

بررسی عوامل موثر در هیدروژئوشیمی منابع آبی شهر مرند با هدف حساسیت‌سنجی و ارزیابی کیفی آب زیرزمینی

فاضل خالقی^۱، حمید شهین‌فر^۲

۱- دانشجوی دکتری زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران

چکیده

آب‌های زیرزمینی تنها منبع اصلی آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی در شهرستان مرند می‌باشد و اهمیت حیاتی آن موجب می‌شود تضمین کیفیت آن بطور جدی مورد توجه قرار گیرد. در این مطالعه، به منظور ارزیابی کیفیت شیمیایی و برای بررسی عوامل و فرایندهای موثر در هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی از داده‌های مربوط به دو دوره نمونه‌برداری (بهار و تابستان، ۱۳۸۴) استفاده شده است. با انجام تحلیل آماری چندمتغیره (روش عاملی)، سه عامل موثر در ترکیب آب زیرزمینی استخراج گردید. طبق نمودار خوشه‌ای بین یون‌های بی‌کربنات و منیزیم در آب زیرزمینی بیشترین تشابه وجود دارد. با توجه به نمودار پایپر و نتایج ماتریس همبستگی، تپ غالب آب زیرزمینی، بی‌کربناته با غلبه یون‌های قلیایی حاکی تعیین شده است. بررسی نقشه‌های هم‌قابلیت الکتریکی، هم‌جامدات محلول و نقشه هیدروشیمی دایره‌ای به ترتیب نشان دهنده افزایش مقدار EC، TDS و کلراید در بخش شمال شرقی منطقه می‌باشد. تحلیل مکانی تغییرات پارامترهای آب زیرزمینی حاکی از آن است که کیفیت و ویژگی ژئوشیمیایی نمونه‌ها عمدتاً با توپوگرافی، زمین‌شناسی و هیدروگرافی دشت مرند همخوانی دارد. نمونه‌های متعلق به بخش‌های جنوبی منطقه (نزدیک به محل تغذیه آبخوان) از کیفیت بسیار مناسبی برخوردارند ولی در بخش شمال شرقی به دلیل افزایش غلظت املاح و وجود رسوبات ریزدانه‌تر، کیفیت آب زیرزمینی متفاوت می‌باشد. به طور کلی عواملی همچون جهت جریان، بالا بودن سطح آب زیرزمینی و فعالیت‌های انسانی سبب آسیب‌پذیر شدن این بخش در مقابل منابع آلاینده غیرطبیعی (نفوذ پساب‌های شهری و غیره) شده است.

واژه‌های کلیدی: هیدروژئوشیمی، کیفیت آب زیرزمینی، تحلیل آماری چندمتغیره، مرند

مقدمه

آب شده است. بهره‌برداری بیش از حد همراه با کاهش میزان بارندگی و افت سطح آب‌های زیرزمینی، چالش‌های جدی هستند که در مناطق شهری با تراکم جمعیتی بالا، کیفیت آب‌های

رشد سریع جمعیت شهری، توسعه فعالیت‌های کشاورزی و گسترش صنایع مختلف به ویژه در مناطق نیمه خشک موجب افزایش روزافزون مصرف

زیرزمینی را تهدید می‌کنند. منطقه مورد مطالعه در ۷۰ کیلومتری شمال غرب تبریز بین طول ۴۲° تا ۴۵° و عرض ۴۵° شرقی و ۳۸° تا ۳۷° شمالی واقع شده و بخشی از حوزه آبریز دریای خزر می‌باشد. اقلیم منطقه نیمه خشک بوده و بیشترین بارش متوسط در ماه‌های فروردین - اردیبهشت صورت می‌گیرد. متوسط تبخیر در مرداد ماه بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است [۳]. دشت مرند آبخوان اصلی منطقه بوده و عمدتاً شامل رسوبات آبرفتی جوان، مخروط افکنه و پادگان‌های قدیمی است [۱] که در بخش جنوبی به ارتفاعات میشوداغ منتهی می‌شود. آبخوان از نوع آبرفتی و به طور عمده شامل گراول و ماسه (دانه درشت و دانه ریز) می‌باشد. جهت جریان کلی آب زیرزمینی از جنوب دشت مرند به شمال - شمال شرق است [۸ و ۷] و تخلیه آن به رودخانه زلیبرچای صورت می‌گیرد (شکل ۱ - الف). آب زیرزمینی حاصل از آبخوان تنها منبع اولیه آب شیرین برای مصارف شرب و بهداشت، کشاورزی و صنعت می‌باشد. چاه‌های آب شرب بطور عمده در بخش مرکزی و جنوبی شهر مرند قرار دارند و عمق آنها اغلب ۸۰ تا ۲۰۰ متر است (شکل ۱ - ب). متوسط بارندگی سالانه دشت مرند در دهه‌های گذشته به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و به حدود ۲۳۶ میلی‌متر رسیده است. سطح ایستابی دشت در فاصله سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۷۹ حدود ۱۱/۷ متر افت داشته که تأثیر آن بر کیفیت آب‌های زیرزمینی به صورت افزایش قابلیت هدایت الکتریکی آبخوان بوده است [۱۱]. این مطالعه با هدف ارزیابی کیفیت شیمیایی منابع آب شرب شهر مرند، تشخیص عوامل

موثر بر کیفیت آب زیرزمینی و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر احتمالی به اجرا در آمده است.

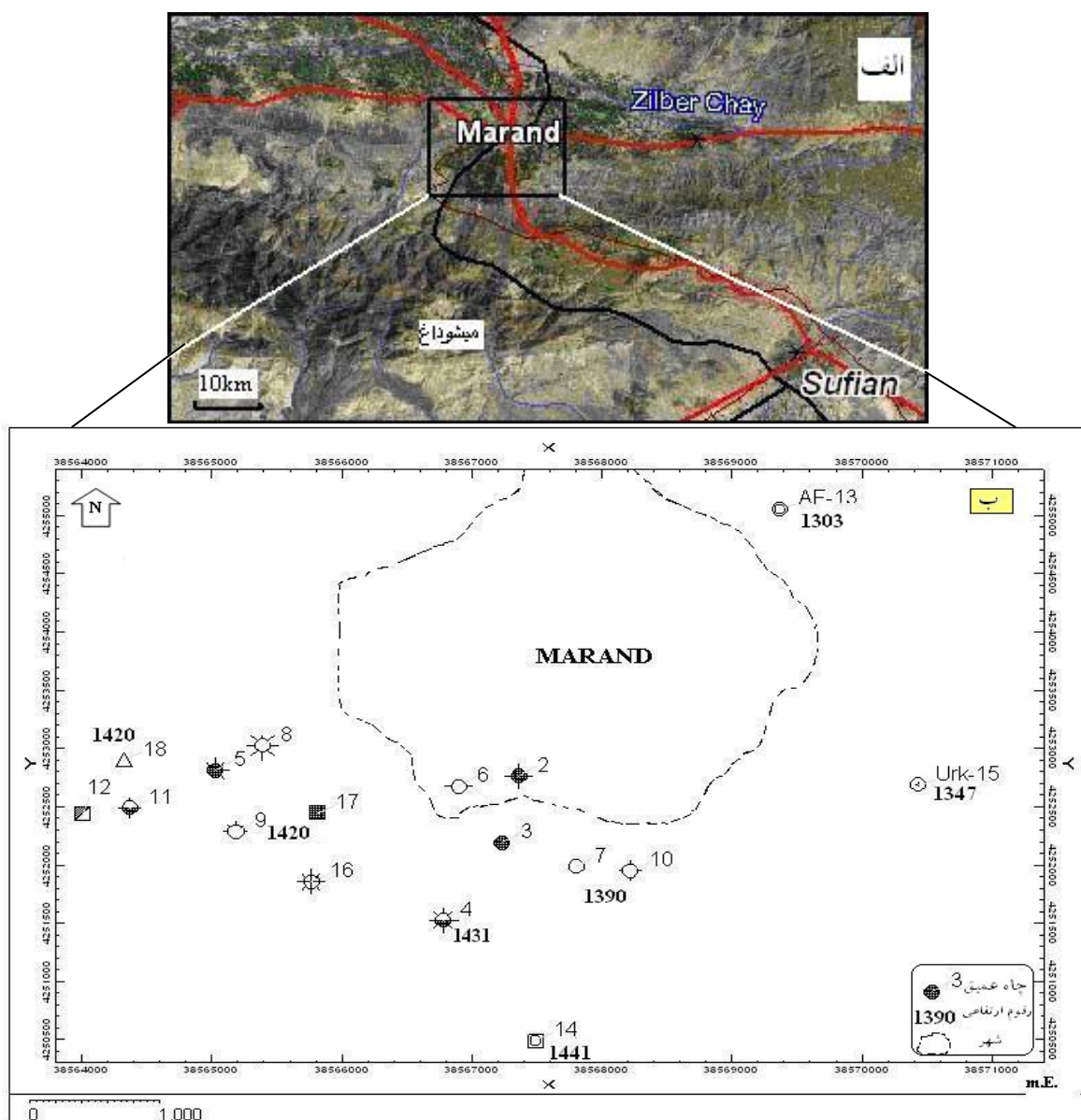
روش تحقیق

به منظور ارزیابی کیفیت آب و تشخیص فرایندهای هیدروژئوشیمیایی، از نمونه‌های آب زیرزمینی ۱۷ حلقه چاه بهره‌برداری آب شرب شهر مرند در ماه‌های اردیبهشت و مرداد سال ۱۳۸۴ استفاده شده است. تجزیه شیمیایی نمونه‌ها شامل اندازه‌گیری pH، هدایت الکتریکی (EC)، سختی کل (TH) و تعیین غلظت کاتیون‌ها (Ca^{+2} ، Mg^{+2} ، Na^{+} ، K^{+} ، Fe^{+2})، آنیون‌ها (HCO_3^{-} ، Cl^{-} ، SO_4^{-2} ، NO_3^{-} ، PO_4^{-3} ، F^{-}) و کل مواد جامد محلول (TDS) بوده است. کاتیون‌های سدیم و پتاسیم به روش نورسنج شعله‌ای، نیترات با اسپکتروفتومتر UV و سایر کاتیون‌ها و آنیون‌ها بوسیله حجم سنجی تعیین شده‌اند.

در این مطالعه تحلیل آماری داده‌ها به دو صورت تک متغیره و چند متغیره انجام گردید. پردازش آماری داده‌ها با روش‌های پیشنهادی [۴، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۵ و ۱۶] در محیط نرم‌افزار SPSS12.0 انجام گرفت. برای بررسی روابط بین متغیرها از روش ماتریس همبستگی که اساس آن محاسبه ضریب همبستگی پیرسون است، استفاده شد. در تحلیل آماری چند متغیره داده‌ها از ماتریس همبستگی کمک گرفته شد. بوسیله تحلیل عاملی (فاکتوری) که هدف آن ساده کردن مجموعه‌های پیچیده بین متغیرهای مشاهده‌ای است، عوامل و فرایندهای موثر در ترکیب آب زیرزمینی استخراج شده است. همچنین با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای، میزان تشابه متغیرهای اصلی نمونه‌های آب زیرزمینی مورد بررسی قرار

وارد نرم‌افزار RockWork99 گردید. نقشه‌های رسم شده با این نرم‌افزار در ارزیابی و پیش‌بینی مناطق آسیب‌پذیر بکار رفته است. به منظور پایش کیفیت آب شرب شهر، نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها در سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۸۵ (فاصله زمانی ۱۵ ساله) مقایسه شد.

گرفت. برای محاسبه شباهت‌ها، معیار اتصال متوسط (Average Linkage between groups) بین خوشه‌ای انتخاب گردید. رخساره هیدروشیمی آب بوسیله نمودارهای پایپر تعیین شده و برای تحلیل‌های مکانی و حساسیت‌سنجی آب‌های زیرزمینی، موقعیت UTM چاه‌های نمونه‌برداری به همراه سایر داده‌ها



شکل ۱ - الف - تصویر ماهواره‌ای دشت مرند و موقعیت منطقه مورد مطالعه. ب - نقشه چاه‌های تأمین آب شرب شهر مرند

بحث

الف - تحلیل آماری تک متغیره

در جدول (۱) توصیف آماری داده‌های مربوط به نمونه های آب زیرزمینی به صورت مقادیر میانگین، میانه، کمترین، بیشترین، انحراف معیار در دو فصل نمونه‌برداری آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که اغلب پارامترها در فصل خشک (مرداد) اختلاف معنی‌داری با فصل مرطوب (اردیبهشت) دارد؛ یعنی

با مقادیر بیشتر و دامنه تغییرات وسیع‌تر مشخص هستند. با استفاده از انجام آزمون آماری T (روش مشاهدات زوجی) بر روی نتایج تجزیه شیمیایی در دو فصل نمونه‌برداری مشخص گردید که به طور عمده پارامترهای HCO_3 و Mg باعث معنی‌دار بودن این اختلاف شده است (جدول ۲). با استفاده از جدول توزیع t استیودنت معلوم می‌شود که قدر مطلق t (ملاک آزمون) از t جدول استیودنت بزرگتر است [۲، ۴، ۵ و ۱۳].

جدول ۱- توصیف آماری نتایج تجزیه شیمیایی هفده حلقه چاه عمیق آب شرب شهر مرند، نمونه‌ها در دو فصل مرطوب (بهار) و خشک (تابستان) سال ۱۳۸۴ برداشت شده اند.

تابستان ۸۴					بهار ۸۴					پارامترها
انحراف معیار	میانه	میانگین	بیشترین	کمترین	انحراف معیار	میانه	میانگین	بیشترین	کمترین	
۰/۲۲۶	۷/۵۵	۷/۶	۸/۰۴	۷/۲۸	۰/۱۵۹	۷/۶۳	۷/۶۳	۷/۹	۷/۳۵	pH
۹۱/۱	۷۷۹	۷۸۲/۵	۱۰۴۱	۶۷۸	۷۵/۳۲	۸۶۰	۸۶۹/۴	۱۰۳۲	۷۵۰	EC
۶۰/۲	۵۱۴	۵۱۹/۲	۶۸۷	۴۴۸	۴۹/۵	۵۶۸	۵۷۳/۶	۶۸۱	۴۹۵	TDS
۴۲/۶	۳۱۰	۳۰۶/۳	۴۱۰	۲۴۵	۴۵/۸۲	۳۷۰	۳۶۷/۵	۴۴۰	۲۹۰	TH
۱۰/۷۴	۸۶	۸۲/۷	۱۱۰	۴۸	۱۱/۳۹	۸۵	۸۶/۸۲	۱۱۸	۳۰	Ca ²⁺
۶/۵	۲۲/۸	۲۳/۹	۳۷/۲	۱۳/۲	۹/۸	۳۵/۴	۳۴/۶	۴۶/۸	۱۶/۸	Mg ²⁺
۸/۶۸	۴۸	۴۹/۴	۶۸	۳۸	۸/۶	۴۵	۴۴/۳۱	۵۸	۲۷	Na ⁺
۰/۵۵	۲/۷۸	۲/۸	۴/۳	۱/۹۵	۰/۷۷	۲/۴۵	۲/۶۵	۴	۱/۵	K ⁺
۳۹/۱	۳۱۴/۱	۳۱۴/۹	۳۹۰/۳	۲۵۰/۷	۵۴/۳۲	۳۶۶	۳۷۸/۷۵	۴۸۸	۲۹۹	HCO ₃ ⁻
۳۲/۱۵	۶۰/۵	۶۴	۱۸۴/۶	۴۰	۲۳/۹۴	۵۳/۱	۶۰/۳۱	۱۳۶	۴۴	Cl ⁻
۱۱/۶۱	۵۴/۱	۵۳/۱	۷۶	۳۲/۴	۱۵/۷۴	۵۹/۵	۶۰/۹۵	۹۵	۴۰	SO ₄ ²⁻
۴/۰۱	۱۲/۶۴	۱۲/۱۸	۱۸/۳۵	۶/۰۸	۲/۲	۱۲/۵	۱۲/۷۶	۱۶/۲	۹/۱۶	NO ₃ ⁻
۰/۰۱۲	۰/۰۲۸	۰/۰۲۷	۰/۰۵۱	۰/۰۱۱	۰/۰۳۴	۰/۰۶۵	۰/۰۸	۰/۱۵۹	۰/۰۳۱	PO ₄ ³⁻
۰/۰۴۷	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۳۷	۰/۱۹	۰/۰۷۶	۰/۲	۰/۲۲	۰/۳۴	۰/۱۲	F ⁻
۰/۰۳۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۱۵	۰	۰/۰۳۷	۰/۰۸۵	۰/۰۹	۰/۱۵۸	۰/۰۱	Fe ²⁺
۰/۰۰۸	۰/۰۱۶	۰/۰۱۷	۰/۰۳۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸۴	۰/۰۱۶	۰/۰۲	۰/۰۳۵	۰/۰۰۵	NO ₂ ⁻
۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۳۹	۰/۰۳	۰/۱۴۵	۰/۰۸۷	۰/۱۶	۰/۳۹	۰/۰۳	NH ₃

— همه مقادیر بر حسب mg/l، بجز pH و EC. واحد EC بر حسب میلی موهنس بر سانتی متر است.

جدول ۲- آزمون آماری T برای نمونه های زوجی

شماره	نمونه های زوجی	t	Sig. (2-tailed)
زوج ۱	Cl - Cl summer	-۰/۷۸۵	۰/۴۴۴
زوج ۲	SO ₄ - SO ₄ summer	۱/۲۷۴	۰/۲۲۲
زوج ۳	HCO ₃ -HCO ₃ summer	۳/۰۰۴	۰/۰۰۹
زوج ۴	Mg -Mg summer	۳/۹۶۸	۰/۰۰۱
زوج ۵	Ca - Ca summer	۱/۰۹۲	۰/۲۹۱
زوج ۶	NO ₃ - NO ₃ summer	۰/۴۲۵	۰/۶۷۷
زوج ۷	K - K summer	-۰/۷۹۴	۰/۴۳۹
زوج ۸	Na - Na summer	-۰/۴۷۱	۰/۶۴۴

- اختلاف زوجها در سطح اعتماد ۹۹٪ اندازه گیری شده و t ملاک آزمون در این روش می باشد.
- تفاوت معنی دار بین نمونه ها در ستون Sig. (2- tailed) وجود دارد.

ب - تحلیل آماری چند متغیره

نشان می‌دهد. البته در ترکیب آب زیرزمینی بخش شمال شرقی منطقه و با دور شدن از منبع تغذیه، تمایل به آنیون کلراید بیشتر می‌شود. بیشترین همبستگی بعدی بین یون‌های کلسیم و کلر (۰/۷۰٪) جلوه‌گر شده است. فسفات آب زیرزمینی در هر دو دوره صرفاً با پتاسیم همبستگی نشان می‌دهد. همچنین در فصل تابستان و بهار همبستگی مثبت یون‌های Ca، Mg و Cl با قابلیت هدایت الکتریکی (EC) مشخص‌تر از بقیه یون‌ها می‌باشد.

بر اساس ماتریس همبستگی بین متغیرهای شیمیایی (جدول ۳ و ۴)، در بهار بیشترین همبستگی بین یون‌های بی‌کربنات و منیزیم (بیش از ۰/۸۰٪) دیده می‌شود که در فصل تابستان نیز به نسبت، این همبستگی مثبت وجود دارد.

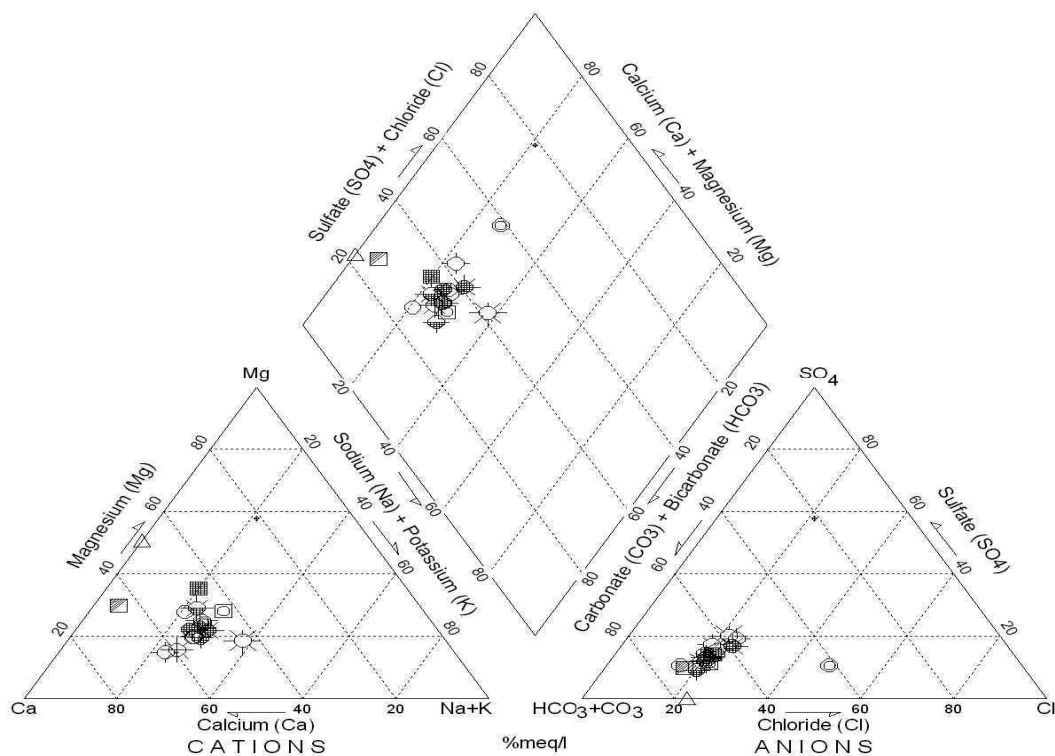
با توجه به نمودار پایپر (شکل ۲) رخساره هیدروشیمی نمونه‌های آب زیرزمینی، عمدتاً به صورت Ca-Mg-HCO₃ می‌باشد. نمودار استیف نیز غالب‌ترین آنیون و کاتیون را به ترتیب بی‌کربنات و کلسیم- منیزیم

جدول ۳- ماتریس همبستگی بین متغیرهای شیمیایی در نمونه‌های آب زیرزمینی منابع تأمین آب شرب مرند (بهار ۸۴)

	EC	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻³
EC	۱									
Ca ⁺²	۰/۵۲	۱								
Mg ⁺²	۰/۶۳	۰/۱۴	۱							
Na ⁺	۰/۰۳	-۰/۰۲	-۰/۴۳	۱						
K ⁺	-۰/۱۲	-۰/۳۴	-۰/۰۶	۰/۰۹	۱					
HCO ₃ ⁻	۰/۵۵	۰/۰۴	۰/۸۱	-۰/۴۵	-۰/۲۹	۱				
Cl ⁻	۰/۴۶	۰/۷	-۰/۰۵	۰/۲	-۰/۰۳	-۰/۳	۱			
SO ₄ ⁻²	۰/۱۹	۰/۱	-۰/۰۹	۰/۵۸	-۰/۱۷	-۰/۲۵	۰/۰۴	۱		
NO ₃ ⁻	۰/۳۴	۰/۵۵	۰/۱۱	-۰/۰۵	-۰/۴۸	-۰/۰۱	۰/۳	۰/۴۶	۱	
PO ₄ ⁻³	-۰/۱۲	-۰/۲۷	-۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۴۲	۰/۰۱	-۰/۴	-۰/۰۱	-۰/۱۵	۱

جدول ۴- ماتریس همبستگی بین متغیرهای شیمیایی در نمونه های آب زیرزمینی منابع تأمین آب شرب مرند (تابستان ۸۴)

	EC	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻³
EC	۱									
Ca ⁺²	۰/۶۱	۱								
Mg ⁺²	۰/۶	۰/۲۲	۱							
Na ⁺	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۵	۱						
K ⁺	۰/۵	-۰/۰۶	۰/۲۱	-۰/۱	۱					
HCO ₃ ⁻	۰/۲۷	۰/۰۲	۰/۵۲	-۰/۵۴	۰/۲۷	۱				
Cl ⁻	۰/۷۱	۰/۵۲	۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۲	-۰/۳۱	۱			
SO ₄ ⁻²	-۰/۱۵	-۰/۰۷	-۰/۱۷	۰/۴۲	-۰/۱۸	-۰/۴۸	۰/۱۷	۱		
NO ₃ ⁻	۰/۲۸	۰/۴۱	-۰/۰۸	-۰/۲۵	-۰/۰۱	-۰/۱۷	۰/۴	-۰/۱۸	۱	
PO ₄ ⁻³	۰/۲۶	-۰/۰۴	۰/۱۶	-۰/۰۶	۰/۵۱	۰/۳	-۰/۱۴	-۰/۱۷	-۰/۱۳	۱



شکل ۲- نمودار پایپر نمونه های آب زیرزمینی نشانگر رخساره غالب

ترکیب یکی از نمونه ها به سمت کلراید متمایل است

ب-۱- روش تحلیل عاملی (فاکتوری)

نمونه‌ها کافی است. طبق جدول (۵) در نمونه‌برداری بهار، عامل اول به تنهایی می‌تواند بیش از ۷۶ درصد تغییرات عناصر در نمونه‌ها (واریانس) را توجیه نماید، ضمن اینکه فقط متغیرهای بی‌کربنات و منیزیم بیشترین همبستگی را با این عامل نشان می‌دهند. در

با استفاده از این روش، سه الگوی عاملی استخراج شده است که مهمترین ساز و کارهای موثر در نمونه‌ها را منعکس می‌کند (جدول ۵ و ۶). درصدهای پراش به این معنی است که سه عامل مذکور برای توجیه حدود ۹۶ درصد تغییرپذیری عناصر در

دومین الگوی عاملی استخراج شده، کلسیم و کلر دارای بیشترین بار عاملی (Factor loading)، (یعنی همبستگی هر متغیر با یک عامل) هستند. عامل دوم پاسخگوی حدود ۱۴/۵ درصد تغییرات بین داده‌ها می‌باشد. مشخص است که این الگوها با نتایج بررسی ماتریس همبستگی همخوانی دارد. همبستگی بالای دو متغیر مذکور با عامل دوم در نمونه‌برداری تابستان (جدول ۶) نیز واضح است. همبستگی مثبت سولفات، سدیم و نترات با عامل سوم مربوط به حساسیت آب زیرزمینی به فرایندهای طبیعی و یا منابع آلاینده احتمالی است که البته تنها ۶ درصد واریانس بین متغیرها را شامل می‌شود. متغیرهای سولفات و سدیم در نمونه‌برداری تابستان هم با عامل سوم همبستگی مثبت دارند. در این فصل، همبستگی بالای متغیرهای سدیم و کلر با عامل اول (جدول ۶) به تغییر شرایط موثر در ترکیب آب زیرزمینی مثل میزان بارندگی، دما، شدت تبخیر و غلظت املاح نسبت داده می‌شود. به نظر می‌رسد این تغییرات مانع آشکار شدن رخساره اصلی آب زیرزمینی در نمونه‌برداری تابستان شده است.

با توجه به استاندارد بکارگیری روش تحلیل عاملی [۱۴ و ۱۶]، تفسیر و تعیین منشأ هر یک از عامل‌های استخراج شده بر اساس تأثیر فرایندهای طبیعی (شامل شرایط هیدروژنوشیمی، هیدروژنولوژی و زمین‌شناسی) و یا عوامل غیرطبیعی صورت می‌گیرد. بنابراین به منظور بررسی دقیق‌تر روابط بین متغیرها و عوامل موثر در ترکیب آب زیرزمینی از نمودار همبستگی بین مولفه‌های استخراج شده استفاده گردید. بر اساس نمودار همبستگی بین عامل‌های ۱ و ۳ (شکل ۳) و عامل‌های ۱ و ۲ (شکل ۴) تمام

متغیرهای شیمیایی به غیر از بی‌کربنات، منیزیم و فسفات رابطه منفی با عامل ۱ دارند. بدین ترتیب این عامل را می‌توان به تیپ غالب آب زیرزمینی (و نفوذ آب‌های سطحی حاوی فسفات) نسبت داد. پتاسیم با هر سه عامل رابطه منفی دارد و احتمالاً کمتر تحت تأثیر فرایندها بوده است. بر اساس نمودار عامل ۲ و ۳، کلسیم و کلر دارای همبستگی مثبت قوی و فسفات و پتاسیم دارای رابطه منفی با عامل ۲ هستند (شکل ۵).

ب-۲- روش تحلیل خوشه‌ای

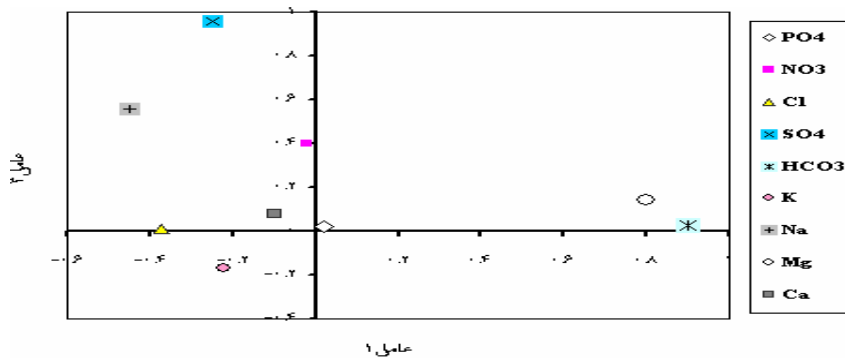
در این روش و با انتخاب معیار اتصال (Linkage)، متغیرها به ترتیب به صورت خوشه‌هایی با بیشترین شباهت به هم متصل می‌شوند. در مرحله اول دو متغیری که بیشترین شباهت را دارند به هم وصل می‌شود و در هر تکرار شبیه‌ترین زوج خوشه‌ها به هم وصل می‌گردد [۲ و ۱۵]. بنا بر پیشنهاد محققان، از ضریب همبستگی پیرسون به عنوان ملاک تشابه رفتاری متغیرها استفاده شده است. نتایج به صورت نمودار سلسله مراتبی (دندوگرام) نمایش داده می‌شود که برای نمونه‌های آب شرب شهر مرند رسم شده است. نمودار خوشه‌ای فصل بهار (شکل ۶) نشان می‌دهد که بی‌کربنات و منیزیم حداکثر تشابه را دارند و در نهایت با فسفات در یک خوشه قرار می‌گیرند. بیشترین تشابه بعدی بین یون‌های کلسیم و کلر و سپس بین سدیم و سولفات دیده می‌شود که به صورت خوشه مجزا در آمده است. در نمونه‌برداری تابستان نیز مشخصه‌های بدست آمده با نتایج روش ماتریس همبستگی و تحلیل عاملی همخوانی دارد.

جدول ۵- نتایج حاصل از تحلیل عاملی در نمونه های آب زیرزمینی شهر مرند (بهار ۸۴)

متغیرها	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳
PO_4^{-3}	۰/۰۲	-۰/۰۴	۰/۰۲
NO_3^-	-۰/۰۴	۰/۳۶	۰/۰۴
Cl^-	-۰/۳۷	۰/۰۹	۰/۰۱
SO_4^{-2}	-۰/۲۵	-۰/۰۶	۰/۰۹
HCO_3^-	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۲
K^+	-۰/۲۲	-۰/۱۷	-۰/۱۶
Na^+	-۰/۴۵	۰/۰۱	۰/۵۶
Mg^{+2}	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۱۴
Ca^{+2}	-۰/۰۱	۰/۷۸	۰/۰۸
درصد پراش (واریانس)	۷۶/۴	۱۴/۴	۶/۳

جدول ۶- نتایج حاصل از تحلیل عاملی در نمونه های آب زیرزمینی شهر مرند (تابستان ۸۴)

متغیرها	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳
PO_4^{-3}	-۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۱۶
NO_3^-	۰/۲۱	۰/۰۳	-۰/۶۱
Cl^-	۰/۵۶	۰/۸۳	-۰/۰۳
SO_4^{-2}	۰/۴۵	-۰/۱۲	۰/۶۰
HCO_3^-	-۰/۹۵	۰/۳۰	۰/۰۵
K^+	-۰/۱۷	۰/۳۵	۰/۰۲
Na^+	۰/۶۳	۰/۱۱	۰/۶۰
Mg^{+2}	-۰/۰۳	۰/۶۷	۰/۳۰
Ca^{+2}	۰/۰۱	۰/۵۷	-۰/۴۸
درصد پراش (واریانس)	۶۲	۲۷/۷	۴/۲



شکل ۴- نحوه توزیع مشخصه های شیمیایی آب زیرزمینی بین عامل های ۱ و ۲ (بهار ۸۴)

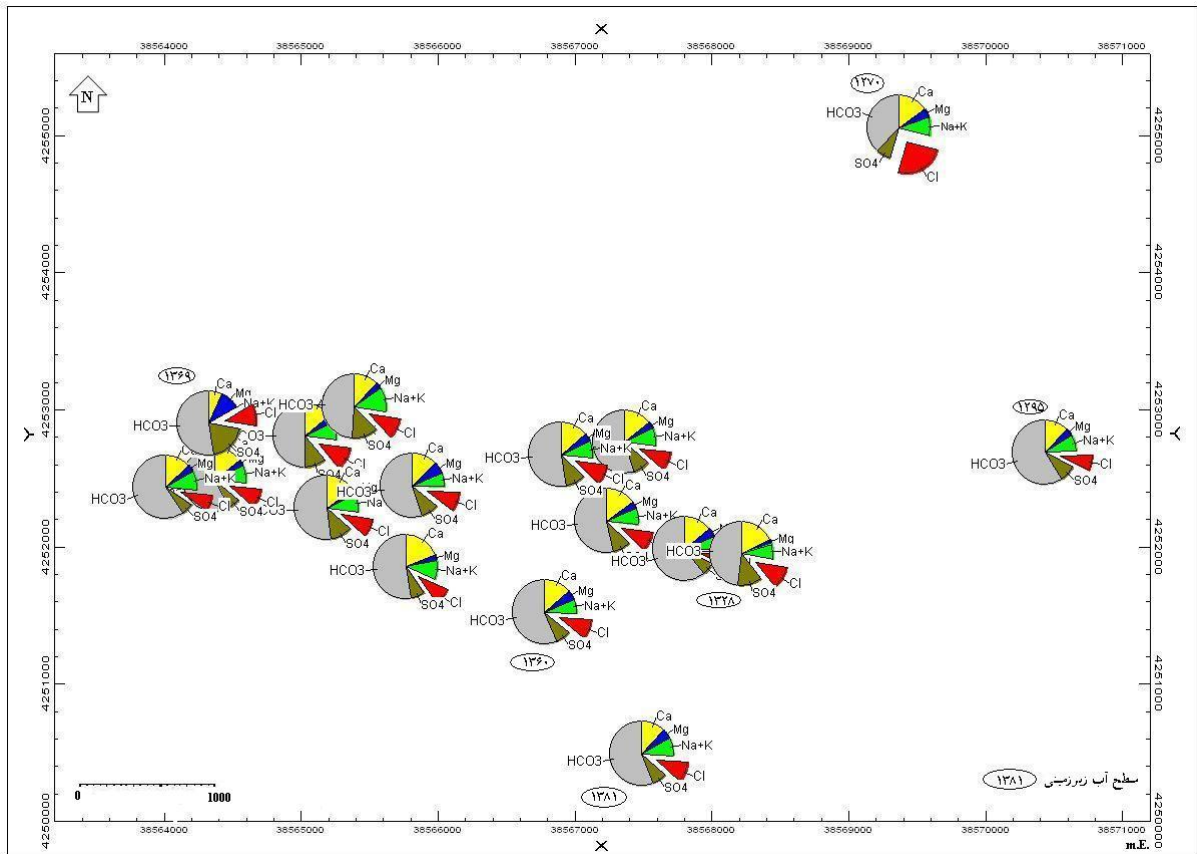
د- حساسیت سنجی آب زیرزمینی

به منظور حساسیت سنجی کیفیت آب زیرزمینی و نظر به اهمیت پایش کیفی منابع آب شرب، هشت حلقه از چاه‌های بهره‌برداری فعال از سال ۱۳۷۰ (دوره خشک) سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۸۵ (فاصله زمانی ۱۵ ساله) از نظر میانگین هدایت الکتریکی سالانه و کل جامدات محلول مقایسه گردید. نتایج نشان داد که مقدار EC از ۷۵۲ به ۸۰۶/۶ میلی موهس بر سانتیمتر و مقدار TDS از ۵۰۲ به ۵۳۵/۱ میلی گرم بر لیتر افزایش یافته است (جدول ۷ و ۸). همچنین میانگین مجموع غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در ترکیب آب زیرزمینی به ترتیب از ۷/۶۵ به ۸/۷۹ میلی اکی والان بر لیتر و از ۸/۱ به ۸/۹ میلی اکی والان بر لیتر افزایش نشان می‌دهد.

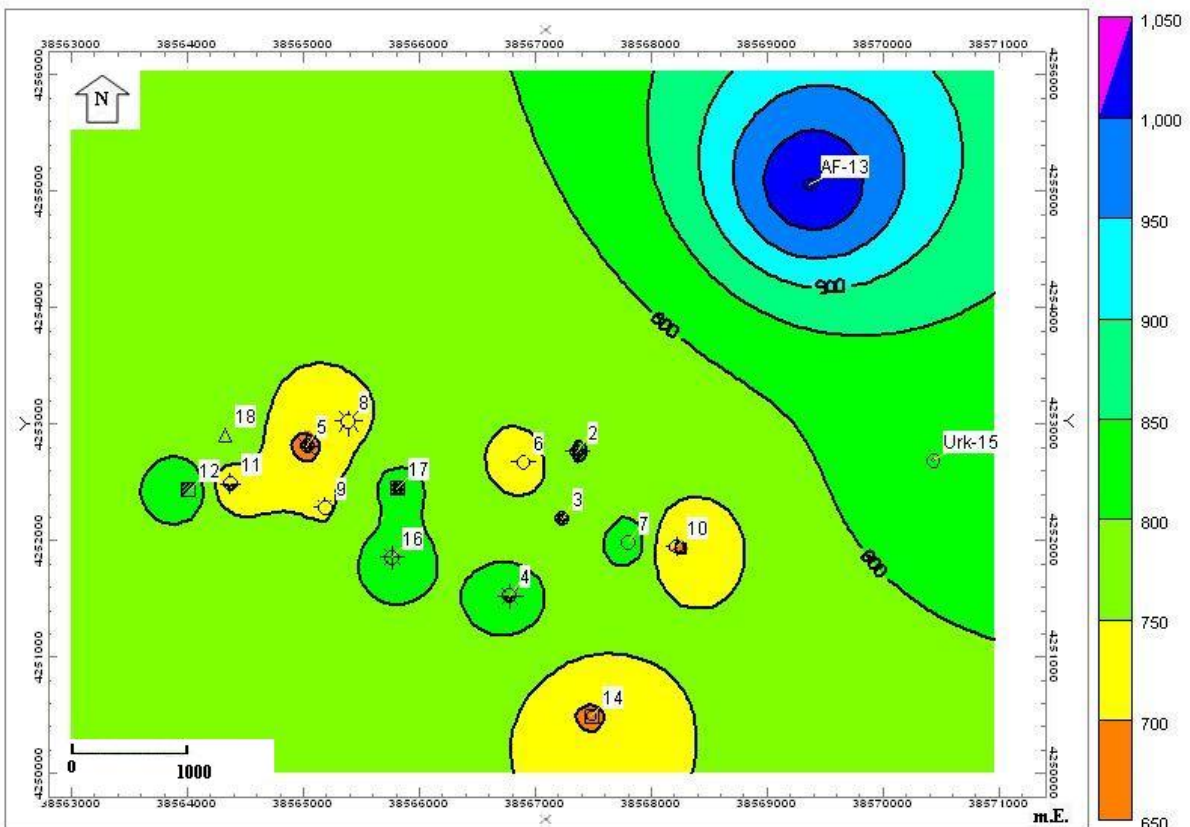
زیرزمینی از کیفیت بسیار مطلوبی برخوردار است. با تغییر شیب توپوگرافی، کاهش عمق سطح آب زیرزمینی و افزایش رسوبات دانه‌ریز به طرف شمال دشت [۸ و ۷]، غلظت املاح آب زیرزمینی و میزان قابلیت هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد؛ در نتیجه کیفیت آن با سایر بخش‌ها متفاوت می‌باشد. بدین ترتیب با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی (شمال- شمال شرق)، اهمیت ویژگی‌های طبیعی و شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان در تغییر کیفیت آب زیرزمینی این بخش از منطقه مشخص می‌گردد. البته افزایش یون کلراید در آب زیرزمینی به طور طبیعی می‌تواند ناشی از وجود واحدهای تبخیری هم باشد ولی در مطالعات ژئوالکتریک شواهدی از حضور چنین رسوباتی وجود ندارد [۷].

جدول ۷- نتایج تجزیه شیمیایی هشت نمونه آب زیرزمینی از منابع آب شرب مرند (سال ۱۳۷۰) [۷]

شماره جاه	EC	TDS (mg/l)	pH	آنیونها (میلی اکی والان بر لیتر)					کاتیونها (میلی اکی والان بر لیتر)				
				CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Total	Ca	Mg	Na	K	Total
۲	۷۵۶	۵۰۴	۷/۴	۰	۵/۴۱	۱/۳۵	۱/۱۹	۷/۹۴	۳/۶۹	۲/۹۶	۱/۷۸	۰/۰۷	۸/۵۱
۳	۷۰۹	۴۸۳	۷/۳	۰	۴/۹۷	۱/۲۴	۱/۰۸	۷/۲۹	۳/۴۴	۲/۶۳	۱/۴۴	۰/۰۶	۷/۵۷
۴	۸۰۱	۵۳۳	۷	۰	۵/۵۴	۱/۴۷	۱/۲۹	۸/۲۹	۴/۰۹	۲/۵۵	۱/۹۱	۰/۰۶	۸/۶۲
۵	۷۲۶	۴۸۵	۷/۵	۰	۵/۰۵	۱/۲۷	۱/۱۵	۷/۴۶	۲/۹۴	۳/۲	۱/۸۳	۰/۰۸	۸/۰۵
۶	۷۶۲	۵۰۷	۷/۵	۰	۵/۲۴	۱/۳	۱/۱۹	۷/۷۲	۳/۰۹	۳/۲۹	۱/۶۱	۰/۰۷	۸/۰۶
۷	۷۸۹	۵۲۵	۷/۴	۰	۵/۴۳	۱/۴۱	۱/۲۳	۸/۰۶	۳/۸۴	۲/۷۱	۱/۸۳	۰/۰۶	۸/۴۴
۸	۶۹۰	۴۵۹	۷/۴	۰	۴/۷۵	۱/۲۱	۱/۱۵	۷/۱۱	۲/۸۴	۲/۸۸	۱/۶۱	۰/۰۸	۷/۴۱
۹	۷۸۰	۵۱۸	۷/۵	۰	۴/۹۵	۱/۱۱	۱/۳۱	۷/۳۷	۲/۹۴	۳/۲۰	۲/۱۳	۰/۰۷	۸/۳۵
میانگین	۷۵۲	۵۰۲						۷/۶۵					۸/۱



شکل ۷- نقشه هیدروشیمی (نمودار دایره ای) نمونه ها نشانگر افزایش غلظت کلراید در ترکیب آب زیرزمینی شمال شرق منطقه



شکل ۸- نقشه هم قابلیت الکتریکی آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه (منحنی ها بر حسب میلی موهس بر سانتی متر)

جدول ۸- نتایج تجزیه شیمیایی هشت نمونه آب زیرزمینی از منابع آب شرب مرند (سال ۱۳۸۵)

شماره جاه	EC	TDS (mg/l)	pH	آنیونها (میلی اکی والان برلیتر)					کاتیونها (میلی اکی والان برلیتر)				
				CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Total	Ca	Mg	Na	K	Total
۲	۸۴۶	۵۳۵	۷/۹	۰	۵/۸	۱/۷۲	۱/۲۳	۸/۷۵	۴/۴۴	۲/۹۶	۲/۴۴	۰/۰۸	۹/۹۱
۳	۷۷۸	۵۱۲	۷/۲۸	۰	۵/۴۴	۱/۷۵	۱/۱۲	۸/۳۱	۴/۲۴	۲/۳۹	۱/۸۳	۰/۰۷	۸/۵۲
۴	۸۳۲	۵۵۶	۷/۶	۰	۶/۲	۱/۸۳	۱/۰۷	۹/۰۹	۴/۱۹	۲/۳۷	۱/۹۱	۰/۰۵	۸/۵۲
۵	۶۸۰	۴۵۷	۸/۱۳	۰	۴/۶۹	۱/۷۸	۱/۲۳	۷/۶۹	۳/۵۴	۲/۵۷	۱/۹۶	۰/۰۹	۸/۱۵
۶	۷۴۴	۴۸۶	۷/۹۹	۰	۵/۸۳	۱/۸۹	۱/۳۸	۹/۱۰	۴/۲۴	۱/۹۷	۲/۱۳	۰/۰۸	۸/۴۲
۷	۸۸۵	۶۱۷	۷/۹۶	۰	۶/۵۹	۱/۵	۱/۰۱	۹/۰۹	۴/۴۹	۳/۲۹	۱/۶۷	۰/۰۷	۹/۵۲
۸	۸۲۱	۵۲۶	۸/۲	۰	۶	۱/۷۵	۱/۵۶	۹/۳۰	۳/۸۹	۲/۴۷	۲/۹۱	۰/۰۹	۹/۳۷
۹	۸۶۷	۵۹۲	۷/۹۵	۰	۶	۱/۶۹	۱/۲۹	۸/۹۸	۴/۳۹	۲/۳۲	۲	۰/۰۵	۸/۷۶
میانگین	۸۰۶/۶	۵۳۵/۱						۸/۷۹					۸/۹

نتیجه گیری

را نشان می‌دهند. این عامل می‌تواند با فرایندهای موثر در تغییر شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان و یا با حساسیت آب زیرزمینی به منابع آلاینده غیر طبیعی مرتبط باشد.

بر اساس نقشه‌های هم‌قابلیت الکتریکی، هم‌جامدات محلول و هم‌کلر مشخص گردید که به تبعیت از ویژگی‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و هیدروگرافی در دشت مرند، کیفیت آبهای زیرزمینی در جنوب منطقه مورد مطالعه (نزدیک به محل تغذیه آبخوان) مناسب است؛ به طرف انتهای دشت (محل تخلیه) غلظت املاح افزایش یافته و از کیفیت آب زیرزمینی کاسته می‌شود.

عواملی شامل جهت جریان و بالا بودن سطح آب زیرزمینی، گسترش فعالیت‌های کشاورزی و تراکم حاشیه‌نشینی سبب می‌شود که بخش شمال شرقی منطقه در مقابل عوامل غیرطبیعی (نفوذ پساب‌های شهری، چاه‌های جذبی و غیره) آسیب‌پذیر گردد. به ویژه آنکه مقادیر سدیم، سولفات و نترات نیز در مقایسه با سایر بخش‌های منطقه افزایش نسبی نشان

بر اساس ماتریس همبستگی، بین یون‌های بی‌کربنات و منیزیم، هم‌چنین کلسیم و کلر، در آب زیرزمینی همبستگی مثبت قوی وجود دارد. با توجه به روش مشاهدات زوجی (آزمون T) نیز معلوم شد یون‌های HCO₃ و Mg دلیل عمده اختلاف معنی‌دار بین پارامترها در دو فصل نمونه‌برداری بوده است. با استفاده از روش تحلیل عاملی، سه عامل موثر در بین متغیرهای فصل بهار استخراج شده که عامل ۱ دارای بالاترین بار عاملی بی‌کربنات و منیزیم می‌باشد و بخش عمده تغییرپذیری متغیرها را توجیه می‌کند. این عامل تیپ غالب آب زیرزمینی منطقه را نشان می‌دهد. همچنانکه در نمودارهای پایپر و استیف نیز رخساره هیدروشیمی نمونه‌های بی‌کربنات با غلبه یون‌های قلیایی خاکی بوده است. عامل ۲ را می‌توان به تغییرات یون‌های موجود در آب زیرزمینی بخش شمال شرق منطقه نسبت داد که باعث افزایش غلظت کلراید و کلسیم شده است. این تغییر در نمودار پایپر و نقشه نمودار دایره‌ای نیز منعکس شده است. در عامل ۳، یون‌های سولفات و سدیم بیشترین بار عاملی

۸- وزارت نیرو، (۱۳۵۳): نقشه‌های ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان دشت مرند، مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، طرح مطالعات آبهای مرزی ایران و ترکیه.

9- Ceron, J.C., Jimenez-Espinosa, R. and Pulido-Bosch, A. (2000); Numerical analysis of hydrogeochemical data: a case study (Alto Guadalentin, southeast Spain), Applied Geochemistry, 15, 1053-1067.

10- Davis, J.C. (1986); Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley, New York, 233p.

11- Lashkaripour, G.R., Asghari-Mogaddam, A. and Allaf-Najib, M. (2005); The effects of water table decline on the groundwater quality in Marand plain, Northwest Iran. Iranian Int. J. Sci., 6, 1, 47-60.

12- Sanchez-Martos, F., Jimenez-Espinosa, R. and Pulido-Bosch, A. (2001); Mapping groundwater quality variables using PCA and geostatistics: a case study of Bajo Andarax, southeastern Spain, Hydrological Sciences, 46, 2, 227-242.

13- SPSS INC., (1997); Spss for Windows/Brief Guide, Prentice Hall Public, 80.P.

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

می‌دهد. هر چند به خاطر تفاوت زمانی فعالیت چاه‌های بهره‌برداری، پایش کیفی همه منابع آبی شهر میسر نشد ولی مقایسه میانگین هدایت الکتریکی و مجموع غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در فاصله زمانی ۱۵ ساله نشانگر افزایش EC و تمرکز نسبی املاح در ترکیب آب زیرزمینی منطقه می‌باشد.

منابع

۱- اسدیان، علیرضا، راستگار میرزایی، ع محجل، م، و حاج علیلو، ب. (۱۳۷۳): نقشه زمین‌شناسی مرند، مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.

۲- حسینی پاک، علی، شرف‌الدین، م. (۱۳۸۰): تجزیه و تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۹۸۷.

۳- زینالی، علی، (۱۳۸۲): گزارش توجیهی مبنی بر اعلام ممنوعیت دشت مرند، امور مطالعات منابع آب سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، ص ۲۳.

۴- شمعانیان، غ، رقیمی، م، یخکشی، ا. (۱۳۸۵): هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی در دشت گرگان؛ راهکاری برای حساسیت‌سنجی آلودگی آب‌های زیرزمینی، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد سیزدهم، شماره چهارم، ص ۱ تا ۱۰.

۵- معنوی، م. و همکاران (۱۳۸۴): پیشینه و پیش‌بینی روند تغییرات کیفیت آبخوان شهر اصفهان در محیط GIS، مجله آب و محیط زیست، شماره ۶۲، ص ۲۷ تا ۳۴.

۶- مقیمی، همایون، (۱۳۸۵): هیدروژئوشیمی، انتشارات دانشگاه پیام نور، ص ۲۱۳.

۷- مهندسین مشاور آبران، (۱۳۷۲): گزارش مطالعات طرح آبرسانی شهر مرند، سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی، ص ۴۵۰.

15- Swan, A.R.H., Sndilands, M. and Mccabes, P.(1995); Introduction to Geological Data Analysis. Blackwill Science, 446p.

16- Usunoff, E.J. and Guzman-Guzman, A., (1986): Multivariate analysis in hydrochemistry; an example of the use of factor and correspondence analysis, Ground Water, 27, 1, 27-34.