند»، *زمین شناسی اقتصادی ش ۲۶*، صص ۳۳۵-۳۵۰
- شهیدی، ع.، نظری، ح.، (۱۳۷۶) «نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ هرسین». سازمان زمینشناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- هرمزی نژاد، فاطمه، راست منش، فاطمه، زراسوندی، علیرضا. (۱۳۹۵). «ارزیابی میزان آلودگی عناصر جزئی (نیکل، آهن، روی، کروم، منگنز و سرب) در خاکهای اطراف مجتمع صنایع فولاد خوزستان» *زمین شناسی اقتصادی*، ش ۸، صص ۴۱۵-۴۲۲
- Allahyari, K., Saccani, E., Rahimzadeh, B. and Zeda, O., 2014. Mineral chemistry and petrology of highly magnesian ultramafic cumulates from the Sarve-Abad (Sawlava) ophiolites (Kurdistan, NW Iran): new evidence for boninitic magmatism in intra-oceanic forearc setting in the Neo-Tethys between Arabia and Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 79(1):312–328. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2013.10.005>.
- Agard, P., Omrani J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monie, P., Meyer, B. and Wortel, R., 2011. Zagros orogeny: a subduction-dominated process. *Geological Magazine*, 148(5-6): 725-692. <https://doi.org/10.1017/S001675681100046X>
- Alloway, B. and Trevors, J., 2005. *Metals in society and in the environment*. Kluwer Academic Publishers, 407 pp.
- Aswad, K.J.A., Aziz N.R.H. and Koyi, H.A., 2011. Cr-spinel compositions in serpentinites and their implications for the petrotectonic history of the Zagros Suture Zone, Kurdistan Region, Iraq. *Geological Magazine*, 148 (5-6): 802–818. <https://doi.org/10.1017/S0016756811000422>.
- Facchinelli, A., Sacchi, E. and Mallen, L., 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environmental Pollution*, 114 (3): 313-324. DOI: 10.1016/s0269-7491(00)00243-8.
- Fantoni, D., Brozzo, G. and Canepa, M., 2002. Natural hexavalent chromium in groundwater interacting with ophiolitic rocks. *Environmental Geology*, 42(8):871–882. <https://doi.org/10.1007/s00254-002-0605-0>.
- Hounslow, A.W., 1995. *Water quality data analysis and interpretation*. CRC Press, 416pp.
- Karimi, A., Ahmadi, A. and Partabian, A., 2020. Potential soil pollution by heavy metals in Kurdistan region, western Iran: the impact of ultramafic bed rock. *Geopersia*, 10(1) 41-52. DOI:10.22059/GEOPE.2019.273444.648443.

- Lee, D.S., Pitari, G., Grewe, V., Gierens, K., Penner, K., Petzold, J.E., Prather, A., Schumann, M., Bentsen, U., Iachetti, T., Lim, L.L., and Sausen, R., 2010. Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation, *Atmospheric Environment*, 44(37): 4678–4734. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.06.005>.
- Mahlknecht, J., Steinich, B. and Navarro de León, I., 2004. Groundwater chemistry and mass transfers in the Independence aquifer, central Mexico, by using multivariate statistics and mass-balance models, *Environmental Geology*, 45(6): 781–795. DOI:10.1007/s00254-003-0938-3.
- Moradpour, A., Zarei Sahamieh, R., Ahmadi Khalaji, A. and Sarikhani, R., 2017. Textural records and geochemistry of the Kermanshah mantle peridotites (Iran): implications for the tectonic evolution of southern Neo-Tethys. *Journal of Geosciences*, 62(3): 165–186. <http://dx.doi.org/10.3190/jgeosci.244>.
- Punturo, R., Ricchiuti, C. and Bloise, A., 2019. Assessment of Serpentine Group Minerals in Soils: A Case Study from the Village of San Severino Lucano (Basilicata, Southern Italy). *Fibers*, 7(2): 1-18. <https://doi.org/10.3390/fib7020018>.
- Rajmohan, N. and Elango, L., 2004. Identification and evolution of hydrogeochemical processes in the groundwater environment in an area of the PLe and Cheryyar River Basins, Southern India. *Environment Geology*, 46(1):47-61. <https://doi.org/10.1007/s00254-004-1012-5>.
- Ricou, L.E., Braud, J. and Brunn, J.H., 1977. Le Zagros. Livre à la Mémoire de Albert F. de Lapparent. Soc, Geologique de France, Mémoire hors-série 8:33–52.
- Saccani, E., Allahyari, K., Beccaluva, L. and Bianchini, G., 2013. Geochemistry and petrology of the Kermanshah ophiolites (Iran): implication for the interaction between passive rifting, oceanic accretion, and OIB-type components in the Southern Neo-Tethys Ocean. *Gondwana Research*, 24(1):392–411. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.10.009>.
- Valipour, M., and Singh, V.P., 2016. Global Experiences on Wastewater Irrigation: Challenges and Prospects. In: Maheshwari, B., Thoradeniya, B., and Singh, V.P., (Editors), *Balanced Urban Development: Options and Strategies for Liveable Cities*. Water Science and Technology Library, Springer, Cham 589pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-28112-4-18>.
- Whitechurch, H., Omrani, J., Agard, P., Humbert, F., Montigny, R. and Jolivet, L., 2013. Evidence for Paleocene–Eocene evolution of the foot of the Eurasian margin (Kermanshah ophiolite, SW Iran) from back–Arc to arc: implications for regional geodynamics and obduction. *Lithos*, 182-183(14): 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.07.017>.
- Zarei Sahamieh, R. and Moradpour, A., 2015. Geochemistry and petrology of Harsin-Sahneh ophiolitic complex (NE of Kermanshah-west of Iran) an evidence of Southern Neo-Tethys Ocean tectonic. *Arabian Journal of Geosciences*, 8: 8347–8360. DOI:10.1007/s12517-015-1775-x.