محیط شناسی، سال سی و سوم، شمارهٔ ۴۳، پاییز ۱۳۸۶، صفحهٔ۸۲-۷۳

بررسی هیدروژئوشیمی منابع آب شهر گرگان با استفاده از روش تحلیل عاملی و روش تحلیل خوشه‌ای

مجتبی قره محمودلو*[۱]، مصطفی رقیمی [۲]،علی حشمت پور [۳]

۱–مربی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- مربی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت ۸۴/۰۸/۷ تاریخ تصویب۸۵/۰۷/۱۹

چکیده

به منظور بررسی هیدروژئوشیمی منابع آبی شهر گرگان با استفاده از روش تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای از اطلاعات مربوط به دو دوره نمونه برداری در بهار و زمستان استفاده شده است. براساس ماتریس همبستگی، در فصل‌های بهار و زمستان بجز فسفات، بیکربنات و پتاسیم بیشترین‌های آب‌زیرزمینی همبستگی به نسبت بالایی با هدایت الکتریکی دارند. در بهار، کلر با یون منیزیم بیشترین همبستگی را نشان می‌دهد در حالی که در زمستان بالاترین همبستگی بین کلسیم و سولفات وجود دارد. نمودارهای خوشه ای فصل بهار نشان دهندهٔ آن‌است‌که بین یون‌های کلر و منیزیم آب زیرزمینی شباهتی بیش از ۸۸٪ و بین یون‌های سولفات وکلسیم شباهتی بیش از ۸۰٪ وجود دارد ،در حالیکه بیشترین شباهت در فصل زمستان بین یون‌های سولفات و کلسیم (بیش از ۸۸٪) و سپس کلر و منیزیم (بیش از ۸۰٪)، وجود دارد براین اساس و با توجه به ماتریس همبستگی، تیپ غالب آب زیرزمینی در فصل بهار کلرید منیزیک و در زمستان سولفات‌کلسیک بوده است. باتوجه به روش تحلیل عاملی، سه عاملی که بر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی شهر گرگان مؤثرند عبارتند از: فرایندهای‌هیدروژئوشیمیایی آبخوان، زیرا اغلب کاتیون‌ها و آنیونها دارای بار عاملی بالا هستند. تغذیه از طریق آبهای سطحی(رودخانه و ...)، به دلیل اینکه باعث افزایش غلظت بی‌کربنات و فسفات آب زیرزمینی شده است. و فعالیت‌های انسانی(نشت پساب‌های شهری و چاه‌های جذبی خانگی و...)، زیرا نیترات دارای بالاترین بار عاملی است غلظت نیترات در آب‌زیرزمینی بیشتر متأثر از نفوذ فاضلاب های شهری و آبشویی کودهای کشاورزی است. ضمن اینکه در عامل سوم غلظت سدیم و کلر، افزایش چشمگیری داشته است.

واژه های کلیدی

تحلیل عاملی– تحلیل خوشه‌ای– ماتریس همبستگی– تیپ غالب آب زیرزمینی– فرایندهای هیدروژئوشیمیایی آبخوان

سرآغاز

تشخیص مجموعه‌ای از شرایط هیدروژئولوژیکی و فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی که در آبخوان کیفیت آب‌زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد ، مشکل است. به همین دلیل هیدروژئوشیمیست‌ها از تحلیل عاملی[۱] استفاده می‌کنند. تحلیل عاملی ، روش آماری چند متغیره‌ای است که هدف آن ساده کردن مجموعه‌های پیچیده و مختلفی است که بین متغیرهای مشاهده‌ای وجود دارد. به همین دلیل هیدروژئوشیمیست‌ها برای تشخیص سهم هر یک از عوامل و شرایط مؤثر بر ترکیب آب‌زیرزمینی از روش تحلیل عاملی ،یا روش تحلیل خوشه ای استفاده می‌کنند(Usunoff & Guzman-Guzman,1989، Evans et al., 1996 و Jeong, 2001). تحلیل عاملی ،روش آماری چند متغیره‌ای است که هدف آن شناخت ساز وکارهای مؤثر،یا ساده‌کردن مجموعه‌های پیچیده و مختلفی است که بین متغیرهای مشاهده‌ای وجود دارد. روش تحلیل خوشه ای شامل چندین الگوریتم طبقه بندی شده متفاوت است که هدف آن اتصال متغیرها در داخل خوشه های بزرگتر است. نمونه ای از این خوشه،

نویسنده مسئول:تلفن: ۰۹۱۱۳۷۴۰۰۱۲ E-mail:mmahmoodlu@yahoo.com

مجموعهٔ سه تایی است‌که نتایج را در داخل سه خوشه به هم متصل می‌کند. رابطه بین مشخصه در داخل شاخه های سه تایی ظاهر می شود. شباهت بین مشخصه ها نسبت عکس با فاصله بین آنها در روی گراف دارد(Gonzalez Vazquez et al.,2005).

روش و مواد بررسی

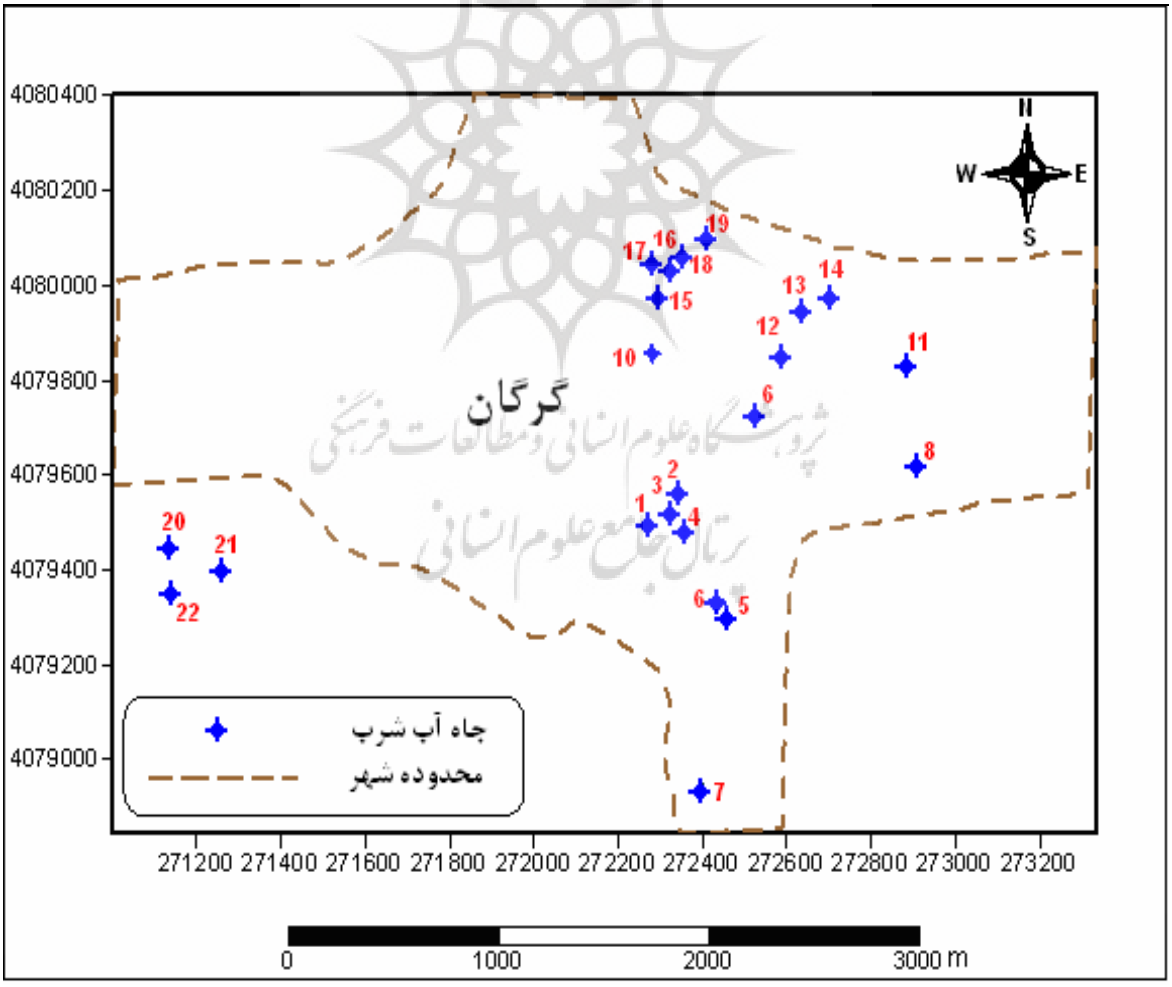
در مطالعه هیدروژئوشیمی آبخوان گرگان از روش تحلیل عاملی برای شناخت عوامل و میزان تأثیرگذاری آنها بر روی ترکیب آب‌زیرزمینی استفاده شده است. متغیرهای مشاهده‌ای استفاده شده در مطالعات هیدروژئوشیمی شامل نتایج آنالیزهای شیمیایی آب است. تحلیل عاملی دارای سه مرحلهٔ تهیهٔ ماتریس همبستگی از تمام متغیرها،استخراج عامل‌ها و تفسیر نتایج است(Guler, 2002). به منظور بررسی هیدروژئوشیمی منابع آبی شهر گرگان(شکل شمارهٔ۱) از اطلاعات مربوط به دو دوره نمونه برداری در بهار و زمستان ۱۳۸۲ استفاده شده است(جداول شمارهٔ۱و۲).

۱– ماتریس همبستگی

اساس ماتریس همبستگی، ضریب همبستگی پیرسون می‌باشد(رابطه۱).

$$r = \frac{\sum (x-\bar{x})(y-\bar{y})}{(n-1)s_1 s_2}$$

رابطه(۱)



شکل شمارهٔ(۱): موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه و برخی منابع تأمین کنندهٔ آب شرب شهر گرگان

جدول شمارهٔ(۱): نتایج آنالیز شیمیایی چاه‌های آب شرب شهر گرگان– بهار ۱۳۸۲(یون‌های اصلی و TDS ، میلی گرم بر لیترو EC , umohs/cm)

چاه	EC	TDS	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	SO_4	Cl	NO_3	PO_4	F	Fe
۱	۱۴۲۰	۸۳۲	۱۴۵	۴۷	۷۰	۳	۳۱۵	۱۷۲	۱۷۶	۲۸	۰/۱۸	۰/۹۳	۰/۲۸
۲	۱۱۲۸	۶۵۱	۱۱۵	۳۹	۴۸	۹	۳۱۰	۱۴۰	۹۷	۱۷	۰/۱	۰/۵۴	۰/۰۱
۳	۸۵۴	۴۹۵	۹۶	۲۲	۳۶	۵/۵	۲۷۶	۱۱۰	۴۸	۱۲/۳	۰/۱	۰/۸	۰/۰۱
A۴	۸۸۵	۵۳۱	۱۲۰	۱۹	۲۸	۳/۵	۲۸۰	۱۲۴	۵۷	۱۱	۰/۱	۰/۸	۰/۰۱
B۴	۱۱۰۰	۶۱۹	۱۳۲	۳۷	۲۶	۵/۵	۳۳۰	۱۴۴	۶۷	۴۶	۰/۱۵	۰/۴۸	۰/۰۱
۵	۱۰۸۰	۶۰۷	۱۲۰	۴۳	۲۹	۳/۵	۳۰۰	۱۴۴	۶۰	۲۶	۰/۶	۰/۸۵	۰/۰۱
۶	۱۱۷۰	۶۵۱	۱۲۸	۴۳	۳۲	۳/۵	۳۴۰	۱۳۶	۶۹	۳۶	۰/۳	۰/۹	۰/۰۱
۷	۱۱۲۳	۶۱۷	۱۲۶	۴۴	۲۷/۶	۳/۵	۳۲۰	۱۴۰	۵۹	۲۶	۰/۳	۰/۵	۰/۰۱
۸	۱۱۹۰	۷۲۱	۱۵۶	۴۳	۳۶	۴	۳۴۲	۱۵۶	۷۳	۴۷	۰/۳۵	۰/۹۷	۰/۰۱
۹	۹۹۰	۵۷۲	۱۱۲	۳۸	۲۴	۵	۳۰۰	۱۳۲	۵۰	۲۵	۰/۱۸	۰/۳۲	۰/۰۱
۱۰	۹۲۲	۵۳۵	۹۹	۳۶	۲۴	۰/۴	۳۲۲	۱۴۰	۲۸	۱۳	۰/۲	۰/۱۱	۰/۰۴
۱۱	۹۸۴	۵۶۹	۱۲۹	۲۸	۲۰	۰/۸۵	۳۲۰	۱۵۲	۳۲	۱۳	۰/۴	۰/۳۱	۰/۰۵
۱۲	۵۶۷	۲۷۴	۷۳	۳۲	۲۳	۲	۲۷۷	۲۴	۱۵/۵	۶	۰/۱۷	۰/۵	۰/۰۳
۱۳	۵۵۰	۳۰۶	۷۲	۱۹	۷	۱/۵	۲۸۰	۱۷	۱۴	۹	۰/۲	۰/۴	۰/۰۴
۱۴	۵۷۵	۳۲۱	۸۳	۱۶	۶	۱/۵	۲۹۰	۲۴	۸	۹	۰/۲	۰/۳۳	۰/۰۱
۱۵	۵۸۰	۳۱۶	۸۰	۱۹	۵	۱/۵	۲۹۲	۱۹	۱۱	۶	۰/۱	۰/۱	۰/۰۲
۱۶	۵۸۵	۳۱۴	۸۴	۱۸	۴/۹	۱/۵	۲۷۸	۱۹	۱۵	۷/۹	۰/۳	۰/۲	۰/۰۱
۱۷	۶۱۰	۳۲۸	۸۲	۲۲	۵/۱	۱/۵	۲۹۰	۲۳	۱۲/۷	۹/۶	۰/۳	۰/۲۸	۰/۰۱
۱۸	۹۶۰	۵۸۱	۱۰۷	۴۶	۹	۵/۵	۲۸۸	۱۴۴	۶۳	۳۴	۰/۲	۰/۳	۰/۰۱
۱۹	۱۰۲۰	۵۸۹	۱۰۸	۴۱	۲۵	۵/۵	۲۴۰	۱۲۸	۱۱۵	۲۲	۰/۲	۰/۵	۰/۰۲
۲۰	۸۰۰	۴۸۰	۷۸	۱۵	۵۸	۱/۵	۳۳۵	۷۵	۲۷	۱۴	۰/۴	۰/۷	۰/۰۹
۲۱	۱۱۲۰	۶۴۲	۱۱۰	۴۸	۳۶	۴	۲۸۰	۱۲۸	۱۳۶	۲۴	۰/۱	۰/۶۷	۰/۰۳
۲۲	۱۳۲۰	۷۴۳	۹۶	۷۲	۵۵	۴	۲۷۰	۱۲۸	۲۰۴	۲۲	۰/۱	۰/۳۶	۰/۰۴
۲۳	۹۵۰	۵۶۵	۹۸	۳۷	۳۶	۳	۲۹۵	۱۳۲	۵۳	۲۸	۰/۲	۰/۷	۰/۰۵
۲۴	۱۲۰۰	۶۰۳	۱۰۴	۳۷	۴۱	۳	۳۰۰	۱۴۰	۷۱	۲۶	۰/۲	۰/۸	۰/۶
۲۵	۱۰۳۰	۶۱۴	۱۱۲	۳۴	۴۱	۳/۵	۳۰۵	۱۵۲	۶۱	۲۶	۰/۳	۰/۸	۰/۰۱
۲۶	۱۲۰۰	۵۵۰	۹۶	۳۳	۶۰	۳	۳۲۰	۱۵۰	۵۰	۱۸	۰/۲	۱	۰
۲۷	۱۰۶۳	۶۵۲	۱۲۸	۳۳	۳۶	۴	۲۹۹	۱۴۰	۸۱	۴۹	۰/۱۹	۰/۴	۰/۰۳
۲۸	۱۱۰۰	۶۶۶	۱۳۰	۳۷	۳۶	۴	۳۰۰	۱۴۸	۸۵	۴۶	۰/۱	۰/۳	۰/۰۱
۲۹	۱۰۳۰	۶۱۷	۱۲۶	۳۲	۳۶	۳/۵	۳۱۰	۱۴۰	۵۷	۳۷	۰/۲	۰/۲۵	۰/۰۱
۳۰	۹۹۰	۵۴۷	۱۰۷	۳۸	۳۰	۳/۵	۲۹۷	۱۴۴	۵۲	۲۳	۰/۲	۰/۶۹	۰/۰۱
۳۱	۹۱۰	۵۴۶	۹۸	۳۷	۳۳	۳/۵	۲۸۴	۱۳۲	۴۹	۲۳	۰/۳	۰/۷	۰/۰۱
۳۲	۷۵۳	۴۷۰	۶۴	۴۰	۳۶	۱	۲۷۸	۱۲۴	۳۸	۷	۰/۲	۰	۰/۰۹
۳۲	۸۸۳	۵۰۶	۸۳	۳۸	۲۷	۷	۲۲۰	۱۶۸	۳۶	۱۳	۰/۶	۰/۳۶	۰/۴
۳۴	۴۶۰	۲۸۰	۶۴	۱۴	۷	۳	۲۰۰	۲۹	۱۰	۸/۸	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۹
متوسط	۹۴۵/۸	۵۴۰/۳	۱۰۴/۶	۳۴/۵	۳۰/۱	۳/۴	۲۹۳/۸	۱۱۴/۸	۵۹/۴	۲۱/۹۶	۰/۲۳	۰/۵۱	۰/۰۶
بیشترین	۱۴۲۰	۸۳۲	۱۴۵	۷۲	۷۰	۹	۳۴۲	۱۷۲	۲۰۴	۴۹	۰/۳۵	۱	۰/۶
کمترین	۴۶۰	۲۷۴	۶۴	۱۴	۵	۰/۴	۲۰۰	۱۷	۸	۶	۰/۱	۰	۰

جدول شمارهٔ(۲): نتایج آنالیزشیمیاییچاه‌های آب شرب شهرگرگان- زمستان۱۳۸۲(یون‌های‌اصلی و TDS برحسب میلی‌گرم بر لیتر وECبرحسبUMOHS/CM

چاه	EC	TDS	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	SO_4	Cl	NO_3	PO_4	F	Fe
۱	۱۳۸۰	۸۰۱	۱۴۰	۷۴	۱۳	۰/۱	۲۹۷	۲۵۲	۱۱۵	۲۵	۰/۱۴	۰/۶۸	۰/۶۵
۲	۱۲۴۸	۶۸۵	۱۳۹	۴۱	۴۷	۴	۲۸۵	۱۷۶	۱۳۶	۱۷	۰/۱	۰/۵۲	۰/۰۲
۳	۸۶۵	۵۰۷	۱۰۰	۳۵	۱۵	۳	۲۴۵	۱۴۰	۵۳	۱۲/۷	۰/۱	۰/۷	۰/۰۱
A۴	۱۱۴۰	۶۸۸	۱۴۸	۳۷	۱۹	۲/۵	۲۶۰	۱۷۶	۱۱۴	۱۳	۰/۰۸	۰/۷	۰/۰۴
B۴	۱۲۷۰	۷۳۸	۱۳۷	۵۶	۲۶	۲	۳۰۵	۱۶۸	۱۲۰	۴۱	۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۰۲
۵	۱۲۷۴	۷۳۱	۱۳۶	۶۲	۱۹	۱/۵	۲۶۰	۱۶۸	۱۶۰	۲۸	۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۰۱
۶	۱۲۳۰	۷۲۲	۱۴۴	۴۸	۲۶	۲	۲۶۰	۱۶۸	۱۱۶	۳۴	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۰۳
۷	۱۱۲۰	۶۵۸	۱۵۲	۳۳	۱۷/۵	۱/۵	۳۰۳	۱۵۰	۹۷/۸	۲۸	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۰۱
۸	۱۲۹۴	۷۴۹	۱۲۸	۶۴	۲۸	۲	۲۹۶	۱۶۴	۱۱۳	۴۷	۰/۲۶	۰/۳۳	۰/۰۲
۹	۱۱۲۰	۶۵۲	۱۱۸	۵۳	۲۱	۱/۵	۳۳۹	۱۶۸	۹۶	۲۷	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۰۱
۱۰	۹۱۰	۴۷۸	۱۰۴	۴۱	۱۳	۰/۵	۲۷۷	۱۳۶	۵۶	۱۵	۰/۱	۰/۲۵	۰/۰۲
۱۱	۸۸۵	۵۱۸	۱۰۸	۳۵	۱۱	۱	۲۷۲	۱۴۴	۵۰	۱۳	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۰۱
۱۲	۵۸۰	۳۲۹	۸۰	۱۴/۵	۱۱	۲	۲۵۸	۲۸	۱۱/۵	۹	۰/۱۷	۰	۰/۰۱
۱۳	۶۶۶	۳۵۹	۷۳	۳۳	۵	۱	۲۴۷	۱۴	۸۱	۳/۵	۰/۱	۰	۰
۱۴	۶۴۰	۳۰۳	۸۶	۲۴	۱	۱	۲۶۳	۲۱	۵۲	۱۱	۰/۰۹	۰/۴۸	۰/۰۲
۱۵	۶۰۰	۳۳۸	۹۶	۱۴	۱	۱	۲۵۵	۱۶	۴۷	۹	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۳
۱۶	۷۱۰	۳۹۰	۹۲	۲۱	۶	۱	۲۵۸	۲۸	۷۵	۱۱	۰/۲	۰/۰۵	۰/۰۱
۱۷	۶۶۰	۳۶۱	۸۱	۳۰	۰/۵	۰/۵	۲۵۸	۱۹	۶۳	۱۱	۰/۲۲	۰/۳	۰/۰۳
۱۸	۹۹۳	۵۶۸	۱۰۷	۴۱	۲۷	۱/۵	۲۶۵	۹۰	۱۱۴	۲۸	۰/۲	۰/۳	۰/۰۳
۱۹	۱۲۴۰	۷۱۱	۱۲۰	۵۲	۴۷	۲	۲۷۷	۱۷۶	۱۵۰	۲۵	۰/۳	۰/۴۷	۰/۰۱
۲۰	۹۲۷	۵۲۲	۸۹	۳۴	۵۰	۱	۳۱۷	۶۴	۹۲	۷	۰/۳	۰/۷	۰
۲۱	۱۴۱۰	۸۱۰	۱۴۸	۶۴	۳۳	۰/۲۵	۲۵۸	۱۸۴	۱۹۹	۲۵	۰/۳	۰/۲	۰/۱۲
۲۲	۱۳۴۸	۷۶۸	۱۲۹	۶۰	۴۶	۲	۲۷۵	۱۴۴	۱۹۷	۲۴	۰/۲	۰/۱	۰/۰۴
۲۳	۱۱۱۵	۶۴۷	۱۱۲	۵۴	۲۵	۱/۵	۲۸۰	۱۴۴	۱۰۴	۳۶	۰/۱	۰/۲۳	۰/۰۲
۲۴	۱۰۸۳	۶۲۹	۱۱۳	۴۸	۲۵	۱/۵	۲۸۰	۱۴۴	۹۶	۳۲	۰/۲	۰/۵	۰/۰۳
۲۵	۱۰۹۸	۶۴۵	۱۲۱	۴۵	۲۷	۱/۵	۲۴۵	۱۶۰	۱۰۸	۳۳	۰/۱	۰/۴۸	۰
۲۶	۱۰۱۲	۸۵۸	۹۱	۴۸	۳۵	۱	۲۶۲	۱۴۰	۸۹	۲۲	۰/۱	۰/۷	۰/۰۴
۲۷	۱۲۷۰	۶۹۰	۱۴۵	۴۸	۳۱	۲/۵	۲۷۸	۱۲۸	۱۵۴	۶۹	۰/۲۳	۰/۷	۰/۰۴
۲۸	۱۱۸۳	۶۹۷	۱۱۸	۵۴	۳۱	۲/۵	۲۹۷	۱۴۰	۱۰۴	۶۹	۰/۵	۰/۶	۰/۰۷
۲۹	۱۰۵۰	۶۱۷	۱۱۲	۴۸	۲۱	۱/۵	۲۷۰	۱۴۴	۸۳	۴۵	۰/۳	۰/۱	۰/۰۳
۳۰	۹۸۶	۵۷۴	۱۱۸	۳۷	۱۸	۱/۵	۲۵۷	۱۳۶	۸۳	۲۵	۰/۳	۰/۰۸	۰/۰۴
۳۱	۹۰۰	۵۲۹	۹۶	۴۰	۲۱	۱/۵	۲۵۵	۱۳۶	۵۵	۲۶	۰/۲	۰/۲۶	۰/۰۲
۳۲	۸۵۷	۴۲۹	۸۸	۳۸	۲۳	۰/۵	۲۷۰	۱۲۰	۵۱	۱۴	۰/۲	۰	۰/۰۴
۳۲	۸۴۸	۴۲۰	۱۳۷	۸	۲۰	۱/۵	۱۵۰	۲۰۰	۴۴	۱۱	۰/۲	۰/۳۸	۰/۰۲
۳۴	۴۴۰	۲۷۴	۶۴	۹	۱۴	۱	۱۵۵	۳۹	۳۳	۴/۴	۰/۰۸	۰/۲	۰/۰۴
متوسط	۱۰۱۰	۵۷۴/۶	۱۱۳/۴	۴۱	۲۲/۱	۱/۵	۲۶۵/۱	۱۲۷	۹۴/۶	۱۶/۶	۰/۱۹	۰/۳۴	۰/۰۵۷
بیشترین	۱۳۸۰	۸۰۱	۱۵۲	۷۴	۴۷	۴	۳۳۹	۲۵۲	۱۹۹	۶۹	۰/۲۶	۰/۷	۰/۶۵
کمترین	۴۴۰	۲۷۴	۶۴	۸	۱	۰/۱	۲۲۷	۱۴	۱۱/۵	۴/۴	۰/۰۸	۰	۰

جدول شمارهٔ(۳): ماتریس همبستگی بین متغیرهای شیمیایی منابع آبی شهر گرگان(بهار۱۳۸۲)

	EC	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	SO_4	Cl	NO_3	PO_4
EC	۱									
Ca	۰/۷۸	۱								
Mg	۰/۷۸	۰/۴۳	۱							
Na	۰/۷۵	۰/۳۸	۰/۵۴	۱						
K	۰/۴۳	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۲۵	۱					
HCO_3	۰/۴۷	۰/۵۸	۰/۱۸	۰/۳۶	-۰/۱۷	۱				
SO_4	۰/۸۶	۰/۷۱	۰/۶۶	۰/۶۲	۰/۴۸	۰/۳۳	۱			
Cl	/۸۰	۰/۵۲	۰/۸۰	۰/۶۵	۰/۴۲	۰/۰۸	۰/۵۶	۱		
NO_3	۰/۶۸	۰/۷۹	۰/۴۸	۰/۳۳	۰/۳۹	۰/۴۴	۰/۶۲	۰/۴۵	۱	
PO_4	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۵	-۰/۰۳	-۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۱۸	-۰/۲۵	۰۰	۱

x و y میزان مربوط به هر یک از متغیرها، $\bar{x}$ و $\bar{y}$ میانگین ریاضی همبستگی مستقیمی را نسبت به هم نشان می دهند. در بهار بیشترین

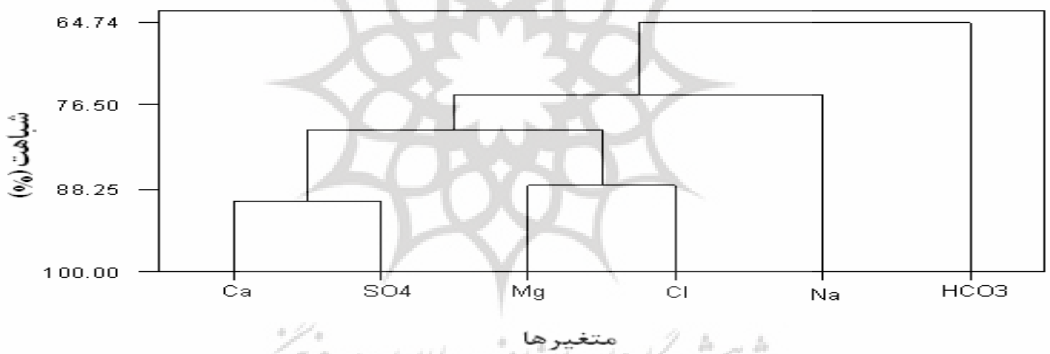
جدول شمارهٔ(۴): ماتریس همبستگی بین متغیرهای شیمیایی منابع آبی شهر گرگان(زمستان۱۳۸۲)

	EC	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	SO_4	Cl	NO_3	PO_4
EC	۱									
Ca	۰/۸۵	۱								
Mg	۰/۸۸	۰/۵۶	۱							
Na	۰/۶۵	۰/۴۰	۰/۴۸	۱						
K	۰/۳۰	۰/۳۶	۰/۰۶	۰/۴۲	۱					
HCO_3	۰/۴۶	۰/۲۵	۰/۵۷	۰/۲۱	۰/۰۸	۱				
SO_4	۰/۸۶	۰/۶۹	۰/۷۶	۰/۶۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۱			
Cl	۰/۸۱	۰/۸۰	۰/۶۴	۰/۴۷	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۵۰	۱		
NO_3	۰/۶۴	۰/۵۲	۰/۶۱	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۳۸	۰/۴۸	۰/۴۲	۱	
PO_4	۰/۳۲	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۳۳	۰/۰۴	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۵۲	۱

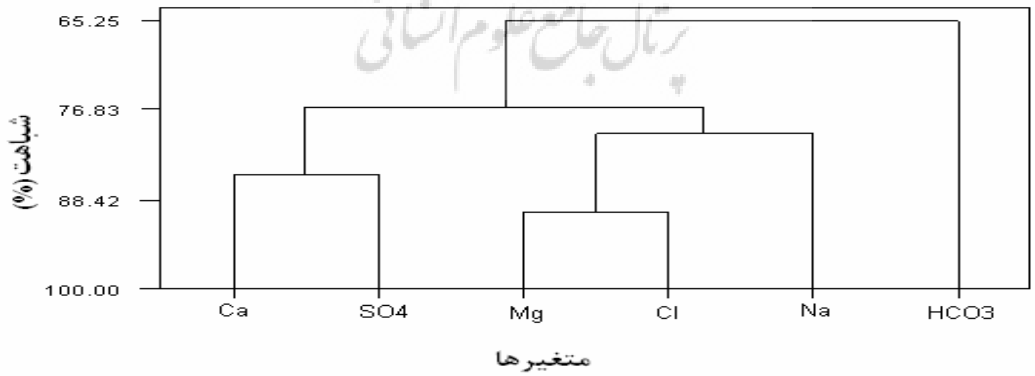
این متغیرها، n تعداد داده‌ها، و s_1 و s_2 انحراف از معیار هر یک از متغیرهاست. براساس ماتریس همبستگی داده‌های هیدروژئوشیمی آبخوان گرگان برای دو دورهٔ مختلف، در بهار یون‌های عمدهٔ آب‌زیرزمینی بجز فسفات، پتاسیم، و بیکربنات، همبستگی به نسبت بالایی با هدایت الکتریکی دارند .در دوره دوم نیز فسفات، بیکربنات و پتاسیم همبستگی ضعیفی را با هدایت الکتریکی نشان می دهند(جداول شمارهٔ۳و۴). فسفات آب‌زیرزمینی نسبت به سدیم، کلر و پتاسیم در دورهٔ اول همبستگی معکوس و در دورهٔ دوم تمام یون‌ها همبستگی فسفات با سولفات و در زمستان با نیترات است که در زمستان به بالاترین میزان می‌رسد. در نمونه‌برداری بهار، کلر با یون منیزیم بیشترین همبستگی را نشان می‌دهد، در حالی‌که در زمستان بالاترین همبستگی بین کلسیم و سولفات وجود دارد. لازم به ذکر است که سدیم آب‌زیرزمینی در هر دو فصل بیشترین همبستگی را با یون کلرید نشان داده است که میزان این همبستگی.بیش از ۶۴٪ است

۲ –تحلیل خوشه ایبه منظور بررسی تیپ غالب آب زیرزمینی از نمودار خوشه‌ای استفاده شده است. تحلیل خوشه‌ای براساس میزان شباهت بین متغیرهای اصلی ترکیب کل سیستم آب‌زیرزمینی را به

تعداد محدودی خوشه امکان پذیر می‌کند. هر خوشه نشان دهندهٔ حالت هیدروژئوشیمی مشابه و مشخص از آب زیرزمینی است(r-). تجزیه و تحلیل بر اساس روش Subbarao et al., 1996 و Minitab و با استفاده از نرم‌افزار mode cluster analysis نیز نتایج حاصل ازتجزیه و تحلیل یون‌های اصلی نمونه‌های آب چاه-های آب شرب شهر گرگان صورت گرفته است.برای پردازش این داده‌ها در مرحلهٔ اول نیاز به انتخاب معیاری مناسب برای محاسبهٔ شباهت بین متغیرهاست. بنا به پیشنهاد محققان و نظریهٔ روش تحلیل خوشه‌ای از ضریب همبستگی پیرسون(رابطهٔ۱) در محاسبات شباهت). پس از انتخاب این Guler,2002بین متغیرها استفاده می‌شود(معیار،برای تهیهٔ نمودار خوشه‌ای معرف ساختار درونی متغیرها نیاز به انتخاب روشی مناسب برای اتصال خوشه‌هاست. با توجه به معیار شباهت انتخاب شده و نتایج تجربی حاصل از روش‌های مختلف اتصال خوشه‌ای،روش اتصال متوسط بین خوشه‌ای[۲] به عنوان مناسب‌ترین روش در تهیهٔ نمودار خوشه‌ای انتخاب شده است. خوشه‌های مختلف در هر نمودار خوشه‌ای نشان دهندهٔ یک حالت هیدروژئوشیمی مشابه و مشخص از آب‌زیرزمینی است.نمودارهای خوشه ای رسم شده برای شهر گرگان در فصل بهار نشان می‌دهد که بیشترین شباهت بین یون‌های کلر و منیزیم آب زیرزمینی(بیش از ۸۸٪) و سپس بین یون‌های سولفات وکلسیم (بیش از ۸۰٪) است ،در حالی‌که بیشترین همبستگی در فصل زمستان بین یون‌های سولفات و کلسیم (بیش از ۸۸٪) و سپس کلر و منیزیم(بیش از ۸۰٪) وجود دارد(شکل های شمارهٔ۲ و۳).نکته قابل توجه در مورد نمودارهای خوشه‌ای تهیه شده براساس داده‌های مشاهده‌ای مبین تیپ غالب کلرید منیزیک برای فصل بهار و سولفات کلسیک برای فصل زمستان است که ماتریس همبستگی نیز نشان دهندهٔ مطلب فوق است



شکل شمارهٔ(۲) : نمودار درختی حاصل از تحلیل خوشه‌ای متغیرهای شیمیایی آب زیرزمینی(بهار۱۳۸۲



شکل شمارهٔ(۳): نمودار درختی حاصل از تحلیل خوشه‌ای متغیرهای شیمیایی آب زیرزمینی(زمستان۱۳۸۲)

۳- تحلیل عاملی

در مطالعات هیدروژئوشیمی، نتایج تجزیه و تحلیل های شیمیایی آب و داده‌های اندازه‌گیری شدهٔ صحرایی که تحت فرایندهای بیولوژیکی و فیزیک وشیمیایی موجود در آبخوان تغییر می‌کنند به عنوان متغیرهای مشاهده‌ای در نظر گرفته شده‌اند. اولین گام در این روش تهیهٔ ماتریس همبستگی از تمام متغیرهای مورد مطالعه است (جدول‌های شمارهٔ۱

و۲) ماتریس همبستگی بین داده‌ها را برای منطقه موردمطالعه با استفاده از ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون نشان می‌دهد. بر اساس استاندارد روش تحلیل‌های عامل، سه عامل مشخص می‌شود(جدول‌های شمارهٔ۵ و۶). عامل‌ها در واقع سازوکارهای مؤثر بر روی ترکیب آب‌زیرزمینی را نشان می‌دهند. تفسیر و تعیین منشاء هر یک از این عامل ها بر اساس بارهای عاملی، شرایط هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناختی و فرایندهای هیدروشیمیایی صورت می‌گیرد. همبستگی هر متغیر با هر عامل، بار عاملی[۳] نامیده می‌شود(Adami et al., 1997). مدل عاملی استفاده شده برای سه عامل و یازده متغیر مورد بررسی قرارگرفته است. به منظور بررسی دقیق‌تر رابطهٔ بین متغیرهای شیمیایی‌و عامل‌های تشکیل دهندهٔ آب زیرزمینی از نمودار همبستگی بین آنها استفاده شده است. براساس نمودار همبستگی بین عامل های ۱ و۲ و متغیرهای شیمیایی بجز بیکربنات و فسفات(آبهای سطحی بیکربناته و حاوی کودهای کشاورزی فسفاته) تمامی متغیرهای شیمیایی رابطه منفی با عامل ۲ دارند و فقط یونی‌که رابطهٔ منفی با عامل۱ (فرایندهای ژئوشیمیایی آبخوان) از خود نشان می دهد یون آهن است (شکل شمارهٔ۴).

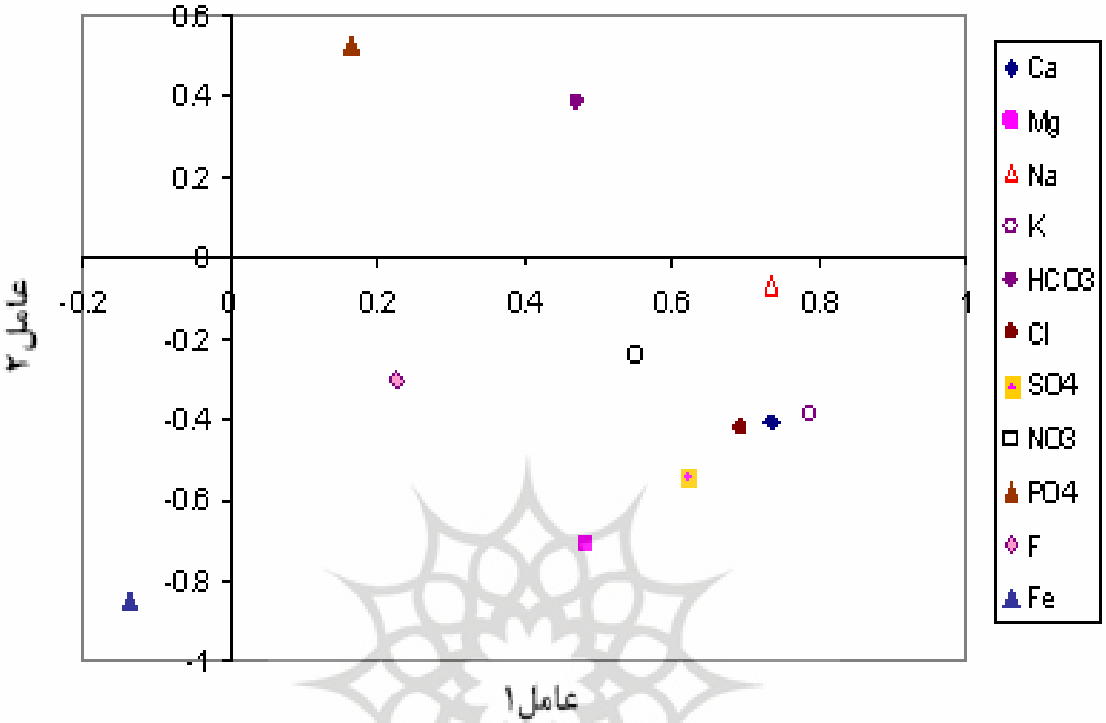
این رابطهٔ منفی را در نمودار بین عامل های ۱ و ۳ و متغیرهای به نظر می رسد که آهن کمتر تحت .شیمیایی نیز می‌توان مشاهده کرد تأثیر فعالیت‌های ژئوشیمیایی آبخوان قرار گرفته است،اما یون مذکور رابطهٔ همبستگی مثبتی با عامل ۲ دارد و یون‌های فسفات و پتاسیم رابطهٔ همبستگی منفی را با عامل ۳ از خود نشان می‌دهند(شکل شمارهٔ۵). براساس رابطهٔ همبستگی بین عامل های ۲ و ۳، همان‌طورکه در گذشته ذکر شد بیکربنات و فسفات با عامل ۲ همبستگی مثبت و فسفات و پتاسیم با عامل ۳ همبستگی منفی دارد(شکل شمارهٔ۵).

جدول شمارهٔ(۵): الگوی عاملی به دست آمده برای آبهای‌زیرزمینی شهر گرگان(بهار۱۳۸۲)

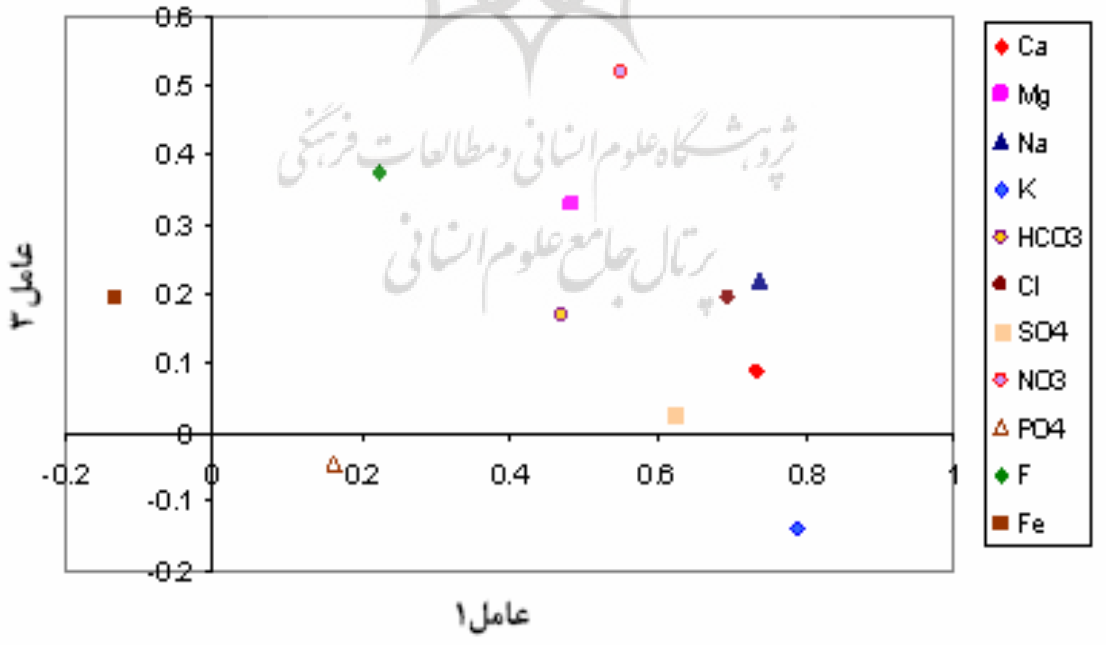
متغیرها	عامل۱	عامل۲	عامل۳	میزان اشتراک
Ca	۰/۹۵	-۰/۳۱	-۰/۰۸	۱
Mg	۰/۲۳۳	-۰/۷۰۵	۰/۳۰۳	۰/۶۴۳
Na	۰/۳۵۱	-۰/۲۷۱	۰/۸۹۶	۱
K	۰/۲۵۲	-۰/۳۷	۰/۰۷	۰/۲۰۶
HCO_3	۰/۶۸۱	۰/۱۹۲	۰/۱۹۷	۰/۵۳۹
Cl	۰/۲۶۷	-۰/۸۹۸	۰/۳۴۹	۱
SO_4	۰/۶۶۶	-۰/۲۸۷	۰/۳۵	۰/۶۴۸
NO_3	۰/۶۳۲	-۰/۲۹۲	۰/۵۱۱	۰/۶۲۱
PO_4	۰/۱۷	۰/۳۲۵	-/۰۰۵	۰/۱۳۵
F	۰/۴۹۶	-۰/۰۵۱	۰/۴۵۱	۰/۴۵۲
Fe	-۰/۰۸۵	-۰/۰۵۴	۰/۱۸۵	۰/۰۸۸

جدول شمارهٔ(۶): الگوی عاملی به دست آمده برای آبهای‌زیرزمینی شهر گرگان(زمستان۱۳۸۲)

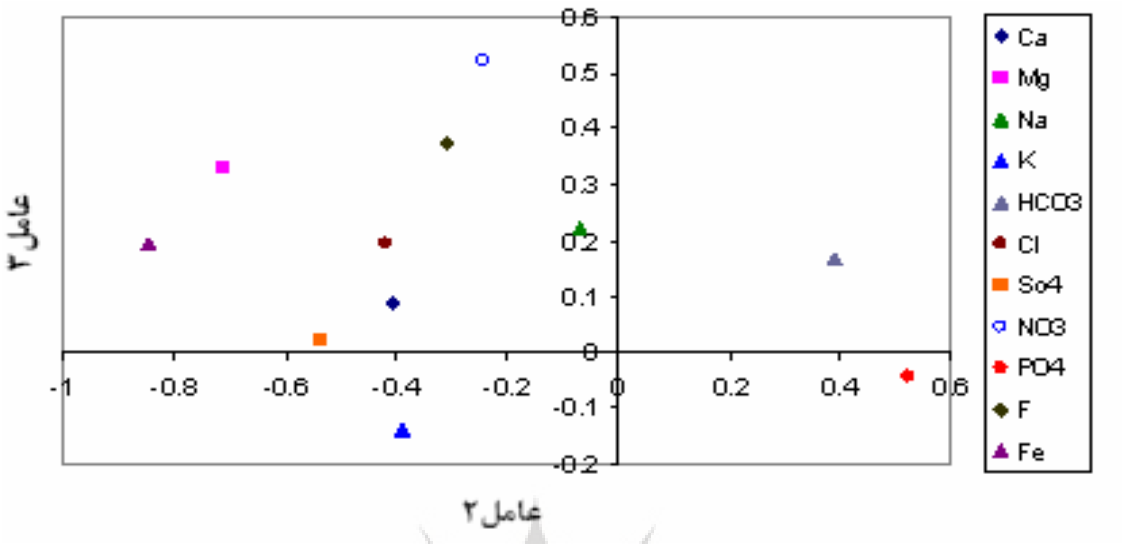
متغیرها	عامل۱	عامل۲	عامل۳	میزان اشتراک
Ca	۰/۷۳۴	-۰/۴۰۶	۰/۰۹	۰/۷۱۳
Mg	۰/۴۸۴	-۰/۷۱	۰/۳۲۹	۰/۸۴۶
Na	۰/۷۳۷	-۰/۰۶۹	۰/۲۲	۰/۵۹۶
K	۰/۷۸۷	-۰/۳۸۷	-۰/۱۳۹	۰/۷۸۲
HCO_3	۰/۴۷۱	۰/۳۸۹	۰/۱۶۸	۰/۴۰۱
Cl	۰/۶۹۴	-۰/۴۲	۰/۱۹۳	۰/۶۹۶
SO_4	۰/۶۲۲	-۰/۵۳۵	۰/۰۲۴	۰/۶۷۳
NO_3	۰/۵۵۱	-۰/۲۴۱	۰/۵۲۲	۰/۶۳۴
PO_4	۰/۱۶۴	۰/۵۲۳	-۰/۰۴۵	۰/۷۰۶
F	۰/۲۲۵	-۰/۳۰۶	۰/۳۷۴	۰/۷۴۴
Fe	-۰/۱۳۴	-۰/۸۴۷	۰/۱۹۳	۰/۷۷۳



شکل شمارهٔ(۴) : میزان توزیع مشخصه های شیمیایی آب‌زیرزمینی بین عامل‌های ۱ و ۲ (زمستان۱۳۸۳)



شکل شمارهٔ(۵)۰: میزان توزیع مشخصه های شیمیایی آب‌زیرزمینی بین عامل‌های ۱ و ۳ (زمستان۱۳۸۲)



شکل شمارهٔ(۶) : میزان توزیع مشخصه های شیمیایی آب‌زیرزمینی بین عامل‌های ۲ و۳ (زمستان۱۳۸۲)

نتیجه‌گیری

براساس ماتریس همبستگی،در بهار و زمستان یون‌های عمدهٔ آب‌زیرزمینی ،بجز فسفات، پتاسیم و بیکربنات همبستگی به نسبت بالایی با هدایت الکتریکی دارند ولی در دورهٔ دوم علاوه بر فسفات، بیکربنات و پتاسم نیز همبستگی ضعیفی را با هدایت الکتریکی نشان می دهند. فسفات آب‌زیرزمینی نسبت به سدیم، کلر و پتاسیم در دوره اول همبستگی معکوس و در دوره دوم تمام یون‌ها همبستگی مستقیمی را نسبت به هم نشان می‌دهند. در بهار، کلر با یون منیزیم بیشترین همبستگی را نشان می‌دهد ،در حالی‌که،در زمستان بالاترین همبستگی بین کلسیم و سولفات وجود دارد.

بر اساس مدل عاملی استفاده شده برای سه عامل و یازده متغیر، عامل۱ را می‌توان به فرایندهای شیمیایی از قبیل هوازدگی شیمیایی، انحلال و تبادل یونی نسبت داد. زیرا اغلب کاتیون‌ها و آنیون‌ها دارای بار عاملی بالا هستند. عامل ۲ را می‌توان به تغذیه از طریق رودخانه و آب‌های سطحی نسبت داد که باعث افزایش غلظت بی‌کربناته و فسفات آب زیرزمینی می‌شود. در عامل سه،نیترات بالاترین بار عاملی را نشان می‌دهد.

از آنجایی‌که غلظت نیترات در آب‌زیرزمینی بیشتر متأثر از نفوذ فاضلاب های شهری و آب‌شویی کودهای کشاورزی است، از طرفی غلظت سدیم و کلر از افزایش چشمگیری برخوردار است، می‌توان عامل ۳ را به فعالیت‌های انسانی(نشت پساب‌های شهری و چاههای جذبی خانگی و...) مرتبط دانست ،در واقع این عامل منشاء آلودگی آب زیرزمینی منطقه است .

براساس نمودار همبستگی بین عامل های ۱ و۲ و متغیرهای شیمیایی بجز بیکربنات و فسفات(آبهای سطحی بیکربناته و حاوی کودهای کشاورزی فسفاته) تمامی متغیرهای شیمیایی رابطهٔ منفی با عامل ۲ دارند، همچنین براساس رابطهٔ همبستگی بین عامل های ۲ و ۳ ، بیکربنات و فسفات با عامل ۲ همبستگی مثبت و فسفات و پتاسیم با عامل ۳ (نشت پساب های شهری و چاههای جذبی خانگی و...) همبستگی منفی دارند.

یادداشت‌ها

1-Factor Analysis
2-Average linkage
3- Factor loading

سپاسگزاری

از جناب آقای مهندس علی صفارزاده و همچنین از جناب آقای غلامرضا گیلکی که در هرچه پربار شدن این مقاله اینجانب را یاری کردند کمال تشکر را دارم.

منابع مورد استفاده

Adami,G.,et al.1997. Principal factor analysis as applied in environmental chemistry. The study of eutrophication in a shallow lake, Toxicol Environ. Chem. 61(1-4):99-108.

Jeong, C.H. .2001. Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea, J. of Hydrology, 253: 194-210.

Minitab, Inc.1996. Minitab for windows, www. Minitab.com

Subbarao,C., subbarao, N. V. and Chandu, S. N.1996. Characterization of groundwater contamination using factor analysis, Environ.Geol.28(4), 175-180.

Usunoff, E.J. and Guzman-Guzman, A. .1989.Multivariateanalysisinydrochemistry: an example of the use of factor and correspondence analyses, Ground Water, 27(1): 27-34.

Evans ,C.D., et al. .1996. Use of factor analysis to investigate processes controlling the chemical composition of four streams in the Adirondack Mountains, New York, J. Hydrol., 185: 297-316.

Gonzalez Vazquez, J. C., et al.2005. Nitrate accumulation and other components of the groundwater in relation to cropping system in and aquifer in southwestern Spain, J. of Water Resources Management, 19: 1-22.

Güler, C., et.al.2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data, Hydrogeology

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی