

ارزیابی وضعیت هیدروژئوشیمی آبخوان دشت سلماس با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره

کیوان نادری^۱، عطاالله ندیری^{۲*}، اصغر اصغری مقدم^۳، مهدی کرد^۴

۱. دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲. دانشیار، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۳. استاد، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۴. استادیار، دانشکده علوم، دانشگاه کردستان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۷/۳۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۰۱/۱۵)

چکیده

برای درک بهتر فرایندهای هیدروژئوشیمیایی در آبخوان دشت سلماس، روش‌های گرافیکی و آماری چندمتغیره برای تفسیر نتایج به دست آمده از آنالیز نمونه‌ها به کار برده شدند. نتایج دیاگرام پایپر و دیاگرام بسط داده شده دورو نشان می‌دهند تیپ غالب آب زیرزمینی بی‌کربنات کلسیم - منیزیم است و در قسمت‌های انتهایی و جنوب شرقی دشت تیپ مختلط نیز دیده می‌شود. آنالیز خوشه‌ای سلسله‌مراتبی (HCA)، پنج گروه مختلف آب زیرزمینی را نشان می‌دهد (HC1 تا HC5). این روش به خلاف روش‌های گرافیکی، توانایی نشان دادن تأثیر غلظت نیترات در طبقه‌بندی نمونه‌ها را دارد. نمودارهای استیف مربوط به گروه‌های HC1 تا HC5، سه منشأ اصلی برای آب زیرزمینی در دشت سلماس را آشکار می‌کنند، به طوری که سه گروه HC1 تا HC3 آب‌هایی هستند که از سنگ‌های آهکی و دولومیتی نشئت گرفته‌اند. در گروه HC4، Cl^- و Na^+ غالب هستند و آب‌های شور را نشان می‌دهند. گروه HC5 آب‌هایی هستند که تحت تأثیر انحلال ساده یا اختلاط قرار گرفته‌اند. براساس نتایج تحلیل عاملی (FA)، سه عامل اصلی مؤثر بر هیدرووشیمی آبخوان دشت سلماس شناسایی شدند که ۸۵/۰۳ درصد از واریانس کل داده‌ها را شامل می‌شوند. عامل‌های اول و دوم زمین‌زاد هستند و عامل سوم انسان‌زاد است. با توجه به عامل نخست انحلال کانی‌های تبخیری در قسمت‌های شمالی، شمال غربی دشت و جاهایی که سازندهای لیگو-میوسن (OMrb)، میوسن (Mur) و پلیوسن (PLQc) برونزد دارند در هیدرووشیمی آب زیرزمینی کارکرد اصلی را دارد. عامل دوم حاصل تعادل آب-سنگ است که در زمینه انحلال سنگ‌های حاوی ترکیبات کلسیم و منیزیم است و مرتبط به مناطق تغذیه است و عامل سوم ناشی از فعالیت‌های انسانی و استفاده از کودهای کشاورزی است.

کلیدواژگان: آب زیرزمینی، آنالیز خوشه‌ای سلسله‌مراتبی، تحلیل عاملی، هیدروژئوشیمی.

مقدمه

خوشه‌ای سلسله‌مراتبی و تحلیل عاملی برای بررسی وضعیت هیدروشیمیایی آبخوان دشت تسوج بهره‌جستند. در تحقیق یادشده سه فاکتور اصلی کنترل‌کننده کیفیت آب زیرزمینی دشت تسوج مشخص شد که عامل اول و دوم زمین‌زاد و عامل سوم انسان‌زاد معرفی شدند [۱۲]. در تحقیق دیگری برای بررسی منشأ شوری و آرسنیک در آب‌های زیرزمینی و سطحی حوضه آبریز سد سهند از روش تحلیل عاملی استفاده شده است. در این تحقیق منشأ بیشترین مواد محلول آب دره عین‌آباد و رودخانه آملو، سازند قرمز فوقانی و انحلال تشکیلات گچی و نمکی معرفی شد و دو آنومالی منابع آبی منطقه یعنی آرسنیک و شوری، زمین‌زاد و مرتبط با سازندهای زمین‌شناسی منطقه شناخته شدند [۱۳].

از مهم‌ترین روش‌های آماری چندمتغیره می‌توان به روش‌های آنالیز خوشه‌ای سلسله‌مراتبی^۷ و تحلیل عاملی^۸ اشاره کرد. آنالیز خوشه‌ای سلسله‌مراتبی به‌عنوان تکنیک طبقه‌بندی، برای بررسی تیپ هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی و تفسیر منشأ آنها استفاده می‌شود [۱۱]. تحلیل عاملی نیز برای بررسی منشأ هیدروژئوشیمیایی تیپ‌های مختلف آب زیرزمینی استفاده می‌شود [۱۴ و ۱۵]. اطلاع از وضعیت کیفی منابع آبی به‌وسیله تعیین عوامل اصلی مؤثر بر هیدروشیمی آب‌ها و شاخص کیفیت آب این امکان را فراهم می‌سازد تا ضمن استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده، در مواقع لزوم برای تأمین سلامت این منبع مهم و حیاتی، بتوان راهکارهای مدیریتی مناسب را به کار برد [۱۳]. در پژوهش یادشده به‌منظور تعیین عوامل مؤثر بر هیدروشیمی منابع آب زیرزمینی دشت سلماس، از روش‌های گرافیکی و آماری چندمتغیره استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

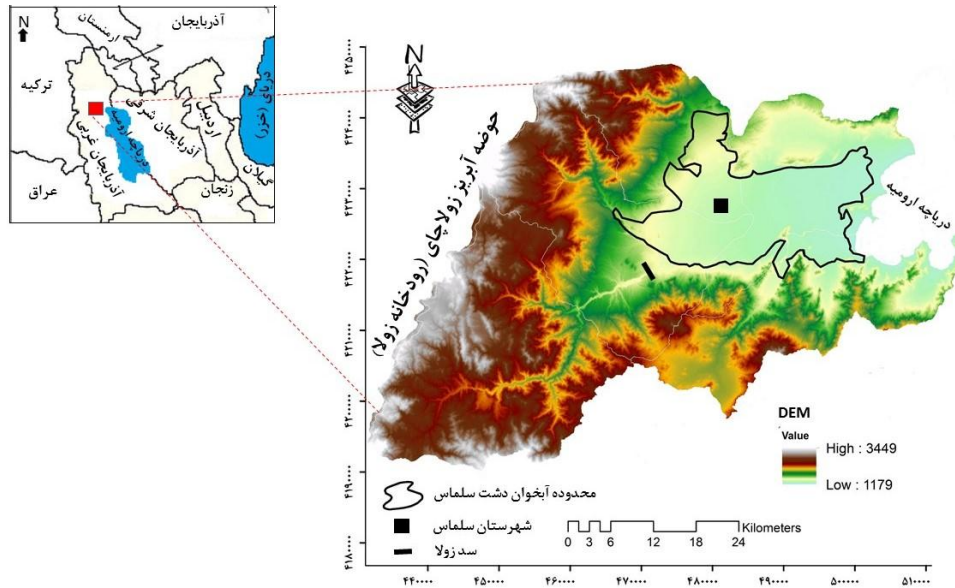
منطقه مطالعاتی

محدوده مطالعه‌شده دشت سلماس است که بخشی از حوضه آبریز دریاچه ارومیه را دربرمی‌گیرد. دشت سلماس در شمال غرب کشور، در شمال استان آذربایجان غربی بین محدوده جغرافیایی (UTM) $X = 468000$ تا $X = 501000$ طول شرقی و $Y = 4212500$ تا $Y = 4244500$ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱).

شناسایی و پایش کیفیت منابع آب زیرزمینی و شناخت عوامل مؤثر بر آن، جایگاه ویژه‌ای در مدیریت آبخوان دارد. کیفیت آب زیرزمینی براساس تشکیل‌دهنده‌های شیمیایی، بیولوژیکی، محتوای رسوبی و دمای آن تعیین می‌شود [۱] که تحت تأثیر فرایندهای طبیعی و انسان‌زاد قرار دارند. کیفیت آب زیرزمینی به دلیل تغییر در شرایط مختلف از جمله شرایط آب و هوایی، مدت ماندگاری آب در آبخوان، جنس سازندهای زمین‌شناسی مسیر و غیره تغییر می‌کند [۲]. مطالعه حاضر روی آبخوان دشت سلماس متمرکز شده که با مشکلاتی همچون پایین‌رفتن سطح آب زیرزمینی و کاهش کیفیت آب روبه‌روست. شناخت شرایط هیدرولوژیکی و فرایندهای هیدروژئوشیمیایی سیستم آبخوان بسیار حائز اهمیت و در عین حال امری پیچیده و مشکل است [۳]. روش‌های گرافیکی، روش‌های عمومی برای تفسیر فرایندهای هیدروژئوشیمیایی اند. دیاگرام پایپر^۱ قابل استفاده برای تعیین تیپ آب زیرزمینی است [۴ و ۵]. دیاگرام بسط داده‌شده دورو^۲، تیپ‌های مختلف آب زیرزمینی و بعضی از فرایندهای هیدروژئوشیمیایی از جمله فرایند تعویض یونی^۳، تعویض یونی معکوس^۴، انحلال ساده و اختلاط آب‌هایی با کیفیت متفاوت را بهتر از دیاگرام پایپر نشان می‌دهد [۶]. دیاگرام استیف^۵ نمونه‌های آنالیزشده را با نمونه‌های استاندارد مقایسه کرده و از این طریق تأثیر لیتولوژی روی آب زیرزمینی را آشکار می‌کند [۷]. روش‌های گرافیکی برای تفسیر و نمایش پارامترهایی مانند سیلیس، نترات و غیره نمی‌توانند استفاده شوند، در حالی که روش‌های آماری چندمتغیره^۶ می‌توانند بین پارامترهای فیزیکی شیمیایی مختلف مانند هدایت الکتریکی، دما و pH ارتباط برقرار کرده و رابطه بین متغیرها و نمونه‌ها را کشف کنند، بنابراین روش‌های آماری چندمتغیره توانایی رفع محدودیت‌های روش‌های گرافیکی برای تفسیر فرایندهای هیدروژئوشیمیایی را دارند [۸]. در سال‌های اخیر روش‌های آماری چندمتغیره برای تحلیل کیفیت و مطالعه هیدروشیمی آب‌های زیرزمینی توسط محققان مختلفی استفاده شده‌اند [۹-۱۲]. ندیری و همکارانش از آنالیز

1. Piper Diagram
2. Expanded Durov Diagram
3. Ion Exchange
4. Reverse Ion Exchange
5. Stiff Diagram
6. Multivariate Statistical Methods

7. Hierarchical Cluster Analysis
8. Factor Analysis

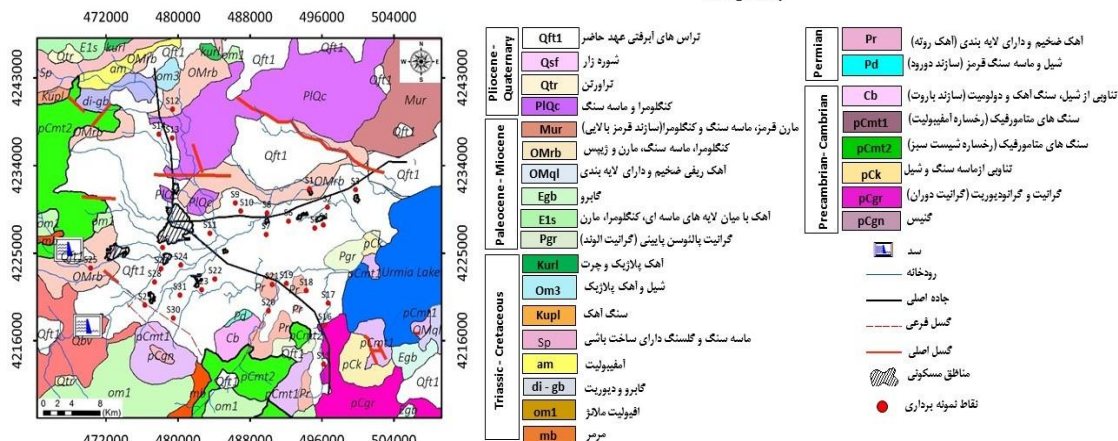


شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز رودخانه زولا و آبخوان دشت سلماس

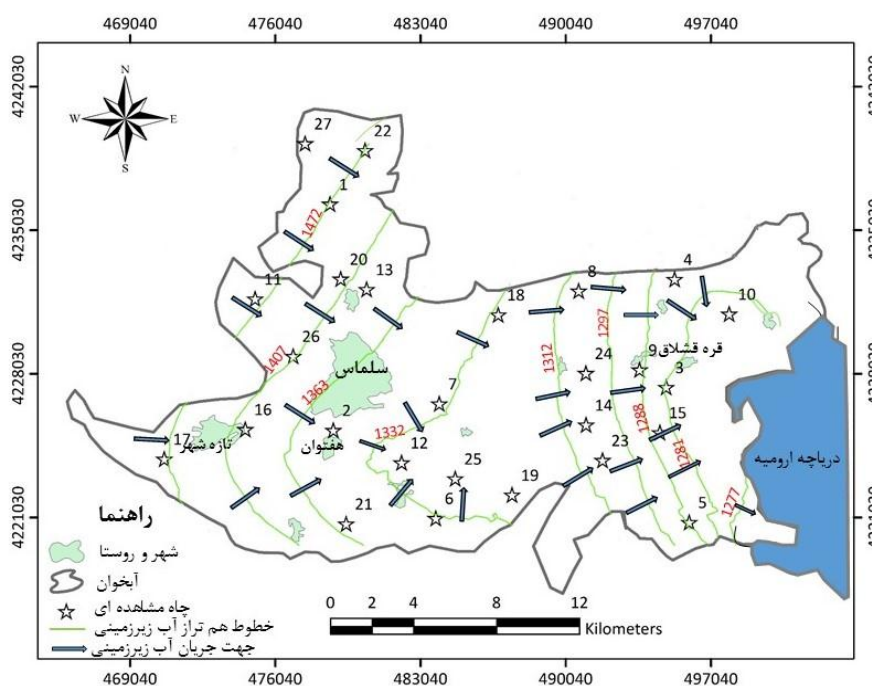
(بیشتر از ۱۸۰ متر) و کمترین آن، در قسمت شمال دشت به مقدار ۲۵ متر است. در مرکز دشت سنگ کف از رسوبات دانه‌ریز مارن و رس است و در غرب منطقه سازندهای آذرین و مارن‌های میوسن جنس سنگ کف را تشکیل می‌دهند (شرکت مهندسان مشاور آبکاو، ۱۳۴۸). براساس نتایج به‌دست‌آمده از لوگ چاه‌های اکتشافی، دو نوع آبخوان آزاد و تحت فشار در دشت سلماس وجود دارد که روی هم‌دیگر قرار گرفته‌اند. آبخوان تحت فشار با مخازن آزاد در ارتباط است که در منطقه تغذیه (قسمت غرب و شمال غربی دشت) یکی شده و تشکیل سفره آبدار واحدی را می‌دهند و به سمت شرق، لایه‌های آزاد به تدریج به لایه‌های نیمه تحت فشار و تحت فشار تبدیل می‌شوند. ضخامت متوسط لایه‌های آرتزین بین ۹۰ تا ۱۰۰ متر است که این لایه‌ها وسعتی حدود ۱۲۶ کیلومترمربع دارند. به دلیل وجود چاه‌های بهره‌برداری فراوان و برداشت از آنها طی دهه‌های اخیر، امروزه طبقات تحت فشار حالت آرتزین نداشته و به‌صورت سفره آزاد عمل می‌کنند. جهت غالب جریان آب زیرزمینی از شمال غرب و غرب منطقه به سمت دریاچه ارومیه (شرق) است و بیشترین گرادیان هیدرولیکی در قسمت غرب دشت حدود ۱۲ در هزار است. نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعه‌شده در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین، شکل ۳ جهت جریان آب زیرزمینی و موقعیت پی‌زومترها را در آبخوان دشت سلماس نشان می‌دهد.

اقلیم منطقه براساس اقلیم نمای آمبرژه از نوع نیمه‌خشک سرد است. متوسط دمای سالانه ۱۰/۳۶ درجه سانتی‌گراد (براساس داده‌های ایستگاه تبخیرسنجی یالقوزآغاج، ۸۱-۹۵) و میزان متوسط سالانه بارش ۲۷۶ میلی‌متر در سال (براساس داده‌های ایستگاه باران‌سنجی سلماس، ۸۱-۹۵) است. بررسی چگونگی توزیع بارش‌های ماهانه نشان می‌دهد در این دشت اردیبهشت، پرباران‌ترین ماه سال و کمترین مقدار بارندگی سالانه، مربوط به مردادماه است. از نظر تقسیمات واحدهای زمین‌ساختی ایران، منطقه سلماس در بخش شمالی زون ساختاری سنندج - سیرجان قرار گرفته است [۱۶]. در این زون با توجه به واحدهای چینه‌شناسی و محیط تشکیل آنها، فعالیت‌های ماگمایی زیاد است، بنابراین رخساره‌های متامورفیک نیز به‌خصوص در قسمت‌های جنوبی دشت فراوان یافت می‌شود. رخساره‌های منطقه شامل رخساره‌های رسوبی، آذرین، دگرگونی و آبرفت‌های عهد حاضر است که سازندهای پرکامبرین تا کواترنری را دربرمی‌گیرند. رسوبات آبرفتی دشت سلماس حاصل فعالیت رودخانه‌های زولا، دریک، خرخره و دیرعلی است. این رسوبات از نظر هیدروژئولوژی دارای اهمیت فراوان هستند چراکه گسترش زیادی در سطح دشت دارند و جنس غالب آنها ذرات شن، ماسه و به‌ندرت رس است. با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از مطالعات ژئوفیزیک، لوگ حفاری چاه‌ها و اطلاعات زمین‌شناسی، آبخوان اصلی در محدوده مطالعاتی در رسوبات آبرفتی جدید (دوران چهارم) تشکیل شده است. بیشترین عمق سنگ کف در مرکز دشت

راهنمای نقشه



شکل ۲. نقشه زمین شناسی و موقعیت نقاط نمونه برداری در تیرماه ۱۳۹۶



شکل ۳. جهت جریان آب زیرزمینی و موقعیت پیزومترها در آبخوان دشت سلماس

نمونه برداری و آنالیز داده ها

در پژوهش حاضر، ابتدا اطلاعات اولیه درباره منابع آبی، وضعیت زمین شناسی منطقه جمع آوری شد. برای تکمیل مطالعات، ۳۱ نمونه آب زیرزمینی از چاه های پمپاژ و چشمه های منطقه در تیرماه ۱۳۹۶ جمع آوری شد. موقعیت نقاط نمونه برداری در شکل ۲ نشان داده شده است. این نمونه ها طبق روش های استاندارد، در آزمایشگاه آب شناسی دانشگاه تبریز آنالیز شدند و پارامترهای کربنات، بی کربنات، سولفات، کلراید، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، نیترات،

هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH) و مواد جامد محلول (TDS) برای هر یک از نمونه ها اندازه گیری شدند. سختی کل (TH) نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم (%Na) از روی دیگر پارامترهای اندازه گیری شده، محاسبه شده اند. همچنین، برای اطمینان از درستی آنالیزها، خطای بالانس یونی محاسبه و برای همه نمونه ها کمتر از پنج درصد به دست آمد. خصوصیات آماری پارامترهای کیفی مربوط به ۳۱ نمونه آب زیرزمینی آبخوان دشت سلماس در جدول ۱ ارائه شده است. در پژوهش حاضر برای انجام

نمودار بسط داده‌شدهٔ دورو نیز به‌کار گرفته شده‌اند. برای رسم نمودارهای مختلف و تهیهٔ نقشه‌ها در پژوهش حاضر از نرم‌افزارهای Rockworks V.16 و ArcGIS V.10 استفاده شده است.

تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار آماری SPSS Statistics V.17 استفاده شده است. همچنین، برای تعیین تیپ و منشأ آب‌های زیرزمینی به‌منظور نشان‌دادن سیر تکاملی هیدروشیمی آب زیرزمینی، دیاگرام‌های پایپر و استیف و

جدول ۱. خصوصیات آماری پارامترهای کیفی آب زیرزمینی آبخوان دشت سلماس

پارامترها	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	واریانس	استاندارد آب آشامیدنی [۱۷]
Ca ²⁺	۲۴/۰۳	۱۴۰/۲۸	۷۰/۱۴	۲۵/۴۶	۶۴۸/۲۱	۷۵
Mg ²⁺	۷/۶۶	۸۵/۰۵	۳۹/۴۵	۱۶/۷۱	۲۷۹/۳۷	۵۰
Na ⁺	۱۴/۴۸	۴۲۳	۹۲/۵۹	۸۶/۲۷	۷۴۴۳/۱۸	۲۰۰
K ⁺	۰/۳۹	۳۸/۳۲	۳/۲۶	۶/۳۳	۴۰/۱۵	۲۰
HCO ₃ ⁻	۱۴/۶۴	۷۹۲/۲۹	۳۰۶/۲۶	۱۷۹/۲۲	۳۲۱۲۲/۹۴	۲۵۰
CO ₃ ⁻	۰	۳۰	۰/۷۳	۳/۰۸	۳۰/۱۷	۷/۸
SO ₄ ²⁻	۶/۲۴	۴۷۷/۱۲	۱۵۴/۵۳	۱۲۶/۸۷	۱۶۰۹۸/۰۴	۲۵۰
Cl ⁻	۸/۵۱	۴۶۰/۵۳	۸۷/۶۲	۹۳/۰۲	۸۶۵۳/۹۵	۲۵۰
NO ₃ ⁻	۰/۰۹	۳۰/۲	۶/۹۴	۶/۸۹	۴۷/۵۸	۵۰
EC	۴۳۵	۲۲۰۰	۸۸۹/۹۵	۳۷۵/۶۳	۱۴۱۰۹۵/۳۵	۳۰۰
pH	۷/۰۵	۸/۸۴	۷/۹۲	۰/۳۶	۰/۱۳۴	۸/۵ - ۶/۵
TDS	۲۲۷/۵	۱۹۵۰	۵۷۸/۷۸	۲۴۴/۲۸	۵۹۶۷۷/۴۳	۵۰۰
SAR	۰/۳۶	۹/۰۹	۲/۱۹	۱/۹۱	۳/۶۴	-
%Na	۱۳/۹۷	۷۷/۴۰	۴۱/۸۵	۱۷/۰۵	۲۹۰/۸۸	-
TH	۱۱۶/۲۲	۵۵۴	۳۳۸/۸۴	۹۴/۱۲	۸۸۵۹/۹۹	-

*. اسیدیته بدون دیمناسیون، هدایت الکتریکی بر حسب (μs cm⁻¹) و بقیهٔ پارامترها برحسب (mg L⁻¹) هستند.

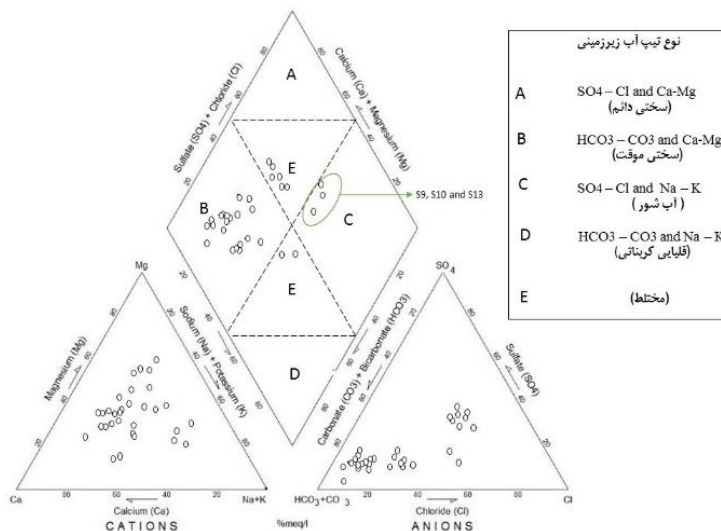
قسمت‌های شمال و شمال غربی دشت هستند، تحت تأثیر سازند قم با لیتولوژی مارن و شیل با میان‌لایه‌های ژئوسپس (سازند قرمز فوقانی به سن میوسن) قرار گرفته‌اند.

برای بررسی دقیق‌تر نتایج آنالیز، نمونه‌های آب‌زیرزمینی روی دیاگرام بسط داده‌شدهٔ دورو پلات شدند (شکل ۵). نمونه‌هایی که در ناحیهٔ ۱ و ۲ دیاگرام قرار دارند، مربوط به مناطق تغذیه یا آب‌هایی هستند که از سنگ‌های آهکی و دولومیتی منشأ گرفته‌اند. در این نمونه‌ها کاتیون‌های Ca²⁺ و Mg²⁺ و آنیون‌های HCO₃⁻ و CO₃²⁻ غالب بوده و به زون B دیاگرام پایپر مربوط‌اند. نمونه‌هایی که در ناحیهٔ ۵ قرار گرفته‌اند، نشان‌دهندهٔ آب‌هایی هستند که اختلاط یا انحلال ساده در آنها رخ داده است [۱۹]. نمونه‌های آب قرارگرفته در ناحیهٔ ۵ نمودار بسط داده‌شدهٔ دورو، متناظر با نمونه‌های زون اختلاط (زون E) در نمودار پایپر هستند. سه نمونه آب در ناحیهٔ ۹ قرار گرفته‌اند، در این ناحیه Cl⁻ و Na⁺ یون‌های غالب هستند و آب‌هایی را نشان می‌دهند که از نظر جریان به خط آخر رسیده باشند [۲۰].

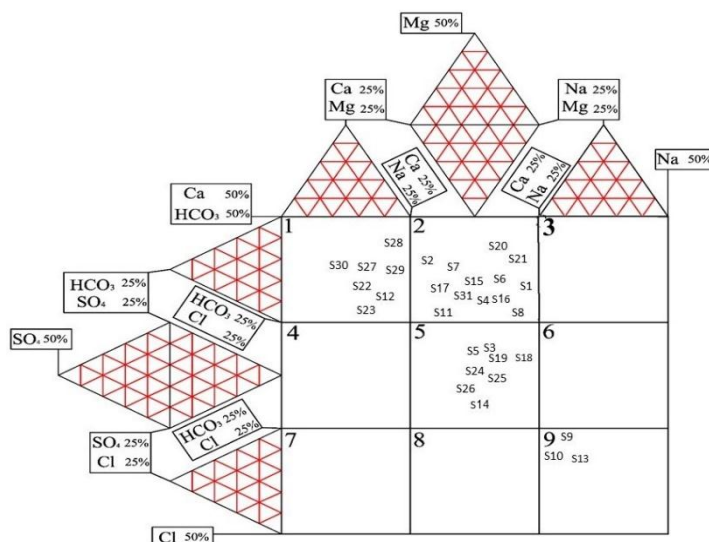
بحث و نتایج

روش‌های گرافیکی

دیاگرام پایپر مربوط به نمونه‌های آب زیرزمینی در شکل ۴ نشان داده شده است. برای تفسیر بهتر نتایج نمودار به پنج زون A, B, C, D, E تقسیم شده است [۱۸]. در زون‌های A, B, C, D دو گروه از کاتیون‌ها و آنیون‌ها غالب‌اند. برای مثال، آنیون‌های SO₄²⁻ و Cl⁻ و کاتیون‌های Ca²⁺ و Mg²⁺ در زون A غالب‌اند. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، بیشتر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت سلماس در زون B قرار می‌گیرند. در این زون آنیون‌های CO₃⁻ و HCO₃⁻ و کاتیون‌های Ca²⁺ و Mg²⁺ غالب هستند و آب‌هایی شیرین با سختی موقت را نشان می‌دهند. تعدادی از نمونه‌ها به‌خصوص نمونه‌های برداشت‌شده از قسمت‌های جنوب شرقی دشت در زون E قرار می‌گیرند، در این زون هیچ آنیون و کاتیونی غالب نیست. در زون C نمودار، که نشان‌دهندهٔ آب‌های شور است، سه نمونه (S9, S10 و S13) قرار گرفته است. این نمونه‌ها، که مربوط به



شکل ۴. دیاگرام پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت سلماس در تیر ۱۳۹۶



شکل ۵. نمودار بسط داده‌شده دورو برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت سلماس در تیر ۱۳۹۶

آنالیز خوشه‌ای سلسله‌مراتبی

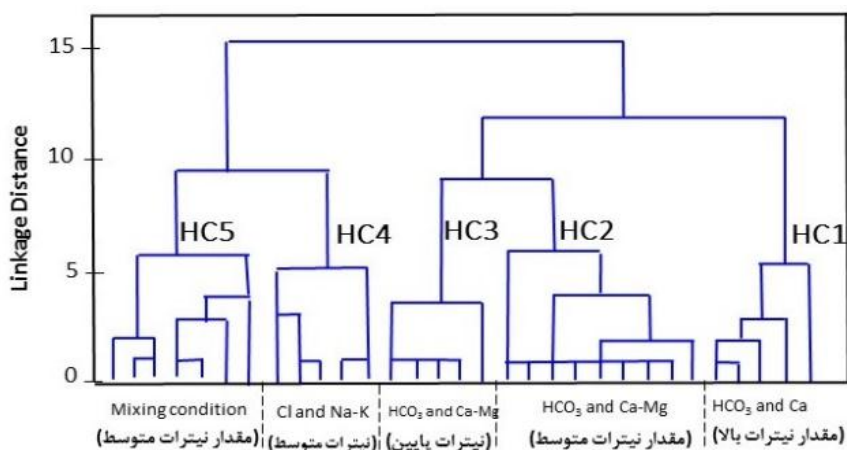
نتایج آنالیز خوشه‌ای سلسله‌مراتبی برای ۳۱ نمونه آب زیرزمینی برداشت‌شده در تیرماه ۱۳۹۶ در شکل ۶ نشان داده شده است. در به‌کارگیری خوشه‌بندی مرتبه‌ای از روش Ward Linkage و برای اندازه‌گیری تفاوت بین گروه‌ها از روش فاصله اقلیدسی^۱ استفاده شد. تعیین تعداد گروه‌ها به صورت قراردادی است و با توجه به مقیاس مطالعات می‌توان با جابه‌جا کردن خط تقسیم، تعداد گروه‌ها را کم یا زیاد کرد. در پژوهش حاضر خط تقسیم ۶/۲ انتخاب شد و براساس خط تقسیم تعریف‌شده، تیپ‌های مختلف آب زیرزمینی

دشت سلماس در پنج گروه HC1 تا HC5 قرار می‌گیرند. از مزایای روش آنالیز خوشه‌ای سلسله‌مراتبی این است که یک نمونه می‌تواند به تنهایی یک گروه را تشکیل دهد. به‌علاوه آنالیز خوشه‌ای سلسله‌مراتبی، توانایی نشان دادن تأثیر غلظت نیترات در طبقه‌بندی نمونه‌ها را دارد، در حالی که روش‌های گرافیکی این توانایی را ندارند [۱۲]. در گروه‌های HC1 تا HC3، Ca^{2+} و HCO_3^- یون‌های غالب هستند و از لحاظ هیدروشیمی با گروه‌های HC4 و HC5 متفاوت‌اند. این سه گروه (HC1 تا HC3) آب‌هایی هستند که به مناطق تغذیه مربوط بوده و یا از سنگ‌های آهکی و دولومیتی منشأ گرفته‌اند. در گروه HC4، Cl^- و Na^+ غالب هستند، که

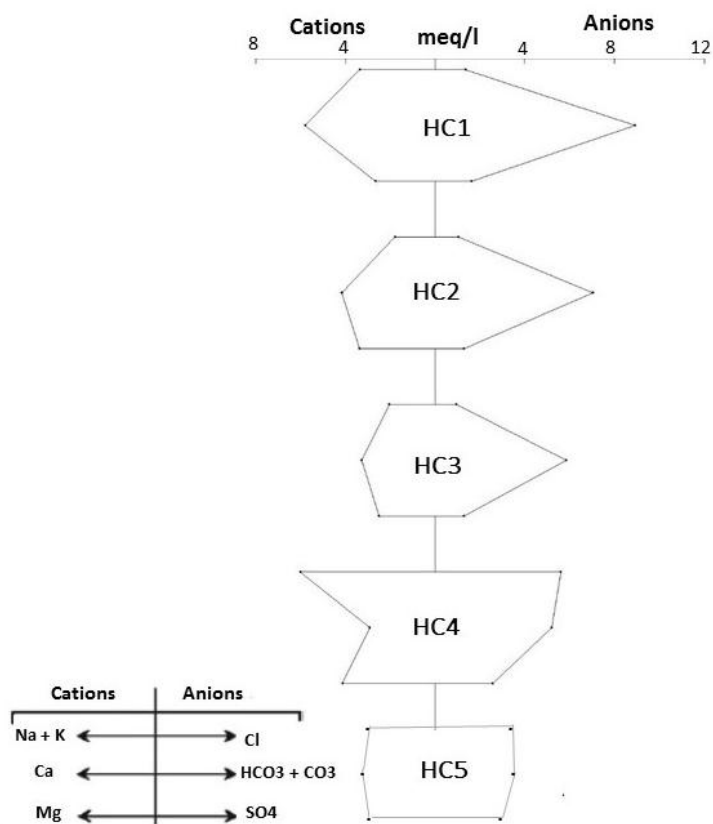
1. Euclidean Distance

نشان داده شده است. بیشترین مقدار NO_3^- در گروه HC1 و کمترین مقدار آن در گروه HC3 دیده می‌شود. نمونه‌های آب قرارگرفته در گروه HC1 مربوط به مناطقی هستند که فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی فراوان است (قسمت‌های میانی دشت سلماس).

مربوط به نمونه‌های آب برداشت‌شده از شمال و شمال غرب دشت که تحت تأثیر سازند قم قرار گرفته‌اند و نیز قسمت‌های انتهایی دشت هستند. گروه HC5 نمونه‌های هستند که تحت تأثیر انحلال ساده یا اختلاط قرار گرفته‌اند. در این گروه هیچ آنیون و کاتیون غالبی نداریم. نمودار استیف مربوط به گروه‌های مختلف آب زیرزمینی در شکل ۷



شکل ۶. نتایج آنالیز خوشه‌ای سلسله‌مراتبی برای نمونه‌های آب برداشت‌شده از آبخوان دشت سلماس



شکل ۷. نمودار استیف برای گروه‌های مختلف به دست آمده از خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی

تجزیه و تحلیل فاکتوری

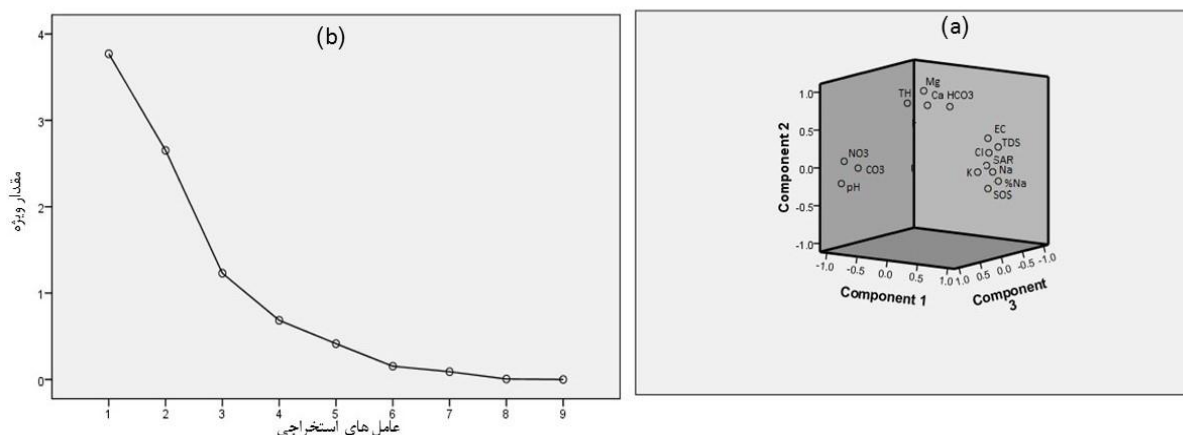
برای مشخص کردن ارتباط بین پارامترها و متغیرها در هیدروژئوشیمی دشت سلماس روش تحلیل عاملی به کار برده شد. انطباق مثبت و منفی زیاد بین متغیرها و عامل‌ها براساس بارهای عاملی زیاد به طور نسبی نزدیک به ۱ و -۱ است. علاوه بر این، روش چرخش واریماکس [۲۱] برای متمایز کردن متغیرهایی با بارهای عاملی زیاد (نزدیک به ۱ تا -۱) از متغیرهایی با بارهای عاملی کم (نزدیک به صفر) به کار برده شده است. براساس نتایج به دست آمده از تحلیل عاملی، عواملی با مقدار ویژه بیشتر از یک، سه عامل هستند (شکل ۸-b) که برای تحلیل و تفسیر فرایندهای هیدروشیمیایی در آبخوان دشت سلماس استفاده شدند. این عامل‌ها ۸۵/۰۳

درصد از کل واریانس داده‌ها را شامل می‌شوند (جدول ۲). از میان عوامل به دست آمده، عامل اول ۳۹/۲۵ درصد واریانس کل داده‌ها را شامل می‌شود که مؤثرترین عامل بر تغییر کیفیت آب است. عامل دوم ۲۲/۸ درصد و عامل سوم ۱۵/۹۸ درصد از واریانس کل داده‌ها را شامل می‌شوند. شکل (۸-a) پارامترهای مؤثر در هر عامل را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۸-a) نشان داده شده است، پارامترهای مؤثر در عامل اول شامل یون‌های سدیم، پتاسیم، سولفات، کلر و نیز هدایت الکتریکی، مواد جامد محلول، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم هستند. پارامترهای مؤثر در عامل دوم کلسیم، منیزیم، سختی کل و بی‌کربنات هستند و عامل سوم نیتрат، کربنات و اسیدیته را شامل می‌شود.

جدول ۲. عوامل استخراجی و مقادیر واریانس آنها

عوامل	مقدار ویژه اولیه		مجموع چرخش مربع بارها	
	کل	% واریانس	کل	% واریانس
۱	۳/۷۷	۴۱/۹۰	۳/۳۷	۳۹/۲۵
۲	۲/۶۵	۲۹/۴۶	۲/۶۶	۲۹/۸
۳	۱/۲۳	۱۳/۶۶	۱/۶۳	۱۵/۹۸
۴	۰/۶۸	۷/۶۱		
۵	۰/۴۱	۴/۶۰		
۶	۰/۱۵	۱/۷۰		
۷	۰/۰۹	۰/۹۹		
۸	۰/۰۰۵	۰/۰۶		
۹	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲۱		

* Extraction Method: Principal Component Analysis



شکل ۸. (a) نمایش بارهای عاملی مؤثر در هر عامل استخراجی؛ (b) تصویر گرافیکی از مقدار ویژه در هر یک از عامل‌ها

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت سلماس و دیاگرام پایپر، تیپ غالب آب زیرزمینی بی‌کربنات کلسیم- منیزیم است، اگرچه نمونه‌های برداشت‌شده از قسمت‌های جنوب شرقی و انتهایی دشت تیپ مختلط را نشان می‌دهند. به‌جز نمونه‌هایی که در قسمت‌های شمالی و شمال غربی و در تماس با سازند قم هستند، آب‌های این دشت جزء آب‌های شیرین و دارای سختی موقت در نظر گرفته می‌شوند. دیاگرام بسط داده‌شده دورو فرایندهای تعویض یونی و اختلاط را در نمونه‌های جنوب شرقی دشت به‌خوبی نشان می‌دهد. براساس نتایج آنالیز خوشه‌ای سلسله‌مراتبی، نمونه‌های آب زیرزمینی دشت سلماس در پنج کلاس قرار می‌گیرند. آنالیز خوشه‌ای سلسله‌مراتبی به خلاف روش‌های گرافیکی، غلظت نیترات را نیز در طبقه‌بندی نمونه‌ها در نظر می‌گیرد. نمونه‌های گروه HC1 و HC3 به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار نیترات را دارند. نمودارهای استیف مربوط به گروه‌های HC1 تا HC5 سه منشأ اصلی برای آب زیرزمینی در دشت سلماس را نشان می‌دهند، به طوری که سه گروه HC1 تا HC3 آب‌هایی هستند که مربوط به مناطق تغذیه هستند و یا از سنگ‌های آهکی و دولومیتی منشأ گرفته‌اند. در گروه HC4، Na^+ و Cl^- غالب هستند، که مربوط به نمونه‌های آب برداشت‌شده از شمال و شمال غرب دشت که تحت تأثیر سازند قم قرار گرفته‌اند و یا مربوط به قسمت‌های انتهایی دشت هستند. گروه HC5 نمونه‌های هستند که تحت تأثیر انحلال ساده یا اختلاط تشخیص داده شد. نتایج نشان می‌دهند عامل‌های اول و دوم زمین‌زاد هستند و تأثیر سازندهای زمین‌شناسی را روی هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی نشان می‌دهند، به طوری که عامل اول مرتبط با سازندهای الیگو-میوسن (OMrb)، میوسن (Mur) و پلیوسن (PLQc) است و عامل دوم مرتبط با مناطق تغذیه است که تحت تأثیر انحلال کانی‌های موجود در سنگ‌های آهکی، دولومیتی و آذرین و تماس هرچه بیشتر این سنگ‌ها با جریان آب قرار گرفته است و آبخوان در این مناطق بهترین کیفیت آبی را دارد. عامل انسان‌زاد بوده و حاصل فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای کشاورزی است. این عامل در قسمت‌های میانی دشت که فعالیت‌های کشاورزی بیشتر از

نتایج تجزیه به عوامل پس از چرخش واریماکس در جدول ۳ آورده شده است. از میان ضرایب هر عامل، ضرایبی که در جدول ۳ با خط‌چین نشان داده شده‌اند، نشان‌دهنده پارامترهای مؤثر بر آن عامل هستند. مقدار زیاد امتیاز فاکتوری^۱ حاصل از عامل اول، مربوط به مناطقی است که سازندهای الیگو-میوسن (OMrb)، میوسن (Mur) و پلیوسن (PLQc) رخنمون دارند که بیشتر در قسمت‌های شمالی دشت قابل مشاهده‌اند (شکل ۲). بنابراین، عامل اول را می‌توان عامل شوری دشت دانست. عامل دوم در قسمت‌های غربی و جنوب غربی دشت (مناطق تغذیه آبخوان) بیشترین مقدار امتیاز فاکتوری را دارد. عامل دوم حاصل تعادل آب-سنگ است که در زمینه انحلال سنگ‌های حاوی ترکیبات کلسیم و منیزیم است. عامل سوم در قسمت‌های میانی دشت که فعالیت کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژنه فراوان است، بیشترین مقادیر را نشان می‌دهد. عامل‌های اول و دوم را که مبین تأثیر سازندهای زمین‌شناسی منطقه بر هیدروژئوشیمی دشت است، زمین‌زاد^۲ در نظر می‌گیریم و عامل سوم انسان‌زاد^۳ است.

جدول ۳. نتایج تجزیه به عوامل بعد از چرخش واریماکس

پارامتر	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم
Ca^{2+}	۰/۰۳	۰/۸۱	۰/۲۰
Mg^{2+}	۰/۰۱	۰/۹۳	۰/۲۴
HCO_3^-	۰/۲۹	۰/۸۰	۰/۰۴
CO_3^-	-۰/۰۵	-۰/۲۶	۰/۶۸
Na^+	۰/۹۶	۰/۱۰	۰/۱۳
K^+	۰/۶۹	-۰/۱۵	-۰/۲۹
SO_4^{2-}	۰/۷۴	-۰/۴۳	۰/۰۸
Cl^-	۰/۸۲	۰/۱۹	۰/۳۴
NO_3^-	۰/۰۳	۰/۱	۰/۸۷
EC	۰/۷۹	۰/۳۷	۰/۲۸
pH	-۰/۱۱	-۰/۲۳	۰/۸۹
TH	-۰/۱۶	۰/۸۵	۰/۳۰
TDS	۰/۹۳	۰/۱۲	-۰/۲۵
SAR	۰/۹۷	-۰/۰۱	۰/۰۵
%Na	۰/۹۲	-۰/۱۶	-۰/۲۰

1. High Score Factor
2. Geogenic
3. Anthropogenic

- geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system. *Journal of Hydrology*. 2008; 353(4): 294-313.
- [12]. Nadiri AA, Moghaddam AA, Tsai FTC, Fijani E. Hydrogeochemical analysis for Tasuj plain aquifer, Iran. *Journal of Earth System Science*. 2013; 122(4): 1091-1105.
- [13]. Nadiri AA, Moghaddam AA, Sadeghiaghdam F, Naderi K. The assessment of salinity and arsenic as the destructive factors affecting on surface and groundwater quality of Sahand dam water basin. *Journal of Hydrogeomorphology*. 2017; 1(4): 79-99 [Persian].
- [14]. Voundouris K, Panagopoulos A, Koumantakis J. Multivariate statistical analysis in the assessment of hydrochemistry of the Northern Korinthia Prefecture Alluvial Aquifer System (Peloponnese, Greece). *Journal of Natural Resource Research*. 2000; 9(2): 135-145.
- [15]. Liu CW, Lin KH, Kuo YM. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a black food disease area in Taiwan. *Journal of Science of Total Environment*. 2003; 313: 77-89.
- [16]. Khodabandeh A, Soltani A, Sartipi A. Geological map of the Salmas, Scale: 1/100000. Geological Survey of Iran. 1996 [Persian].
- [17]. World Health Organization (WHO). A framework for safe water drinking water. Guidelines for drinking water quality recommendation. 3th ed. Geneva: WHO press, 2006.p. 22-35.
- [18]. Todd DK, Mays LW. *Groundwater Hydrology*. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons Press; 2005.
- [19]. Lloyd IW. The hydrochemistry of the aquifers of northeastern Jordan. *Journal of Hydrology*. 1965; 3(3-4): 319-330.
- [20]. Lloyd JW, Heathcote JA. *Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater-An introduction*, 1nd ed. Oxford: Clarrendon Press; 1985.
- [21]. Kaiser HF. The Varimax Criterion for analytic rotation in factor analysis. *Journal of Psychometrical*. 1958; 23(3): 187-200.
- مناطق دیگر است، عامل اصلی کنترل کننده کیفیت آب است.
- منابع**
- [1]. Hounslow AW. *Water Quality Data Analysis and Interpretation*. 1nd ed. Florida: CKC press; 1995.
- [2]. Jalali L, Moghaddam AA. Detection of hydrogeochemical status and salinity trend in Khoy plain aquifer by statistical and hydrochemical methods. *Journal of Environmental Studies*. 2013; 39(2): 113-122 [Persian].
- [3]. Aghazadeh N, Moghaddam AA. Investigation of hydrochemical characteristics of groundwater in the Harzandat aquifer, Northwest of Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2011; 176:183-195.
- [4]. Piper AM. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses, *Transactions American Geophysical Union*. 1994; 25: 914-923.
- [5]. Fijani E, Moghaddam AA, Tsai FTC, Tayfur G. Analysis and assessment of hydrochemical characteristics of Maragheh-Bonab plain aquifer, Northwest of Iran, *Journal of Water Resource Management*. 2017; 31(3): 765-780.
- [6]. Singhal BBS, Gupta RP. *Applied hydrogeology of fractured rocks*. 1nd ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 1999.
- [7]. Stiff HA. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. *Journal of Petroleum Technology*. 1951; 3(10): 60-62.
- [8]. Dalton MG, Upchurch SG. Interpretation of hydrochemical faces by factor analysis, *Journal of Groundwater*. 1978; 16(4): 228-233.
- [9]. Reghunath R, Murthy TRS, Raghvan BR. The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India. *Journal of Water Research*. 2002; 36: 2437-2442.
- [10]. Chen K, Jiao JJ, Huang J, Huang R. Multivariate statistical evaluation of trace elements in groundwater in coastal area in Shenzhen, China. *Journal of Environmental Pollution*. 2007; 147(3): 771-780.
- [11]. Cloutier V, Lefebvre R, Therrien R, Savard MM. Multivariate statistical analysis of