بررسی عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی منابع آب معدن گل‌گهر با استفاده از تحلیل عاملی

حمیدرضا ناصری [۱*]، بتول جان‌جانه [۲]

۱- دانشیار آب‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهیدبهشتی

۲- کارشناس ارشد آب‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۴/۱۵

تأیید نهایی مقاله: ۱۲ /۱۳۹۲/۱۱

چکیده

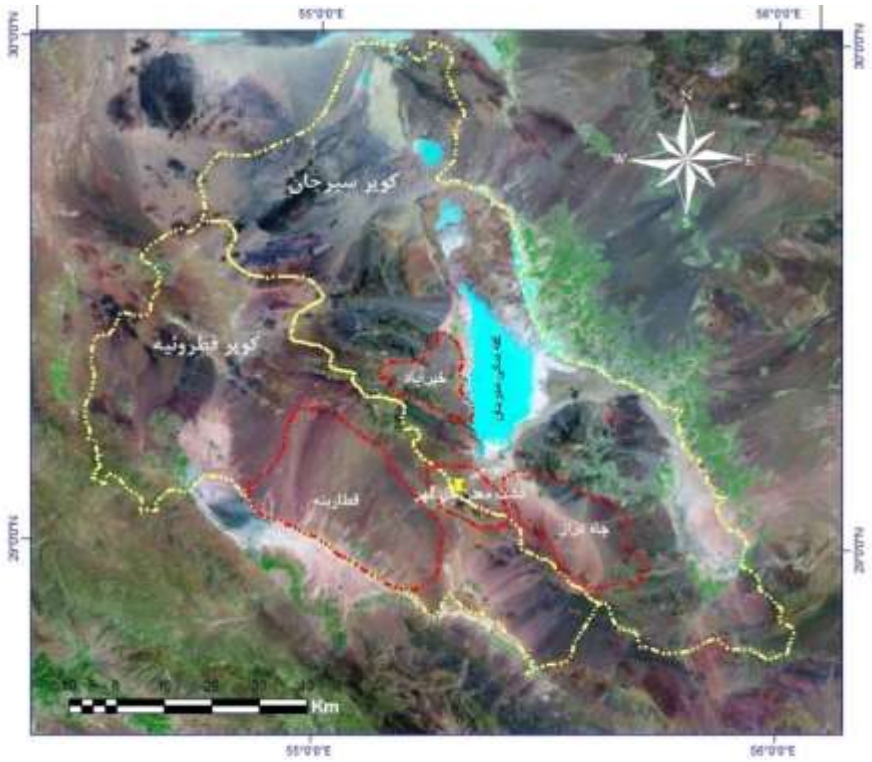
آب مورد نیاز مجتمع گل‌گهر از سه حوضه آبی چاه‌دراز، قطاربنه و خیرآباد و همچنین چاه‌هایی که در محدوده معدن حفر شده است، تامین می‌شود. با توجه به اینکه در کارخانجات معدن گل‌گهر از آبی با شاخص‌های خاص صنعتی استفاده می‌شود، بررسی و شناخت خصوصیات هیدروژئوشیمی منابع تامین آب معدن، مقایسه این منابع با یکدیگر و ارزیابی آنها به منظور تامین مطمئن آب برای مصارف مرتبط با معدن گل‌گهر لازم و ضروری می‌باشد. در این تحقیق از نتایج آنالیز شیمیایی ۸۷ نمونه آب برداشت شده از حوضه‌های آبریز چاه‌دراز (۳۴ نمونه)، قطاربنه (۲۴نمونه)، خیرآباد (۹نمونه) و همچنین محدوده معدن گل‌گهر (۲۰ نمونه) که در سال ۱۳۹۰ توسط آزمایشگاه معدن گل‌گهر مورد سنجش قرار گرفته شده، استفاده شد. جهت بررسی همزمان متغیرهای مختلف موثر بر کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه از روش تحلیل عاملی استفاده شد. بر اساس نتایج تحلیل عاملی به طور کلی دو عامل مشخص شد. عامل اول را می‌توان به فرآیند نفوذ آب شور نسبت داد. با توجه به درصد بالایی که عامل اول دارد می توان نتیجه گرفت که کفه نمکی سیرجان مهمترین عامل در تعیین کیفیت آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه است. عامل دوم توسط یون‌های بیکربنات و نیترات مشخص شده است. عامل دوم را می‌توان هم تاثیر زمین شناسی منطقه و هم عوامل بشرزاد در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: معدن گل‌گهر، کیفیت آب زیرزمینی، فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی، تحلیل عاملی

*- نویسنده مسئول: ۲۹۹۰۲۶۳۵ Email: h-nassery@sbu.ac.ir

مقدمه

کانسار سنگ آهن گل‌گهر در استان کرمان در طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۷ دقیقه شمالی و در ۵۰ کیلومتری جنوب غربی سیرجان واقع شده است. آب مورد نیاز مجتمع گل‌گهر از سه حوضه آبی چاه‌دراز، قطاربنه و خیرآباد و همچنین چاه‌هایی که در خود محدوده معدن گل‌گهر حفر شده است، تامین می‌شود. حوضه‌های چاه‌دراز و خیرآباد نسبت به حوضه آبریز درجه دو کشور در محدوده کویر سیرجان (کد ۴۴۱۸) و حوضه قطاربنه در حوضه قطروئیه (کد ۴۴۱۶) که از زیرحوضه‌های اصلی حوضه آبریز کویر ابرقو – سیرجان می‌باشند، قرار می‌گیرند. محدوده معدن گل‌گهر بین دو محدوده مطالعاتی کویر سیرجان و قطروئیه قرار دارد. حوضه آبریز قطاربنه با مساحت ۹۰۶/۵ کیلومتر مربع در غرب معدن گل‌گهر قرار گرفته است. این حوضه عمدتا از رسوبات عهد حاضر پوشیده شده است. در شرق معدن، حوضه چاه‌دراز با مساحت ۴۲۶ کیلومتر مربع قرار دارد. در این حوضه کوه‌ها از سنگ‌های عریان تشکیل شده‌اند اما کوهپایه‌ها دارای پوشش نازکی از رسوبات آبرفتی می‌باشند. حوضه خیرآباد با مساحت ۱۹۳/۵ کیلومترمربع در شمال معدن گل‌گهر و در مجاورت کفه نمکی سیرجان (خیرآباد) قرار گرفته است. حوضه خیرآباد نیز مانند حوضه قطاربنه عمدتا از رسوبات عهد حاضر پوشیده شده است. محدوده معدن گل‌گهر با مساحت ۱۵۹ کیلومترمربع، دشتی مسطح است که به سمت شمال‌شرق از ارتفاع آن کاسته می‌شود. این محدوده از شمال با حوضه آبریز خیرآباد، از جنوب با عین‌البقر، از غرب با حوضه آبریز قطاربنه و از سمت شرق با حوضه آبریز چاه‌دراز در ارتباط می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت محدوده مطالعاتی نسبت به حوضه آبریز درجه دو کشور

در مطالعات اکتشاف آب که توسط شرکت انگلیسی بینی و پارتنرس در طی سال‌های ۱۹۷۴ تا ۱۹۷۶در محدوده مورد مطالعه انجام گرفت، وجود دو لایه آب شور و شیرین مشخص شد. به طوری که لایه آب شیرین بر روی لایه آب شور قرار گرفته است. ذخایر عظیم سنگ آهن گل‌گهر باعث شده است که شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر نقش عمده‌ای در توسعه صنعت فولاد کشور داشته باشد. در این راستا تأمین آب یکی از عوامل مؤثر در راه‌اندازی پروژه‌های این شرکت باید مورد توجه قرار گیرد. با توجه به اینکه در کارخانجات معدن گل‌گهر از آبی با شاخص‌های خاص صنعتی استفاده می‌شود، بررسی و شناخت خصوصیات هیدروژئوشیمی منابع تامین آب معدن، مقایسه این منابع با یکدیگر و ارزیابی آنها به منظور تامین مطمئن آب برای مصارف مرتبط با معدن گل‌گهر لازم و ضروری می باشد.

تشخیص مجموعه‌ای از شرایط هیدروژئولوژی و فرآیندهای هیدروژئوشیمی که کیفیت آب زیرزمینی را تحت تاثیر قرار می‌دهد، دشوار است. به همین جهت هیدروژئوشیمیست‌ها از تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای استفاده می‌کنند. تحلیل عاملی یک روش آماری چند متغیره می‌باشد که هدف آن ساده کردن مجموعه‌های پیچیده و مختلفی است که بین متغیرهای مشاهده‌ای وجود دارد. به همین دلیل هیدروژئوشیمیست‌ها جهت تشخیص سهم هر یک از عوامل و شرایط موثر بر ترکیب آب زیرزمینی از روش تحلیل عاملی استفاده می‌کنند. محمود و همکاران (۲۰۱۱) برای ارزیابی تغییرات مکانی و تفسیر مجموعه داده‌های پیچیده کیفی آب از روش‌های آماری چند متغیره در پنجاب پاکستان استفاده کردند. رگوناث و همکاران (۲۰۰۲) از روش‌های آماری چند متغیره در مطالعات هیدروژئوشیمی، در کارناتاکا هند استفاده نمودند. ناصری (۱۳۸۷) با استفاده از روش‌های زمین آمار به ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت رخ (تربت حیدریه) پرداخته است. ناصری و جوینده (۱۳۸۸) به منظور دسته‌بندی و تحلیل هیدروشیمی چاه‌های آب شرب شهر شیراز از روش‌های آماری چند متغیره استفاده کردند.

روش تحقیق

با توجه به اهمیت استفاده از روش‌های آماری چند متغیره و قابلیت بالای آنها نسبت به روش‌های ترسیمی در حل پیچیدگی‌های مربوط به فرایندهای هیدروژئوشیمی، نیاز به استفاده از این روش‌ها بیش از پیش احساس می‌شود. در این تحقیق برای به دست آوردن عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی منابع تامین کننده آب مجتمع معدن گل‌گهر از تحلیل عاملی استفاده شد. تحلیل عاملی یکی از روش‌های آماری چند متغیره است که بین مجموعه فراوانی از متغیرها که به ظاهر بی‌ارتباط هستند، رابطه خاصی را تحت یک مدل فرضی برقرار می‌کند. به بیان دیگر، در تحلیل عاملی تعداد زیادی از متغیرها برحسب تعداد کمی از ابعاد یا سازه‌ها بیان می‌شود، این سازه، فاکتور یا عامل نامیده می‌شود (منصورفر، ۱۳۸۸).

در این روش همبستگی تعداد زیادی از متغیرها که به نظر می‌رسد بی‌ارتباط هستند، مشخص می‌شود. این رابطه به وسیله چند متغیر غیرقابل مشاهده یا عامل بیان می‌شود. به طور مثال اگر متغیرهای تصادفی از بردارهای تصادفی قابل مشاهده $X=(x_1 \ldots x_p)$ برحسب همبستگی دو به دوی آنها دسته‌بندی شوند یعنی متغیرهایی که همبستگی بالایی دارند در یک دسته قرار گیرند، آنگاه عامل مشترک بین متغیرهای موجود در هر دسته که باعث همبستگی بین متغیرها شده است، به عنوان عامل پنهان و هر یک از این دسته‌ها به

عنوان عامل شناخته می‌شوند. هر عامل یا f_i دربرگیرنده چند متغیر تصادفی از بردار X که همبستگی بالا دارند، می‌باشد. بنابراین اگر ... f_i f_m ، k عامل و x_p ... x_1 متغیرهای تصادفی باشند آنگاه $m \leq p$ است و بدین طریق داده‌ها برحسب عوامل مشترک کاهش می‌یابند، مدل به صورت رابطه ۱ بیان می‌شود (جوینده، ۱۳۸۶):

رابطه ۱:

$$X_j = \sum_{r=1}^{p} a_{j,r} f_r + \varepsilon_j$$

که X_j ، j امین متغیر، f_r ، r امین عامل مشترک، P تعداد مشخص عوامل و ε_j تغییرات تصادفی از متغیر X_j و ضریب $a_{j.r}$ بار (Loading) I امین متغیر بر r امین عمل است. ضریب $a_{j.r}$ نشان‌دهنده ارتباط متغیر i ام با عامل r ام است که بار عاملی نامیده می‌شود. به عبارت دیگر بار عاملی کوواریانس بین متغیر iام با عامل rام است.

جهت شناخت سیستم هیدروژئوشیمی حاکم بر آب‌های زیرزمینی منابع تامین کننده آب مجتمع گل‌گهر از نتایج آنالیز شیمیایی ۸۷ نمونه آب برداشت شده از دشت‌های چاه‌دراز (۳۴ نمونه)، قطاربنه (۲۴نمونه)، خیرآباد (۹ نمونه) و همچنین محدوده معدن (۲۰ نمونه) که در سال ۱۳۹۰ توسط آزمایشگاه معدن گل‌گهر مورد سنجش قرار گرفته شده، استفاده شد. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌ها در جدول‌های ۱ تا ۴ و موقعیت این منابع در شکل‌های ۲ تا ۵ نمایش داده شده است. در دشت قطاربنه نمونه ASHEGH از چشمه عاشق برداشت شده است. در دشت معدن گل‌گهر نمونه‌های GONR و GONP از پساب گندله‌سازی و نمونه‌های OFRO،RO و DRINK از آب شرب معدن می‌باشند. سایر نمونه‌ها از آب زیرزمینی برداشت شده‌اند.

جدول ۱: نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت چاه‌دراز، یون‌ها و TDS بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، EC برحسب میکروموس بر سانتیمتر و سختی بر حسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم (۱۳۹۰)

ردیف	شماره نمونه	X	Y	EC	TH	T.D.S	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	$HCO3^{-}$	Cl^{-}	$SO4^{2-}$	$NO3^{2-}$
۱	1-50C	۲۵۲۲۷۷	۳۲۲۰۳۴۵	۸۵۰--	۷۷۰-	۵۹۰--	۶/۱۹	۱۴۸-	۹۶-	۱۶۵--	۴۹	۳۶	۲۹۹--	۸۶-	-/۸۲
۲	1-50K	۲۵۲۲۷۵	۳۲۲۰۳۴۱	۴۱--	۵۲-	۲۹۵-	۸/۹	۱۱۲	۶۷/۲	۷۰--	۶/۷	۳۲	۱۲۱-	۲۳-	-/۲۴
۳	1-50P	۲۵۲۲۷۶	۳۲۲۰۳۴۲	۴۰--	۴۴-	۲۹--	۷/۱۱	۹۶	۴۸	۷۲-	۹	۵۶	۱۲۱-	۱۹۸	-/۳
۴	1_51	۲۵۲۶۸۸	۳۲۱۸۱۴۸	۲۳--	۳۲-	۱۵--	۸/۸۸	۴-	۵۲/۸	۴۲-	۶	۴۸	۶۶-	۱۶۵	-/۴۶
۵	1-52H	۲۵۲۹۲۷	۳۲۲۰۲۴۱	۳۱--	۳۶-	۲۱--	۹/۷	۳۲	۶۷/۲	۶--	۴/۵	۱۲۸	۹--	۱۶-	-/۲
۶	1_53	۲۵۲۹۲۱	۳۲۱۵۸۵۵	۱۹۵-	۲۸-	۱۳۲-	۹/-۸	۳۲	۴۸	۳۲-	۵/۵	۵-	۴۱-	۲۸-	-/۱۲
۷	1_54	۲۵۵۷۲۵	۳۲۱۸۱۲۸	۳۲۵-	۴۴-	۲۳--	۸/۳۸	۶۴	۶۷/۲	۵۹-	۵	۵۲	۱۰۵-	۱۷-	-/۱۲
۸	1_55	۲۵۴۴۵۲	۳۲۱۳۳۱۸	۱۸۵-	۴--	۱۲۴-	۸/۶۸	۴-	۷۲	۲۵-	۶/۵	۱۳۲	۳۲-	۲۸-	-/۳
۹	1-56P	۲۵۵۷۹۱	۳۲۱۵-۱۳	۱۹۷-	۴۲-	۱۳--	۷/۶۷	۶۴	۶۲/۴	۲۶-	۴/۵	۱۴۸	۳۲-	۳--	۷/۶
۱۰-	1-56P1	۲۵۶-۶۴	۳۲۱۵۳۵۵	۲۱۵-	۵۴-	۱۴۵-	۷/۶۳	۱-۴	۶۷/۲	۲۵-	۳/۵	۱۴۴	۲۸-	۴۳-	۶/۵
۱۱	1-56P2	۲۵۶۴-۴	۳۲۱۵۷۸۹	۱۸۸-	۴۳-	۱۳--	۷/۶۳	۹۲	۴۸	۲۳-	۳	۱۵۶	۳--	۲۷-	۱۴/۷
۱۲	1-57P1	۲۵۶۹۹۶	۳۲۱۶۵۴۴	۳۷۵-	۱---	۲۴۵-	۷/۴۵	۲۴-	۹۶	۴۲۸	۴/۵	۹۶	۹--	۴۵-	۸/۶
۱۳	1-57P2	۲۵۶۷-۶	۳۲۱۶۱۸۳	۱۹۵-	۵--	۱۲۵-	۷/۵۵	۱۲-	۴۸	۲۱۵	۳	۱۳۲	۲۵-	۲۸-	۸/۶
۱۴	1-OW12H	۲۵-۲-۷	۳۲۱۷۶۷۴	۳۱۸-	۸--	۲۰--	۷/۴۶	۲۰--	۷۲	۲۸-	۶/۵	۱۶۸	۶--	۵۲۵	۲/۱
۱۵	1-OW13	۲۴۶۵۶۸	۳۲۲۴۵۸۱	۲۸---	۷۸--	۲۵۹--	۹/۲۲	۲۴۸-	۳۸۴	۵۵--	۲۶	۴۸	۱۲۶۵-	۱۲-	-/۴۵
۱۶	1-OW14	۲۴۸۶۷۱	۳۲۲۵۵۹۵	۲۲---	۲۶--	۲۲۵--	۹/۸۶	۶۸-	۲۱۶	۶۵--	۴۲	۳۶	۹۲--	۸۸-	-/۶۵
۱۷	1-OW15	۲۵۴-۷۲	۳۲۲۱۹۸۲	۳۶--	۶--	۲۴--	۷/۷۹	۱۳۶	۶۲/۴	۵۸-	۴/۴	۱۲۸	۸--	۶--	۱/۵۵
۱۸	1-OW17	۲۵-۷۹۹	۳۲۲۱-۴۱	۵۹---	۶۹--	۲۸۷--	۹/-۲	۱۶۸-	۶۴/۸	۱۱۲--	۳۷	۲۸	۲۱۷۵-	۵--	-/۵۱
۱۹	1-OW21	۲۶۳-۶۲	۳۲۱-۷۶۲	۲۴۵--	۷۶--	۱۷---	۷/۲۳	۲۳۶-	۴-۸	۲۳--	۳۱	۶-	۸۶--	۳۷-	۱/۱۲
۲۰-	1-OW22	۲۶۵۷۶۹	۳۲۱۳۹۵۸	۹۵--	۲۶--	۶۲۵-	۷/۴۳	۵--	۳۳۶	۱۲۱-	۱۷	۱۲-	۲۴۵-	۱۲--	۴/۱
۲۱	1-OW23	۲۶۶۴-۵	۳۲۱-۵۷۸	۳۷--	۸۵-	۲۴--	۷/۵۷	۲۲-	۷۲	۴۸-	۸/۵	۱-۴	۸--	۵۸-	۴/۲
۲۲	1-OW24	۲۵۷۴۴۷	۳۲۱۱۸۸۱	۳۴--	۷۵-	۲۲--	۷/۵۹	۲--	۶-	۴۵-	۷/۵	۱۵۲	۷۲۵	۴۸-	۸/۵
۲۳	1-OW4	۲۴۹۹۵۶	۳۲۲۳-۹۳	۱۱۵--	۳۳--	۷۲--	۷/۲۳	۶۸-	۳۸۴	۱۲--	۳/۹	۱۸۴	۳۳۵-	۷۵-	۵/۲
۲۴	1-OW5	۲۴۸۷۷۷	۳۲۲-۶۴۶	۳۵۵-	۱---	۲۴--	۷/۶۳	۲۴-	۹۶	۳۸۴	۳/۷	۱۲۴	۸۵-	۴۵-	۷/۱
۲۵	1-OW7H	۲۵۹۴۶۷	۳۲۱۵۷۵۶	۳۵--	۷--	۲۳--	۷/۴۸	۱۸-	۶-	۵۴-	۳/۴	۱۲۸	۷۵-	۵۸-	۷
۲۶	1-PW10	۲۵۴۱-۳	۳۲۱۷۶۸۵	۱۹۵-	۳--	۱۲۵-	۷/۸	۶-	۳۶	۳۴۵	۳	۶-	۶--	۴۲	۳/۵
۲۷	1-PW3	۲۵۷۶۶۵	۳۲۱۳۵۹۹	۱۶۵-	۴۵-	۱۱--	۷/۹۲	۱--	۴۸	۱۸-	۲/۵	۱۴-	۳--	۱۹-	۹/۸
۲۸	1-PW3-P4	۲۵۷۹۷۴	۳۲۱۳۹۸۳	۱۹۵-	۵۵-	۱۳--	۷/۶۵	۱۴-	۴۸	۲-۵	۲/۵	۱۲۸	۳۵-	۲۵-	۹/۴
۲۹	1-PW4	۲۵۹۶۴۱	۳۲۱-۹۸۴	۱۲--	۱۸-	۷۹۵	۹/-۴	۴-	۱۹/۲	۱۸۵	۳/۵	۹۲	۳--	۵-	-/۸۸
۳۰-	1-PW6	۲۵۳۱۱۳	۳۲۱۸۶۵۳	۳--	۷۶	۲--	۸/۶۳	۲-/۸	۵/۷۶	۴-	۲	۴۸	۷-	۱۴	-/۲۴
۳۱	INCH	۲۵۶۱۱۷	۳۲۱۵۸-۳	۱۹--	۴۴-	۱۲۵-	۷/۸۲	۱۱۲	۲۸/۴	۲۵-	۳/۵	۱۴-	۳۸-	۲۲-	۸/۲
۳۲	1-SOW6	۲۵۲۳۲۶	۳۲۲۲۹۵۲	۱۴۵-	۲۴-	۹۸-	۷/۸۵	۴۸	۲۸/۸	۲۴-	۱/۵	۲۴۸	۱۳-	۲۷-	۳/۲
۳۳	AMANI	۲۵۴۲۶-	۳۲۲-۸۵۸	۷۵--	۱۵--	۵۱--	۷/۱۳	۳۳۶	۱۵۸/۴	۱۱--	۵/۵	۱۱۲	۱۸۷-	۸۵-	۱۲/۴
۳۴	BEIGLORI	۲۵۳۹۶۵	۳۲۲-۳۵۲	۷۹--	۱۵--	۵۳--	۷/۳۹	۴--	۲-۴	۱-۵-	۷	۱۳۶	۲۲۵-	۶۷-	۱۱/۲

جدول۲: نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی محدوده معدن گل‌گهر، یون‌ها و **TDS** بر حسب میلی‌گرم بر لیتر،**EC** برحسب میکروموس بر سانتیمتر و سختی برحسب میلیگرم در لیتر کربنات کلسیم (۱۳۹۰)

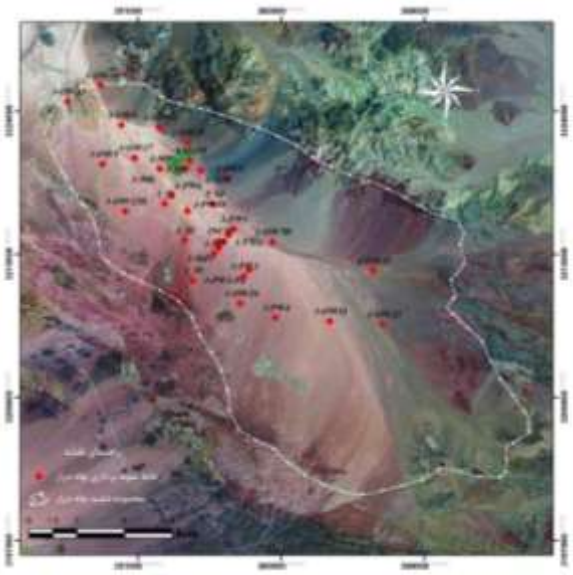
ردیف	شماره نمونه	X	Y	EC	TH	T.D.S	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	$HCO3^{-}$	Cl^{-}	$SO4^{2-}$	$NO3^{-}$
۱	A29	۲۲۲۷۸۱	۳۱۱۹۴۷۴	۱۵۵۰۰	۲۵۵۰	۱۰۵۰۰	۷/۴۷	۷۰۰	۴۴۲	۲۰۰۰	۱۱	۱۱۶	۳۷۲۵	۲۲۰۰	۶/۵
۲	A15	۲۲۲۸۲۶	۳۱۱۲۸۱۱	۱۴۰۰۰	۳۳۰۰	۸۶۵۰	۷/۲۵	۷۶۰	۲۳۶	۱۶۰۰	۱۲	۸۸	۴۱۵۰	۶۵۰	۵/۲
۳	A21	۲۲۲۹۰۸	۳۱۱۲۶۵۹	۱۳۵۰۰	۳۳۵۰	۹۳۵۰	۶/۱۶	۹۶۰	۲۲۸	۱۷۵۰	۹	۳۶	۴۲۰۰	۸۵۰	۱/۴
۴	A28	۲۲۶۱۴-	۳۱۲-۴۱۶	۹۰۰۰	۲۳۰۰	۶۱۰۰	۷/۲۶	۵۲۰	۲۴۰	۱۰۵۰	۷	۱۰۸	۲۲۷۵	۷۷۵	۱۶/۲
۵	B11	۲۲۵۴--	۳۱۱۸۹۲۷	۱۵۵۰۰	۴۲۰۰	۱۱۰۰۰	۷/۱۵	۱۱۰۰	۳۴۸	۱۸۰۰	۱۰/۵	۵۶	۴۸۳۰	۸۵۵	۱۱/۲
۶	GONP	۲۲۸۲۱۶	۳۱۱۹۵۱۲	۶۱۰۰	۱۲۵۰	۳۹۰۰	۸/۲۱	۳۰۰	۱۲۰	۸۶۰	۹	۴۰۴	۱۱۲۵	۸۷۰	۲۰
۷	DAM6	۲۲۹۱۶۴	۳۱۱۵۵۸-	۸۲۰۰	۱۷۰۰	۵۲۰۰	۷/۲۷	۲۴۰	۲۰۴	۱۱۶۵	۱۰/۴	۱۶۸	۱۷۵۰	۱۳۵۰	۲/۵
۸	DAM09	۲۴-۱۲۸	۳۱۱۵-۷۷	۴۷۰	۲۰۰	۳۱۰	۷/۷۲	۵۶	۱۴/۴	۱۹	۷	۱۸۰	۳۰	۱۶	۰/۷
۹	RO	۲۲۷۵۵۶	۳۱۱۹۱۷۲	۲۵۰	۷۶	۲۲۰	۵/۲۲	۱۷/۶	۷/۶۸	۴۰	۱	۱۲	۷۰	۳۸	۱
۱۰	A14	۲۲۹۱۱۵	۳۱۱-۶۵۹	۱۲۵۰۰	۳۱۵۰	۸۵۵۰	۷/۴۲	۹۰۰	۲۱۶	۱۵۶۰	۱۱/۵	۱۲۴	۳۵۰۰	۱۱۵۰	۴/۶
۱۱	OFRO	۲۲۷۵۶-	۳۱۱۹۱۲۹	۶۰	۱۲	۴۰	۵/۹	۲/۲	-/۹۶	۱۰	۰	۱۲	۱۲	۳	-/۸۲
۱۲	B4	۲۲۵۸۶۵	۳۱۱۸۴۹۲	۲۲۰۰۰	۹۲۰۰	۲۱۵۰۰	۷/۰۲	۲۶۴۰	۶۲۴	۲۴۰۰	۱۶/۵	۴۴	۱۰۲۷۵	۱۳۰۰	۱۵/۶
۱۳	FW35	۲۲۷۸۲۷	۳۱۱۸۱۷۴	۲۶۳۰۰	۲۱۰۰	۱۹۱۰۰	۷/۲۸	۲۱۶۰	۴۰۸	۴۱۷۵	۲۷	۶۴	۸۴۰۰	۸۸۰	۱۰/۲۲
۱۴	FW36	۲۲۷۹۹۲	۳۱۱۸۶۲۲	۶۱۰۰	۱۶۵۰	۶۱۵۰	۷/۲۲	۴۴۰	۱۲۲	۶۳۰	۷/۲	۸	۱۹۵۰	۱۹۰	-/۶۲
۱۵	FW37	۲۲۸۰--۵	۳۱۱۸۲۶۴	۱۰۷۰	۲۶۸	۷۵۰	۷/۱۵	۱۲۹/۶	۱۰/۵۶	۷۸	۳	۴۸	۱۸۴	۲۱۶	-/۱۴۸
۱۶	FW42	۲۲۵۲۶۴	۳۱۱۸۱۷-	۲۳۰۰۰	۱۰۲۰۰	۲۴۰۰۰	۶/۲	۲۸۰۰	۷۶۸	۳۶۰۰	۱۶	۴۸	۱۱۲۵۰	۸۲۰	۲۱/۵
۱۷	NORTH POOL	۲۲۶۱۷-	۳۱۱۹۵۱۱	۷۸۰۰۰	۱۷۸۰۰	۵۶۵۰۰	۶/۲	۶۲۰۰	۵۵۲	۱۰۲۰۰	۸۵	۲۴	۲۷۷۵۰	۶۸۰	۱۰/۲
۱۸	3-PW1	۲۲۶۷۱۴	۳۱۱۹۵۹۸	۲۴۰۰	۲۰۰	۱۶۰۰	۸/۷	۴۰	۲۴	۴۵۰	۸/۲	۱۲۴	۶۷۵	۹۰	۵/۵
۱۹	DRINK	۲۲۷۸۸۶	۳۱۱۹۲۱۶	۱۲۰۰	۲۵۰	۸۰۰	۷/۲۴	۶۰	۲۴	۱۵۰	۲/۲	۹۶	۲۰۰	۱۵۵	۷/۱
۲۰	MINE3	۲۳۵۲۹۳	۳۲۲۰۲۴۰	۶۵۰۰	۱۰۴۰	۳۱۰۰	۷/۶۶	۲۱۶	۱۲۰	۵۹۵	۵	۹۲	۱۰۷۰	۵۶۸	۸/۸

جدول ۳: نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت قطاربنه، یون‌ها و **TDS** بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، **EC** برحسب میکروموس بر سانتیمتر و سختی بر حسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم (۱۳۹۰)

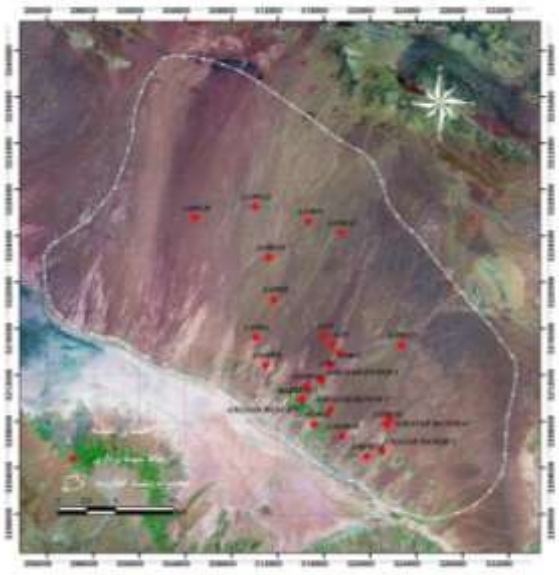
ردیف	شماره نمونه	X	Y	EC	TH	T.D.S	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	$HCO3^{-}$	Cl^{-}	$SO4^{2-}$	$NO3^{-}$
۱	3-OW12	۲۱۰۰۱۷	۳۲۲۶۵۱۴	۲۱۰۰	۲۰۰	۱۵۲۰	۹/۲	۴۰	۲۴	۴۴۰	۵/۵	۱۰۸	۵۶۰	۱۸۵	۰/۲۷
۲	3-OW13	۲۱۷۴۷۸	۳۲۲۴۲۵۵	۶۲۰۰	۱۲۶۰	۴۴۰۰	۸/۲۶	۲۱۶	۱۹۶/۸	۸۷۰	۲	۲۰	۱۵۳۰	۸۶۰	۰/۱۸
۳	3-OW17	۲۲۲۷۱۰	۳۲۱۶۵۴۲	۱۵۶۰	۱۶۰	۱۱۰۰	۹/۲	۴۰	۱۴/۴	۲۸۰	۶/۵	۸۸	۳۱۰	۱۹۶	۰/۵۵
۴	3-OW18	۲۲۱۶۴۴	۳۲۰۷۷۴۲	۴۲۰۰	۷۰۰	۲۸۰۰	۷/۲۴	۲۰۰	۴۸	۶۹۰	۸/۶	۲۴	۱۲۰۰	۳۰۸	۰/۵۲
۵	3-OW19	۲۱۱۲۴۱	۳۲۲۲۱۲۸	۴۴۸۰	۱۰۶۰	۲۱۰۰	۷/۰۸	۱۸۴	۱۴۴	۶۰۰	۸	۷۶	۱۱۷۰	۴۹۵	۳
۶	3-OW20	۲۰۴۸۲۸	۳۲۲۵۵۶۵	۷۲۰۰	۱۷۰۰	۵۲۰۰	۷/۱۴	۲۸۸	۲۲۵/۲	۹۲۵	۱۱	۴۸	۱۸۵۰	۹۵۰	۲/۴
۷	3-OW5	۲۱۶۵۵۲	۳۲۱۲۸۲۱	۲۵۵۰	۸۰	۲۴۰۰	۸/۵۲	۲۴	۴/۸	۸۰۰	۴	۱۰۴	۹۶۰	۲۷۵	۱/۲
۸	3-OW6	۲۱۰۰۲۴	۳۲۱۵۲۲۵	۵۵۰۰	۸۰۰	۲۸۰۰	۷/۷۶	۱۶۰	۱۰۰	۹۲۰	۸	۶۸	۱۵۲۰	۵۲۰	۵/۵
۹	3-OW8	۲۱۱۶۶۲	۳۲۱۸۵۰۷	۲۱۰۰	۱۰۴	۲۲۰۰	۷/۱۶	۱۲۰	۵۲/۸	۵۱۰	۷/۵	۴۸	۷۷۰	۲۸۵	۶/۵
۱۰	3-OW9	۲۱۶۶۲۲	۳۲۲۵۲۲۷	۶۱۰۰	۱۲۲۰	۴۲۰۰	۷/۱۲	۲۴۰	۱۷۲/۸	۸۱۰	۸/۶	۱۲۴	۱۶۷۰	۷۲۰	۹/۸
۱۱	3-P1	۲۱۷۲۵۸	۳۲۱۲۸۸۰	۵۲۰۰	۸۸۰	۲۸۰۰	۷/۸	۱۹۲	۹۶	۸۲۰	۹	۶۴	۱۲۴۰	۶۲۰	۶/۴
۱۲	3-P2	۲۱۶۶۸۹	۳۲۱۶۶۱۱	۵۲۰۰	۷۴۰	۲۵۸۰	۸/۱۲	۱۸۴	۶۷/۲	۹۲۰	۸/۵	۴۴	۱۶۷۰	۵۵۰	۶/۶
۱۳	3-P3	۲۱۶۰۱۸	۳۲۱۵۲۲۲	۵۲۰۰	۸۰۰	۲۷۵۰	۷/۶۵	۱۶۸	۹۱/۲	۸۷۵	۸/۵	۵۶	۱۲۶۰	۶۱۰	۵/۴
۱۴	3-SOW12	۲۱۵۱۴۴	۳۲۰۷۷۵۰	۱۲۵۰۰	۲۵۲۰	۹۸۰۰	۷/۱۲	۱۰۰۰	۲۴۴/۸	۱۵۶۰	۱۱	۶۸	۲۶۵۰	۱۲۵۰	۱۸/۹
۱۵	3-SOW14	۲۱۷۵۶۲	۳۲۰۶۶۹۷	۶۰۰۰	۱۲۰۰	۴۲۰۰	۷/۱۲	۲۴۴	۱۰۵/۶	۷۸۰	۶/۵	۷۶	۱۶۵۰	۸۸۰	۸/۸
۱۶	3-SOW15	۲۱۹۶۷۴	۳۲۰۴۹۶۱	۵۴۰۰	۱۲۲۰	۲۵۰۰	۷/۶۶	۲۸۴	۸۶/۴	۷۰۰	۸/۵	۴۰	۱۰۵۰	۱۲۲۰	۹
۱۷	3-SOW16	۲۱۶۵۰۹	۳۲۱۱۰۲۶	۷۹۰۰	۱۲۴۰	۵۷۰۰	۶/۴۲	۲۹۶	۱۹۴	۱۲۱۰	۹	۲۰	۲۵۸۰	۲۵۰	۰/۲۵
۱۸	3-SOW8	۲۱۰۹۲۹	۳۲۱۲۸۵۹	۵۹۰۰	۱۲۵۰	۴۱۰۰	۷/۵۲	۲۸۰	۱۲۲	۸۲۵	۶/۵	۱۰۴	۱۵۷۵	۵۶۵	۶/۵
۱۹	GHATAR BANEH 1	۲۱۵۷۲۹	۳۲۱۱۴۹۱	۹۸۰۰	۲۴۵۰	۶۹۵۰	۷/۲۲	۶۸۰	۱۸۰	۱۲۵۰	۹	۷۲	۲۹۲۵	۷۲۰	۱۶
۲۰	GHATAR BANEH 2	۲۲۱۰۴۴	۳۲۰۵۴۱۱	۱۹۵۰۰	۲۷۵۰	۱۳۲۰۰	۶/۹	۹۰۰	۲۶۰	۲۹۰۰	۱۴/۷	۶۸	۶۰۲۵	۱۱۵۰	۷/۲
۲۱	GHATAR BANEH 3	۲۱۶۵۲۶	۳۲۰۹۰۵۵	۱۲۵۰۰	۲۷۵۰	۸۷۰۰	۶/۹	۷۰۰	۲۴۰	۱۹۵۰	۱۰/۵	۸۰	۴۸۷۵	۱۲۰۰	۴/۶
۲۲	GHATAR BANEH 4	۲۲۱۶۹۸	۳۲۰۸۱۶۶	۱۱۶۰۰	۲۶۰۰	۸۲۰۰	۷/۱۵	۷۰۰	۲۰۴	۱۶۸۵	۹	۸۰	۳۴۵۰	۹۱۵	۶/۷
۲۳	GHATAR BANEH 5	۲۱۴۱۲۸	۳۲۰۹۸۷۹	۸۹۰۰	۲۲۰۰	۶۲۰۰	۷/۱۲	۶۰۰	۱۹۲	۱۰۴۵	۸	۸۰	۲۴۵۰	۸۲۰	۱۰/۶
۲۴	ASHEGH 1	۲۱۵۸۵۹	۳۲۱۱۵۰۹	۵۲۰	۲۲۶	۲۷۰	۷/۹۶	۵۲/۸	۲۶/۳۶	۲۲	۱/۲	۱۵۶	۳۲	۵۰	۱۷/۱

جدول ۴: نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت خیرآباد، یون‌ها و **TDS** بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، **EC** برحسب میکروموس بر سانتیمتر و سختی برحسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم (۱۳۹۰)

ردیف	شماره نمونه	X	Y	EC	TH	T.D.S	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	$HCO3^{-}$	Cl^{-}	$SO4^{2-}$	$NO3^{3-}$
۱	4-OW2	۳۲۲۸۹۲	۳۲۴۶۵۹۴	۱۱۵۰	۲۰۰	۷۸۵	۷/۹۳	۶۰	۱۲	۱۸۵	۲/۸	۱۶۴	۱۷۵	۱۱۵	۶/۵
۲	4-SOW10	۳۲۳۶۲۲	۳۲۴۲۷۸۵	۲۴۰۰	۷۰۰	۱۶۰۰	۷/۴۲	۱۶۰	۷۲	۲۵۰	۲/۸	۱۳۶	۶۷۵	۱۱۰	۱۰
۳	4-SOW14	۳۲۵۴۴۰	۳۲۴۱۰۲۲	۱۶۵۰	۲۵۰	۱۱۰۰	۷/۳۹	۵۶	۱۴/۴	۲۵۰	۵/۵	۱۸۸	۴۲۵	۴۰	۵/۵
۴	4-SOW3B	۳۲۴۲۳۲	۳۲۴۵۱۳۱	۱۷۰۰	۳۰۰	۱۲۰۰	۷/۷۶	۷۵/۲	۲۶/۸۸	۲۵۰	۴/۲	۱۶۴	۴۲۵	۵۰	۱۱/۵
۵	4-SOW4B	۳۲۴۹۶۲	۳۲۵۰۴۶۲	۲۰۰۰	۲۵۰	۱۳۰۰	۸/۰۵	۶۰	۲۴	۲۳۰	۷/۵	۱۵۲	۵۰۰	۹۰	۵/۳
۶	4-SOW7B	۳۲۴۰۳۹	۳۲۵۲۴۳۱	۱۰۵۰۰۰	۱۲۱۵۰	۷۳۵۰۰	۶/۹۵	۲۷۲۰	۱۲۸۴	۱۹۶۰۰	۲۰	۴۸	۳۷۵۰۰	۱۴۷۵	۰/۱۶
۷	KHEYRABAD 1	۳۲۵۹۶۸	۳۲۴۴۳۵۴	۱۱۲۰۰	۱۱۵۰	۷۷۰۰	۷/۲۸	۲۴۰	۱۳۲	۲۰۰۰	۲۷	۱۴۸	۳۶۲۵	۱۶۵	۵/۲
۸	KHEYRABAD 2	۳۲۵۷۰۴	۳۲۴۴۴۰۵	۲۹۵۰	۲۶	۱۹۰۰	۹/۱	۴۸	۳۳/۶	۶۰۰	۱۰/۵	۱۲۰	۸۹۰	۱۲۸	۵/۹
۹	KHEYRABAD 3	۳۲۳۹۷۱	۳۲۵۵۴۴۵	۱۱۰۰	۱۸۰	۷۷۵	۷/۸	۵۶	۹/۶	۱۷۵	۲/۳	۱۶۰	۲۳۰	۷۵	۵/۹

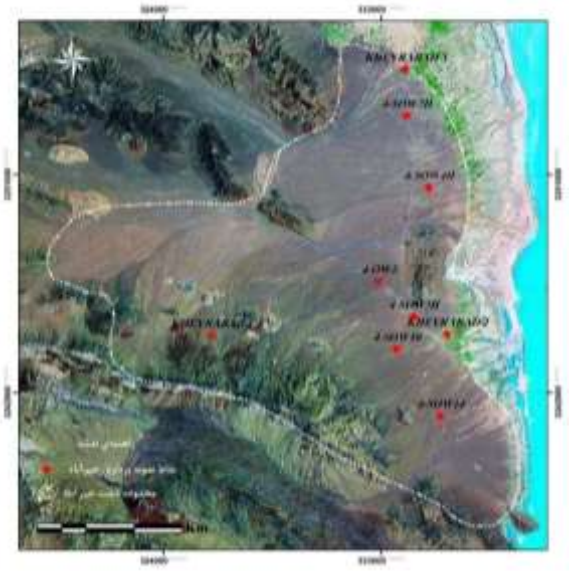


شکل ۳: موقعیت منابع آبی در دشت چاه‌دراز



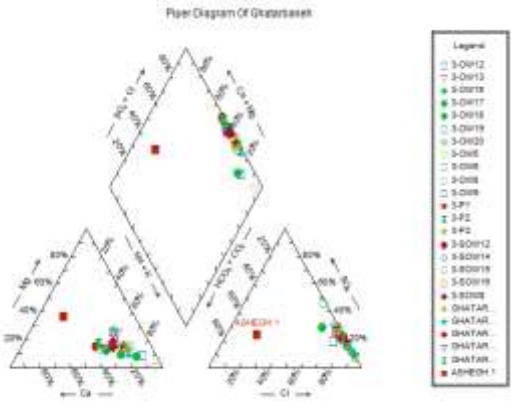
شکل ۲: موقعیت منابع آبی در دشت قطاربنه

شکل ۴: موقعیت منابع آبی در دشت گل‌گهر

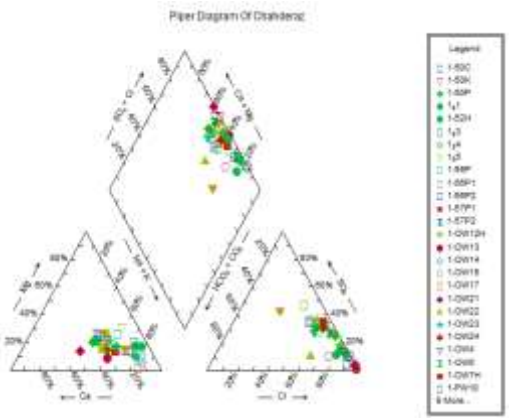


شکل ۵: موقعیت منابع آبی در دشت خیرآباد

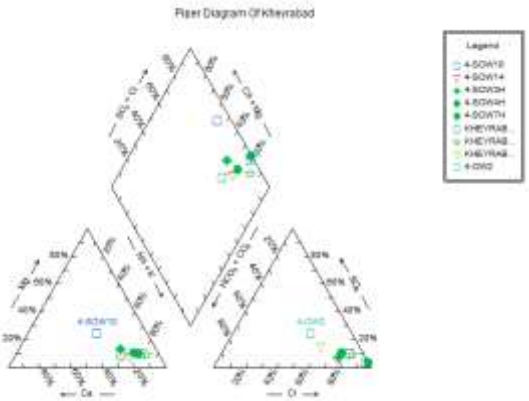
به منظور بررسی تیپ آب‌های زیرزمینی و نحوه تغییر آن، نمودار پایپر مربوط به آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی با استفاده از نرم افزار Rockware Aq.QA رسم شده است (شکل‌های ۶ تا ۹). نمونه‌های آب برداشت شده از دشت‌های چاه‌دراز، قطاربنه، خیرآباد و محدوده معدن با توجه به محل قرارگیری آن‌ها در نمودار پایپر اکثراً دارای تیپ و رخساره کلروره سدیک می‌باشند. این حاکی از افزایش یون کلر و سدیم در آب زیرزمینی می‌باشد، که می‌توان آن را در ارتباط با ترکیب سنگ‌شناسی منطقه و احتمال نفوذ آب شور در آبخوان تفسیر کرد. در دشت چاه‌دراز ۹۲ درصد، در قطاربنه ۹۴ درصد، در خیرآباد ۱۰۰ درصد و در محدوده معدن گل‌گهر ۹۰ درصد نمونه‌ها دارای رخساره کلروره سدیک می‌باشند.



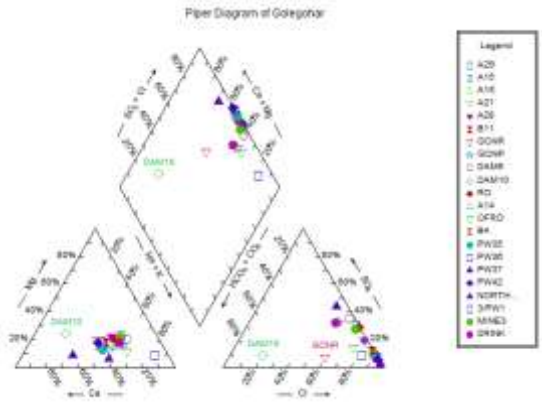
شکل۶ : موقعیت نمونه‌های آب زیرزمینی دشت چاه دراز بر روی نمودار پایپر



شکل۷: موقعیت نمونه‌های آب زیرزمینی دشت قطاربنه بر روی نمودار پایپر



شکل ۷: موقعیت نمونه‌های آب زیرزمینی دشت خیرآباد بر روی نمودار پایپر



شکل ۶: موقعیت نمونه‌های آب زیرزمینی محدوده معدن گل‌گهر بر روی نمودار پایپر

به منظور بررسی تیپ آب‌های زیرزمینی و نحوه تغییر آن، نمودار پایپر مربوط به آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی با استفاده از نرم افزار Rockware Aq.QA رسم شده است (شکل‌های ۶ تا ۹). نمونه‌های آب برداشت شده از دشت‌های چاه‌دراز، قطاربنه، خیرآباد و محدوده معدن با

توجه به محل قرارگیری آن‌ها در نمودار پایپر اکثراً دارای تیپ و رخساره کلروره سدیک می‌باشند. این حاکی از افزایش یون کلر و سدیم در آب زیرزمینی می‌باشد، که می‌توان آن را در ارتباط با ترکیب سنگ‌شناسی منطقه و احتمال نفوذ آب شور در آبخوان تفسیر کرد. در دشت چاه‌دراز ۹۲ درصد، در قطاربنه ۹۴ درصد، در خیرآباد ۱۰۰ درصد و در محدوده معدن گل‌گهر ۹۰ درصد نمونه‌ها دارای رخساره کلروره سدیک می‌باشند.

بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل عاملی

تحلیل عاملی بر روی متغیرهای استاندارد شده مورد مطالعه در آبخوان‌های چاه‌دراز و قطاربنه و محدوده معدن گل‌گهر شامل غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، نیترات، کلراید، بی کربنات، سولفات، سختی کل، EC، TDS و pH انجام شد. در محدوده معدن گل‌گهر به علت هم خطی برخی متغیرها نرم افزار SPSS قادر به انجام تحلیل عاملی بر روی نمونه‌ها نبود، لذا جهت رفع این مشکل متغیر منیزیم از تحلیل عاملی حذف شد. در آبخوان قطاربنه مقدار اشتراک pH و در محدوده معدن گل‌گهر اشتراک سولفات با سایر متغیرها از ۰/۵ کمتر بود، به همین دلیل از تحلیل عاملی حذف شدند. تحلیل عاملی دوباره بر روی متغیرهای باقیمانده انجام گرفت. در آبخوان خیرآباد به دلیل کم بودن تعداد نمونه‌ها (۹ نمونه) از برخی متغیرها صرف نظر شد و تحلیل عاملی بر روی متغیرهای استاندارد شده شامل غلظت یون‌های پتاسیم، کلراید، منیزیم، نیترات، بی‌کربنات، EC و pH انجام شد. پتاسیم و pH به دلیل داشتن اشتراک کمتر از ۰/۵ حذف شدند و تحلیل عاملی مجدد بر روی پنج متغیر باقیمانده انجام گرفت.

در جدول‌های ۵ تا ۸ میزان مناسب بودن داده‌های مورد نظر جهت اجرای تحلیل عاملی با استفاده از معیار KMO (شاخص کایزر مایر) و نیز آزمون Bartlett در محدوده مطالعاتی اندازه‌گیری شده است. مقدار KMO بین صفر و یک در نوسان است و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر تناسب بیشتر داده‌ها برای تحلیل عاملی است. در خصوص مقدار محاسبه شده برای آزمون بارتلت نیز به واسطه سطح معنی‌داری توزیع کای دو قضاوت می‌شود. به عبارت بهتر چنانچه مقدار آزمون در سطح معنی‌داری از نظر آماری قرار داشته باشد، می‌توان گفت که داده‌ها برای اجرای تکنیک تحلیل عاملی مناسب هستند.

مقدار محاسبه شده برای KMO در حوضه‌های چاه‌دراز، قطاربنه، خیرآباد و محدوده معدن گل‌گهر به ترتیب معادل ۰/۷۴، ۰/۷۵، ۰/۸ و ۰/۷ می‌باشد و با توجه به حداقل و حداکثر مقدار آزمون در سطح خوب قرار دارد. از طرف دیگر، مقدار محاسبه شده برای آزمون بارتلت نیز در سطح $p <$ ۰/۰۰۱ معنی‌دار است، بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که داده‌های مورد بررسی از تناسب قابل قبولی جهت اجرای تحلیل عاملی برخوردارند.

جدول ۵: آزمون بارتلت و شاخص **KMO** در نمونه‌های آب زیرزمینی چاه‌دراز

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.738
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	1086.476
	df	66

جدول ۶: آزمون بارتلت و شاخص **KMO** در نمونه‌های آب زیرزمینی قطاربنه

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.749
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	582.000
	df	55

جدول ۷: آزمون بارتلت و شاخص **KMO** در نمونه‌های آب زیرزمینی خیرآباد

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.805
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	110.328
	df	10

جدول ۸: آزمون بارتلت و شاخص **KMO** در نمونه‌های آب زیرزمینی محدوده معدن گل‌گهر

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.691
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	553.874
	df	45

ضریب همبستگی

در جدول‌های ۹ تا ۱۲ ضرایب همبستگی داده‌ها نشان داده شده‌اند. به طور کلی در محدوده مطالعاتی (حوضه‌های تامین کننده آب مجتمع گل‌گهر) EC و TDS با یکدیگر همبستگی یک را نشان می‌دهند و همبستگی مثبت بالایی به ترتیب با شش پارامتر کیفیت آب یعنی کلر، سدیم، TH، منیزیم، کلسیم و پتاسیم نشان می‌دهند. این نشان می‌دهد که این پارامترها منشا یکسانی دارند. نیترات به میزان قابل توجهی در هدایت الکتریکی و TDS مشارکت نمی‌کند زیرا غلظت آن کم است. در آب‌های زیرزمینی چاه‌دراز نیترات و بی‌کربنات همبستگی پایینی به صورت منفی با سایر پارامترها نشان می‌دهند. تنها با همدیگر همبستگی ۰/۵۵ دارند. در آب‌های زیرزمینی قطاربنه بی کربنات همبستگی پایین منفی و نیترات همبستگی پایین مثبت با اکثر آنیون‌ها و کاتیون‌ها نشان می‌دهند. رابطه pH با اکثر آنیون‌ها و کاتیون‌ها به صورت معکوس است، تنها همبستگی مثبت را به مقدار کم با پتاسیم در آب‌های زیرزمینی چاه‌دراز و با نیترات و بی‌کربنات در محدوده معدن گل‌گهر دارد. سولفات در چاه‌دراز با سایر پارامترها همبستگی کم دارد در حالی که در قطاربنه با اکثر پارامترها به مقدار بالایی همبسته است.

جدول ۹: ماتریس همبستگی مربوط به آب‌های زیرزمینی چاه‌دراز

	EC	**pH**	**TDS**	**TH**	**HCO_3**	**NO_3^{2-}**	**SO_4^{-2}**	**Ca^{2+}**	**Mg^{2+}**	**Na^+**	**K^+**	**Cl^-**
EC	1.000											
PH	-.053	1.000										
TDS	1.000	-.057	1.000									
TH	.873	-.078	.869	1.000								
HCO_3	-.462	-.368	-.465	-.391	1.000							
NO_3^{2-}	-.299	-.501	-.301	-.262	.544	1.000						
SO_4^{-2}	.370	-.396	.369	.322	.120	.184	1.000					
Ca^{2+}	.765	-.004	.761	.974	-.383	-.253	.211	1.000				
Mg^{2+}	.786	-.358	.796	.775	-.234	-.157	.519	.667	1.000			
Na^+	.989	-.032	.989	.791	-.463	-.299	.367	.664	.741	1.000		
K^+	.945	.013	.947	.887	-.534	-.381	.409	.814	.756	.917	1.000	
Cl^-	.998	-.048	.997	.877	-.471	-.310	.327	.771	.770	.985	.936	1.000

جدول۱۰: ماتریس همبستگی مربوط به آب‌های زیرزمینی قطاربنه

	EC	TDS	TH	HCO_3	NO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{-2}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
EC	1.000										
TDS	.999	1.000									
TH	.957	.961	1.000								
HCO_3	-.200	-.202	-.133	1.000							
NO32-	.284	.296	.434	.392	1.000						
Cl^-	.991	.989	.928	-.195	.232	1.000					
SO_4^{-2}	.762	.762	.823	-.260	.358	.681	1.000				
Ca^{2+}	.927	.933	.975	-.120	.518	.898	.801	1.000			
Mg^{2+}	.911	.914	.924	-.186	.249	.884	.776	.829	1.000		
Na^+	.970	.962	.865	-.222	.129	.982	.674	.828	.844	1.000	
K^+	.801	.799	.742	-.529	.009	.782	.702	.691	.779	.789	1.000

جدول۱۱: ماتریس همبستگی مربوط به آب‌های زیرزمینی خیرآباد

	EC	HCO_3	NO_3^{2-}	Cl^-	Mg^{2+}
EC	1.000				
HCO_3	-.887	1.000			
NO_3^{2-}	-.726	.606	1.000		
Cl^-	1.000	-.888	-.725	1.000	
Mg^{2+}	.999	-.894	-.709	.999	1.000

جدول۱۲: ماتریس همبستگی مربوط به آب‌های زیرزمینی محدوده معدن گل‌گهر

	EC	pH	TDS	TH	HCO3	NO_3^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Na^+	K^+
EC	1.000									
PH	-.306	1.000								
TDS	1.000	-.311	1.000							
TH	.988	-.327	.990	1.000						
HCO3	-.248	.629	-.254	-.277	1.000					
NO_3^{2-}	.418	.137	.420	.481	.346	1.000				
Cl-	.997	-.328	.997	.984	-.278	.391	1.000			
Ca^{2+}	.994	-.334	.995	.991	-.281	.419	.996	1.000		
Na+	.995	-.292	.994	.969	-.224	.373	.994	.984	1.000	
K^+	.928	-.186	.929	.876	-.156	.244	.933	.919	.952	1.000

البته قضاوت نهایی در خصوص متغیرهای مورد مطالعه توسط عوامل مشخص می شود که آمار مربوط به آن در جدول‌های ۱۳ تا ۱۶ ارائه شده است. در آبخوان‌های چاه‌دراز، قطاربنه و محدوده معدن گل‌گهر تنها دو عامل اول و در خیرآباد تنها یک عامل از مقادیر ویژه قابل قبولی برخوردار هستند. اگر عامل‌های به دست آمده با روش واریماکس چرخش داده شوند، عامل‌های اول و دوم در آبخوان چاه‌دراز به ترتیب ۶۲ و ۱۸ و در مجموع ۸۰ درصد از واریانس، در قطاربنه به ترتیب ۷۳ و ۱۵ و در مجموع ۸۸ درصد از واریانس و در محدوده معدن گل‌گهر به ترتیب ۷۱ و ۱۸ و در مجموع ۸۹ درصد از واریانس را در بر دارند و می‌توانند تغییرپذیری (واریانس) متغیرها را توضیح دهند. عامل اول همبستگی بیشتری با متغیرها نسبت به عامل دیگر دارد. در خیرآباد تنها عامل موثر، ۸۸ در صد از واریانس را به خود اختصاص داده است.

جدول ۱۳: شرح مقادیر متغیرها در آبخوان چاه‌دراز

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	7.532	62.771	62.771	7.532	62.771	62.771	7.489	62.407	62.407
2	2.141	17.841	80.612	2.141	17.841	80.612	2.185	18.205	80.612
3	.672	5.596	86.208						
4	.516	4.301	90.509						
5	.490	4.086	94.594						
6	.419	3.491	98.085						
7	.178	1.486	99.571						
8	.047	.391	99.963						
9	.004	.033	99.996						
10	.000	.004	99.999						
11	6.375E-5	.001	100.000						
12	1.673E-5	.000	100.000						

جدول ۱۴: شرح مقادیر متغیرها در آبخوان خیرآباد

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.401	88.016	88.016	4.401	88.016	88.016
2	.448	8.953	96.970			
3	.151	3.022	99.992			
4	.000	.008	100.000			
5	1.663E-5	.000	100.000			

جدول ۱۵: شرح مقادیر متغیرها در آبخوان قطاربنه

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	8.037	73.066	73.066	8.037	73.066	73.066	8.037	73.065	73.065
2	1.605	14.590	87.656	1.605	14.590	87.656	1.605	14.591	87.656
3	.654	5.947	93.603						
4	.303	2.750	96.353						
5	.175	1.593	97.947						
6	.140	1.272	99.219						
7	.077	.697	99.916						
8	.005	.044	99.960						
9	.003	.030	99.990						
10	.001	.007	99.997						
11	.000	.003	100.000						

جدول ۱۶: شرح مقادیر متغیرها در محدوده معدن گل‌گهر

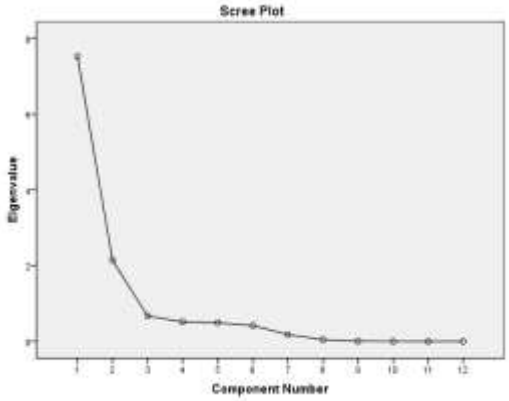
Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	7.178	71.776	71.776	7.178	71.776	71.776	7.087	70.872	70.872
2	1.749	17.490	89.267	1.749	17.490	89.267	1.839	18.395	89.267
3	.667	6.665	95.932						
4	.334	3.341	99.273						
5	.055	.545	99.819						
6	.012	.120	99.938						
7	.005	.052	99.991						
8	.001	.007	99.997						
9	.000	.002	100.000						
10	4.056E-5	.000	100.000						

شکل‌های ۱۰ تا ۱۳ تغییرات مقادیر ویژه را در ارتباط با عامل‌ها نشان می‌دهند. این نمودار برای تعیین تعداد بهینه مولفه‌ها به کار می‌رود. با توجه به این نمودارها مشاهده می‌شود که از عامل دوم به بعد تغییرات مقادیر ویژه کم می‌شود، پس می‌توان دو عامل را به عنوان عوامل مهم که بیشترین نقش را در تبیین واریانس داده‌ها دارند، استخراج کرد.

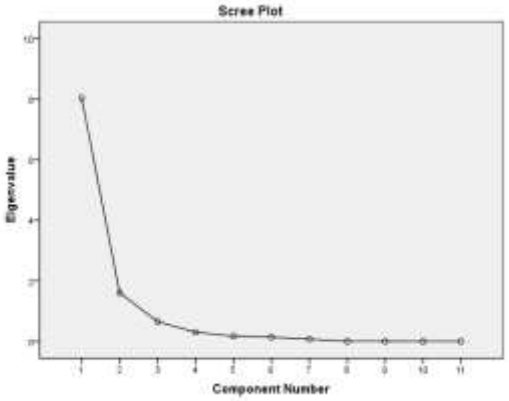
جدول‌های ۱۷ تا ۱۹ ماتریس چرخیده شده اجزاء را نشان می‌دهد که شامل بارهای عاملی هر یک از متغیرها در دو عامل باقی‌مانده پس از چرخش می‌باشد. هر چقدر مقدار قدر مطلق این ضرایب بیشتر باشد، عامل مربوطه نقش بیشتری در کل تغییرات (واریانس) متغیر مورد نظر دارد. در آبخوان خیرآباد به دلیل اینکه یک عامل استخراج شد، ماتریس عاملی دوران یافته ایجاد نگردید.

بر اساس این جدول ها عامل اول در چاه‌دراز، مسئول ۶۲٪ در قطاربنه ۷۳٪ و در محدوده معدن گل‌گهر مسئول ۷۱٪ تغییرات کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد که توسط پارامترهای EC، TDS، سختی کل و با بارهای قوی متغیرهای یون‌های کلر و سدیم در عامل مربوطه مشخص شده است. بارگذاری مثبت بالا به ارتباط قوی خطی بین عوامل و پارامترها اشاره دارد. این عامل را می‌توان به فرآیند نفوذ آب شور نسبت داد. با توجه به درصد بالایی که عامل اول دارد می‌توان نتیجه گرفت که نفوذ آب شور از کفه نمکی سیرجان مهمترین عامل در تعیین کیفیت آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه است.

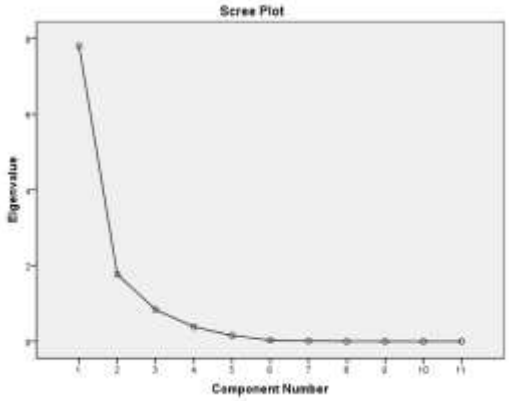
عامل دوم که توسط یون‌های بی‌کربنات و نیترات مشخص شده است در آبخوان چاه‌دراز، بیان‌کننده ۱۸٪ در آبخوان قطاربنه ۱۵٪ و در محدوده معدن گل‌گهر مسئول ۱۸٪ از کل تغییرات کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد. با توجه به اینکه منشا اصلی بی‌کربنات سازندهای زمین‌شناسی می‌باشد، احتمالا تاثیر یون بی‌کربنات به علت فراوانی کلسیت، دولومیت و انیدریت در شکل‌گیری زمین‌شناسی منطقه است. در محدوده معدن گل‌گهر pH و بی کربنات همبستگی بالایی با یکدیگر دارند.



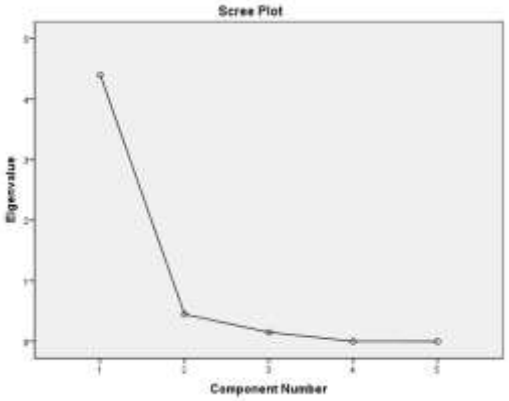
شکل ۸: نمودار اسکری برای تعیین تعداد عامل‌ها در آبخوان چاه‌دراز



شکل ۹: نمودار اسکری برای تعیین تعداد عامل‌ها در آبخوان قطاربنه



شکل ۱۰: نمودار اسکری برای تعیین تعداد عامل‌ها در آبخوان محدوده معدن گل‌گهر



شکل ۱۱: نمودار اسکری برای تعیین تعداد عامل‌ها در آبخوان خیرآباد

جدول ۱۷: ماتریس عاملی دوران یافته در آبخوان محدوده معدن گل‌گهر

	Component	
	1	2
EC	.994	-.088
PH	-.254	.791
TDS	.995	-.092
TH	.986	-.089
HCO_3^-	-.174	.890
NO_3^{2-}	.497	.598
Cl^-	.990	-.122
Ca^{2+}	.990	-.116
Na^+	.988	-.086
K^+	.927	-.052

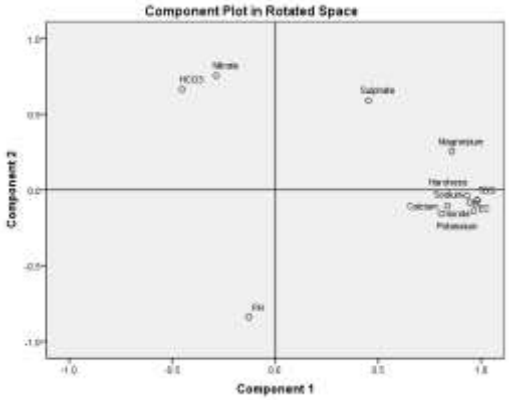
جدول ۱۸: ماتریس عاملی دوران یافته در آبخوان چاه‌دراز

	Component	
	1	2
EC	.979	-.069
PH	-.128	-.839
TDS	.980	-.068
TH	.929	-.038
HCO_3^-	-.452	.664
NO_3^{2-}	-.287	.756
SO_4^{2-}	.452	.590
Ca^{2+}	.836	-.105
Mg^{2+}	.857	.255
Na^+	.945	-.082
K^+	.963	-.139
Cl^-	.973	-.092

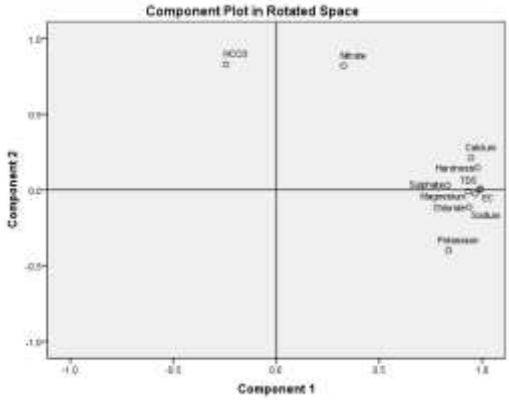
جدول ۱۹: ماتریس عاملی دوران یافته در آبخوان قطاربنه

	Component	
	1	2
EC	.989	.001
TDS	.990	.009
TH	.976	.147
HCO_3^-	-.244	.831
NO_3^{2-}	.326	.821
Cl^-	.966	-.027
SO_4^{2-}	.831	.031
Ca^{2+}	.946	.213
Mg^{2+}	.932	-.011
Na^+	.936	-.112
K^+	.836	-.398

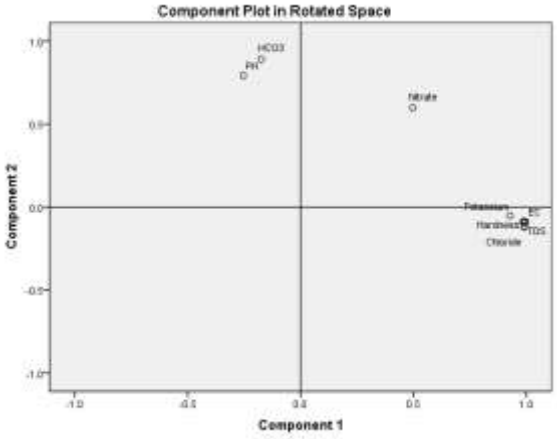
نیترات موجود در آب زیرزمینی ناشی از فعالیت های کشاورزی و فاضلاب شهری و روستایی است. در محدوده مطالعاتی دو منشا برای آلودگی نیترات می‌توان در نظر گرفت: یکی از این عوامل نیترات ناشی از فعالیت‌های کشاورزی است همانند بخش شمال‌شرقی دشت چاه‌دراز (چاه‌های کشاورزی بیگلری و امانی) و همچنین زمین‌های کشاورزی در دشت قطاربنه و عامل دیگر نیترات ناشی از چاه‌های جذبی می‌باشد به طور مثال ایستگاه دیده‌بانی در مجاورت چاه بهره‌برداری 56p2 در دشت چاه‌دراز و یا چاه‌های جذبی محدوده معدن گل‌گهر. به این ترتیب عامل دوم را می‌توان هم تاثیر زمین‌شناسی منطقه و هم عوامل بشرزاد در نظر گرفت. در شکل‌های ۱۴ تا ۱۶ نمودار پراکنش متغیرهای مورد بررسی در محدوده مطالعاتی نسبت به عامل‌های اول و دوم مشاهده می‌شود.



شکل ۱۲: نمودار دو بعدی پراکنش متغیرها نسبت به عامل‌های استخراج شده در آبخوان چاه‌دراز



شکل ۱۳: نمودار دو بعدی پراکنش متغیرها نسبت به عامل‌های استخراج شده در آبخوان قطاربنه



شکل ۱۴: نمودار دو بعدی پراکنش متغیرها نسبت به عامل‌های استخراج شده در محدوده معدن گل‌گهر

نتایج

نتیجه تحلیل مولفه اصلی نشان می‌دهد که در آبخوان‌های چاه‌دراز، قطاربنه و محدوده معدن گل‌گهر دو عامل و در خیرآباد تنها یک عامل با مقادیر ویژه بالاتر از یک تغییرات کیفیت آب زیرزمینی را کنترل می‌کنند. عامل اول که مسئول درصد بیشتری از تغییرات کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد، توسط پارامترهای EC، TDS، سختی کل و با بارهای قوی متغیرهای یون‌های کلر و سدیم در عامل مربوطه مشخص شده است. این عامل را می‌توان به فرآیند نفوذ آب شور نسبت داد. با توجه به درصد بالایی که عامل اول دارد می توان نتیجه گرفت که نفوذ آب شور از کفه نمکی سیرجان مهمترین عامل در تعیین کیفیت آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه است. عامل دوم توسط یون‌های بی کربنات و نیترات مشخص شده است. عامل دوم را می‌توان هم تاثیر زمین‌شناسی منطقه و هم عوامل بشرزاد در نظر گرفت.

منابع

-جوینده، م.، ۱۳۸۶. ارزیابی روش‌های آماری چند متغیره در تحلیل هیدروژئوشیمی منابع آب شرب شهر شیراز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آب‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، ۸۰ ص.

-منصورفر، ک.، ۱۳۸۸. روش‌های پیشرفته آماری همراه با برنامه‌های کامپیوتری، موسسه انتشارات دانشگاه تهران. ۳۴۵ ص.

-Binnie and partners CO., 1976. Gol-e-Gohar Mine Water Supply Report on Phase 2.

-Mahmood, A., Muqbool, W., and Waseem Mumtaz, M., 2011. Application of Multivariate Statistical Techniques for the Characterization of Ground Water Quality of Lahore, Gujranwala and Sialkot (Pakistan). Pakistan Journal Analytical Environmental Chemistry. v.36 (50),p.14-22.

-Reghunath, R., Murthy T.R.S., and Raghavan, B.R., 2002. The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka. India. Water Research. v.36, p. 2437–2442.

-ناصری، ح.ر.، و جوینده، م.، ۱۳۸۸. گروه بندی هیدروژئوشیمی منابع آب شرب شهر شیراز با استفاده از روش های آماری چند متغیره، فصلنامه نسیم بامداد، شماره ۶ و۷، ص ۳۴-۵۹.

-ناصری، ح.ر.، ۱۳۸۷. ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت رخ (تربت حیدریه) با استفاده از روش‌های زمین آمار، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، دوره ۵، شماره ۱۷، ص ۷۳-۸۴.