

## منابع آب زیرزمینی شهرستان آستانه و بررسی عوامل مؤثر بر آن با روش‌های چندمتغیره آماری، گرافیکی و GIS

محمددردی محمودی<sup>۱</sup>، علیرضا مرادیان‌هره‌دشت<sup>۲</sup> و عطاله ندیری<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد آب‌های زیرزمینی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲- کارشناس ارشد زمین شناسی محیط زیست، دانشکده علوم زمین، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. استادیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

### چکیده

آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع مورد استفاده بشر می‌باشد. توجه به منابع آب زیرزمینی در ایران با شرایط اقلیمی و جغرافیایی خاص آن امری ضروری به نظر می‌رسد. از این رو اهمیت بررسی و مطالعه آب‌های زیرزمینی در سال‌های آتی بیش از پیش شده است. در این پژوهش از داده‌های ۳۸ نمونه آب زیرزمینی واقع در حوضه آبریز سفیدرود استفاده شد. از روش‌های گرافیکی، تحلیل آماری چندمتغیره همراه با سیستم تحلیلی اطلاعات جغرافیایی (GIS) در این پژوهش استفاده شده که می‌تواند به درک بهتر فرایندهای حاکم بر آب زیرزمینی منطقه سفیدرود یاری رساند. مقدار EC در بالادست حوضه، برخلاف انتظار، اما به دلیل زمان ماندگاری بالا و تأثیر واحدهای مازنی اطراف سد سفیدرود (واقع در بالادست حوضه آبریز) بیشتر از پایین دست آن می‌باشد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) منجر به تشخیص ۵ عامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی شد. روش خوشه‌بندی منتج به استخراج سه خوشه شد که خوشه اول نامناسب‌ترین (بیشترین هدایت الکتریکی) و خوشه سوم (حداقل هدایت الکتریکی) مناسب‌ترین کیفیت را داشته‌اند. کیفیت آب از دیدگاه کشاورزی مناسب بود. در یک دید کلی آب‌های قسمت پایین دست حوضه و بالادست حوضه (اطراف سد سفیدرود) نامناسب ارزیابی شده و قسمت‌های میانی دشت کیفیت بهتری را دارد.

واژگان کلیدی: آب زیرزمینی، سفیدرود، هیدروژئوشیمی، دیاگرام ویلکوکس، GIS

### مقدمه

مهم می‌باشد. کیفیت آب زیرزمینی بر سلامت فردی و عموم رابطه مستقیمی دارد و این منبع به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب برای انواع مصارف مختلف با نظر به هزینه‌های اقتصادی و عوامل آلاینده در استفاده از آب‌های سطحی، اهمیت آن دوچندان شده است (Arumugam and Elangovan, 2009).

فراهم کردن آبی باکیفیت مناسب جهت شرب، کشاورزی، صنعت و بهداشت نگرانی عمده چنده دهه اخیر در مناطق مختلف جهان بوده است. ایران به دلیل قرارگیری در مناطق خشک و نیمه خشک در مسئله آب در حال روبه‌رو شدن با یک بحران می‌باشد. بحث در مورد آب زیرزمینی هم از نظر کمیت و هم از نظر کیفیت

پارامترهای هیدروشیمی آب بکار برده‌اند. PCA برای طبقه‌بندی پارامترها به گروه‌ها یا رخساره‌ها بر اساس شباهتشان با یکدیگر استفاده شده است، درحالی‌که HCA برای برجسته کردن روابط بین نقاط نمونه‌برداری بکار رفته و دندروگرام برای نشان دادن روابط با شکل توسط HCA ترسیم شده است (Banoeng-Yakubo et al., 2009).

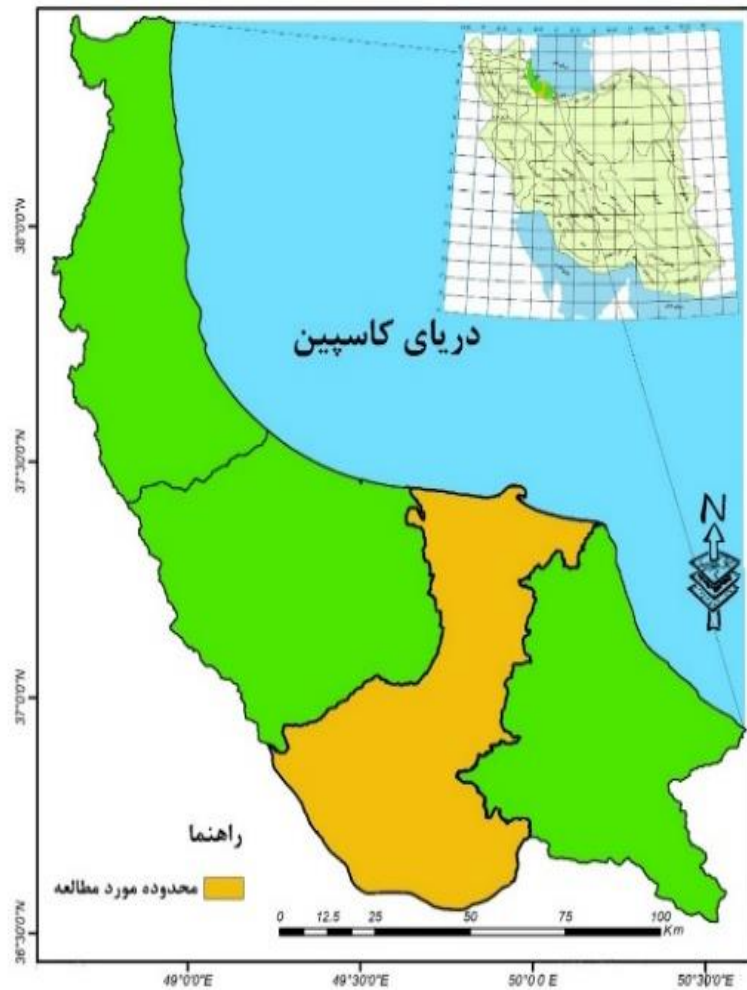
هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی کاربرد روش‌های تحلیل چندمتغیره آماری به‌عنوان روشی جایگزین بر روش‌های گرافیکی جهت ارزیابی داده‌های هیدروشیمیایی است. یافتن پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه، خوشه‌بندی آن‌ها و مکان‌یابی تأثیر هر پارامتر در منطقه موردبررسی و بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی و تلفیق آن‌ها با GIS هدف اصلی این پژوهش است.

#### روش تحقیق:

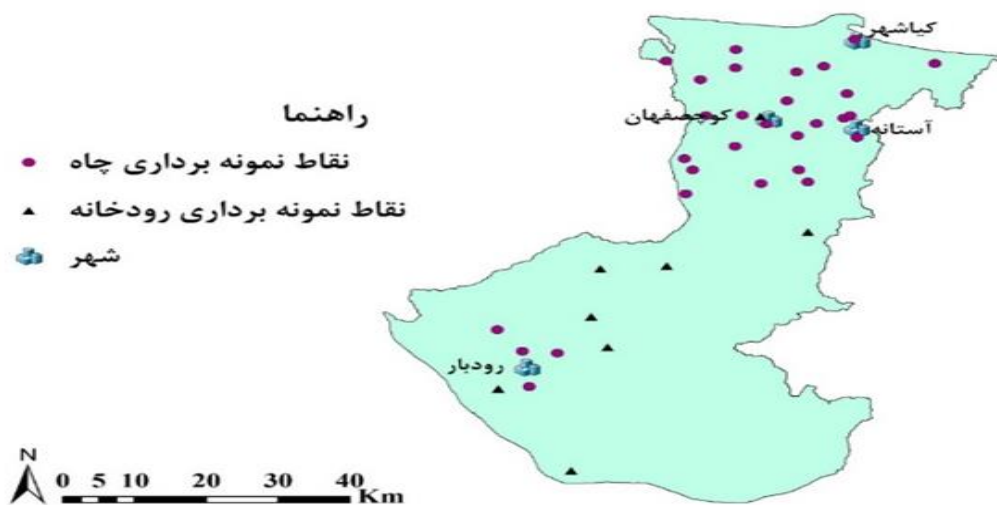
##### منطقه مورد مطالعه:

محدوده مورد مطالعه (حوضه سفیدرود) در استان گیلان قرار دارد (شکل ۱). این محدوده از شمال به دریای کاسپین، از شرق به محدوده حوضه آبریز لاهیجان-چابکسر، از جنوب به استان‌های زنجان و قزوین و از غرب به حوضه آبریز فومنات محدود می‌باشد و بین طول‌های شرقی  $49^{\circ}15'$  تا  $50^{\circ}11'$  و بین عرض‌های شمالی  $36^{\circ}44'$  تا  $37^{\circ}28'$  قرار گرفته است. رودخانه سفیدرود که از سد سفیدرود (سد منجیل) تا دریای کاسپین به نام پایاب سفیدرود نامیده می‌شود در این محدوده جریان دارد و به‌عنوان مهم‌ترین رودخانه منطقه محسوب می‌گردد. وسعت محدوده مطالعاتی تقریباً  $2600 \text{ Km}^2$  است که ۴۰٪ مساحت دشت و ۶۰٪ مساحت کوهستان می‌باشد. از نظر هواشناسی، متوسط میزان بارش سالانه در ایستگاه‌های منطقه حدود  $1200 \text{ mm}$  می‌باشد و متوسط دما برای گرم‌ترین ماه سال (مرداد)  $25/5^{\circ} \text{C}$  و برای سردترین ماه سال (بهمن)  $^{\circ} \text{C}$   $2/4$  می‌باشد. از جمله سازندهای منطقه می‌توان به سازند شمشک، سازند قرمز فوقانی، مجموعه بازالتی، گرانیتوئیدهای تورمالیندار با رگه‌های مگنتیت و توده‌های نیمه آتشفشانی اشاره کرد.

فرایندهای مختلفی بر توزیع عناصر شیمیایی مختلف را در آب زیرزمینی حاکم هستند که برخی از آن‌ها زمین زاد و برخی دیگر بشرزاد می‌باشند و گستره ترکیب شیمیایی وسیعی دارند (Dragon, Appelo et al., 1993, 2006). ساختمان خاک‌ها، سازندهای حوضه آبریز در کنار آب‌های سطحی تعیین‌کننده ترکیب شیمیایی و کیفیت آب زیرزمینی هرمنطقه هستند. مهم‌ترین و بیشترین تغییرات در کیفیت آب‌های زیرزمینی بر اثر عوامل زمین‌شیمیایی رخ می‌دهد (Kumar et al., 2010). در این پژوهش از روش‌های مختلف آنالیز آماری چندمتغیره همانند تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل خوشه‌بندی و نمره‌های عاملی با تلفیق نرم‌افزار GIS استفاده شده است. در پژوهش‌های زیادی از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل خوشه‌ای و نمره عاملی استفاده شده و نتیجه‌های خوبی هم حاصل شده است. استفاده از تحلیل‌های آماری چندمتغیره منجر به کاهش حجم داده‌ها، بدون حذف اطلاعات مفید می‌شود و در سال‌های اخیر، روش‌های آماری چندمتغیره برای مشخص کردن و ارزیابی آب‌های سطحی و زیرزمینی بکار گرفته شده است. در طی پژوهش افرادی همانند بنگرین و مارها (۲۰۰۳)، رزم‌خواه و همکاران (۲۰۱۰)، مسافری و همکاران (۲۰۱۴) و شیرودکار و همکاران در سال (۲۰۰۹)، از روش‌های آماری چندمتغیره به‌عنوان وسیله‌ای برای ارزیابی جامع کیفیت آب زیرزمینی استفاده شده است (Shirodkar Razmkhah et al., 2010, Marhaba, 2003). ژو و همکاران (۲۰۰۷) ثابت کردند که روش‌های آماری چندمتغیره برای تفسیر مجموعه داده‌های پیچیده در تحلیل تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب و بهینه‌سازی شبکه پایش کیفیت آب مفید و سودمند است (Zhou et al., 2007). او مو-ایرابور و همکاران (۲۰۰۸)، داده‌های شیمیایی را با تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل خوشه‌ای مرتبه‌ای بررسی و تجزیه و تحلیل کردند. هدف از این پژوهش تعیین طبیعت و توزیع مکانی آلاینده‌های شیمیایی در آب‌های سطحی و زیرزمینی مناطق غربی دلتای نیجر بوده است (Omo-Irabor et al., 2008). یاکوبو و همکاران (۲۰۰۹)، هم PCA و هم HCA را برای



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. توزیع نقاط نمونه برداری

## نمونه برداری از منابع آب:

قبل از نمونه برداری ابتدا داده‌های کل منابع آب حوضه آبریز سفیدرود از آب منطقه گیلان اخذ گردید و سپس سعی شد تا نمونه‌ها با بهترین توزیع از سراسر دشت جمع‌آوری شوند. اندازه‌گیری خواص فیزیکوشیمیایی آب که شامل: دما، اسیدیته (pH)، کل مواد جامد محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC) با استفاده از دستگاه ملتی پارامتر در محل نمونه برداری صورت گرفت. به منظور تعیین خواص شیمیایی از هر منبع، یک ظرف پلی اتیلن ۵۰۰ cc آب برداشت شده و برای پارامترهایی همانند کلراید ( $Cl^-$ )، سولفات ( $SO_4^{2-}$ )، کربنات ( $CO_3^{2-}$ )، بیکربنات  $HCO_3^-$ ، کلسیم ( $Ca^{2+}$ )، منیزیم ( $Mg^{2+}$ )، سدیم ( $Na^+$ )، پتاسیم ( $K^+$ ) پس از فیلتر کردن نمودن به آزمایشگاه ارسال گردید و با استفاده روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند.

## روش‌ها:

در پژوهش حاضر از روش‌های آنالیز آماری چندمتغیره و گرافیکی استفاده شده است. روش‌های گرافیکی شامل دیاگرام پایپر، ویلکوکس و شولر می‌باشند. علاوه بر این، از روش‌های آماری به منظور بررسی بهتر و یافتن روابط دقیق‌تر پارامترهای کیفی و تعیین مقادیر حداکثر، حداقل، میانه و میانگین استفاده شد. روش‌های آنالیز آماری چندمتغیره استفاده شده شامل تحلیل همبستگی، تحلیل

## تحلیل‌های آماری

## تحلیل مؤلفه‌های اصلی

به‌منظور استخراج اطلاعات دقیق، تحلیل‌های همانند تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل خوشه‌ای و نمره عاملی با تلفیق GIS برای ۲۴ پارامتر استفاده شد. در تحلیل عاملی به تعداد پارامترهای استفاده شده مؤلفه استخراج می‌شود، اما در این پژوهش مؤلفه‌های هدف آن‌ها بودند که مقادیر ویژه آن‌ها بیشتر از ۱ بود (جدول ۲). برای داده‌های این پژوهش پنج مؤلفه اصلی استخراج شد که مؤلفه اولی بیشترین تغییرات و به طرف مؤلفه آخر (مؤلفه پنجم) کمترین تغییرات را توضیح می‌دهند. مؤلفه اول ۲۱/۵۴ درصد، مؤلفه دوم ۱۹/۹۱ درصد، مؤلفه سوم

عاملی و تحلیل خوشه‌ای می‌باشند. در روش تحلیل عاملی (Factor Analysis)، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، روش چرخش واریانس با استخراج مؤلفه‌های با بارعاملی بیشتر از ۱ استفاده شد.

## نتایج و بحث:

داده‌های هیدروشیمی مورد استفاده در این پژوهش با واحد میلی‌گرم بر لیتر به‌جز برای هدایت الکتریکی با واحد میکروزیمنس بر سانتیمتر، در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. (جدول ۱). داده‌های فوق از ۱۷ نقطه جمع‌آوری شده و از نظر بار یونی دارای توازن یونی بوده و خطای آزمایش کمتر از ۵ درصد می‌باشد (Freeze and Cherry, 1979). از جمله عوامل ایجادکننده خطا شامل خطاهای انسانی، دستگاهی، وجود ناخالصی در آب هستند. مقدار کربنات برای بیشتر نمونه‌ها صفر تعیین شده است. مقدار هدایت الکتریکی برای همه نمونه‌ها زیر ۱۵۰۰ میکروموس بر سانتی بوده که بیانگر کیفیت نسبتاً مناسب نقاط نمونه برداری شده است. در جدول ۱، نمونه‌ها با کدهای S1، S2، S3، ... نشان داده شده‌اند. اساس همه کارهای آماری مورد استفاده در این پژوهش از داده‌های جدول ۱ و پارامترهای محاسباتی بعدی حاصل از آن بوده است.

۱۵/۶۱ درصد، مؤلفه چهارم ۱۴/۹۱ درصد و مؤلفه پنجم ۱۲/۳۷ درصد از تغییرات رخ داده در سیستم آب زیرزمینی منطقه سد سفید را توضیح دادند (جدول ۲). این پنج مؤلفه در کل ۸۴/۳۶ درصد از تغییرات کل در سیستم داده‌های مورد استفاده در این پژوهش را توضیح داده که مقدار قابل توجهی می‌باشد. در مؤلفه اول شش پارامتر نقش داشته و سه پارامتر با بار عاملی بالای ۰/۹ مهم‌ترین نقش را ایفا کرده‌اند که شامل سولفات، شاخص اشباعیت انیدریت و شاخص اشباعیت ژپس می‌باشند (جدول ۲). بار عاملی سه پارامتر مؤثر یعنی غلظت کلسیم، TDS و EC حدود ۰/۶ بوده و با توجه با بار عاملی روی سولفات و کانی‌های مرتبط با آن (انیدریت و ژپس) این مؤلفه را می‌توان مؤلفه سولفات نامید. در

خطر شوری نیز از بار عاملی بالا برای کلراید در این مؤلفه ناشی می‌شود که طبیعت مشابهی دارند. مؤلفه چهارم شامل پارامترهای مؤثر در مبحث کشاورزی می‌باشد و آن را می‌توان پارامتر در کشاورزی نامید. شاخص کلی (Kelly Ratio)، درصد سدیم و شاخص نفوذپذیری، پارامترهای موجود در این مؤلفه می‌باشند. در مؤلفه پنجم کربنات سدیم به تنهای با بار عاملی خیلی بالا (بار عاملی بالای ۰/۹) نشان از سرشت جدای این پارامتر از سایر پارامتر استفاده شده دارد.

مؤلفه دوم شاخص اشباعیت کلسیت، دولومیت و آراگونیت به همراه pH بار عاملی بالاتر (بار عاملی بیشتر از ۰/۸) و تأثیر بیشتری را داشته‌اند. بار عاملی مثبت برای pH و شاخص اشباعیت کانی‌های کربناته نشان‌دهنده این است که در pH بالا، کانی‌های کربناته دارای اشباعیت بیشتری بوده‌اند. در مؤلفه سوم منیزیم، کلراید سختی کل و پتانسیل شوری نقش داشته و با توجه بار عاملی مربوط به پارامترهای این مؤلفه، منیزیم در مقدار سختی کل نقش مهم‌تری از کلسیم داشته و بار عاملی نسبتاً بالا برای

جدول ۱. همبستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب حوضه سفیدرود

TH	HCO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	EC	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	نمونه
۴۴۴	۰	۹۰۷	۱۶۳	۹۳	۳۷۱	۳	۷۷	۴۲	۱۰۸	S1
۱۶۱	۰	۴۹۷	۵۸	۴۸	۱۲۰	۱	۳۷	۱۲	۴۴	S2
۳۴	۰	۱۳۴۶	۱۵۶	۷۳	۴۵۵	۶	۱۰۰	۳۰	۱۲۳	S3
۴۹۵	۰	۱۳۱۲	۱۲۷	۲۹	۵۶۴	۳	۷۷	۲۷	۱۵۲	S4
۳۵۲	۰	۱۰۸۴	۱۲۰	۴۲	۴۱۷	۵	۸۹	۲۲	۱۰۳	S5
۲۳۷	۰	۱۲۵۵	۶۳	۹۶	۱۳۴	۲	۲۸	۲۶	۵۱	S6
۳۹۳	۰	۱۲۶۳	۱۱۷	۷۵	۴۲۷	۱	۸۸	۴۴	۸۴	S7
۴	۰	۱۲۱۲	۱۲۷	۸۰	۴۱۴	۳	۸۸	۲۹	۱۰۷	S8
۱۳۸	۰	۵۰۰	۱۴	۱۰	۲۷۴	۲	۶	۱۶	۲۷	S9
۵۱۵	۰	۱۴۰۰	۱۴۵	۱۱۲	۴۷۱	۷	۸۲	۳۳	۱۵۱	S10
۴۷۵	۰	۱۴۶۱	۱۴۸	۱۸۷	۳۹۰	۲۳	۱۰۰	۳۱	۱۳۸	S11
۴۶۰	۰	۱۳۸۶	۱۸۹	۹۳	۳۹۵	۳	۱۰۴	۲۷	۱۹۸	S12
۲۶۰	۰	۸۵۷	۱۲۷	۳۴	۲۶۳	۲	۷۴	۲۹	۵۵	S13
۱۹۹	۰	۹۳۹	۸۵	۵۱	۳۴۹	۵۲	۳۱	۲۴	۳۹	S14
۳۵۰	۰	۱۲۴۰	۲۰۲	۸	۳۹۹	۴	۱۱۷	۴۲	۷۰	S15
۳۰۱	۷	۹۳۳	۱۳۴	۲۰	۲۹۹	۳	۷۷	۳۱	۶۹	S16
۳۹۰	۰	۸۳۶	۱۵۹	۱۹	۲۱۴	۰.۳	۱۳	۳۶	۹۶	S17

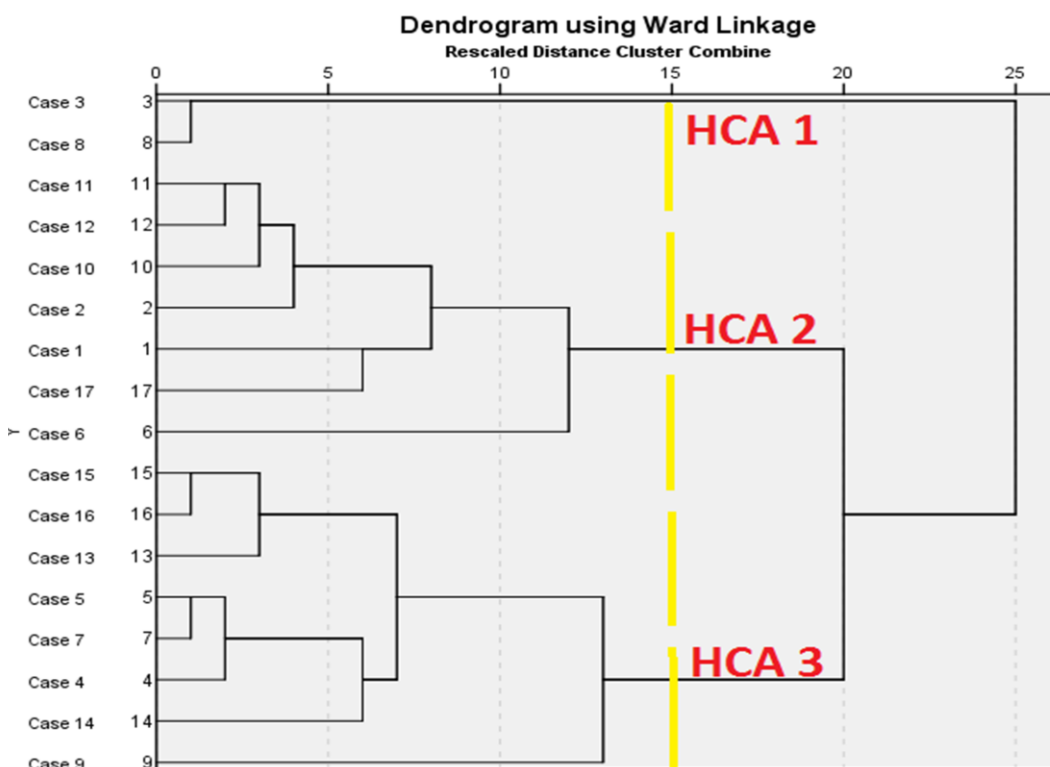
جدول ۲. خروجی تحلیل مولفه های اصلی

مؤلفه					پارامتر
پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	
۰/۴	-۰/۳	۰/۴	۰/۳۷	۰/۶	Ca <sup>2+</sup>
۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۹۲	-۰/۰۴	-۰/۰۲	Mg <sup>2+</sup>
۰/۳۵	۰/۴۶	۰/۴۹	۰/۵	۰/۳۰	Na <sup>+</sup>
۰/۲۵	۰/۴۲	-۰/۱۷	-۰/۵۷	۰/۲۷	K <sup>+</sup>
۰/۸۸	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۲	۰/۱۸	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
-۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۳	-۰/۰۹	۰/۹۲	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
۰/۱۶	۰/۱	۰/۸۲	۰/۳۲	۰/۲	Cl <sup>-</sup>
۰/۴۳	۰/۰۹	۰/۴	۰/۲۷	۰/۶۱	TDS
۰/۴۲	۰/۱۱	۰/۴۲	۰/۲۸	۰/۶۱	EC
-۰/۲۱	۰/۲۶	-۰/۱۳	۰/۸۸	-۰/۰۲	pH
-۰/۲۹	۰/۲۲	/۰.۸	۰/۳۲	-۰/۲۹	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
۰/۱۱	-۰/۲۷	۰/۶	۰/۰۴	۰/۲	سختی کل
۰/۰۳	-۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۹۴	شاخص اشباعیت انیدریت
۰/۳	۰/۱	۰/۲۲	۰/۸۵	۰/۲۹	شاخص اشباعیت آراگونیت
۰/۳	۰/۱۰	۰/۲۲	۰/۸۵	۰/۲۹	شاخص اشباعیت کلسیت
۰/۳	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۸۳	۰/۲۱	شاخص اشباعیت دولومیت
۰/۳۶	-۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۹۴	شاخص اشباعیت ژپس
۰/۲۴	۰/۳۸	۰/۱	۰/۴۲	۰/۲۳	شاخص اشباعیت هالیت
-۰/۲۶	۰/۳۱	۰/۰۴	-۰/۵۲	-۰/۶۳	خطر منیزیم
۰/۹۱	۰/۲۵	۰/۱۲	۰/۰۸	-۰/۰۶	کربنات سدیم باقیمانده
۰/۱	۰/۸۶	-۰/۱۷	۰/۰۹	-۰/۲۶	شاخص نفوذپذیری
۰/۱۴	۰/۹۶	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۸	درصد سدیم
۰/۱۱	۰/۱	۰/۷۵	۰/۲۳	۰/۵۴	پتانسیل شوری
۰/۰۰	۰/۸۵	۰/۲۲	۰/۳۵	-۰/۱	نسبت کلی

### تحلیل خوشه‌بندی

یکی از مؤثرترین تکنیک‌های مورد استفاده برای خوشه‌بندی در مبحث آب شناسی و مسائل زیست‌محیطی، خوشه‌بندی سلسله‌مرتب‌ای می‌باشد. برای این هدف از فاصله اقلیدسی جهت سنجش فاصله‌ای و از روش وارد به‌عنوان قانون اتصال استفاده شده که واضح‌ترین گروه‌بندی را ارائه می‌دهد. این روش توسط افراد مختلفی همانند گولر و همکاران، ۲۰۰۲؛، ندیری و همکاران، ۲۰۱۳؛ و بسیاری از افراد دیگر هم مورد استفاده قرار گرفته است (Güler et al., Nadiri et al., 2013). برای این پژوهش نمودار درختی حاصل از آنالیز خوشه‌بندی استخراج شده و در شکل ۳ ارائه شده است. سه خوشه بر روی این شکل مشخص شده که خوشه اول بیشترین هدایت الکتریکی و جامدات محلول کل را دارا بوده و دو نمونه متعلق به این خوشه می‌باشد که یک نمونه در نوار ساحلی قرار داشته و یک نمونه نیز در نزدیکی شهر کوچصفهان قرار دارد. نمونه اول ناشی از

نفوذ آب شور و نمونه دوم ناشی از طی مسافت طولانی توسط آب است. این خوشه حداکثر میانگین غلظت کلراید، سدیم، هدایت الکتریکی، بیکربنات، منیزیم و کلسیم را دارد که همگی نشان از شوری زیاد این خوشه نسبت به خوشه‌های دیگر می‌باشد. مهم‌ترین پارامتر در نمونه‌های وابسته به خوشه دوم، مقدار غلظت سولفات آن است که نسبت به دو خوشه دیگر بالاتر بوده و به عبارتی می‌توان گفت که تأثیر مؤلفه اول حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی در خوشه دوم نمود پیدا کرده است. مهم‌ترین پارامترهای موجود در خوشه سوم عبارت‌اند از وجود پارامتر کربنات که در دیگر خوشه‌های مقدار متوسط آن صفر بوده و برای خوشه سوم این مقدار صفر نمی‌باشد. مقدار پتاسیم و کربنات در خوشه سوم بیشتر از دو خوشه دیگر است اما مقادیر کلراید، سولفات، هدایت الکتریکی، جامدات محلول کل و کلسیم کمتر از دو خوشه فوق بوده و به سخن دیگر می‌توان گفت که از کیفیت بهتری نسبت به دو خوشه دیگر برخوردار است.



شکل ۳. خروجی تحلیل خوشه‌ای

نمره عاملی

نمره عاملی یکی دیگر از خروجی‌های مفید تحلیل‌های آماری می‌باشد. نمره عاملی در حقیقت همبستگی مؤلفه‌های استخراج شده با هر نمونه آب زیرزمینی در این پژوهش می‌باشد. در جدول ۳ می‌بینیم که نمونه ۱۱ و ۱۲ بیشترین نمره عاملی منفی را با مؤلفه اول (مؤلفه سولفات) دارند، اگر به جدول ۱ نگاه کنیم می‌بینیم که این دو نمونه کمترین میزان سولفات را دارا هستند و هرچه میزان نمره عاملی برای نمونه‌ای بیشتر شود، آن نمونه با آن مؤلفه و پارامترهای مربوط به آن مؤلفه رابطه مثبت بیشتری خواهد داشت. با نگاه به شکل ۴ (الف) می‌بینیم که نمونه‌های واقع در جنوب و شرق منطقه مورد مطالعه دارای نمره عاملی منفی و مؤلفه سولفات کمترین دخالت را در آن‌ها داشته اما نمونه‌های واقع در غرب و شمال غرب منطقه با نمرات عاملی مثبت بیشتر تحت تأثیر مؤلفه سولفات هستند. برای نمونه‌های ۳، ۱۵ و ۱۶

نمرات عاملی مؤلفه دوم دارای مقادیر مثبت بالا و نمونه‌های ۹ و ۱۴ نمرات عاملی منفی بالا هستند. بر اساس شکل ۴ (ب)، نمونه‌های واقع در بخش شمال و شمال غربی با مؤلفه دوم رابطه منفی و نمونه‌های واقع در بخش جنوبی و یک نمونه واقع در کنار دریا با مؤلفه دوم همبستگی خوبی دارند (یعنی با pH و شاخص اشباعیت کلسیت، آراگونیت و دولومیت رابطه مستقیمی دارند). منفی‌ترین نمره عاملی سوم برای نمونه‌های ۲، ۵ و ۹ می‌باشد و با توجه به اینکه در این مؤلفه کلراید و منیزیم بیشترین سهم را دارند، پس این نمونه‌ها کمترین میزان کلراید و منیزیم را دارا بوده و نمونه‌های ۱، ۱۵ و ۱۷ بالاترین نمرات عاملی مثبت را دارا بوده و به تبع آن بیشترین میزان هدایت الکتریکی و جامدات محلول کل را هم خواهند داشت. نمونه‌های واقع در غرب و جنوب منطقه مورد مطالعه با نمرات عاملی سوم رابطه عکس دارند و نمونه‌های واقع در شرق و شمال منطقه

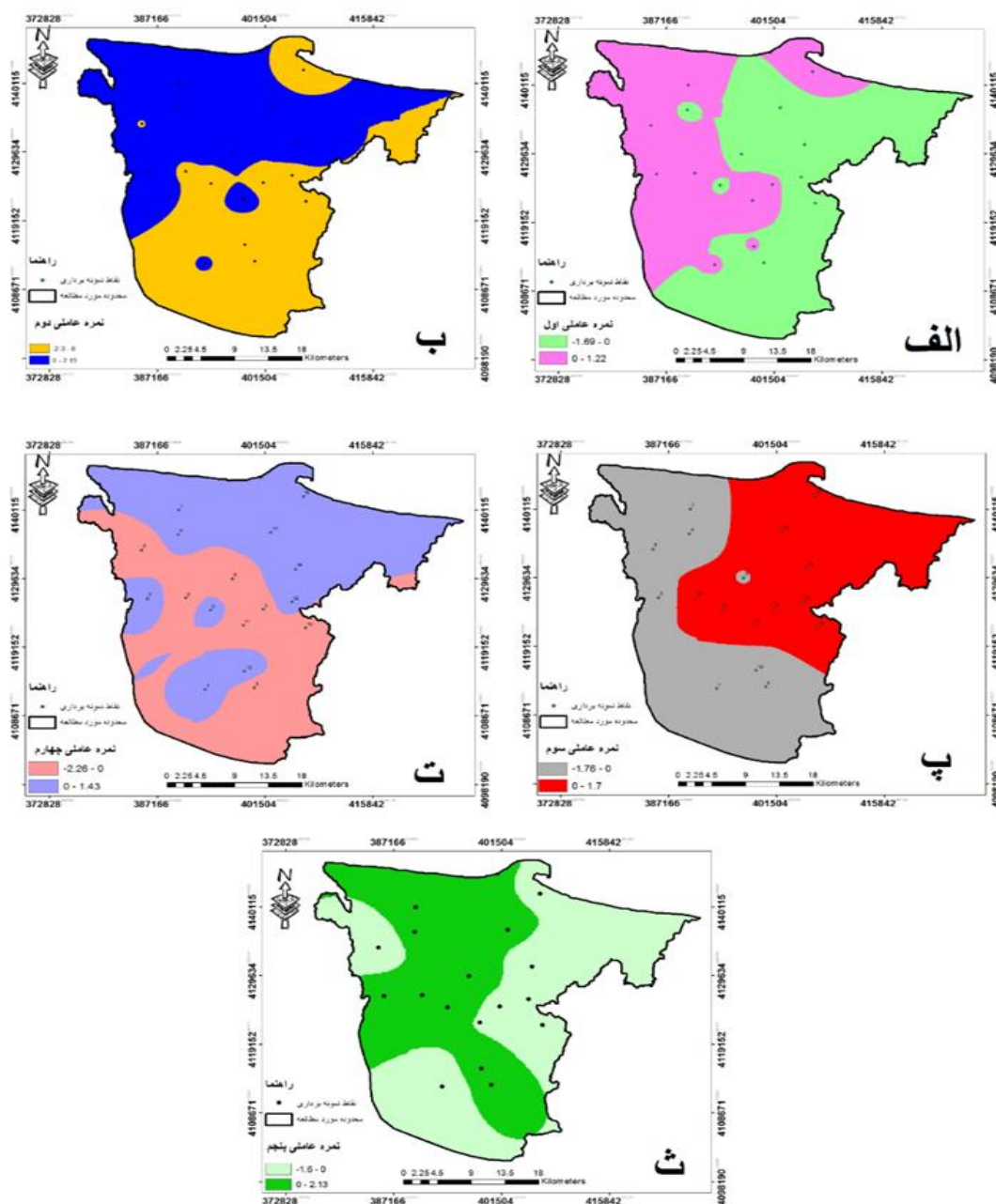
جدول ۳. نمره عاملی استخراج

کد نمونه آب	نمره عاملی ۱	نمره عاملی ۲	نمره عاملی ۳	نمره عاملی ۴	نمره عاملی ۵
S1	۰/۱۲	-۰/۶	۱/۳۶	-۰/۴۷	-۰/۵۷
S2	۰/۰۵	۰/۱	-۱/۷۶	۰/۲۳	-۱/۶۱
S3	۰/۴۹	۱/۱۲	-۰/۴۴	۰/۳۵	۰/۷۶
S4	-۰/۲۹	۰/۳۴	-۰/۰۹	-۱/۱۱	۲/۱۴
S5	-۰/۱۷	۲/۱۵	-۱/۰۱	۰/۱۷	۰/۶۵
S6	۰/۷۱	-۰/۰۲	-۰/۶۶	-۰/۴۱	-۱/۶۲
S7	-۰/۱۶	-۰/۴۵	۰/۸۶	۰/۴۸	۰/۳۳
S8	۰/۵۸	۰/۰۴	-۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۵۱
S9	-۱/۷	-۱/۰۱	-۱/۵۹	-۱/۲۹	۰/۴۶
S10	۱/۰۱	-۰/۱۳	۰/۵۱	-۰/۵۸	۰/۷۲
S11	۲/۰۹	-۰/۴۹	۰/۴۱	۰/۵۳	-۰/۱۵
S12	۱/۲۳	۰/۶۶	۰/۶۱	۰/۷۴	-۰/۰۲
S13	-۰/۶۳	-۰/۳۱	۰/۱۵	۱/۰۴	-۰/۷۵
S14	۰/۱۳	-۲/۳۷	-۰/۹۱	۱/۳۷	۰/۸۱
S15	-۱/۶	۰/۱۸	۱/۷	۱/۴۳	۰/۴۲
S16	-۱/۱۲	۱/۲۷	۰/۳۳	۰/۸۵	-۱/۱۳
S17	-۰/۶۹	-۰/۴۸	۱/۰۴	-۲/۲۶	-۰/۹۷



باشد، معمولان نشان‌دهنده نامطلوب بودن آن منطقه برای فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد. از این رو این مطلب نشان‌دهنده این است که فعالیت کشاورزی در بخش‌های میانی و جنوبی دشت می‌تواند نتیجه بهتری داشته باشد. نقشه درون‌یابی برای گروه پنجم از نمرات عاملی نشان می‌دهد که نمونه‌های حاشیه‌ای‌تر رابطه مثبت‌تری با RSC دارند.

رابطه مثبت وجود دارد و به عبارت دیگر می‌توان گفت در نمونه‌های واقع در قسمت غربی دخالت کلر و منیزیم بیشتر از بخش‌های شرقی و جنوبی بوده و به احتمال زیاد شورتر نیز باشند. برای نمرات عاملی گروه چهارم، نمونه‌های واقع در بخش شمالی‌تر رابطه مثبتی با این مؤلفه داشته و نمونه‌های واقع در بخش‌های جنوبی و میانی دشت با این مؤلفه رابطه منفی‌تری دارند. هرچه مقدار به دست آمده برای پارامترهای کشاورزی بیشتر



شکل ۴. درون‌یابی نمره‌های عاملی

## نتیجه‌گیری

روش‌های آماری می‌توانند روش قابل اعتمادی برای پژوهش در مورد داده‌های هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی باشد. نتایج نشان داده که عواملی مختلفی بر کیفیت آب منطقه تأثیر دارند. تأثیر هر عاملی در نقاط بخصوصی بیشتر از دیگر عوامل است. تحلیل عاملی روی هم رفته ۸۴/۶ درصد تغییرات موجود در سیستم را توضیح داده است. سه مؤلفه اول تعبیرات بیشتری را نسبت به دو مؤلفه آخر توضیح داده است. مهم‌ترین پارامتر برای مؤلفه اول سولفات، برای مؤلفه دوم pH و برای مؤلفه سوم کلراید+منیزیم، برای مؤلفه چهارم و پنجم پارامترهای مربوط به کشاورزی بوده است. با قرارگیری سولفات و کلراید در مؤلفه‌های اول و سوم، نمونه‌های واقع در بخش شرقی بیشتر تحت تأثیر این دو عامل بوده است و شدت تأثیر آن به سمت غرب منطقه مورد مطالعه کاهش می‌یابد. مؤلفه چهارم نشان دهنده رابطه مستقیم با کانی‌های کربناته و شاخص اشباعیت کانی‌های کربناته می‌باشد. در مؤلفه چهارم و پنجم پارامترهای مربوط به کشاورزی اهمیت بیشتری دارند. تحلیل خوشه‌ای منتج به سه خوشه شده که خوشه سوم بهترین کیفیت را بین سه خوشه داشته و خوشه اول فقط با دو نمونه، بدترین کیفیت آب را در نمونه‌های آب دارا می‌باشد. نمرات عاملی هم نقاط تحت تأثیر هر مؤلفه را درون‌یابی و روند تغییرات آن را نشان می‌دهد. با بررسی نمرات عاملی به اینکه تغییرات کیفی برای مؤلفه اول و سوم دارای روند شرقی-غربی و برای مؤلفه دوم و مؤلفه چهارم روند شمالی-جنوبی دارند پی برده شد. استفاده از تحلیل‌های آماری همراه با نرم افزار GIS می‌تواند نتایج ارزشمندی را ارائه دهد و در درک صحیح و آسان پدیده‌های بزرگ مقیاس کمک کند.

## تقدیر و تشکر

نویسنده مسئول مقاله تشکر خود را از خانم Samantha Prust جهت ویرایش چکیده انگلیسی ابراز می‌دارد.

## منابع

- سرراب. مجله مهندسين مشاور طرح و تحقيقات آب و فاضلاب، ۲۶ (۳)، ۱۱۶-۱۲۶.
- علیزاده، ا. (۱۳۸۵) اصول هیدرولوژی کاربردی. دانشگاه امام رضا (ع) مشهد. انتشارات آستان قدس رضوی.
- لاله زاری، ر. و طباطبایی، س.ح. (۱۳۸۶) بررسی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت شهرکرد در مقاطع ورودی و خروجی، اولین همایش منطقه‌ای آب زیرزمینی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان
- محمودی، م.د. اصغری مقدم، ا. اندیری، ع.ا. ندیم، ر. (۱۳۹۳) بررسی منابع آب دشت شیرامین برای کشاورزی با استفاده از خوشه‌بندی سلسله مرتبه‌ای و نمودار ویلکوکس. دومین همایش ملی بحران آب. دانشگاه شهرکرد
- APPELO, C., POSTMA, D., GEOCHEMISTRY, G. & POLLUTION, A. 1993. Balkema. Rotterdam, Netherlands, and Brookfield, Vermont.
- ARUMUGAM, K. & ELANGOVAN, K. 2009. Hydrochemical characteristics and groundwater quality assessment in Tirupur region, Coimbatore district, Tamil Nadu, India. Environmental Geology, 58, 1509-1520.
- BANOENG-YAKUBO, B., YIDANA, S. M., EMMANUEL, N., AKABZAA, T. & ASIEDU, D. 2009. Analysis of groundwater quality using water quality index and conventional graphical methods: the Volta region, Ghana. Environmental Earth Sciences, 59, 867-879.
- BENGRINE, K. & MARHABA, T. F. 2003. Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality. Journal of Hazardous Materials, 100, 179-195.
- DRAGON, K. 2006. Application of factor analysis to study contamination of a semi-confined aquifer (Wielkopolska Buried Valley aquifer, Poland). Journal of hydrology, 331, 272-279.
- FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A. 1979. Groundwater, 1979. Printice-Hall, New Jersey.
- GULER, C., THYNE, G. D., MCCRAY, J. E. & TURNER, K. A. 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. Hydrogeology journal, 10, 455-474.
- KUMAR, K. S., KUMAR, P. S., BABU, M. R. & RAO, C. H. 2010. Assessment and Mapping of

Ground Water Quality Using Geographical Information Systems.

–MOSAFERI, M., POURAKBAR, M.,

SHAKERKHATIBI, M., FATEHIFAR, E. & BELVASI, M. 2014. Quality modeling of drinking groundwater using GIS in rural communities, northwest of Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12, 99.

–NADIRI, A. A., ASGHARI MOGHADDAM, A.,

TSAI, F. T. & FIJANI, E. 2013. Hydrogeochemical analysis for Tasuj plain aquifer, Iran. *Journal of Earth System Science*, 122, 1091-1105.

–OMO-IRABOR, O. O., OLOBANIYI, S. B.,

ODUYEMI, K. & AKUNNA, J. 2008. Surface and groundwater water quality assessment using multivariate analytical methods: A case study of the Western Niger Delta, Nigeria. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33, 666-673.

–RAZMKHAH, H., ABRISHAMCHI, A. &

TORKIAN, A. 2010. Evaluation of spatial and temporal variation in water quality by pattern recognition techniques: A case study on Jajrood River (Tehran, Iran). *Journal of Environmental Management*, 91, 852-860.

–SHIRODKAR, P., MESQUITA, A., PRADHAN,

U., VERLEKAR, X., BABU, M. & VETHAMONY, P. 2009. Factors controlling physico-chemical characteristics in the coastal waters off Mangalore—A multivariate approach. *Environmental research*, 109, 245-257.

–ZHOU, F., LIU, Y. & GUO, H. 2007.

Application of multivariate statistical methods to water quality assessment of the watercourses in Northwestern New Territories, Hong Kong. *Environmental Monitoring and Assessment*, 132, 1-13.

## Water resources of Astaneh city and studying effective factors on it with statistical, graphical methods and GIS

Mohammad Dordi Mahmoudi<sup>1\*</sup>, Alireza Moradia Hare Dash<sup>2</sup>, Ata Allah Nadiri<sup>3</sup>

### ABSTRACT

Water resources are one of the most useable sources for humans. Attention to groundwater with respect to specific climatical and geographical conditions of Iran seems essential. Therefore, importance of investigating and studying groundwaters in future years is anticipated. In this study, the data of 38 samples used were located in Sefidrood Dam basin. Graphical and multivariate statistical analysis methods along with Geographical Information System (GIS) have been used in this study which can help to better understand dominant processes on groundwater of Sefidrood area. EC values in upstream of basin, unexpectedly, due to high residence time and effect of marly formations of around the Sefidrood Dam (located in upstream of basin) is greater than its downstream. Principal Components Analysis (PCA) led to recognizing five effective parameters on the groundwater. Clustering Analysis resulted in extraction of three clusters, of which the first cluster is the most inappropriate (with maximum of electrical conductivity) and third cluster (with minimum of electrical conductivity) have had most appropriate quality. Water quality from agriculture viewpoint was suitable. In a general view, water of downstream and upstream of basin (around of Sefidrood dam) was evaluated as unsuitable, and the middle part of the basin has a better quality.

**Keywords:** Groundwater, Sefidrood dam, Hydrogeochemistry, Wilcox Diagram, GIS