بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره (مطالعه موردی: دشت مراغه- بناب، استان آذربایجان شرقی)

مصطفی امینی[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۱۸)

چکیده

بررسی و تحلیل کیفیت آب‌های زیرزمینی به‌منظور پایش آلودگی و پی‌بردن به مهم‌ترین آلاینده‌های موجود در آب و شناسایی نقاط با آلودگی بیشتر یکی از زمینه‌های پژوهشی است. هدف از انجام چنین پژوهشی، برنامه‌ریزی برای بهبود کیفیت آب‌های زیرزمینی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف است. اطلاعات آب‌های زیرزمینی دشت مراغه- بناب از ۲۶ حلقه چاه در ۱۰ سال (۱۳۹۲-۱۳۸۲) با ٤٥٤ برداشت، از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی تهیه و بوسیله تکنیک‌های آماری چندمتغیره مثل تابع تحلیل تشخیص (DFA) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) مورد تحلیل قرار گرفته است. متغیرهای مورد تحلیل شامل Mg، Ca، Cation، K، Na، TDS، TH، SAR، EC، Anion، pH، Cl، SO_4، CO_3، HCO_3 هستند. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که متغیرهای Cation، TDS، SAR، EC، Anion، Cl، Ca، TH و HCo_3 دارای بار عاملی بالایی هستند. بار عاملی بالا نمایانگر اثر این متغیرها در کیفیت آب‌های زیرزمینی این منطقه است. نتایج حاصل از تحلیل تشخیص نیز نشان داد که متغیرهای یاد شده توانستند کاربری اراضی و سازندهای زمین‌شناسی را به‌ترتیب در داده‌های اصلی و داده‌های تولید شده با استفاده از توزیع نرمال به‌ترتیب با قدرت تفکیک‌کنندگی ٦٨/٧، ٩٢/٢ درصد و ٦٦/٥، ٨٩/١ درصد از هم تفکیک کنند. بررسی موقعیت مکانی متغیرها بوسیله تکنیک درون‌یابی در دشت مراغه- بناب نشان داد که متغیرها در پایین‌دست دشت مراغه- بناب دارای غلظت بیشتری بوده و ۲۰ آبادی و مزارع اطراف آن‌ها در معرض آلودگی شدید آب‌های زیرزمینی هستند.

واژه‌های کلیدی: دشت مراغه-بناب، تکنیک‌های آماری چندمتغیره، کیفیت آب‌های زیرزمینی

۱. دکتری تخصصی ژئومورفولوژی
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mostafaamini114@yahoo.com

مقدمه

در اغلب نقاط جهان، منابع آب زیرزمینی از جمله مهم‌ترین منابع تأمین آب شرب و کشاورزی هستند. آلاینده‌های مختلف از جمله فاضلاب‌های صنعتی و شهری باعث تقلیل کیفیت این منابع آبی شده، حتی در بعضی از مناطق، احتمال غیرقابل استفاده شدن آن‌ها را به دلیل ایجاد برخی تغییرات در خواص فیزیکی و شیمیایی آب و اصلاح بدون صرفه اقتصادی آن افزایش داده است (۵ و ۱۰). آب‌های زیرزمینی به‌طور طبیعی ناخالص هستند و مقدار این ناخالصی متفاوت است. ناخالصی‌های موجود در آب‌های زیرزمینی ناشی از هوازدگی سنگ‌ها، شستشوی خاک‌ها، حل ذرات آئروسل و فعالیت‌های انسانی مثل معدن‌کاوی، کار با فلزات در بخش‌های صنعتی و استفاده از کودهای شیمیایی است (۱۱). مطالعات نشان داده است که ۸۵ درصد از بیماری‌های موجود در جامعه، آبی و یا مرتبط با آب هستند (۱۵). کمبود کیفیت و کمّیت آب یکی از چالش‌های فرارو در کشورهای در حال توسعه است و طبق آمار سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۱۷، بیش از دو میلیارد نفر از دسترسی به آب آشامیدنی سالم در سطح جهان محروم بودند (۱۱ و ۱٤). رشد جمعیت در ایران به‌طور نسبی سریع است و بر مبنای مطالعات یونیسیف تخمین زده می‌شود تا سال ۲۰۳۰میلادی، جمعیت کشور به ۸۹ میلیون نفر برسد؛ بنابراین بحران آب بسیار پیچیده‌تر از شرایط فعلی خواهد بود. افت آب نه‌تنها به مفهوم کمّی آن بلکه شامل افت کیفی آن نیز بوده و با توجه به کاهش نزولات جوی در سال‌های اخیر و افزایش جمعیت در سال‌های آتی، آینده چالش‌برانگیزی را بوجود خواهد آورد (۵). ژائو و همکاران (۱۵) برای بررسی کیفیت آب‌های سطحی از تکنیک‌های آماری چندمتغیره (تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مؤلفه اصلی) استفاده کردند. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی تعداد متغیرهای بررسی‌شده را کاهش و نشان داد که ۹۲ درصد تغییرات فضایی و زمانی به‌وسیله متغیرهای انتخاب شده قابل توجیه است. همچنین، تحلیل خوشه‌ای نشان داد که ایستگاه‌های شبیه هم از نظر آلودگی در پنج طبقه جای می‌گیرند. خوشه یا طبقه پنجم به‌عنوان آلوده‌ترین خوشه تشخیص داده شد و موقعیت‌های فضایی این خوشه به رودخانه نزدیک این نمونه‌ها (رودخانه فوه) نسبت داده شد که در بالادست، فاضلاب‌های صنعتی و خانگی به این رودخانه می‌ریزند. اصغری‌مقدم و محمودی (۲) تأثیر شهرک صنعتی بر آب‌های زیرزمینی دشت مراغه- بناب را مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی، متغیرهای Na، Cl، Ca و SO4، Mg، pH، EC، K و HCO_3 در ۹۲ نمونه مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج این پژوهش نشان داد که Cl، So_4، Na و Ca مهمترین یون‌های موجود در این منطقه هستند و روستای خوشه‌مهر در معرض آلودگی شدید ناشی از این یون‌ها قرار دارد. طباطبایی و همکاران (۱۳) کیفیت آب‌های زیرزمینی در شهرکرد را بررسی کردند. در این مطالعه، ۹۸ نمونه از ۱۸ حلقه چاه دریافت و مؤلفه‌هایی مثل NO_3، NO_2، SO_4، TDS، TH، NH_4، و EC با استفاده از تکنیک آماری NCRD مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که غلظت NO_3، NH_4 و EC در زمین‌های شهری و کشاورزی تفاوت معنی‌دار بالای ۹۵ درصد با یکدیگر دارند. جهانشاهی و همکاران (۸) برای پیش‌بینی پراکنش مکانی تعدادی از شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت بابک واقع در غرب استان کرمان از روش کریجینگ معمولی استفاده کردند. در این پژوهش برای ارزیابی کیفیت درون‌یابی آب‌های زیرزمینی از RMSE استفاده کردند و سه پارامتر Cl، EC و TDS کم‌ترین میزان خطا را داشتند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کیفیت آب‌های زیرزمینی در روند زمانی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ کاهش داشته است. پوراکبر و همکاران (۱۲) با استفاده از ابزار GIS و نیز آزمون‌هایی مثل تحلیل مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌ای اقدام به پهنه‌بندی و تفسیر نتایج ۲۰ فلز سنگین در ۲۵ روستای شهرستان سراب کردند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در برخی از روستاها غلظت آرسنیک بالا است و باید مطالعه‌ای در جهت شناسایی منابع آرسنیک و بهبود کیفیت آب این مناطق صورت گیرد. طبق آمار شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی ٦۲۰۷ حلقه چاه در دشت مراغه- بناب موجود است و با توجه به اینکه کاربری غالب این منطقه کشاورزی است بالغ بر ۹٦ درصد

آب‌های زیرزمینی صرف آبیاری و ٤ درصد مابقی صرف شرب، صنعت و خدمات می‌شود، لزوم بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی با توجه به مصرف بالای آن و اقلیم نیمه خشک منطقه از یک سو و توجه کم‌تر به مسئله بهینه‌سازی نتایج و مقایسه نتایج آن‌ها با داده‌های اولیه با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره از سوی دیگر احساس می‌شود. هدف این پژوهش شناسایی مؤلفه‌های اساسی کنترل کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت مراغه- بناب، ارتباط این متغیرها با تشکیلات زیرین و نیز کاربری اراضی، تولید داده‌های تصادفی با الگوی توزیع نرمال و مقایسه نتایج تحلیل تشخیص آنها با داده‌های اولیه، نمایش تغییرات فضایی آلودگی و مناطق در معرض خطر و پایش روند تغییر این عناصر در طول زمان است. طبق بررسی‌های انجام شده، بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از تلفیق روش‌های چندمتغیره آماری مثل تحلیل تشخیص و مؤلفه‌های اصلی به‌منظور شناسایی متغیر موثر در کیفیت آب‌های زیرزمینی و مقایسه داده‌های اولیه با تولید شده از طریق توزیع نرمال به‌منظور بررسی میزان ارتباط متغیرها با منشأ آلاینده آنها بررسی نشده است و این پژوهش سعی دارد این خلأ پژوهشی را پر نماید.

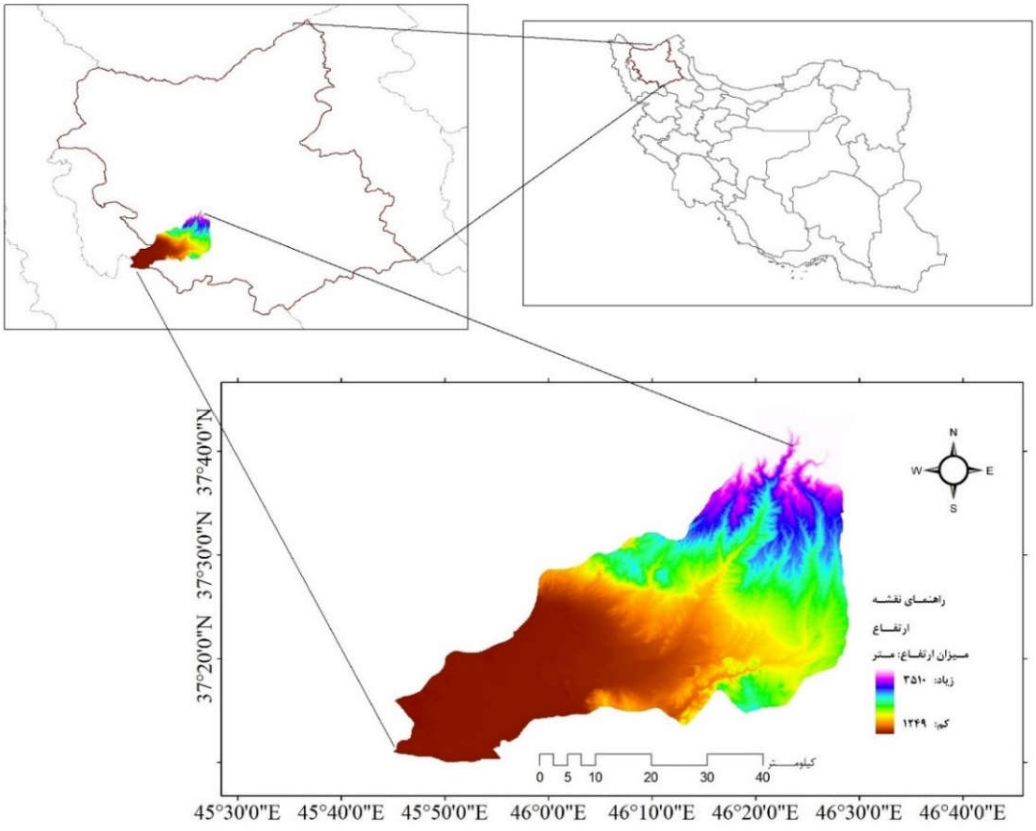
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

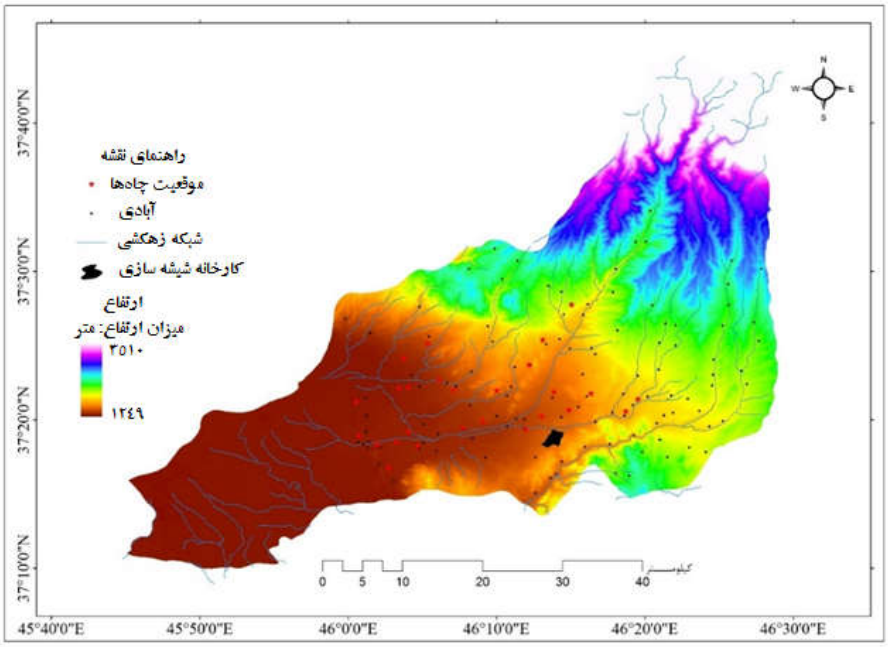
دشت مراغه- بناب از نظر تقسیمات سیاسی در بخش جنوبی شهرستان مراغه و شرق شهرستان بناب در استان آذربایجان شرقی واقع شده که از شرق به شهرستان هشترود و از غرب به دریاچه ارومیه و عجب‌شیر متصل است (شکل ۱). این دشت در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ٤٠ دقیقه شمالی و ٤٥ درجه و ٥٠ دقیقه تا ٤٦ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی واقع شده است. حداقل و حداکثر ارتفاع و شیب به‌ترتیب ۱۲٤۹ و ۳٥۱۰ متر و صفر و ۲٤ درصد است. آب و هوای دشت مراغه- بناب در بخش شمالی سرد و به‌نسبت مرطوب و در بخش جنوبی گرم و خشک است و طبق تقسیم‌بندی دومارتن در رده آب و هوایی نیمه‌خشک قرار می‌گیرد. این دشت دارای کاربری‌های متنوعی می‌باشد اما مساحت کاربری‌های مراتع و زمین‌های کشاورزی در این منطقه غالب است. براساس آمار مربوط به سالنامه آماری سال ۱۳۹۷، تعداد خانوارهای موجود در شهرستان‌های مراغه و بناب برابر با ۲٦۲٦۰٤ و ۱۳٤۸۹۲ خانوار است که ۱۰/۲ درصد از جمعیت استان آذربایجان شرقی را تشکیل می‌دهند. مساحت حوزه آبخیز و دشت مراغه- بناب به‌ترتیب، ٥۳۰ و ۸۳۰ کیلومترمربع است. رودخانه‌های موجود در این حوزه آبخیز از دامنه جنوبی کوه سهند سرچشمه گرفته و پس از عبور از مراغه و بناب به دریاچه ارومیه می‌ریزند.

گردآوری داده‌ها و تحلیل‌های آماری

داده‌ها شامل پارامترهای شیمیایی آب‌های زیرزمینی در طی ده سال (۱۳۹۲-۱۳۸۲) در ۲٦ حلقه چاه است که ٤٥٤ بار برداشت شده‌اند (شکل ۲). متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در این چاه‌ها شامل Mg، Ca، Cation، K، Na، TDS، TH، SAR، EC، Anion، pH، Cl و HCO_3 هستند که توسط شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی تهیه شده است. این داده‌ها در قالب فایل اکسل و با مختصات مکانی و زمان تولید داده بود که بعد از پردازش، امکان تبدیل آن به یک لایه مستقل در نرم‌افزار ArcGIS فراهم شد. با استفاده از روش درون‌یابی Kriging امکان شناسایی پهنه‌های آلوده فراهم شد. با توجه به ضرورت پژوهش، لایه‌های توپوگرافی ۲٥۰۰۰ :۱، کاربری اراضی ٥۰۰۰ :۱ و زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰ :۱ به‌ترتیب از سازمان نقشه‌برداری و زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی تهیه شدند. با توجه به اینکه هدف پژوهش، بررسی کیفیت‌های آب‌های زیرزمینی بود با استفاده از تحلیل‌های آماری چندمتغیره مثل تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principle Component Analysis) و



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی دشت مراغه- بناب



شکل ۲. موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری شده در دشت مراغه- بناب

تحلیل تشخیص (Discriminant Function Analysis) به‌ترتیب اقدام به شناسایی مؤلفه‌های تأثیرگذار و امکان ارتباط متغیرهای ژئوشیمیایی با کاربری اراضی و سازندهای زمین‌شناسی شد. تحلیل تشخیص، تکنیک قوی برای طبقه‌بندی نمونه‌ها به گروه‌های از پیش تعیین‌شده براساس متغیرهای چندگانه است. روش چرخش واریماکس (Rotation Method Varimax) یک روش پرکاربرد برای تفسیر نتایج در آزمون PCA بوده (۱۱) و تکنیکی برای کاهش داده‌های چند متغیره به خوشه‌های مشخص و نمایان ساختن روابط بین آن‌ها است. به‌طور کلی، کاربرد عمده روش تحلیل اجزای اصلی کاهش تعداد متغیرها و یافتن ساختار ارتباطی بین متغیرها یا همان دسته‌بندی آن‌هاست (٦). در این پژوهش غیر از تحلیل PCA از پلات اسکری نیز برای نمایش مؤلفه‌های اصلی استفاده شد (٤). برای انجام تحلیل‌های آماری در این پژوهش از نرم‌افزار SPSS 18 و Excel استفاده شد. برای پی بردن به ساختار طبیعی و واقعی متغیرهای شیمیایی و قابلیت آن‌ها در تفکیک مؤلفه‌های سازند و کاربری اراضی از توزیع نرمال داده‌های اولیه برای تحلیل‌های آماری استفاده شد. توزیع نرمال حالت طبیعی بسیاری از اندازه‌های گردآوری شده پیرامون پدیده‌های طبیعی است و در صورت افزایش تعداد اندازه‌گیری‌ها، رفتار پدیده‌های طبیعی به سمت توزیع نرمال گرایش پیدا می‌کنند. تابع احتمال این توزیع دارای دو پارامتر میانگین (μ) و انحراف معیار (σ) است. مساحت زیر منحنی توزیع نرمال یک است؛ این توزیع که از آن به‌عنوان توزیع گوسین نیز یاد می‌شود برای نمایش متغیرهای تصادفی که دارای توزیع ناشناخته‌ای هستند استفاده می‌شود و به صورت رابطه ۱ بیان می‌شود:

$$p(x, y, \sigma)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}\exp\left(\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \qquad (۱)$$

برای تولید داده‌های تصادفی، از توزیع نرمال داده‌های اولیه استفاده شد. برای انجام این کار، داده‌های اولیه برحسب نوع گروه (سازندهای زمین‌شناسی و کاربری اراضی) تقسیم‌بندی شده و نمونه‌ها مطابق آن‌ها کدگذاری شدند. میانگین و انحراف معیار هر یک از کدها محاسبه و اعداد تصادفی با استفاده از ابزار Data analysis و Random Number Generation به تعداد ۱۰۰۰۰ عدد برای هر کدام تولید شد. هر کد در هر مؤلفه نمایانگر یک مفهوم خاصی است؛ برای مثال کد ۱ در نقشه کاربری اراضی نمایانگر کاربری باغ است و با توجه به اینکه تعداد نمونه‌های موجود در کاربری باغ، ۱۹ مورد بود، میانگین و انحراف معیار این کاربری محاسبه و تعداد ۱۰۰۰۰ عدد با استفاده از تابع توزیع نرمال تولید شدند. تولید داده برای هر ۱۳ متغیر و تمام کاربری‌های و سازندها انجام و تابع تحلیل تشخیص در دو حالت داده اولیه و داده‌های حاصل از توزیع نرمال محاسبه شد. برای بررسی روند تغییرات پارامترهای شیمیایی ابتدا داده‌های متغیرها استاندارد شدند و سپس برای راحت‌تر کردن مقایسه روند تغییرات زمانی از نمودار میله‌ای تجمعی استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی

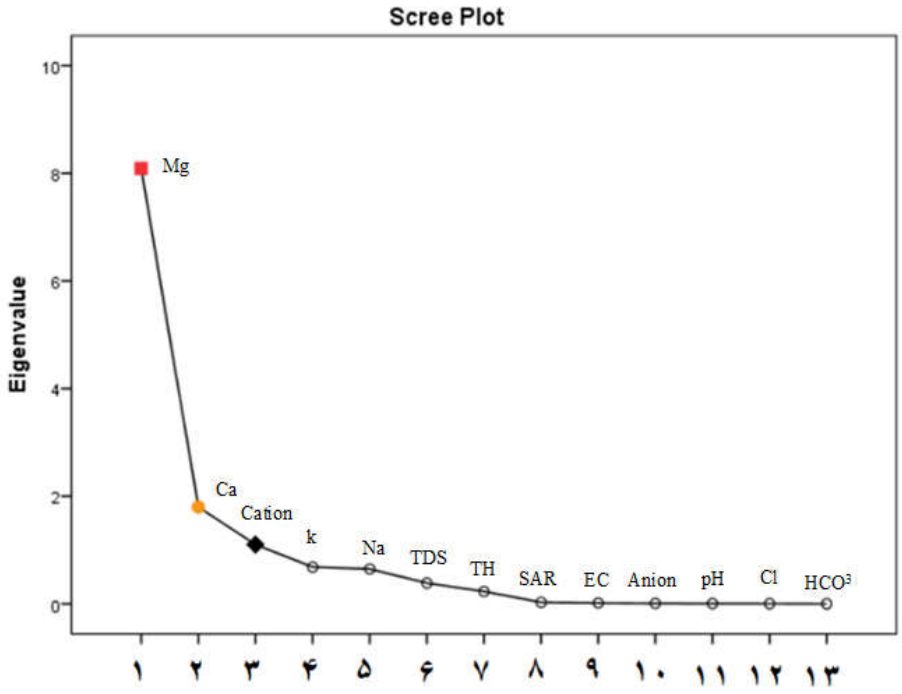
نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که سه عامل اول (Mg, Ca, Cation)، ٨٤/٥٥ درصد واریانس را توجیه کرده و به‌عنوان عامل‌های اصلی شناخته شدند (جدول ۱). همچنین، شکل ۳ مقدار ویژه هر یک از عامل‌ها را نشان می‌دهد. در این شکل، سه عامل اول دارای مقدار ویژه بالاتر از یک بوده و پس از آن، تغییر محسوسی در عامل‌ها رخ نداده است.

مطابق جدول ۲ متغیرهای Cation، TDS، SAR، EC، Anion و Cl در عامل یک و Ca، TH در عامل دو و HCO_3 در عامل سه دارای بیشترین بار عاملی هستند. بنابراین، متغیرهای فوق می‌توانند به‌عنوان متغیرهای اصلی و تأثیرگذار در کیفیت آب این منطقه شناخته شوند.

دشت مراغه- بناب دارای کاربری‌های مرتع، زمین بایر

جدول ۱. نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی متغیرهای شیمیایی آب‌های زیرزمینی در دشت مراغه- بناب

مؤلفه‌ها	مقادیر ویژه اولیه			استخراج مجموع بارهای مربعی			مجموع چرخش بارهای مربعی		
	مجموع	درصد واریانس	درصد تجمعی	مجموع	درصد واریانس	درصد تجمعی	مجموع	درصد واریانس	درصد تجمعی
Mg (g/Cm^3)	۸/۰۹	٦۲/۲٤	٦۲/۲٤	۸/۰۹	٦۲/۲٤	٦۲/۲٤	٦/۲۷	٤۸/۲٥	٤۸/۲٥
Ca (g/Cm^3)	۱/۸	۱۳/۸۳	۷٦/۰۷	۱/۸۱	۱۳/۸۳	۷٦/۰۷	۳/۳٤	۲٥/٦٦	۷۳/۹۲
Cation	۱/۱	۸/٤۸	۸٤/٥٥	۱/۱	۸/٤۸	۸٤/٥٥	۱/۳۸	۱۰/٦۳	۸٤/٥٥
k (g/Cm^3)	۰/٦۸	٥/۲٦	۸۹/۸۱						
Na (g/Cm^3)	۰/٦٥	٤/۹	۹٤/۷۹						
TDS (mg/l)	۰/۳۹	۲/۹۷	۹۷/۷٦						
TH (g/Cm^3)	۰/۲۳	۱/۷۷	۹۹/٥۳						
SAR	۰/۰۳	۰/۲۱	۹۹/۷٥						
EC (µS/cm)	۰/۰۲	۰/۱۲	۹۹/۸۷						
Anion	۰/۰۱	۰/۰٦	۹۹/۹۳						
pH	۰/۰۱	۰/۰٤	۹۹/۹۷						
Cl (g/cm^3)	۰	۰/۰۳	۱۰۰						
HCO_3(g/mol)	۰	۰	۱۰۰						



شکل ۳. پلات اسکری متغیرهای اندازه‌گیری شده در آب‌های زیرزمینی دشت مراغه- بناب

جدول ۲. ماتریس عاملی چرخش یافته متغیرهای ژئوشیمیایی

متغیرها	عامل‌ها		
	۱	۲	۳
Mg (g/Cm^3)	۰/٦٦	۰/٦	۰/١٤
Ca (g/Cm^3)	۰/١٣	۰/٩١	۰/١٢
Cation	۰/٨٨	۰/٤٤	۰/۰٤
K (g/Cm^3)	۰/١٨	۰/٥٧	۰/٢٦
Na (g/Cm^3)	۰/٧٦	۰/٢٦	۰/۰٤
TDS (mg/l)	۰/٨٧	۰/٤٤	۰/۰٤
TH (g/Cm^3)	۰/٤٣	۰/٨٥	۰/١٥
SAR	۰/٩٧	۰/٨	۰/۰٥
EC (µS/cm)	۰/٨٧	۰/٤٦	۰/۰٥
Anion	۰/٨٨	۰/٤٤	۰/۰٤
pH	۰/١٨	۰/٢٧	−۰/٧٣
Cl (g/cm^3)	۰/٩	۰/٣٥	−۰/۰٤
HCO_3 (g/mol)	۰/٢٨	۰/١	/٧٧

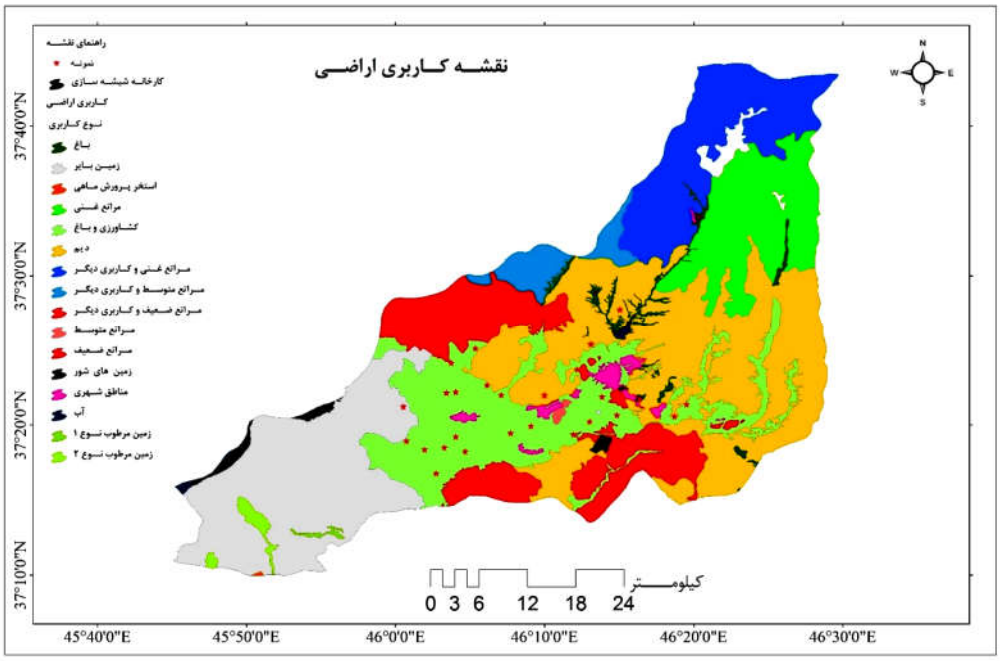
زمین‌های دیم، کشاورزی، باغ و مناطق مسکونی و صنعتی است. موقعیت اکثر نمونه‌ها در کاربری‌های کشاورزی و باغ زمین‌های دیم، زمین بایر و مرتع است (شکل ٤).

نتایج حاصل از تحلیل تشخیص نشان داد که متغیرهای شیمیایی به خوبی توانستند کاربری اراضی و سازندهای زمین‌شناسی را از هم تفکیک کنند. مطابق جدول ۳، متغیرهای شیمیایی با قدرت تفکیک کنندگی ٦٨/٧ و ٦٦/٥ درصد توانستند کاربری اراضی و سازندها را در داده‌های اولیه از هم تفکیک کنند. جدول‌های ۳ و ٤ و شکل‌های ٥ و ٦ این تفکیک‌شدگی را به‌ترتیب در کاربری اراضی و سازندهای زمین‌شناسی نشان داده‌اند. در همه نتایج، قدرت تفکیک، داده‌های نرمال شده بهتر از داده‌های اولیه بوده است. بنابراین، نتایج تحلیل تشخیص توزیع نرمال، نمایانگر قدرت تفکیک‌پذیری بالای متغیرها نسبت به داده‌های اولیه بود. مطابق جدول ۳ و شکل ٥- B و جدول ٤، شکل ٦- B، قدرت تفکیک‌پذیری نتایج توزیع نرمال با ۹۲/۲۰ درصد در کاربری اراضی و ۸۹/۱ درصد در سازندهای زمین‌شناسی بیشتر از داده‌های اولیه است. شاخص حداقل لامبدا در هر کدام از متغیرها به این معنی است که قابلیت این متغیرها در تفکیک کاربری اراضی حداکثر است و این متغیرها بیش‌ترین تأثیر را از کاربری اراضی گرفته‌اند. حداقل ویلکس لامبدا در داده‌های اولیه و نتایج توزیع نرمال به‌ترتیب مربوط به متغیرهای Cl، EC، Anion، Cation، Na، SAR، TDS و Cl است.

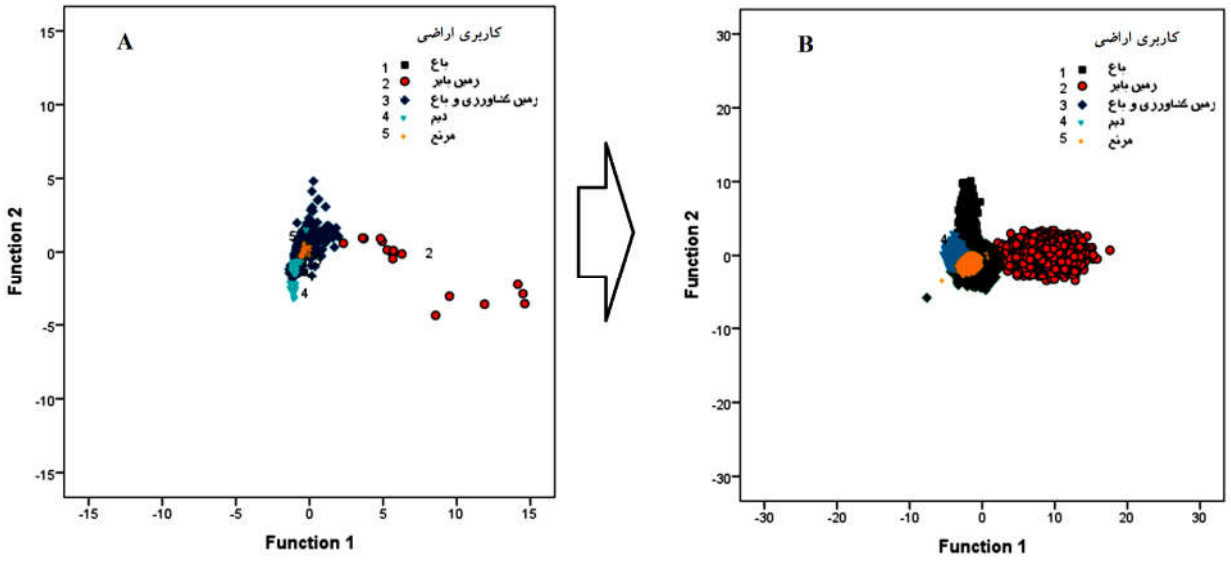
نتایج جدول ٤ نشان می‌دهد که F متعلق به Mg که در بین متغیرهای مربوط به داده‌های اولیه حداکثر است بقیه متغیرها تفاوت زیادی با یکدیگر ندارند. در داده‌های توزیع نرمال، Cl، Mg، Cation و CO_3 دارای حداقل لامبدا هستند. نتایج حاصل از جدول ٤ نشان می‌دهد که متغیرهای یاد شده در حالت توزیع نرمال، قابلیت خوبی در تفکیک سازندها داشتند. طبق نتایج جدول ٤، هم شاخص F متغیرها افزایش یافته است و هم لامبدای بسیاری از متغیرها کاهش یافته است. این نتایج

جدول ۳. نتایج تحلیل تشخیص متغیرهای شیمیایی آب‌های زیرزمینی براساس کاربری اراضی در دشت مراغه- بناب (A: اولیه و B: توزیع نرمال)

متغیر	درصد اطمینان	F	ویلکس لامبدا	درصد قدرت تفکیک کنندگی	درصد اطمینان	F	ویلکس لامبدا	درصد قدرت تفکیک کنندگی
	B				A			
Mg (g/Cm^3)	۰	۸۰۱۳/۱۳	۰/۶۱		۰	۸/۸۸	۰/۹۲	
Ca (g/Cm^3)	۰	۱۰۸۹۵/۹	۰/۵۳		۰	۲۰/۷۱	۰/۸۳	
Cation	۰	۱۲۲۰۵/۲۶	۰/۵		۰	۵۲/۸۸	۰/۶۵	
K (g/Cm^3)	۰	۵۶۴۴/۵۳	۰/۶۸		۰	۲۰/۲۳	۰/۸۳	
Na (g/Cm^3)	۰	۲۲۰۲۴/۸۵	۰/۳۶		۰	۱۱۴/۴۱	۰/۴۶	
TDS (mg/l)	۰	۱۰۱۳۲/۷۸	۰/۵۵		۰	۲۸/۸۸	۰/۷۷	
TH (g/Cm^3)	۰	۵۹۵۳۶/۹۷	۰/۱۷		۰	۷۵/۷۴	۰/۵۷	
SAR	۰	۲۳۹۷۵/۷۲	۰/۳۴	۹۲/۲	۰	۱۱۱/۳۵	۰/۴۷	۶۸/۷
EC(µS/cm)	۰	۱۱۶۹۹/۲۷	۰/۵۲		۰	۳۰۳/۶۲	۰/۷۵	
Anion	۰	۲۹۲۵۰/۸۴	۰/۳۰		۰	۲۰۴/۷۸	۰/۳۳	
pH	۰	۲۰۵۶۷/۶۱	۰/۳۸		۰	۱۱۷/۹۶	۰/۴۶	
Cl (g/cm^3)	۰	۲۱۳۲۳/۷۵	۰/۳۷		۰	۱۱۴/۵۹	۰/۴۷	
HCO_3 (g/mol)	۰	۱۳۱۶/۵۰	۰/۹۰		۰	۶/۷۸	۰/۹۴	
Mg (g/Cm^3)	۰	۲۳۶۰۷/۲۲	۰/۳۵		۰	۱۲۴/۰۹	۰/۴۵	
Ca (g/Cm^3)		۴۹۹۹۵	۰/۴		۰	۳۵/۰۸	۰/۷۴	



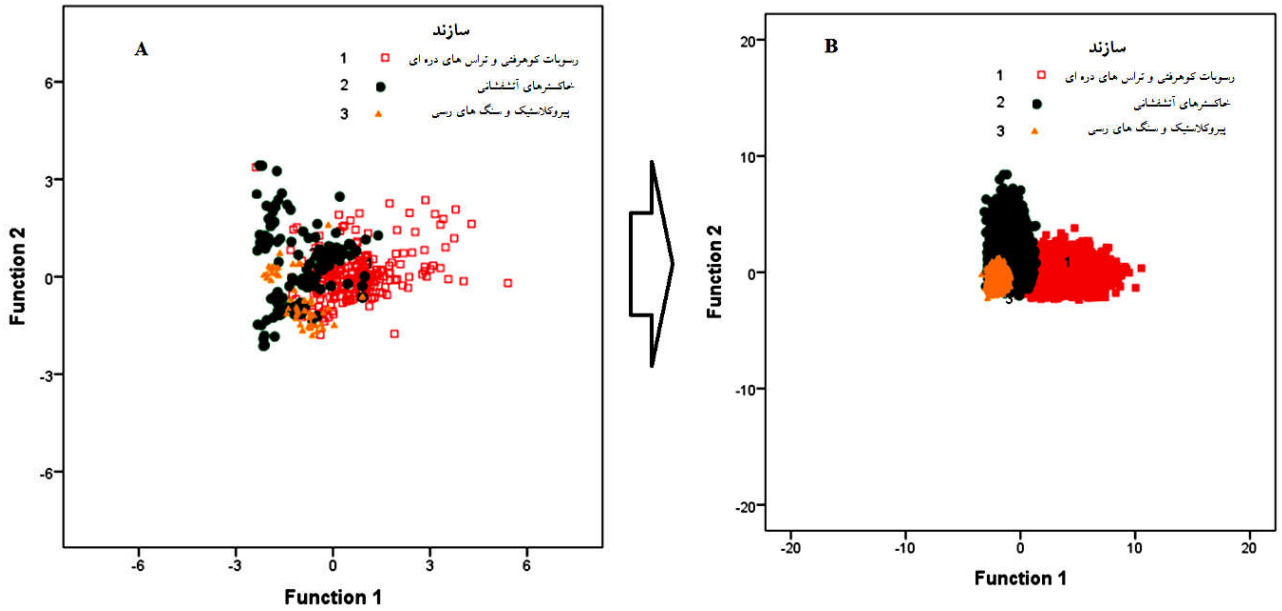
شکل ٤. نقشه کاربری اراضی دشت مراغه- بناب



شکل ۵. پراکنش تابع تحلیل تشخیص براساس متغیرهای شیمیایی آب‌های زیرزمینی و کاربری اراضی در دشت مراغه- بناب (A: داده‌های اولیه و B: داده‌های حاصل از توزیع نرمال. (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ٤. نتایج تحلیل تشخیص متغیرهای ژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی براساس سازندهای زمین‌شناسی در دشت مراغه- بناب (A: داده‌های اولیه و B: داده‌های نتایج از توزیع نرمال)

متغیر	درصد اطمینان	F	ویلکس لامبدا	درصد تفکیک کنندگی	درصد اطمینان	F	ویلکس لامبدا	درصد قدرت تفکیک کنندگی
	A				B			
CO_3 (g/Cm^3)	۰	١٤/٠١	٠/٩٤		۰	٧٣٣٧/٢	٠/٦٧	
So_4 (g/Cm^3)	۰	١٠/٦٨	٠/٩٥		۰	٣٦٢٣/٥٤	٠/٨١	
Mg (g/ Cm^3)	۰	٤٤/٩٤	٠/٨٣		۰	٧٧٦٠/٣٢	٠/٦٦	
Ca (g/ Cm^3)	۰	١٧/٢١	٠/٩٣		۰	٢٥١٠/٧٥	٠/٨٦	
Cation	۰	١٧	٠/٩٣		۰	٧٤٥٧/٨٢	٠/٦٧	
K (g/ Cm^3)	۰	٢٠/٥٣	٠/٩١		۰	٣٦٢٨/٥٥	٠/٨١	
Na (g/ Cm^3)	٠/٠٢	٤/٢٣	٠/٩٨		۰	٦٩٨/٨٣	٠/٩٦	
TDS (mg/l)	۰	١٧/٠٧	٠/٩٣	٦٦/٥	۰	٦٨٠١/٠٢	٠/٦٩	٨٩/١
TH (g/ Cm^3)	۰	٣٣/١٢	٠/٨٧		۰	٤٦٦٠/٠٩	٠/٧٦	
SAR	۰	٦/٦٣	٠/٩٧		۰	٦٩٦٦/٣١	٠/٦٨	
EC (µS/cm)	۰	١٨/٤١	٠/٩٢		۰	٧٠٩٤/٩٢	٠/٦٨	
Anion	۰	١٦/٩٧	٠/٩٣		۰	٧٣٤٨/٦٣	٠/٦٧	
pH	۰	٨	٠/٩٧		۰	٥١٣/٣٩	٠/٩٧	
Cl (g/l)	۰	١٣/٦٧	٠/٩٤		۰	١٣٦١٥/٤	٠/٥٢	
HCO_3 (g/Cm^3)	۰	٨/٢٩	٠/٩٦		۰	٦٧٥/٨١	٠/٩٦	

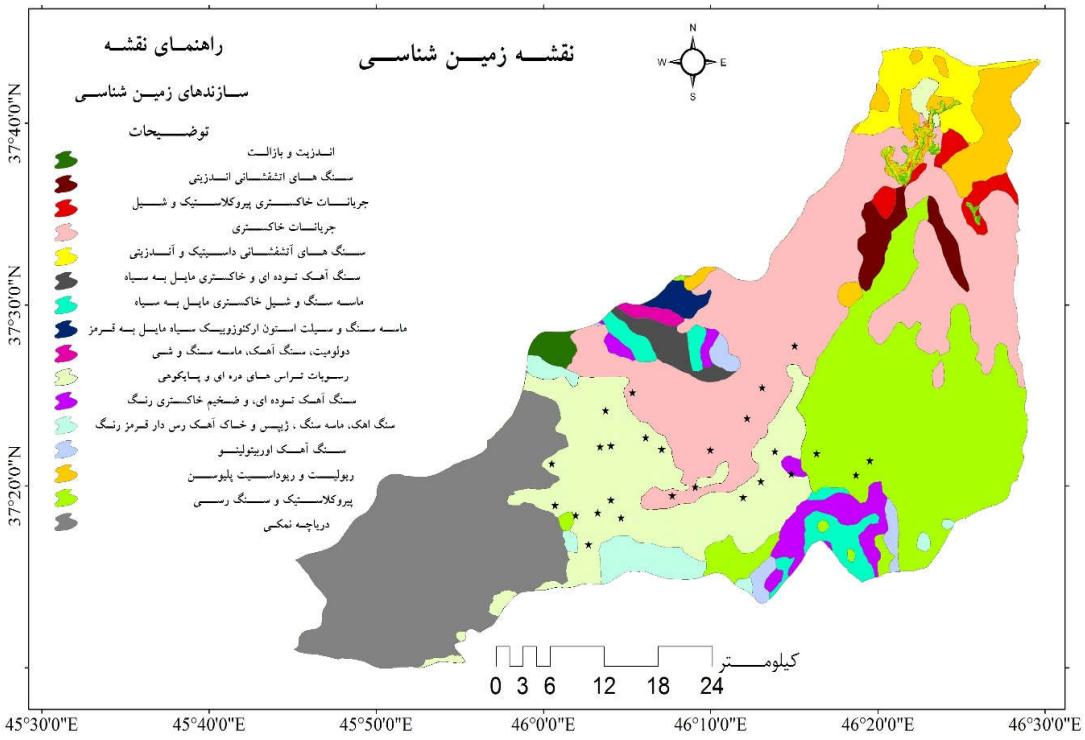


شکل ٦. پراکنش تابع تحلیل تشخیص براساس متغیرهای شیمیایی آب‌های زیرزمینی و کاربری اراضی در دشت مراغه- بناب (A: داده‌های اولیه و B: داده‌های حاصل از توزیع نرمال). (رنگی در نسخه الکترونیکی)

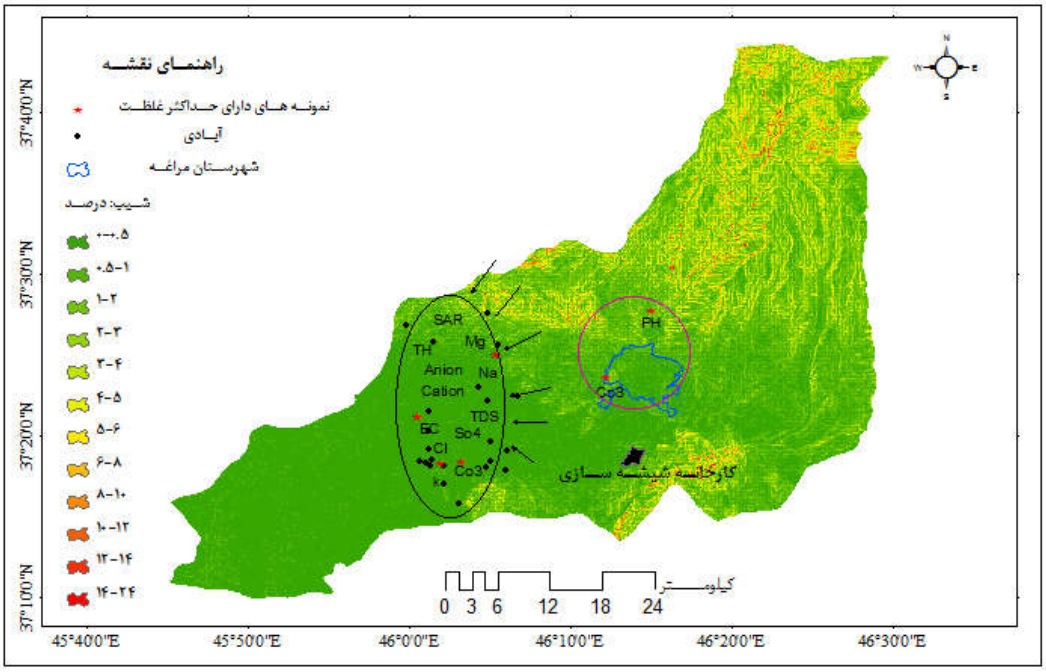
نشان‌دهنده این است که قابلیت تفکیک‌پذیری سازندها در داده-های توزیع نرمال بهتر شده است (جدول ٤). اگر قابلیت تفکیک‌پذیری در کاربری اراضی (جدول ۳) سازندها (جدول ٤) را باهم مقایسه کنیم متوجه می‌شویم که قابلیت تفکیک‌پذیری این متغیرها در کاربری اراضی با درصد تفکیک‌پذیری ۹۲/۲ درصد بهتر از سازندهای زمین‌شناسی با ۸۹/۱ درصد بوده است. علاوه بر قدرت تفکیک‌کنندگی که شاخصی برای قدرت تفکیک‌پذیری سازندها و کاربری اراضی است می‌توان از شاخص ویلکس لامبدا استفاده کرد. ویلکس لامبدا قدرت تفکیک‌پذیری سازندها و کاربری اراضی به تفکیک متغیرها در دو حالت داده اولیه و توزیع نرمال را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از بررسی شاخص ویلکس لامبدا نشان داد که تعداد متغیرهایی که کاربری اراضی را از هم تفکیک کردند بیشتر از سازندهای زمین‌شناسی بودند. بنابراین، احتمال اینکه آلایندگی آب‌های زیرزمینی با نوع کاربری ارتباط داشته باشد بیشتر از نوع سازند است. همچنین، نتایج نشان داد که متغیرهای که در توزیع نرمال مورد تحلیل قرار گرفتند از نظر تفکیک‌پذیری کاربری اراضی بیشتر از داده‌های اولیه بودند.

متغیرهای Cl، pH، Anion، SAR و Na از نظر تفکیک‌پذیری قدرت بالایی داشتند (جدول ۳).

متغیرهای یادشده در تفکیک سازندهای زمین‌شناسی به خصوص منیزیم می‌تواند ارتباط خوبی با جریانات و خاکسترهای آتشفشانی داشته باشد. منیزیم عنصری است که مقدار عدد آن در سنگ‌های آتشفشانی بالا است (۱) و از طرفی بیش‌ترین تراکم منیزیم مربوط به سازندهای تراس‌های دره‌ای و آبرفت‌های کوهستانی است (شکل ۷ و ۸) و با توجه به اینکه جهت شیب عمومی زمین به سمت این سازند است با کم شدن شیب در این منطقه، احتمال ورود مواد بوسیله جریانات رودخانه‌ای (شکل ۲) از سازندهای دیگر وجود دارد. جریانات خاکستری و آتشفشانی با قرارگیری در سمت شمال شرق و شمال سازند تراس‌های دره‌ای و با توجه به روند کلی جهت شیب امکان بارگذاری رسوبات بوسیله فرسایش، انتقال و ته‌نشینی را فراهم می‌کند. رسوبات تبخیری انیدریت، ژیپس، آهک رس‌دار و نمک حساس به فرسایش بوده و یون‌های سمی مثل کلر، اکسید گوگرد و سدیم آزاد کرده و کیفیت آب‌ها را کاهش می‌دهند از سوی دیگر سازندهای کربناته مثل آهک،



شکل ۷. نقشه زمین‌شناسی دشت مراغه- بناب (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۸. موقعیت مکانی نمونه‌های دارای غلظت بالا در دشت مراغه- بناب (رنگی در نسخه الکترونیکی)

دولومیت و ماسه سنگ حساس به فرسایش نبوده و برای ذخیره آب‌های سطحی و زیرزمینی مخزن خوب بوده و کیفیت آب‌ها را کاهش نمی‌دهند. همچنین، رسوبات کواترنری مهم‌ترین مخزن آب‌های زیرزمینی بوده و می‌تواند هیدرولوژی و هیدروژئولوژی آب‌های زیرزمینی را تعیین کند (۱۱).

رسوبات تراس‌های دره‌ای و پایکوهی جزو رسوبات کواترنری بوده و آبخوان مناسبی برای تشکیل آب‌های زیرزمینی بوده و بیشترین چاه‌ها در این منطقه حفر شده‌اند. در شمال و جنوب سازند کواترنری ژیپس و سنگ آهک رس‌دار وجود داشته و امکان آزاد کردن کلر و گوگرد را فراهم می‌کنند (شکل ۷).

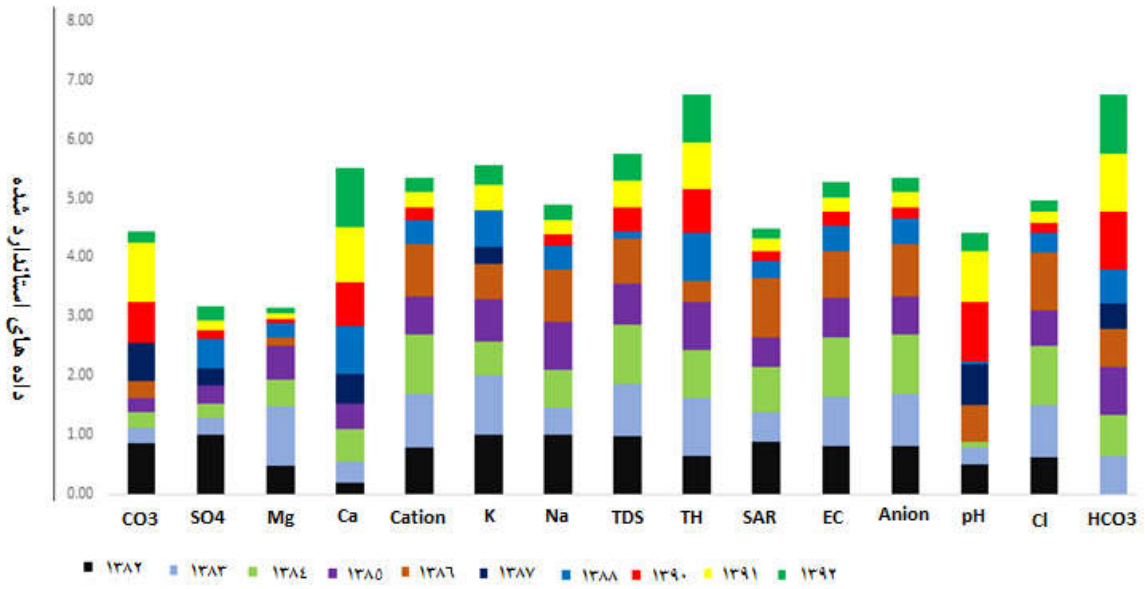
آلودگی آب‌های زیرزمینی و روند آن در دشت مراغه– بناب

مطابق شکل ۸، غلظت متغیرها در بخش غربی دشت بیشتر از قسمت‌های دیگر است. شیب در بخش‌های شمالی و شرقی بیش از جنوبی و غربی است. غلظت متغیرها در مناطق جنوبی و غربی بیشتر است و یکی از دلایل افزایش غلظت متغیرها می‌تواند کاهش شیب باشد. نتایج حاصل از درون‌یابی نشان داد که بخش غربی دشت که دارای شیب کم‌تری است دارای تراکم بالایی است (شکل ۸). مطابق شکل ۲، مناطق دارای رنگ قهوه‌ای که دارای ارتفاعات پستی هستند دشت به شمار می‌روند. مناطق دشتی مطابق شکل ۸ به‌طور تقریبی دارای شیب کم‌تر از ۳ درصد هستند و غلظت بالای متغیرهای اندازه‌گیری شده نیز در این مناطق هستند.

مطابق شکل ۸، روستاهای در معرض خطر ناشی از غلظت متغیرها عبارت‌اند از قیماس خان، قره‌زکی، شورل، آلقو، روشت کوچک، روشت بزرگ، زاوشت، آخوند قشلاق، مزارع بناب، مزارع دیزخ ناولو، قره‌چپق، خانه برق عیسی، خانی، خانه برق ینی‌ینی کند، خانه برق قشلاق، خانه برق جدید، خانه برق قدیم، علی‌خواجه، کوته‌مهر، زوارق، تازه‌کند خوشه‌مهر، خلیلوند و لغایی. با توجه به نزدیکی آبادی‌هایی با آب‌های زیرزمینی آلوده به کارخانه شیشه‌سازی و کم شدن شیب در جهت این آبادی‌ها احتمال تأثیرپذیری کیفیت آب‌های زیرزمینی از آلاینده‌های این کارخانه وجود دارد (شکل ۸). آلاینده‌های اصلی کارخانه شیشه‌سازی شامل انتشار دی اکسید گوگرد، اکسید نیتروژن، اسید کلریدریک، فلوراید، سرب، کادمیوم و آرسنیک به هوا و افزایش اسیدیته، ذرات معلق، سرب، آنتیموان، آرسنیک، فلوراید و اسید بوریک در آب است (۷) آرسنیک از عناصر شبه‌فلزی خطرناکی است که تأثیر آن بر آلوده‌سازی آب‌های زیرزمینی نیاز به پژوهش دارد اما با توجه به تغییرات فضایی اکسید گوگرد و افزایش غلظت آن در دشت مراغه– بناب امکان رابطه آن با کارخانه شیشه‌سازی جای تأمل داشته و نیاز به پژوهش‌های بیشتری است. روند تغییر آلودگی در مقیاس زمانی (۱۳۹۲–۱۳۸۲) بیانگر این است که متغیرهای Ca، TH، pH و HCO_3 در سه یا چهار سال اخیر برخلاف سال‌های قبل دچار تغییرات شدید شده‌اند و برخلاف این متغیرها بقیه موارد حداقل در سه یا چهار سال قبل تغییرات زیادی نداشته‌اند. بعضی از متغیرها نسبت به بقیه در طول ۱۰ سال تغییرات کمی داشته‌اند مثل SO_4 و Mg، و برخی دیگر مثل TH و HCO_3 تغییرات زیادی داشته‌اند (شکل ۹).

علت بسیاری از این تغییرات به مکان و عوامل مؤثر بر این تغییرات در آن برمی‌گردد و بنابراین باید به دنبال چرایی افزایش و کاهش تغییرات متغیرها در مکان‌های خاص بود. بنابراین، ضروری است تا با استناد به نتایج این پژوهش، تحقیقات دیگری برای کشف غلظت بالای متغیرها در مناطق جنوبی و غربی انجام شود.

نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اساسی نشان داد که متغیرهای Cation، TDS، SAR، EC، Anion و Cl ، Ca، TH و HCO_3 نقش اساسی را در کنترل کیفیت آب‌های زیرزمینی این منطقه دارند و لذا باید منشأ این متغیرها شناسایی و راه‌حل‌های کاربردی در جهت کنترل آن‌ها ارائه شود. با توجه به نتایج تابع تحلیل تشخیص، متغیرهای مورد تحلیل با کاربری اراضی و سازندهای زمین‌شناسی ارتباط داشتند و امکان تأثیرپذیری این



شکل ۹. روند آلودگی آب‌های زیرزمینی در دشت مراغه- بناب

(برای انجام مقایسه، تمام متغیرها استاندارد شده‌اند) (رنگی در نسخه الکترونیکی)

متغیرها از این دو عامل وجود دارد ولی تأثیرپذیری آن‌ها از کاربری اراضی بیشتر از سازندهای زمین‌شناسی بود. مقایسه داده‌های اولیه و توزیع نرمال نشان داد که داده‌های توزیع نرمال قابلیت بهتری در تفکیک کاربری اراضی و سازندهای زمین‌شناسی داشتند. بنابراین، از این تکنیک می‌توان در نتیجه‌گیری‌های با خطرپذیری و عدم قطعیت بالا استفاده کرد. نتایج حاصل از درون‌یابی متغیرها نشان داد که غلظت متغیرها در سمت غرب و جنوب این دشت که شیب کم‌تر است بیشتر بوده و اسامی آبادی‌های این منطقه که در معرض خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی هستند برای بررسی بیشتر ارائه شد. نتایج حاصل از بررسی تغییرات زمانی آلاینده‌ها نشان داد که میانگین غلظت متغیرهای Ca، TH ، TDS، CO_3، pH و HCO_3 در سال‌های اخیر افزایش قابل‌توجهی داشته است و علت این افزایش نیاز به پژوهش بیشتری دارد. نتایج این پژوهش با یافته‌های اصغری‌مقدم و محمودی (۳) مورد مقایسه قرار گرفت؛ نتیجه پژوهش آنها مبنی بر افزایش آلاینده‌های کلر، سدیم و کلسیم بعد از سال ۱۳۸۳ با نتایج این پژوهش همخوانی دارد هرچند بازه زمانی ۱۳۸٦ به بعد، روند دیگری را در افزایش غلظت متغیرها نشان می‌دهد. همچنین، نتایج مطالعه دیگری که توسط لاله‌زار و طباطبایی (۹) در دشت شهرکرد برای بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی انجام شده است نشان داد که در بخش شمال‌غربی این دشت غلظت برخی از متغیرها مثل Ca، Mg، SO_4، HCO_3 و Cl پایین و در بخش جنوبی آن، غلظت متغیرهایی مثل TDS و TH بالا بود. نتیجه پژوهشی مبنی بر عدم وجود سازندهای تبخیری و تأثیرپذیری صرف دشت مراغه- بناب از شهرک صنعتی با یافته‌های این پژوهش مبنی بر وجود سازند ژیپس و آهک رس‌دار در کناره‌های آبخوان کواترنری که می‌تواند سدیم، سولفات و کلر را آزاد کرده و موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی شود همخوانی ندارد و در پژوهش آنها نقش عامل انسانی خیلی پررنگ شده و نقش عوامل طبیعی در آلودگی آب‌های زیرزمینی کم‌رنگ شده است. مناطق آلوده هر دو پژوهش باهم همخوانی دارند؛ هرچند مقیاس فضایی این پژوهش بزرگ‌تر است و مناطق آلوده بیش‌تری را معرفی کرده است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که متغیرهای شیمیایی Mg، Ca و Cation از نظر آلایندگی آب‌های زیرزمینی نسبت به سایر متغیرها اثر بیشتری داشته‌اند. پیشنهاد می‌شود مطالعات بعدی منشأ این متغیرها را مورد بررسی قرار دهند. همچنین، نتایج حاصل از تحلیل تشخیص نشان داد که کاربری اراضی نسبت به سازندهای زمین‌شناسی دارای قدرت تفکیک‌پذیری بیشتری بودند و متغیرهای Cl، pH، Anion، SAR و Na توانستند در کاربری اراضی با قدرت بیشتری از هم تفکیک شوند. بنابراین، احتمال اینکه منشأ آلاینده‌ها بیشتر ناشی از کاربری اراضی بوده باشد بیشتر است. نتایج حاصل از تحلیل تشخیص در دو حالت داده‌های اولیه و داده‌های حاصل از توزیع نرمال نشان داد که قدرت تفکیک‌پذیری سازندها و کاربری اراضی در حال توزیع نرمال بیشتر از داده‌های اولیه است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود برای اطمینان از نتایج داده‌ها از این تکنیک استفاده کرد تا داده‌ها به اندازه دلخواه بر مبنای میانگین و انحراف از معیار تولید شوند و مورد تحلیل قرار گیرند.

منابع مورد استفاده

1. Ahmadzadeh, G. R., A. Jahangiri, M. Mojtahedi and D. Lentez. 2009. Petro-genesis of Potosic and Super-potasic volcanic rocks after having a polio quaternary in northwestern Marand. *Journal of Earth* Sciences 77: 79-86 (In Farsi).
2. Asghari Moghadam, A. and N. Mahmoudi. 2008. Effect of wastewater from Maragheh industrial complex on Maragheh-Bonab basin water deficit. *Journal of Environmental Study* 34(45): 15-22 (In Farsi).
3. Asghari Moghaddam, A. and N. Mahmoudi. 2007. Effect of Maragheh Industrial City Wastewater Pollution on Groundwater Pollution in Maragheh-Bonab Plain. *Ecology* 45: 15-22 (In Farsi).
4. Baldwin, C. 2010. Factor analysis: A New method for classifying new testament Greek manuscripts. *Andrews University Seminary Studies* 48(1): 29-53.
5. Ebrahimi, A., M. M. Amin., H. Hashemi, R. Foladi fard and M. Dastjerdi Vahid. 2010. Investigation of chemical quality of ground water in the Zarin Shahr County. *Journal of Researches System* 6:918-926.
6. Fakhri, M. 2010. PCA method and investigation of factors of case study: Extract the asset price index and its effect on inflation. Central Bank of the Islamic Republic of Iran (In Farsi).
7. IFC. 2007. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Glass Manufacturing. Environmental. World Bank Group.
8. Jahanshahi, A., A. Rouhi Moghaddam and A. Dehvari. 2013. Evaluation of groundwater quality parameters using GIS and land use (Case Study: Babak Plain Aquifer). *Journal of Water and Soil Science* 2:197-184 (In Farsi).
9. Lalehzar, R. and S. H. Tabatabaei. 2010. Groundwater quality mapping in Shahrekord Aquifer. *Journal of Environmental Studies* 53:55-62.
10. Nasrabadi, T. and P. Abbasi Maedeh. 2013. Investigation of ground water quality using qualified index of WHO. *Journal of Human and Environment* 26:2-12 (In Farsi).
11. Olasehinde, P.I., A. N. Ahmadi, M. A. Dan-Hassan and M.O. Jimoh. 2015. Statistical assessment of groundwater quality in Ogbomosho, southwest Nigeria. *American Journal of Mining and Metallurgy* 3(1):21-28.
12. Pour Akbar, M., M. Mosaferi, M. Shaker Khatibi and A. Moradi. 2013. Evaluation of water quality in groundwater from a geochemical point of view (case study: Sarab city). *Journal of Water and* Wastewater 3:116-126 (In Farsi).
13. Tabatabaei, S.H., R. Lalehzari, N. Nourmahnad and N. Khazaei. 2010. Groundwater quality and land use change (A case study: shahrekord Aquifer, Iran*). Journal of research in agricultural Science* 6: 30-48.
14. World Health Organization, WHO. 2006. Guideline for Drinking Water Quality. Geneva, Switzerland.
15. Zhao, Y., X. H. Xia, Z. F. Yang and F. Wang. 2012. Assessment of water quality in Baiyangdian Lake using multivariate statistical techniques. *Procedia Environmental Sciences* 13: 1213-1226.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 25, No. 4, Winter 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigation of Ground Waters Quality Using Multivariate Statistical Techniques (Case Study: Maragheh-Bonab Plain, East Azerbaijan Province)

M. Amini[1]*

(Received: November 13-2020; Accepted: April 7-2021)

Abstract

Investigation and analysis of groundwater quality to monitor contamination and identify the most important pollutants and pollution points is one of the research fields. The objective of this research was to plan to improve groundwater quality on various spatial and temporal scales. Groundwater information of Maragheh-Bonab plain was collected from 26 wells in 10 years (2001-2011) with 454 sampling points from East Azerbaijan Regional Water Organization and was analyzed using multivariate statistical techniques such as DFA and PCA. Analyzed Variables are included Mg, Ca, Cation, K, Na, TDS, TH, SAR, EC, Anion, pH, Cl, SO4, CO3, and HCO3. Results of PCA showed that variables such as cation, HCO3 ،TDS ،SAR ،EC ،Anion ،Cl, Ca, and TH were identified as important variables which they can great impacts on the groundwater quality of this region and in the other hand DFA showed which mentioned variables can discriminate land uses and geology formations in primary and normal distribution data with power discriminatory of 68.7 %, 92.2 %, and 66.5 %, 89.1 %, respectively. Investigation of the spatial position of elements using interpolation technique in Maragheh-Bonab plain showed that variables concentration in lowlands are high and 20 villages and their surrounding farms are exposed to high contamination risk of groundwater.

Keywords: Maragheh-Bonab plain, Multivariate statistical techniques, Groundwater quality

1. Ph.D. in Geomorphology
*: Corresponding author, Email: mostafaamini114@yahoo.com