



## استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در بررسی هیدروژئوشیمی منابع آب زیرزمینی دشت زیرراه

زینب احمدنژاد<sup>۱\*</sup>، نصرالله کلانتری<sup>۲</sup>، زهرا بوسلیک<sup>۳</sup>، مرضیه سهرابی زاده<sup>۴</sup>

۱- کارشناسی ارشد آب شناسی، گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲- استاد آب شناسی، گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳- کارشناسی ارشد آب شناسی، استاد مدعو دانشگاه پیام نور مسجد سلیمان، مسجد سلیمان، ایران

۴- کارشناسی ارشد ژئوشیمی، گروه زمین شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

\* عهده دار مکاتبات: Zeinab. ahmadnejad@yahoo.com

دریافت مقاله: ۹۱/۸/۲۵، پذیرش مقاله: ۹۱/۱۲/۱۱

### چکیده

چیرگی اقلیم های خشک و نیمه خشک در پهنه وسیعی از کشور و افزایش تقاضا برای آب در کاربری های گوناگون ایجاب می کند که وضعیت این منابع جهت تأمین آب، مورد مطالعه قرار گیرد. از فناوری سامانه اطلاعات جغرافیایی در زمینه های گوناگون از جمله پهنه بندی کیفی آب زیرزمینی استفاده می شود. دشت زیرراه در شمال شرق شهرستان دشتستان در استان بوشهر قرار دارد. به منظور بررسی هیدروژئوشیمی آب های زیرزمینی در این دشت، از اطلاعات ۱۹ نمونه آب زیرزمینی استفاده شده است. براساس نقشه ها و نمودارهای به دست آمده، شمال و مرکز دشت دارای کیفیت غیر قابل قبول برای مصرف شرب، و سایر چاه های موجود دارای کیفیت موقتاً قابل شرب هستند. از لحاظ کشاورزی بیشتر نمونه های آب زیرزمینی براساس رده بندی ویلکاکس در رده C4S4 قرار گرفته اند، همچنین آب زیرزمینی حوالی روستاهای سیاه منصور، سرقنات، نظرآقا و تل سرکوه سبب تخریب ساختار فیزیکی خاک می شود. کیفیت این منابع آب از نظر مصرف صنعت، پوسته گذار هستند.

واژه های کلیدی: هیدروژئوشیمی، پهنه بندی، سامانه اطلاعات جغرافیایی

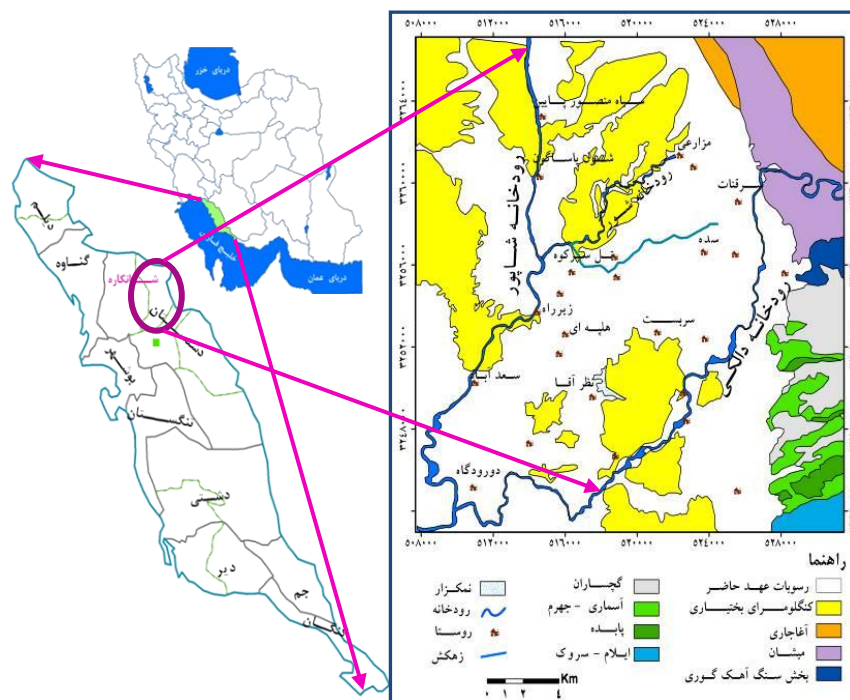
### ۱- مقدمه

منطقه Pindiga Gombe، نیجریه برای اهداف خانگی و آبیاری پرداختند، این محققان به این نتیجه رسیدند که نه تنها آب زیرزمینی منطقه دارای خطر شوری است، بلکه تأثیر منفی نیز بر روی خواص خاک منطقه می گذارد. اکبری و همکاران، (۱۳۸۵) به بررسی و ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت میان آب شوشتر با استفاده از GIS پرداختند.

### ۲- منطقه مورد مطالعه

دشت زیرراه بین طول های جغرافیایی "۵۶° ۴' ۵۱" و "۱۵° ۱۹' ۵۱" و بین عرض های جغرافیایی "۲۰° ۱۹' ۲۹" و "۴۸° ۳۱' ۲۹" قرار دارد (شکل ۱). سنگ شناسی دشت زیرراه شامل سازندهای آجاجاری، میشان، بخش سنگ آهک گوری، گچساران، آسماری- پابده و ایلام- سروک است. به دلیل رخنمون زیاد سازند کنگلومرای بختیاری در دشت زیرراه منشأ بیشتر مواد نهشته شده در این دشت، سازند بختیاری است و آبرفت منطقه بسیار ناهمگون است.

ارزیابی کیفیت آب های زیرزمینی به منظور اطمینان یافتن در مورد استفاده از این منابع، اهمیت دارد. از سوی دیگر، توسعه کشورها و افزایش اطلاعات در زمینه های مختلف، باعث شده است که بشر به فکر ایجاد ابزارهایی باشد تا بتواند دسترسی به اطلاعات زیاد و متنوع و همچنین تحلیل آنها را آسان تر و سریع تر نماید. یکی از بهترین سامانه ها، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) است (آرونوف، ۱۳۷۵). با توجه به قابلیت های بسیار زیاد GIS در مطالعات منابع آب، در این تحقیق از آن در پهنه بندی های کیفی آب زیرزمینی استفاده شده است. مطالعات متعددی در رابطه با بررسی کیفیت منابع آب صورت گرفته است، Machiwal et al., (2010) کیفیت آب های زیرزمینی در تپه های سنگی سخت، ناحیه غربی هندوستان را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای شرب و کشاورزی مناسب است. Obiefuna and Sheriff, (2010) به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

### ۳- روش، بحث و بررسی

جریان، تعیین مناطق تخلیه و تغذیه و ارتباط بین سفره‌های آبدار و مجموعه‌های آب سطحی استفاده می‌شود (بذرافکن، ۱۳۸۳). با توجه به اندازه‌گیری‌های سطح آب، سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ در ۱۲ چاه مشاهده‌ای نقشه جهت جریان آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه تهیه شده است (شکل ۲). در شکل ۲، نقشه جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. همان‌گونه که از این نقشه‌ها برداشت می‌شود تغذیه عمده دشت از شمال تا جنوب شرق محدوده صورت می‌گیرد، در شرق و جنوب شرق دشت توسط رودخانه دالکی تغذیه می‌شود، تغذیه دیگری نیز از ناحیه شمال شرق توسط غسل قطر- کازرون صورت می‌گیرد. رودخانه شاپور بخش غربی دشت را کاملاً زهکشی می‌کند، این رودخانه در تمام طول مسیر خود در دشت نقش زهکش دارد. جهت جریان از سمت شمال شرق و شرق منطقه به سمت غرب و جنوب غرب دشت است. از دیگر جریان‌های مهم در منطقه می‌توان به جریان از رودخانه شور به سمت رودخانه شاپور اشاره کرد. زیاد بودن عمق آب زیرزمینی در اطراف این رودخانه و بالا بودن شیب هیدرولیکی عمودی بین تراز آب رودخانه و تراز آب زیرزمینی، سبب تخلیه سفره آبدار توسط رودخانه در این بخش از دشت می‌شود.

در این تحقیق با توجه به بررسی‌های انجام شده، از ۱۸ حلقه چاه نیمه‌عمیق کشاورزی و یک دهانه چشمه موجود در دشت زیرراه نمونه‌برداری شد (جدول ۱). با توجه به هدف مطالعه که ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی است، پارامترهای دما، سختی کل، کلرید، سولفات، کلسیم، منیزیم و سدیم، کربنات، EC، pH و TDS در بهار ۸۹ برای ۱۹ ایستگاه اندازه‌گیری شد. برای تفسیر تیپ نمونه‌های آب، از نمودار دوروف و همچنین برای بررسی تغییرات یون‌های موجود در آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف منطقه، از سری‌های مکانی نمونه‌های آب زیرزمینی استفاده شد. در این مطالعه، نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی برای TH, pH, EC, Na, SO<sub>4</sub> و Cl تهیه شد، برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار Arcmap 9.2، از روش درون‌یابی IDW استفاده شد. افزون بر این، به منظور بررسی کیفیت آب از نظر شرب و کشاورزی، نقشه‌های بی‌کربنات باقی‌مانده RSC (Residual Sodium Carbonate)، شاخص تراوایی PI (Permeability index)، شاخص کیفیت آب GWQI (Groundwater quality index) و کیفیت آب براساس رده‌بندی شولر تهیه شد. در نهایت به بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی از نظر صنعتی پرداخته شد.

### ۳-۲- نمودارهای ترکیبی

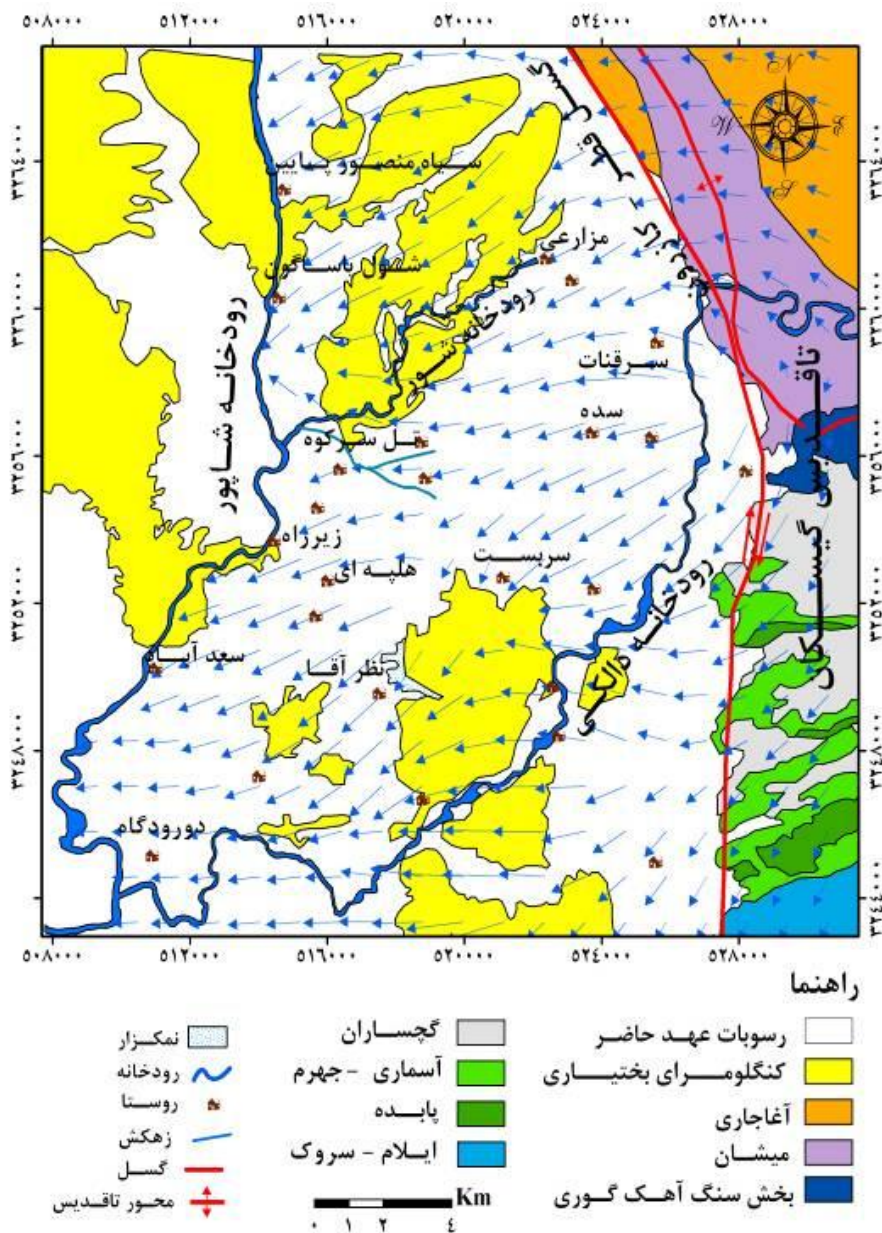
### ۳-۱- جهت جریان آب زیرزمینی

از نمودارهای ترکیبی، در تعیین منشأ آب‌ها، آمیختگی آب‌ها و ارتباط بین یون‌های مختلف استفاده می‌شود (Mazor, 2004) (شکل ۳).

تعیین سامانه جریان با استفاده از داده‌های هیدروژئولوژیکی صورت می‌گیرد. از اندازه‌گیری‌های سطح آب زیرزمینی، برای برآورد جهت کلی

جدول ۱- نتایج سنجش‌های شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت زیرراه در فروردین ماه ۱۳۸۹

سختی کل	mg/l							TDS (mg/l)	EC (µs/cm)	pH	T°C	شماره
	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>					
۲۳۷۵	۱۰/۹۵	۱۳۵۷	۳۰۳/۸	۴۵۰/۹	۲۴۰۲	۲۱۰۹	۲۸۶/۸	۶۹۱۷	۸۶۵۱	۷/۳۲	۲۳/۶	۱
۲۹۲۵	۱۴/۸۶	۱۹۹۶	۴۹۸/۳	۳۵۰/۷	۲۱۶۱	۲۸۱۰	۳۲۳/۴	۸۱۵۰	۱۱۱۰۲	۷/۵۵	۲۳/۵	۲
۱۷۲۵	۲۰/۳۳	۱۳۵۷	۱۳۹/۸	۴۶۰/۹	۱۹۲۱	۱۸۵۲	۲۹۲/۹	۶۰۴۳	۷۷۵۵	۷/۲۵	۲۶/۵	۳
۱۲۵۰	۷/۸۲	۱۱۹۷	۱۰۳/۳	۳۳۰/۶	۷۴۴/۵	۱۸۷۰	۳۷۸/۳	۴۶۳۲	۷۱۴۳	۷/۴۷	۲۳/۳	۴
۱۲۰۰	۷/۰۳۸	۱۲۳۷	۹۷/۲۲	۳۲۰/۶	۶۹۶/۵	۱۹۱۴	۳۳۵/۶	۴۶۰۹	۷۰۹۸	۷/۴۹	۲۴	۵
۱۶۷۵	۱۲۱۷	۱۲۱۷	۱۹۴/۴	۳۵۰/۷	۱۱۷۷	۱۸۵۲	۳۱۷/۳	۵۱۱۷	۷۳۸۲	۷/۳۲	۲۵/۸	۶
۲۴۴۰	۱۰/۹۵	۱۸۳۶	۴۵۲/۷	۲۳۰/۴	۱۸۲۵	۲۴۲۹	۲۸۶/۸	۷۰۶۷	۹۳۱۶	۷/۳۴	۲۳	۷
۱۸۷۵	۷/۸۲	۱۷۱۶	۲۷۳/۴	۳۰۰/۶	۱۲۴۹	۲۲۵۱	۳۵۳/۹	۶۱۵۱	۸۸۲۸	۷/۳۴	۲۵/۳	۸
۲۰۵۰	۱۰/۱۷	۱۳۱۷	۳۴۶/۳	۲۵۰/۵	۲۴۰۲	۱۷۵۵	۲۹۹	۶۳۷۶	۷۹۸۶	۷/۴۸	۲۵/۹	۹
۲۳۵۰	۱۰/۹۵	۲۰۷۵	۴۳۴/۵	۲۲۶/۴	۲۰۶۵	۲۷۳۹	۳۵۳/۹	۷۹۰۱	۱۰۲۰۴	۷/۳۵	۲۵/۸	۱۰
۱۸۱۰	۸/۲۱۱	۱۳۳۷	۳۱۲/۹	۲۱۰/۴	۱۴۴۱	۱۸۱۷	۳۶۰	۵۴۸۴	۷۵۴۲	۷/۵۵	۲۴/۸	۱۱
۲۸۷۵	۱۸/۷۷	۱۶۳۶	۵۷۷/۲	۲۰۰/۴	۲۸۸۲	۲۰۳۹	۲۹۲/۹	۷۶۴۰	۹۷۶۰	۷/۳۶	۲۶/۵	۱۲
۱۶۹۰	۱۰/۹۵	۷۴۸/۳	۲۴۳	۲۷۶/۵	۱۹۲۱	۱۰۴۶	۱۷۶/۹	۴۴۱۹	۵۹۹۰	۷/۶۹	۲۸/۵	۱۳
۲۰۰۰	۱۰/۱۷	۱۹۵۶	۳۱۲/۹	۲۸۶/۶	۱۴۴۱	۲۵۲۶	۱۷۶/۹	۶۷۰۷	۹۳۱۶	۷/۸	۲۷/۵	۱۴
۳۲۵۰	۳۸/۳۲	۲۱۹۵	۳۹۵	۶۵۱/۳	۳۳۶۲	۲۵۵۳	۲۶۸/۵	۹۴۵۹	۱۰۵۵۳	۷/۶۱	۲۷/۳	۱۵
۳۵۰۰	۱۰/۹۵	۲۱۱۷	۴۰۷/۱	۷۳۱/۴	۲۶۴۲	۳۸۵۵	۳۰۵/۱	۱۰۰۶۶	۱۳۷۱۰	۷/۴۸	۲۶/۸	۱۶
۱۸۵۰	۹/۳۸۴	۱۲۸۹	۱۴۵/۸	۵۰۱	۹۶۰/۶	۲۷۹۲	۲۸۶/۸	۵۹۸۶	۹۰۲۰	۷/۵۸	۲۶	۱۷
۱۸۷۵	۸/۶۰۲	۸۵۸	۱۸۲/۳	۴۵۰/۹	۱۱۵۳	۱۴۸۰	۳۶۶/۱	۴۴۹۷	۵۹۸۱	۷/۰۴	۲۳/۵	۱۸
۱۷۵۰	۱۰/۱۷	۱۴۳۷	۶۶/۸۴	۵۹۱/۲	۹۷۰/۲	۲۷۰۳	۲۹۲/۹	۶۰۷۳	۸۶۱۰	۷/۹۶	۲۳/۷	۱۹



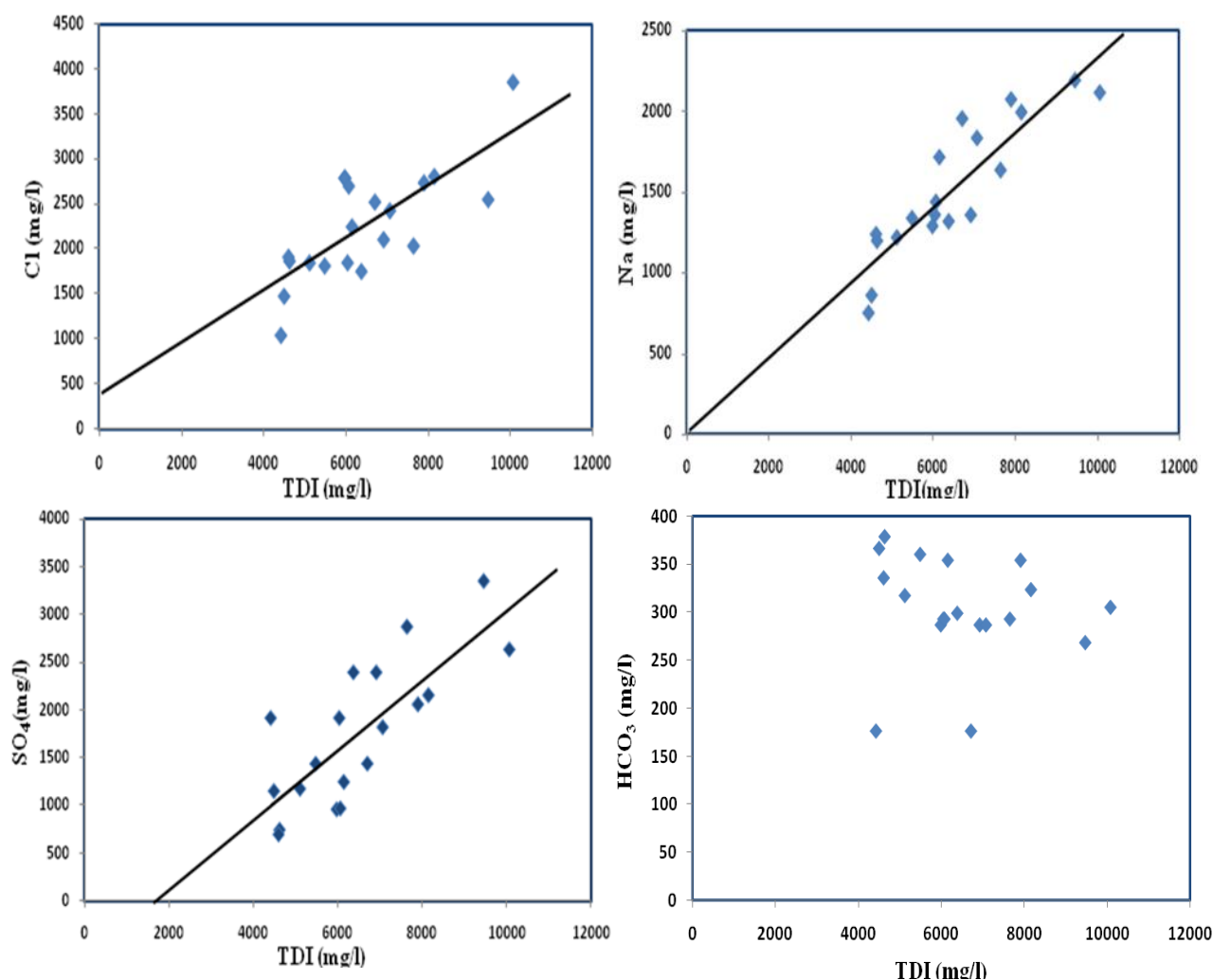
شکل ۲- نقشه جهت جریان آب زیرزمینی دشت زیرراه

دیگر، تشکیل املاح نمک‌زارها و نیز تالاب‌های آب شور در بخش‌های شرقی و مرکزی دشت، سبب افزایش هالیت و شورشیدن منابع آب آبخوان مورد مطالعه، می‌شود. وجود کنگلومرای حاوی نمک‌های سولفات و هالیتی و جریان زیرسطحی منطقه نیز سبب افزایش هالیت آبخوان می‌شود.

- در نمودار سولفات در برابر TDI خط برآزش محور TDI را قطع می‌کند، که بیانگر این مطلب است که افزون بر سولفات، آنیون دیگری نیز سبب شوری می‌شود. در نمودار TDI در برابر کلرید خط برآزش محور کلرید را قطع کرده، که نشان می‌دهد مقدار کلرید آب اختلاطی، بیش از آبخوان است و علاوه بر سولفات، یون کلرید نیز سبب شوری آب دشت می‌شود.

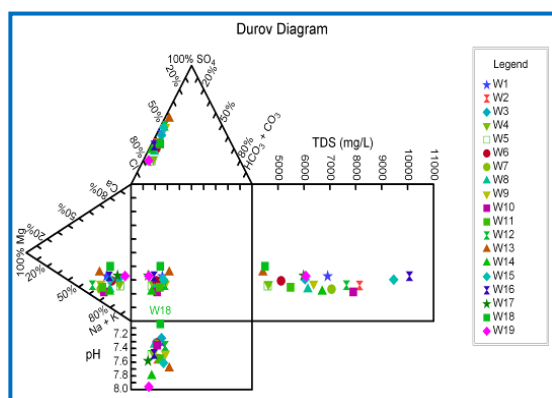
نمودارهای دو متغیره، غلظت کل یون‌های حل‌شده (TDI) را در برابر غلظت یون‌های سدیم، بی‌کربنات، کلرید و سولفات نشان می‌دهد. از این نمودارها می‌توان نتایج زیر را استنباط کرد:

- غلظت بی‌کربنات با افزایش TDI نسبتاً ثابت باقی‌مانده و تغییرات کمی دارد. این امر نشان‌دهنده آن است که انحلال کربنات‌ها در آبخوان زیرراه به‌طور جزئی روی می‌دهد. در منطقه مورد مطالعه با افزایش TDI، غلظت سولفات به‌طور خطی افزایش می‌یابد، که بیانگر انحلال ژبیس، انیدریت و کانی‌های سولفاتی در آبخوان زیرراه است. افزایش خطی سدیم و کلرید نسبت به TDI نشان‌دهنده انحلال هالیت در منطقه است که منشأ آن را می‌توان به انحلال نمک سازندهای حاشیه شرقی دشت توسط رودخانه دالکی و تغذیه آبخوان توسط این رودخانه مرتبط دانست. از سوی



شکل ۳- نمودارهای ترکیبی یون‌های مختلف نمونه‌های آب زیرزمینی در برابر TDI

### ۳-۳- نمودار دوروف



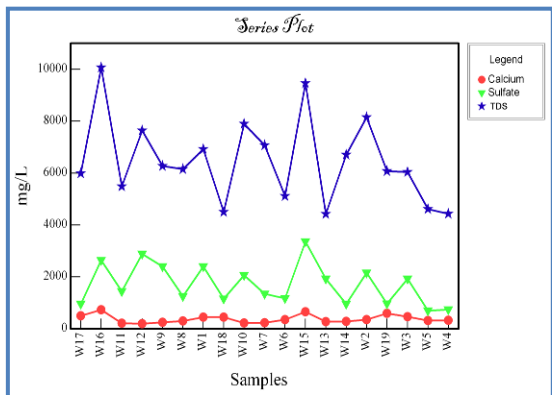
شکل ۴- نمودار دوروف نمونه‌های آب زیرزمینی

### ۳-۴- سری‌های مکانی نمونه‌های آب زیرزمینی

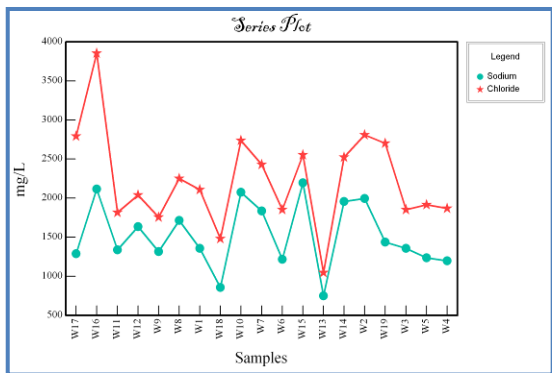
سری‌های مکانی، ابزار مفیدی برای بررسی تغییرات یون‌های موجود در

نمودار دوروف (Durov)، شکل پیشرفته نمودار پایپر است که در بررسی تیپ نمونه‌های آب و همچنین بررسی همزمان نسبت‌های یونی با غلظت کل جامدات حل شده و pH نمونه‌های آب، از آن استفاده قرار می‌شود. در نمودار دوروف، نمونه‌های آب مورد مطالعه، مثلث‌های کاتیونی و آنیونی، غلظت کل جامدات حل شده و pH در نظر گرفته شده است (شکل ۴). مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب برحسب درصد (meq/l) است. بیشترین مقدار TDS در نمونه‌های آب زیرزمینی با مقدار بیش از ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر مربوط به روستای وحدتیه است. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، منابع آب زیرزمینی از نظر مجموع املاح تفاوت قابل توجهی را نشان می‌دهند، اما منشأ یکسانی دارند که منعکس‌کننده تأثیرپذیری یکنواخت آنها از عوامل متعدد منبع شوری آب زیرزمینی است. دامنه تغییرات pH نمونه‌های آب زیرزمینی در دوره نمونه‌برداری از ۷/۰۴ (نمونه مربوط به روستای هلهای) تا ۷/۹۶ (نمونه چشمه زیرراه) متغیر است.

فروردین ۱۳۸۹ در شکل ۷ ارائه شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، در فروردین بیشترین غلظت کلرید در نمونه W16 و بیشترین غلظت سدیم در نمونه‌های W15 و W16، به ترتیب متعلق به روستاهای سیاه‌منصور و وحدتیه مشاهده می‌شود.



شکل ۶- سری مکانی کلسیم، سولفات و مجموع نمک‌ها

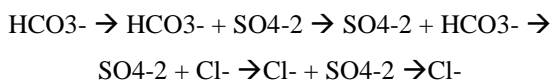


شکل ۷- سری مکانی سدیم و کلرید

### ۳-۵- تکامل ژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی

در پژوهشی Chebotarev, (1955) براساس بیش از ۱۰۰۰۰ سنجش شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی نتیجه‌گیری کرد که آب‌های زیرزمینی از نظر شیمیایی به سمت ترکیب آب دریا تکامل یابند. مشاهدات وی مشخص کرده است که این تکامل معمولاً به وسیله تغییرات ناحیه‌ای در ترکیبات آنیونی غالب به صورت زیر همراه است:

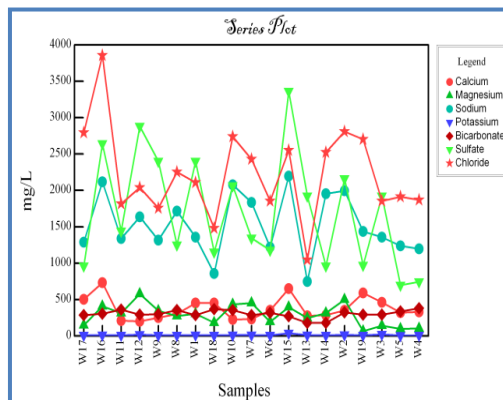
حرکت در طول مسیر →



افزایش زمان ماندگاری →

این تغییرات برحسب حرکت آب از مناطق اشباع با جریان فعال به

آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف یک منطقه است. به منظور بررسی روند تغییرات یون‌های کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات، سولفات، کلرید و سدیم از سمت شرق (منطقه تغذیه دشت) به غرب (منطقه تخلیه دشت) منطقه مورد مطالعه، نمودار سری مکانی یون‌های یادشده رسم شد (شکل ۵). با توجه به این شکل‌ها، یون‌هایی که بیشترین تغییرات را در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند عبارتند از: کلرید، سولفات و سدیم. کمترین مقدار در بین یون‌ها، مربوط به یون پتاسیم است. همان‌گونه که از نمودارهای رسم‌شده مشخص است، مقادیر بالای دو یون کلرید و سدیم تیپ کلرید سدیم به دست آمده از نمودار دوروف را تأیید می‌کند.



شکل ۵- سری مکانی یون‌های منابع آب زیرزمینی

### ۳-۴-۱- سری مکانی کلسیم، سولفات و مجموع نمک‌ها

در شکل ۶، سری مکانی کلسیم، سولفات و مجموع نمک‌های منابع آب زیرزمینی دشت زیرراه در فروردین و مهر ماه ۱۳۸۹ نشان داده شده است، با توجه به این شکل‌ها تغییرات سولفات بیشتر از کلسیم است. در دوره فروردین ماه تغییرات یون سولفات در محدوده‌ای بین ۶۰۰ تا بیش از ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر قرار می‌گیرد.

در دوره فروردین ماه بیشترین مقدار سولفات در نمونه W15 واقع در سیاه‌منصور دیده می‌شود. در دوره مهرماه تغییرات این یون در محدوده‌ای بین ۵۰۰ تا ۲۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر قرار می‌گیرد و بیشترین مقدار سولفات در نمونه‌های W12 و W15 واقع در روستاهای مزارعی و سیاه‌منصور دیده می‌شود. به طور کلی نحوه تغییرات یون کلسیم مشابه با یون سولفات است، اما محدوده تغییرات آن بسیار کمتر است. این موضوع نشان‌دهنده فرایند انحلال ژپس در آبخوان است. از سوی دیگر، الگوی تغییرات یون‌های کلسیم و سولفات از الگوی تغییرات مجموع املاح پیروی می‌کند که این امر نشان‌دهنده این است که یکی از دلایل افزایش مجموع نمک‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه انحلال ژپس است.

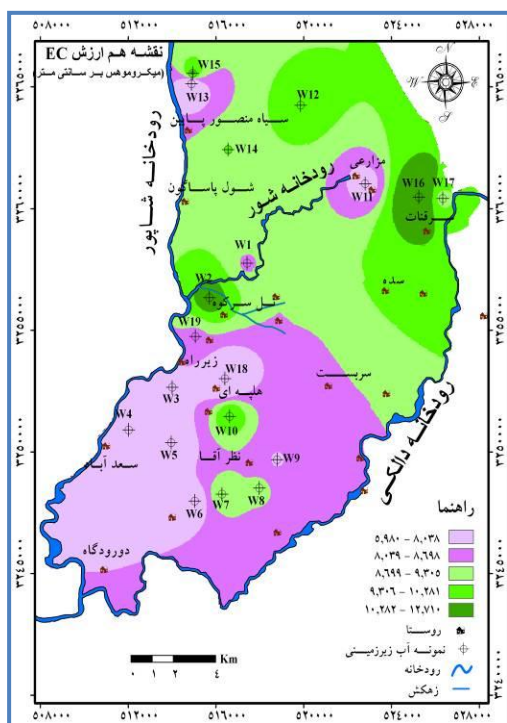
### ۳-۴-۲- سری مکانی سدیم و کلرید

سری مکانی سدیم و کلرید منابع آب زیرزمینی دشت زیرراه، مربوط به

دست آمده از مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، مشکلات زیادی برای نمایش و تفسیر داده‌های به دست آمده وجود دارد. یک راه حل اساسی در حل این مشکلات، تهیه منحنی‌های هم‌ارزش پارامترهای مختلف است. در این بخش برای بررسی توزیع مکانی سازه‌های شیمیایی آب زیرزمینی دشت زیرراه، نقشه‌های هم‌ارزش پارامترهای مختلف رسم شده است.

### ۳-۶-۱- نقشه هم‌ارزش رسانایی الکتریکی

بررسی توزیع رسانایی الکتریکی می‌تواند به طور کلی بیانگر الگوی جریان در آبخوان، آلودگی آب‌های زیرزمینی، و افزایش طبیعی غلظت مواد حل شده از راه انحلال کانی‌های تبخیری و غیره باشد. رسانایی الکتریکی به دما، غلظت یون‌ها و نوع یون‌هایی که در آب وجود دارند، بستگی دارد (Hem, 1989). با توجه به نقشه هم‌رسانایی الکتریکی آب‌های زیرزمینی دشت زیرراه در فروردین ۱۳۸۹ (شکل ۸) به‌طور کلی رسانایی الکتریکی آب‌های زیرزمینی از حاشیه‌های شمال شرقی، شمالی و مرکزی دشت به سمت ناحیه جنوب غربی دشت کاهش می‌یابد. احتمالاً قابلیت دسترسی فراوان به کانی‌های تبخیری مانند ژپس و به‌ویژه هالیت در محیط آبخوان بر افزایش رسانایی الکتریکی در نواحی شمالی و شرقی مؤثر بوده است.



شکل ۸- نقشه هم‌ارزش رسانایی الکتریکی

رسانایی الکتریکی آب‌های زیرزمینی از کمتر از ۶۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر تا بیش از ۱۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر است. در ناحیه جنوب غربی دشت، در منطقه‌ای که احتمالاً آبخوان آبرفتی تا حدودی از لایه‌های کنگلومرای بختیاری تغذیه می‌شود، مقدار رسانایی الکتریکی

سمت مناطق میانه و در نهایت به سمت مناطقی که در آنجا جریان بسیار کند بوده و آب مسن است، روی می‌دهد. مقدار بی‌کربنات آب‌های زیرزمینی معمولاً از CO<sub>2</sub> منطقه خاک و از انحلال کلسیت و دولومیت ناشی می‌شود. از آنجا که کلسیت و دولومیت به میزان قابل ملاحظه‌ای در بیشتر حوضه‌های رسوبی وجود دارند و به دلیل آن‌که این کانی‌ها هنگام تماس با آب زیرزمینی غنی از CO<sub>2</sub>، حل می‌شوند، بی‌کربنات، آنیون غالب در بیشتر نواحی، تغذیه‌ای است.

معمول‌ترین کانی‌های سولفاتی، ژپس (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) و انیدریت (CaSO<sub>4</sub>) هستند. این کانی‌ها، هنگام تماس با آب به سادگی حل می‌شوند. ژپس و انیدریت به میزان زیادی انحلال‌پذیرتر از کلسیت و دولومیت هستند و انحلال‌پذیری کمتری نسبت به کانی‌های کلریدی از قبیل هالیت و سیلیت دارند. به دلیل آن‌که ژپس و انیدریت، به ندرت به میزان قابل ملاحظه‌ای در پهنه‌های رسوبی وجود دارند، بنابراین آب زیرزمینی قبل از آنکه سولفات آنیون غالب شود، باید مسافت زیادی را بپیماید.

رخداد عمومی کلرید به عنوان آنیون غالب، فقط در آب‌های زیرزمینی عمیق یا آب‌های زیرزمینی که مسافت طولانی را طی کرده باشند، صورت می‌گیرد. زمان ماندگاری طولانی و تغذیه ناکامل، باعث ایجاد آب‌های زیرزمینی نوع کلروره سدیمی می‌شود (Chapman, 1996). در بیشتر سامانه‌های آب زیرزمینی، تکامل هیدروژئوشیمیایی از مرحله بی‌کربناتی به مراحل سولفاتی و کلریدی به جای آنکه به صورت مراحل مشخص و در مسافت‌های کوتاه روی دهد، به تدریج انجام می‌گیرد (Freeze & Cherry, 1979).

مرحله اول توالی تکامل آنیونی چیبوتارو، در هیچ یک از نمونه‌های دشت زیرراه (حتی در نمونه‌هایی مانند W11, W16, W18 که اغلب در مناطق تغذیه واقع شده‌اند) مشاهده نمی‌شود. این امر نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی بدون گذر از توالی بی‌کربنات، وارد توالی سولفاتی (دومین توالی تکاملی آنیونی چیبوتارو) می‌شوند. در دشت زیرراه این توالی بیشتر در غرب منطقه و در مجاورت رودخانه شاپور مشاهده می‌شود که احتمالاً ناشی از بروزند بیشتر کنگلومرای بختیاری است. در سامانه آب‌های زیرزمینی برخی از حوضه‌های رسوبی ممکن است، پیش از این‌که یون سولفات آنیون اصلی شود، آب شور و غنی از کلرید گردد، این امر هنگامی رخ می‌دهد که آب‌های زیرزمینی در تماس با کانی‌های کلریدی مانند هالیت با انحلال‌پذیری زیاد، باشد. انحلال‌پذیری این نمک‌ها بسیار بیشتر از کلسیت، دولومیت، ژپس و انیدریت است. در منطقه زیرراه نیز به دلیل افزونی مقدار هالیت منطقه و نیز تبخیر فراوان در منطقه، دومین توالی نیز در منطقه بارز نبوده و به‌طور کلی در بخش‌های وسیعی از دشت زیرراه آخرین توالی تکاملی آنیونی چیبوتارو مشاهده می‌شود. سکون و ماندگاری آب‌های زیرزمینی، نفوذپذیری کم بخش زیادی از منطقه، پتانسیل زیاد تبخیر و رسوبات محیط‌های سبخایی از عوامل تأثیرگذار در تکامل آنیونی کلرید در این ناحیه است.

### ۳-۶-۲- نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی

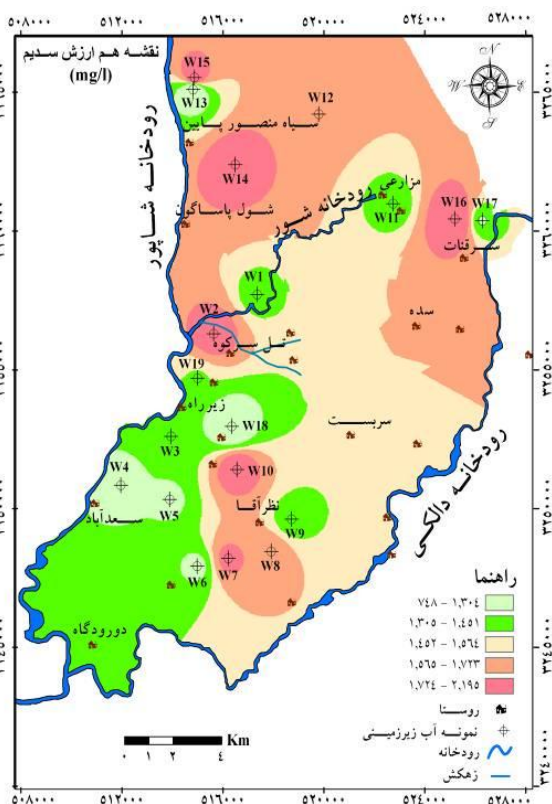
در مطالعات هیدروژئوشیمیایی، به دلیل مقدار زیاد داده‌های به

و آلودگی آب‌های زیرزمینی توسط آب‌های فسیل شور یا آب‌های با منشأ دریایی، از دیگر منابع سدیم هستند. کانی‌های رسی، تبخیری‌هایی مانند هالیت، و فاضلاب‌های صنعتی از دیگر منشأهای سدیم است (Todd, 2005). نقشه هم‌مقدار سدیم در شکل ۱۰ نشان داده شده است، همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار سدیم در بخش شمال غرب منطقه مورد مطالعه، در روستای سیاه‌منصور (چاه شماره ۱۵)، با غلظت بیش از ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. غلظت سدیم در حوالی روستاهای سیاه‌منصور (چاه شماره ۱۳)، سعدآباد و زیرراه نسبت به بقیه مناطق کمتر است. به‌طور کلی میزان سدیم در حوالی روستاهای نظرآقا، سرقات، سیاه منصور و تل‌سرکوه بالا است، که ناشی از تالاب‌های آب شور، محیط‌های سبخایی، وجود کانی‌های تبخیری و نیز آب برگشتی از کشاورزی است.

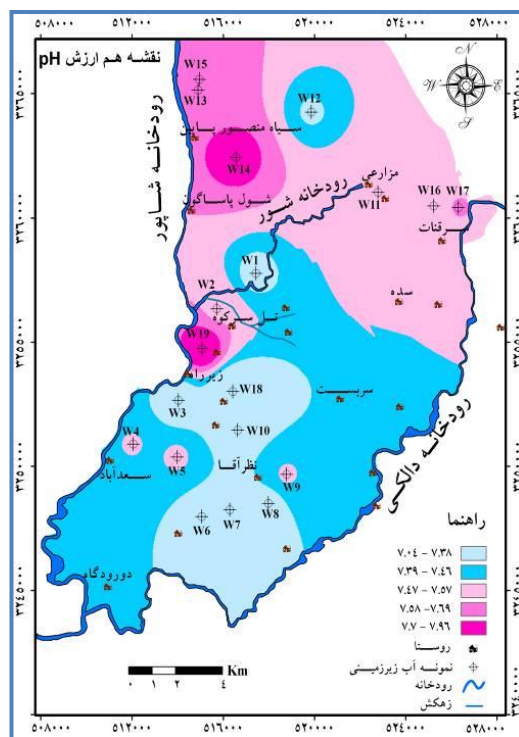
نسبت به حاشیه شمالی- مرکزی دشت کمتر است. کمترین مقدار رسائایی الکتریکی آب‌های زیرزمینی در روستای هله‌ای، چاه شماره ۱۸ به مقدار ۵۹۸۱ میکروموس بر سانتی‌متر و بیشترین مقدار رسائایی الکتریکی در روستای وحدتیه به مقدار ۱۲۷۱۰ میکروموس بر سانتی‌متر است. علت کاهش رسائایی الکتریکی در مجاورت روستای هله‌ای نوع آبرفت و بهره‌برداری کم از آبخوان منطقه است. افزایش رسائایی الکتریکی در چاه بهره‌برداری روستای وحدتیه ناشی از پمپاژ زیاد، تغذیه از زه‌آب و انحلال کانی‌های تبخیری موجود در منطقه است.

### ۳-۶-۲- نقشه هم‌ارزش pH

نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه دارای pH قلیایی هستند و دامنه تغییرات pH بین ۷/۰۴ تا ۷/۹۶ و میانگین آن ۷/۵ است. در شکل ۹ منحنی هم‌ارزش pH نشان داده شده است. کمترین مقدار pH در چاه شماره ۱۹ واقع در روستای هله‌ای و بیشترین مقدار pH در چاه شماره ۱۷ واقع در تل‌سرکوه دیده می‌شود.



شکل ۱۰- نقشه هم‌ارزش سدیم



شکل ۹- نقشه هم‌ارزش pH آب‌های زیرزمینی

### ۳-۶-۴- نقشه هم‌ارزش کلرید

بررسی توزیع مکانی و زمانی یون کلرید، به عنوان یک آنیون پایدار (Conservative anion) در آب‌های زیرزمینی از مراحل اساسی مطالعات هیدروژئوشیمی آبخوان‌های آبرفتی است (کلانتری، ۱۳۸۲). با توجه به نقشه هم‌کلرید آبخوان دشت زیرراه (شکل ۱۱) مشخص می‌گردد، که حداکثر غلظت کلرید آب‌های زیرزمینی در روستای وحدتیه (سرقات) بیش

### ۳-۶-۳- نقشه هم‌ارزش سدیم

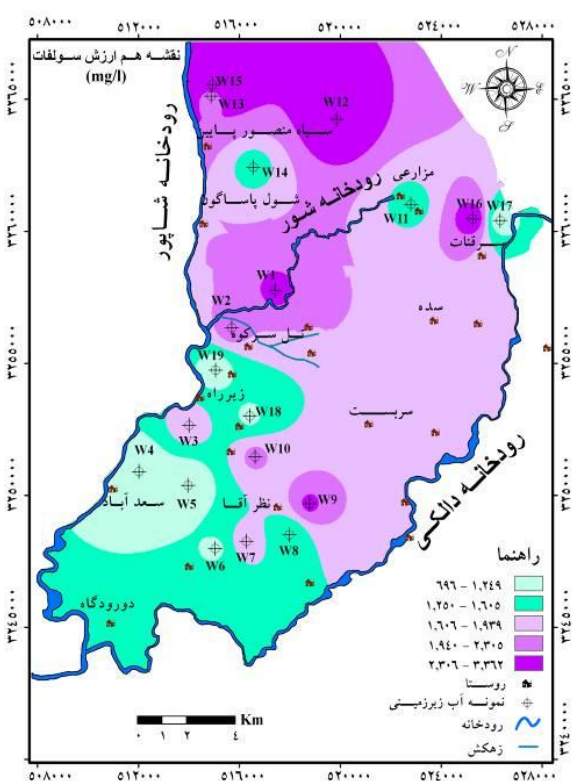
سدیم عمدتاً از فلدسپارهای موجود در سنگ‌های آذرین و دگرسانی آنها (رسی شدن) حاصل می‌شود. آب فروشویی شده از لایه‌های بالایی خاک



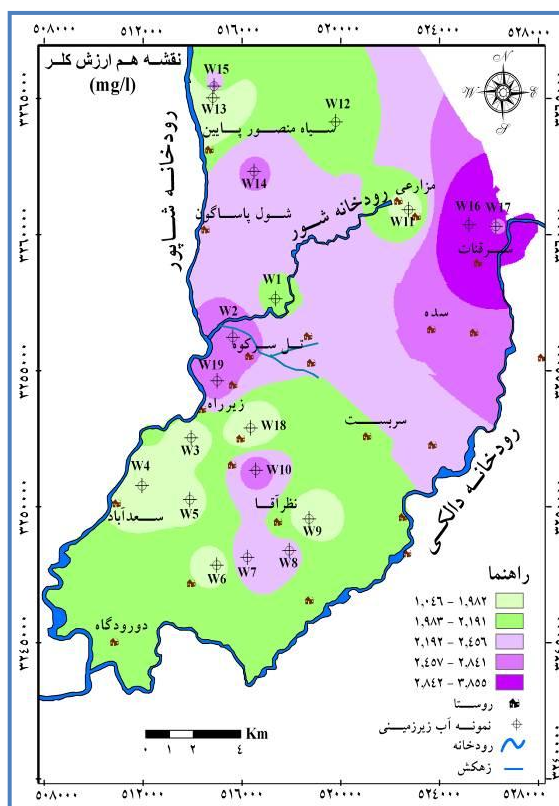
سولفات از لایه‌های بالایی خاک قابل توجه است و باعث می‌شود که سولفات، آنیون اصلی آب‌های زیرزمینی واقع در آن نواحی باشد (Karanth, 2001).

همان‌گونه که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، به‌طور کلی مقدار سولفات از شمال به سمت مرکز و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه کاهش می‌یابد. انحلال سازند آجاجاری توسط رودخانه دالکی و آبیاری دشت توسط آب این رودخانه، رسوبات تبخیری درون سازندی کنگلومرای بختیاری و همچنین آب برگشتی کشاورزی، سبب افزایش سولفات آبخوان دشت در این نواحی می‌شود. بنابراین، افزایش غلظت سولفات در نواحی شمالی دشت نسبت به بقیه مناطق دشت در ارتباط با عوامل یادشده است، هر چند رسوبات تبخیری درون‌سازندی در بخش شمال غربی بیشترین تأثیر را دارد. بیشترین غلظت سولفات در شمال دشت در روستای سیاه‌منصور با مقدار بیش از ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین آن در بخش جنوب غربی بین سعدآباد و جتوط ملاحظه می‌شود که مقدار آن در حدود ۷۰۰ میلی‌گرم در لیتر است.

از ۳۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. آب‌های زیرزمینی تغذیه‌کننده آبخوان در حاشیه‌های شرقی و شمال شرقی دشت عموماً دارای غلظت کلرید بیشتر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر هستند. به هرحال انحلال کانی‌های تبخیری از قبیل ژپس در سازندهای مجاور آبخوان در شرق منطقه توسط رودخانه دالکی و نیز وجود کانی هالیت در آبخوان، در افزایش ناگهانی و شدید غلظت کلرید آب‌های زیرزمینی دشت زیرراه در حوالی روستای وحدتیه (سرقات) مؤثر بوده است. افزایش غلظت کلرید آب‌های زیرزمینی در نواحی مرکزی دشت نیز احتمالاً در ارتباط با رخداد انحلال غالب هالیت در آبخوان است. وجود نمک‌زارها و تالاب‌های آب شور، نفوذ آب به درون زمین در این نواحی (حوالی روستاهای سربست، نظرآقا، سده، برمک) و نیز تشکیل املاح در روی سطح زمین، حرکت این املاح همراه با نفوذ آب سطحی و زیرزمینی به درون آبخوان و عدم زهکشی مناسب در بخش‌هایی از منطقه سبب افزایش غلظت کلرید و نیز شورشدن آب‌های زیرزمینی در این نواحی می‌شود.



شکل ۱۲- نقشه هم‌ارزش سولفات



شکل ۱۱- نقشه هم‌ارزش کلر آب‌های زیرزمینی

۳-۶-۶- نقشه هم‌ارزش سختی کل (TH)

سختی کل تعیین‌کننده یک خاصیت مهم کیفیت آب زیرزمینی است که اساساً توسط کاتیون‌های کلسیم و منیزیم ایجاد شده و به عنوان مجموع غلظت این دو یون در واحد mg/l بیان شده است. به‌طور کلی

۳-۶-۵- نقشه هم‌ارزش سولفات

سولفات عمدتاً در نتیجه انحلال کانی‌های تبخیری ژپس و انیدریت وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود. در نواحی خشک، فروشویی

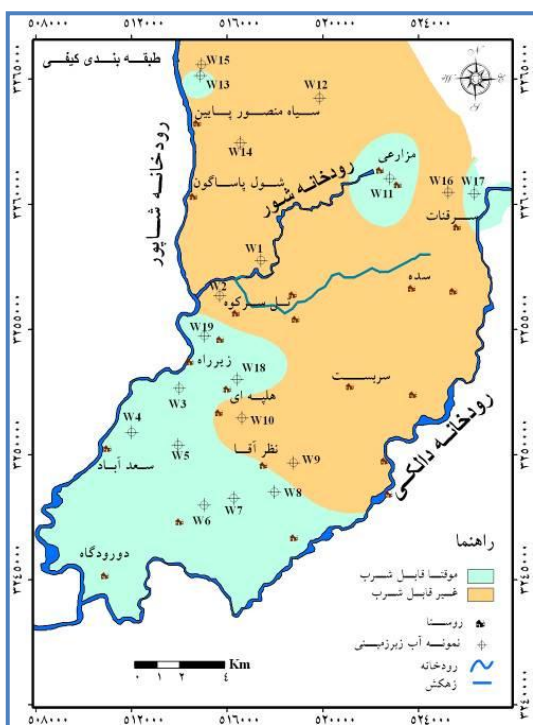
سختی کل قابلیت انحلال صابون توسط آب را نشان می‌دهد (Flecher, 1986). حد مطلوب برای سختی کل تا ۲۰۰ mg/l است و تا حد ۵۰۰ mg/l نیز قابل قبول است. مقدار TH در منطقه مورد مطالعه از ۱۲۰۰ تا ۳۵۰۰ متغیر است (شکل ۱۳) که از حدود ذکر شده بالاتر است و بنابراین منابع آب زیرزمینی منطقه، سخت هستند.

سختی کل قابلیت انحلال صابون توسط آب را نشان می‌دهد (Flecher, 1986). حد مطلوب برای سختی کل تا ۲۰۰ mg/l است و تا حد ۵۰۰ mg/l نیز قابل قبول است. مقدار TH در منطقه مورد مطالعه از ۱۲۰۰ تا ۳۵۰۰ متغیر است (شکل ۱۳) که از حدود ذکر شده بالاتر است و بنابراین منابع آب زیرزمینی منطقه، سخت هستند.

### ۳-۷- بررسی کیفیت آب از لحاظ شرب

#### ۳-۷-۱- تقسیم‌بندی شولر

لایه آبدار از نظر بهره‌برداری به‌منظور آشامیدن، براساس استانداردهای مورد نظر، قابل رده‌بندی است. یکی از معیارهای رده‌بندی آب از نظر شرب، رده‌بندی شولر است. USEPA, (1995) بیشترین غلظت مجاز کلرید و سولفات در آب شرب را به ترتیب ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر پیشنهاد کرده است. به‌طور کلی، بیشتر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت زیرراه دارای غلظت‌های کلرید و سولفات بیش از بیشترین غلظت مجاز قابل شرب هستند. با توجه به شکل ۱۴، چاه‌های موجود در بخش شمال و مرکز دشت در حوالی روستاهای سیاه‌منصور، شول پاساگون، سرقنات، سده و سرپست، دارای کیفیت غیر قابل قبول برای شرب هستند. سولفات، سختی و مجموع املاح آب چاه‌های این بخش‌ها تا حدی است که باعث تلخ و شور شدن مزه آب زیرزمینی شده است. سایر چاه‌های موجود دارای کیفیت بهتری نسبت به چاه‌های یادشده هستند، اما خود نیز دارای کیفیت موقتاً قابل شرب هستند.



شکل ۱۴- نقشه کیفیت آب شرب از نظر شولر

$$Q_i = \frac{(M_i - L_i)}{(S_i - L_i)} \times 100 \quad \text{معادله ۱}$$

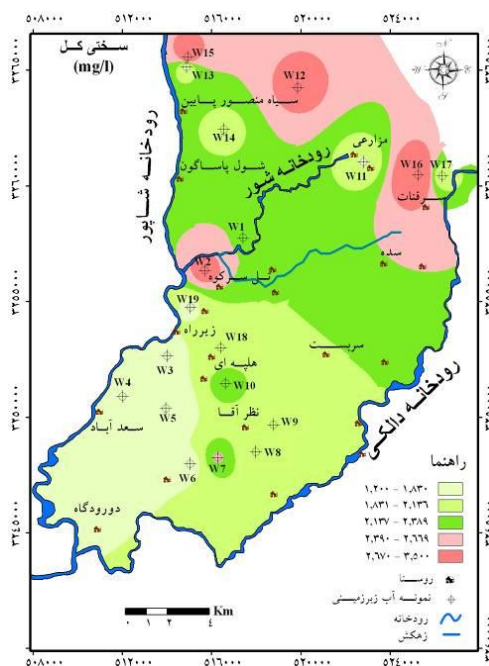
$$W_i = \frac{K}{S_i} \quad \text{معادله ۲}$$

$$K = \frac{1}{\left(\frac{1}{S_1}\right) + \left(\frac{1}{S_2}\right) + \left(\frac{1}{S_3}\right) + \dots + \left(\frac{1}{S_n}\right)} \quad \text{معادله ۳}$$

$M_i$  و  $3, 2, 1$  و  $S_1, S_2, S_3, S_i$  مقادیر استاندارد پارامترهای متغیر  $1, 2, 3$  و مقدار محاسبه‌شده پارامترها در آزمایشگاه  $L_i$  مقدار ایده‌آل پارامترها، که برای همه صفر در نظر گرفته شده بجز pH که برابر ۷ است. به‌طور کلی  $GWQI$ ، به‌وسیله جمع نسبت کیفیت  $(Q_i)$  در واحد وزن  $(W_i)$  بیان می‌شود (معادله ۴).

$$GWQI = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad \text{معادله ۴}$$

در این مطالعه  $GWQI$ ، برای بررسی کیفیت آب از نظر شرب مورد استفاده قرار گرفته (شکل ۱۵) و مقدار مجاز آن برای شاخص ۱۰۰ است و مقادیر بالاتر از آن بیانگر آلودگی آب است. در منطقه مورد مطالعه کمینه و بیشینه مقدار  $GWQI$ ، به ترتیب برابر با  $81/32$  و  $263/23$  مربوط به روستاهای هلیه‌ای و برمک است، مقدار میانگین این پارامتر در منطقه برابر با  $189/07$  است.



شکل ۱۳- نقشه هم‌ارزش سختی کل

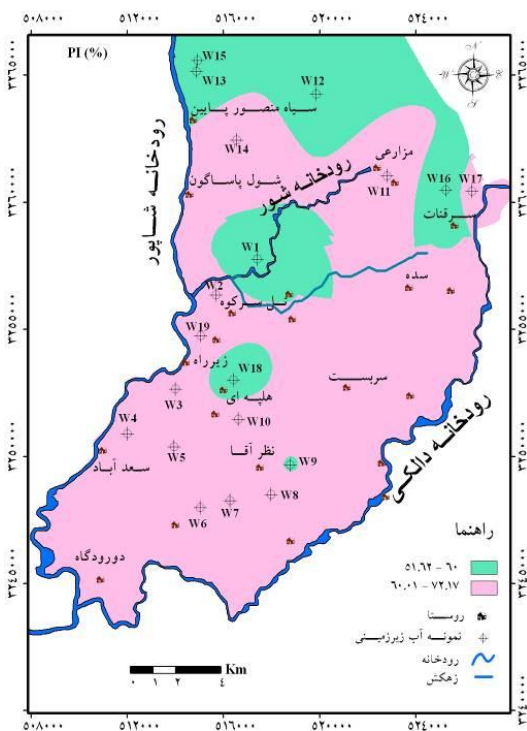
### ۳-۷-۲- شاخص کیفیت آب (GWQI)

در حالی که تجزیه شیمیایی، ترکیب فیزیکی و شیمیایی آب را بیان می‌کند؛ شاخص کیفیت آب، کیفیت آب را از نظر شرب نشان می‌دهد

رشد گیاهان را مختل کند و منجر به رسوب کلسیت، کاهش نفوذپذیری خاک، پایین آوردن آهنگ نفوذ و افزایش فرسایش خاک شود.

$$\text{RSC} = (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad \text{معادله ۶:}$$

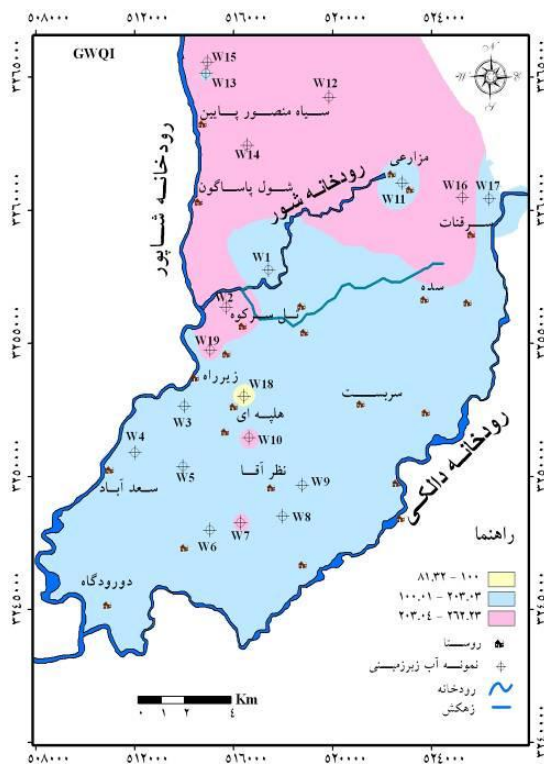
آب‌های دارای مقادیر RSC کمتر از ۱/۲۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر برای آبیاری مناسب هستند، در حالی که آب‌های دارای مقادیر RSC بیش از ۲/۵ میلی‌اکی‌والان برای آبیاری مناسب نیستند (Karanth, 2001). همان‌گونه که در شکل ۱۷ نشان داده شده است، میزان RSC منابع آب زیرزمینی دشت زیرراه از حد مجاز (۱/۲۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر) کمتر است.



شکل ۱۶- نقشه هم‌ارزش PI

### ۳-۸-۳- رده‌بندی ویلکاکس

سدیم به تنهایی نمی‌تواند به عنوان معیار کیفی آب کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد و بهتر است تأثیر آن در ارتباط با شوری کل آب در نظر گرفته شود. بنابراین روش رده‌بندی ویلکاکس (Wilcox, 1948) و استفاده از نمودار آن، کاربردی‌ترین روش برای رده‌بندی آب از نظر کشاورزی است. براساس رده‌بندی ویلکاکس، آب‌های خیلی خوب همگی دارای EC کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر بوده و در گروه C1S1 قرار می‌گیرند، آب‌های خوب در گروه C1S2، C2S1، C2S2، آب‌های متوسط در رده C3S2، C3S3، C1S3، C3S1 و C3S1 قرار گرفته و بقیه آب‌ها نامناسب هستند (علیزاده، ۱۳۸۲). همان‌گونه که نمودار ویلکاکس منابع آب زیرزمینی مشخص کرده است (شکل ۱۸)، بیشتر نمونه‌های آب زیرزمینی در رده C4S4 (کیفیت نامناسب) قرار گرفته‌اند و



شکل ۱۵- نقشه هم‌ارزش GWQI

### ۳-۸-۳- ارزیابی منابع آب آبخوان زیرراه از نظر کشاورزی

#### ۳-۸-۱- شاخص نفوذپذیری (PI)

شاخص نفوذپذیری، پارامتری است که برای ارزیابی کیفیت آب آبیاری به کار می‌رود (Doneen, 1962)، و توسط معادله ۵ بیان شده است:

$$\text{PI} = \frac{\text{Na} + \sqrt{\text{HC03}^-}}{\text{Ca} + 2\text{Mg} + 2\text{Na}} \times 100 \quad \text{معادله ۵:}$$

همه یون‌ها در این معادله برحسب meq/l هستند. (Doneen, 1964) آب آبیاری را می‌توان براساس PI تقسیم‌بندی کرد، که براساس آن آب می‌تواند به رده‌های ۱، ۲ و ۳ تقسیم‌بندی شود. رده ۱ و ۲ با PI، ۷۵ درصد و بالاتر برای آبیاری مناسب، و رده ۳ با حداکثر PI، ۲۵ درصد برای آبیاری نامناسب هستند (Manjusree et al., 2009). به‌گونه‌ای که در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود، مقدار PI، در نواحی وسیعی از منطقه بالاست، کمینه و بیشینه این پارامتر به ترتیب برابر ۵۱/۶۲٪ و ۷۲/۱۷٪ است، میانگین شاخص نفوذپذیری در منطقه به میزان ۶۲/۸۸٪ است. بنابراین این منابع برای آبیاری مناسب هستند.

#### ۳-۸-۲- خطر بی‌کربنات باقیمانده

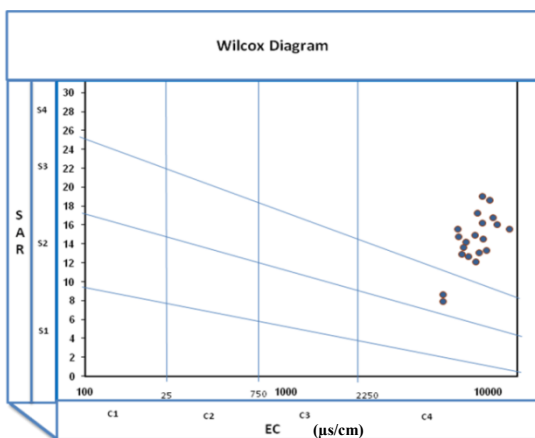
یکی دیگر از استانداردهای آب آبیاری، خطر بی‌کربنات باقیمانده (RSC) است (معادله ۶). غلظت زیاد بی‌کربنات در آب زیرزمینی می‌تواند

میزان pH در حالت اشباع است. جدول ۲ نوع آب را در رابطه با ضرایب لانتزلیه معین می کند.

ضریب لانتزلیه برای نمونه های آب زیرزمینی محاسبه شده است و در جدول ۳ ارائه شده است. همان گونه که در جدول ۳ مشخص شده، کل نمونه های آب زیرزمینی دارای آبی پسته گذار هستند، پسته گذار بودن آب منطقه دلیلی بر بالابودن سختی آب منطقه است و کیفیت این آب ها برای کاربرد صنعتی بدون اعمال روش های تصفیه نامناسب بوده، زیرا زیاد بودن سختی باعث نهشت نمک در تأسیسات خواهد شد.

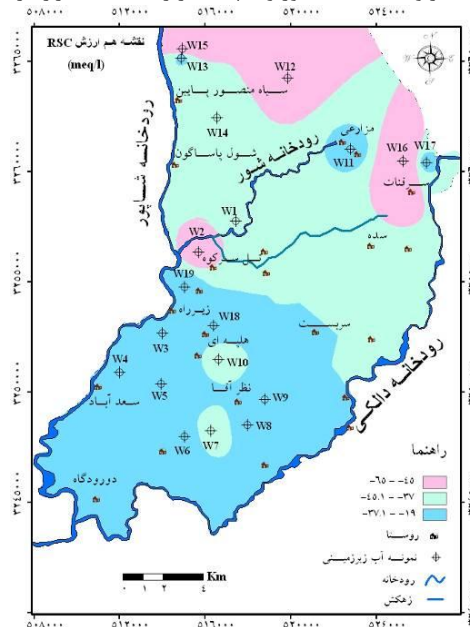
جدول ۲- نوع آب با توجه به ضریب لانتزلیه

نوع آب	مقدار ضریب لانتزلیه (Is)
خاصیت پسته گذاری (Scaling)	$Is < 0$
متعادل	$Is = 0$
خاصیت خوردگی (Aggressive)	$Is > 0$



شکل ۱۸- نمودار ویلکاکس آب های زیرزمینی

تنها دو نمونه مربوط به سیاه منصور و هلیه ای در رده C4S3 قرار گرفته اند.



شکل ۱۷- نقشه هم ارزش RSC

### ۳-۹- مصرف صنعتی آبخوان زیرراه

علی رغم تنوع زیاد کیفیت آب مورد استفاده در صنایع، برای همه صنایع سه پارامتر شوری، سختی و میزان سیلیس حائز اهمیت است (Todd, 2005). به منظور تأثیر کیفیت آب های مورد مطالعه بر تأسیسات صنعتی از شاخص های اشباع لانتزلیه (Langeleir saturation index) استفاده شده است. ضریب اشباع شدگی لانتزلیه (Is) پارامتر اساسی در صنعت است که براساس رابطه زیر محاسبه می شوند:

$$Is = pH - PHS: \gamma$$

pH مقدار اندازه گیری شده آب در زمان نمونه برداری (واقعی) و PHS،

جدول ۳- وضعیت منابع آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی از نظر مصرف صنعتی

شماره	نام محل	(Is) لانتزلیه	نوع آب	شماره	نام محل	(Is) لانتزلیه	نوع آب
۱	تل سرکوه	۰/۳۸	پسته گذار	۱۱	مزارعی	۰/۴	پسته گذار
۲	برمک	۱/۶۵	پسته گذار	۱۲	مزارعی	۰/۱۲	پسته گذار
۳	بین سعدآباد و زیرراه	۰/۳۷	پسته گذار	۱۳	سیاه منصور	۰/۴۱	پسته گذار
۴	سعدآباد	۰/۵۳	پسته گذار	۱۴	شرق شول	۰/۵۱	پسته گذار
۵	بین سعدآباد و جتوط	۰/۴۹	پسته گذار	۱۵	سیاه منصور	۰/۸۶	پسته گذار
۶	بین دورودگاه و جتوط	۰/۳۶	پسته گذار	۱۶	وحدتیه	۰/۸۴	پسته گذار
۷	بین جتوط و آمویی	۰/۱	پسته گذار	۱۷	سرقنات	۰/۷۲	پسته گذار
۸	آمویی	۰/۳۴	پسته گذار	۱۸	برازجان هلیه ای	۰/۲۲	پسته گذار
۹	نظراقا	۰/۳۴	پسته گذار	۱۹	چشمه زیرراه	۱/۱۵	پسته گذار
۱۰	جنوب آل یوسفی	۰/۲۴	پسته گذار	۲۰			

**Chapman, D., 1996**, "Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring", *Unesco, WHO, UNEP, E & FNSPON, Cambridge*, P.21.

**Chebotarev, I. I., 1995**, "Metamorphism of natural waters in the crust of weathering", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 8, P.22-48.

**Doneen, L. D., 1962**, "The influence of crop and soil on percolating waters", *Proc, 1961 Biennial Conf. On Groundwater Recharge*. P.156-163.

**Doneen, L. D., 1964**, "Notes on water quality in Agriculture", *Published as a water science and engineering paper, 4001, Department of Water Science and Engineering, University of California*, P.64.

**Fetcher, G. D., 1986**, "Groundwater and wells, 2<sup>th</sup> Ed", *Johnson Division Publ, Sr. Paul Minnesala*, P.1089.

**Freeze, R. A., Cherry, J. A., 1979**, "Groundwater, Prentice hall", *Englewood Cliffs, NJ*, P.48.

**Hem, J.D., 1989**, "Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters", *3th edition, U.S. Geological survey, water-supply*, P.2254.

**Karanth, K. R., 2001**, "Groundwater assessment development and management", *PubliShed by Tata McGraw-Hill*, P.76-77.

**Machiwal, D., Jha, M. K., Mal, B. C., 2010**, "GIS-based assessment and characterization of groundwater quality in a hard-rock hilly terrain of Western India", *Environ Monit Assess (2011)*, 174: P.645-663.

**Manjusree, T. M., Joseph, S., Thomas, J., 2009**, "Hydrogeochemistry and Groundwater Quality in the Coastal Sandy Clay Aquifers of Alappuzha District, Kerala", *Journal Geological Society of India, Vol.74, October 2009*, P.459-468.

**Mazor, E., 2004**, "Applied chemical and isotopic groundwater hydrology", *3<sup>th</sup> Ed, John Wiley, New York*, P.37.

**Obiefuna, G.I., Sheriff, A., 2010**, "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): P.131-141*.

**Todd, D.K., 2005**, "Groundwater hydrology", *John Wiley and Sons, Inc.*, P.535.

**Udayalaxmi, G., Himabindu, D., Ramadass, G., 2010**, "Geochemical evaluation of groundwater quality in selected areas of Hyderabad, A.P., India", *Centre of Exploration Geophysics, Osmania University, Hyderabad-500 007, India, Vol. 3, No.5, P.93*.

**USEPA., 1995**, "Drinking Water Standards", *U.S.EPA, New York*, P.51.

**Wilcox, L. V., 1948**, "The Quality of Water for Irrigation Use", *U. S. Department of Agriculture*, P.19.

## نتیجه گیری

- نمودارهای درووف و سری‌های مکانی بیانگر تیپ کلرید سدیمی برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت است. در منطقه زیرراه به دلیل افزایش نمک و تبخیر فراوان آخرین توالی تکاملی آنیونی چیبوتارو مشاهده می‌شود.

- علت کاهش هدایت الکتریکی در مجاورت روستای هلپه‌ای، نوع آبرفت، بهره‌برداری کم و تغذیه از کانال آبیاری اصلی منطقه است. افزایش رسانایی الکتریکی در چاه بهره‌برداری روستای وحدتیه ناشی از پمپاژ زیاد و تغذیه از زه‌آب است.

- وجود نمک‌زارها و تالاب‌های آب شور، عدم زهکشی مناسب، تشکیل املاح در روی سطح زمین و نیز آب برگشتی کشاورزی سبب شورشدن آب‌های زیرزمینی می‌شود.

- بیشترین میزان سختی آب در حوالی روستاهای سرقنات، سیاه‌منصور و تل‌سرکوه مشاهده می‌شود.

- آب زیرزمینی دشت زیرراه براساس تقسیم‌بندی شولر از نظر شرب در حد قابل قبول در شرایط اضطراری تا غیر قابل قبول قرار دارد. براساس شاخص کیفیت آب (GWQI)، منابع آب زیرزمینی دشت از نظر شرب آلوده هستند.

- شاخص نفوذپذیری، در نواحی وسیعی از دشت زیرراه، بالا است و براساس میزان RSC منابع آب زیرزمینی دشت برای آبیاری مناسب هستند. براساس نمودار ویلکاکس، بیشتر نمونه‌ها در رده C4S4 قرار گرفته‌اند.

- کل نمونه‌های آب زیرزمینی براساس ضریب لانژلیه دارای آبی پوخته‌گذار هستند.

## تقدیر و تشکر

از مدیریت محترم شرکت آب منطقه‌ای استان بوشهر که هزینه اجرای این پژوهش را فراهم نموده‌اند و همچنین از گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید چمران به دلیل همکاری و مساعدت، سپاسگزار می‌شود.

## مراجع

آرونوف، ا.، ۱۳۷۵، "سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی" ترجمه سازمان نقشه‌برداری کشور، ۳۵ صفحه.

اکبری، ا.، کلانتری، ن. رحیمی، م.، ۱۳۸۵، "بررسی و ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت میان آب شوشتر با استفاده از GIS" اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده رود، شهرکرد- دانشگاه شهرکرد، ۵۶ صفحه.

بذرافکن، م.، ۱۳۸۳، "هیدروژئولوژی سازندهای آهکی منطقه بهبهان" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۰۶ صفحه.

علیزاده، ا.، ۱۳۸۲، "اصول هیدروژئولوژی کاربردی" (چاپ چهارم)، مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، ۸۷ صفحه.

کلانتری، ن.، ۱۳۸۲، "منشأ شوری آب زیرزمینی دشت عباس" سازمان آب و برق خوزستان، ۳۲۱ صفحه.