

## نقش ساختارهای زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی در تغییرات کمی و کیفی آبخوان‌های منطقه اشتهارد

ناصر عبادتی<sup>۱\*</sup>، سارا سپهوندی<sup>۲</sup>

۱. استادیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر

۲. کارشناس ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۴/۰۳/۰۱ - تاریخ تصویب ۱۳۹۴/۰۳/۲۹)

### چکیده

آبخوان اشتهارد بخشی از حوضه آبریز رودخانه شور محسوب می‌شود. پتانسیل آبی در مناطق مختلف حوضه اشتهارد، به دلیل تنوع سازندها و ساختارهای زمین‌شناسی متفاوت است. در این مقاله به ارتباط ویژگی‌های کمی و کیفی منابع آب با ویژگی‌های زمین‌شناسی محدوده به لحاظ سنگ‌شناسی و ساختاری پرداخته شده است. به این منظور با تعیین محدوده در منطقه اشتهارد به بررسی میدانی و شناسایی و پراکندگی سازندهای زمین‌شناسی و موقعیت گسل‌ها با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی موجود پرداخته شد. سپس با شناسایی موقعیت چاه‌ها و براساس نتایج تجزیه نمونه‌های آب منطقه، نقشه‌های هم‌غلظت کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم و... ترسیم شد. تفسیر نقشه‌های رسم‌شده نشان داد که بیشترین تمرکز عناصر در نیمه شمالی دشت بوده و روند تغییرات آنها، از ارتفاعات شمالی به سمت مرکز و شرق محدوده است که با مسیر رودخانه شور تطابق دارد. با توجه به نتایج کیفی آب، نواحی شمالی دشت دارای تیپ کلرور سدیک است و این منطقه از نظر شرب در رده متوسط تا کاملاً نامطبوع و از لحاظ کشاورزی در رده شور و مضر برای کشاورزی قرار دارد. بررسی‌ها نشان داد که وجود پهنه نمکی در شمال دشت به همراه افت ایجادشده در مرکز دشت که ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آبی است، تأثیر زیادی در کاهش کیفیت آب منطقه داشته است.

**واژگان کلیدی:** اشتهارد، پهنه‌های نمکی، سنگ‌شناسی، منابع آب، هیدروژئولوژی.

## مقدمه

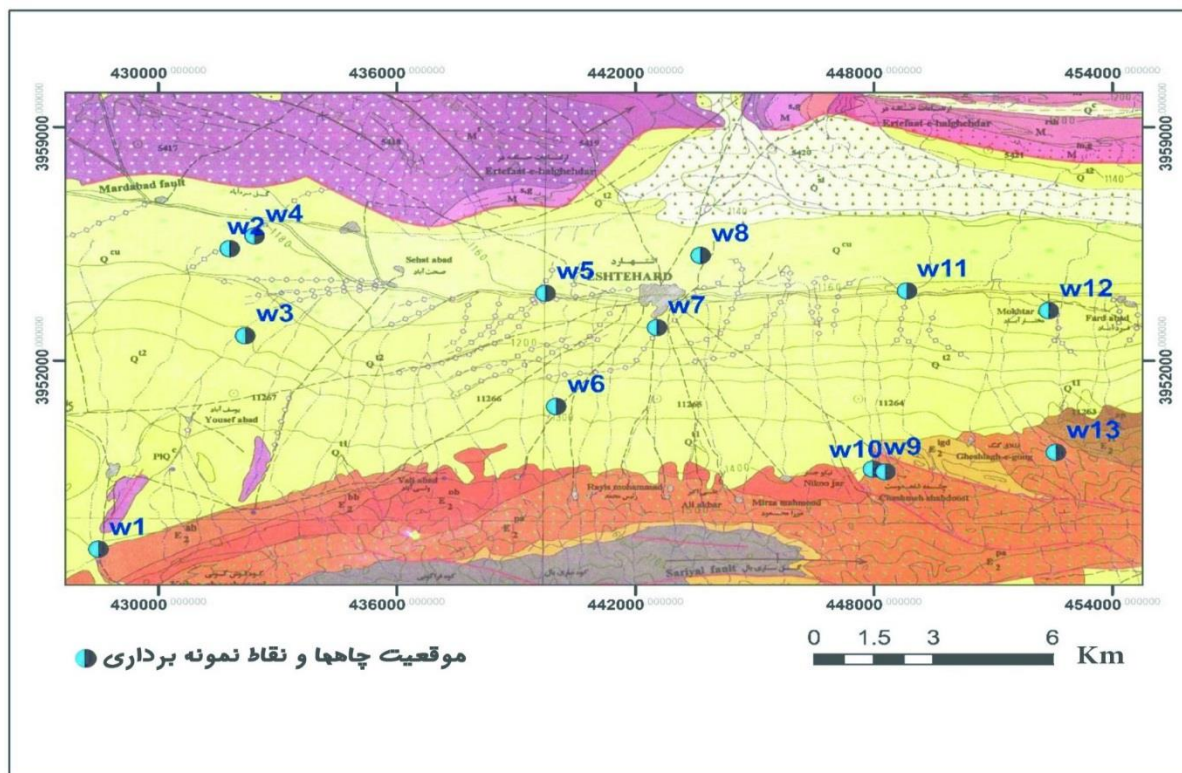
اشتهارد به دلیل قرارگیری در نزدیکی دو کلانشهر تهران و کرج، مستعد جمعیت‌پذیری بیش از حد ظرفیت از نظر اسکان و متعاقب آن تأمین آب مورد نیاز است. برداشت‌های بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی دشت برای مصارف کشاورزی و صنعتی سبب افت شدید سطح آب زیرزمینی در منطقه شده که یکی از عواقب آن کاهش کیفیت آب به دلیل افزایش عناصر محلول در آن است. از این رو نمونه‌برداری، تجزیه شیمیایی و بررسی ارتباط وضعیت کیفی و کمی منابع آب با شرایط طبیعی و زمین‌شناسی منطقه و عوامل غیرطبیعی (عوامل انسانی) و معرفی راهکارهای مناسب، مهم و ضروری است. در این خصوص در سایر مناطق کشور مطالعاتی صورت گرفته است [۹، ۱۴، ۱۵]، ولی با وجود اهمیت بسیار زیاد آب‌های زیرزمینی در منطقه خشک و نیمه‌خشک اشتهارد که نیاز آبی فراوانی دارد، هنوز اطلاعات اندکی در مورد چگونگی تأثیر پدیده‌های طبیعی و انسانی بر کیفیت منابع این منطقه در دسترس است. ترکیب شیمی آب‌های محل توسط عواملی همچون ترکیب آب باران، تکتونیک، ساختار زمین‌شناسی و کانی‌شناسی حوضه آبریز و فرایندهای زمین‌شناسی در طول مسیر آب تعیین می‌شود [۲۱، ۱۷]، [۳-۵]. از این رو بررسی مطالعات یادشده و تعیین تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی اهمیت زیادی در سیاست‌گذاری‌های مدیریت آب منطقه خواهد داشت. در محدوده تحقیق، پژوهش‌های جدی در زمینه تأثیر عوامل طبیعی (عوارض و ساختارهای زمین‌شناسی) صورت نگرفته است؛ از این رو در این مقاله سعی شده علاوه بر تجزیه و تحلیل داده‌ها، عوامل طبیعی و غیرطبیعی مؤثر بر تغییرات کیفی و کمی منابع آب منطقه بررسی شود تا بتوان با در نظر گرفتن همه شرایط موجود در منطقه، راهکارهای مناسبی را عرضه کرد.

شهر اشتهارد در ۱۲۰ کیلومتری غرب تهران و ۶۳ کیلومتری جنوب کرج قرار دارد. فاصله اشتهارد از شهرستان بوئین‌زهرا نیز در حدود ۲۵ کیلومتر است. اشتهارد به دو ناحیه کوهستانی و دشت تقسیم شده است که بخش عمده اراضی مسطح را دشت‌های شورزار اشتهارد تشکیل می‌دهد که به صورت نوار باریکی بخش شمالی این منطقه را در بر گرفته است و شرایط جوی

نامناسبی (زمستان‌های سرد و خشک و تابستان‌های گرم) دارد. مناطق کوهستانی بخش اشتهارد اغلب در قسمت‌های جنوبی این بخش واقع شده‌اند که شامل رشته‌کوه‌های ساری‌یال (به ارتفاع ۱۸۲۴ متر) و قزل‌یال (به ارتفاع ۱۹۹۰ متر) است [۸]. همچنین در انتهای شمالی این بخش کوه‌های حلقه دره واقع شده‌اند و دشت‌های اشتهارد به صورت دره‌ای باریک و کم‌عمق بین این ارتفاعات قرار دارند. بررسی‌های هواشناسی در محدوده اشتهارد نشان داد که مقدار بارندگی از نواحی شمال تا جنوب سیر کاهشی داشته و ارتباط تنگاتنگی با توپوگرافی دارد. متوسط بارندگی سالانه در محدوده اشتهارد ۲۲۷/۴ میلی‌متر و پرباران‌ترین ماه‌های سال، اسفند و فروردین است. بارندگی در فصل سرد به حدی است که هر ساله سیلاب‌های زمستانه و بهاره رخ می‌دهد. متوسط روزانه دما در فصل بهار ۱۷/۹ درجه سانتی‌گراد و در فصل پاییز ۹/۷ درجه سانتی‌گراد است [۲].

## زمین‌شناسی منطقه

محدوده تحقیق بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه اشتهارد تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی ایران را در بر می‌گیرد [۱۷]. منطقه تحقیق در کوهپایه جنوبی کوه‌های البرز مرکزی قرار گرفته است و شمالی‌ترین فرونشست ایران مرکزی به حساب می‌آید. از نظر سنگ‌شناسی، سازندهای کهن‌تر از ائوسن دیده نمی‌شود. رسوبات تبخیری دوران سوم شامل نمک، گچ و مارن است. سنگ‌های آتشفشانی (اغلب بازالتی)، ارتفاعات جنوبی اشتهارد را پدید آورده‌اند [۱] و شهر اشتهارد روی رسوبات کواترنری قرار گرفته است. جنس سنگ کف منطقه از نوع نهشته‌های رسوبی پلیوکواترنری و از کنگلومرای سست با میان‌لایه‌های ماسه، سیلت و رس است که با دگرشیبی بر روی نهشته‌های رسوبی نئوژن (از جنس مارن قرمز، میان‌لایه‌های ژپس و نمک، ماسه سنگ و سیلت و آهک نازک لایه) قرار دارد. نهشته‌های نئوژن، سست و زودفرسا هستند و شرایط آب‌وهوایی نیز با سرعت دادن به فرایند هوازدگی و فرسایش بر روی واحدهای زودفرسا، ریخت‌شناسی منطقه را در درازمدت شکل داده‌اند؛ به همین دلیل، سنگ‌های نئوژن در مناطق پست و کم‌ارتفاع مشاهده می‌شوند [۱۷].



شکل ۱. موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری در نقشه زمین‌شناسی محدوده اشتهارد

نقشه‌ها آورده شد و سعی شد در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) کلیه اطلاعات پایه وارد شود. با نمونه‌برداری از آب چاه‌ها و با بهره‌گیری از ارقام و نتایج تجزیه شیمیایی آب چاه‌های انتخابی که توسط شرکت آب منطقه‌ای استان البرز تهیه شده است، در این بخش وضعیت آبرفت و آبخوان دشت، عمق برخورد به آب، میزان تخلیه و بهره‌برداری سالانه و تراز سطح آب زیرزمینی دشت با تهیه نقشه‌هایی در محیط نرم‌افزار GIS تحلیل و بررسی شد. از داده‌های موجود در ۱۳ حلقه چاه پیزومتر استفاده شده و نقشه‌های کیفی آب و نمودارهای کیفی مختلف ترسیم شد و با توجه به آنها، تفسیر کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اشتهارد صورت گرفت. برای ترسیم نقشه‌های کیفی آب و نقشه‌های هم‌غلظت عناصر، از آمار چاه‌های موجود استفاده شد. با توجه به آمار و وضعیت مصرف چاه‌ها، بیشترین کاربرد منابع آب در مصارف کشاورزی است. با ترسیم نقشه‌های تخلیه آب زیرزمینی، مشخص شد که بیشترین مصرف در مرکز دشت است.

ساختمان زمین‌شناسی اصلی محدوده اشتهارد شامل دشت باریک و کشیده اشتهارد است. در ضلع شمالی، نهشته‌های نئوژن بر روی رسوبات عهد حاضر رانده شده (راندگی مردآباد) و تاقدیس‌هایی هم قابل مشاهده است و در بخش جنوبی گسل‌های معکوس و راستالغز فراوان‌اند [۲۰]. این محدوده در جنوب ارتفاعات البرز واقع شده است. گستره البرز بلند از سنگ‌های پالئوزوئیک، مزوزوئیک و ترشیاری تشکیل شده که به‌سبب چین‌خوردگی‌های شدید و راندگی‌های بزرگ بر روی هم رانده شده و ارتفاع یافته‌اند.

### مواد و روش‌ها

ابتدا با جمع‌آوری داده‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی و مطالعات صحرایی، نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شد و به‌وسیله آن سازندهای اثرگذار بر کیفیت منابع آبی شناسایی و تکتونیک و ساختارهای زمین‌شناسی نیز برای تغییرات کمی آب بررسی شد. در مرحله بعد، چاه‌های آب منطقه دشت اشتهارد شناسایی و موقعیت آنها بر روی

جدول ۱. نتایج آنالیز نمونه‌ها و میزان غلظت مواد در سال ۱۳۹۰ [۲]

منبع	X	Y	pH	SO <sub>4</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	Ca	Mg	Na	K
قنات ۱	۳۹۴۶۳۴۵	۴۲۸۴۹۵	۷/۹	۱۴/۱۶	۹/۶۶	۴/۱۲	۰	۴/۷۶	۷/۰۱	۱۵/۹	۰/۰۳
چاه عمیق ۱	۳۹۵۵۳۵۵	۴۳۱۷۹۸	۷/۴	۱۲/۳۸	۱۵/۷۷	۱/۶۱	۰	۴/۵۳	۱۱/۳	۱۴	۰/۰۷
چاه عمیق ۲	۳۹۵۲۷۴۲	۴۳۲۱۸۶	۸/۴۵	۱۷	۱۷	۲/۴	۰/۱۵	۹/۹	۲/۶	۲۵	۰/۱
چاه نیمه عمیق ۱	۳۹۵۴۰۲۰	۴۳۹۷۴۰	۸/۲۹	۲۴	۴۸	۳/۶	۰	۲۰	۲۰	۳۶	۰/۰۸
چاه عمیق ۳	۳۹۵۰۶۲۳	۴۴۰۰۱۲	۹/۴	۶	۷	۲/۵	۰	۵/۵	۲	۸	۰/۰۷
چاه عمیق ۴	۳۹۵۲۹۹۰	۴۴۲۵۴۵	۸/۲۳	۱۹	۱۷	۳/۴	۰	۱۱/۹	۵	۲۰	۰/۱۵
چاه نیمه عمیق ۲	۳۹۵۵۱۵۰	۴۴۳۶۴۲	۷/۹۲	۳۳	۵۰	۱/۲	۰	۳۹	۱۴	۴۰	۰/۱
چاه نیمه عمیق ۳	۳۹۴۸۷۴۷	۴۴۷۹۷۶	۸/۶۴	۱	۰/۷	۳/۲	۰/۳۵	۱/۸	۱/۶	۲/۵	۰/۰۶
قنات ۲	۳۹۴۸۶۶۸	۴۴۸۲۹۲	۸/۶۳	۱/۲	۰/۵	۲/۵۵	۰/۲۵	۱/۸	۰/۸	۱/۶	۰/۰۷
چاه نیمه عمیق ۴	۳۹۵۴۰۸۹	۴۴۸۸۳۵	۷/۵۸	۱۵	۸۵	۷/۴	۰	۲۱	۱۱	۷۵	۰/۲
قنات ۳	۳۹۵۳۴۹۶	۴۵۲۴۰۲	۸/۴۱	۱۵	۴۱	۱/۵	۰/۴۵	۱۵	۳	۳۸	۰/۲
قنات ۴	۳۹۴۹۲۴۷	۴۵۲۵۸۳	۸/۶۷	۱/۳	۰/۴	۱/۳	۰/۸	۲/۷	۰/۴	۱/۳۵	۰/۰۸
قنات ۵	۳۹۵۴۱۱۲	۴۵۶۲۷۷	۷/۵۷	۱۷	۱۲۲	۱/۷	۰	۴۰	۱۲	۹۰	۰/۵
قنات ۶	۳۹۵۴۴۰۰	۴۵۷۸۱۱	۷/۲	۱۰	۹۱	۳/۴	۰	۳۰	۹	۶۶	۰/۸

کواترنری عهد حاضر رانده شده‌اند و به نظر می‌رسد این گسل (گسل مردآباد) تغذیه‌کننده آبخوان است. با بررسی نقشه‌های هم‌تراز آب زیرزمینی مشخص شد که در مرکز دشت بیشترین افت ایجاد شده است و همچنین بررسی نقشه‌های تخلیه آب زیرزمینی ناشی از اضافه برداشت نیز نشان می‌دهد که بیشترین افت سفره در مرکز دشت ایجاد شده است [۶]. این شواهد نشان می‌دهد که با افزایش افت سطح آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی، شیب کلی سطح آب زیرزمینی تغییر می‌کند و به سمت مرکز دشت بیشترین شیب مشاهده می‌شود. کاهش تراز آب زیرزمینی در بخش شمال شرقی دشت، ناشی از تخلیه طبیعی آب زیرزمینی توسط رودخانه شور در مجاور پهنه نمکی است، که این نوع ارتباط هیدرولیکی می‌تواند ناشی از افت کلی سطح آب زیرزمینی در منطقه باشد.

**بررسی وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی دشت اشتهارد**  
در این بخش، از ارقام و نتایج تجزیه شیمیایی آب ۱۳ چاه انتخابی بهره گرفته شده است. با استفاده از این داده‌ها نمودارهای مختلف تهیه و با توجه به نقشه‌های هیدروژئوشیمی آب اقدام به تفسیر کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اشتهارد شد. با توجه به اهداف تحقیق ابتدا با ترسیم نقشه‌های هیدروژئوشیمی و نمودارهای

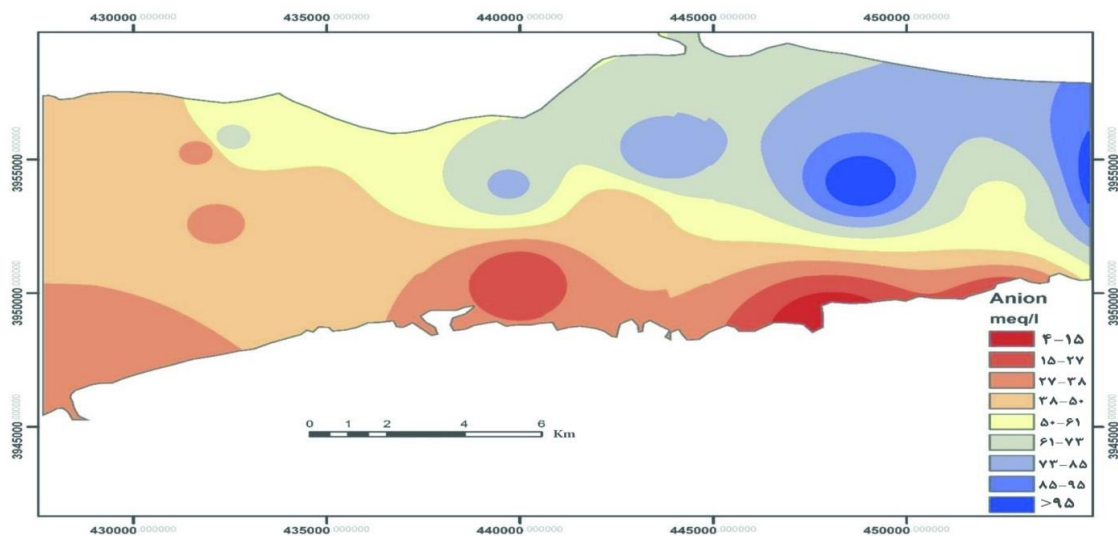
براساس اطلاعات حاصل از شبکه چاه‌های مشاهده شده (پیزومتر) و ترسیم نقشه هم‌عمق سطح آب در دشت اشتهارد رقوم منحنی‌های هم عمق آب زیرزمینی از چند متر تا بیش از ۲۰۰ متر متغیر است. منحنی‌های هم‌عمق دارای راستای تقریباً شرقی-غربی است و رقوم آنها از جنوب به سمت شمال کاهش می‌یابد. برای مطالعه و بررسی وضعیت تراز آب زیرزمینی دشت، از ارقام مطلق سطح آب زیرزمینی در ۱۳ حلقه چاه پیزومتر موجود در پهنه آبخوان دشت اشتهارد بهره گرفته شد. بیشترین افت ایجاد شده در نواحی غربی است. برداشت بیش از حد آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، صنعتی (در مجاورت شهرک صنعتی اشتهارد) و شهری مهم‌ترین دلیل این افت است. جهت کلی جریان آب زیرزمینی در دشت از جنوب به شمال است. ولی به دلیل بهره‌برداری بیش از حد و افت ایجاد شده تغییراتی در جهت جریان آب زیرزمینی پدید آمده است. بیشترین شیب ایجاد شده در آبخوان در بخش‌های میانی دشت است که ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آب این منطقه است. آبخوان دشت اشتهارد در مرز ارتفاعات جنوبی و شمالی دشت نقش تغذیه‌کننده آبخوان را دارند. مرز شمالی آبخوان در واقع یک مرز گسلی است که در اثر این گسل خوردگی واحدهای آواری-تبخیری نئوژن (شیل، مارن با میان‌لایه ژئوپس) بر روی واحدهای

و کاتیون دشت اشتهارد (شکل‌های ۲ و ۳)، بیشترین غلظت در بخش‌های شمال شرقی محدوده و در مجاورت پهنه نمکی است. روند کلی افزایش غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها از شمال به سمت مرکز دشت است که ناشی از زهکشی رودخانه شور از سنگ‌های تبخیری (نمک و ژپس) ارتفاعات شمالی منطقه است؛ زیرا بر اثر حل شدن سریع نمک‌های موجود در سنگ‌های تبخیری، غلظت عناصر موجود در آب زیرزمینی سریع افزایش می‌یابد [۸].

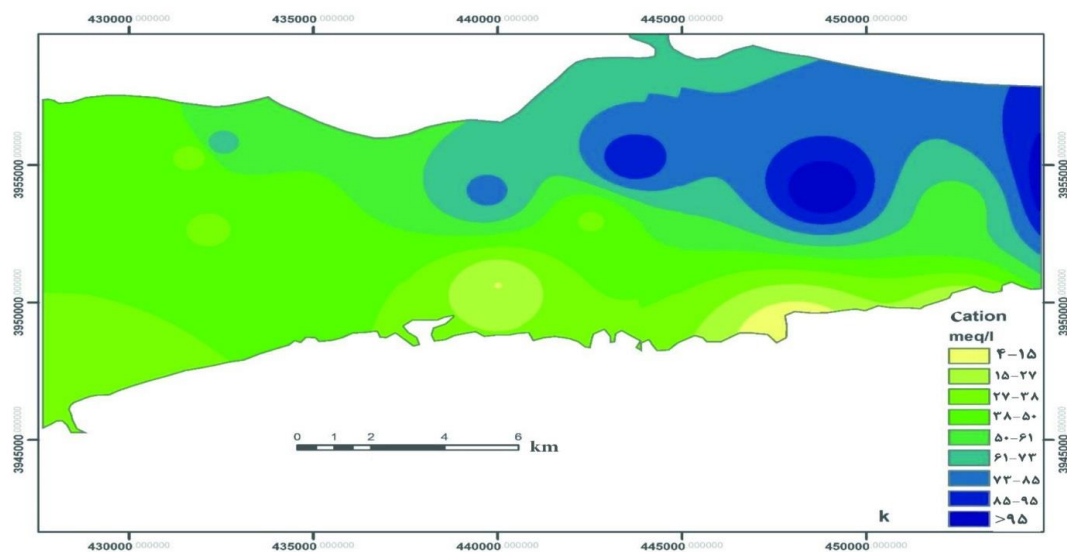
مربوط، کیفیت آب بررسی شد و سپس با ترسیم نقشه‌های عوارض زمین‌شناسی (سازندهای تبخیری و سست) به ارتباط بین آنها پرداخته شد.

### آنیون‌ها و کاتیون‌ها

نمک‌های محلول در آب به صورت کاتیون و آنیون تجزیه می‌شوند و هرچه نمک آب بیشتر باشد یون‌ها افزایش می‌یابند [۱۵، ۱۷]. آنیون‌ها شامل  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{HCO}_3^-$ ،  $\text{CO}_3^{2-}$  و کاتیون‌ها شامل مجموع غلظت یون‌های  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{Mg}^{2+}$  و  $\text{K}^+$  است. با توجه به نقشه توزیع آنیون



شکل ۲. نقشه میزان کل آنیون‌ها ( $\text{Cl}^-$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{HCO}_3^-$  و  $\text{CO}_3^{2-}$ ) در سفره آب زیرزمینی برحسب میلی‌اکی‌والان در لیتر



شکل ۳. نقشه میزان کل کاتیون‌ها ( $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{Mg}^{2+}$  و  $\text{K}^+$ ) در سفره آب زیرزمینی برحسب میلی‌اکی‌والان در لیتر

جنوبی محدوده مطالعاتی) متفاوت است. علت کاهش غلظت کلسیم و منیزیم در قسمت جنوبی دشت وجود سنگ‌های آذرین خروجی است، زیرا آب‌هایی که از سنگ‌های بازالتی منشأ می‌گیرند عناصر کلسیم و منیزیم کمتری نسبت به سایر یون‌ها دارند.

**سدیم:** بیشترین غلظت تمرکز سدیم در نواحی شرقی و غربی محدوده است. وجود آب‌های شور در منطقه و فعالیت‌های کشاورزی از عوامل افزایش این یون است. سدیم موجود در آب‌های شور به دلیل تبادل کاتیونی با عناصر موجود در خاک یا آب (کلسیم و منیزیم) تمرکز می‌یابند.

**پتاسیم:** بیشترین غلظت یون پتاسیم در نواحی شرقی است و دارای روند شمال به سمت شرق است. با توجه به غلظت کم این یون در نواحی غربی و جنوبی دشت می‌توان نتیجه گرفت که تمرکز این یون ناشی از عوامل طبیعی (زهکشی رودخانه از سنگ‌های مارنی و شیلی ارتفاعات شمالی) است.

#### تعیین سایر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی

**pH:** اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد در بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی میزان pH بالا است. مقدار pH در بیشتر آب‌های زیرزمینی به تعادل دی اکسی کربن، کربنات و بی‌کربنات‌ها بستگی دارد. در بخش‌هایی که میزان کربنات بالا است، میزان pH نیز بالا است و در منطقه‌ای که میزان یون بی‌کربنات بالا است میزان pH کمتر است. میزان pH برای آب شرب در استانداردهای جهانی ۵/۶-۵/۸ است. از این رو براساس این استاندارد، pH در این محدوده زیاد است [۲۳، ۲۴].

**EC:** بیشترین میزان EC در بخش‌های شمال شرقی محدوده است. روند کلی افزایش EC از شمال به سمت جنوب است که ناشی از افزایش عناصر محلول در آب زیرزمینی این بخش از محدوده است. آب‌های زیرزمینی بخش‌های شمال شرقی محدوده در مجاورت پهنه نمکی با توجه به افزایش کلر در آب و مقایسه استاندارد جهانی EC، غیر قابل شرب محسوب می‌شود [۲۴]. در بخش‌های جنوبی و غربی و همچنین تا حدودی در نواحی مرکزی دشت از لحاظ EC مناسب‌اند (شکل ۴).

با توجه به نقشه نیز TDS در محدوده مطالعاتی دشت اشتهارد (شکل ۵)، بیشترین مقدار TDS در قسمت‌های

**کلر:** غلظت کلر در بخش شمال شرقی دشت زیاد است که نشانه شور شدن آب زیرزمینی این نواحی است. از آنجا که یون کلر تحت تأثیر فرایندهای شیمیایی نظیر جذب و تعویض یونی قرار نمی‌گیرد، می‌تواند به‌عنوان ردیاب تغییرناپذیر استفاده شود. روند تغییرات کلر در دشت از شمال به سمت مرکز و شرق دشت است. این روند منطبق بر موقعیت پهنه نمکی و در امتداد رودخانه شور است. زهکشی رودخانه شور از سنگ‌های آواری-تبخیری ارتفاعات شمالی، دانه‌ریز بودن رسوبات در این محدوده و کم‌عمق بودن ضخامت غیر اشباع در این بخش (منطقه تبخیری آب زیرزمینی) از عوامل اصلی تمرکز غلظت عنصر کلر در این محدوده است.

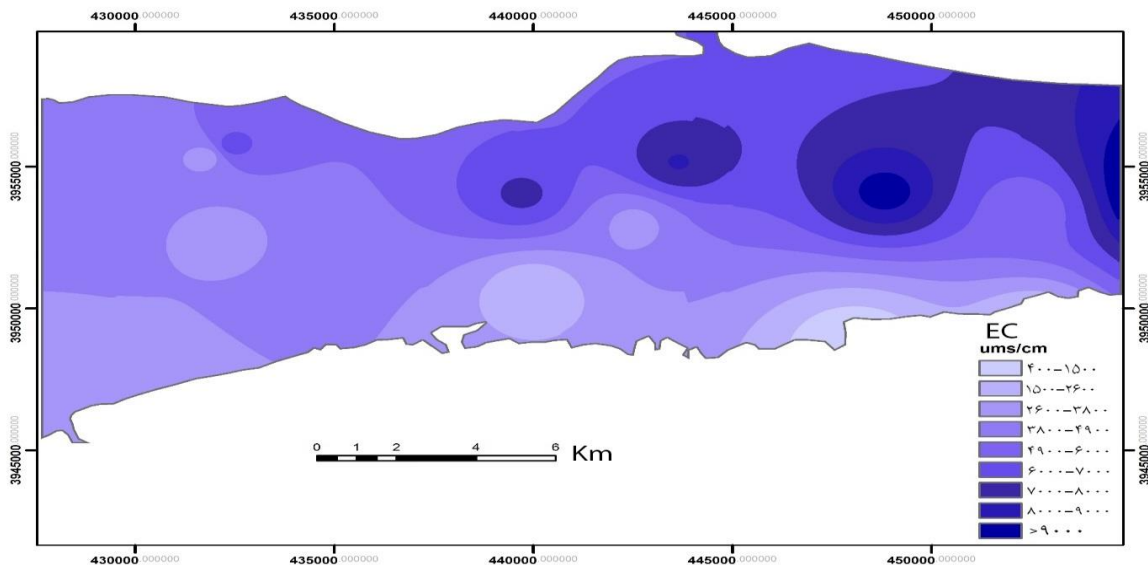
**سولفات:** در محدوده مطالعاتی دشت اشتهارد، بیشترین غلظت یون سولفات در بخش مرکزی شمال دشت است. غلظت بالای سولفات در این ناحیه ناشی از تغذیه آبخوان از مناطق ژئوسپی (M<sup>SO4</sup>) و مارنی (M<sup>M</sup>) است. این سازندها به سن میوپلیوسن بوده و هم‌ارز سازند قرمز بالایی هستند.

**کربنات:** بیشترین غلظت کربنات‌ها در بخش جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه است. در بیشتر نقاط این محدوده غلظت این یون خیلی کم است. میزان غلظت بالا در این بخش به احتمال زیاد به علت وجود واحدهای آندزیتی و توف ریولیتی در این مکان است، زیرا آب‌هایی که از این سنگ‌ها منشأ می‌گیرند به دلیل آنکه معمولاً اسیدیته کمی دارند، میزان یون کربنات در آنها نسبت به دیگر یون‌ها (سولفات، کلر، کلسیم و منیزیم) بیشتر است [۲۱، ۱۰]. غلظت یون بی‌کربنات نیز در شرق محدوده و در بخش مرکزی منطقه بیشتر از دیگر نقاط است و روند مشخصی ندارد.

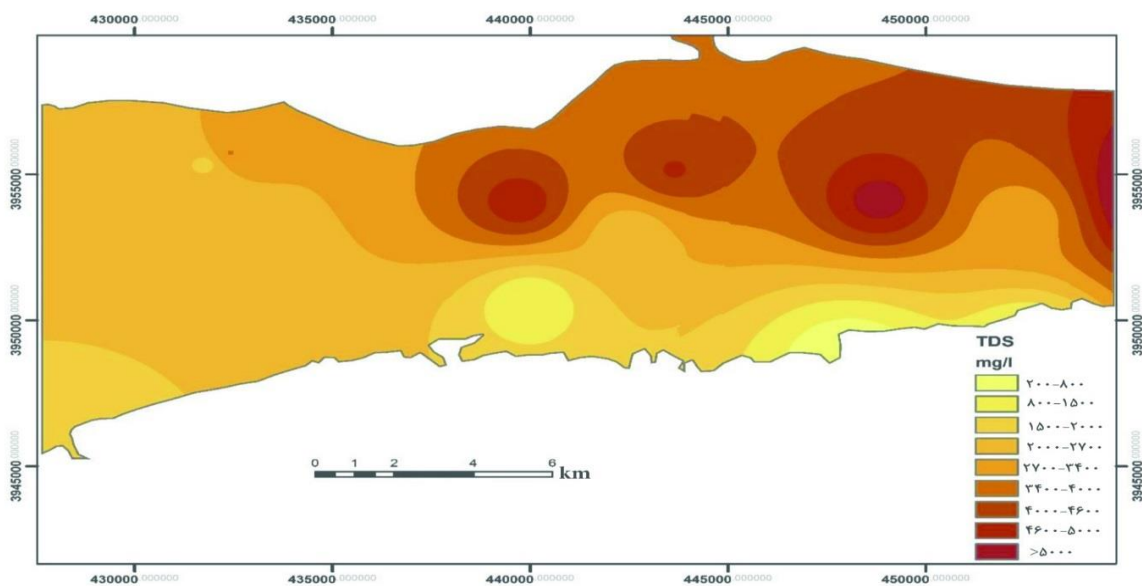
**کلسیم و منیزیم:** در بررسی غلظت کلسیم و منیزیم، یک روند افزایشی در تمرکز این یون‌ها از شمال به سمت مرکز دشت مشاهده می‌شود که ناشی از واحدهای تخریبی-تبخیری ارتفاعات شمالی محدوده است. همچنین افزایش سولفات در آب سبب افزایش یون‌های کلسیم و منیزیم می‌شود. با توجه به اینکه مرز شمالی و جنوبی دشت نقش تغذیه‌کننده آبخوان را دارند، میزان غلظت این یون‌ها در این دو بخش (مناطق شمالی و

شمالی و شرقی دشت در رده آب لب شور قرار دارند [۲۳].  
**SAR**: بیشترین میزان SAR در بخش شرقی و شمال شرقی دشت است. براساس مشخصات آب آبیاری در منطقه مطالعاتی از نظر SAR از خیلی خوب تا متوسط متغیر است. اندازه سدیم موجود در آب در مناطق جنوبی دشت کم بوده و به سمت شمال و شرق محدوده از متوسط تا زیاد متغیر است (شکل ۶).

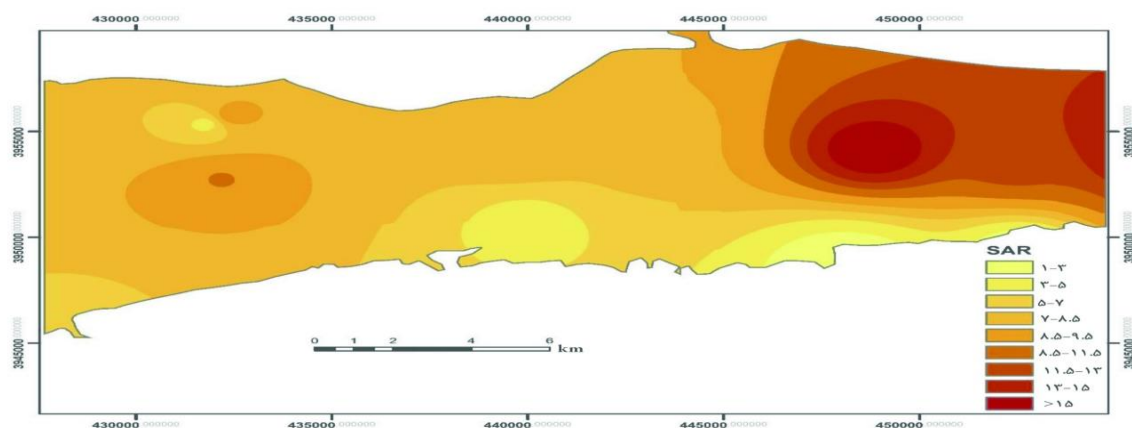
شمالی و شمال شرقی منطقه است. در این محدوده یک روند کلی از شمال به سمت مرکز دشت مشاهده می‌شود. در مناطق ژیبسی و مارنی به دلیل وجود کانی سولفات کلسیم و منیزیم غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها افزایش و به تبع آن باقی‌مانده خشک نیز افزایش می‌یابد. براساس طبقه‌بندی آب از نظر باقی‌مانده خشک مناطق جنوبی و غربی دشت در رده آب شیرین قرار دارند، ولی قسمت‌های



شکل ۴. مدلسازی میزان EC در سفره محدوده مطالعاتی برحسب میکروموس بر سانتی‌متر



شکل ۵. نقشه مدل شده میزان TDS در سفره آب دشت اشتهارد بر حسب میلی‌گرم در لیتر



شکل ۶. نقشه مدل شده میزان SAR در سفره آب دشت اشتهارد

باشد. دلیل دیگر وجود تیپ کربناته در مناطق حاشیه‌ای جنوبی، وجود ارتفاعات آذرین است که دارای آب با کیفیت مطلوب است.

بیشتر نواحی شمالی دشت دارای تیپ کلرو سدیک هستند که این امر ناشی از تغذیه آب زیرزمینی در ارتفاعات شمالی دشت است. با توجه به اینکه سنگ‌شناسی غالب این ارتفاعات، نهشته‌های تبخیری است، کیفیت آب در این نواحی نامناسب بوده و میزان مواد محلول زیادی (با توجه به قابلیت انحلال بالای این نوع نهشته‌ها) در آب وجود دارد. در قسمت جنوب غربی ( $W_1$ ) تیپ آب سولفاته سدیک است که به دلیل وجود لایه‌های تبخیری (مارن-ژیپس-نمک) با وسعت کم در بین رسوبات کواترنری است.

#### بررسی کیفیت آب زیرزمینی از نظر مصارف شرب

مناسب‌ترین طبقه‌بندی آب‌ها از لحاظ شرب برای کشورهای خشک و نیمه‌خشک را شولر در سال ۱۹۶۲ معرفی کرد که با موقعیت ایران نیز سازگار است. در این طبقه‌بندی آب‌ها براساس میزان آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، سختی کل و pH، به قابلیت شرب خود، قابل قبول، متوسط، نامناسب و کاملاً نامطبوع و غیر قابل آشامیدن طبقه‌بندی می‌شوند [۱۱]. براساس این طبقه‌بندی اغلب آب‌ها نمونه‌برداری شده در رده متوسط کاملاً نامطبوع قرار دارند. این آب‌ها دارای املاح زیاد بوده (TDS، سولفات و کلر زیاد) که این امر به دلیل نزدیکی به رودخانه شور و پهنه تبخیری-نمکی است. همچنین چاه‌های مرکز دشت ( $W_5$  و  $W_7$ ) به دلیل پایین بودن سطح تراز آب زیرزمینی کیفیت مطلوبی ندارد. بررسی نمودار شولر چاه در

بعد از ترسیم نقشه‌های هیدروژئوشیمیایی، اقدام به همپوشانی یا تلفیق لایه‌های رستری با کمک نرم‌افزار ArcGIS شده. این نقشه تمرکز کل عناصر را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که می‌تواند روند کلی تمرکز عناصر و به دنبال آن منشأ آلودگی عناصر را مشخص کند. در محدوده مطالعاتی تمرکز عناصر در قسمت شمال و شمال شرقی دشت بیشتر است. این محدوده با تمرکز بالا یک روند کلی از شمال به جنوب و به سمت شرق را نشان می‌دهد که در واقع متأثر از لایه‌های تبخیری ارتفاعات شمالی، شیب توپوگرافی و شیب کم سطح آب زیرزمینی در این مکان است.

#### بحث و نتایج

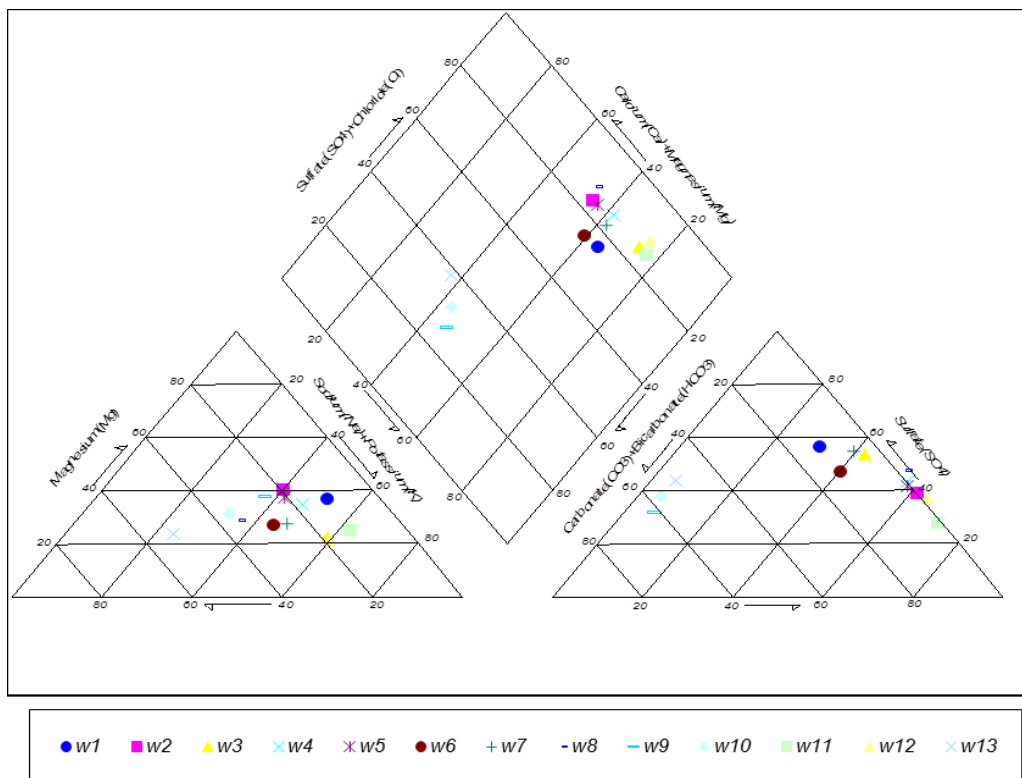
##### تفسیر تیپ آب زیرزمینی دشت اشتهارد

برای بررسی تیپ آب زیرزمینی از ۱۳ محل نمونه‌برداری (چاه انتخابی) که تقریباً توزیع مناسبی در دشت دارند استفاده شده است. با استفاده از یون‌های اصلی نمونه‌های تیپ آب زیرزمینی در هر نقطه به دست آمده است به نحوی که با تفکیک یون‌ها و مقدار آنها در هر ناحیه و سپس پیاده کردن آنها در نمودار پایپر تیپ آب زیرزمینی هر منطقه به دست می‌آید [۱۱، ۱۲]. نواحی جنوبی محدوده اشتهارد دارای تیپ بی‌کربناته کلسیک است ( $W_9$  و  $W_{10}$ ). با توجه به آنکه ارتفاعات جنوبی از سازندهای به نسبت نفوذپذیر تشکیل شده‌اند و این ناحیه، تغذیه‌کننده آبخوان به‌شمار می‌رود، طبیعی است که آب‌های زیرزمینی تغذیه‌شونده از این منبع دارای تیپ بی‌کربناته کلسیک



قلوه‌سنگ و دوری از لایه تبخیری و همچنین دوری از مناطق مسکونی و صنعتی باشد. چاه W<sub>1</sub> به دلیل وجود لایه‌های تبخیری- نمکی با وسعت کم در اطراف آن دارای کیفیت متوسط تا نامناسب است.

قسمت‌های جنوبی، بیانگر مقدار کم املاح و عناصر موجود در آب است و از نظر شرب در رده خوب قرار دارند ( W<sub>6</sub>، W<sub>9</sub> و W<sub>10</sub>). این امر به دلیل موقعیت این چاه در جنوب دشت و قرارگیری در زمین‌های با ترکیب ماسه، شن و



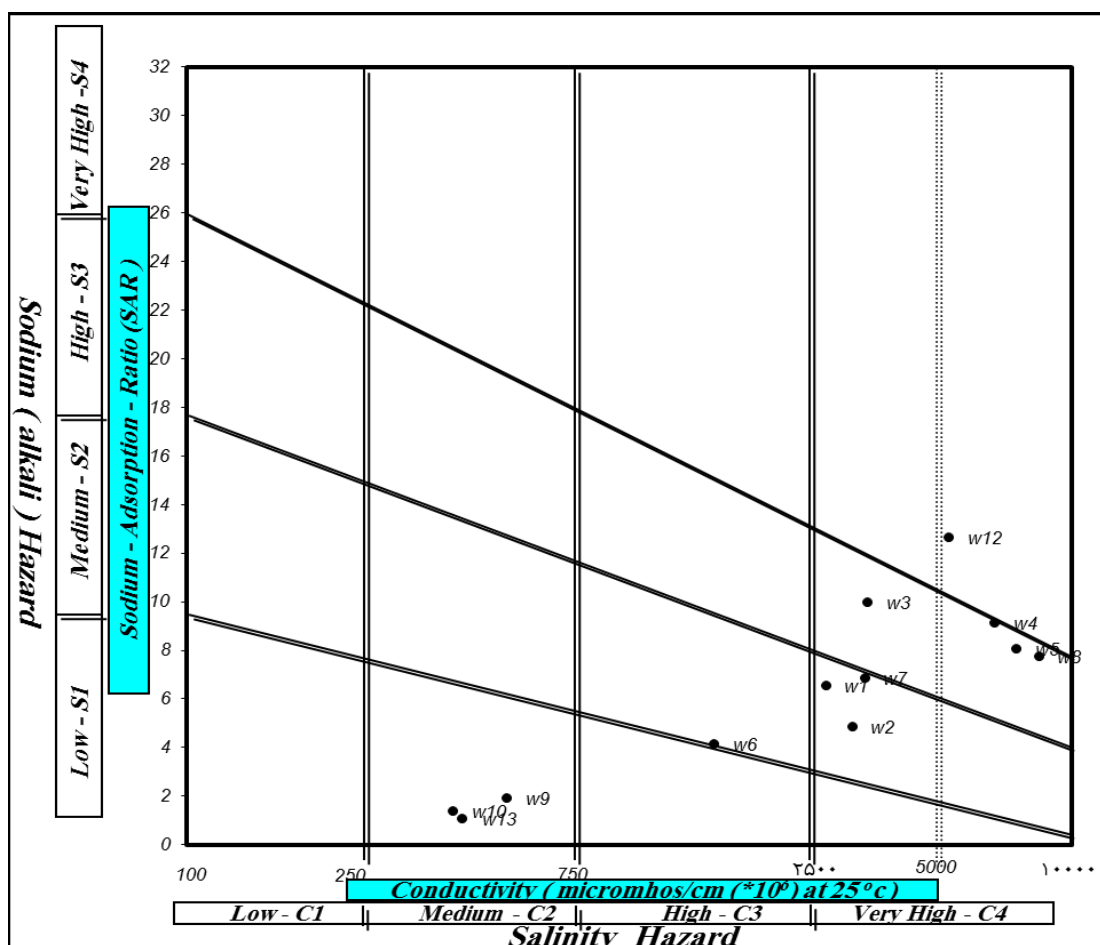
شکل ۷. نمودار پایپر آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی دشت اشتهارد

جدول ۲. تیپ و رخساره‌های آب‌های زیرزمینی دشت اشتهارد

محل نمونه‌برداری	علامت اختصاری	غلظت آنیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها	تیپ آب	رخساره آب	تیپ و رخساره
قنات	W1	SO <sub>4</sub> > Cl > CO <sub>3</sub>	Na+K > Mg > Ca	سولفات‌ه	سدیک	سولفات‌ه سدیک
چاه عمیق	W2	Cl > SO <sub>4</sub> > CO <sub>3</sub>	Na+K > Mg > Ca	کلروه	سدیک	کلروه سدیک
چاه عمیق	W3	Na+K > HCO <sub>3</sub>	Na+K > Ca > Mg	کلروه	سدیک	سدیک
چاه عمیق	W4	Cl > SO <sub>4</sub> > HCO <sub>3</sub>	Na+K > Ca > Mg	کلروه	سدیک	کلروه سدیک
چاه نیمه‌عمیق	W5	Cl > SO <sub>4</sub> > HCO <sub>3</sub>	Na+K > Mg > Ca	کلروه	سدیک	کلروه سدیک
چاه عمیق	W6	Cl > SO <sub>4</sub> > HCO <sub>3</sub>	Na+K > Ca > Mg	کلروه	سدیک	کلروه سدیک
چاه عمیق	W7	SO <sub>4</sub> > Cl > HCO <sub>3</sub>	Na+K > Ca > Mg	سولفات‌ه	سدیک	سولفات‌ه سدیک
چاه نیمه‌عمیق	W8	Cl > SO <sub>4</sub> > HCO <sub>3</sub>	Na+K > Ca > Mg	کلروه	سدیک	کلروه سدیک
چاه نیمه‌عمیق	W9	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Na+K > Ca > Mg	بی‌کربناته	سدیک	بی‌کربناته سدیک
قنات	W10	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Na+K > Mg	بی‌کربناته	کلسیک	بی‌کربناته کلسیک
چاه نیمه عمیق	W11	Cl > SO <sub>4</sub> > HCO <sub>3</sub>	Na+K > Ca > Mg	کلروه	سدیک	کلروه سدیک
قنات	W12	Cl > SO <sub>4</sub> > HCO <sub>3</sub>	Na+K > Ca > Mg	کلروه	سدیک	کلروه سدیک
قنات	W13	Ca > SO <sub>4</sub>	Ca > Na+K > Mg	سولفات‌ه	کلسیک	کلسیک

تقسیم می‌شود که آب‌های رده  $C_1S_1$  بهترین و آب‌های رده  $C_4S_4$  بدترین آب برای استفاده آبیاری است [۱۹]. با توجه به نمودار ویلکوکس مربوط به ۱۳ چاه انتخابی دشت اشتهارد نواحی جنوبی دشت دارای کیفیت بهتری از لحاظ کشاورزی است که دلیل آن دور بودن آنها از رودخانه شور و پهنه تبخیری- نمکی و قرارگیری در رسوبات ماسه‌ای و نزدیک به ارتفاعات آذرین جنوبی است.

بررسی کیفیت آب زیرزمینی از نظر مصارف کشاورزی مقدار مواد محلول در آب و مقدار سدیم موجود در آن برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی مهم‌ترین معیارهای کیفی به‌شمار می‌آیند. به‌منظور طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت اشتهارد به‌لحاظ کشاورزی، از نمودار ویلکوکس استفاده شده است. در این نمودار محور افقی به میزان هدایت الکتریکی آب (EC) و محور عمودی به نسبت جذب سدیم (SAR) اختصاص دارد. نمودار ویلکوکس به ۱۶ رده



شکل ۸. نمودار ویلکوکس آب زیرزمینی در محدوده دشت اشتهارد

مواد محلول در آب است. با توجه به موارد ذکر شده بهترین کیفیت آب محدوده دشت اشتهارد در بخش جنوبی محدوده و در ارتفاعات حاوی سنگ‌های آذرین است. این آب‌ها در طبقه‌بندی ویلکوکس در رده  $C_2S_1$  قرار دارند که برای کشاورزی مناسب‌اند. در قسمت جنوب غربی به دلیل وجود سازند تبخیری که حاوی مارن، ژبیس و نمک است، کیفیت آب در رده  $C_4S_2$  قرار دارد که در طبقه‌بندی ویلکوکس مضر برای کشاورزی است. کیفیت آب زیرزمینی

نواحی شمالی در بدترین کلاس ویلکوکس قرار گرفته و از لحاظ کیفیت جهت کشاورزی، اصلاً مناسب نیست. زیاد بودن غلظت سدیم و میزان EC در این نواحی به دلیل انحلال‌پذیری سازند تبخیری نمکی ارتفاعات و تغذیه توسط رودخانه شور است. همچنین کاهش ضخامت غیر اشباع و تبخیر آب زیرزمینی در این نواحی می‌تواند عامل افزایش املاح محلول در آب زیرزمینی باشد. کیفیت نامناسب چاه  $w_3$  به علت افت سطح آب زیرزمینی و افزایش غلظت

چاه‌های روستایی و همچنین از شرکت آب منطقه‌ای استان البرز به سبب در اختیار قرار دادن داده‌های آماری آب‌های زیرزمینی اعلام می‌دارند.

### منابع

[۱]. آقاباتی، سیدعلی (۱۳۸۳)، زمین‌شناسی ایران، نشر سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۵۵۶.

[۲]. اداره برنامه‌ریزی و آمار (۱۳۹۳)، گزارش آماربرداری‌های سالانه از منابع آب دشت اشتهارد، شرکت آب منطقه‌ای استان البرز، شماره ۲، ص ۱۲۷.

[۳]. ایرانپورمبارکه، احمد؛ مظاهری، اکبر (۱۳۹۰)، هیدروژئوشیمی منابع آبی جنوب غرب مشهد و بررسی منشأ آلودگی به آنتیموان، مجموعه مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور: ۵-۱۴.

[۴]. جداری عیوضی، جمشید؛ مقیمی، ابراهیم؛ یمانی، مجتبی؛ محمدی، حسین؛ عیسانی، احمدرضا (۱۳۸۹)، تأثیر عوامل اکوزئومورفولوژیک بر کیفیت شیمیایی آب مطالعه موردی: رودخانه کر و دریاچه سد درودزن، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۱، شماره پیاپی ۳۷، شماره ۱: ۱۷-۳۲.

[۵]. حیدری‌زاد، مجتبی؛ محمدزاده، حسین (۱۳۹۱)، بررسی ارتباط ژئوشیمیایی بین لیتولوژی حوضه آبریز کارستی سد کارده و آب رودخانه کارده (شمال شهر مشهد)، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران: ۸-۱۲.

[۶]. رنجبر، محمدرضا (۱۳۸۸)، بررسی عوامل مؤثر در فرونشست زمین دشت اشتهارد، نشریه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال ششم، شماره ۱۸: ۲۳-۴.

[۷]. رضائی، محمد (۱۳۹۰)، مطالعه عوامل کنترل‌کننده شوری در آبخوان آبرفتی دشت مند، استان بوشهر، مجله محیط‌شناسی، سال سی‌وهفتم، شماره ۵۸: ۱۱۶-۱۰۵.

[۸]. سپهوندی، سارا (۱۳۹۳)، بررسی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی و عوامل ساختاری در تغییرات کمی و کیفی منابع آب منطقه اشتهارد، پایان‌نامه کارشناسی

در بخش‌های غربی محدوده برای کشاورزی مناسب است، ولی در نیمه شمالی محدوده بیشتر در رده  $C_4S_3$  و  $C_4S_4$  قرار دارند که از لحاظ طبقه‌بندی ویلکوکس در رده خیلی شور و مضر برای کشاورزی قرار می‌گیرند.

### نتیجه‌گیری

در بررسی نمودار شولر، غالب آب‌های نمونه‌برداری شده با کیفیتی در رده متوسط تا کاملاً نامطبوع قرار دارند. این آب‌ها از نظر بی‌کربنات و منیزیم وضعیت مناسب‌تری نسبت به سایر یون‌ها دارند. بهترین کیفیت آب در مناطق جنوبی و بدترین آنها در مناطق شمالی است. در بررسی نمودار ویلکوکس مشخص شد که نواحی شمالی در بدترین کلاس ویلکوکس قرار دارند و از لحاظ مصارف کشاورزی، مناسب نیستند. آب نواحی نزدیک به شهر اشتهارد دارای شوری و هدایت الکتریکی زیادی است که برای کشاورزی مطلوب نیست. عوامل اصلی کاهش‌دهنده کیفیت آب در این محدوده به شرح زیر است:

۱. سازندهای زمین‌شناسی در منطقه که بیشتر آنها تبخیری و شامل کانی‌های ژپیس، نمک هستند. مهم‌ترین این لایه‌ها پهنه‌های نمکی با وسعت زیاد در قسمت شمالی منطقه را تشکیل داده و در افزایش املاح منابع آب تأثیر داشته‌اند.

۲. وجود رودخانه شور و آبراهه‌های شمالی محدوده که ارتباط هیدرولیکی با آبخوان منطقه دارند. این رودخانه با عمل زهکشی از واحدهای آواری و تبخیری نئوژن در بالادست منطقه و با شین کردن املاح در رسوبات منطقه، سبب افزایش غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در آبخوان منطقه شده‌اند.

۳. تغذیه طبیعی کم منطقه و اضافه برداشت از آب زیرزمینی سبب شده شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی کاهش پیدا کند و آبخوان قادر به تخلیه مؤثر املاح نباشد.

۴. وجود لایه‌های ریزدانه در شمال شرقی منطقه که به دلیل کاهش نفوذپذیری و پدیده تبادل کاتیونی موجب افزایش املاح شده است.

### سپاسگزاری

بدین وسیله نگارندگان مراتب سپاس خود را از شرکت آب و فاضلاب روستایی استان تهران به دلیل همکاری در آمار

[۱۶]. معیری، مهدی؛ احمدی‌نژاد، یونس (۱۳۸۵)، پدیده دی‌پیریسم و تأثیر آن بر آلودگی رودخانه شور دهرم، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۶: ۳۳-۴۵.

[۱۷]. یوسفی، مهدی؛ امامی، محمدهاشم؛ علوی، مهدی، (۱۳۷۹)، نقشه و گسترش نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰: چهارگوش اشتهارد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

[18]. Andre, L., Franceschi, M. Puchan, P. Atteia, O. (2005); "Using geochemical modeling to enhance the understanding of groundwater flow in a regional deep aquifer Aquitaine Basin, South-west of France", Journal of Hydrology Vol.305, pp. 40-42.

[19]. Cloutier, V., Lefebvre, R., Savard, M.M., Bourque, E. Therrien, R. (2006); Hydrochemistry and groundwater origin of the Basses-Laurentides sedimentary rock aquifer system, Qubec, Canad. Hydrology Journal, Vol.14, pp. 573-590.

[20]. Ebadati, N. Khamisabadi, S. (2014); A Study of Quantitative and Qualitative Potential of Malard Regional Potable Groundwater Sources (Iran), Journal of MAGNT Research Report Vol.2 (7). PP: 102-115

[21]. Jalali, M. (2009); Geochemistry characterization of groundwater in an agricultural area of Razan, Hamadan, Iran, Environ Geol, Vol. 56. pp 1479-1488.

[22]. Omar A. Khashman, A. (2008); Assessment of the spring water quality in The Shoubak area, Jordan, September 2008, Vol. 28( 3), pp 203-215.

[23]. World health organization (1993); Study protocol for the world health organization project to develop a quality of life assessment instrument (WHOQOL), Division of mental health, Switzerland, special report, journal. Quality of life research, Vol.2, pp.153-159.

[24]. WHO, (2004); Guidelines for drink water W.H.O, wuliy, Vol. 102 and 3, WHO, GENEVA.

ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ص ۱۳۲.

[۹]. شریفی، ابراهیم؛ عباسی، مهدی؛ گلپان، محسن؛ و رئیس‌دهکردی، سوده (۱۳۹۰)، بررسی هیدروژئوشیمی آبخوان دشت زنجان در استان زنجان، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم: ۴۵-۴۶.

[۱۰]. شهپازی، رضا؛ فیض‌نیا، سادات (۱۳۹۰)، تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کاهش کیفیت آبهای سطحی و زیرزمینی در حوزه آبخیز کویر مرکزی ایران (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چشمه علی دامغان)، پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۱: ۹۴-۱۰۴.

[۱۱]. صداقت، محمود (۱۳۸۵)، زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۳۸۵.

[۱۲]. علیزاده، امین (۱۳۹۰)، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ سی و یکم، انتشارات آستان قدس رضوی: ۴۳۲.

[۱۳]. عزیززی، فرحناز؛ محمدزاده، حسین (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و ارزیابی تغییرات مکانی کیفیت آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران با استفاده از شبیه DRASTIC و شاخص کیفی GWQI، مجله مهندسی منابع آب، سال پنجم: ۱-۱۶.

[۱۴]. قاسمی، علی؛ لشکری‌پور، غلامرضا؛ بنی‌اسدی، علی؛ حسنی، محمد؛ نعمت‌الهی، محمد، (۱۳۹۲). ارزیابی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت منابع آب حوزه آبریز شورلق سرخس، در استان خراسان رضوی، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران: ۱۴۰۸-۱۴۰۶.

[۱۵]. لشکری، محسن؛ لشکری‌پور، غلامرضا (۱۳۹۰)، بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت ایرانشهر و تأثیر سازند زمین‌شناسی بر کیفیت آب، مجموعه مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور: ۷-۱.