

## منطقه بندی کیفیت آب زیرزمینی دشتهای شرقی استان کردستان به کمک تحلیل خوشه بندی سلسله مراتبی (HCA)

شیرکو ابراهیمی محمدی\*

استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، shirkoebrahimi@uok.ac.ir

### چکیده:

در این پژوهش تغییرات مکانی کیفیت آب دشتهای چهاردول، قروه و دهگلان در استان کردستان به کمک تحلیل خوشه بندی سلسله مراتبی (HCA)، تحلیل های هیدروشیمیایی، شاخص ها و نسبت های یونی مختلف بررسی شد. ترتیب فراوانی کاتیونها  $Ca > Mg > Na > K$  و آنیونها  $HCO_3 > SO_4 > Cl$  بود که نشان از وجود آب زیرزمینی با نوع  $Ca-Mg-HCO_3$  است. کمترین مقادیر نسبت  $Ca/Mg$  یا عبارتی بدترین کیفیت آب برای آبیاری در جنوب شرق منطقه یا دشت چهاردول مشاهده شد. نتایج حاصل از خوشه بندی چاهها بر اساس متغیرهای فیزیکی کیفیت آب، آنیونها و کاتیونها حاکی از تفکیک چاههای منطقه به ترتیب به ۴، ۶ و ۶ گروه اصلی بود و تفاوت معنی دار آماری بین چهار خوشه ایجاد شده بر اساس متغیرهای فیزیکی یعنی pH، TDS، TH، EC و SAR به ترتیب با سطح معنی داری ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۳، ۰/۰۲۰، ۰/۰۰۰ و ۰/۰۰۰، اختلاف معنی دار آماری بین شش گروه ایجاد شده بر اساس آنیونها یعنی  $SO_4$ ،  $HCO_3$  و  $Cl$  به ترتیب با سطح معنی داری آماری ۰/۰۰۰، ۰/۰۰۹ و ۰/۰۰۰ و همچنین اختلاف معنی دار آماری بین شش گروه ایجاد شده بر اساس کاتیونها یعنی  $K$ ،  $Na$ ،  $Mg$  و  $Ca$  به ترتیب با سطح معنی داری آماری ۰/۰۳۴، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۵ مشاهده شد.

واژه های کلیدی: آنیونها، پهنه بندی کیفی آب، دشتهای چهاردول، دهگلان و قروه، کاتیونها.

## مقدمه

آبهای زیرزمینی منابع حیاتی برای شرب انسان و دام و فعالیتهای کشاورزی و صنعتی هستند (Xiao و همکاران، ۲۰۱۴). از ۳۷ میلیارد مترمکعب آب شیرین برآورد شده کره زمین، ۲۲٪ آن بصورت آب زیرزمینی است که معادل ۹۷ درصد کل آب شیرین در دسترس انسان برای استفاده است (Foster، ۱۹۹۸). یک سوم جمعیت جهان برای شرب خود به آب زیرزمینی وابسته هستند (Nickson و همکاران، ۲۰۰۵) و زندگی حدود یک میلیارد نفر در آسیا مستقیماً وابسته به منابع آب زیرزمینی است (Foster، ۱۹۹۵). افزایش روزافزون جمعیت و نیاز شدید به منابع آب شیرین برای مصارف شرب و کشاورزی در بسیاری از کشورهای جهان باعث شده است که بشدت به آب زیرزمینی وابسته باشند که خود باعث کاهش کمیّت و کیفیت آن در بسیاری از مناطق شده است (Zhang و همکاران، ۲۰۱۴). کیفیت منابع آب زیرزمینی تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند خصوصیات کانی شناسی آبخوان ها، فرایندهای ژئوشیمیایی، کاربری های اراضی، منبع تغذیه آبخوان ها و تاثیرات انسانی از جمله فاضلاب های شهری و روستایی و پساب های صنعتی و کشاورزی است (صحرائی و سامانی، ۲۰۱۳؛ Wang و همکاران، ۲۰۱۶). پژوهش های متعددی درخصوص بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی بر اساس شاخصهای هیدروژئوشیمیایی و نسبتهای یونی و عوامل تاثیرگذار بر آنها در داخل کشور (مهروی و همکاران، ۱۳۹۴؛ اسدزاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ صالحی و همکاران، ۱۳۹۵) و خارج از کشور (Chidambaram و همکاران، ۲۰۱۱؛ Nag و Ghosh، ۲۰۱۱؛ Sahraei Parizi و Samani، ۲۰۱۳؛ Xiao و همکاران، ۲۰۱۴؛ Molla و همکاران، ۲۰۱۵؛ Wang و همکاران، ۲۰۱۶؛ Mirza و همکاران، ۲۰۱۷) انجام شده است. از طرفی تحلیل خوشه بندی سلسله مراتبی<sup>۱</sup> نیز رایجترین روش طبقه بندی در علوم زمین بوده و برای منطقه بندی داده های هیدروژئوشیمیایی در پژوهشهای متعدد بکار گرفته شده است (Fernham و همکاران، ۲۰۰۳؛ Tang و همکاران، ۲۰۰۴؛ Cloutier و همکاران، ۲۰۰۸؛ Usman و همکاران، ۲۰۱۴). در حقیقت خوشه بندی، فرایند دسته بندی مجموعه ای از n نمونه به خوشه های مجزاست بطوریکه نمونه های متعلق به یک خوشه نسبت به نمونه های دیگر خوشه ها، تشابه بیشتری دارند. در واقع با این تکنیک می توان حجم بزرگی از داده های هیدروژئوشیمیایی را بر اساس یک سری ویژگی های خاص به چند گروه طبقه بندی کرد (Lambrakis و همکاران، ۲۰۰۴). دشتهای شرقی استان کردستان به دلیل وضعیت آب و هوایی مطلوب از لحاظ بارش، دما و شرایط خاک دارای پتانسیل بالایی از لحاظ کشاورزی است بنابراین در این پژوهش با استفاده از تجزیه و تحلیل های هیدروژئوشیمیایی و روشهای آماری چون تحلیل خوشه بندی سلسله مراتبی تغییرات مکانی کیفیت آب منطقه بررسی گردید.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

دشتهای شرقی استان کردستان بین  $35^{\circ} 15' 10''$  و  $47^{\circ} 17' 06''$  طول شرقی و  $35^{\circ} 25' 09''$  و  $35^{\circ} 20' 09''$  عرض شمالی واقع و شامل سه آبخوان چهاردولی، قروه و دهگلان به ترتیب با مساحتهای ۵۰۷/۲۱، ۵۶/۱۱ و ۶۲۴ کیلومتر مربع می باشند. براساس تقسیمات اقلیمی آمبرژه، جزء نواحی نیمه خشک و سرد بوده و دارای درجه حرارت متوسط سالانه بین ۱۰ تا ۱۳ درجه سانتی گراد، متوسط تبخیر ۲۰۳۳ میلی متر و متوسط بارندگی سالیانه در حدود ۳۴۸ میلی متر، میانگین رطوبت نسبی سالیانه در حدود ۴۲/۷ درصد و تعداد روزهای بارانی ۷۸ روز می باشد. میانگین ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۸۷۶ متر است (شکل ۱).

<sup>1</sup> Hierarchical Clustering Analysis (HCA)

## روش کار

در این پژوهش ۱۴ متغیر کیفیت آب ۶۹ چاه دشتهای شرقی استان از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۵ شامل  $\text{Cl}$ ،  $\text{SO}_4$ ،  $\text{HCO}_3$ ، Anions،  $\text{Ca}$ ،  $\text{K}$ ،  $\text{Mg}$ ،  $\text{Na}$ ،  $\text{Na\%}$ ،  $\text{SAR}$ ،  $\text{pH}$ ،  $\text{TH}$  و  $\text{EC}$  بررسی شد. منطقه بندی کیفیت آب چاهها به کمک تحلیل خوشه بندی سلسله مراتبی انجام گرفت. برای تشخیص شباهت کیفیت آب چاههای مختلف و خوشه بندی آنها با استفاده از معیارهای اندازه گیری فاصله، میزان تفاوت بین متغیرهای مختلف هیدروشیمیایی چاهها محاسبه شد بطوریکه داده های شبیه به هم دارای فاصله کمتری هستند. چندین معیار اندازه گیری فاصله برای خوشه بندی وجود دارد که از معروفترین آنها یعنی فاصله اقلیدسی<sup>۲</sup> در این پژوهش استفاده شد. الگوریتمهای خوشه بندی سلسله مراتبی، داده ها را به صورت یک درخت<sup>۳</sup> نشان می دهد. دندروگرام، مرکب از لایه هایی از گره ها است که هر کدام یک خوشه را نمایش می دهد (Templ و همکاران، ۲۰۰۸). برای ساخت دندروگرام در این پژوهش از رویکرد پایین به بالا یا رویکرد تجمعی<sup>۴</sup> استفاده شد. در این رویکرد هر داده به عنوان خوشه ای مجزا در نظر گرفته می شود و در هر مرحله خوشه هایی که شباهت بیشتری با یکدیگر دارند، ترکیب شده تا در نهایت یک خوشه و یا تعداد مشخصی خوشه حاصل می شود. در انتها به دلیل غیر نرمال بودن توزیع داده ها، از آزمون کروسکال والیس که معادل روش پارامتریک آنالیز واریانس چند متغیره<sup>۵</sup> است برای مقایسه میانگین متغیرهای کیفی مختلف خوشه ها استفاده شد.

## نتایج و بحث

### ویژگی های فیزیکوشیمیایی

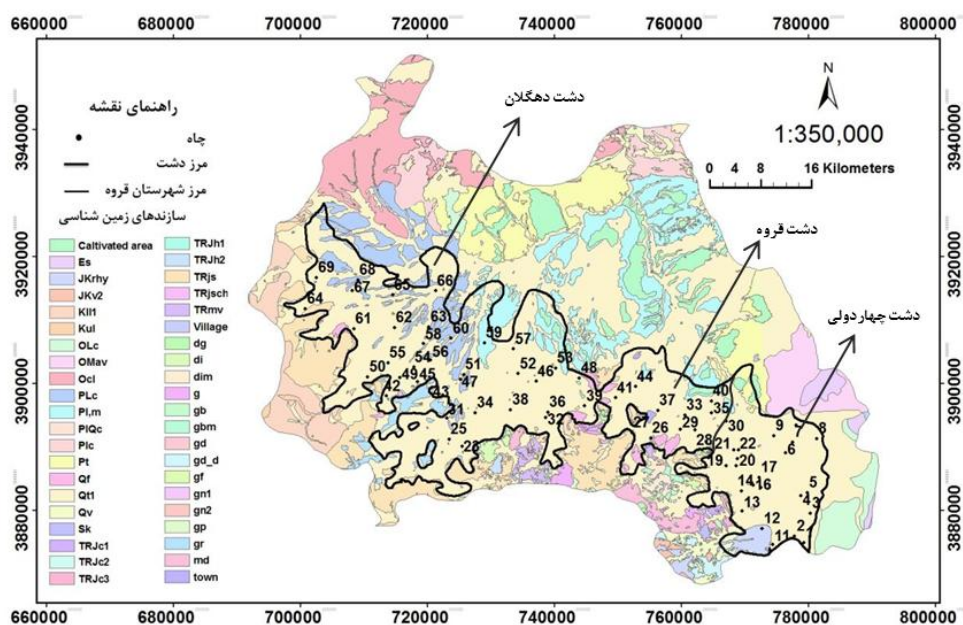
ترتیب فراوانی کاتیونها  $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$  و آنیونها  $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$  می باشد که نشان از وجود آب زیرزمینی با نوع  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$  است. با مقایسه غلظت متغیرهای کیفیت آب منطقه با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی، مشخص شد که میانگین تمامی متغیرها کمتر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی است بجز کلسیم (۳/۶۵ میلی اکی والان بر لیتر) که تقریباً برابر با حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۳/۷۵ میلی اکی والان بر لیتر) است و نشان از مطلوبیت کلی آب منطقه دارد اما با مقایسه مقادیر حداکثر غلظت متغیرهای کیفیت آب منطقه با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی مشخص شد که غلظت بعضی از متغیرها در چاه شماره ۹ واقع در روستای زنگ آباد در شرق منطقه (شکل ۱) نسبت به استانداردهای سازمان بهداشت جهانی بالاتر است بطوریکه غلظت یونهای بیکربنات ۱۷/۴۶ در برابر ۱۶/۴ میلی اکی والان بر لیتر، سدیم ۸/۶ در برابر ۸/۶ میلی اکی والان بر لیتر، کلسیم ۱۲/۶ در برابر ۳/۷۵ میلی اکی والان بر لیتر، سختی ۹۳۷/۸ در برابر ۵۰۰ و باقیمانده خشک ۱۵۴۰ در برابر ۱۰۰۰ بود که بیانگر کیفیت بد و نامناسب آب این چاه می باشد. جدول ۱ آماره های توصیفی متغیرهای کیفیت آب چاههای منطقه مورد پژوهش در طول دوره آماری ۳۰ ساله از ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۵ به همراه حد استانداردهای سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۰۶ را نشان می دهد.

<sup>2</sup> Euclidean distance

<sup>3</sup> Dendrogram

<sup>4</sup> Agglomeration

<sup>5</sup> MANOVA



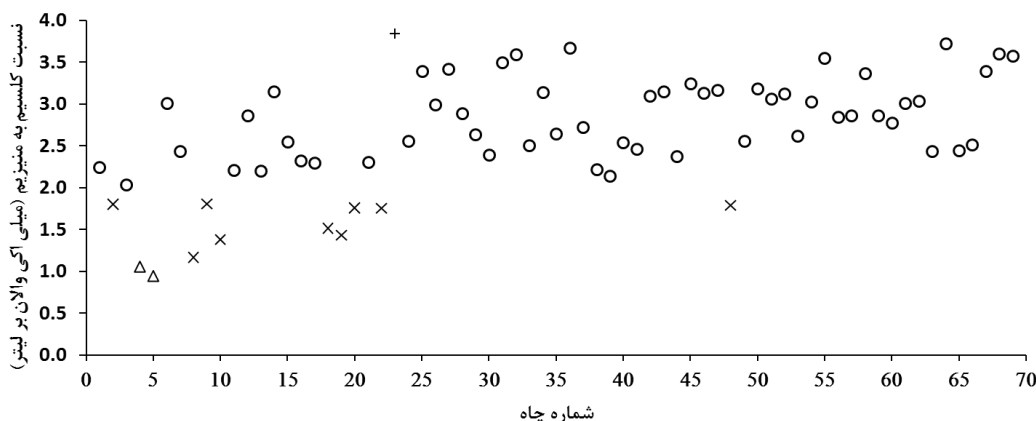
شکل ۱- مرز آبخیزها، نقشه زمین شناسی و موقعیت چاههای دشتهای چهاردولی، قروه و دهگلان

جدول ۱- شاخصهای توصیفی متغیرهای مختلف کیفیت آب چاههای منطقه مورد پژوهش

متغیرها	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	WHO (2006)
Cl (meq/l)	۴/۱۵	۰/۱۳	۰/۵۸	۰/۷۸	۷/۵
SO4 (meq/l)	۱۶/۲۳	۰/۱۶	۱/۴۵	۲/۶۱	۸۲/۲
HCO3 (meq/l)	۱۷/۴۶	۲/۵۳	۴/۶۰	۲/۳۳	۱۶/۴
Na (meq/l)	۸/۶۰	۰/۱۶	۱/۴۸	۱/۸۸	۸/۶
Mg (meq/l)	۶/۹۸	۰/۷۲	۱/۵۹	۱/۲۸	۴/۲
Ca (meq/l)	۱۲/۶	۲/۲۳	۳/۶۵	۱/۷۷	۳/۷۵
K (meq/l)	۰/۵۵	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۸	۱/۴
Anions (meq/l)	۲۸/۱۱	۳/۴۷	۶/۷۳	۵/۰۱	-
Cations (meq/l)	۲۸/۷۲	۳/۶۱	۶/۷۷	۴/۷۱	-
SAR	۳/۰۲	۰/۱۲	۰/۸۱	۰/۷۸	-
PH	۸/۱۸	۶/۷۲	۷/۹۳	۰/۳۱	۶/۵ - ۸/۵
TH	۹۳۷/۸	۱۵۷	۲۵۹/۷	۱۴۲/۳	۵۰۰
TDS	۱۵۴۰/۳	۲۱۶/۸	۳۹۶	۲۵۸/۹	۱۰۰۰
EC (μs/cm)	۲۳۰۷	۳۳۸/۷	۶۱۱/۶	۳۸۷/۵	۱۴۰۰۰۰

### نسبت یونی

در منطقه مورد پژوهش آب چاهها دارای نسبت کلسیم به منیزیم بین ۰/۹۴ تا ۳/۸۴ بودند (شکل ۳) که نشان می دهد انحلال کانی های سیلیکاته فرایند غالب در منطقه است چراکه نسبت Ca/Mg آبهای زیرزمینی بیانگر انحلال کلسیت و دولومیت از سازندهای منطقه است. در چاه های شماره ۴ و ۵ این نسبت به ترتیب ۰/۹۴ و ۱/۰۶ بود و چون حدوداً برابر با یک بود، بیانگر انحلال بیشتر دولومیت است و در چاه های شماره ۲، ۴، ۸، ۹، ۱۰، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۲ و ۴۸ این نسبت بیش از ۱ بود که نشان دهنده انحلال بیشتر کلسیت است (Maya و Loucks، ۱۹۹۵). در سایر چاهها این نسبت بیش از ۲ بود که بیانگر انحلال کانی های سیلیکاته است (Katz و همکاران، ۱۹۹۷). کمترین مقادیر این نسب یا به عبارتی بدترین کیفیت آب برای آبیاری در جنوب شرق منطقه یا دشت چهاردولی مشاهده شد که دور تا دور منطقه را سازندهای آتشفشانی چون آندزیت (OMav) و گرانیت و گرانودیوریت (gd\_d) و همچنین لایه های متناوب ماسه سنگ و کنگلومرا (OLC) احاطه کرده است. نسبت Ca/Mg یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی کیفیت آبهای آبیاری است. کاهش این نسبت به مقادیر کوچکتر از ۱ بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک اثر منفی داشته و با بر هم زدن توازن تغذیه ای، باعث کاهش عملکرد گیاهان می شود. خشکسالی های مکرر و بهره برداری زیاد از منابع آبهای زیرزمینی موجب افت شدید سطح آب و کیفیت آن، از جمله افزایش شوری و در برخی موارد افزایش نسبی غلظت یون منیزیم شده است (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۱).



شکل ۳- نسبت Ca/Mg آب چاهها (حداکثر: +، حداقل: △، بین ۱ و ۲: × و بیش از ۲: ○)

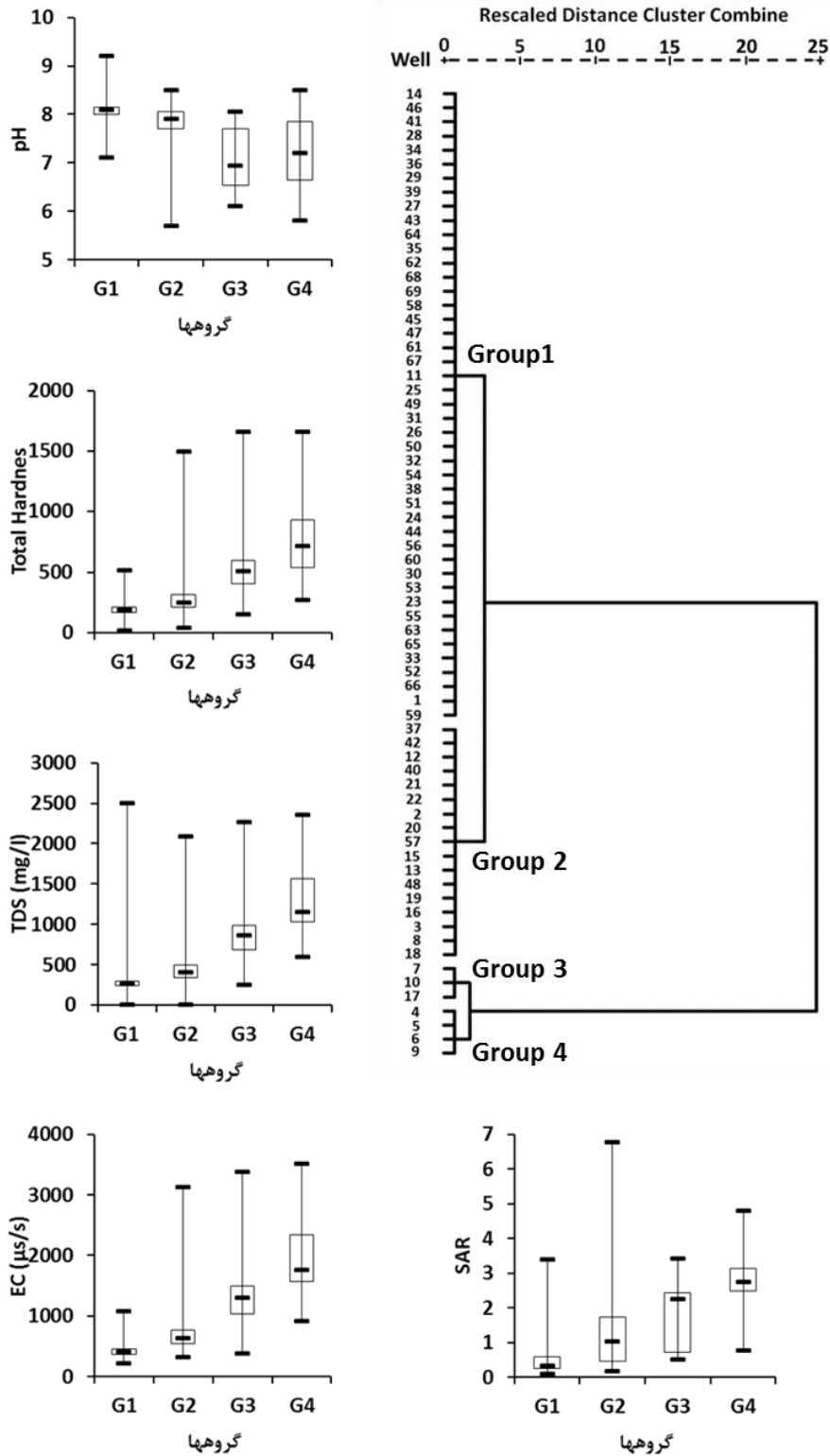
### تغییرات مکانی کیفیت آب و خوشه بندی چاهها

نتایج حاصل از خوشه بندی چاهها بر اساس متغیرهای فیزیکی کیفیت آب (pH، TH، TDS، EC و SAR) حاکی از تفکیک چاههای منطقه به چهار خوشه یا گروه اصلی بود بطوریکه بر اساس شکل های ۱ و ۴ چاههای شماره ۴، ۵، ۶ و ۹ واقع در جنوب شرقی دشت چهاردولی در گروه چهار (G4)، چاههای شماره ۷، ۱۰ و ۱۷ در میانه دشت چهاردولی در گروه سه (G3)، چاههای شماره ۲، ۳، ۸، ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۳۷، ۴۰، ۴۲، ۴۸ و ۵۷ معادل بخشهایی از جنوب دشت چ هاردولی و کل دشت قروه در

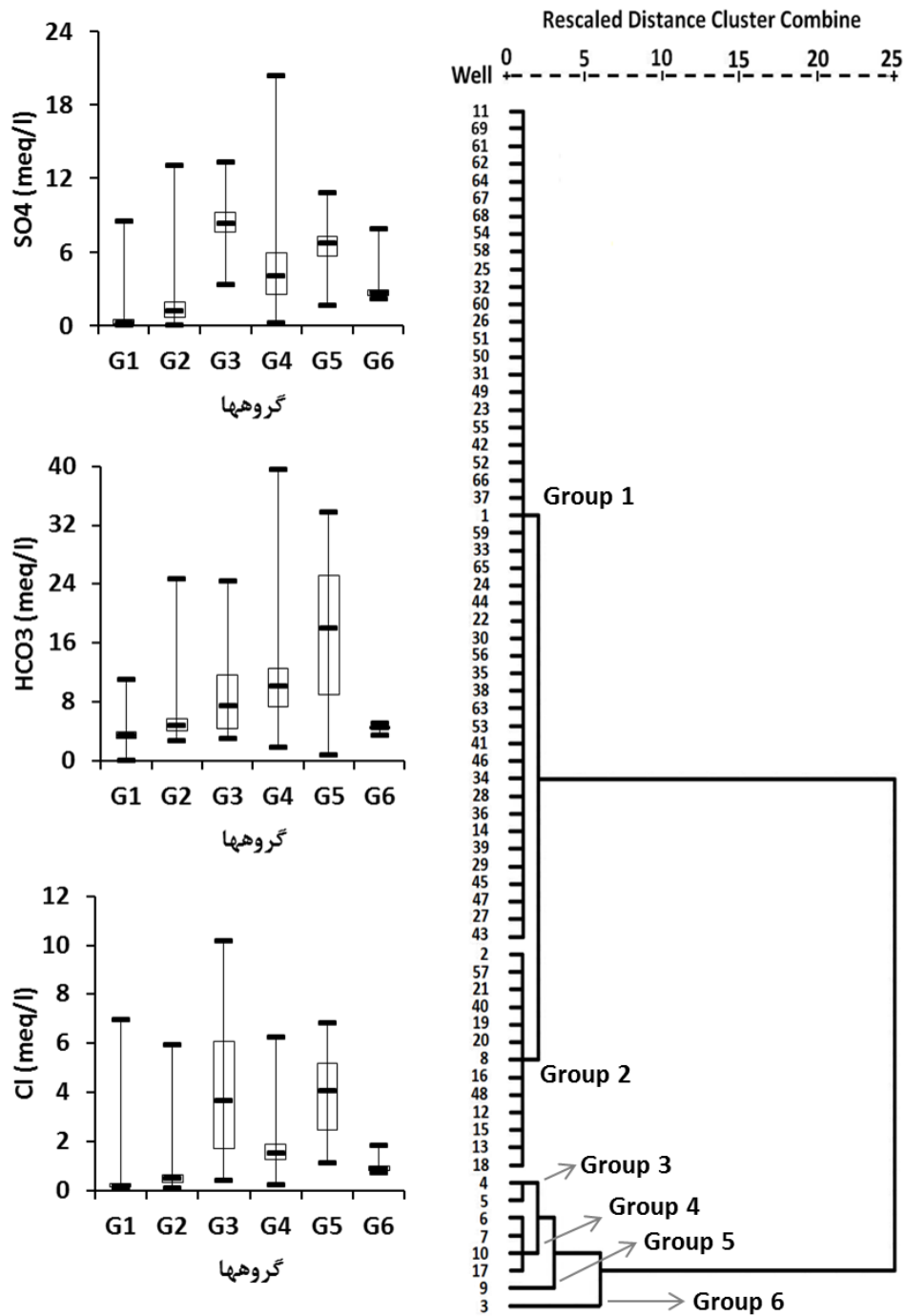
گروه دو (G2) و سایر چاهها که تقریباً معادل دشت دهگلان هستند در گروه یک (G1) قرار گرفتند. بررسی تغییرات مکانی میزان متغیرهای فیزیکی نیز نشان داد که مقدار pH در دشتهای قروه و دهگلان ۸ تا ۸/۵ و در مرکز دشت چهاردولی ۷ تا ۷/۵ است. مقدار EC در دشتهای قروه و دهگلان کمترین مقدار (۳۰۰ تا ۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) و در دشت چهاردولی از شرق به غرب روند کاهشی از ۱۸۰۰ تا ۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر دارد. SAR، TH و TDS نیز دارای چنین وضعیتی هستند بطوریکه کمترین مقادیر در دشتهای قروه و دهگلان و بیشترین مقادیر در دشت چهاردولی ثبت شده که شاهدهی بر صحت نتایج خوشه‌بندی است. TH آب تمامی چاهها بیش از ۳۰۰ بود بنابراین همگی آنها در طبقه بسیار سخت قرار میگیرند و بدلیل بالاتر بودن مقدار باقیمانده خشک آب چاههای شرق دشت چهاردولی از ۱۰۰۰، در طبقه آبهای شور و سایر بخش‌های منطقه مورد پژوهش در طبقه آبهای شیرین قرار می‌گیرند (Ghosh و Nag، ۲۰۱۱). با توجه به شکل ۵، نتایج خوشه‌بندی چاهها به روش فاصله اقلیدسی آنیونهای مختلف (SO<sub>4</sub>، HCO<sub>3</sub> و Cl) بیانگر وجود شش خوشه یا گروه مجزا بود. گروه شش (G6) شامل چاه شماره ۳، گروه پنج (G5) شامل چاه شماره ۹، گروه چهار (G4) شامل چاههای شماره ۶، ۷، ۱۰ و ۱۷، گروه سه (G3) شامل چاههای شماره ۴ و ۵، گروه دو (G2) شامل چاههای شماره ۲، ۸، ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۴۰، ۴۸ و ۵۷ و سایر چاهها در گروه شماره یک (G1) قرار دارند. نتایج بررسی تغییرات مکانی غلظت آنیونها نشان از صحت خوشه‌بندی انجام شده بود بطوریکه کمترین غلظت های کلر، بیکربنات و سولفات به ترتیب ۰، ۲/۵ و ۲/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در دشتهای قروه و دهگلان و بیشترین غلظتهای آنها به ترتیب ۳/۵، ۱۷/۵ و ۲/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در شرق دشت چهاردولی مشاهده شد. همچنین از شرق به غرب دشت چهاردولی شاهد روند کاهشی غلظت کلر از ۳/۵ به ۰/۵، بیکربنات از ۱۷/۵ به ۵/۵ و سولفات از ۱۶/۵ به ۴/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بودیم. خوشه‌بندی چاهها بر اساس کاتیونهای مختلف (K، Na، Mg و Ca) حاکی از وجود شش گروه مختلف بود (شکل ۶) بطوریکه گروه شش (G6) شامل چاه شماره ۹، گروه پنج (G5) شامل چاههای شماره ۶، ۷ و ۱۷، گروه چهار (G4) شامل چاههای شماره ۴، ۵ و ۱۰، گروه سه (G3) شامل چاههای شماره ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۳۷، ۴۰، ۴۲ و ۴۸، گروه دو (G2) شامل چاههای شماره ۱، ۲، ۳، ۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۵۷ و ۵۹ و گروه یک (G1) شامل سایر چاهها بود. نتایج بررسی تغییرات مکانی غلظت کاتیونها نیز نشان از صحت خوشه‌بندی انجام شده بود بطوریکه کمترین غلظتهای مجموع کاتیونها، پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم به ترتیب ۳، ۰، ۰، ۲ و ۰/۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در دشتهای قروه و دهگلان و بیشترین غلظتها در شمال شرق دشت چهاردولی مشاهده شد که به سمت جنوب غرب روند کاهشی داشتند. نتایج مقایسه گروههای مختلف ناشی از خوشه‌بندی بر اساس متغیرهای فیزیکی کیفیت آب (شکل ۴)، آنیونها (شکل ۵) و کاتیونها (شکل ۶) در جدول ۲ حاکی از تفاوت معنی‌دار آماری بین ۴ گروه ایجاد شده بر اساس متغیرهای فیزیکی یعنی pH، TH، TDS، EC و SAR به ترتیب با سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۰ و اختلاف معنی‌دار آماری بین ۶ گروه ایجاد شده بر اساس آنیونها یعنی SO<sub>4</sub>، HCO<sub>3</sub> و Cl به ترتیب با سطح معنی‌داری ۰/۰۰۰، ۰/۰۰۹ و ۰/۰۰۰ و همچنین اختلاف معنی‌دار آماری بین ۶ گروه ایجاد شده بر اساس کاتیونها یعنی K، Na، Mg و Ca به ترتیب با سطح معنی‌داری ۰/۰۰۳۴، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۵ بود.

جدول ۲- سطح معنی‌داری آزمون کروسکال والیس جهت مقایسه متغیرهای کیفیت آب گروه‌های حاصل از خوشه‌بندی

pH	TH	TDS	EC	SAR	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	K	Na	Mg	Ca
۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۲۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	۰/۰۳۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸	۰/۰۱۵

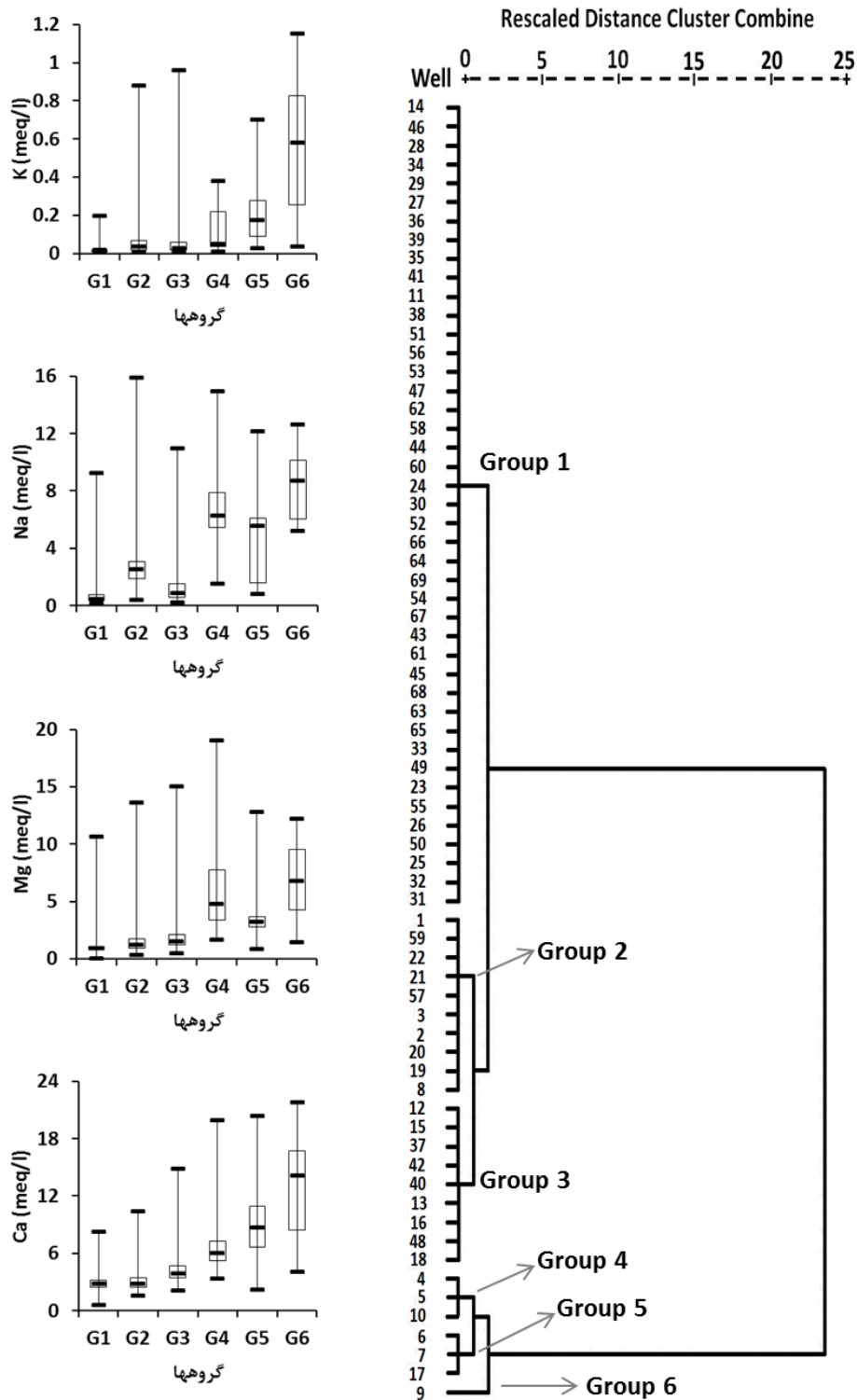


شکل ۴: دندروگرام و نمودار جعبه‌ای گروه‌های حاصل از خوشه‌بندی ویژگی‌های فیزیکی آب زیرزمینی



شکل ۵: دندروگرام و نمودار جعبه‌ای گروه‌های حاصل از خوشه‌بندی آنیونها





شکل ۶: دندروگرام و نمودار جعبه‌ای گروه‌های حاصل از خوشه‌بندی کاتیونها

## نتیجه گیری

دشتهای شرقی استان کردستان یکی از قطبهای کشاورزی بخصوص سیب زمینی ایران است که قطعا آگاهی از تغییرات مکانی کیفیت آب، پهنه بندی غلظت متغیرهای مختلف و تحلیل کیفیت آنها به کمک شاخص های هیدروشیمیایی کمک شایانی به مدیریت آن خواهد کرد. لذا در این پژوهش به کمک شاخصهای هیدروشیمیایی، نسبتهای یونی و نمودارهای شناخته شده کیفیت آب اقدام به بررسی تغییرات مکانی و پهنه بندی ۱۴ متغیر کیفیت آب منطقه شد. نتایج نشان داد که EC همبستگی قوی با Ca, Mg, Na, Cl و TH به ترتیب با  $r=0/939$ ،  $r=0/961$ ،  $r=0/959$ ،  $r=0/905$ ،  $r=0/971$  در سطح  $P<0/01$  دارد. همچنین TH آب تمامی چاهها بیش از ۳۰۰ بود بنابراین همه آنها در طبقه بسیار سخت قرار می گیرند و بدلیل بالاتر بودن مقدار TDS آب چاههای شرق دشت چهاردولی از ۱۰۰۰، در طبقه آبهای شور و سایر بخش های منطقه مورد پژوهش در طبقه آبهای شیرین قرار می گیرند. نتایج حاصل از خوشه بندی چاهها بر اساس متغیرهای فیزیکی کیفیت آب، آنیونها و کاتیونها حاکی از تفکیک چاههای منطقه به ترتیب به ۴، ۶ و ۶ خوشه یا گروه اصلی بود و تفاوت معنی دار آماری بین چهار خوشه ایجاد شده بر اساس متغیرهای فیزیکی یعنی pH، TH، TDS، EC و SAR به ترتیب با سطح معنی داری ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۳، ۰/۰۲۰، ۰/۰۰۰ و ۰/۰۰۰، اختلاف معنی دار آماری بین شش گروه ایجاد شده بر اساس آنیونها یعنی SO<sub>4</sub>، HCO<sub>3</sub> و Cl به ترتیب با سطح معنی داری ۰/۰۰۰، ۰/۰۰۹ و ۰/۰۰۰ و همچنین اختلاف معنی دار آماری بین شش گروه ایجاد شده بر اساس کاتیونها یعنی K، Na، Mg و Ca به ترتیب با سطح معنی داری آماری ۰/۰۳۴، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۵ مشاهده شد. کشاورزان در سالهای اخیر برای جبران کمبود مواد غذایی خاک این دشتهای، بشدت از کودهای مختلف بویژه کودهای ازته استفاده می کنند بطوریکه بارها کارشناسان امر نسبت به آلوده شدن آبهای زیرزمینی منطقه هشدار داده اند. در این پژوهش به علت فقدان داده های نیترا ت امکان بررسی این مهم وجود نداشت که جا دارد در پژوهش های آینده به آن توجه شود.

## منابع

- اسدزاده، ف. کاکلی، م. شکیبیا، س و راعی، ب. ۱۳۹۵. تاثیر خشکسالی بر کیفیت و سطح آب زیرزمینی دشت قروه و چهاردولی. تحقیقات منابع آب ایران. ۱۲(۳): ۱۵۳-۱۶۵.
- دهقانی، ف. راهنمایی، ر. ملکوتی، م. ج. و سعادت، س. ۱۳۹۱. بررسی وضعیت نسبت کلسیم به منیزیم در برخی از آبهای آبیاری کشور. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۳(۱): ۱۱۷-۱۲۹.
- صالحی، ح. سلیمانی، ل. و ابراهیمی محمدی، ش. ۱۳۹۵. ارزیابی کیفیت آبهای زیرزمینی با استفاده از شبیه AqQA و تعیین مناسبترین روش پهنه بندی (مطالعه ی موردی: شهرستان قروه، استان کردستان). مهندسی منابع آب. ۹(۲۹): ۳۰-۴۹.
- مهری، س. آل شیخ، ع. ا. و جوادزاده، ز. ۱۳۹۴. بررسی روند تغییرات کیفی و سطح ایستابی آب های زیرزمینی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. اکوهیدرولوژی. ۲(۴): ۳۹۵-۴۰۴.
- Chidambaram, S., Karmegam, U., Sasidhar, P., Prasanna, M.V., Manivannan, R., Arunachalam, S., Manikandan, S., and P. Anandhan. 2011. Significance of saturation index of certain clay minerals in shallow coastal groundwater, in and around Kalpakkam, Tamil Nadu, India. *Journal of Earth System Science*. 120(5): 897-909.
- Cloutier, V., Lefebvre, R., Therrien, R., and M.M. Savard. 2008. Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system. *J. Hydrol.* 353 (3-4), 294-313.
- Farnham, I.M., Johannesson, K.H., Sing, A.K., Hodge, V.F., and K.J. Stetzenbach. 2003. Factor analytical approaches for evaluating groundwater trace element chemistry data. *Anal. Chim. Acta*. 490: 123-138.

- Foster, S.S.D. 1995. Groundwater for development: an overview of quality constraints, In: Nash H, McCall GJH (eds) Groundwater quality (17th special report), Chapman & Hall, London, P: 1-3.
- Foster, S. 1998. Groundwater assessing vulnerability and promotion protection of a threatened resource/ In: Proceedings of the 8<sup>th</sup> Stockholm water symposium, Sweden, pp: 79-90.
- Katz, B.G., Coplen, T.B., Bullen, T.D., and J.H. Davis. 1997. Use of chemical and isotopic tracer to characterize the interactions between groundwater and surface water in mantled karst. *Groundwater*. 35(6): 1014-1028.
- Lambrakis, N., Antonakos, A., and G. Panagopoulos. 2004. The use of multicomponent statistical analysis in hydrogeological environmental research. *Water Resour.* 38 (7): 1862-1872.
- Martos-Rosillo, S., and F. Moral. 2015. Hydrochemical changes due to intensive use of groundwater in the carbonate aquifers of Sierra de Estepa (Seville, southern Spain). *Journal of Hydrology*. 528: 249-263.
- Maya, A., and M. Loucks. 1995. Solute and isotopic geochemistry and groundwater flow in the central Wasatch range, Utah. *Journal of hydrology*. 172: 31-59.
- Mirza, A.T.M., Tanvir Rahman, A.H.M., Saadat, M.d., Safiqul Islam, M.d., Al-Mansur, A., and Sh. Ahmed. 2017. Groundwater characterization and selection of suitable water type for irrigation in the western region of Bangladesh. *Applied Water Science*. 7(1): 233-243.
- Molla, M.A., Saha, N., Salam, S.A., and M. Rakib-uz-Zaman. 2015. Surface and groundwater quality assessment based on multivariate statistical techniques in the vicinity of Mohanpur, Bangladesh. *International Journal of Environmental Health Engineering*. 4:18.
- Nag, S.K., and P. Ghosh. 2011. Groundwater quality and its suitability to agriculture - GIS based case study of Chhatna block, Bankura district, west Bengal, India. *International journal of environmental science*. 1(7): 1770-1784.
- Nickson, R.T., McArthur, J.M., Shrestha, B., Kyaw-Nyint, T.O., and D. Lowrt. 2005. Arsenic and other drinking water quality issues, Muzaffargarh District, Pakistan. *Applied Geochemistry*. 20: 55-68.
- Piper, A.M.A. 1994. Graphical procedure in the geochemical interpretation of water analysis/ *Eos Transactions American Geophysical Union Journal*. 25: 914-928.
- Sahraei Parizi, H., and N. Samani. 2013. Geochemical evolution and quality assessment of water resources in the Sarcheshmeh copper mine area (Iran) using multivariate statistical technique/ *Environmental Earth Sciences*. 69: 1699-1718.
- Tang, C., Chen, J., Shindo, S., Sakura, Y., Zhang, W., and Y. Shen. 2004. Assessment of groundwater contamination by nitrates associated with wastewater irrigation: A case study in Shijiazhuang region, China. *Hydrol. Process*. 18: 2303-2312.
- Templ, M., Filzmoser, P., and C. Reimann. 2008. Cluster analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities. *Appl. Geochem*. 23 (8): 2198-2213.
- Usman, N.O., Toriman, M.E., Juahir, H., Abdullahi, M.G., Rabiun, A.A. and H. Isiyaka. 2014. Assessment of Groundwater Quality Using Multivariate Statistical Techniques in Terengganu. *Science and Technology*. 4(3): 42-49.
- Wang, X., Ji, H., Wang, Q., Liu, X., Huang, D., Yao, X., and G. Chen. 2016. Divisions based on groundwater chemical characteristics and discrimination of water inrush sources in the Pingdingshan coalfield. *Environmental Earth Sciences*. 75: 1-11.
- Xiao, J., Jin, Z., and J. Wang. 2014. Assessment of the hydrogeochemistry and groundwater quality of the tarim river basin in an extreme arid region, NW China/ *Journal of Environmental Management*. 53: 135-146.
- Zhang, X., Qian, H., Chen, J., and L. Qiao. 2014. Assessment of groundwater chemistry and status in a heavily used semi-arid region with multivariate statistical analysis/ *Water (Switzerland)*. 6: 2212-2232.