



## The Hydrogeochemical processes of Kuhdasht aquifer

Zahra Hadipour Hafshejani<sup>1</sup>, Hamidreza Nassery<sup>2</sup>,  
Farshad Alijani<sup>3\*</sup>

### Abstract

The hydrogeochemical methods are used to determine of the dominant natural processes governing the groundwater hydrogeochemistry and the effects of the hydrocarbon pollution on groundwater quality in Kuhdasht aquifer. Groundwater samples were collected in four periods in 2014 (16 and 25 water wells in three and one periods, respectively) to measure the electrical conductivity, major ions concentrations, trace ion and pollution indices concentrations (I, Fe, Zn, Ba, dissolved oxygen, chemical and biochemical oxygen demand (COD and BOD), and pH), and hydrocarbons. After review of the geology and hydrogeology of the study area, hydrogeochemistry of the aquifer was studied as determination of hydrochemical types of waters, interpretation of hydrochemical maps and composition diagrams with emphasis on the natural changes in groundwater hydrochemistry and abnormal changes as a results of the hydrocarbon contamination. The results show that the geochemical evolution of groundwater in Kuhdasht plain changes from  $HCO_3-Ca(Mg)$  to  $HCO_3(SO_4)-Mg$  water types together a gradual increase of the concentrations of dissolved ions, with the anomalous Na-Cl water types in the hydrocarbon contaminated groundwater in southwest parts of the plain. The main hydrochemical characteristic of the groundwater in the areas affected by oil brines in the south west Kuhdasht are the highly reducing environment with high concentration of BOD, and COD and low concentrations of DO and  $NO_3$ , and high concentrations of TDS, Na, Cl, B.

**Keywords:** Hydrogeochemistry, Hydrocarbon pollution of groundwater, Composition diagrams, Kuhdasht.

Received: 2016/07/02  
Accepted: 2017/12/10

## فرآیندهای هیدروژئوشیمی آبخوان کوهدشت

زهرا هادی پور هفشجانی<sup>۱</sup>، حمیدرضا ناصری<sup>۲</sup>، فرشاد علیجانی<sup>۳\*</sup>

### چکیده

روش‌های هیدروژئوشیمی به منظور تعیین فرآیندهای مؤثر بر تغییرات طبیعی سیستم کیفی آبخوان و اثرات آلودگی هیدروکربنی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت کوهدشت به کار گرفته شده است. نمونه‌های آب زیرزمینی در چهار دوره اردیبهشت، مرداد و آذر (۱۶ حلقه چاه آب) و بهمن ماه (۲۵ حلقه چاه آب) سال ۱۳۹۳ جهت سنجش هدایت الکتریکی، یون‌های عمده، یون‌های فرعی (ید، آهن، روی، باریم، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) و بیوشیمیایی (BOD) و pH) و مواد هیدروکربنی مورد سنجش قرار گرفته‌اند. پس از انجام بررسی‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی، مطالعات دقیق هیدروژئوشیمی با تعیین تیپ و رخساره هیدروژئوشیمیایی، تهیه و تحلیل نقشه‌های هیدروژئوشیمی، تهیه و تفسیر نمودارهای ترکیبی، با تأکید بر بررسی تحولات شیمیایی آب‌های زیرزمینی در جهت جریان آب زیرزمینی و شناسایی تغییرات ناهنجار کیفی در منطقه آلوده به مواد هیدروکربنی انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که سیر تکامل ژئوشیمیایی آب زیرزمینی در دشت کوهدشت از تیپ بی‌کربناته کلسیک (منیزیک) با غلظت املاح محلول کم در مناطق تغذیه شمالی آغاز و به تیپ بی‌کربناته (سولفات) منیزیک ادامه می‌یابد ولی در مناطق تخلیه جنوب غربی دشت (منطقه آلوده به مواد هیدروکربنی) به‌طور ناگهانی تیپ آب زیرزمینی کلروره - سدیک و غلظت املاح محلول زیاد می‌شود. وجود محیط احیایی با غلظت‌های BOD و COD و غلظت‌های کم اکسیژن محلول و نیترات، غلظت زیاد املاح محلول، کلراید، سدیم، و باریم از مشخصه‌های اصلی هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی آلوده با شورابه نفتی در جنوب غرب منطقه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: هیدروژئوشیمی، آلودگی هیدروکربنی آب زیرزمینی، نمودارهای ترکیبی، کوهدشت.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۱۲  
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۲۰

1- MSc. In Hydrogeology, Shahid Beheshti University  
2 & 3: PhD in Hydrogeology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University  
\*- Corresponding Author Email: falijani2000@yahoo.co.uk

۱- کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید بهشتی  
۲ و ۳- عضو هیئت علمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی  
\*- نویسنده مسئول

واکنش‌های آب - سنگ که در آب‌های زیرزمینی جوان غالب می‌باشند عموماً سریع رخ می‌دهند و تعادل در طی چند ماه یا چند سال رخ می‌دهد. این آب‌ها در صورتی که به لایه‌های تبخیری برخورد نمایند کیفیت خوبی دارند. آب‌های فسیل یا سازندی قدیمی در ارتباط با مخازن نفتی بسیار شور می‌باشند و غلظت کلراید در آن‌ها بین ۱۰۰۰ تا بیش از ۱۰۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر متغیر می‌باشد. تیپ این‌گونه آب‌ها عمدتاً کلروره - سدیک می‌باشد. اختلاط آب‌های زیرزمینی با شورابه‌های نفتی با تعیین آب‌های عضو انتهایی (*End member waters*) ممکن می‌باشد (میزور، ۲۰۰۴).

در این مقاله سعی گردیده است تا با استفاده از نقشه‌ها و نمودارهای هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی کوهدشت گسترش منطقه آلوده شده مرتبط با مخازن نفتی تعیین و اثرات آن بر کیفیت آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گیرد. محققین مختلفی اثرات شورابه‌های نفتی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی را با استفاده تلفیقی از روش‌های هیدروژئوشیمی بررسی نموده‌اند (ریتن و تیشمک، ۱۹۹۳؛ جونگ، ۲۰۰۱؛ چن و همکاران، ۲۰۰۸؛ گلیسون و همکاران، ۲۰۱۱؛ پترمن و همکاران، ۲۰۱۲؛ بریندها و همکاران، ۲۰۱۳).

استفاده از نمودارهای ترکیبی یون‌های عمده ابزاری مفید و کاربردی در تعیین فرآیندهای هیدروشیمی حاکم بر آبخوان می‌باشد (لاکشمالان و همکاران، ۲۰۰۳؛ فوتسیست و همکاران، ۲۰۱۵؛ رضوان و عبدالمنعم، ۲۰۱۶) که با شناسایی فرآیندهای حاکم می‌توان از آن‌ها ناهنجاری‌های ناشی از آلودگی‌های مختلف به‌ویژه شورابه‌ها (منجرزی و همکاران، ۲۰۱۲) و آب‌های فسیلی (کورتز و همکاران، ۲۰۱۶) را تشخیص داد.

آلودگی منابع آب زیرزمینی، در سال‌های اخیر تبدیل به یکی از جدی‌ترین مشکلات زیست در سراسر جهان شده است. آتش‌سوزی در برخی چاه‌های آب شهرستان کوهدشت و همچنین سر برآوردن شعله‌های گاز در کوه‌های رومشکان موضوعی است که طی چند سال گذشته افکار عمومی منطقه را درگیر خود کرده است.

میدان نفتی باباحیب (شکل ۱) رومشکان در سال ۱۳۸۶ کشف شده و کارفرمای عملیات اکتشاف نفت در این منطقه مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران و پیمانکار آن شرکت چینی CNPC بوده است.

در تابستان ۱۳۸۹ حفاری‌های اکتشافی در میدان نفتی بابا حیب آغاز شد، موضوعی که منجر به حفر سه حلقه چاه در منطقه با نام‌های باباحیب ۱، ۲، و ۳ شد. اما در سال ۱۳۹۰ خروج گاز از کوه‌های رومشکان و در نزدیکی چاه‌های حفاری شده نگاه‌ها را به سمت عدم حفاری مناسب شرکت چینی برگرداند، موضوعی که تأیید یا رد آن هیچ‌گاه از سوی مسئولان در شرکت ملی نفت مورد تأیید قرار نگرفت.

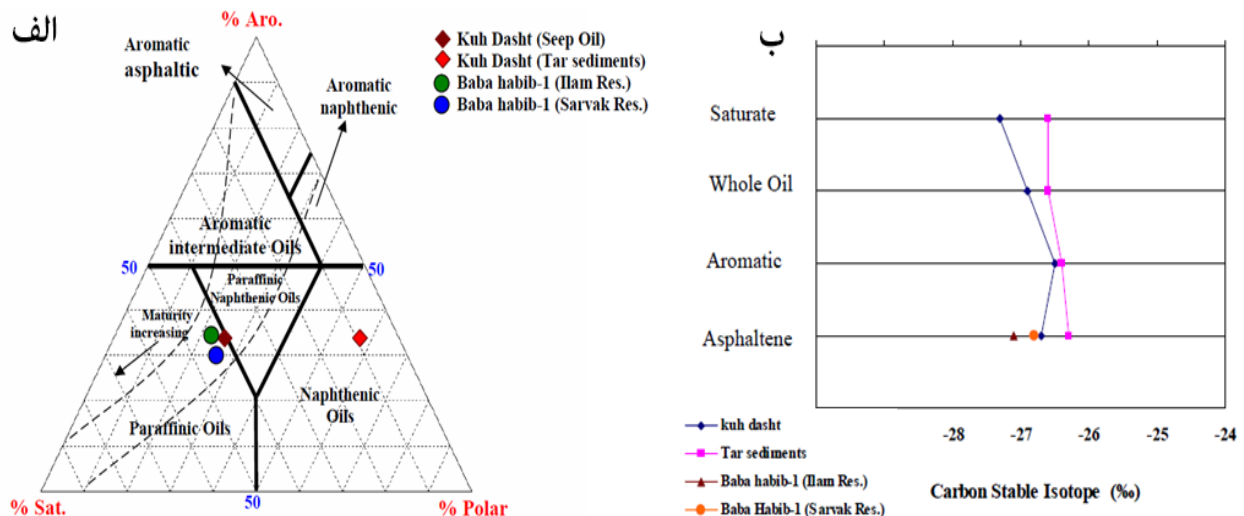
در همین زمان در مناطق جنوبی کوهدشت و اطراف روستاهای سه آسیابه و چم کبود از چاه‌های آب گاز هیدروژن سولفور متصاعد و باعث آتش گرفتن چاه‌ها گردید. در تحقیقاتی که به‌صورت اولیه انجام گردید مقامات محلی علت اصلی آتش‌سوزی در زمین‌های کشاورزی و چاه‌های آب روستاهای کوهدشت را پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی به دلیل برداشت‌های بی‌رویه و وجود یک سری مخازن گازی معلق در مناطق جنوبی کوهدشت تا درب گنبد و رومشکان بیان نمودند و ارتباط این پدیده با حفاری ناموفق چاه‌های گاز رومشکان رد شد.



شکل ۱- تصویری از کوه‌های آتش گرفته در کوهدشت- لرستان

چهار جزء اشباع، آروماتیک، نفت خام، و آسفالتن استفاده گردید (شکل ۲ ب). بر این اساس سنگین شدن مقدار درصد ایزوتوپ کربن در جزء اشباع به علت تأثیر شدید پدیده تجزیه زیستی در نفت استحصال شده از رسوبات قیری نسبت به نفت نشتی در چاه‌های آب کوهدشت به خوبی اثبات می‌گردد. از طرفی مقدار ایزوتوپ کربن جزء آسفالتن در نفت‌های مخازن ایلام و سروک شباهت نسبتاً خوبی را با نفت‌های ناحیه کوهدشت نشان می‌دهد که این امر نتایج پیشین را به خوبی تأیید می‌نماید.

با توجه به مطالعه انجام شده تزه و همکاران (۱۳۹۲) که به ارزیابی ژئوشیمیایی چشمه‌های نفتی و قیر چاه‌های آب کوهدشت با نفت مخزن ایلام-سروک چاه بابا حبیب-۱ (در جنوب کوهدشت) پرداخته است مشخص گردید که نفت چشمه نفتی کوهدشت تطابق بسیار خوبی را با نفت مخزن ایلام - سروک در چاه بابا حبیب-۱ نشان می‌دهد (شکل ۲ الف)، به طوری که تمامی آن‌ها در محدوده نفت‌های پارافینی (Paraffinic Oils) قرار می‌گیرند. همچنین به منظور بررسی تطابق بهتر بین نفت‌های منابع آب کوهدشت و مخزن ایلام-سروک در چاه بابا حبیب-۱ از منحنی تغییرات ایزوتوپی در



شکل ۲- (الف) دیاگرام مثلثی ترسیم شده جهت تعیین ترکیب شیمیایی نفت‌های منطقه کوهدشت (خطوط خط‌چین نشان دهنده افزایش بلوغ از سمت جزء آروماتیک به جزء اشباع می‌باشد) و (ب) نمودار تغییرات مقادیر ایزوتوپی اجزای هیدروکربونی در نمونه‌های نفتی میدان بابا حبیب و کوهدشت (تزه و همکاران، ۱۳۹۲)

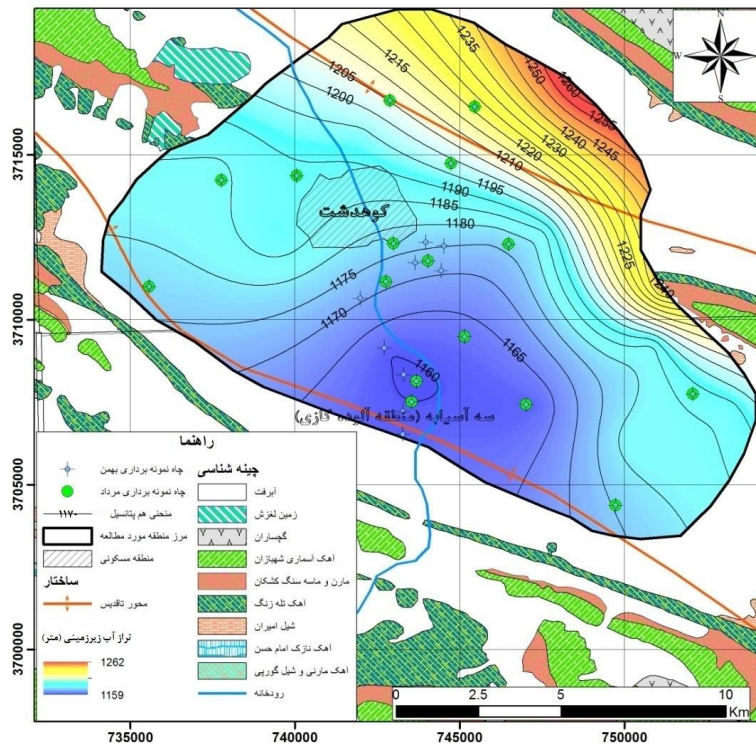
### زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی

منطقه مورد مطالعه، دشت کوهدشت واقع در جنوب غرب استان لرستان، با ارتفاع متوسط ۱۲۵۰ متر از سطح دریا بین ۴۷ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۵ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۳ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۰ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. محدوده مورد مطالعه در مرز زاگرس مرتفع و چین خورده واقع شده و از ویژگی‌های آن کوه‌های نسبتاً مرتفع در اطراف دشت است. آبخوان کوهدشت در ناودیسی بین دو تاقدیس پشت جنگل در شمال و هلیلان در جنوب قرار گرفته است (شکل ۳). از نظر قدمت چینه‌شناسی در منطقه مورد مطالعه پس از آهک مارنی سفید رنگ امام حسن، آهک لوفادار، شیل‌های ارغوانی و آهک مارنی گوری، سیلتستون و ماسه سنگ زیتون امیران، آهک‌های خاکستری تله زنگ، ماسه سنگ و کنگلومرا قرمز رنگ چرتی کشکان، آهک شکری و دولومیت‌های خاکستری آسماری- شهبازان، ماسه سنگ‌های آهکی و مارن‌های قرمز و ژیپس‌دار گچساران، و نهشته‌های آبرفتی (کواترنری) قرار گرفته‌اند. آبخوان آبرفتی کوهدشت نتیجه حاصل فرسایش و تخریب ارتفاعات حاشیه و حمل و انباشت آن توسط جریان‌های سطحی و سیلابی در سطح دشت است. بر اساس گسترش سازندهای کربناته در حوضه آبریز دشت، وجود پدیده‌های کارستی و فرآیندهای تکتونیکی در سازندهای آهکی، تمرکز چاه‌های بهره‌برداری در آبرفت درشت‌دانه حاشیه دشت و مسیر آبراهه‌ها می‌باشد به سمت قسمت میانی دشت رسوبات ریزدانه می‌شوند. فرسایش سازند امیران در نواحی جنوبی که سنگ کف آبخوان را تشکیل داده، باعث شده که تناوبی از رسوبات دانه‌درشت و دانه‌ریز در آبخوان مشاهده شود که باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی در زمان پمپاژ با آبدهی کم در اکثر چاه‌های بهره‌برداری آبرفتی در جنوب دشت کوهدشت شده است.

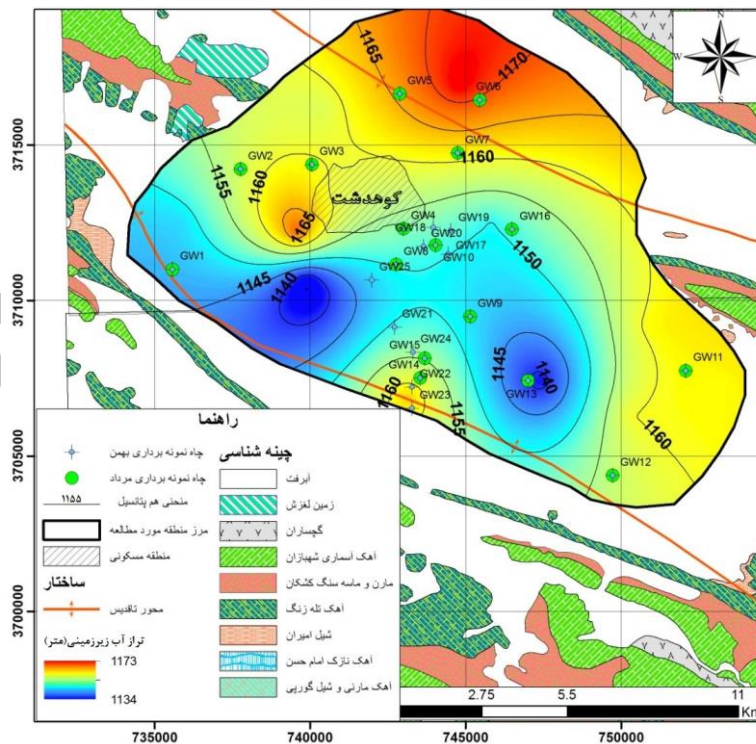
بیشترین ضخامت آبرفت در دشت کوهدشت در ناحیه میانی (حدود ۱۸۰ متر در ناحیه شمالی شهر) وجود دارد و میانگین ضخامت آبرفت دشت کوهدشت حدود ۹۰ متر است. عمق آب زیرزمینی از ۱۲ متر در جنوب تا بیش از ۶۰ متر در شمال دشت متغیر می‌باشد. بر اساس نقشه هم‌تراز آب زیرزمینی کوهدشت در سال ۱۳۸۷ (پیش از حفاری چاه‌های گازی رومشگان و رخداد آلودگی گازی در منطقه سه آسیابه)، تراز آب زیرزمینی از مقدار ۱۲۶۲ تا ۱۱۵۹ متر متغیر می‌باشد. در این دوره جهت عمومی جریان از شمال و شرق به سمت قسمت‌های میانی و جنوبی دشت می‌باشد (شکل ۴). در سال ۱۳۹۳ تراز آب زیرزمینی از مقدار ۱۱۷۱ تا ۱۱۳۹ متر متغیر می‌باشد. در این دوره جهت عمومی جریان از شمال و شرق به سمت قسمت‌های میانی و جنوب غربی دشت می‌باشد، با این حال منطقه تخلیه اصلی در جنوب دشت در این سال به صورت تغذیه عمل می‌نماید.

روند هیدروگراف معرف (شکل ۵) به وضوح نمایانگر افت سطح آب زیرزمینی دشت می‌باشد. در مهر ۱۳۸۱ تراز سطح ایستابی ۱۱۹۹ متر بوده که در مهر سال ۱۳۹۲ به حدود ۱۱۷۵ متر رسیده است (افت حدود ۲۴ متر در طی ۱۱ سال). از مهر ۱۳۸۱ تا مهر ۱۳۸۷ افت هیدروگراف حدود ۱۵ متر است و نوسان سالانه زیاد است. از مهر ۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۲ افت‌ها دارای نوسان کمتری می‌باشد و روند ثابت‌تری را نشان می‌دهد. با این حال در منطقه آلوده به مواد هیدروکربنی در جنوب کوهدشت سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۸۹ به بعد افت چندانی نداشته و در حالی که در نقشه هم‌تراز آب زیرزمینی سال ۱۳۸۱ این منطقه تخلیه‌کننده آبخوان بوده است در نقشه هم‌تراز آب زیرزمینی ۱۳۹۴ بالآمدگی سطح آب زیرزمینی (احتمالاً از منشاء نفوذ عمقی شورابه نفتی به آبخوان) باعث گردیده این ناحیه به صورت تغذیه‌کننده زیرزمینی عمل نماید.

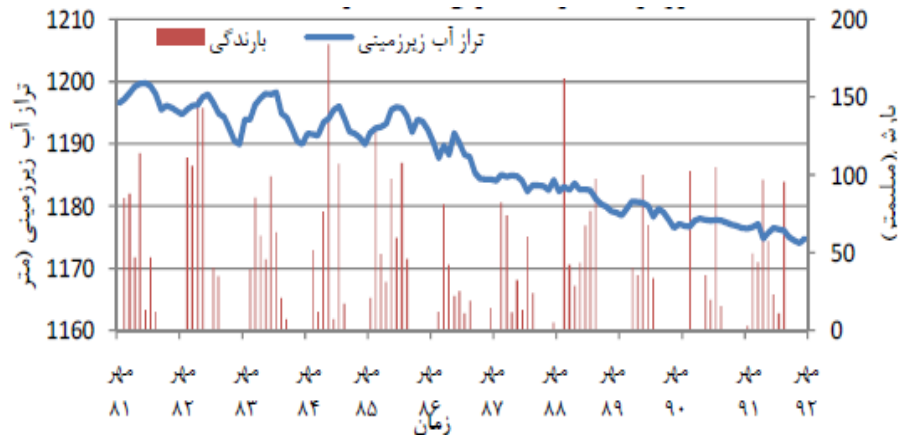




شکل ۳- نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی کوهدشت در سال ۱۳۸۷ قبل از حفاری چاه‌های گازی رومشکان و رخداد آلودگی هیدروکربنی در منطقه سه آسیابه



شکل ۵- نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی کوهدشت در سال ۱۳۹۳ بعد از حفاری چاه‌های گازی رومشکان و رخداد آلودگی هیدروکربنی در منطقه سه آسیابه



شکل ۵- مقایسه مقدار بارندگی با هیدروگراف معرف آب زیرزمینی دشت کوهدشت از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۲

ابتدا نمودار پایپر برای دو دوره‌ی خشک (مرداد ماه) و دوره‌ی مرطوب (بهمن ماه) جهت تعیین رخساره‌های هیدروشیمی و توصیف تفاوت‌ها در ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه تهیه شده است. جهت بررسی وضعیت مکانی هیدروشیمی دشت کوهدشت اقدام به تهیه نقشه‌های هم‌میزان پارامترهای هیدروشیمی کلراید، هدایت الکتریکی،  $DO$ ،  $BOD$ ،  $COD$ ، و باریوم شده است. نمودارهای ترکیبی مختلف جهت شناخت فرآیندهای ژئوشیمیایی مؤثر بر غلظت یون‌های عمده، منشاء آب‌ها، و بررسی وضعیت آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت کوهدشت مورد استفاده واقع شده‌اند. نمودارهای دو متغیره پارامترهای اندازه‌گیری شده شیمیایی، یا نمودارهای ترکیبی جهت تشخیص فرآیندهای شیمیایی، ابزارهای مفید می‌باشند که به عنوان ابزاری مناسب در تفسیر فرآیندهای هیدروژئوشیمی آبخوان کوهدشت و تشخیص اثر آلودگی هیدروکربنی بر روی کیفیت آبخوان به کار گرفته شده‌اند. مباحث تکمیلی در مورد نحوه استفاده از نمودارهای ترکیبی و انواع الگوهای تشکیل شده در نمودارها توسط میزور (۲۰۰۵) ارائه گردیده است. به هنگام بررسی چندین نمونه در این نمودارها چندین الگو ممکن است حاصل گردد. تفسیر مناسب در رابطه با دلایل تشکیل نمودار با الگوی تصادفی عمدتاً می‌تواند ناشی از وجود منابع آب غیر مرتبط با همدیگر با ترکیب متفاوت و یا انجام آنالیزهای شیمیایی با دقت پائین باشد. مورد دوم در شرایطی ممکن است صادق باشد که دیگر جفت‌ها پارامترها الگوی مشخصی را تأیید نمایند. نمودار

بررسی نقشه‌های هم‌تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت کوهدشت در دوره ۱۴ ساله نشان می‌دهد که علیرغم افت کلی آبخوان از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۲، در قسمت جنوب و جنوب غرب دشت یک بالآمدگی به میزان ۳ متر اتفاق افتاده است و کمترین میزان افت در قسمت شمال، غرب و شرق دشت می‌باشد. با توجه به نقشه‌های هم‌تغییرات سطح آب زیرزمینی مشخص شده است که یک بالآمدگی در قسمت جنوب و جنوب غربی دشت رخ داده که دلیل این بالآمدگی می‌تواند در ارتباط با مهاجرت رو به بالای شورابه نفتی حاوی گاز هیدروژن سولفور به آبخوان در این مناطق می‌باشد.

#### داده‌ها و روش تحقیق

داده‌های هیدروشیمی حاصل از آزمایش‌های شیمیایی آب زیرزمینی پروژه پایش کیفی محدوده کوهدشت توسط آزمایشگاه فن آزما طبق درخواست شرکت آب منطقه‌ای لرستان برای چهار دوره در سال ۱۳۹۳. نمونه‌های آب زیرزمینی در چهار دوره اردیبهشت، مرداد و آذر (۱۶ حلقه چاه آب) و بهمن ماه (۲۵ حلقه چاه آب) سال ۱۳۹۳ جهت سنجش هدایت الکتریکی، یون‌های عمده، یون‌های فرعی (ید، آهن، روی، باریوم، نیترات، نیتريت، فلئور، آرسنیک، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی شیمیایی ( $COD$ ) و بیوشیمیایی ( $BOD$ ))، و  $pH$ ، و مواد هیدروکربنی مورد سنجش قرار گرفته‌اند (شکل ۵). به‌طور نمونه نتایج پارامترهای انتخابی نمونه‌های آب کوهدشت در دوره بهمن ۱۳۹۳ در جدول ۱ ارائه شده است.

ترکیبی با الگوی خوشه‌ای می‌تواند به دلیل وجود چند گروه با ترکیب متفاوت از یکدیگر باشد، به طوری که گروه‌های (خوشه‌های) نزدیک‌تر به محور مختصات دارای محتوی یونی کمتر و گروه‌های دورتر از مرکز مختصات حاوی یون‌های بیشتری می‌باشند. وجود مجموعه خوشه‌های جدا از هم در اغلب موارد می‌تواند نشانگر وجود تیپ آب‌های متفاوت (بدون اختلاط با همدیگر) باشد. در نمودار ترکیبی با الگوی خطی، آب‌ها بین دو عضو انتهایی اختلاط حاصل می‌نمایند.

جدول ۱- نتایج سنجش شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی کوهدشت در بهمن ماه ۱۳۹۳ (شرکت آب منطقه‌ای لرستان، ۱۳۹۳)

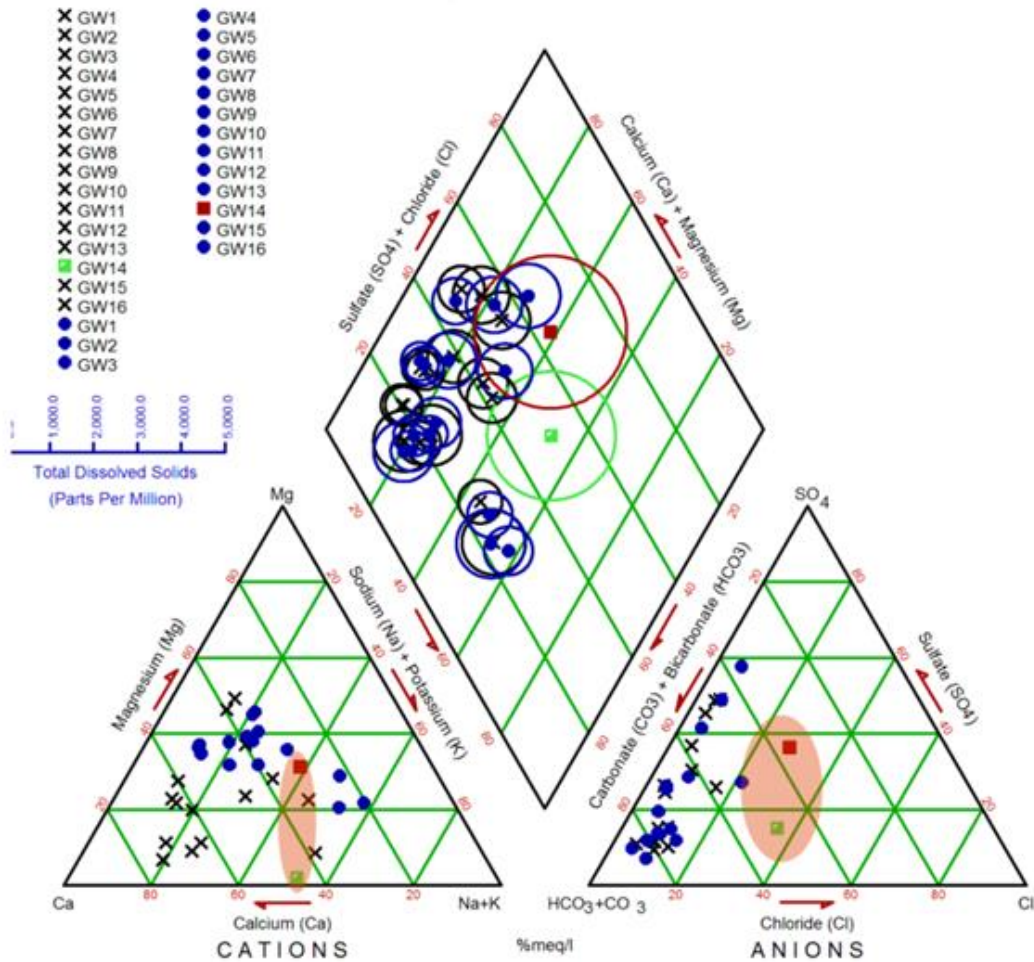
Well ID	EC	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	BOD	COD	DO
GW1	688	8.21	39.3	0.4	53.2	30.5	24.6	356.2	22	10	18	5.97
GW2	595	8.26	33.0	1.4	47.2	26.1	22.7	287.2	33	20	38	4.12
GW3	650	8.1	24.0	1.0	53.2	34.4	19.6	321.25	36	4	8	5.2
GW4	860	8.26	34.0	1.2	66.0	45.9	41.5	412.5	44	4	6	4.03
GW5	790	8.17	18.8	1.1	89.2	31.7	11.6	257.5	165	2	4	2.58
GW6	572	7.84	14.0	0.9	62.8	23.9	9.5	245	73	6	11	4.89
GW7	678	7.81	20.0	1.2	66.0	31.5	10.9	292.5	86	8	15	3.69
GW8	795	7.94	42.0	1.1	66.0	34.4	13.6	265	157	2	4	4.05
GW9	940	8.01	51.0	1.8	87.6	34.1	22.5	267.5	215	12	26	4.15
GW10	895	8.08	33.0	1.8	86.4	39.0	14.3	247.5	215	1	2	4.78
GW11	970	7.98	11.5	1.1	54.8	26.8	30.7	457.5	70	2	4	3.89
GW12	914	7.95	38.6	0.6	80.0	42.0	17.1	475	51	4	8	4.23
GW13	660	8.28	73.3	0.3	31.2	23.9	25.4	300	53	4	8	4.1
GW16	860	8.06	35.0	1.1	86.4	33.4	22.5	343.7	119	1	1	3.89
GW17	980	8.11	35.0	1.4	92.4	44.8	23.9	305	202	6	11	4.31
GW18	795	8.14	33.1	1.2	76.8	33.2	25.2	275	140	2	4	4.06
GW19	745	8.22	40.0	1.1	70.4	26.8	11.6	272.5	130	2	4	4.23
GW20	843	8.06	30.0	1.5	84.8	34.4	13.6	245	197	8	15	4
GW21	868	8.12	30.0	1.4	81.6	40.0	12.8	287.5	178	4	8	4.78
GW22	810	7.85	105.0	0.0	2.0	19.3	40.6	347.5	67	7	14	3.8
GW23	2800	7.54	258.5	0.2	8.7	101.2	261.9	595	529	30	52	2.2
GW24	2450	7.58	240.0	0.2	7.9	77.3	299.2	571.25	322	6	14	3.9
GW25	1225	7.41	98.0	0.1	3.6	55.1	47.5	570	79	11	24	3.5
GW26	845	7.79	40.7	0.1	3.6	38.8	16.9	287.5	156	3	5	4.9
GW27	890	7.76	90.0	0.0	3.4	19.5	45.6	412.5	45	1	1	4.8

### بحث و نتیجه‌گیری

به رأس کلسیم قرار دارند. نمونه‌های آلوده منطقه سه آسیابه نسبت به سایر نمونه‌ها مقدار کلر و سدیم - پتاسیم بیشتری دارند. تمایل نمونه‌ها به گوشه سدیم در مثلث کاتیونی علیرغم عدم حرکت به سمت کلرور در مثلث آنیونی در نمونه‌های زمینه دشت نمایانگر تبادل یونی می‌باشد. تیپ آب غالب بر اساس نمودار پایپر بی‌کربناته - کلسیک (منیزیک) می‌باشد. در مورد نمونه‌های نفتی نیز تیپ آب بی‌کربناته (کلروره) - سدیک است. در بهمن ماه (شکل ۷) نمونه‌های هیدروکربنی موجود

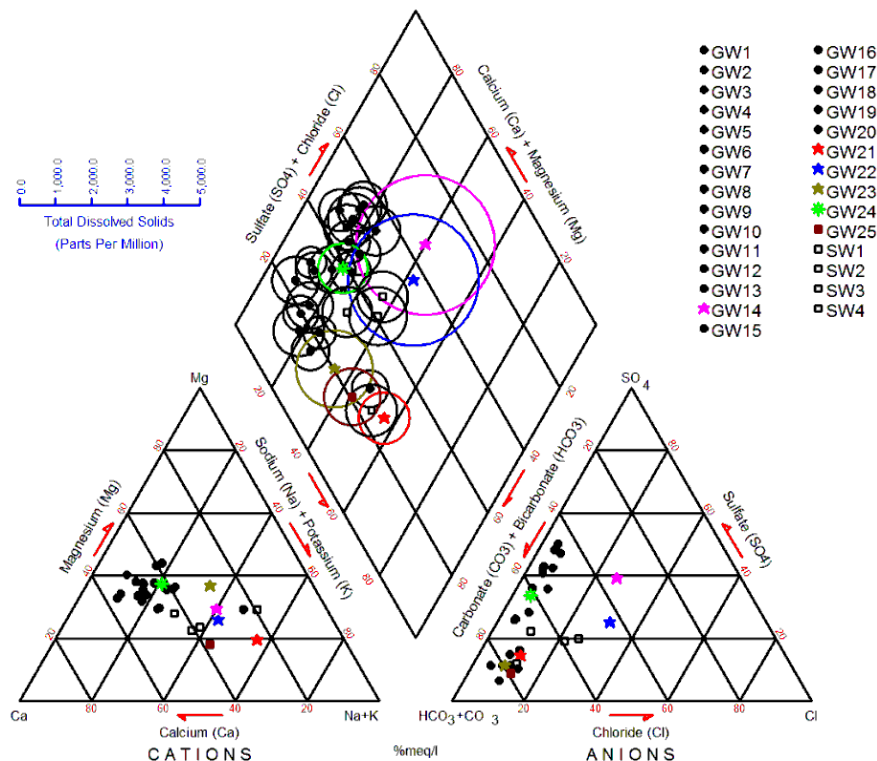
در این مقاله بر اساس تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمی سعی گردیده است تا ضمن شناسایی فرآیندهای حاکم بر آبخوان، اثرات آلودگی هیدروکربنی آب‌های زیرزمینی جنوب دشت بر روی کیفیت آب‌های زیرزمینی نیز مشخص شود. بر اساس نمودار پایپر آب زیرزمینی دشت کوهدشت (شکل ۶) اکثر نمونه‌ها بر روی مثلث آنیون‌ها، نزدیک به رأس کربنات و بی‌کربنات قرار گرفته و بر روی مثلث کاتیون‌ها، تقریباً نزدیک

نسبت به سایر نمونه‌ها مقدار کلر و سدیم بیشتری دارند با این تفاوت که غلظت‌ها در دو نمونه (GW22 و GW14) بیشتر از سایر نمونه‌های هیدروکربنی می‌باشد. در عین حال نسبت مجموع منیزیم و کلسیم از مجموع بی‌کربنات و سولفات کمتر است. یعنی کلسیم و تا حدی منیزیم از آب شیرین آبخوان جایگزین سدیم جذب شده بر روی کانی‌های رسی شده و سدیم در آب زیرزمینی آزاد شده و این نمایانگر رخداد تبادل یونی می‌باشد.



شکل ۶- نمودار پایپر نمونه‌های آب دشت کوه‌دشت در دو دوره اردیبهشت (نشان ضربدر) و مرداد (نشان دایره توپر) سال ۱۳۹۳





شکل ۷- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت کوهدشت در بهمن ۱۳۹۳ (چاه‌های واقع در منطقه آلوده به مواد هیدروکربنی با علامت ستاره مشخص شده‌اند)

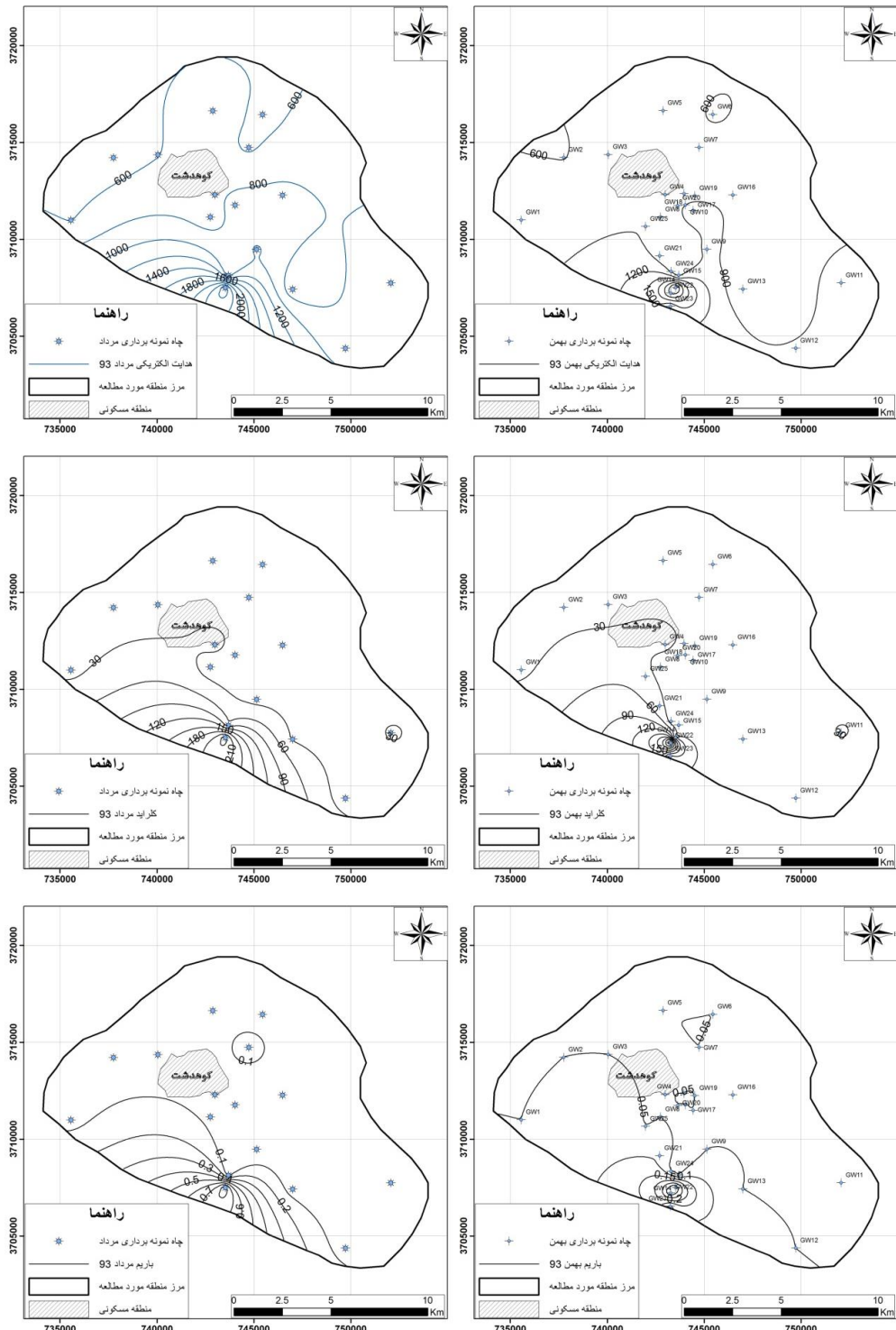
آسیابه به‌واسطه اختلاط شورابه‌های نفتی با آب زیرزمینی در آبرفت، هدایت الکتریکی به‌طور ناهنجاری تا بیش از ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در بهمن ماه ۱۳۹۳ افزایش یافته است. مقدار غلظت کلر در دوره خشک سال ۱۳۹۳ در دشت کوهدشت (شکل ۸)، از مقدار ۰/۱ تا ۶/۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر می‌باشد ولی در مورد نمونه موجود در منطقه سه آسیابه (GW14) غلظت کلراید شدیداً افزایش می‌یابد که این افزایش به دلیل نفوذ شورابه نفتی می‌باشد. مقدار غلظت کلر در فصل مرطوب (بهمن) در اکثر چاه‌های نمونه‌برداری شده از ۰/۳ تا ۱۰/۷ میلی‌گرم بر لیتر متغیر می‌باشد که بیشترین مقدار را در قسمت جنوب غربی دشت و روستای سه آسیابه نشان می‌دهد. در نمونه‌های موجود در منطقه سه آسیابه (GW22) و (GW14) غلظت کلراید به ترتیب ۲۹۹ و ۲۶۱ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. باریم به عنوان یکی از شاخص‌های آلودگی به شورابه‌های نفتی در مناطق جنوبی دشت کوهدشت از مقادیر زمینه کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر تا بیش از ۰/۷ میلی‌گرم بر لیتر افزایش می‌یابد. منطبق با نقشه‌های هدایت الکتریکی و کلراید، نفوذ شورابه‌های نفتی احیایی به آبخوان با غلظت DO

یکی از روش‌های مناسب در مطالعات هیدروژئوشیمی جهت پردازش و نمایش داده‌های به دست آمده در یک منطقه وسیع و گسترده، ترسیم نقشه‌های هم‌ارزش پارامترهای مختلف می‌باشد. این نقشه‌ها از داده‌های جمع‌آوری شده در یک زمان مشابه تهیه می‌شوند. با توجه به اهمیت توزیع نقاط نمونه‌برداری در یک منطقه برای مقایسه نقشه‌های هم‌میزان سعی گردیده است تا نقاط نمونه‌برداری در منطقه آلوده جنوب دشت متمرکز و در بقیه دشت با پراکندگی یکنواخت انتخاب شود. جهت بررسی توزیع مکانی و زمانی متشکله‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت کوهدشت اقدام به تهیه نقشه‌های هم‌ارزش پارامترهای کلراید، باریم، هدایت الکتریکی (شکل ۸)، و نقشه تلفیقی در ارتباط با اکسیژن محلول (شامل BOD، COD، و DO) (شکل ۹) برای دوره‌های مرداد (خشک) و بهمن (مرطوب) ۱۳۹۳ شده است.

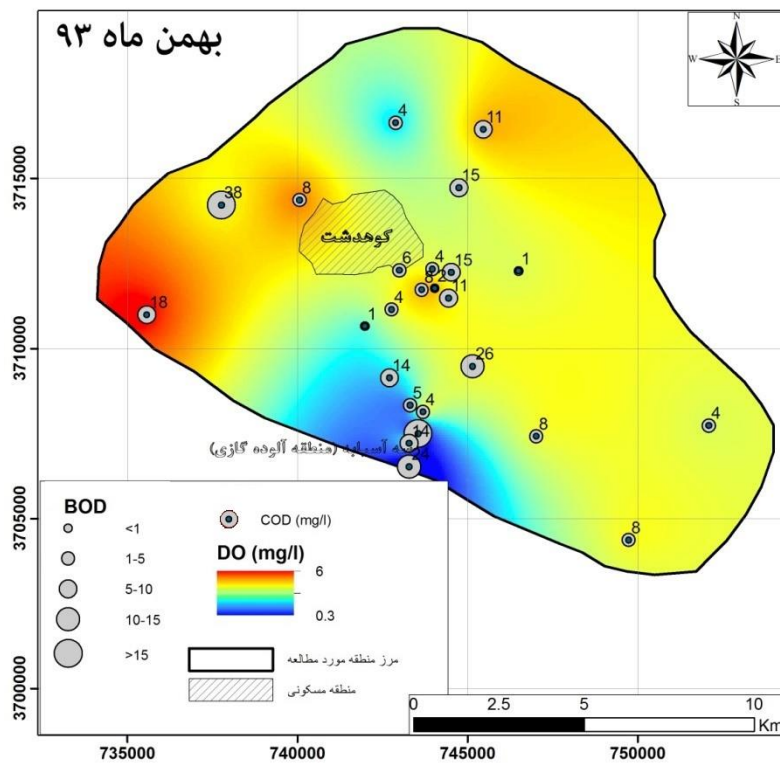
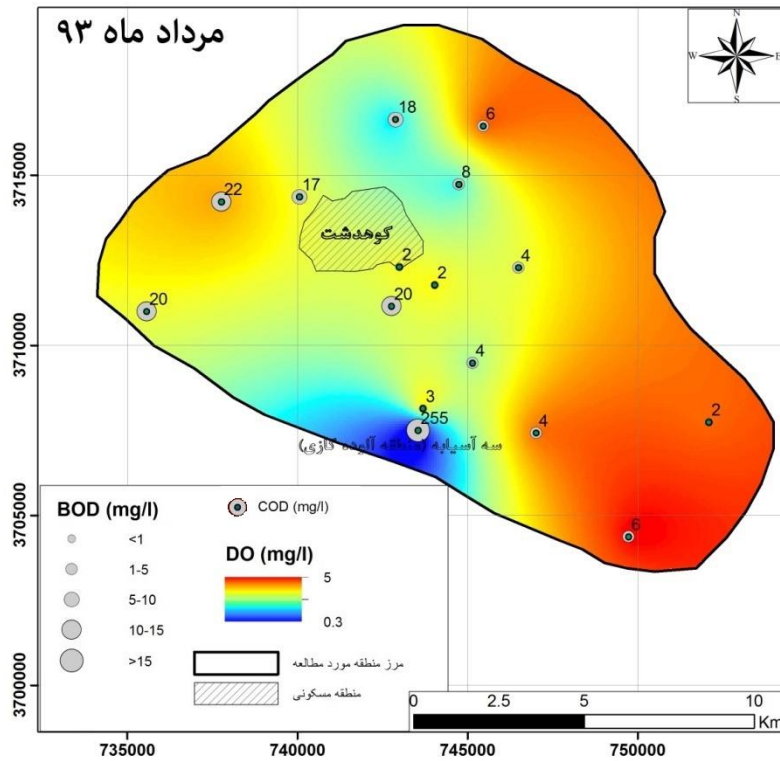
هدایت الکتریکی آبخوان از حدود ۵۰۰ تا بیش از ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر است و در جهت جریان کلی آب زیرزمینی از منطقه تغذیه شمال دشت به سمت خروجی دشت در جنوب با روند ملایمی افزایش می‌یابد، با این حال در سه

کمتر از ۰/۱ میلی گرم بر لیتر در چاه سه آسیابه محرز شده است (شکل ۹)، در بقیه نواحی آبخوان غلظت DO متأثر از وضعیت تغذیه، لیتولوژی، و عمق نمونه برداری بین ۲ تا ۵ میلی گرم بر لیتر متغیر است. پارامترهای BOD و COD چاه سه

آسیابه به ترتیب بین ۲۰ تا ۱۲۰ میلی گرم بر لیتر و ۲۰ تا ۲۵۵ میلی گرم بر لیتر در دو دوره نمونه برداری اردیبهشت و مرداد ماه ۱۳۹۳ تغییر می نماید در حالی که در بقیه مناطق دشت غلظت این دو پارامتر حدود یکدهم مقادیر مذکور است.



شکل ۸- نقشه های هم میزان هدایت الکتریکی، کلراید و باریم آبخوان کوهدهشت در دو دوره خشک (مرداد) و مرطوب (بهمن)



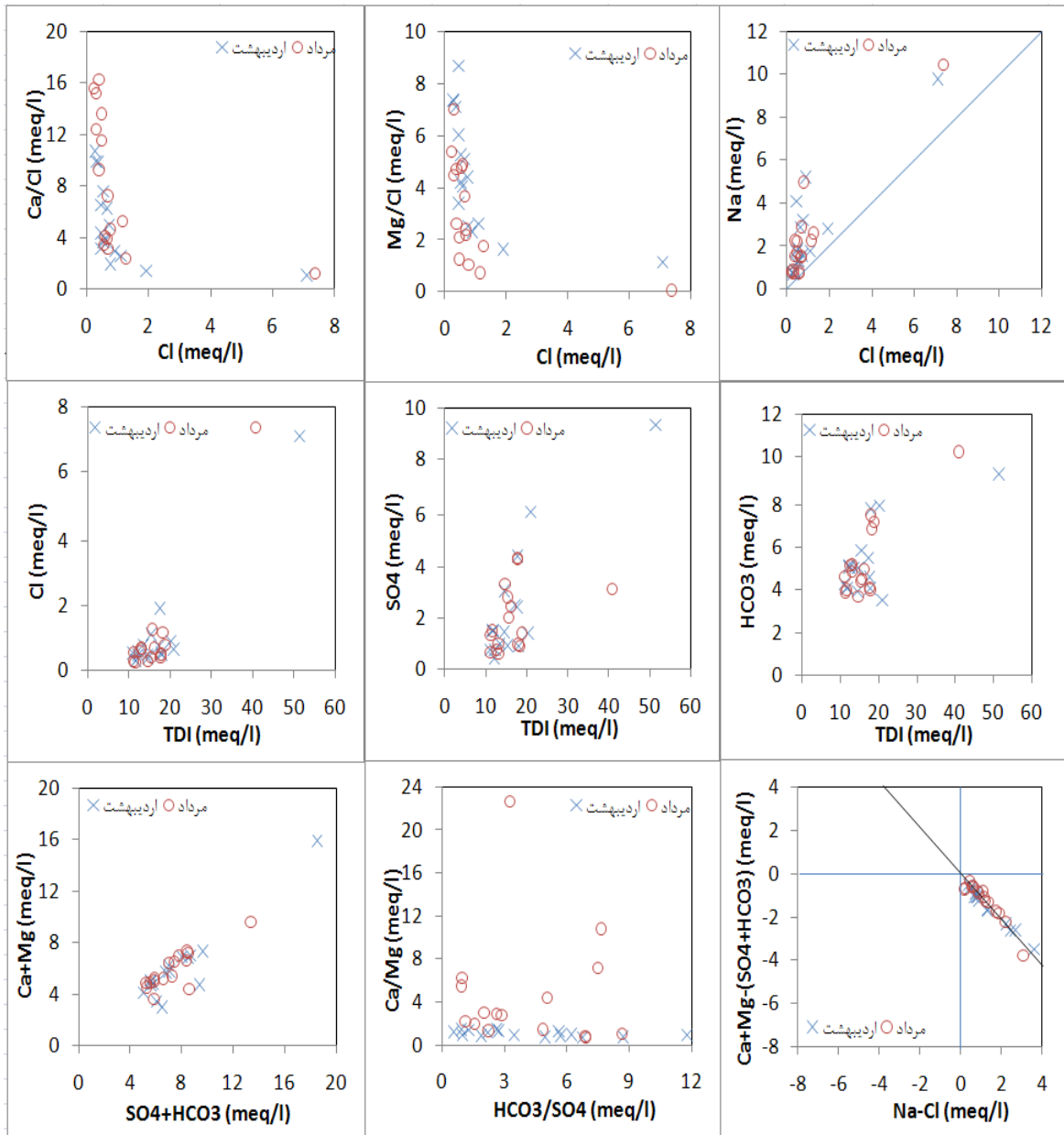
شکل ۹- نقشه‌های هم میزان DO، BOD، و COD آبخوان کوهدشت در دو دوره خشک (مرداد) و مرطوب (بهمن)

بررسی فرآیندهای هیدروژئوشیمی حاکم بر آبخوان دشت کوهدشت با استفاده از نمودارهای ترکیبی صورت گرفته است. نمودارهای ترکیبی مختلف جهت شناخت فرآیندهای ژئوشیمیایی مؤثر بر غلظت یون‌های عمده، منشأ آب‌ها و بررسی وضعیت آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت کوهدشت مورد استفاده واقع شده‌اند. در نمودارهای ترکیبی تغییرات کاتیون‌ها با کلراید، آنیون‌ها با کل یون‌های محلول (TDI) و نسبت‌های یونی (شکل ۱۰) نمونه آب مخلوط با شورابه نفتی به‌صورت منفک از نمونه‌های دیگر دشت کوهدشت مشخص شده است. نمودار آنیون‌ها در مقابل TDI نشان دهنده انحلال کربنات‌ها و تا حدی سولفات‌ها در آبخوان می‌باشد و به‌جز نمونه آب چاه سه آسیابه که اثرات اختلاط با شورابه نفتی را نشان می‌دهد، کلراید نقشی در تکامل هیدروژئوشیمی آبخوان ندارد. نمودار سدیم در مقابل کلراید رخداد و نمودار دو متغیره نسبت  $(Ca+Mg)-(SO_4+HCO_3)$  در مقابل  $Na-Cl$  رخداد تبادل یونی را در آبخوان به خوبی نشان می‌دهد، که با انحلال غالب کربنات‌ها در آبخوان در مسیر جریان و افزایش غلظت کلسیم و منیزیم در آب زیرزمینی نسبت به غلظت تعادلی تبادل یونی با رس‌ها در انطباق است. با توجه به نسبت تغییرات در نمودار  $Ca+Mg$  در مقابل  $SO_4+HCO_3$  مشخص می‌شود که مجموع منیزیم و کلسیم از مجموع بی‌کربنات و سولفات کمتر است و نشان دهنده این است که کلسیم و تا حدی منیزیم از آب شیرین آبخوان جایگزین سدیم بر روی کانی‌های رسی شده و سدیم در آب زیرزمینی آزاد شده است. نمودار  $Ca/Mg$  در مقابل

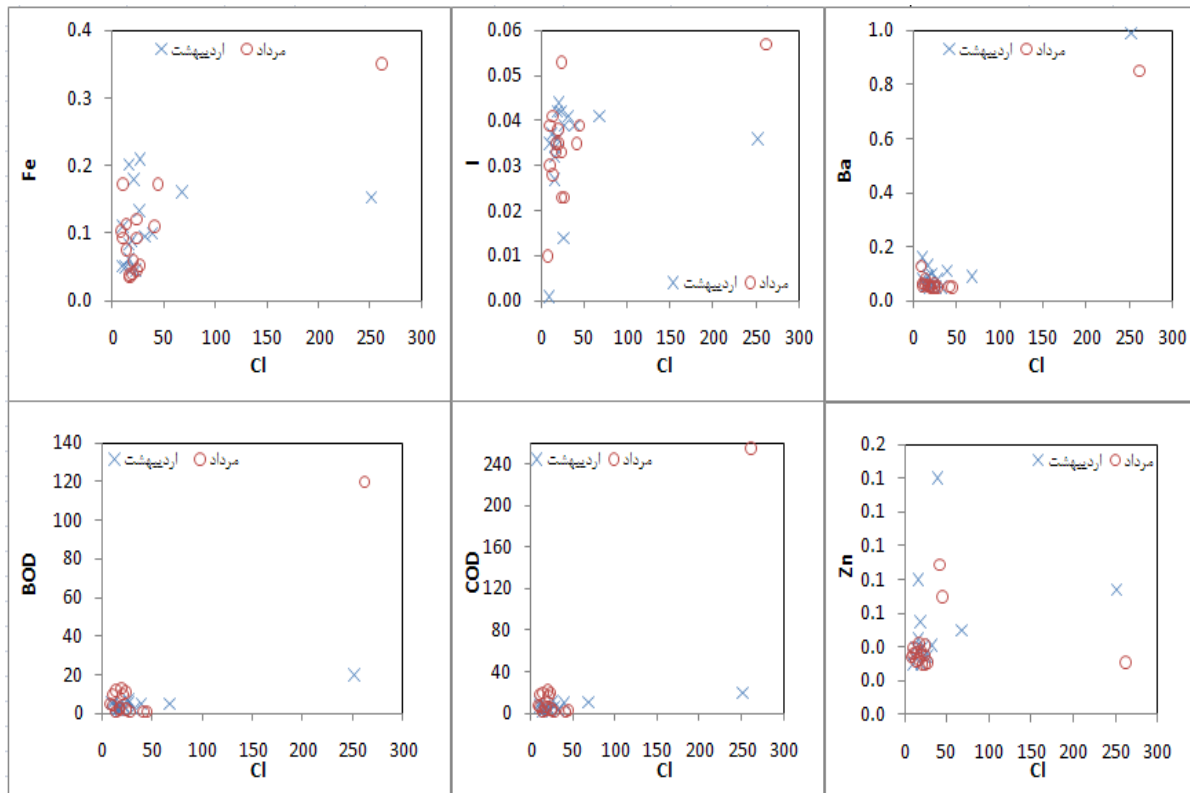
$HCO_3/SO_4$  نمایانگر آن است که انحلال کربنات‌ها از سولفات بیشتر است و همچنین در دوره اردیبهشت انحلال کلسیت منیزیم دار و دولومیت و در دوره مرداد انحلال کلسیت غالب است. برابری غلظت‌های مولار کلر و سدیم در نمونه نفتی مشخص شده نشان دهنده وجود منشأ یکسان برای این دو یون می‌باشد. که این منشأ ناشی از نفوذ شورابه نفتی می‌باشد، با این حال تمایل نمونه‌ها به جدایش از خط ۱:۱ انحلال هالیت به سمت غلظت‌های مازاد سدیم، تأیید دیگری بر رخداد فرآیند تبادل یونی می‌باشد.

با توجه به نمودارهای ترکیبی یون‌های فرعی، BOD، و COD در مقابل کلراید (به عنوان یون پایدار) (شکل ۱۱) مشخص شده است که میزان آهن در اردیبهشت نسبت به مرداد بیشتر است ولی در منطقه‌ی سه آسیابه به علت افزایش غلظت آهن دو ظرفیتی در محیط احیایی ناشی از نفوذ رو به بالای شورابه نفتی به آبخوان، عکس این حالت رخ داده است. میزان ید در دوره مرداد زیاد است ولی در اردیبهشت احتمالاً به علت اختلاط با آب باران از مقدار ید کم شده است. غلظت باریم در نمونه آب سه آسیابه مؤید نفوذ شورابه نفتی به آبخوان می‌باشد. این امر با BOD و COD زیاد در مرداد ماه همخوانی دارد. در دوره اردیبهشت که آب تغذیه‌ای از بارش باعث ورود اکسیژن محلول به آبخوان شده است، میزان BOD و COD کاهش پیدا کرده است. مقدار روی در منطقه سه آسیابه تفاوت خاصی با بقیه نقاط آبخوان نشان نمی‌دهد.





شکل ۱۰- نمودارهای ترکیبی نشان دهنده فرآیندهای هیدروژئوشیمی غالب آبخوان کوهدشت در اردیبهشت و مرداد ۱۳۹۳



شکل ۱۱- نمودارهای ترکیبی یون‌های فرعی، BOD، و COD در مقابل کلراید (بر حسب میلی گرم بر لیتر) آبخوان کوه‌دشت در اردیبهشت و مرداد ماه ۱۳۹۳

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که سیر تکامل هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی در دشت کوه‌دشت از تیپ بی‌کربناته کلسیک (منیزیک) در مناطق تغذیه شمالی آغاز و به تیپ بی‌کربناته (سولفات) منیزیک ادامه می‌یابد ولی در مناطق تخلیه جنوب غربی (منطقه آلوده به مواد هیدروکربنی) تخلیه دشت به‌طور ناگهانی تیپ آب زیرزمینی کلروره - سدیک می‌شود. به‌طور کلی میزان املاح محلول آب زیرزمینی از حواشی شمال و شمال شرقی به سمت مرکز دشت افزایش تدریجی نشان می‌دهد و در نهایت در منطقه آلوده هیدروکربنی به‌طور ناهنجار افزایش می‌یابد. افزایش هدایت الکتریکی، غلظت زیاد کلراید، سدیم، باریم، و ید، پایین بودن مولار بی‌کربنات به کلراید، و مقادیر زیاد غلظت‌های BOD و COD از مشخصه‌های اصلی هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی با شورابه نفتی در جنوب غرب منطقه می‌باشد. بررسی‌های هیدروژئوشیمی نشان می‌دهد که در منطقه آلوده شورابه نفتی، تیپ آب زیرزمینی کلروره سدیک با شرایط احیایی شدید، و غلظت باریم و ید زیاد با آب زیرزمینی بی‌کربناته کلسیک در بخش جنوبی دشت اختلاط

به لحاظ هیدروژئولوژی، بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در منطقه آلوده به مواد هیدروکربنی در جنوب کوه‌دشت، مبین آن است که نه تنها فرضیه افت سطح آب زیرزمینی در آلودگی هیدروکربنی آب‌های زیرزمینی سه آسیابه کوه‌دشت مؤثر نبوده، بلکه منشاء دیگری احتمالاً مهاجرت رو به بالای شورابه‌های نفتی باعث تغذیه آبخوان در این ناحیه شده است. افت سطح آب زیرزمینی در قسمت جنوبی دشت در دوره ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۸ نسبت به بقیه دشت به‌کندی رخ داده است و از سال ۱۳۸۹ تا سال ۱۳۹۲ (یعنی دوره پس از حفاری چاه‌های گاز رومشکان و رخداد پدیده چاه آتش) سطح آب زیرزمینی در قسمت میانی و جنوبی دشت بالآمدگی به میزان ۷/۶ متر نشان می‌دهد. از این رو عملاً فرضیه مبتنی بر آنکه بهره‌برداری بی‌رویه و افت سطح آب زیرزمینی دلیل آلودگی هیدروکربنی و آتش گرفتن چاه‌های آب جنوب دشت کوه‌دشت می‌باشد، مردود می‌باشد.

- Gleason R., Preston T., Smith B., Tangen B., Thamke J., 2011. Examination of brine contamination risk to aquatic resources from petroleum development in the Williston Basin. U.S. Geological Survey Fact Sheet, 2011-3047.
- Jeong C. H., 2001. Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of ground water from Taejon area, Korea. *Journal of Hydrology*, 253, 194-210.
- Lakshmanan E., Kannan R., Senthil Kumar M., 2003. Major ion chemistry and identification of hydrogeochemical processes of ground water in a part of Kancheepuram district, Tamil Nadu, India. *Environmental Geosciences*, 10(4), 157-166.
- Mazor E. 2005. *Global Water Dynamics, Shallow and Deep Groundwater, Petroleum Hydrology, Hydrothermal Fluids, and Landscaping*. Marcel Dekker, Inc., New York, 416 p.
- Monjerezi M., Vogt R. D., Aagaard P., Saka J. D. K. 2012. The hydro-geochemistry of groundwater resources in an area with prevailing saline groundwater, lower Shire Valley, Malawi. *Journal of African Earth Sciences*, 68, 67-81.
- Peterman Z. E., Thamke J., Futa K., Preston T., 2012. Strontium isotope systematic of mixing groundwater and oil-field brine at Goose Lake in northeastern Montana, USA. *Applied Chemistry*, 27, 2403-2408.
- Redwan M., Abdel Moneim A. A., 2016. Factors controlling groundwater hydrogeochemistry in the area west of Tahta, Sohag, Upper Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 118, 328-338.
- Reiten J. C., Tischmak T., 1993. Appraisal of oil field brine contamination in shallow groundwater and surface water, eastern Sheridan County, Montana. Billings, Mont., Montana Bureau of Mines and Geology, Open-File Report 260, 300.
- Voutsis N., Kelepertzis E., Tziritis E., Kelepertzis A., 2015. Assessing the hydrogeochemistry of groundwaters in ophiolite areas of Euboea Island, Greece, using multivariate statistical methods. *Journal of Geochemical Exploration*, 159, 79-92.
- حاصل نموده است. با جمع‌بندی یافته‌های هیدروژئوشیمی و هیدروژئولوژی می‌توان دریافت که آلودگی هیدروکربنی آب‌های زیرزمینی جنوب کوهدشت در ارتباط با نفوذ رو به بالای شورابه عمقی نفتی شدیداً احیایی می‌باشد که با خیز سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای جنوب دشت از سال ۱۳۹۰ رخ داده است که می‌توان احتمال ارتباط آن حفاری ناموفق چاه‌های گازی بابا حبیب در سال ۱۳۸۹ در منطقه رومشکان (واقع در ۲۰ کیلومتری جنوب کوهدشت) را ممکن دانست، هرچند تائید این مطلب نیاز به بررسی‌های تکمیلی ایزوتوپی آب‌های زیرزمینی منطقه دارد.

### منابع

تزه، ف.، و باقری تیر تاشی، ر.، ۱۳۹۲. ارزیابی ژئوشیمیایی چشمه‌های نفتی تراوش یافته در ساختمان کوهدشت ناحیه‌ی لرستان. سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، ۳۰-۲۷ بهمن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

شرکت آب منطقه‌ای لرستان، ۱۳۹۳. نتایج آزمایش‌های فیزیکی آب زیرزمینی پروژه پایش کیفی محدوده کوهدشت.

- Brindha K., and Elango L., 2014. PAHs Contamination in groundwater from a part of Metropolitan city, INDIA: a study based on sampling over a 10- year period" *Environmental Earth Sciences*, 71, 5113-5120.
- Chen H., Ren Z., Liu R., Liu F., Zhang G., 2008. Contamination characteristics and mechanism of groundwater movement in an oilfield in Northeast China. *Earth Sciences Front*, 15(4), 178-185.
- Cortes J. E., Muñoz L. F., Gonzalez C. A., Niño J. E., Polo A., Suspes A., Siachoque S. C., Hernández A., Trujillo H., 2016. Hydrogeochemistry of the formation waters in the San Francisco field, UMV basin, Colombia – A multivariate statistical approach. *Journal of Hydrology*, 539, 113-124.