

مقایسه آماری و هیدروژئوشیمیایی کیفیت آبهای زیرزمینی دشتهای غربی

و شرقی استان کردستان

شیرکو ابراهیمی محمدی^{*۱}

۱- استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

(تاریخ دریافت ۹۶/۰۵/۱۸ - تاریخ پذیرش ۹۶/۱۲/۱۸)

چکیده:

این پژوهش با هدف مقایسه کیفیت آب دو دشت قروه (از قطبهای سیب زمینی کشور) و مریوان (از قطبهای تنباکوی کشور) به ترتیب در شرق و غرب استان کردستان انجام شد. داده های جمع آنیونها، جمع کاتیونها، یونهای کلر، سولفات، بیکربنات، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، نسبت جذب سدیم، قلیائیت، سختی کل، باقیمانده خشک و هدایت الکتریکی آبهای زیرزمینی هر دو دشت در سالهای آماری مشترک ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۵ به کمک ترسیم نمودارها، محاسبه شاخصها، تعیین نسبتهای یونی مختلف کیفیت آب و تهیه نقشه های پهنه بندی در محیط GIS مقایسه شدند. همچنین برای سنجش توزیع داده ها از آزمون کای اسکور در سطح اطمینان ۹۵٪ و برای مقایسه میانگین متغیرها از آزمون t مستقل در سطح اطمینان ۹۹ درصد استفاده شد. نتایج نشان داد که در هر دو دشت قروه و مریوان کاتیونها از فراوان به کمیاب به ترتیب کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم و آنیونها به ترتیب بیکربنات، سولفات و کلر بود. نتایج بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بین میانگین متغیرهای بیکربنات، کلسیم، پتاسیم، قلیائیت، سختی کل و همچنین شاخص اشباع گاز کربنیک دشتهای قروه و مریوان بود. میانگین سایر متغیرها، نسبتهای یونی و شاخصهای مورد پژوهش دارای اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد بودند.

کلید واژگان: استیف، اشباع، نسبت کلی، شاخص نفوذپذیری، نسبتهای یونی.

۱. مقدمه

آبهای زیرزمینی یکی از منابع تجدیدپذیر و در عین حال محدود طبیعی و حیاتی برای زندگی بشر، توسعه اقتصادی-اجتماعی، حیات اکوسیستمها می باشد (Singh *et al.*, 2011). منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک که با کمبود منابع آب سطحی مواجه هستند، استخراج می شوند (Liu *et al.*, 2015; Machiwal & Jha, 2015) و در حقیقت کشاورزی آبی جهان وابسته به منابع آب زیرزمینی است (Foster & Shah, 2012). خصوصیات شیمیایی آبهای زیرزمینی تعیین کننده تناسب آب برای اهداف شرب، کشاورزی و صنعت می باشد (Mondal *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2012; Roques *et al.*, 2014; Kumar & Sing, 2015) امروزه آلودگی آبهای زیرزمینی یکی از مشکلات جدی بخش کشاورزی در ایران است (Jalali, 2005 & 2007). بنابراین ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی جهت تهیه آب سالم برای آبیاری اراضی کشاورزی و تولید محصول با کیفیت ضروری است (Berhe *et al.*, 2015) و در این راستا ارزیابی پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی نقش مهمی در طبقه بندی و ارزیابی کیفیت آنها دارد (Jamshidzadeh & Mirbagheri, 2011). استان کردستان با دارا بودن دشتهای متعددی چون شوی، تال، مریوان، اوباتو، دهگلان، قروه و کامیارن دارای پتانسیل بالایی از نظر منابع آب زیرزمینی است و پایش و ارزیابی کیفیت آب آنها کمک شایانی به مدیریت بخش کشاورزی استان خواهد کرد. لذا در این پژوهش به بررسی و مقایسه کیفیت آب دو دشت مهم استان کردستان یکی در شرق استان (دشت قروه) که یکی از قطبهای کشت سیب زمینی در

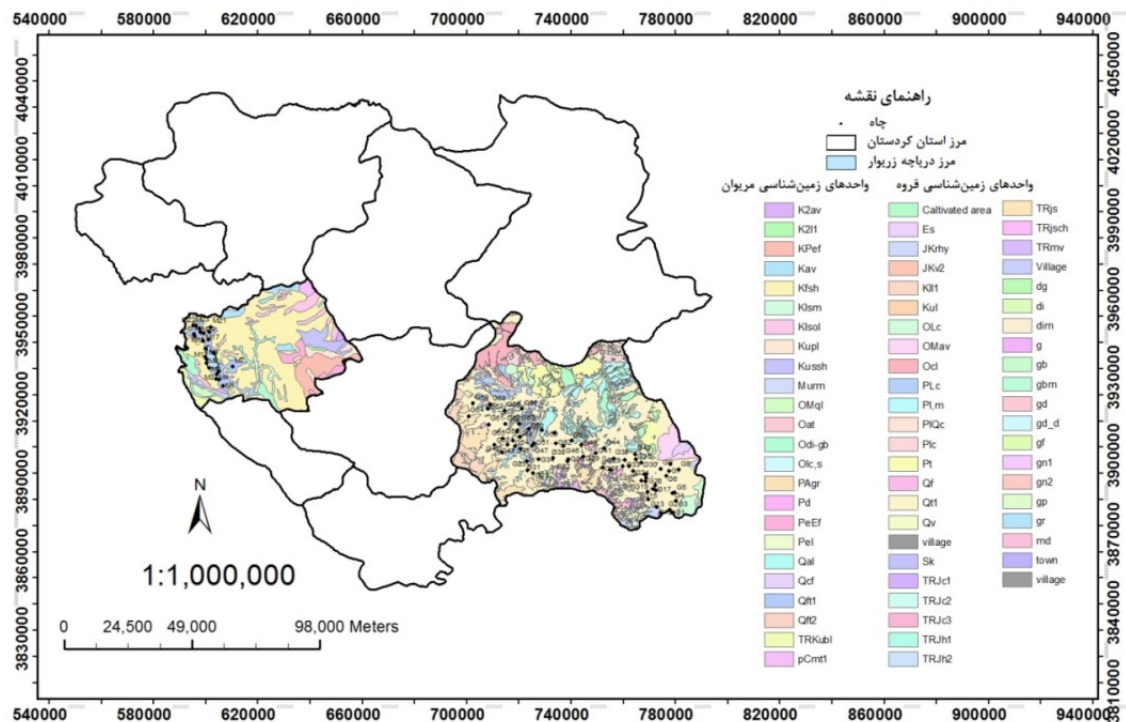
کشور است و دیگری در غرب استان (دشت مریوان) که دومین تولیدکننده محصول تنباکو در کشور است پرداخته شده است.

۲. مواد و روشها

۱.۲. مناطق مورد مطالعه

دو دشت مورد پژوهش یکی دشت مریوان که در غرب استان با وسعت ۵۴۴۲۶/۸ هکتار و مختصات جغرافیایی ۱۲° و ۱° و ۴۶° تا ۴۸° و ۱۶° و ۴۶° طول شرقی و ۲۴° و ۲۳° و ۳۵° تا ۱۲° و ۴۳° و ۳۵° عرض شمالی قرار دارد. از عمده ترین واحدهای لیتولوژیکی حوضه، شیل آرجیلیک سیاه خاکستری و دگرگونه های درجه پایین شامل فیلیت با کمی آهک و سنگهای آتشفشانی (Ksfsh) با رخ اسلیتی یا شیستوزیته است. نهشته های کواترن بر اساس محیط رسوبگذاری، زمان تشکیل، مواد تشکیل دهنده و ریخت شناسی به واحدهای مخروط افکنه، پادگانه های آبرفتی، رسوبات رودخانه ای و واریزه قابل تفکیک است. دشت قروه شامل سه آبخوان چهاردولی، قروه و دهگلان با مساحتی به ترتیب ۵۰۷/۲۱، ۵۶/۱۱ و ۶۲۴ کیلومتر مربع در شرق استان کردستان بین ۱۵" ۱۰' ۴۷° و ۱۷" ۶' ۴۸° طول شرقی و ۲۵" ۶' ۳۵° و ۹" ۲۰' ۳۵° عرض شمالی واقع شده است. از نظر زمین شناسی بطور کلی در غرب و جنوب غرب، سازندهای آهک دگرگون شده (TRjs) و آهکی اوربیتولین دار (Klll)، در شمال غربی کنگلومرا با میان لایه های مارن (Ocl) و ماسه سنگ و کنگلومرا (PLc) و آهک و سنگهای کربناته (Pl,m)، در شرق منطقه سازندهای آذرین مانند آندزیت (OMav)، رسوبی مانند ماسه سنگ و کنگلومرا (OLc) و گرانیت (gd_d) و در جنوب

سازندهای آذرین و دگرگونی شامل کوارتز، دیوریت، گرانودیوریت و مونزودیوریت (md) واحدهای زمین



شکل ۱- نقشه زمین شناسی، موقعیت دشتهای قروه و مریوان و جاههای مورد بررسی در این پژوهش

گیگن‌بچ^۶، ترناری^۷ و استیف^۸ توسط نرم افزار AquaChem 2014.2 انجام گرفت.

استفاده عمده از آبهای زیرزمینی دشتهای قروه و مریوان در بخش کشاورزی است لذا برای ارزیابی کیفیت آب برای آبیاری، شاخصهای ذیل نیز بررسی شد:

شاخص درصد سدیم محلول^۹ یا %Na⁺ که توسط Todd (1980) بصورت زیر تعریف شد:

$$SSP = \frac{Na^{+}+K^{+}}{Ca^{2+}+Mg^{2+}+Na^{+}+K^{+}} \quad (1)$$

۲.۲. روش کار

این مطالعه با هدف مقایسه کیفیت آب دشتهای قروه و مریوان به ترتیب در شرق و غرب استان کردستان و از طریق تحلیل داده های ۱۴ متغیر کیفیت آب شامل آنیونها (Cl, SO₄, HCO₃,) کاتیونها (Na, Mg, Ca, K, Cations), سایر متغیرها شامل SAR, PH, TH, TDS و EC در دوره مشترک آماری از ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۵ انجام شد. با رسم نمودارهای جعبه‌ای توزیع داده های کیفیت آب دشتهای نمایش داده شد. مقایسه کیفیت آب دو دشت مورد پژوهش با ترسیم و تحلیل نمودارهای پایپر^۱، شولر^۲، دورو^۳، لودویگ-لنگلایر^۴، ویلکوکس^۵،

- 4- ludwig-langelier
- 5- Wilcox
- 6- Gigenbach
- 7- Ternary
- 8- Stiff
- 9- Soluble Sodium Percentage (SSP)

- 1- Piper
- 2- Schoeller
- 3- Durov

شاخصهای مختلف کیفیت آب دشتهای قروه و مریوان با آزمون t مستقل در سطح اطمینان ۹۹٪ به کمک نرم افزار IBM SPSS Statistics 20.0 انجام گرفت.

۳. نتایج

۱.۳. ویژگی های عمومی آب زیرزمین آبخوانها

قلیائیت آب چاهها در هر دو دشت در حد خنثی تا کمی قلیایی بود. میزان غلظت یونهای Ca و HCO₃ و همچنین TH آبخوان دشت مریوان بیش از آبخوان دشت قروه بود که ناشی از ساختار زمین-شناسی منطقه و فراوانی سازندهای آهکی زاگرس در غرب استان کردستان است. بیشترین غلظت یونهای Cl، SO₄، HCO₃، Na، Mg، Ca، K و همچنین SAR، EC، TSD، TH در شرق دشت قروه مشاهده شد (شکل ۲).

مقادیر حداکثر تمامی متغیرهای مورد بررسی در دشت قروه بیش از دشت مریوان بود. در مجموع مقادیر انحراف از معیار تمامی متغیرها در دشت قروه بسیار بیشتر از دشت مریوان بود که خود بیانگر عدم یکنواختی کیفیت آب در پهنه دشت قروه است. حداکثر میزان EC آب زیرزمینی دشتهای مریوان و قروه به ترتیب ۶۹۴ و ۲۳۰۷ میکروزیمنس بر سانتی متر بود که بر اساس طبقه بندی ویلکوکس (۱۹۵۵) در طبقه خوب برای آبیاری قرار می گیرند. حداکثر میزان SAR آب چاههای دشتهای مریوان و قروه به ترتیب ۰/۷۴ و ۳/۰۲ میلی گرم در لیتر بود که بر اساس طبقه بندی Richards (1954) خطر سدیم آب چاههای دشت مریوان در طبقه بسیار کم و آب چاههای دشت قروه در طبقه کم قرار می گیرند و حداکثر میزان TH آب

شاخص بیکربنات سدیم باقیمانده^۱ یا خطر قلیائیت که توسط Gupta (1983) بصورت زیر تعریف شد:

$$RSBC = HCO_3^- - Ca^{+2} \quad (2)$$

شاخص نفوذپذیری^۲ که توسط Doneen (1964) را بصورت ذیل تعریف کرد:

$$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100 \quad (3)$$

نسبت جذب منیزیم یا خطر منیزیم^۳ که بصورت زیر تعریف می شود:

$$MAR = \frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100 \quad (4)$$

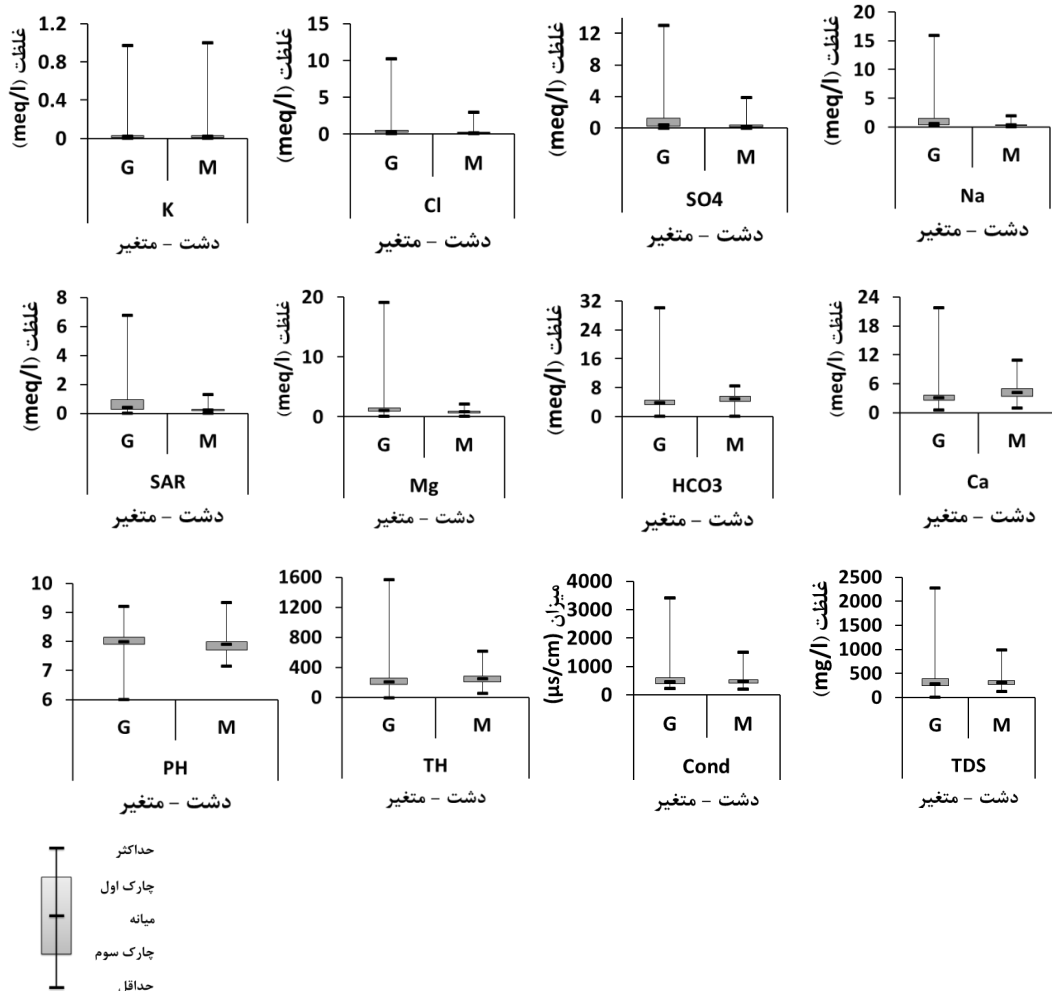
بصورت Kelley (1963) نسبت کلی^۴ که توسط ذیل تعریف می شود:

$$KR = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \quad (5)$$

در هر پنج معادله، غلظت یونها به میلی اکی والان بر لیتر است. شاخصهای اشباع^۵ کانیهای آراگونیت، کلسیت، دولومیت، انیدریت، هالیت، ژپس و همچنین دی اکسید کربن توسط نرم افزار PHREEQC جهت بررسی ثبات ترمودینامیکی آبهای زیرزمینی دشتهای قروه و مریوان بررسی شد. جهت درک بهتر تغییرات مکانی غلظت متغیرها، نسبتهای یونی و شاخصهای کیفیت آب دشتهای نقشه های پهنه بندی آنها در محیط GIS به روش وزن دهی عکس فاصله ترسیم شد. سنجش نرمال بودن متغیرهای مورد بررسی با آزمون کای اسکور^۶ در سطح اطمینان ۹۵٪، مقایسه واریانسها توسط آزمون لوین^۷ و مقایسه میانگین متغیرها، نسبتهای یونی و

- 1- Residual Sodium Bicarbonate (RSBC)
- 2- Permeability Index (PI)
- 3- Magnesium Adsorption Ratio (MAR) or Magnesium Hazard (MH)
- 4- Kelley's Ratio
- 5- Saturation Index (SI)
- 6- Chi-Square
- 7-Levene

چاههای دشتهای مریوان و قروه به ترتیب ۳۵۵/۵ و ۹۳۷/۸ بود که بر اساس طبقه بندی Durfor و Becker (1964) در طبقه بسیار سخت قرار می گیرند.



شکل ۲- شاخصهای توصیفی متغیرهای مختلف کیفیت آب دشتهای قروه (G) و مریوان (M)

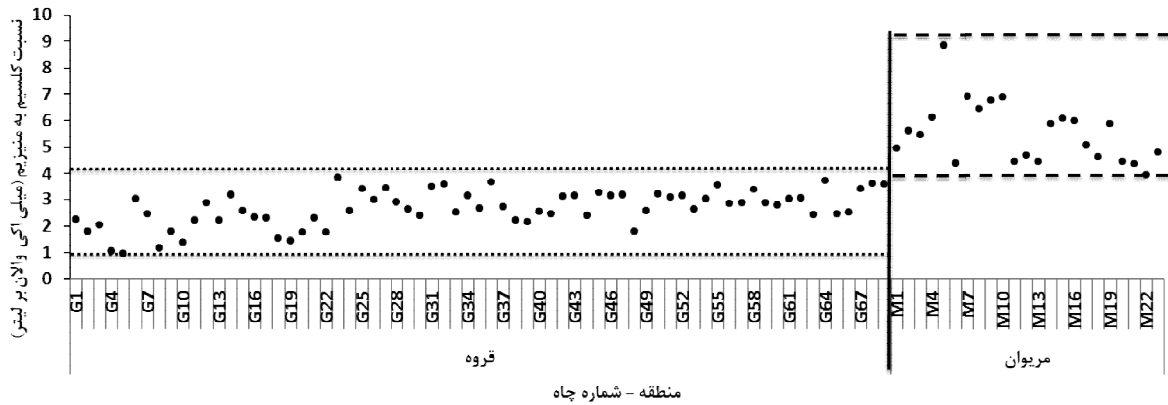
(TRjs) و سازندهای آهکی اوربیتولین دار (Kll1) در این نواحی است (شکل ۳).

۲.۳. شاخصها و رخساره های هیدروشیمیایی^۱

بر اساس نمودار پایپر، رخساره هیدروشیمیایی اصلی دشت مریوان Ca-HCO₃ و دشت قروه Ca-Mg-HCO₃-SO₄ می باشد. نمودار دورو حاکی از قلیائی بودن آب زیرزمینی، متغیر بودن EC و فراوانی HCO₃ و Ca در آبخوان دشت قروه و تجمع دادهها در محدوده HCO₃ و Ca

نسبت Ca/Mg آب چاههای دشت مریوان بین ۴ تا ۹ بود بطوریکه چاه M22 (خاو) واقع در شمال دشت کمترین مقدار و چاه M5 (سه راه نی) واقع در جنوب دشت مریوان بیشترین مقدار را دارا بودند. در دشت قروه نسبت Ca/Mg بین ۱ تا ۴ بود بطوریکه چاههای G4 (وینسار ۱) و G5 (وینسار ۲) واقع در شرق دشت کمترین مقادیر و چاههای G23 (احمدآباد پنجه) و G64 (هلیزآباد) واقع در جنوب و جنوب غرب دشت قروه بیشترین مقادیر را دارا بودند که علت آن سازندهای سنگ آهک دگرگون شده

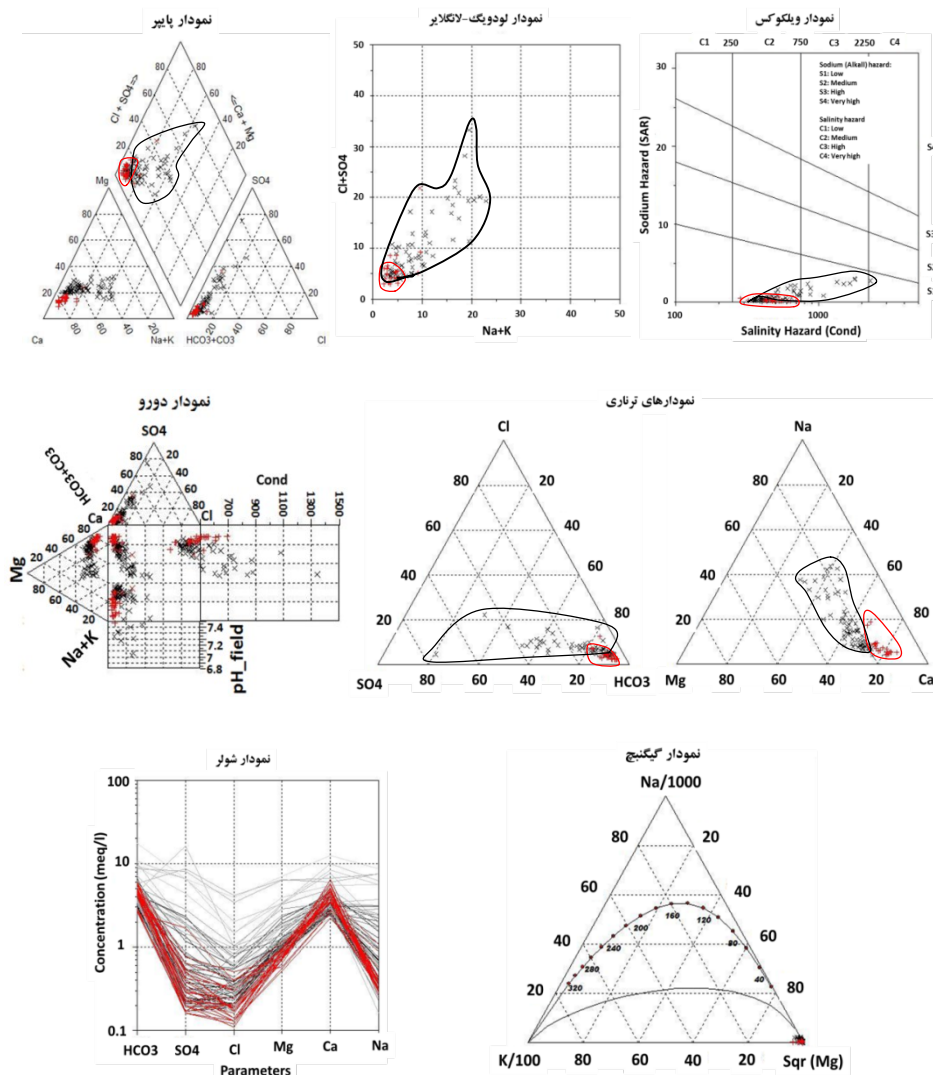
1- Hydrochemical facies



شکل ۳- نمودار پراکندگی نسبت یونی کلسیم به منیزیم آب چاههای دشتهای قروه و مریوان

محدوده ۹۰ تا ۱۰۰ درصد HCO_3 ، ۰ تا ۱۰ درصد SO_4 و ۰ تا ۱۰ درصد Cl تجمع پیدا کرده اند. در نمودار اول داده های دشت قروه در محدوده ۵۰ تا ۹۰ درصد Ca ، ۱۵ تا ۳۰ درصد Mg و ۱۰ تا ۵۰ درصد Na و در نمودار دوم در محدوده ۸۰ تا ۱۰۰ درصد HCO_3 ، ۰ تا ۴۰ درصد SO_4 و ۰ تا ۲۰ درصد Cl تجمع پیدا کرده اند. در کل شاهد تجمع مطلق داده های دشت قروه در محدوده Ca و HCO_3 هستیم (شکل ۴). در نمودار گیگنیچ، تجمع داده ها در گوشه Mg حاکی از سرد بودن آب چاهها است. نمودار شولر دشت مریوان نشان داد که خطوط ارتباطی غلظت یونها (میلی اکی والان بر لیتر) در ناحیه $\text{SO}_4\text{-Cl}$ و Cl-Mg و در دشت قروه در تمامی نواحی موازی نیستند که بیانگر منابع متفاوت آب زیرزمینی است. در هر دو دشت، خطوط با فواصل متفاوت بالای هم مستقر شده اند که نشانه غلظت متفاوت یونهاست. این حالت در دشت قروه شدیدتر است. مقادیر یونهای Ca^{+2} و HCO_3^- آبهای زیرزمینی هر دو دشت زیاد است که دلیل آن وجود سنگهای کربناته در آبخوانهاست (شکل ۴).

در آبخوان دشت مریوان است بطوریکه Ca با حدود ۸۰٪ فراوانترین کاتیون و HCO_3 با حدود ۹۰٪ فراوانترین آنیون موجود در آب چاههای منطقه بود (شکل ۴). نمودار لودویگ-لانگلایر نشان داد که آبهای زیرزمینی دشت قروه به جز شرق دشت (چاههای شماره G1 تا G10) دارای درصد کمی Na ، K ، Cl و SO_4 است و در دشت مریوان نیز چنین وضعیتی حاکم است با این تفاوت که میزان غلظت آنها کمتر از دشت قروه بود. بر اساس نمودار ویلکوکس آبهای زیرزمینی دشت قروه در محدوده های C_2S_1 و C_3S_1 قرار گرفته اند که بیانگر خطر کم سدیم (SAR بین ۰ تا ۱۰) و خطر کم تا متوسط شوری (EC بین ۲۵۰ تا ۲۳۰۰) بوده و آبهای زیرزمینی دشت مریوان در محدوده کلاس C_2S_1 قرار دارند که نشانگر آب با کیفیت خوب برای آبیاری و کشاورزی است (SAR نزدیک صفر و EC بین ۲۵۰ تا ۷۵۰). دو نمودار ترناری ترسیم شده عبارتند از $\text{HCO}_3\text{-Cl-SO}_4$ و Na-Ca-Mg که در نمودار اول داده های دشت مریوان در گوشه Ca (در محدوده ۸۰ تا ۱۰۰ درصد Ca ، ۰ تا ۲۰ درصد Mg و ۰ تا ۲۰ درصد Na) و در نمودار دوم در گوشه HCO_3 (در



شکل ۴- نمودارهای مختلف کیفیت آب چاههای دشتهای قروه (× و -) و مریوان (× و -)

در مرکز دشت قروه، چاههای G15 تا G22 بیشترین غلظتها متعلق به HCO_3 و Ca است. نمودار استیف چاه G26 به عنوان نمونه‌ای از وضعیت کیفیت آب و غلظت یونهای بخشهای غربی و جنوبی که دلالت بر غلظت زیادتر HCO_3 و Ca از دیگر یونها دارد در شکل ۵ ارائه شده است. در نواحی شمالی دشت قروه نیز تا حدی تفاوت غلظت و نامتجانسی کیفیت آب محسوس است (به عنوان نمونه چاههای G40، G44، G48 و G57). سه نمودار استیف ترسیم شده برای دشت مریوان در شکل ۶ عبارتند از چاه M11 نمونه ای برای غلظتهای HCO_3 و Ca کمتر از ۳ میلی اکی

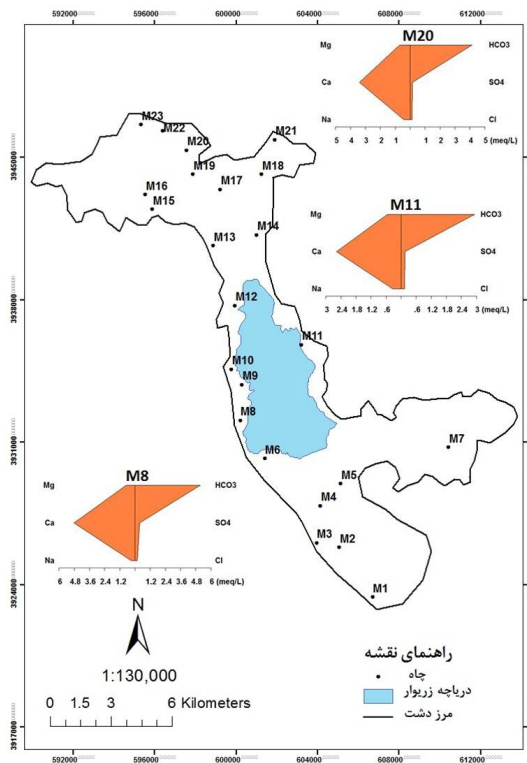
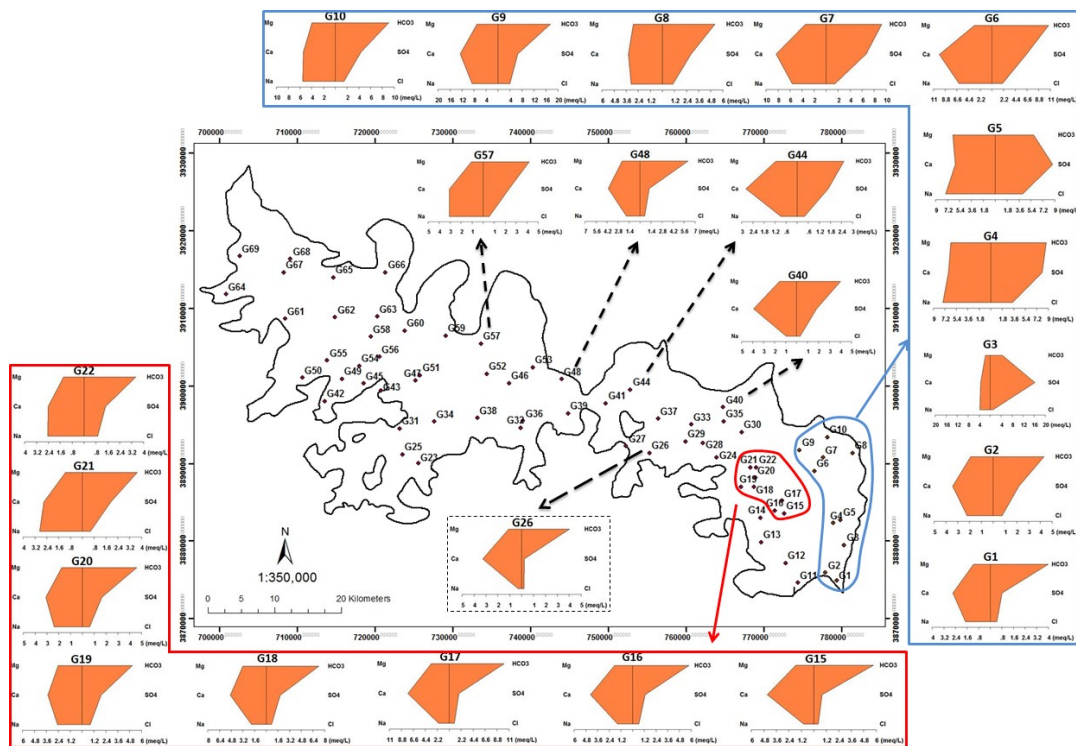
بر اساس نمودارهای استیف (شکل ۵) در منتهی الیه شرقی دشت قروه (چاههای G1 تا G10)، علی‌رغم نزدیک بودن چاهها، تغییرات غلظت یونها بسیار شدید بوده و کیفیت آب این بخش از دشت بسیار غیر یکنواخت است بطوریکه در چاههای G1، G2، G6، G7 و G9 بیشترین غلظت متعلق به HCO_3 و Ca است اما در چاه G3 غلظت SO_4 بیش از ۴ برابر سایر یونها است و در چاه G4 غلظت HCO_3 و SO_4 و همچنین Na، Mg و Ca تقریباً یکسان و در چاه G5 در بین آنیونها و کاتیونها بیشترین غلظت به ترتیب مربوط به SO_4 و Na است.

تا ۴۰٪ خوب، ۴۰٪ تا ۸۰٪ قابل استفاده و بیش از ۸۰٪ برای آبیاری دارای کیفیت نامناسبی هستند. لذا در دشت مریوان آب تمامی چاهها دارای کیفیت عالی برای آبیاری و در دشت قروه بطورکلی کیفیت آب برای آبیاری بر اساس این شاخص عالی (بخش مرکزی و غربی دشت) تا خوب (بخش شرقی دشت) ارزیابی شد. شکل ۶ نقشه‌های پهنه بندی شاخصها RSBC، MAR، PI و KR دشتهای قروه و مریوان را نشان می دهد.

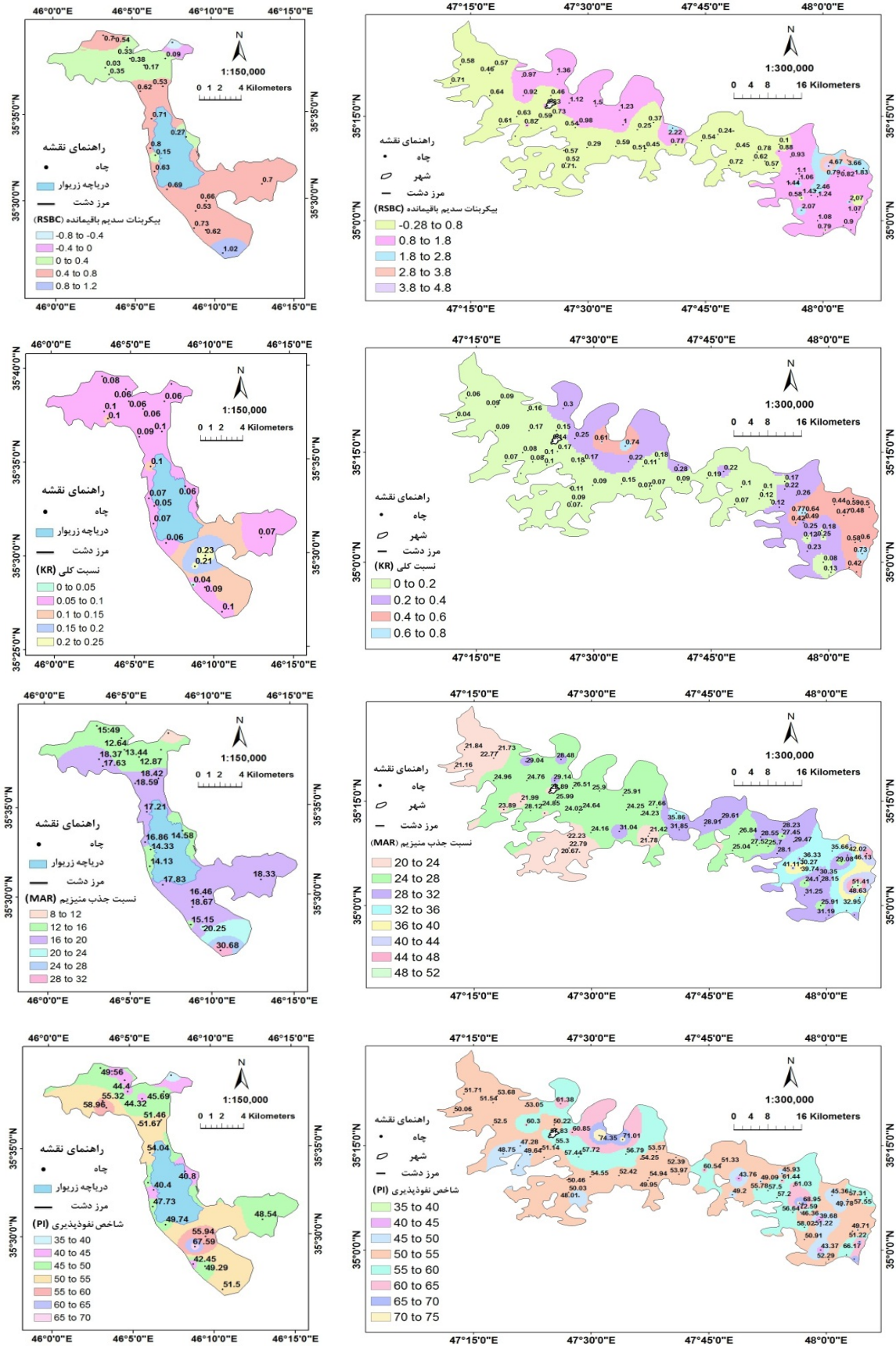
نتایج بررسی شاخص بیکربنات سدیم باقیمانده دشتهای نشان داد که آب تمامی چاهها دارای RSBC کمتر از ۵ میلی اکی والان بر لیتر بوده لذا برای آبیاری مناسب هستند (Gupta & Gupta, 1987). دامنه تغییرات این شاخص در دشت قروه بین ۰/۲۴- تا ۴/۷ و در دشت مریوان بین ۰/۷۱- تا ۱ است که نشانه یکنواختی بیشتر دشت مریوان می باشد. مقادیر منفی RSBC نشاندهنده بیشتر بودن غلظت Ca نسبت به HCO₃ است. آبهایی که RSBC خیلی بالایی دارند، دارای PH بالایی نیز هستند. بنابراین آبیاری با چنین آبهایی باعث کاهش حاصلخیزی در نتیجه رسوب کربنات سدیم می شود (Obiefuna & Sheriff, 2011).

در این پژوهش شاخص اشباع کانیهای کربناته آراگونیت، کلسیت و دولومیت و سایر کانیها شامل انیدریت، ژپیس و هالیت و همچنین گاز کربنیک آب چاههای دشتهای قروه و مریوان محاسبه و مقایسه شدند. در تمامی چاههای هر دو دشت مقادیر شاخص اشباع متغیرهای مورد بررسی منفی بود که نشانه عدم اشباع بودن آب از این متغیرها و آمادگی آب برای انحلال آنها در صورت در دسترس بودن آنها می باشد.

والان بر لیتر (شامل چاههای M16 و M21)، چاه M20 به عنوان نمونه و نماینده ای برای غلظتهای HCO₃ بین ۳ تا ۴/۵ م میلی اکی والان بر لیتر و غلظتهای Ca بین ۳ تا ۴ میلی اکی والان بر لیتر (شامل چاههای M1، M2، M3، M5، M7، M10، M13، M14، M18، M19، M22) و چاه M8 به عنوان نمونه و نماینده ای برای غلظتهای HCO₃ بیش از ۴/۵ میلی اکی والان بر لیتر و غلظتهای بیش از ۴ میلی اکی والان بر لیتر Ca (شامل چاههای M4، M6، M7، M9، M12، M15، M23). نسبت کلی در دشت قروه از ۰/۰۴ تا ۰/۷۷ و در دشت مریوان از ۰/۰۴ تا ۰/۲۳ متغیر بود. Kelley (1963) آبهایی را برای آبیاری مناسب اعلام کرد که این نسبت کمتر از ۱ باشد لذا در هر دو دشت آب زیرزمینی برای آبیاری مناسب تشخیص داده شد. نسبت جذب منیزیم در دشت قروه بین ۲۰/۷ تا ۵۱/۴ و در دشت مریوان بین ۱۰/۱۵ تا ۳۰/۷ متغیر است. زمانی که نسبت جذب منیزیم بیش از ۵۰ باشد باعث اثرات مضر بر خاک خواهد شد (Gupta & Gupta, 1987)، لذا در هر دو دشت آب زیرزمینی در وضعیت مطلوبی برای آبیاری هستند. دامنه تغییرات شاخص نفوذپذیری در دشت قروه بین ۳۹/۷ تا ۷۴/۳ و در دشت مریوان بین ۳۷ تا ۶۷/۶ بود. بر اساس نظر Raghunath (1987) آبهای مناسب برای آبیاری بایستی شاخص نفوذپذیری کمتر از ۱۰۰ داشته باشند لذا در هر دو دشت، آب زیرزمینی برای آبیاری مناسب است. شاخص درصد سدیم محلول در دشت قروه از ۴/۸۵ تا ۴۳/۵ و در دشت مریوان از ۴/۰۶ تا ۲۰/۸۳ متغیر بود. بر اساس نظر Ayers و Westcot (1985) آبهایی که شاخص نفوذپذیری آنها کمتر از ۲۰٪ باشد دارای کیفیت عالی، بین ۲۰٪



شکل ۵- نمودارهای استیف بخش های مختلف آبخوان های دشت های قروه (بالا) و مریوان (پایین)



شکل ۶- پهنه بندی شاخص های RSBC، MAR، PI و KR دشتهای قروه (راست) و مریوان (چپ)

ترتیب ۱/۸ و ۰/۸۶، آراگونیت به ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۱۴، کلسیت به ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۱۴، دولومیت به ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۴۲، گاز کربنیک به ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۶۳، ژیپس به ترتیب ۱/۸ و ۰/۸۶ و هالیت به ترتیب ۳/۱۳ و ۱/۱۴ بود که بیانگر عدم یکنواختی کیفیت آب دشت قروه نسبت به دشت مریوان می‌باشد.

Sig تمامی متغیرها بر اساس آزمون کای اسکور بیش از ۰/۰۵ بوده که بیانگر نرمال بودن توزیع آنها می‌باشد. لذا جهت مقایسه میانگین متغیرها از آزمون t مستقل در سطح اطمینان ۹۹٪ استفاده شد. در ابتدا از آزمون لوین برای سنجش برابری واریانسها استفاده گردید. نتایج بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بین میانگین متغیرهای بیکربنات، کلسیم، پتاسیم، قلیائیت، سختی کل و همچنین شاخص اشباع گازکربنیک دشتهای قروه و مریوان بود. میانگین سایر متغیرها، نسبتهای یونی و شاخصهای مورد پژوهش دارای اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۹٪ بودند (جدول ۱).

میانگین شاخص اشباع انیدریت، آراگونیت، کلسیت، دولومیت، گاز کربنیک، ژیپس و هالیت در آب چاههای دشت قروه به ترتیب ۲/۱۴-، ۳/۵۶-، ۳/۴۲- و ۷/۱۲-، ۰/۹۲-، ۱/۹۲- و ۸/۱۴- و دشت مریوان به ترتیب ۲/۳۸-، ۳/۵۰-، ۳/۳۶-، ۷/۳۱-، ۰/۹۱-، ۲/۱۶- و ۸/۸۲- بود. غلظت کربناتها به دلیل حضور گاز کربنیک موجود در خاک بر اثر هوازدگی سنگها و خشک و مرطوب شدن شرایط است. زمانی که فشار گاز کربنیک محلول در آب کمتر از فشار آن در اتمسفر باشد، آب نسبت به کانیهای کربنات غیر اشباع است. در دشت قروه حداقل مقدار شاخص اشباع ژیپس ۰/۷۱- و متعلق به چاه G3 (وینسار ۳) در شرق دشت بود که به عدد صفر (تعادل) نزدیک بود و نشانه بیشتر بودن یون سولفات در این بخش از دشت قروه است اما در دشت مریوان حداقل مقدار این شاخص ۱/۶۵- بود که با صفر فاصله زیادی دارد و بیانگر کم بودن غلظت سولفات در این دشت است. در دشتهای قروه و مریوان، دامنه تغییرات شاخص اشباع انیدریت به

جدول ۱- نتایج آزمونهای کای اسکور، لوین و t مستقل متغیرهای مختلف دشتهای قروه و مریوان

متغیرها	آزمون کای اسکور		آزمون برابری واریانسها	آزمون لوین	
	Sig. قروه	Sig. مریوان		Sig.	Sig. (2-tailed)
Cl	۰/۵۰۴	۰/۷۴۳	عدم برابری واریانسها	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰
SO ₄	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	عدم برابری واریانسها	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
HCO ₃	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	برابری واریانسها	۰/۰۶۳	۰/۹۶۲
Na	۱/۰۰۰	۰/۹۸۶	عدم برابری واریانسها	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Mg	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	عدم برابری واریانسها	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
Ca	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	برابری واریانسها	۰/۳۸۳	۰/۲۲۵
K	۰/۰۵۳	۰/۰۵۵	برابری واریانسها	۰/۶۶۳	۰/۷۰۴
Anions	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	عدم برابری واریانسها	۰/۰۰۳	۰/۰۲۲
Cations	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	عدم برابری واریانسها	۰/۰۰۵	۰/۰۲۲
SAR	۱/۰۰۰	۰/۹۱۱	عدم برابری واریانسها	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

ادامه جدول ۱- نتایج آزمونهای کای اسکور، لوین و t مستقل متغیرهای مختلف دشتهای قروه و مریوان

متغیرها	آزمون کای اسکور		آزمون لوین	آزمون t مستقل
	Sig. قروه	Sig. مریوان		
	۰/۶۴۳	۰/۹۹۹	۰/۰۱۷	۰/۴۶۶
	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۳۲	۰/۴۸۴
	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲
	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۱۱
	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۸۶۸	۰/۰۰۱
	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۵۳	۰/۰۰۰
	۰/۳۹۱	۰/۰۷۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۵۲	۰/۰۰۳
	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
	۰/۰۵۷	۰/۲۵۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	۰/۰۵۲	۰/۳۸۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	۰/۲۷۴	۰/۹۶۷	۰/۳۲۶	۰/۷۶۲
	۰/۹۴۳	۱/۰۰۰	۰/۸۶۳	۰/۰۰۰
	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

آزمون برابری واریانسها

۴. بحث و نتیجه گیری

آراگونیت، کلسیت، دولومیت، انیدریت، هالیت، ژیپس و همچنین دی‌اکسید کربن، نقشه‌های پهنه‌بندی متغیرها و آزمون‌های آماری کای اسکور، لوین و t مستقل استفاده شد. نتایج حاکی از قلیائیت آب زیرزمینی هر دو دشت در حد خنثی تا کمی قلیایی بود. در هر دو دشت کاتیونها از فراوان به کمیاب به ترتیب Ca، Mg، Na و K و آنیونها به ترتیب HCO_3 ، SO_4 و Cl بود که بیانگر آب زیرزمینی با نوع Ca-Mg-HCO_3 است. مقادیر انحراف معیار

این مطالعه با هدف مقایسه کیفیت آب دشتهای قروه و مریوان به ترتیب در شرق و غرب استان کردستان و از طریق تحلیل داده های ۱۴ متغیر کیفیت آب در دوره مشترک آماری از ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۵ انجام شد. در این راستا از تفسیر نمودارهای پایپر، شولر، دورو، لودویگ-لنگلایر، ویلکوکس، گیگنبرج، ترناری، استیف، شاخصهای PI، RSBC، SSF، MAR، KR، شاخصهای اشباع کانیهای

نتایج آزمون کای اسکور نشانه نرمال بودن توزیع داده‌ها، نتایج آزمون t مستقل در سطح اطمینان ۹۹٪ بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بین میانگین متغیرهای Ca ، HCO_3 ، pH ، K ، TH و همچنین شاخص اشباع گازکربنیک و اختلاف معنی دار سایر متغیرها در سطح اطمینان ۹۹٪ بود.

تمامی متغیرها در دشت قروه بیشتر از دشت مریوان بود که بیانگر عدم یکنواختی کیفیت آب در آبخوان دشت قروه است. طبقه بندیهای ویلکوکس، ریچارد (۱۹۵۴)، دورفور و بیکر (۱۹۶۴)، نسبت Ca/Mg و شاخص‌های PI و RSBC بیانگر مناسب بودن آب هر دو دشت برای آبیاری بود. منفی بودن شاخصهای اشباع نشانه عدم اشباع آب از تمامی متغیرها بود.

References:

- Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1994. Water quality for agriculture, irrigation and drainage (Paper No. 29).FAO,Rome.<http://www.fao.org/docrep/003/T0234E/T0234E00.htm#TOC>.
- Berhe, A.B., Celik, M., Dokuz, U.E., 2015. Investigation of irrigation water quality of surface and groundwater in the Kutahya plain, Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Journal* 150, 145-162.
- Doneen, L.D., 1964. Notes on water quality in agriculture, water science and engineering Paper 4001. Department of Water Science and Engineering, University of California, Davis, 96 p.
- Durfor, C.N., Becker, E., 1964. Public water supplies of the 100 largest cities in the United States, 1962. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1812, 346 p.
- Foster, S., Shah, T., 2012. Groundwater resources and irrigated agriculture-making a beneficial relation more sustainable. *Global Water Partnership Perspectives Paper* (Stockholm), 20 p.
- Gupta, S.K., 1983. Variations of water table in Yamuna drainage basin of Haryana-implications and management strategies. Paper presented at the Seminar on Strategies for Irrigation Water Management, Patna.
- Gupta, S.K., Gupta, I.C., 1987. Management of saline soils and waters. Oxford and IBH Publishing Company, New Delhi, 339 p.
- Jalali, M., 2007. Salinization of groundwater in arid and semi-arid zones: an example from Tajarak, western Iran. *Environmental Geology* 52 (6), 1133–1149.
- Jalali, M., 2005. Major ion chemistry of groundwaters in the Bahar area, Hamadan, western Iran. *Environmental Geology* 47 (6), 763–772.
- Jamshidzadeh, Z., Mirbagheri, S., 2011. Evaluation of groundwater quantity and quality in the Kashan Basin, Central Iran. *Desalination* 270 (1-3), 23–30.
- Kelley, W.P., 1963. Use of saline irrigation water. *Soil Science* 95 (6), 385–391.
- Kumar, A., Singh, C.K., 2015. Characterization of Hydrogeochemical Processes and Fluoride Enrichment in Groundwater of South-Western Punjab. *Water Quality, Exposure and Health* 7(3), 373-387.
- Li, J., Wang, Y., Xie, X., Su, C., 2012. Hierarchical cluster analysis of arsenic and fluoride enrichments in groundwater from the Datong basin, Northern China. *Journal of Geochemical Exploration* 118, 77-89.
- Liu, F., Song, X.F., Yang, L.H., Han, D.M., Zhang, Y.H., Ma, Y., Bu, H.M., 2015. The role of anthropogenic and natural factors in shaping the geochemical evolution of groundwater in the Subei Lake basin, Ordos energy base, Northwestern China. *Science of the Total Environment* 538, 327-340.

- Machiwal, D., Jha, M.K., 2015. Identifying sources of groundwater contamination in a hard-rock aquifer system using multivariate statistical analyses and GIS-based geostatistical modeling techniques. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 4(A), 80-110.
- Mondal, N.C., Singh, V.P., Singh, V.S., Saxena, V.K., 2010. Determining the interaction between groundwater and saline water through groundwater major ions chemistry. *Journal of Hydrology* 388(1-2), 100-111.
- Obiefuna, G.I., Sheriff, A., 2011. Assessment of Shallow Ground Water Quality of Pindiga Gombe Area, Yola Area, NE, Nigeria for Irrigation and Domestic Purposes. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 3(2), 131-141.
- Raghunath, H.M., 1987. *Groundwater*. Wiley Eastern Ltd, New Delhi, India, 563 p.
- Richards, L.A., 1954. *Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils*. Agricultural Handbook No.60. United States Department of Agriculture, Washington DC, 160 pp.
- Roques, C., Aquilina, L., Bour, O., Maréchal, J.C., Dewandel, B., Pauwels, H., Labasque, T., Vergnaud-Ayraud, V., Hochreutener, R., 2014. Groundwater sources and geochemical processes in a crystalline fault aquifer. *Journal of Hydrology* 519 (D), 3110-3128.
- Singh, CK., Shashtri, S., Mukherjee, S., 2011. Integrating multivariate statistical analysis with GIS for geochemical assessment of groundwater quality in Shiwaliks of Punjab, India. *Environmental Earth Sciences* 62(7), 1387-1405.
- Todd, D.K., 1980. *Groundwater hydrology*. (2nd edn), Wiley, New York, 552 p.
- Wilcox, L.V., 1955. *Classification and use of irrigation waters*. U.S. Department of Agriculture Circular No. 969, Washington D.C. 21 p.