هیدروژئولوژی، سال ششم، شماره ۲، زمستان ۱۴۰۰
Hydrogeology, Volume 6, No. 2, Winter 2022

بررسی تعاملات ژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی پلانژ تاقدیس کمردراز با استفاده از روش‌های آماری، جنوب غرب شهر ایذه

سید یحیی میرزایی ارجنکی*[1]، سرور مزرعه اصل[2]، حسین کریمی وردنجانی[3]

۱- استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
۲- کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، شرکت مهندسین مشاور بهکارآب، اهواز، ایران
۳- دکتری هیدروژئولوژی، شرکت مهندسین مشاور آب آتی پژوه، شیراز، ایران
* نویسنده مسئول: Yahyamirzaee@scu.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱۸

چکیده

منابع آب سفره‌های کارستی یکی از مهم‌ترین منابع آب شیرین و در برخی مناطق تنها منابع آب در دسترس می‌باشند. این منابع با چالش‌های اساسی ازجمله کاهش کیفیت و آلودگی مواجه می‌باشند. شهر ایذه در جنوب‌غربی ایران به دلیل عدم دسترسی به جریان‌های آب سطحی به‌شدت به منابع آب کارستی وابسته است. به راین اساس، برای تأمین بخشی از آب آشامیدنی شهر و روستاهای اطراف آن، پنج حلقه چاه آب در پلانژ تاقدیس کمردراز حفر شد. در حین حفاری در منطقه اتابکی دو حلقه چاه بانفوذ گاز H_2S روبرو شدند و EC در این چاه‌ها در حین حفاری افزایش یافت. جهت بررسی علل تغییرات کیفی در این منطقه، پارامترهای شیمیایی منابع آب منطقه در ۴ مرحله و در دو فصل بهار و تابستان ۱۳۹۶-۱۳۹۷ اندازه‌گیری شد. جهت تمایز منابع شوری و اختلاط منابع آب با شورابه از نسبت یون‌های Na/Cl، Br/Cl و I/Cl استفاده گردید. شاخص کل کربن آلی (TOC) نیز برای بررسی نفوذ هیدروکربورها در آب استفاده شد. در این تحقیق از تجزیه‌وتحلیل آماری ازجمله PCA و AHC جهت بررسی دقیق‌تر عوامل مؤثر در تغییرات کیفی منطقه بهره گرفته شد. بر اساس تحلیل آماری در منطقه دو عامل انحلال کانی‌های کربناته، تبخیری و نفوذ شورابه‌ها توأمان کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه را به‌ویژه در بخش غربی پلانژ تاقدیس کمردراز تحت تأثیر قرار داده‌اند. نتایج آنالیز TOC و نسبت‌های Na/Cl، Br/Cl و I/Cl اختلاط آب با شورابه‌های نفتی و نفوذ مواد هیدروکربوری را در منطقه نشان داد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان کارستی، پارامترهای هیدروشیمیایی، تحلیل سلسله مراتبی، تحلیل مؤلفه اصلی.

مقدمه

آبخوان‌های کارستی کربناته از منابع بسیار مهم آب شیرین در جهان هستند به‌طوری‌که مصارف ۲۵ درصد جمعیت جهان وابسته به این منابع است (Ford and Williams, 2007). کیفیت منابع آب کارستی به‌دلیل استفاده‌ای این منابع در تأمین آب شرب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. فرایندهای ژئوشیمیایی مسئول تغییرات فصلی و مکانی شیمی آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف می‌باشند. این فرآیندها به درک ما از سهم تعاملات آب با سنگ همچنین تأثیر سایر عوامل و منابع بر کیفیت آب‌های زیرزمینی کمک می‌کند (Kumar et al., 2006) (جلالی و همکاران، ۱۳۹۲). از عواملی که باعث آلودگی آبخوان‌های کارستی کربناته می‌شود می‌توان به حضور سازندهای تبخیری و هم‌جواری با مخازن نفتی و ورود شورابه‌ها به این منابع اشاره کرد (Ghodbane et al., 2015) (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۴).

شورابه‌های حاصل از انحلال سازندهای تبخیری باعث افزایش نسبت مولی یکسان یون‌های Na^+ و Cl^- در آب می‌شود Leonard (and Ward, 1962) علاوه بر آن امکان افزایش غلظت SO_4^{2-} و Ca^{2+} نیز به‌علت انحلال کانی‌های ژیپس و انیدریت در این شرایط وجود دارد. از طرفی نفوذ شورابه‌های نفتی علاوه بر یون‌های مذکور باعث ورود یون‌های Br^- و I^- و افزایش غلظت کل کربن آلی در آب می‌گردد (Thilagavathi et al., 2016; Fan et al., 2010). در ارزیابی‌های هیدروشیمیایی و بررسی تعاملات ژئوشیمیایی، نمودار پایپر و نمودارهای تبادل یونی، تیپ آب و فرآیندهای ژئوشیمیایی غالب، نسبت‌های یونی Na/Cl، Br/Cl و I/Cl همچنین سایر یون‌های اصلی Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^+، Cl^-، SO_4^{2-} و HCO_3^- برای تمایز منشأ شوری و اختلاط آب‌شور و شیرین استفاده می‌شود (Richter and Kreitler, 1991; Whittemore, 1995; Catwright et al., 2006; Hatefi et al., 2007 (چیت‌سازان و همکاران، ۱۳۹۱؛ سامانی و همکاران، ۱۳۹۹؛ حبیبی نیا و همکاران، ۱۴۰۰). روش‌های آماری چندمتغیره به‌عنوان یک روش تکمیلی در تحلیل کیفیت، تفسیر فرآیندهای ژئوشیمیایی آبخوان و تعیین منشأ یون‌ها محلول در آب کمک به سزایی می‌کند. مقایسه تغییرات پارامترهای چاه‌ها می‌تواند در تعیین منابعی که تحت‌تأثیر آلودگی قرارگرفته‌اند و تغییرات بیشتری را متحمل شده‌اند کمک کند به‌علاوه با این مقایسه می‌توان منابعی که با یکدیگر ارتباط هیدرولیکی دارند شناسایی نمود. محققین متعددی از این روش‌ها برای بررسی فرآیندهای هیدروشیمیایی حاکم بر آبخوان‌های استفاده نموده‌اند.

Glover et al. (2012) از روش‌های هیدروشیمیایی، نمودارهای ترسیمی و روش‌های آماری چندمتغیره به‌منظور شناسایی و درک فرآیندهای هیدروشیمیایی و هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی در منطقه آکرا استفاده کردند. بررسی نتایج تحلیل عاملی R-Mode و خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی (HCA) نشان داد که به‌طورکلی افزایش EC و TDS، ناشی از انحلال کانی‌ها و واکنش آب و سنگ همچنین زمان ماندگاری آب در آبخوان بوده است. بر اساس تفسیرهای هیدروشیمیایی انجام‌شده، فرآیندهای تبادل یونی، تبادل یونی معکوس و هوازدگی سنگ ترکیب شیمیایی آب منطقه آکرا را کنترل می‌کند. دولتی و همکاران (۱۳۹۳) طی مطالعه‌ای عوامل کیفی مؤثر بر آبخوان زاهدان را با استفاده از روش‌های آماری و نمودارهای ترکیبی تعیین کردند. نتایج نشان داد، دو عامل، کیفیت آب زیرزمینی منطقه را کنترل می‌کند. چیت‌سازان و همکاران (۱۳۹۷) با کمک روش‌های چندمتغیره آماری، آلودگی نیترات و ارتباط آن با سایر پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان کرج را شناسایی کردند. تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی PCA نشان داد پارامتر نیترات با کلر بیشترین و با سدیم و سولفات کمترین همبستگی را دارد. کلانتری همکاران (۱۳۹۷) به‌منظور بررسی فرآیندهای ژئوشیمیایی حاکم بر دشت بستان از روش‌های آماری چندمتغیره PCA و HCA استفاده کردند. بر این اساس سه رخساره با شوری زیاد (Na-Cl)، شوری کمتر (Ca-Na-SO_4-Cl) شوری حد واسط (Na-Mg-Cl) در منطقه شناسایی شد. شهرستان ایذه و روستاهای اطراف آن واقع در جنوب‌غربی ایران به‌دلیل عدم دسترسی به جریان‌های آب سطحی برای تأمین آب شرب به‌شدت وابسته به منابع آب کارستی است که به‌منظور تأمین این آب، در محدوده پلانژ تاقدیس کمردراز تعداد ۵ حلقه چاه از سال ۱۳۸۶ تاکنون حفرشده است (سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۹۵). از میان چاه‌های حفرشده، دو چاه بهره‌برداری بانام‌های A تنگ اتابکی و B تنگ اتابکی (WT) در نزدیکی هم در محدوده غربی پلانژ تاقدیس کمردراز حفر شدند که هر دو چاه حین حفاری با مشکل نفوذ گاز H_2S و افزایش زیاد EC مواجه شده و از مدار بهره‌برداری خارج شدند. لذا با توجه به نیاز آبی این منطقه، این تحقیق باهدف بررسی تعاملات هیدروشیمیایی منابع آب تاقدیس، علل تغییر کیفیت و تعیین منابع شوری انجام پذیرفت.

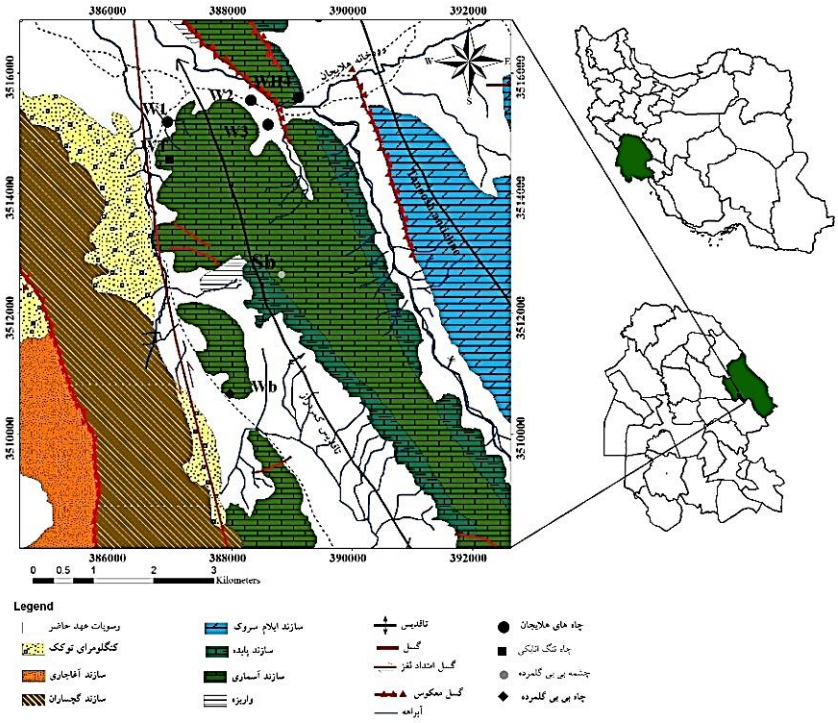
مواد و روش‌ها

جهت بررسی فرآیندهای هیدروشیمیایی حاکم بر کیفیت منابع آب منطقه همچنین تعیین منابع شوری از تحلیل نسبت‌های یونی معرف، نمودارهای گرافیکی نمودارهای تعیین منابع شوری و TOC به‌عنوان روش‌های کلاسیک استفاده گردید (Richter and Kreitler, 1991; Hounslow, 1995; Sarikhani

(et al., 2015; Jean et al., 2016; Mahmoudi et al., 2017). روش‌های مذکور در کنار فن‌های آماری چندمتغیره ازجمله تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل خوشه‌بندی سلسله-مراتبی (HCA) به‌عنوان ابزاری مفید جهت افزایش دقت تحلیل و تفسیر داده‌ها به‌ویژه در غلظت‌های پایین شوری به‌کار می‌رود. لذا در این تحقیق از این روش‌ها نیز جهت تحلیل دقیق‌تر فرایندهای حاکم بر منابع آب منطقه استفاده گردید.

زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

تاقدیس آهکی کمردراز در محدوده شمال‌شرقی استان خوزستان در جنوب‌غربی شهر ایذه واقع شده است. (شکل ۱) این تاقدیس یک چین‌خوردگی نامتقارن و تک‌یال است و در کمربند زاگرس چین‌خورده که ازلحاظ تکتونیکی بسیار فعال است قرار دارد. یال جنوب‌غربی تاقدیس تحت‌تأثیر شدت فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه به‌شدت خردشده و به‌جز در بخش‌های کوچکی کاملاً از بین رفته است. رخنمون این تاقدیس عمدتاً از سازند آسماری به سن الیگو-میوسن تشکیل‌شده است. در محدوده یال فرسایش یافته (یال جنوب‌غربی) بخش بالایی، میانی و تحتانی سازند آسماری قابل‌رؤیت است. آسماری عمدتاً از آهک، دولومیت و در بخش پایینی از میان لایه‌های مارن و انیدریت تشکیل‌شده است (طهماسبی سروستانی و همکاران، ۱۳۸۸). در بخش زیرین سازند آسماری سازند پابده قرار دارد که از رسوبات شیل، مارن و آهک با درصد متفاوت تشکیل‌شده است (هداوندخانی و همکاران، ۱۳۹۷). سازند پابده از دو سمت، یال‌های شرقی و غربی تاقدیس را محدود می‌کند. سازند گچساران عمدتاً متشکل از کانی‌های تبخیری ژیپس و مقادیر کمتر مارن (آقانباتی، ۱۳۸۵) در بخش غربی تاقدیس رخنمون دارد. تعدد درز و شکاف‌های عمودی و افقی و ارتباط این درز و شکاف‌ها با یکدیگر، توأم با تغذیه مناسب از نزولات جوی باعث ایجاد این آبخوان کارستی شده است. اشکال کارستی در بخش میانی سازند آسماری در این آبخوان به‌وفور دیده می‌شود. با استفاده از داده‌های ۱۳۹۰-۱۳۹۶ ایستگاه هواشناسی باران‌گرد که نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه است، میانگین بارش سالیانه منطقه طی این سال‌ها ۴۸۰ میلی‌متر و میانگین دما ۲۱ درجه سانتی‌گراد است. با استفاده از پارامترهای هواشناسی و بر اساس طبقه‌بندی دومارتن آب‌وهوای منطقه نیمه‌خشک تعیین گردید.



شکل ۱- موقعیت تاقدیس کمردراز، منابع نمونه‌برداری و رخنمون سازندها در منطقه

نمونه‌برداری و آنالیزها

به‌منظور بررسی‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی در ماه‌های تیر و شهریور سال ۱۳۹۶ همچنین در دو ماه فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۷ بازدیدهای میدانی انجام گردید. تعداد ۳ نمونه از اعماق ۶۹، ۹۷ و ۱۰۰ متری چاه تنگ اتابکی (WT) حین حفاری و تعداد ۱۶ نمونه از چاه‌های هلایجان یک (یک مرحله نمونه‌برداری در شهریورماه، ۱۷ روز پس از بارندگی انجام شد)، دو، سه، چهار (W1، W2، W3، W4) و چشمه بی‌بی‌گل‌مرده (Sb) برداشت گردید. به‌منظور بررسی‌های آماری داده‌ها، علاوه بر نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت‌شده، از اطلاعات کیفی اخذشده از شرکت آب و فاضلاب استان خوزستان مربوط به سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۶ چاه‌های مذکور و چاه بی‌بی‌گل‌مرده (Wb) استفاده گردید. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در جدول ۱ قیدشده است. آنالیز آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی (Ca^{2+}، Na^{+}، Mg^{2+}، K^{+}، HCO^{3-}، SO_4^{2} و Cl^{-})، TDS و EC در آزمایشگاه سازمان آب و برق استان خوزستان، آنالیز یون‌های Br و I در آزمایشگاه آرین فن آزما و کل کربن‌آلی (TOC) در آزمایشگاه فناور اندیشه کامیار گستر اندازه‌گیری شد. روش آنالیز پارامترهای هیدروشیمیایی نمونه‌های برداشت‌شده در جدول ۲ و نتایج آنالیز کیفی در جدول ۳ ذکرشده است. نمونه‌ها در ظرف‌های یک لیتری پلی‌اتیلن جمع‌آوری و به آزمایشگاه ارسال شدند. درستی و صحت نتایج سنجیده شد (رابطه ۱) که بر اساس آن خطای داده‌ها کمتر از ۵ درصد تعیین گرد.

$$ReactionError = \frac{\sum Cation - \sum Anion}{\sum Cation + \sum Anion} \times 100 \qquad (۱)$$

جدول ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری

نام	UTM (Y)	UTM (X)	بازه زمانی نمونه‌برداری	تعداد نمونه	علامت اختصاری
چاه هلایجان ۱	۳۵۱۵۱۸۶	۳۸۶۹۲۹	تابستان-بهار	۴	W1
چاه هلایجان ۲	۳۵۱۵۵۴۵	۳۸۸۳۱۲	تابستان-بهار	۴	W2
چاه هلایجان ۳	۳۵۱۵۱۴۲	۳۸۸۵۹۸	تابستان-بهار	۴	W3
چاه هلایجان ۴	۳۵۱۵۵۹۱	۳۸۹۱۰۴	تابستان-بهار	۴	W4
چاه تنگ اتابکی	۳۵۱۴۵۷۰	۳۸۶۹۵۳	زمستان	۳	WT69 WT97 WT100
چشمه بی‌بی‌گل‌مرده	۳۵۱۲۶۵۰	۳۸۸۸۲۶	تابستان	۲	Sb
چاه بی‌بی‌گل‌مرده	۳۵۱۰۶۷۰	۳۸۷۹۶۰	تابستان	۱	Wb

جدول ۲- روش‌های آنالیز نمونه‌های آب.

پارامتر اندازه‌گیری شده	نشانه اختصاری	روش آزمایش
سولفات	SO_4^{2-}	اسپکتروفتومتر
بی‌کربنات	HCO_3^{-}	تیتراسیون
کلرید	Cl^{-}	تیتراسیون
پتاسیم	K^{+}	شعله‌سنجی
سدیم	Na^{+}	شعله‌سنجی
منیزیم	Mg^{2+}	تیترسنجیETDA
کلسیم	Ca^{2+}	تیترسنجیETDA
هدایت الکتریکی	EC	هدایت سنج
اسیدیته	pH	پتانسیومتر
برمید	Br^{-}	رنگ سنجی فنول قرمز
یدید	I^{-}	کاهش کاتالیزوری
کل کربن آلی	TOC	اسپکتروفتومتر

جدول ۳-پارامترهای هیدروشیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی.

Parameters	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	TDS mg/L	EC µmho/cm	pH	Br^- mg/L	I^- mg/L
	meq/L											
WT69	۴/۵۲	۱/۷۲	۰/۹۱	۰/۰۵	۴/۴	۱/۷۸	۰/۸۲	۴۲۴	۶۴۲	۷/۸	–	–
WT97	۶/۴۵	۲/۶۹	۳/۶۲	۰/۰۶	۳/۲۳	۴/۹۹	۴/۴	۷۴۶	۱۱۳۰	۷/۸	–	–
WT100	۷/۰۸	۲/۵۷	۵/۸۴	۰/۰۷	۲/۹۵	۵/۶۱	۶/۸	۹۲۰	۱۴۳۸	۷/۹	۴/۹۱	۰/۰۱۸
W۱۰۴-۹۶	۵/۱۳	۱/۸۴	۲/۵۱	۰/۰۵	۳/۷۳	۲/۷۲	۲/۸۸	۵۵۰	۸۶۰	۷/۳	۰/۹۳	۰/۰۳۳
W۱۹۶-۰۶	۴/۳۷	۲/۴۳	۲/۵۱	۰/۰۴	۳/۲۲	۲/۸۷	۳/۰۶	۵۴۰	۸۴۴	۷/۵	۰/۶۲	۰/۰۱۲
W۱۹۷-۰۱	۴/۶۷	۲/۱	۲/۹۹	۰/۰۴	۳/۶۷	۱/۷۳	۴/۲	۵۶۷	۹۱۴	۷/۵	-	–
W۱۹۷-۰۲	۴/۵۳	۲/۲۸	۲/۶	۰/۰۴	۳/۷۱	۲/۵	۳/۰۴	۵۵۶	۸۶۸	۷/۵	۰/۷۴	۰/۰۱۹
W۲۹۶-۰۴	۳/۱۷	۲/۱۳	۰/۵۸	۰/۰۲	۲/۹۴	۱/۸۸	۰/۸۸	۱۸۱/۲	۳۰۲	۷/۵	–	–
W۲۹۶-۰۶	۳/۱۲	۲/۳۷	۰/۶۲	۰/۰۲	۳/۳۷	۱/۶۴	۰/۹۲	۲۸۷	۴۸۷	۷/۵	–	–
W۲۹۷-۰۱	۳/۷۲	۰/۷۸	۰/۶۶	۰/۰۲	۳/۴۳	۰/۵۱	۱/۰۴	۲۸۵	۴۹۲	۷/۵	–	–
W۲۹۷-۰۲	۳/۰۹	۱/۳۶	۰/۵۸	۰/۰۲	۳/۴	۰/۵	۰/۹۵	۲۸۹	۴۹۰	۷/۴	۰/۹۷	۰/۰۴۴
W۳۹۶-۰۴	۳/۰۲	۱/۸۸	۰/۴	۰/۰۲	۳/۱۵	۱/۴۳	۰/۵۴	۲۴۶	۴۱۷	۷/۶	–	–
W۳۹۶-۰۶	۳/۰۶	۱/۴۹	۰/۳۳	۰/۰۲	۲/۷۵	۱/۴۹	۰/۴۶	۲۶۷	۴۰۴	۷/۷	–	–
W۳۹۷-۰۱	۳/۳۸	۰/۵۶	۰/۵۸	۰/۰۲	۳/۵۳	۰/۴	۰/۸۸	۲۵۷	۴۵۱	۶/۵	–	–
W۳۹۷-۰۲	۳/۳۳	۱/۱۷	۰/۶۶	۰/۰۲	۳/۴۶	۰/۴۶	۱/۰۶	۳۲۱	۵۱۰	۷/۵	۰/۶۵	۰/۰۳۲
W۴۹۶-۰۴	۴/۷۵	۱/۷۷	۰/۸۴	۰/۰۲	۳/۱۴	۲/۹۳	۱/۱۱	۳۴۶	۵۱۶	۷/۴	–	–
W۴۹۶-۰۶	۲/۹۵	۱/۷۱	۱/۳۱	۰/۰۲	۲/۹۲	۱/۴۵	۱/۴۲	۳۵۸	۵۵۹	۷/۷	–	–
W۴۹۷-۰۱	۳/۴	۱/۴۳	۱/۴۵	۰/۰۲	۳/۴۳	۱/۰۶	۱/۶۱	۳۳۳	۵۸۴	۷/۴	–	–
W۴۹۷-۰۲	۳/۲۹	۱/۴۶	۱/۴۵	۰/۰۳	۳/۱۷	۱/۳	۱/۵۶	۳۸۵	۶۰۲	۷/۵	۰/۷۸	۰/۰۸۲
Sb۹۶-۰۴	۲/۳۳	۱/۰۴	۰/۲۶	۰/۰۳	۲/۵۶	۰/۵۲	۰/۳۸	۱۵۸	۲۷۳	۷/۷	–	–
Sb۹۶-۰۶	۱/۴۶	۱/۳۴	۰/۱۸	۰/۰۲	۲/۱۷	۰/۳۸	۰/۲۵	۱۴۹	۲۵۷	۷/۶	–	–

تکنیک‌های آماری چندمتغیره

روش‌های آماری چندمتغیره در تعیین و تفسیر روابط پارامترهای هیدروشیمیایی، فرآیندهای ژئوشیمیایی و آلودگی منابع آب دارای کاربرد زیادی می‌باشند. در تحقیق حاضر از تکنیک‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی به‌عنوان روشی جهت تفسیر دقیق‌تر داده‌های هیدروشیمیایی و تعیین علت شوری استفاده شد. در این پژوهش برای محاسبات ریاضی و آماری از نرم‌افزارهای EXLSTAT2016 و Excel2013 استفاده گردید.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

تحلیل مؤلفه‌های اصلی روش تبدیل داده‌ها است که برای ایجاد یک ساختار اساسی در یک مجموعه به‌کار می‌رود (Davis, 1986). مهم‌ترین کاربرد این روش کاهش حجم داده‌ها، ساختن شاخص‌ها و تحلیل داده‌هایی با ابعاد چندگانه است (مهتدی و همکاران، ۱۳۹۶). یکی از روش‌هایی که جهت تشخیص مناسب بودن داده‌ها برای تکنیک تحلیل مؤلفه‌های اصلی به‌کار می‌رود ضریب KMO می‌باشد. مقدار این ضریب همواره بین ۰-۱ در نوسان است و داده‌هایی که ضریب KMO آن‌ها بیش‌تر از ۰/۵ باشد، از صلاحیت کافی جهت تحلیل برخوردار هستند. برای اعمال روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی وجود همبستگی مناسب بین پارامترها اهمیت به سزایی دارد. ماتریس همبستگی ارتباط داده‌ها و مجموعه‌ای از داده‌ها را نشان می‌دهد که در درک و شناخت فرآیندهای طبیعی مؤثر است (Oinam et al., 2012) (مقیمی، ۱۳۹۶). ضریب همبستگی بین متغیرها و عوامل به‌عنوان بارهای عاملی تفسیر شده‌اند (Kalantari et al., 2018). در تحلیل مؤلفه‌های اصلی به روش Kaiser، هدف کاهش تعداد مؤلفه‌ها است. لذا از میان مؤلفه‌ها، مؤثرترین مؤلفه‌ها انتخاب می‌گردد. معیار انتخاب در این روش، میزان توزیع واریانسِ کل

توسط هر مؤلفه است که این معیار در قالب مفهوم مقادیر ویژه بردارهای همبستگی بیان می‌شود. در این روش مؤلفه‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که مقدار بردار ویژه آن‌ها بزرگ‌تر یا مساوی ۱ باشد. عامل‌ها به‌ترتیب ارزش درجه‌بندی می‌شوند. عامل اول یا مؤلفه‌هایی که دارای بیشترین مقدار بردار ویژه هستند دارای بیشترین اهمیت در منشأ تغییرات داده‌ها می‌باشند (مهتدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ چیت‌سازان و همکاران، ۱۳۹۷؛ کلانتری و همکاران، ۱۳۹۷). تحلیل مؤلفه‌های اصلی، منابع موردمطالعه را در نموداری تحت عنوان دایره همبستگی نمایش می‌دهد. این نمودار تصویر متغیرهای اولیه را در فضای فاکتورها نشان می‌دهد. هنگامی‌که دو متغیر دور از مرکز و نزدیک به یکدیگر باشند، همبستگی آن‌ها باهم مثبت است، درصورتی‌که متعامد باشند متغیرها بدون همبستگی هستند و اگر بردار متغیرها در طرف مقابل مرکز دایره باشد همبستگی آن‌ها منفی است (چیت‌سازان و همکاران، ۱۳۹۷).

تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (HCA)

تحلیل خوشه‌ای ازجمله روش‌هایی است که به‌منظور تعیین شباهت‌ها به کار می‌رود. نمودار درختی خلاصه‌ای از فرآیند خوشه‌بندی تصویر خوشه‌ها و مجاورت آن‌ها به همراه کاهش قابل‌توجه ابعاد داده‌های اولیه را نمایش می‌دهد. همبستگی بین خوشه‌ها و جداسازی خوشه‌های همگن بر اساس فاصله اقلیدسی تعیین می‌گردد. در این مطالعه فاصله بین خوشه‌های اولیه با استفاده از الگوریتم پیوند تعیین شد (کلانتری و همکاران، ۱۳۹۷).

شاخص‌های تحلیل‌کننده فرایندهای هیدروشیمیایی

روش‌های ترسیمی، نتایج تجزیه شیمیایی را روی یک نمودار نشان می‌دهند و توانایی تعیین روند تغییرات را ممکن می‌سازند. این روش‌ها عموماً جهت آسان‌تر نمودن تجزیه‌وتحلیل داده‌ها همچنین تعیین ارتباط بین پارترها، مورداستفاده قرار می‌گیرد (Hounslow, 1995). نمودار پایپر عمدتاً برای تشخیص رخساره‌های هیدروشیمیایی، تیپ آب و مسیر تکامل ژئوشیمیایی در آبخوان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در آبخوان‌هایی که دارای رس مونت‌موریلونیت هستند، امکان تبادل یونی وجود دارد. در این شرایط کلسیم و منیزیم از آب خارج می‌شوند و جای آن‌ها را سدیم می‌گیرد (Piper, 1944). طی فرآیند تبادل یونی معکوس با نفوذ شورابه‌های نفتی و یا نفوذ آب دریا در حضور رس‌های با کلسیم قابل‌تبادل، کلسیم آزاد و سدیم جای آن را می‌گیرد (Hounslow, 1995). جهت تفکیک شورابه‌های حاصل از انحلال هالیت و شورابه‌های نفتی نسبت وزنی Na/Cl ازجمله شاخص‌هایی است که استفاده می‌گردد. درصورتی‌که این نسبت کمتر از ۰/۶ باشد نشان‌دهنده اختلاط آب با شورابه‌های نفتی است (Leonard and Ward, 1962). همچنین اختلاط آب‌های زیرزمینی با شورابه‌های هیدروکربوری با استفاده از غلظت عناصر ثانویه Br^- و I^- بررسی می‌گردد (Kumar et al., 2015). زیرا اختلاف زیادی بین غلظت عناصر یادشده در شورابه‌های حاصل از انحلال هالیت و شورابه‌های حوزه‌های نفتی وجود دارد (Marie and Vengosh, 2001; Freeman, 2007).

آب‌هایی که نسبت برم به کلر در آن‌ها بیشتر از ۱۰×۱۰^{-۴} و نسبت ید به کلر بیشتر از ۲×۱۰^{-۵} باشد، اختلاط آب با شورابه‌های نفتی رخ داده است (Whittemore, 1995; Catwright et al., 2006). کل کربن آلی شاخصی جهت شناسایی آلودگی منابع آب با مواد آلی است و درصورتی‌که غلظت TOC در آب بیش از ۲ mg/L باشد معرف آلودگی با مواد هیدروکربوری می‌باشد (Spruill, 1995). در این مطالعه از نرم‌افزارهای Excel 2013 و AqQa 2013 جهت ترسیم و تحلیل پارامترها و نمودارها استفاده شد.

بحث و نتایج

ضریب KMO داده‌های هیدروشیمیایی چاه‌های واقع در پلانژ تاقدیس کمردراز به‌منظور تعیین صلاحیت داده‌ها ارزیابی گردید. باتوجه به مقدار کمینه تعیین‌شده (۰/۵) پارامترهای منطقه موردمطالعه از صلاحیت مناسب برخوردار هستند (جدول ۴). همبستگی خوب بین یون‌های Ca^{2+}، Na^+، Cl^-، K^+ و SO_4^{2-} با پارامترهای EC و TDS معرف تأثیر زیاد یون‌های مذکور بر این دو پارامتر همچنین بر کیفیت آب آبخوان است. کاراتاژ چاه تنگ اتابکی نشان می‌دهد که سازند آسماری در منطقه مورد مطالعه

دارای لایه‌های آهک، دولومیت همراه میان لایه‌های مارن می‌باشد. مارن علاوه بر رس و آهک دارای مقادیر زیادی سدیم، کلر، ژیپس و انیدریت نیز می‌باشد (شکل ۲) بنابراین همبستگی خوب کاتیون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} با آنیون HCO_3^- ناشی از انحلال کانی‌های کربناته ازجمله کلسیت و دولومیت موجود در سازند آسماری می‌باشد. انحلال کانی‌های تبخیری در میان لایه‌های مارنی سازند آسماری باعث ایجاد همبستگی خوب بین یون‌های Na^+ و Cl^- همچنین Ca^{2+} و SO_4^{2-} شده است. همبستگی خوب یون Ca^{2+} و Cl^- می‌تواند تحت تأثیر اختلاط آب آبخوان موردمطالعه با آب‌هایی باشد که حاوی مقادیر این دو یون هستند (جدول ۵). در جدول ۶ پارامترهای کیفی به نه مؤلفه تقسیم‌شده‌اند که ردیف‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب معرف مقادیر ویژه، میزان تغییرپذیری مؤلفه‌ها و تغییرپذیری تجمعی آن‌ها می‌باشند. بر اساس این جدول دو مؤلفه اول و دوم که مقادیر ویژه آن‌ها بیشتر از ۱ بوده و بیشترین میزان تغییرپذیری (مؤلفه اول: ۵۷/۰۶۱ و مؤلفه دوم: ۱۹/۹۹۴) رادارند به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت آب منابع موردمطالعه انتخاب شدند. جدول ۷ مربع کسینوس بارهای عاملی (F) را نشان می‌دهد.

جدول ۴- ارزیابی صلاحیت داده‌های هیدروشیمیایی منابع مورد مطالعه.

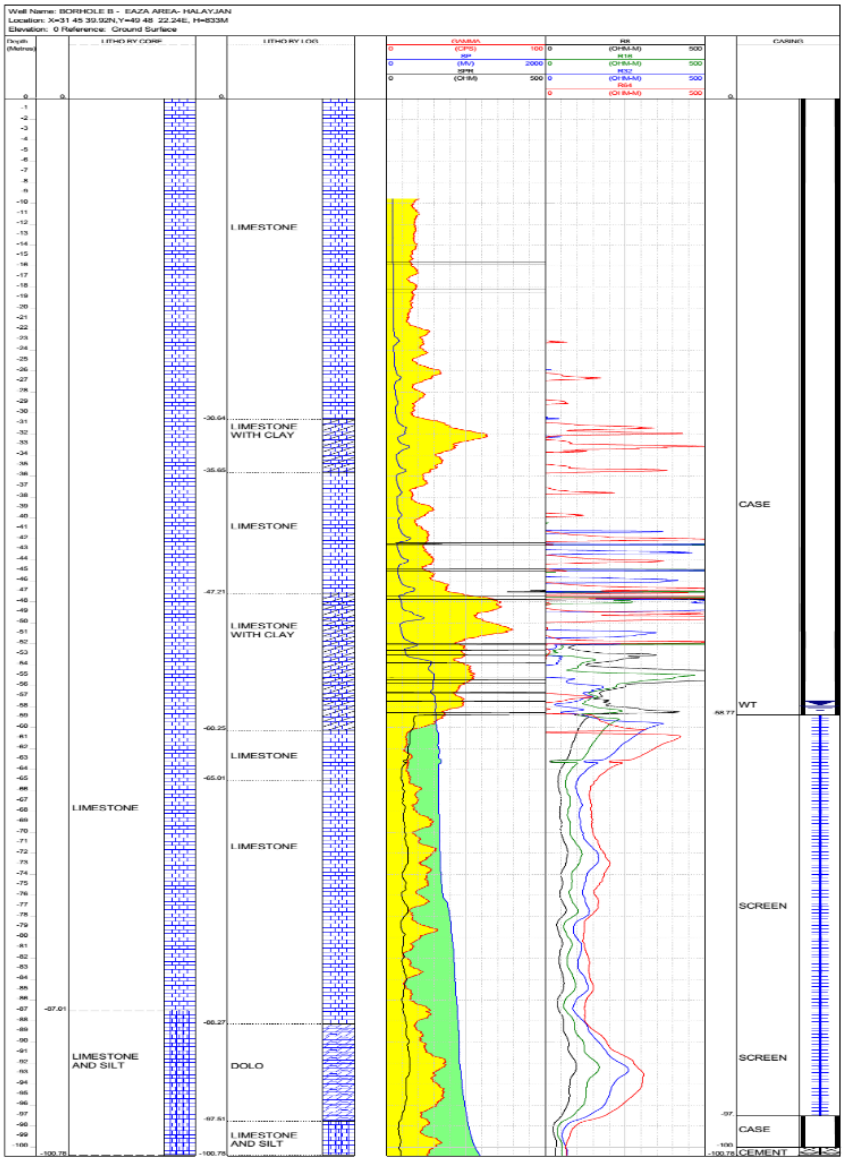
پارامتر	ضریب KMO	پارامتر	ضریب KMO
Ca^{2+}	**۰/۶۳۰**	**SO_4^{2-}**	**۰/۵۷۰**
Mg^{2+}	۰/۵۲۴	Cl^-	۰/۷۰۱
Na^+	۰/۷۵۱	TDS	۰/۷۸۹
K^+	۰/۷۳۶	EC	۰/۸۱۴
HCO_3^-	۰/۴۰۱	KMO	۰/۶۶۶

جدول ۵- ماتریس همبستگی پارامترهای هیدروشیمیایی چاه‌های موردمطالعه.

Variations	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	SO_4	Cl	TDS	EC
Ca	۱								
Mg	۰/۴۵۱	۱							
Na	۰/۴۷۵	۰/۰۷۸	۱						
K	۰/۳۹۲	۰/۳۷۹	۰/۳۶۹	۱					
HCO_3	۰/۶۲۶	۰/۶۷۰	-۰/۰۶۲	۰/۴۵۲	۱				
SO_4	۰/۵۳۲	۰/۵۶۰	۰/۵۰۹	۰/۳۲۰	۰/۱۱۰	۱			
Cl	۰/۵۲۴	۰/۱۳۳	۰/۹۳۸	۰/۲۹۲	۰/۰۲۲	۰/۴۴۹	۱		
TDS	۰/۷۳۵	۰/۳۷۵	۰/۷۹۵	۰/۵۵۶	۰/۲۸۹	۰/۶۷۶	۰/۷۵۰	۱	
EC	۰/۷۷۱	۰/۵۳۶	۰/۷۳۷	۰/۵۶۳	۰/۴۶۴	۰/۶۷۲	۰/۷۳۱	۰/۹۳۸	۱

جدول ۶- مقادیر ویژه پارامترهای هیدروشیمیایی منابع آب موردمطالعه.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Eigenvalue	۵/۱۳۶	۱/۷۹۹	۰/۷۸۶	۰/۶۳۷	۰/۳۵۹	۰/۱۵۵	۰/۰۵۸	۰/۰۴۱	۰/۰۲۸
Variability (%)	۵۷/۰۶۱	۱۹/۹۹۴	۸/۷۳۵	۷/۰۸۳	۳/۹۸۷	۱/۷۲۴	۰/۶۴۸	۰/۴۶۱	۰/۳۰۷
Cumulative%	۵۷/۰۶۱	۷۷/۰۵۵	۸۵/۷۹۰	۹۲/۸۷۳	۹۶/۸۶۰	۹۸/۵۸۴	۹۹/۲۳۲	۹۹/۶۹۳	۱۰۰/۰۰



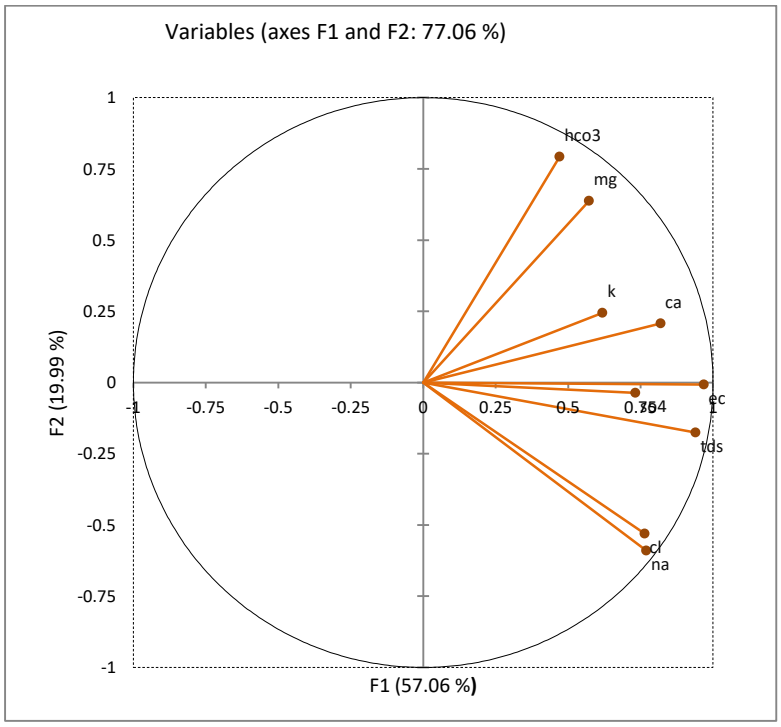
شکل ۲- کاراتاژ چاه تنگ اتابکی.

جدول ۷- مربع کسینوس بارهای عاملی نمونه‌ها.

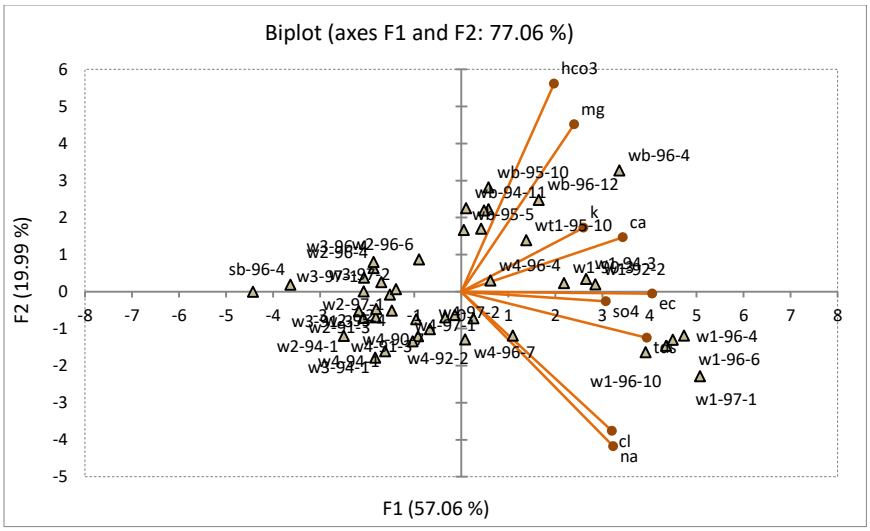
	F1	F2
Ca	۰/۶۷۲	۰/۰۴۳
Mg	۰/۳۲۷	۰/۴۰۶
Na	۰/۵۹۲	۰/۳۴۸
K	۰/۳۸۳	۰/۰۶۰
HCO_3	۰/۲۲۱	۰/۶۲۹
SO_4	۰/۵۳۶	۰/۰۰۱
Cl	۰/۵۸۴	۰/۲۸۲
TDS	۰/۸۸۳	۰/۰۳۱
EC	۰/۹۳۷	۰۰/۰۰

همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود متغیرهای SO_4^{2-}، Cl^- ، Ca^{2+}، Na^+، EC و TDS به‌ترتیب با مقادیر۰/۵۳۶، ۰/۵۸۴، ۰/۶۷۲، ۰/۵۹۲، ۰/۹۳۷، ۰/۸۸۳ (بیشتر از ۰/۵) بیشترین تأثیر را بر کیفیت آب منطقه موردمطالعه دارند که عامل اول را تشکیل می‌دهند و متغیرهای Mg^{2+} و HCO_3^- با مقادیر ۰/۴۰۶ و ۰/۶۲۹ عامل دوم را تشکیل می‌دهند. باتوجه به همبستگی زیاد یون‌های Ca^{2+}-SO_4^{2-}، Ca^{2+}-Cl^-، Na^+-Cl^-، Ca^{2+}-HCO_3^- و Mg^{2+}-HCO_3^- می‌توان انحلال کانی‌های تبخیری (ازجمله هالیت و انیدریت) در میان‌لایه‌های مارنی سازند آسماری و نفوذ آب‌های شور حاوی مقادیر کلر و کلسیم را به عامل اول نسبت داد. با توجه به مقدار کم این کانی‌ها در مارن و حجم کم نفوذ شورابه‌ها EC منابع موردمطالعه افزایش کمی را متحمل شده‌اند همچنین انحلال کانی‌های کربناته به‌ویژه دولومیت در سازند آسماری را می‌توان به عامل دوم نسبت داد.

نمودار دایره همبستگی و نمودار دو متغیره عامل اول و دوم پارامترهای منابع آب موردمطالعه نشان می‌دهد که بیشترین همبستگی را پارامترهای بی‌کربنات، سدیم و منیزیم با یکدیگر همچنین سدیم، کلر، EC با یکدیگر دارند. با توجه به این نمودارها پارامترهای HCO_3^-، Ca^{2+} و Mg^{2+} در ربع بالای نمودار بیشترین همبستگی را داشته و بیشترین تأثیر را بر عامل دوم در چاه‌های بی‌بی‌گل‌مرده و عمق ۶۹ متری چاه تنگ اتابکی (WT) دارند که نشان می‌دهد انحلال دولومیت و آهک در عمق (m) ۶۹ متری چاه تنگ اتابکی عمقی که EC آب کمترین مقدار (µS/cm ۶۴۲) را نشان داده است و در چاه بی‌بی گل‌مرده بیشترین تأثیر را در کیفیت آب داشته است. در ربع پایین نمودار دایره همبستگی متغیرها Na^+، Cl^- و EC بیشترین همبستگی را با یکدیگر نشان می‌دهند که این پارامترها بر روی عامل اول در چاه هلایجان ۱ (W1) بیشترین تأثیر رادارند (شکل ۳ و ۴).

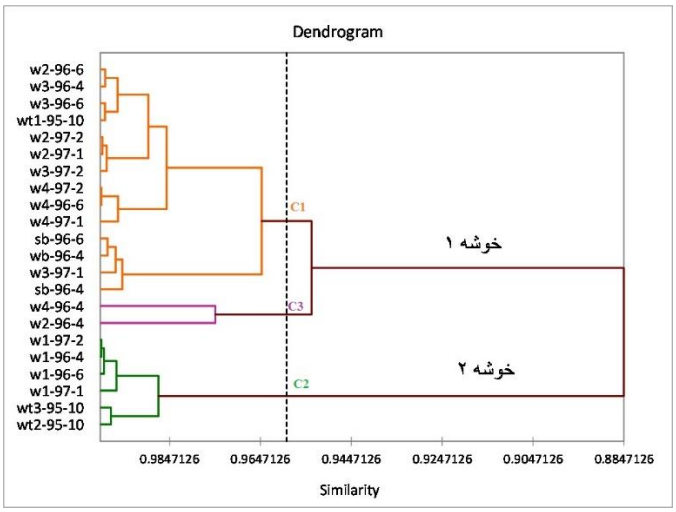


شکل ۳- دایره همبستگی عامل‌ها.

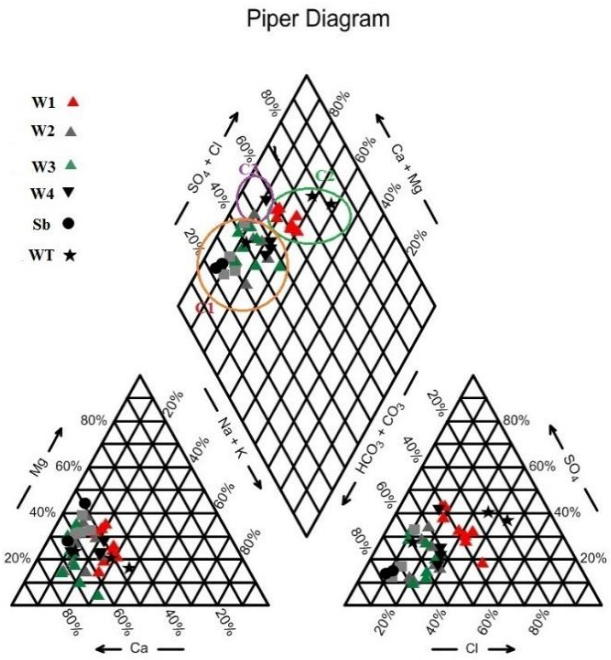


شکل ۴- نمودار دومتغیره مؤلفه‌های اول و دوم.

با استفاده از روش خوشه‌بندی آماری می‌توان نمونه‌ها را به گروه‌های متمایزی که ازلحاظ هیدروژئولوژی و آماری معنی‌دار باشد تقسیم‌بندی کرد. از پایین به بالا هر دو خوشه‌ی مشابه زیرمجموعه‌ی یک خوشه قرارگرفته و این ادغام خوشه‌ها ناجایی که حداقل به دو خوشه اصلی تقسیم شوند ادامه می‌یابد. بر اساس نمودار خوشه‌ای (شکل ۵)، دو خوشهی اصلی و سه گروه برای نمونه‌های مورد پژوهش در تاقدیس کمردراز تعیین گردید. گروه اول (C1): شامل نمونه‌های آب W2، W3، W4، Sb و Wb در فصل بهار و تابستان (در شهریورماه پس از بارندگی) می‌باشد. تیپ غالب این نمونه‌ها با توجه به نمودار پایپر (شکل ۶) Ca-HCO_3 می‌باشد که متأثر از غالب بودن انحلال کانی کلسیت موجود در سازند آسماری است. نمونه‌های این گروه کیفیت مطلوب‌تری نسبت به سایر چاه‌ها دارند و غالباً در بخش شرقی پلانژ تاقدیس کمردراز واقع شده‌اند همچنین پارامترهای هیدروشیمیایی آن‌ها شباهت بسیاری با یکدیگر دارند. گروه دوم (C2): متشکل از نمونه‌های دو عمق ۱۰۰ و ۹۷ متری چاه تنگ اتابکی (WT2, WT3) و نمونه‌های چاه هلایجان شماره ۱ (W1) واقع در پلانژ غربی تاقدیس می‌باشد. این دو چاه که در بخش غربی پلانژ تاقدیس قرار دارند ازلحاظ پارامترهای هیدروشیمیایی شباهت بیشتری با یکدیگر نشان می‌دهند و غلظت عناصر محلول در آب، مقادیر EC و TDS در این دو چاه نسبت به سایر چاه‌ها بیشتر است. در W1 تیپ آب در نمونه‌هایی که پس از بارندگی برداشته شدند Ca-Cl تعیین گردید. در چاه تنگ اتابکی (WT) تیپ آب از Ca-HCO_3 در عمق ۶۹ متر به Ca-Cl در عمق ۱۰۰(m) متر تغییر نموده است. تیپ آب بی‌کربناته-کلسیت تحت‌تأثیر انحلال کانی‌های کربناته موجود در سازند آسماری و تیپ آب کلروره-کلسیک نشان می‌دهد عواملی باعث افزایش مقدار یون کلراید در آب چاه W1 و WT شده است. ازجمله این عوامل می‌توان به انحلال کانی‌های تبخیری مانند هالیت و انیدریت موجود در میان لایه‌های مارنی سازند آسماری و یا اختلاط با آب‌هایی که حاوی غلظت زیاد یون Cl^- نسبت به Na^+ هستند، اشاره نمود. بررسی پراکنش داده‌های مربوط به چاه‌های W1 و WT در نمودار پایپر نشان می‌دهد چاه‌های مذکور در این نمودار در زون اختلاط با شورابه‌ها واقع‌شده‌اند (شکل ۶). این امر نشان می‌دهد که عامل آلودگی بیشترین تأثیر را در بخش غربی پلانژ داشته است. گروه سوم (C3): شامل نمونه‌های دو چاه W4 و W2 در تیرماه است که علت دسته‌بندی این دو نمونه در یک گروه، الگوی افزایش ناگهانی آنیون SO_4 در آن‌ها نسبت به سایر چاه‌ها در تیرماه سال ۱۳۹۶ بوده است درحالی‌که کیفیت آب و پارامترهای هیدروشیمیایی این دو چاه شباهت بسیاری به چاه‌های گروه یک همچنین به نمونه‌های این دو چاه در فصل بهار و شهریورماه دارد و با توجه به نمودار پایپر تیپ آب غالب در تیرماه در این دو چاه تغییر به سمت تیپ سولفاته را نشان می‌دهد.

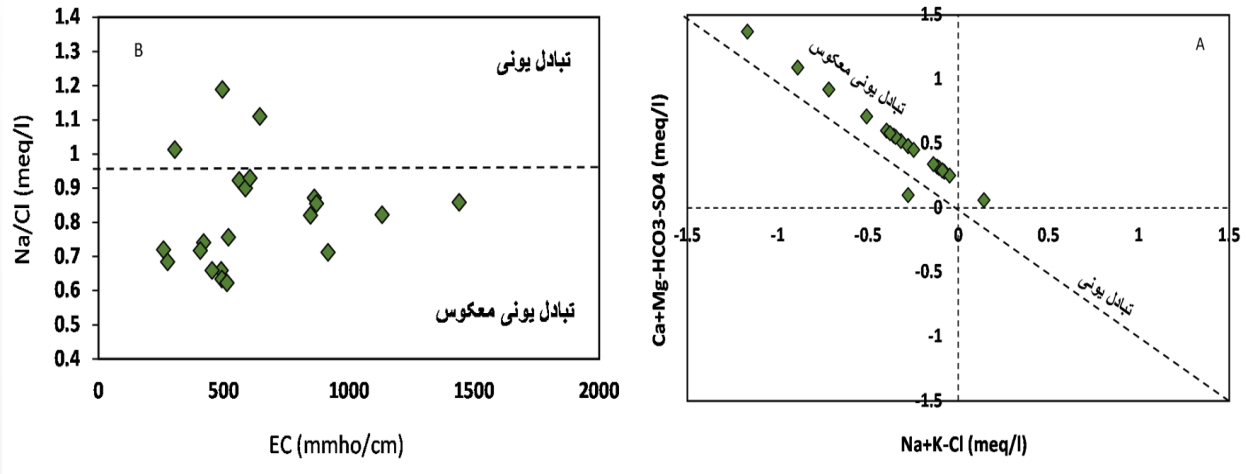


شکل ۵- نمودار خوشه‌ای نمونه‌ها.



شکل ۶- نمودار پایپر نمونه‌های منابع آب تاقدیس کمردراز.

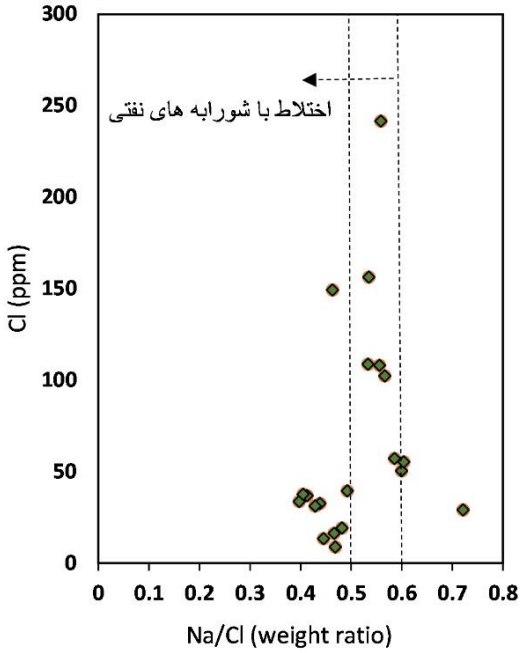
در این پژوهش جهت بررسی دقیق‌تر فرآیندهای هیدروشیمیایی غالب در منطقه همچنین نفوذ شورابه‌های نفتی، علاوه بر نمودار پایپر از سایر روش‌های ترسیمی مانند نمودارهای تبادل یونی، نمودارهای تعیین منشأ شوری، نسبت‌های یونی Br^-، I^- و TOC نیز استفاده شد. نمودارهای $(Na^+ + k^+ - Cl^-)$ در برابر $(Ca^{2+} + Mg^{2+} - HCO_3^- - SO_4^{2-})$ و Na/Cl در مقابل EC رخداد تبادل یونی را در آب تعیین می‌کنند. در نمودار B نمونه‌هایی که در امتداد خط و در بخش بالای خط 1:1 با شیب (1-) قرار بگیرند تأثیر تبادل یونی معکوس و داده‌هایی که در بخش پایین قرار دارند تأثیر تبادل یونی طبیعی را نشان می‌دهند (Drever, 1985) همچنین در نمودار A نمونه‌هایی که بالای خط (۱:۱) قرار دارند تبادل یونی و در مورد نمونه‌هایی که پایین خط قرار می‌گیرند تبادل یونی معکوس یا ورود کلر از سایر منابع رخداده است (Glover et al., 2012). پراکنش نمونه‌های پلانژ تاقدیس کمردراز در دو نمودار مذکور معرف وقوع تبادل یونی معکوس و یا ورود یون Cl^- از منابع دیگر در این آبخوان می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۷- نمودارهای تبادل یونی نمونه‌های آب پلانژ تاقدیس کمردراز.

نسبت وزنی Na/Cl همان‌طور که در شکل ۸ و جدول ۸ مشاهده می‌شود در اکثر نمونه‌های موردمطالعه کمتر از ۰/۶ می‌باشد؛ بنابراین در نمونه‌های آب تاقدیس کمردراز ورود شورابه‌های نفتی باعث افزایش غلظت -Cl نسبت به Na^+ در این منابع شده است. در عمق (m) ۶۹ متری چاه تنگ اتابکی آب تحت تأثیر انحلال مقدار کم هالیت موجود در لایه‌های مارنی بوده است و با افزایش عمق مقدار کلر آب افزایش‌یافته است بنابراین در اعماق ۹۷ و ۱۰۰ متری این چاه ورود شورابه‌های نفتی وجود داشته است.

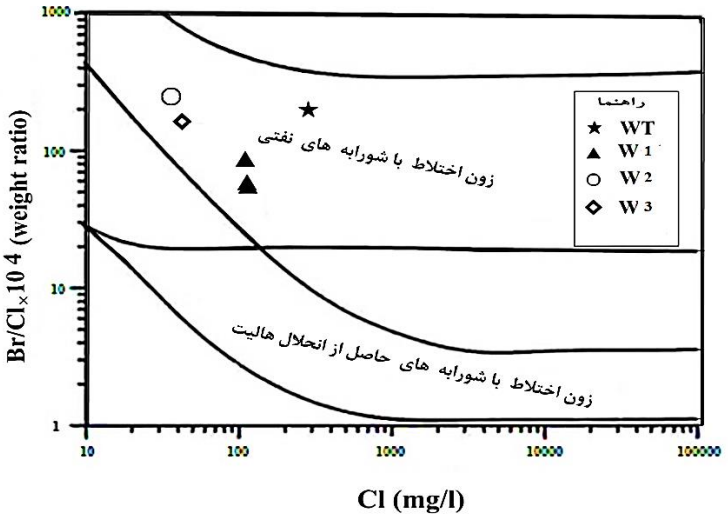
نسبت‌های حاصل از I/Cl و Br/Cl نمونه‌ها نیز نشان می‌دهند که چاه‌های موجود در پلانژ تاقدیس کمردراز تحت تأثیر نفوذ شورابه‌های هیدروکربوری قرار دارند (جدول ۹) همچنین نمونه‌ها بر روی نمودار Br/Cl در برابر یون -Cl برحسب نسبت وزنی، در محدوده‌ی زون اختلاط با شورابه‌های نفتی واقع شدند که نشان می‌دهد چاه‌هایی که در پلانژ تاقدیس کمردراز قرار دارند در معرض آلودگی با شورابه‌های نفتی قرارگرفته‌اند (شکل ۹).



شکل ۸- نمودار Cl در برابر Na/Cl نمونه‌های آب پلانژ تاقدیس کمردراز.

جدول ۸- نسبت وزنی Na/Cl

Na/Cl mg/l	Water resources	Na/Cl mg/l	منابع آب
۰/۵۶	۹۶-۰۴-W1	۰/۴۲	۹۶-۰۴-W2
۰/۵۳	۹۶-۰۶W1	۰/۴۳	۹۶-۰۶-W2
۰/۴۶	۹۷-۰۱-W1	۰/۴۱	۹۷-۰۱-W2
۰/۵۵	۹۷-۰۲-W1	۰/۳۹	۹۷-۰۲-W2
۰/۷۱	۶۹-WT	۰/۴۸	۹۶-۰۴W3
۰/۵۳	۹۷-WT	۰/۴۶	۹۶-۰۶-W3
۰/۵۵	۱۰۰-WT	۰/۴۲	۹۷-۰۱-W3
		۰/۴۰	۹۷-۰۲-W3



شکل ۹- نمودار نسبت Br/Cl در برابر -Cl برحسب نسبت وزنی.

جدول ۹- نسبت Br/Cl و I/Cl

I/Cl (mg/L)	Br/Cl (mg/L)	Water resources
۰/۰۰۱۳	۰/۰۲۸	۹۷-۰۲-W2
۰/۰۰۰۸۴	۰/۰۱۷۲	۹۷-۰۲-W3
۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۹۱	۹۶-۰۴-W1
۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۵۷	۹۶-۰۶-W1
۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۶۸۶	۹۷-۰۲-W1
۰/۰۰۰۰۷۴	۰/۰۲۰	۱۰۰-WT

نمودارهای تبادل یونی، نمودارهای تعیین منابع شوری، نسبت‌های Br/Cl و I/Cl نفوذ شورابه‌های نفتی را در منابع آب پلانژ تاقدیس کمردراز نشان دادند. جهت تأیید نفوذ مواد هیدروکربوری در نمونه‌ها غلظت TOC نمونه عمق ۱۰۰ متری WT آنالیز شد. نتیجه‌ی حاصل از آنالیز، ۲۳/۲ میلی‌گرم بر لیتر، غلظت کل کربن آلی در این چاه را نشان داد که معرف نفوذ مواد هیدروکربوری در این منبع می‌باشد. با توجه به سایر نمودارها که دخالت شورابه‌های نفتی را در سایر منابع موردمطالعه نشان دادند می‌توان نتیجه گرفت که در سایر منابع آب پلانژ تاقدیس، احتمالاً نفوذ مواد آلی نفتی وجود دارد. با ادغام نتایج حاصل از تحلیل پارامترهای هیدروشیمیایی با نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) انحلال کانی‌های کربناته، اختلاط با شورابه‌های

حاصل از انحلال ژیپس، هالیت همچنین نفوذ مواد هیدروکربوری و شورابه‌های نفتی در آبخوان کیفیت آب را تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش کیفیت آب، افزایش EC و احتمالاً در پی آن نفوذ گاز H_2S در این منابع خصوصاً چاه‌های W1 و WT شده است. علاوه بر آن با توجه به نتایج پیشین و تحلیل سلسله مراتبی نمونه‌ها (HCA) تأثیر شورابه‌ها بر روی دو چاه W1 و WT بیشتر از سایر منابع می‌باشد. به‌طوری‌که این دو چاه ازلحاظ غلظت پارامترهای شیمیایی و EC شباهت بیشتری با یکدیگر دارند. ازآنجاکه دو چاه مذکور در بخش غربی پلانژ تاقدیس کمردراز واقع‌شده‌اند احتمالاً این محدوده نسبت به سایر بخش‌های پلانژ بیشتر در معرض نفوذ آلودگی‌های نفتی قرار دارد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی متغیرهای SO_4^{2-}، Cl^-، Ca^{2+}، Na^+ و EC مؤلفه اول و Mg^{2+} و HCO^{3-} مؤلفه دوم را تشکیل می‌دهند. مؤلفه‌های اول و دوم با توجه به همبستگی پارامترها معرف انحلال کانی‌های هالیت، انیدریت، کلسیت، دولومیت و اختلاط با آب‌های شور حاوی مقادیر Cl^- هستند. نمودارهای دومتغیره عوامل اول و دوم نشان دادند که یون‌های SO_4^{2-}، Cl^-، Na^+، EC و TDS تأثیر بیشتری بر شیمی آب چاه‌های W1 که در بخش غربی تاقدیس قرارداد نشان داده‌اند علاوه بر آن پارامترهای شیمیایی دو چاه نسبت به سایر چاه‌ها شباهت بیشتری با یکدیگر دارند. بر مبنای تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی نمونه‌ها در دو خوشه اصلی و سه گروه دسته‌بندی شدند. گروه اول و سوم شامل W2,W3,W4,WT69,Sb است که غلظت عناصر محلول در آب، EC در آن‌ها کمتر از خوشه دوم است. نمونه‌های W1 و WT (۹۷ و ۱۰۰ متر) که غلظت عناصر محلول و EC در این نمونه‌ها بیشتر از سایر منابع می‌باشد در خوشه اصلی دوم و گروه دوم قرار گرفتند. اعمال داده‌های هیدروشیمیایی در نمودار پایپر نشان داد تیپ غالب آب منطقه $Ca\text{-}HCO_3$، در دو چاه W1 و WT تیپ آب از $Ca\text{-}HCO_3$ به Ca-Cl تغییر کرده است. نمودارهای تبادل یونی بیانگر وقوع تبادل یونی معکوس در نمونه‌های آب موردمطالعه است. نتایج بررسی نمودارهای تفکیک منشأ شوری در منطقه موردمطالعه معرف تداخل شورابه‌های نفتی در منابع آب منطقه می‌باشند. نسبت‌های یونی Br/Cl، I/Cl و نمودار Br/Cl -Cl به‌عنوان مهم‌ترین عناصر و نسبت‌ها در بررسی اختلاط آب‌های زیرزمینی با شورابه‌های نفتی نشان دادند که منابع آب موردبررسی در معرض آلودگی با شورابه‌های نفتی هستند. آنالیز TOC بر روی نمونه WT مؤید وجود مواد هیدروکربوری را در این چاه می‌باشد که نشان‌دهنده تأثیر مخازن نفتی منطقه بر روی منابع کارستی این تاقدیس است. به‌طورکلی نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری و هیدروشیمیایی پارامترهای کیفی منابع آب تاقدیس کمردراز بیانگر تأثیر چند منشأ به‌صورت توأم بر شیمی آب منطقه است. کاهش کیفیت منابع آب به‌ویژه در چاه‌های W1 و WT که در بخش غربی پلانژ تاقدیس قرار دارند متأثر از انحلال میان لایه‌های مارنی و اختلاط با شورابه‌های نفتی است. در این پژوهش عدم دسترسی به نمونه‌های فصول مختلف چاه‌های پلمپ شده همچنین عدم اندازه‌گیری گاز H_2S هنگام خروج گاز از این چاه‌ها مانع از ردیابی H_2S و تعیین منشأ زون آلودگی گردید. در صورتی‌که امکان نمونه‌برداری از چاه‌های آلوده فراهم گردد می‌توان با استفاده از آنالیزهای ایزوتوپی گوگرد در H_2S در اعماق مختلف چاه‌ها به‌طور دقیق زون آلودگی را شناسایی کرده درنتیجه اقدام به تعیین محل مناسب جهت حفاری چاه‌های جدید و استخراج آب مناسب پیش از رسیدن به زون آلوده نمود.

منابع

آقانباتی، ع.، ۱۳۸۵. زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.

حبیبی‌نیا، ه.، کرد، م.، طاهری، ک.، ۱۴۰۰. تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت و خصوصیات ژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت شیان، کرمانشاه، مجله هیدروژئولوژی، ۶(۱): ۱۱۴-۱۲۵.

جلالی، ل.، اصغری مقدم، ا.، ۱۳۹۲. تشخیص وضعیت هیدروژئوشیمیایی و روند شوری در سفره آب زیرزمینی دشت خوی به روش‌های آماری و هیدروشیمیایی. نشریه محیط‌شناسی، ۳۹(۲): ۱۱۳-۱۲۲.

چیت‌سازان، م.، ایل‌بیگی، م.، پورطبری، م.، ۱۳۹۷. ارزیابی آلودگی نیترات آب زیرزمینی بر اساس روش مؤلفه‌های اصلی و تحلیل عاملی (مطالعه موردی: آبخوان دشت کرج)، نشریه اکوهیدرولوژی، ۵(۴): ۱۱۱۹-۱۱۳۳.

چیت‌سازان، م.، قادری، گ.، میرزایی، ی.، پاپی زاده، م.، ۱۳۹۱. آلودگی مرتبط با شورابه‌های نفتی و حذف بیولوژیکی آرسنیک در چشمه‌های گرو (منطقه مسجدسلیمان، استان خوزستان)، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۲(۱): ۸۳-۹۳.

طهماسبی سروستانی، ع.، سیوکی، م.، آدابی، م.، صادقی، ع.، ۱۳۸۹. لیتواستراتیگرافی و بیوستراتیگرافی سازند آسماری در برش چینه‌ای کتولا ناحیه ایذه و معرفی آن به‌عنوان برش مرجع سازند آسماری در حوضه زاگرس، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۳(۱۱): ۹۱-۱۰۰.

کلانتری، ن.، عنبری، ا.، محمدی، ه.، ۱۳۹۶. بررسی هیدروشیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت بستان با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴(۲): ۲۴۸-۲۳۶.

سازمان آب و برق استان خوزستان.، ۱۳۹۵. مطالعات ارزیابی پتانسیل کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی، مطالعات انتقال آب در اراضی دشت‌های ایذه و باغ‌ملک و تأمین آب شرب شهرهای شمال شرق، گزارش آب زیرزمینی، مرحله اول. کد طرح: ۱۷۹۲۰۶۰، کد بخش: ۲۰۵۰.

سامانی، س.، بوستانی ف.، ایرجی‌زاده، م.، ۱۳۹۹. استفاده از مدل ژئوشیمیایی معکوس و روش‌های هیدروژئوشیمی در جهت بررسی منشأ شوری آبخوان سروستان، مجله هیدروژئولوژی، ۵(۱): ۳۳-۱۶.

مهتدی، ا.، حجازی، ر.، حسینی، ع.، مؤمنی، م.، ۱۳۹۶. به‌کارگیری تکنیک تحلیل مؤلفه‌های اصلی در داده‌کاوی متغیرهای مؤثر بر بازده سهام، مجله پژوهش‌های حسابداری مالی و حسابرسی، ۱۰(۳۷): ۲۵-۵۲.

میرزایی، س.ی.، زراسوندی، ع.، اورنگ، م.، ۱۳۹۴. تأثیر ژئوشیمیایی مخازن نفتی آسماری بر منابع آب کارستی مسجدسلیمان، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۵(۴): ۱-۱۴.

هداوند خانی، ن.، صادقی، ع.، آدابی، م.، طهماسبی، ع، ۱۳۹۵. سنگ چینه‌نگاری و زیست چینه‌نگاری سازند پابده در برش الگوی روستای چهارده (پهنه خوزستان)، نشریه علوم زمین، ۲۷(۱۰۷): ۱۳۷-۱۵۰.

دولتی، ج.، لشکری‌پور، غ.، حافظی مقدس، ن،۱۳۹۳. بررسی عوامل مؤثر بر هیدروژئوشیمی آبخوان زاهدان با استفاده از روش‌های تحلیل عاملی، نمایه‌های اشباع و نمودارهای ترکیبی، نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸ (۴): ۶۷۹-۶۹۴.

مقیمی، ه.، ۱۳۹۶. کاربرد تحلیل عاملی و خوشه‌بندی در ارزیابی هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت قائم‌شهر، نشریه علوم دانشگاه خوارزمی، ۳(۱): ۹۳-۱۱۲.

Spruill, T.B., 1998. Use of total organic carbon as an indicator of contamination from an oil refinery, South Central Kansas. Petroleum as a Source of Water Contaminants During the early 20th Century. Petroleum Refineries, 8(3): 76-82.

Catwright, I., Weavor, T.R., Fifield, L.K., 2006. Br/Cl ratio and environmental isotopes as indicators of recharge variability and groundwater flow. An example from the Murray Basin Australian. Chemical Geology, 231(1-2):38-56.

Davis, J.C., 1986. Statistics and data analysis in geology. John Wiley Sons INC. NEW YORK, 646 p.

Drever, J.I., 1985. The geochemistry of natural waters. Englewood Cliffs Prentice Hal, 437p.

Fan, Q., Ma, H., Lia, Z., Tan, H., Li, T., 2010. Origin and evolution of oilfield brininess from tertiary state in Western Qaidam basin. Constrains from 87Sr/86Sr,δD, δ18O , δ34S and water chemistry. Chinese Journal Geochem, 29: 446-454.

Ford, D., Williams, P., 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley Sons. LTD. NEW JERSY, 576 p.

Frape, S.K., Fritz, P., McNutt, R.H., 1984. Water-Rock interaction and chemistry of groundwater from the Canadian Shield, Geochim Comochim ACTA, 48(11): 1617-1627.

Freeman, J., 2007. The use of bromine and chloride mass ratios to differentiate salt dissolution and formation brines in shallow groundwater of the Western Canada

Environmental Protection Agency. Ada, Oklahoma 74820, 273 p.

Sarikhani, R., Ghasemi Dehnavi, A., Ahmadinejad, Z., Kalantari, N., 2015. Hydrochemical characteristics and groundwater quality assessment in Boushehr province, SW Iran, Environ Earth Science, 74:6265-6281.

Thilagavathi, R., Chidambaram, S., Pethaperumal, S., Chivaya, S., Rao, M.S., Tirumales, K., 2016. An attempt to understand the behavior of dissolved organic carbon in coastal aquifers of the Pondicherry region, South India. Environmental Earth Science, 75: 1-15.

Whittemore, D.O., 1995. Geochemical differentiation of oil and gas brine from other saltwater resources. Case studies from Kansas and Oklahoma. Environmental Geoscience, 2(1): 15-31.

Sedimentary Basin, Hydrogeology Journal, 15(7): 1377-1385.

Glover, E.T., Akiti, T.T., Osae, S., 2012. Major ion chemistry identification of the hydrochemical process of groundwater in the Accra plains, Elixir Geoscience, 50(1): 10279-10288.

Ghodbane, M., Boudoukha, A., Bennabidate, L., 2015. Hydrochemical and statistical characterization of groundwater in the Chemora area. Northeastern Algeria. Desalination and Water Treatment, 57(32): 14858-14868.

Hounslow. A, 1995. Water quality data. Analysis and interpretation. CRC PRESS, 416 p.

Jean, J.S., Liao, L., Kar, S., Liu, C.C., Li, Z., 2016. Hydrochemistry of hot springs in the geothermal field of central. Northern and Northeastern Taiwan: Implication occurrence and enrichment of arsenic. Environmental Earth Science, 75(19): 1-13.

Kumar, K.A., Priju, C., Pand Prasad, N.N., 2015. Study on saline water intrusion in the shallow coastal aquifers of Periyar River Basin. Kerala. Using hydrochemical and electrical resistivity methods, Aquatic Procedia, 4(1): 32-40.

Kumar, M., Ramanathan, A.L., Rao, M.S., Kumar, B., 2006. Identification and evaluation of Hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. JOURNAL OF Environmental Geology, 50(1): 1025–1039.

Leonard, A., Ward, P., 1962. Use of Na/Cl ratios to distinguish Oil-Field from Salt spring brines in western Oklahoma. Geological Survey RESEARCH, 126-127.

Mahmoudi, N., Nakhaei, M., Porhemmat, J., 2017. Assessment hydrochemistry and contamination of Varamin deep aquifer. Tehran province. Iran, Environ Earth Science, 77(140): 1-14.

Marie, A., Vengosh, A., 2001. Sources of salinity in groundwater from Jericho area, Jordan Valley, Ground Water, 39(2): 240-248.

Oinam, J.D., Ramanathan, A., Singh, G., 2012. Geochemical and statistical evaluation of groundwater in Imphal and Thoubal district of Manipur. India, Journal of Asian Earth Sciences, 48: 136-149.

Piper, M.A., 1944. Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses, EOS. Transaction American Geophysical Union, 25: 914-928.

Richter, B., Kreitler, C., 1991. Identification of Richter Ground Water Salinization Using Geochemical Techniques. Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S.