نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره سوم، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

# بررسی منابع آب دشت شیرامین با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره

***محمددردی محمودی[۱]، عطاله ندیری[۲]، اصغر اصغری‌مقدم[۳]، مجتبی پوراکبر[۴] و علیرضا مرادیان هره‌دشت[۵]**

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، [۲]استادیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، [۳]استاد گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، [۴]دانشجوی دکتری گروه بهداشت و محیط، دانشگاه تربیت مدرس تهران، [۵]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۳۰

## چکیده

**سابقه و هدف:** آب زیرزمینی جز یکی از مهم‌ترین منابع آب شیرین در دسترس انسان به‌حساب می‌آید. آب زیرزمینی برای اهداف مختلف از جمله شرب، بهداشت، کشاورزی و صنعت استفاده می‌شود. از این‌رو بررسی، شناخت و حفاظت از آن به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشکی همانند ایران ضروری به‌نظر می‌رسد. منطقه شیرامین با دارا بودن آبخوانی به مساحت تقریبی ۳۴ کیلومترمربع یکی از دشت‌های حاشیه دریاچه ارومیه است. درک عمیق از فرایندهای غالب هیدروژئوشیمیایی بر سیستم آبخوان در مدیریت منابع آب زیرزمینی بسیار مهم می‌باشد. روش‌های گرافیکی از جمله روش‌های معمول در شناخت فرایندهای غالب آب زیرزمینی می‌باشد، اما عدم استفاده از برخی پارامترهای شیمیایی همانند (نیترات، آرسنیک و ...) از جمله محدودیت‌های آن می‌باشد. روش آنالیز آماری چندمتغیره (تحلیل عاملی، خوشه‌بندی) به‌عنوان روشی مکمل همراه با روش‌های گرافیکی برای شناخت عوامل مؤثر در کیفیت آب زیرمینی، منشأیابی آلودگی‌ها و جهت طبقه‌بندی نمونه‌های مشابه مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در کنار روش‌های فوق منجر به دید بهتر و درک آسان‌تر در بحث آب‌های زیرزمینی می‌شود. هدف این پژوهش، شناسایی عوامل مؤثر بر کیفیت منابع آب منطقه شیرامین، منشأیابی آن‌ها و تحلیل هیدروژئوشیمیایی آن‌ها به کمک روش‌های تحلیل آماری چندمتغیره، گرافیکی و GIS می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** به‌منظور بررسی آب‌های زیرزمینی منطقه شیرامین، ۱۸ نمونه آب زیرزمینی از سراسر دشت با در نظر گرفتن بهترین پراکنش، جمع‌آوری و آنالیز شد. برای تفسیر و نشان دادن نتایج پژوهش، روش‌های تحلیل آماری چندمتغیره (تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل خوشه‌ای سلسله مرتبه‌ای (HCA))، جدول همبستگی، روش‌های گرافیکی و GIS استفاده شده است.

**یافته‌ها:** مقدار نیترات بالاتر و فلوراید کمتر از حد مقدار استاندارد می‌باشد. تحلیل عاملی منجر به استخراج ۴ عامل (مؤلفه اول: مؤلفه کربناته، مؤلفه دوم: مؤلفه ناشی از تغذیه بارش و مؤلفه سوم: ناشی از سولفوفلور، مؤلفه چهارم مؤلفه نیترات) شد. خوشه‌بندی سلسله مرتبه منجر به استخراج دو خوشه شده به نام‌های HCA1 (خوشه اول) و

* مسئول مکاتبه: m.mahmoudi1391@gmail.com

HCA2 (خوشه دوم) شد. نمونه‌های مربوط به خوشه اول در بالادست دشت با کیفیتی بهتر و نمونه‌های مربوط به خوشه دوم در پایین‌دست دشت با EC بالاتر و کیفیتی نامناسب‌تر قرار دارند.

**نتیجه‌گیری:** استفاده از روش های تحلیل‌های چندمتغیره آماری در شناخت عوامل مؤثر بر کیفیت آب و خوشه‌بندی آن‌ها خیلی مؤثر می‌باشد. همچنین استفاده از روش‌های گرافیکی و GIS در درک فرایندهای هیدروژئوشیمایی و مکان‌یابی آن‌ها کمک به‌سزایی می‌کند.

***واژه‌های کلیدی:*** آب زیرزمینی، تحلیل عاملی، خوشه‌بندی، GIS

## مقدمه

آب زیرزمینی از جمله حیاتی‌ترین منابع آب شرب برای نواحی خشک و نیمه‌خشک است و اهمیت آن به‌علت رشد جمعیت و تغییرات اقلیمی بیش‌تر می‌شود (۲۶). روند کاهش کیفیت آب زیرزمینی شرایط تهدیدکننده‌ای بوده و در حال تبدیل به یک بحران جهانی است (۱). ایران به‌دلیل واقع‌شدن در منطقه خشک و نیمه‌خشک درزمینه تأمین آب در زمره کشورهای بحرانی قرار دارد و بنابراین بایستی برای حفظ منابع موجود از آلودگی‌های احتمالی، تصمیمات ویژه‌ای در خصوص کیفیت آن‌ها صورت گیرد. از جمله اقداماتی که می‌توان در این خصوص انجام داد پایش‌ها و ارزیابی‌های دوره‌ای و منظم است. خوشبختانه طی سال‌های اخیر این امر تا حدودی توسط ارگان‌های مربوطه در کشور صورت می‌گیرد. با این وجود در مواجه با نتایج حاصل از این پایش‌ها بایستی از علوم روز دنیا برای تفسیر و تحلیل آن‌ها به‌منظور جلوگیری و یا رخداد آلودگی‌ها، استفاده نمود.

یکی از اقداماتی که در مدیریت منابع آب زیرزمینی حائز اهمیت است، عبارت از شناخت اساسی از فرآیندهای حاکم هیدروژئوشیمیایی بر سیستم آبخوان است (۱۱). ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی توسط چندین فاکتور همانند ترکیب شیمیایی آب باران، فعالیت‌های بشری، ساختارهای زمین‌شناسی و کانی‌شناسی حوضه آبریز و آبخوان و فرایندهای زمین‌شناسی داخل محیط آبخوان کنترل می‌شوند (۳). روش‌های گرافیکی متداول در آب زیرزمینی و روش‌های آنالیز آماری چندمتغیره همانند تحلیل عاملی (FA) و تحلیل سلسله مرتبه‌ای (HCA) از جمله علومی می‌باشند که در تحلیل کیفیت آب زیرزمینی می‌توانند کمک به‌سزایی داشته باشند. از این‌رو تاکنون مطالعات متعددی در خصوص بررسی منابع آب زیرزمینی با استفاده از این روش‌ها صورت گرفته است. از جمله آن‌ها می‌توان اشاره کرد به مثالی در ایران که در طی مطالعه‌ای برای تعیین ایستگاه‌های مؤثر در امتداد رود کارون، از روش‌های آماری چندمتغیره داده‌های هیدروشیمیایی استفاده کردند و دریافتند که ۴ ایستگاه از ۱۷ مورد، تغییرات اندکی را توضیح داده و حذف شدند (۱۹). در جنوب هندوستان، پراسانا و همکاران با استفاده از تحلیل عاملی و تحلیل همبستگی فرایندهای کنترل‌کننده ژئوشیمی آب زیرزمینی را شناسایی کردند. مؤلفه‌های زیادی را برای فصول مختلف به‌دست آمده، اما سه مؤلفه مهم اولی با توزیع نمره‌های عاملی‌شان توزیع‌شده بودند (۲۴). پراسانا و همکاران در تحلیل هیدروژئوشیمیایی و ارزیابی کیفیت آب حوضه رودخانه Gadilam در هندوستان، آب این منطقه را تقریباً اسیدی و غلظت‌های بالای سدیم و کلر را ناشی از آبشویی ثانویه نمک و اثرات بشرزادی حاصل از صنایع و هجوم آب‌نمک دانستند (۲۳). آناياه و

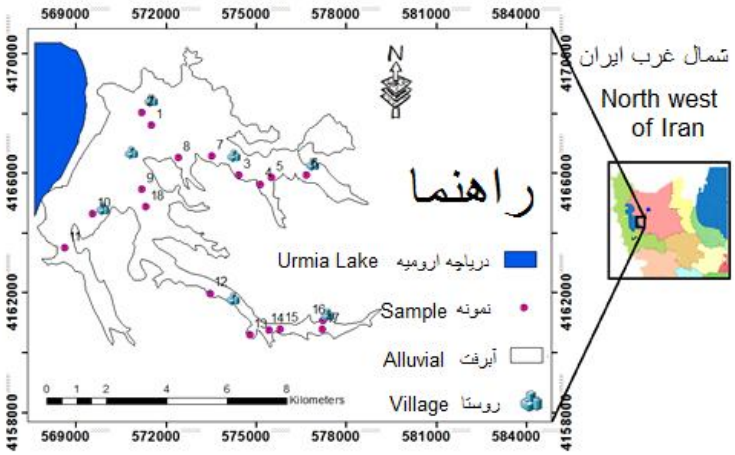
المصری در سال ۲۰۰۹، از GIS برای تفسیر بهتر توزیع مکانی غلظت نیترات استفاده کرده و مشاهده کردند که افزایش میزان نیترات با افزایش بارش همپوشانی زیادی داشته و در طی ۲۲ سال در قسمت غربی منطقه مورد مطالعه میزان نیترات افزایش‌یافته که ناشی از تشدید فعالیت کشاورزی و نبود سیستم‌های مناسب زهکشی فاضلاب دانستند (۲).

یکی از مناسب‌ترین راه‌های شناخت فرایندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر محیط آب زیرزمینی استفاده از دیاگرام‌های رایج همانند دیاگرام پایپر، دیاگرام دوروو بسط داده‌شده، دیاگرام استیف و پلات گیبس می‌باشند (۸، ۲۱). دیاگرام پایپر برای استنباط تیپ آب می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد (۱۷) و دیاگرام دوروو بسط داده‌شده، نوع ارتقا یافته دیاگرام پایپر است که می‌تواند نمایش بهتری از انواع تیپ آب به همراه فرایندهای هیدروشیمیایی مهم همانند تعویض یونی مستقیم، معکوس و اختلاط و انحلال ساده را نشان دهد (۲۸). اگرچه روش‌های گرافیکی برای ارزیابی فرایندهای حاکم بر آب زیرزمینی به‌کار می‌روند، اما برای ارزیابی بعضی پارامترها همانند عدم استفاده از برخی پارامترها شیمیایی همانند (نیترات، سیلیس، آرسنیک، فلوئور و ...) و غیرشیمیایی همانند دما و ویسکوزیته با محدودیت مواجه هستند (۲۰).

قرارگیری دریاچه ارومیه (دومین دریاچه آب‌شور بزرگ دنیا) که در حال خشک شدن است، می‌تواند نقش مهمی بر کیفیت و کمیت آب زیرزمینی مناطق اطراف داشته باشد (۱۸). با توجه به این‌که تاکنون مطالعه عمقی در خصوص کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت شیرامین صورت نگرفته و با توجه به موقعیت ویژه این دشت، انجام پژوهشی جهت شناخت بهتر فرایندهای هیدروژئوشیمیایی غالب بر آبخوان دشت شیرامین ضروری به‌نظر می‌رسد. هدف این بررسی شناخت فرایندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم، تشخیص عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی و بررسی کیفیت آن از نظر شرب است.

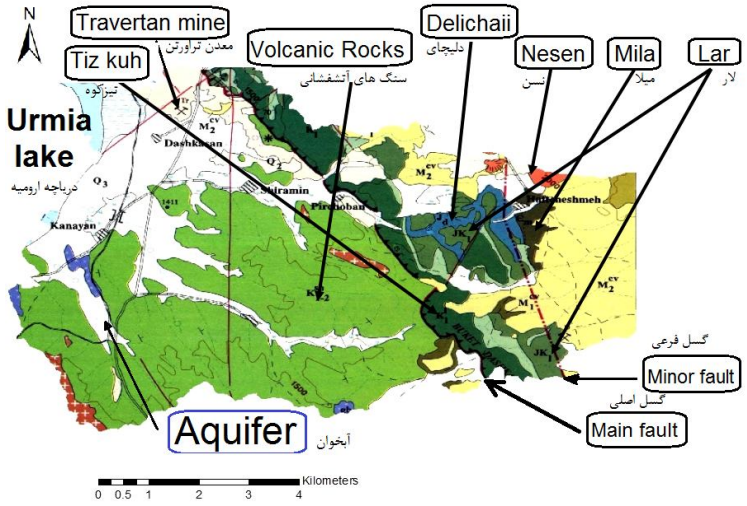
## مواد و روش‌ها

**معرفی منطقه مورد مطالعه:** منطقه مورد مطالعه، از نظر جغرافیایی در شمال‌غرب ایران و ۲۰ کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان آذرشهر قرار دارد. مساحت آبخوان مورد مطالعه تقریباً ۳۴ کیلومترمربع برآورد شده است شکل ۱ نشان‌دهنده روستاهای مهم محدوده مطالعاتی با جمعیت بالای ۱۰۰۰ نفر و همچنین نقاط نمونه‌برداری است. حوضه آبریز محدوده مطالعاتی حدود ۱۹۸ کیلومترمربع مساحت دارد و نقشه سازندهای زمین‌شناسی آن در شکل ۲ ارائه گردیده است. این منطقه از نظر هیدرولوژیکی بخشی از حوضه آبریز دریاچه ارومیه به‌شمار می‌رود و ازنظر منابع آب سطحی جزء دشت‌های فقیر استان آذربایجان‌شرقی محسوب می‌شود. دشت شیرامین از نظر اقلیمی بر اساس روش تجربی آمبرژه و با استفاده از آمار مربوط به ایستگاه‌های شیرامین، عجب‌شیر و آذرشهر (میانگین سه ایستگاه)، از نوع خشک و سرد تشخیص داده شده است. در حال حاضر به‌دلیل نزدیکی به دریاچه ارومیه، قسمت‌های از اراضی این منطقه شوره‌زار بوده و از نظر کشاورزی ضعیف است و این عامل در نقاط پایین‌دست دشت، به‌ویژه در امتداد نوار ساحلی دریاچه شدت بیش‌تری دارد. به‌دلیل نبود منابع آب سطحی و همچنین کاهش نزولات جوی، در حال حاضر بزرگ‌ترین مشکل دشت نبود آب مناسب برای مصارف شرب و کشاورزی است. زمین‌شناسی ناحیه شیرامین در یک بررسی اجمالی، از ارتفاعات آتشفشانی سهند و فروافتادگی دریاچه ارومیه، متأثر شده و سنگ‌های مختلف کامبرین، کرتاسه، پرمین تا عهد حاضر با سنگ‌شناسی عمده کربناته با یکسری نبود چینه‌شناسی سنگ‌شناسی رخنمون دارند (۲۵).




**شکل ۱- موقعیت منطقه شیرامین در نقشه ایران و توزیع مناسب نمونه‌ها.**

**Figure 1. Location of Shiramin area in Iran map and suitable distribution of samples.**




**شکل ۲- نقشه سنگ‌شناسی حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه.**

**Figure 2. Lithology map of watershed of study area.**

**نمونه‌برداری و آنالیزها:** برای انجام عملیات نمونه‌برداری ابتدا کل داده‌های منابع آب دشت شیرامین از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی در پاییز سال ۱۳۹۲، اخذ گردید. برای این‌که نمونه‌برداری بهترین توزیع را داشته باشد، ۱۸ نمونه از سراسر دشت قبل از عملیات صحرای انتخاب و سپس در طی کار صحرایی جمع‌آوری شد و جمع‌آوری نمونه‌ها در ظروف یک لیتری پلی‌اتیلنی استریل شده انجام گرفت. به‌دلیل تغییر سریع بعضی پارامترها همانند pH و هدایت الکتریکی با دما، آن‌ها به‌صورت درجا اندازه‌گیری شدند. پارامترهای کیفی آب از جمله کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، کربنات، بی‌کربنات، سولفات، کلراید و نیترات نیز توسط روش‌های استاندارد، در آزمایشگاه دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند (۴). خطای آزمایش نمونه‌ها بر اساس روش هانسلو

(۱۹۹۵) کم‌تر از ۵ درصد است و با این تفاسیر نتایج آنالیزها قابل‌قبول و قابل‌اعتماد بوده است (۱۲).

**آنالیز آماری چندمتغیره:** روش‌های آنالیز آماری چندمتغیره برای پارامترهایی که همبستگی دارند، قابل استفاده است، از این‌رو ابتدا جدول همبستگی پیرسون برای پارامترهای این پژوهش تهیه شد (۹). بعد از تهیه این جدول، روش تحلیل سلسله مرتبه‌ای[1] هم برای داده‌های هیدروشیمی فوق استخراج گردید. روش دیگر آنالیز چندمتغیره آماری اعمال‌شده نیز تحلیل عاملی[2] با روش تجزیه به عوامل[3] است که این روش نیز برای استخراج فرایندهای مؤثر، اعمال شده است. روش‌های تحلیل آماری چندمتغیره به‌طور گسترده برای تسهیل حل مشکلات زیست‌محیطی و ارائه راهکارهایی برای درک و شناخت برخی فرایندهای طبیعی استفاده گردیده است. چون متغیرهای فیزیکی و شیمیایی پیچیده مختلفی می‌تواند بر کیفیت آب زیرزمینی اثر داشته باشند، درک و شناخت وضعیت هیدروژئوشیمیایی و هیدروشیمیایی غالب بر آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه کار سخت و مشکلی است. تحلیل عاملی (FA) یک روش آماری چندمتغیره است که برای توصیف تغییرپذیری بین متغیرهای مشاهده‌ای به تعدادی محدود از متغیر مشاهده نشده که عامل نامیده می‌شوند، استفاده شود (۲۹). در این پژوهش از نسخه ۱۸ نرم‌افزار SPSS[4] برای نمایش نتیجه تحلیل عاملی، تحلیل خوشه‌ای سلسله مرتبه‌ای و همبستگی پیرسون برای داده‌های کیفی آب استفاده شده است. تحلیل عاملی دخالت متغیرها با اهمیت کم‌تر را به‌وسیله چرخش واریماکس ماتریکس بارهای عاملی کاهش می‌دهد (۱۵، ۳۱). بر اساس یک مجموعه قوانین پایه‌ریزی شده، این چرخش متغیرهای جدیدی که واریفاکتور نامیده می‌شود را تولید می‌کند (۲۷، ۱۰). تحلیل خوشه‌ای نیز یکی از روش‌های پرکاربرد در تحلیل هیدروشیمی و پژوهش‌های محیط زیستی است. تحلیل سلسله مراتبی یک تکنیک طبقه‌بندی داده است و یکی از پرکاربردترین روش‌های به‌کار رفته در علوم زمین است (۷).

## نتایج و بحث

**تحلیل آماری چندمتغیره:** در جدول ۱، خصوصیات آماری هیدروشیمیایی نمونه‌ها از قبیل حداکثر، حداقل، میانگین و واریانس نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول ۱ مقادیر ستون حداکثر برای بیش‌تر پارامترها بالا بوده که بیانگر نامناسب بودن کیفیت آب برای مصارف شرب و کشاورزی است. همان‌طور که دیده می‌شود مقدار حداقل برای فلوراید این دشت، کم‌تر از حداقل مقدار استاندارد تعریف‌شده (کم‌تر ۰/۵ پی‌پی‌ام) است و ممکن است مشکلاتی از قبیل پوسیدگی دندان و ... را سبب شود، در صورتی‌که برای پژوهش دیگری روی دشت بازرگان و پلدشت توسط اصغری‌مقدم و همکاران مقدار بیشینه فلوراید ۷/۲ میلی‌گرم بر لیتر، خیلی بالاتر از استاندارد جهانی قرار دارد (۵). مقدار بیشینه برای نیترات بیش از حد استاندارد یعنی ۵۰ پی‌پی‌ام است، بنابراین نیترات نیز به‌عنوان یکی از پارامترهای مضر و مزاحم در کیفیت آب می‌بایستی مورد توجه قرار بگیرد. مقادیر به‌دست‌آمده برای هدایت الکتریکی، سختی هم خیلی فراتر از مقادیر استاندارد است.

1- Hierarchical Cluster Analysis
2- Factor Analysis
3- Principal Components Analysis
4- Statistical Package For Social Sciences

جدول ۱- خصوصیات آماری نتایج آنالیز نمونه‌ها.

**Table 1. Statistical characteristics of results of analysis samples.**

| پارامتر (Parameter) | واحد (Unite) | انحراف معیار (Standard Deviation) | میانگین (Mean) | حداکثر (Maximum) | حداقل (Minimum) |
|---|---|---|---|---|---|
| کلسیم (Calcium) | (ppm) | 5.4 | 383 | 1365 | 62.7 |
| منیزیم (Magnesium) | (ppm) | 122 | 122.6 | 371 | 18.28 |
| سدیم (Sodium) | (ppm) | 490 | 328 | 1589 | 4.87 |
| پتاسیم (Potassium) | (ppm) | 4.1 | 4.7 | 14.3 | 0.68 |
| بیکربنات (Bicarbonate) | (ppm) | 666 | 780 | 2708 | 70.7 |
| سولفات (Sulfate) | (ppm) | 3.39 | 4.5 | 13.01 | 0.87 |
| کلراید (Chloride) | (ppm) | 1511 | 1118 | 4285 | 47.1 |
| نیترات (Nitrate) | (ppm) | 13.4 | 20.3 | 58 | 4.99 |
| فلوراید (Fluoride) | (ppm) | 0.12 | 0.6 | 0.89 | 0.38 |
| هدایت الکتریکی (Electric Conductivity) | µmoh/cm | 4038 | 4003 | 12830 | 700 |
| پی‌اچ (pH) | $-\log [H^+]$ | 0.7 | 7.4 | 8.65 | 6.2 |
| دما (Temperature) | (°C) | 0.97 | 16.4 | 18.7 | 14.9 |

**همبستگی**: همبستگی پارامترهای هیدروشیمیایی در جدول ۲ نشان داده شده است. بین کلسیم و منیزیم همبستگی خیلی بالا، ۰/۹۲ دیده می‌شود که وجود سازندهای کربناته (سازندهای همانند سازند آهکی لار، دلیچای و تیزکوه) در منطقه شیرامین عامل آن می‌باشند. وجود همبستگی بین سدیم، پتاسیم و کلر نیز بیانگر تأثیر شوره‌زارهای انتهایی در نمونه‌های نزدیک به دریاچه است. مقادیر هدایت الکتریکی نیز با بیش‌تر پارامترها از جمله کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و سولفات همبستگی بالای دارد و این مطلب نشان‌دهنده این است که هدایت الکتریکی و مواد جامد محلول بیش‌تر تحت‌تأثیر انحلال این مواد است. مقدار بیشینه برای EC دشت شیرامین در مقایسه با پژوهش پوراکبر و همکاران که بر روش دشت سراب صورت گرفته و مقدار EC آن بین ۲۲۰ تا ۲۹۹۰ در تغییر بوده، بسیار بالا می‌باشد (۲۲). دما همبستگی معنی‌داری با پارامتر خاصی ندارد، یعنی دما تقریباً یک پارامتر بی‌تأثیر در پارامترهای مذکور است، همچنین نیترات نیز همانند دما با هیچ پارامتری همبستگی خاصی را نشان نمی‌دهد.

**تحلیل عاملی (تحلیل مؤلفه‌های اصلی):** پارامترهای مختلفی بر کیفیت آب زیرزمینی اثر دارند، بعضی از آن‌ها بشرزاد (کشاورزی، دامپروری و فاضلاب‌ها) و برخی دیگر زمین‌زاد (آتشفشان، سازندهای زمین‌شناسی، رودخانه‌ها و ...) هستند. روش تحلیل عاملی توانایی تفکیک فرایندهای مختلف را دارا است. اولین گام برای اعمال روش تحلیل عاملی وجود همبستگی بین پارامترها است که در جدول ۲ نشان داده شد. همبستگی مثبت و یا منفی بالا بین متغیرها و فاکتورها یا یک فاکتور بر اساس بار عاملی بالای فاکتور (به‌طور نسبی نزدیک به ۱ یا ۱-) است. همچنین روش واریماکس[1] (۱۳) برای متمایز نمودن متغیرهایی با بارهای عاملی بالا (بار عاملی نزدیک ۱ تا ۱-) به متغیرها با بار عاملی کم (بار عاملی نزدیک به ۰) اعمال شد. جدول ۳ مقدار به‌دست آمده برای آزمون KMO[2] و شایستگی اعمال روش تحلیل عاملی برای داده‌های پژوهش حاضر را نشان می‌دهد (۱۶، ۱۴).

**تحلیل مؤلفه‌های به‌دست آمده:** اعمال روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی منجر به استخراج ۴ مؤلفه شده که در جدول ۴ ارائه گردیده است. در مؤلفه اول چهار عامل تأثیر خیلی بالایی دارند که ناشی از بار عاملی بالا (بالای ۰/۹) برای این عوامل است. در کل این مؤلفه نشان می‌دهد که هدایت الکتریکی بیش‌تر ناشی از یون‌های کلسیم و منیزیم بوده که منشأ این یون‌ها نیز سازندهای کربناته منطقه مورد مطالعه (سازند لار، دلیچای و تیزکوه و ...) است. همچنین برای این مؤلفه، دو پارامتر دیگر نیز با بار عاملی متوسط (۰/۷ الی ۰/۵)، تأثیر متوسطی بر مؤلفه اول دارد. بار عاملی منفی برای پی‌اچ بیانگر انحلال کلسیم، منیزیم، (سازندهای کربناته لار، تیزکوه و دلیچای) در pHهای اسیدی است. در کل این مؤلفه بیانگر انحلال کانی‌های کلسیم و منیزیم دار و اثر سازندهای کربناته است و می‌تواند آن را مؤلفه کربناته نامید. مؤلفه دوم با دو پارامتر مشخص‌شده، که بیکربنات و سدیم دو پارامتر مؤثر بر این مؤلفه بوده، بنابراین بی‌کربنات به‌دلیل بار عاملی بیش‌تر تأثیر مهم‌تری نسبت به سدیم دارد. از این‌رو این مؤلفه بیانگر مناطق تغذیه از آب باران و همچنین انحلال کانی‌های تبخیری با غالب بودن سدیم بوده و می‌تواند آن را مؤلفه ناشی از تغذیه باران نامید. نکته قابل‌توجه بار عاملی متوسط برای پتاسیم در مؤلفه دوم است. پتاسیم بر روی دو عامل تأثیر متوسط داشته که به‌دلیل بار عاملی بالا بر روی مؤلفه اول، تأثیر آن به‌مراتب در مؤلفه اول بیش‌تر است. با توجه به بارهای عاملی پارامترها بر روی مؤلفه سوم، دو پارامتر بر روی این عامل تأثیر مهم دارند که فلوراید و سولفات دو پارامتر مؤثر بر این مؤلفه است و از سنگ‌های آذرین منطقه می‌تواند منتج شود و می‌توان آن را مؤلفه سولفوفلور نامید. این در حالی است که طی مطالعه سینگ و همکاران شش مؤلفه استخراج شده که دو مؤلفه اولی از ۴ مؤلفه بعدی تغییرات بیش‌تری را درون سیستم توضیح داده‌اند (۲۳). برای مؤلفه چهارم دو پارامتر دما و نیترات بار عاملی قابل‌توجهی دارند و شاید بیانگر اثر فرایندهای بشرزادی همانند کودهای کشاورزی و فاضلاب‌ها و ... باشد و آن را مؤلفه ناشی از فعالیت بشری دانست.

1- Varimax
2- Kaiser Meyer Olkin

جدول ۲- مقادیر همبستگی بین پارامترها.

**Table 2. Correlation values between parameters.**

| پارامتر (Parameter) | کلسیم (Calcium) | منیزیم (Magnesium) | سدیم (Sodium) | پتاسیم (Potassium) | بیکربنات (Bicarbonate) | سولفات (Sulfate) | کلراید (Chloride) | فلوراید (Fluoride) | هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity) | پی‌اچ (pH) | دما (Temp) | نیترات (Nitrate) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کلسیم (Calcium) | 1 | 0.92 | 0.28 | 0.46 | 0.05 | -0.51 | 0.88 | -0.05 | 0.85 | -0.59 | 0.03 | -0.07 |
| منیزیم (Magnesium) | | 1 | 0.59 | 0.69 | 0.28 | -0.34 | 0.97 | -0.03 | 0.96 | -0.66 | -0.07 | 0.04 |
| سدیم (Sodium) | | | 1 | 0.86 | 0.67 | 0.12 | 0.67 | -0.01 | 0.7 | -0.44 | 0.36 | 0.19 |
| پتاسیم (Potassium) | | | | 1 | 0.5 | -0.15 | 0.75 | -0.06 | 0.75 | -0.53 | -0.46 | 0.15 |
| بیکربنات (Bicarbonate) | | | | | 1 | 0.2 | 0.25 | 0.05 | 0.4 | -0.51 | -0.18 | 0.11 |
| سولفات (Sulfate) | | | | | | 1 | -0.31 | 0.46 | -0.25 | 0.4 | 0.09 | 0.07 |
| کلراید (Chloride) | | | | | | | 1 | -0.04 | 0.97 | -0.58 | -0.12 | 0.0.4 |
| فلوراید (Fluoride) | | | | | | | | 1 | 0.02 | 0.11 | -0.17 | 0.05 |
| هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity) | | | | | | | | | 1 | -0.61 | -0.1 | 0.05 |
| پی‌اچ (pH) | | | | | | | | | | 1 | 0.21 | 0.00 |
| دما (Temperature) | | | | | | | | | | | 1 | -0.18 |
| نیترات (Nitrate) | | | | | | | | | | | | 1 |

جدول ۳- مقادیر KMO و تفسیر صلاحیت آن.

**Table 3. KMO values and interpretation of its satisfactoriness.**

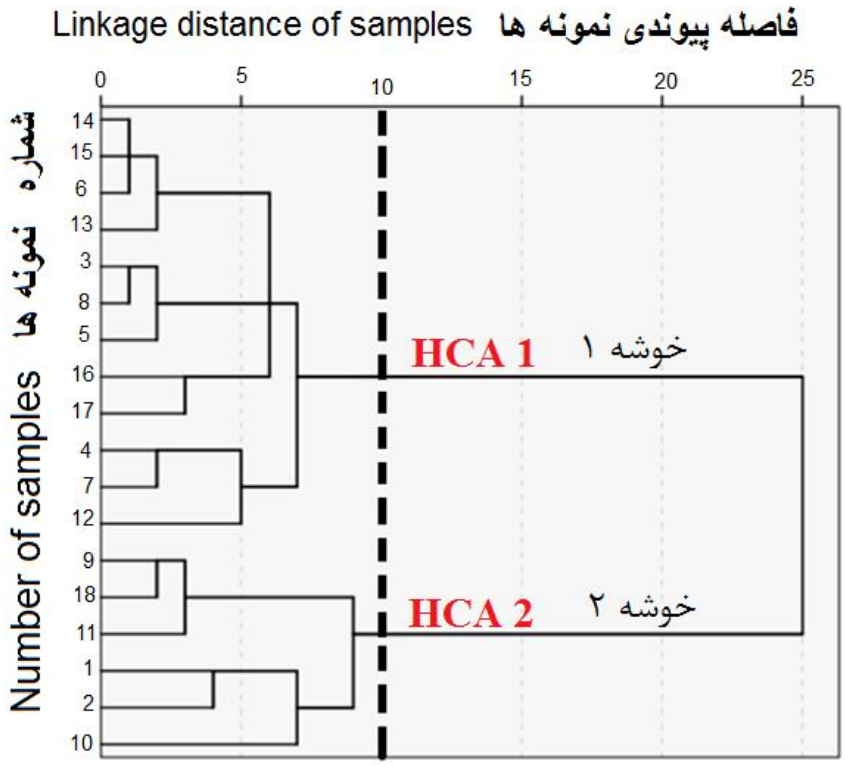
| شایستگی روش (adequacy of method) | مقدار KMO |
|---|---|
| عالی (Excellent) | ۰/۹۰ – ۱/۰۰ |
| بسیارخوب (Very good) | ۰/۸۰ – ۰/۸۹ |
| خوب (Good) | ۰/۷۰ – ۰/۷۹ |
| نسبتاً خوب (Goodish) | ۰/۶۰ – ۰/۶۹ |
| بد (Bad) | ۰/۵۰ – ۰/۵۹ |
| غیرقابل‌قبول (Unacceptable) | ۰/۰۰ – ۰/۴۹ |

جدول ٤- ماتریس عاملی دوران‌یافته.

**Table 4. Rotated Component Matrix.**

| پارامتر (Parameter) | مؤلفه (Component) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | اول (First) | دوم (Second) | سوم (Third) | چهارم (Fourth) |
| کلسیم (Calcium) | 0.96 | -0.09 | -0.13 | -0.09 |
| منیزیم (Magnesium) | 0.96 | 0.21 | -0.06 | 0.01 |
| سدیم (Magnesium) | 0.44 | 0.78 | 0.08 | 0.27 |
| پتاسیم (Potassium) | 0.59 | 0.57 | -0.09 | 0.39 |
| بیکربنات (Bicarbonate) | 0.1 | 0.9 | 0.04 | 0.04 |
| سولفات (Sulfate) | -0.41 | 0.33 | 0.76 | -0.11 |
| کلراید (Chloride) | 0.95 | 0.23 | -0.03 | 0.07 |
| فلوئور (Fluoride) | 0.07 | -0.1 | 0.87 | 0.16 |
| هدایت الکتریکی (Electrical conductivity) | 0.92 | 0.33 | 0.03 | 0.04 |
| پی‌اچ (pH) | -0.58 | -0.41 | 0.34 | -0.07 |
| دما (Temperature) | -0.04 | -0.18 | 0.04 | -0.83 |
| نیترات (Nitrate) | -0.02 | 0.03 | 0.1 | 0.65 |

**تحلیل خوشه‌ای:** نمودار درختی خروجی روش HCA برای داده‌های آب زیرزمینی منطقه شیرامین توسط SPSS نسخه ۱۸ تهیه گردیده و در شکل ۳ نشان داده شده است. در این پژوهش، خط جداکننده گروه‌ها در امتداد نمودار درختی و در فاصله کم‌تر از ۲۵ رسم شده است (شکل ۳). بنابراین نمونه‌های بافاصله اتصالی کم‌تر از ۲۵ در خوشه مشابهی قرار می‌گیرند و با نام‌های HCA 1 و HCA 2 مشخص شده‌اند. برای داده‌های این پژوهش فاصله اقلیدسی به‌عنوان سنجش فاصله‌ای یا سنجش شباهت بین نقاط نمونه‌برداری انتخاب شده است. با داده‌های موجود هیدروشیمیایی، روش وارد برای تشکیل خوشه‌ای که کمابیش همگن و ازنظر ژئوشیمیایی از دیگر خوشه‌ها تمیز داده شده باشد، در مقایسه با دیگر روش‌ها همانند weighted pair-group average موفق‌تر بوده است. گولر و همکاران (۲۰۰۲) دریافتند که استفاده از فاصله اقلیدسی به‌عنوان سنجش فاصله‌ای و روش Ward به‌عنوان قانون اتصال واضح‌ترین گروه‌بندی را ارائه می‌دهد. طبقه‌بندی نمونه‌ها منجر به دیاگرام درختی می‌شود که دندروگرام نامیده می‌شود (۹).



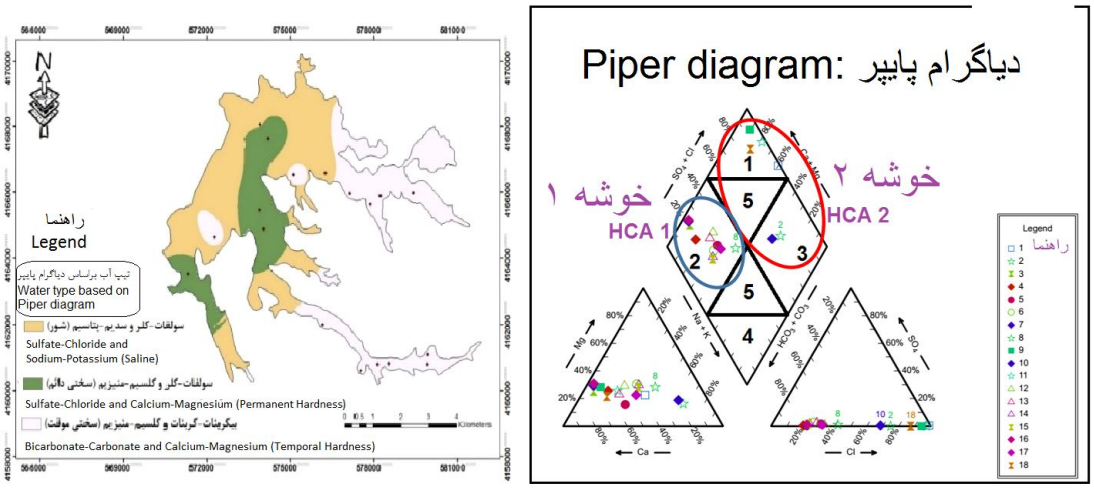

**شکل ۳- نمودار درختی حاصل از خوشه‌بندی سلسله مراتبی.**

**Figure 3. Dendrogram scheme of heretical clustering.**

**بررسی‌های ژئوشیمیایی منابع آب نمونه‌برداری شده:** در این پژوهش علاوه بر تکنیک‌های آماری چندمتغیره، روش گرافیکی هم برای درک بهتر فرایندهای هیدروژئوشیمیایی غالب در دشت شیرامین به‌کار رفته که یکی از پرکاربردترین آن‌ها نیز دیاگرام پایپر است.

تیپ‌های هیدروژئوشیمیایی منابع آب دشت مورد مطالعه که از چاه، چشمه و قنات به‌دست آمده در

شکل ۴ نشان داده شده است. بخش لوزی‌شکل دیاگرام پایپر به پنج قسمت تقسیم شده (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵) که شناسایی پنج نوع مختلف تیپ آب زیرزمینی این ۵ تیپ را ممکن می‌سازد. در قسمت‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ دیاگرام پایپر، کاتیون و آنیون غالب وجود دارد ولی در قسمت ۵ هیچ کاتیون و آنیونی غالب نیست (۳۰). بیش‌تر نمونه‌ها در قسمت ۲ قرار دارند که بیانگر تغذیه آب باران، با مدت ماندگاری کم و عبور از سازندهای کربناته منطقه لار، دلیچای، تیزکوه و ...) است (۱۰). نمونه‌های ۲ و ۱۰ در قسمت ۳ دیاگرام پایپر قرار دارند که بیانگر تأثیر شوره‌زارهای انتهای دشت است. چهار نمونه (۱، ۱۸، ۹ و ۱۱) در بخش ۱ دیاگرام پایپر قرار داشته که بیانگر سختی دائم است و می‌تواند ناشی از قرارگیری این نمونه‌ها در امتداد ساحل دریاچه ارومیه و شوره‌زارهای انتهای دشت و افت سطح ایستابی دانست. با تلفیق روش خوشه‌بندی با دیاگرام پایپر می‌بینیم که خوشه اول در قسمت دوم نمودار پایپر قرار داشته و علت آن تغذیه آب باران و عبور آب از سازندهای کربناته (لار، دلیچای و تیزکوه) دانست. نمونه‌های مربوط به خوشه دوم در دو قسمت از بخش دیاگرام پایپر قرار دارد. نمونه ۲ و ۱۰ در بخش سوم دیاگرام با تیپ سولفات- کلر و سدیم- پتاسیم (شور) و دارای سختی موقت بوده و نمونه‌های ۱، ۲، ۹ و ۱۸ از خوشه دوم در بخش اول دیاگرام پایپر قرار دارند که دارای تیپ آبی سولفات- کلر و منیزیم- کلسیم با سختی دائمی هستند. همان‌طور که از شکل ۴ پیداست، نمونه‌های مربوط به بخش اول و سوم دیاگرام پایپر (خوشه دوم) در قسمت پایین‌دست دشت، در امتداد نوار ساحلی از روند عمومی آب‌های زیرزمینی یعنی توالی چیبوتارو پیروی می‌کنند (۶). در این بررسی، بین تحلیل خوشه‌بندی سلسله مرتبه‌ای و پراکنش نمونه‌ها در دیاگرام پایپر، که با حلقه‌های آبی (خوشه اول : HCA 1) و حلقه قرمز (خوشه دوم : HCA 2) مشخص‌شده، همپوشانی وجود دارد. از نظر پراکنش نمونه‌های وابسته به خوشه دوم، نمونه‌های بخش اول دیاگرام پایپر بیش‌تر متمایل به وسط دشت هستند و دو نمونه وابسته به بخش سوم دیاگرام در بخش شمال‌غربی و چسبیده به نوار سواحلی دریاچه ارومیه هستند.




**شکل ٤- دیاگرام پایپر و تلفیق آن با خوشه‌بندی و GIS.**

**Figure 4. Piper diagram and its integration with clustering and GIS.**

## نتیجه‌گیری

در ارزیابی منابع آب دشت شیرامین به روش خوشه‌بندی سلسله مرتبه‌ای، نمونه‌های آبی در دو خوشه قرار گرفتند. نمونه‌های آبی مربوط به خوشه اول در بالادست دشت و دارای هدایت الکتریکی کم‌تر از ۵۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و خوشه دوم همگی در امتداد نوار ساحلی قرار می‌گیرند و دارای EC بالا (بالای ۵۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) هستند. تحلیل عاملی منجر به استخراج ۴ مؤلفه شد. سه مؤلفه اول ناشی از فرایندهای زمین‌زاد بوده (مؤلفه اول: مؤلفه کربناته، مؤلفه دوم: مؤلفه ناشی از بارش و مؤلفه سوم: ناشی از سولفوفلوراید) و اما مؤلفه چهارم با تأثیر نیترات که ناشی از فاضلاب‌ها و کودهای کشاورزی و دامداری است، مؤلفه ناشی از فرایندهای بشرزاد نامیده شده است. مقدار نیترات در نزدیکی روستاها بالا بوده و غلظت آن در چند نمونه بیش از حد مقدار استاندارد است. در دشت شیرامین در برخی مناطق مقدار فلوراید کم‌تر از مقدار استاندارد جهانی است که عوارضی همانند پوسیدگی دندان را می‌تواند در پی داشته باشد. درنهایت ترکیب آب منطقه مورد مطالعه متأثر از فرایندهای مختلف بشرزاد و زمین‌زاد است و لازم است که برخی پارامترها از جمله نیترات و فلوراید منطقه برای افزایش استاندارد سطح زندگی مردم منطقه مورد پایش و مدیریت صحیح قرار گیرد تا از نتایج نامطلوب بعدی جلوگیری به عمل آید.

## منابع


1.Adepelumi, A.A., Ako, B., Ajayi, T., Afolabi, O., and Omotoso, E. 2009. Delineation of saltwater intrusion into the freshwater aquifer of Lekki Peninsula, Lagos, Nigeria. Environmental Geology. 56: 5. 927-933.

2.Anayah, F.M., and Almasri, M.N. 2009. Trends and occurrences of nitrate in the groundwater of the West Bank, Palestine. Applied Geography. 29: 4. 588-601.

3.Andre, L., Franceschi, M., Pouchan, P., and Atteia, O. 2005. Using geochemical data and modelling to enhance the understanding of groundwater flow in a regional deep aquifer, Aquitaine Basin, south-west of France. J. Hydrol. 305: 1. 40-62.

4.Apha, A. 1998. Wpcf. Standard methods for the examination of water and wastewater 20.

5.Asghari Moghaddam, A., Nadiri, A.A., and Fijani, E. 2007. Spatial prediction of fluoride concentration using artificial neural networks and geostatic models. J. Sci. Water Soil. J. 19/1. 129-145. (In Persian)

6.Chebotarev, I. 1955. Metamorphism of natural waters in the crust of weathering-1. Geochimica et Cosmochimica Acta. 8: 1. 22-48.

7.Davis, J.C. 1986. Statistical and data analysis in geology, J. Wiley.

8.Durov, S. 1948. Natural waters and graphic representation of their composition. Dokl Akad Nauk SSSR.

9.Güler, C., Thyne, G.D., McCray, J.E., and Turner, K.A. 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. Hydrogeol. J. 10: 4. 455-474.

10.Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Fernandez, J.M., and Fernandez, L. 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. Water research. 34: 3. 807-816.

11.Hossain, G., Howladar, M.F., Nessa, L., Ahmed, S.S., and Quamruzzaman, C. 2010. Hydrochemistry and classification of groundwater resources of Ishwardi Municipal Area, Pabna District, Bangladesh. Geotechnical and Geological Engineering. 28: 671-9.

12.Hounslow, A. 1995. Water quality data: analysis and interpretation, CRC press.

13.Kaiser, H.F. 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Psychometrika. 23: 3. 187-200.
14.Kaiser, H.F. 1974. An index of factorial simplicity. Psychometrika. 39: 1. 31-36.
15.Love, D., Hallbauer, D., Amos, A., and Hranova, R. 2004. Factor analysis as a tool in groundwater quality management: two southern African case studies. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 29: 15. 1135-1143.
16.McNeil, V.H., Cox, M.E., and Preda, M. 2005. Assessment of chemical water types and their spatial variation using multi-stage cluster analysis, Queensland, Australia. J. Hydrol. 310: 1. 181-200.
17.Moghaddam, A.A., and Fijani, E. 2009. Hydrogeologic framework of the Maku area basalts, northwestern Iran. Hydrogeol. J. 17: 4. 949-959. (In Persian)
18.Nadiri, A.A., Moghaddam, A.A., Tsai, F.T., and Fijani, E. 2013. Hydrogeochemical analysis for Tasuj plain aquifer, Iran. J. Earth Syst. Sci. 122: 4. 1091-1105.
19.Noori, R., Sabahi, M.S., Karbassi, A., Baghvand, A., and Zadeh, H.T. 2010. Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set. Desalination. 260: 1. 129-136.
20.Oudouris, K., Panagopoulos, A., and Koumantakis, J. 2000. Multivariate statistical analysis in the assessment of hydrochemistry of the Northern Korinthia prefecture alluvial aquifer system (Peloponnese, Greece). Natural Resources Research. 9: 2. 135-146.
21.Piper, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. Transactions, American Geophysical Union. 25: 914-928.
22.Pourakbar, M., Mosaferi, M., Shaker Khatibi, M., and Moradi, A. 2014. Groundwater quality assessment from a hydrogeochemical viewpoint a case Study of Sarab County. Adviser engineer of project and investigations of water and wastewater. 26: 3. 116-126. (In Persian)
23.Prasanna, M.V., Chidambaram, S., Hameed, A.S., and Srinivasamoorthy, K. 2011. Hydrogeochemical analysis and evaluation of groundwater quality in the Gadilam river basin, Tamil Nadu, India. J. Earth Syst. Sci. 120: 1. 85-98.
24.Prasanna, M.V., Chidambaram, S., and Srinivasamoorthy, K. 2010. Statistical analysis of the hydrogeochemical evolution of groundwater in hard and sedimentary aquifers system of Gadilam river basin, South India. J. King Saud Univ. - Sci. 22: 3. 133-145.
25.Shahrabi, M. 1994. Report of geological map of Quadrilateral Urmia with scale 250000/1. Geological Survey and mining Exploration. (In Persian)
26.Shanmugam, P., and Ambujam, N. 2012. A hydrochemical and geological investigation on the Mambakkam mini watershed, Kancheepuram District, Tamil Nadu. Environmental monitoring and assessment. 184: 5. 3293-3306.
27.Singh, K.P., Malik, A., Mohan, D., and Sinha, S. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)-a case study. Water Research. 38: 18. 3980-3992.
28.Singhal, B., and Gupta, R. 1999. Applied Hydrogeology of Fractured Rocks. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
29.Tabachnick, B.G., and Fidell, L.S. 2001. Using multivariate statistics.
30.Todd, D.K., and Mays, L.W. 2005. Groundwater Hydrology. Wiley, New Jersey.
31.Vega, M., Pardo, R., Barrado, E., and Debán, L. 1998. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. Water research. 32: 12. 3581-3592.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(3), 2016*
*http://jwsc.gau.ac.ir*

# Survey of water resources of Shiramin plain using multivariate statistical methods

***M.D. Mahmoudi[1], A.A. Nadiri[2], A. Asghari Moghaddam[3], M. Pourakbar[4] and A.R. Moradian Haredasht[5]**

[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Geoscience, Faculty of Natural Science, University of Tabriz,
[2]Assistant Prof., Dept. of Geoscience, Faculty of Natural Science, University of Tabriz,
[3]Professor, Dept. of Geoscience, Faculty of Natural Science, University of Tabriz,
[4]Ph.D. Student, Dept. of Environmental Engineering, Tarbiat Modares University of Tehran,
[5]M.Sc. Student, Dept. of Geology, Ferdowsi University of Mashhad
Received: 04/30/2015; Accepted: 12/21/2015

**Abstract**

**Background and Objectives:** Groundwater is considered as one of the most important sources of fresh water which is available of human. Groundwater is used for various goals such as drinking, sanitation, agriculture and industry. Therefore, Studying, understanding and protecting it looks a necessary work in arid and semi-arid areas like Iran. Shiramin region with an aquifer with approximate area of 34 $km^2$ is one the marginal plains of Urmia lake. Deep understanding of the dominant hydrogeochemical processes on aquifer system is very important in the management of groundwater resources. Graphics methods are among the usual methods in the recognition of the dominant processes on the groundwater, but lack of use of some chemical parameters such as (nitrate, arsenic, etc.), including its limitations. Multivariate statistical analysis methods (Factor analysis, Clustering analysis) has been used as a complementary method along with graphics method to identify factors affecting the quality of underground water, finding the source of contamination and to classifying the similar samples. Using Geographic Information System (GIS) along with mentioned methods leading to better insight and easier understanding in groundwater issues. The aim of this study is to identify the effective factors on the quality of water resources of Shiramin region, finding their sources and hydrogeochemical analysis of them using multivariate statistical analysis, graphical and GIS methods.

**Materials and Methods:** In order to investigate groundwater of Shiramin area, 18 samples of groundwater from all over the plain with regard to the best distribution, were collected and analyzed. For interpretation and representing the data, multivariate statistical analysis (principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA)), correlation matrix, graphical and GIS methods were used.

**Results:** Content of nitrate is higher and fluoride is less than the standard value. Factor analysis resulted in the extraction of four factors: (first component: carbonate component, the second component: component of rain-fed and the third component: from sulfoflouride, the fourth component, nitrate component). Hierarchical cluster analysis has resulted in the extraction of two clusters named HCA1 (first cluster) and HCA2 (second cluster). Samples related to first cluster in the upstream of plain illustrate better quality and samples related to second cluster are located in the downstream of plain with higher EC and lower quality.

**Conclusion:** Using multivariate statistical analysis methods in identifying Effective factors on water quality and clustering them is very effective. Graphical methods and GIS are also effective for understanding the Hydrogeochemical processes.

***Keywords:*** Clustering, Factor analysis, GIS, Groundwater

* Corresponding Author; Email: m.mahmoudi1391@gmail.com