

تغییرات مکانی و زمانی شاخص‌های کیفی آبخوان دشت دهلران، استان ایلام، براساس سازندهای سنگ‌های رسوبی

حسین شهبازی^{۱*}، عبدالله طاهری تیزرو^۲ و زهره افسرده^۱

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

۲- گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

نویسنده مسئول: shahbazi@basu.ac.ir

دریافت: ۹۵/۴/۳ پذیرش: ۹۵/۹/۱۳

چکیده

آب زیرزمینی اهمیت بالایی برای تامین آب شیرین در جهان دارد. در این مطالعه، شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت دهلران شامل: کاتیون‌ها، آنیون‌ها، هدایت‌الکتریکی (EC)، غلظت کل مواد جامد محلول (TDS)، سختی کل (TH)، نسبت جذب سدیم (SAR)، درصد سدیم (Na%) و pH در یک دوره آماری پنج ساله (۱۳۹۲-۱۳۸۸) در ۱۰ حلقه چاه اکتشافی سازمان آب منطقه‌ای استان ایلام در تعداد ۱۰۰ نمونه بررسی شده است. غلظت کاتیون‌ها به ترتیب به صورت $K^+ > Mg^{2+} > Na^+ > Ca^{2+}$ و غلظت آنیون‌ها به ترتیب به صورت $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$ می‌باشد. در دوره پنج ساله کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت به این صورت می‌باشد: میکروموس بر سانتی‌متر $EC=946-7811$ ، میلی‌گرم بر لیتر $TDS=614-5233$ ، میلی‌گرم بر لیتر $TH=246-3020$ ، $SAR=1/19-11/64$ ، میلی‌گرم بر لیتر $Na\%=7/38-65/02$ و $pH=6/89-7/95$. نتایج نشان می‌دهد آب زیرزمینی دشت دهلران از لحاظ شاخص‌های کیفی: هدایت‌الکتریکی (EC)، غلظت کل مواد جامد محلول (TDS) و سختی کل (TH) برای آشامیدن و کشاورزی مناسب نمی‌باشد، ولی از لحاظ نسبت جذب سدیم (SAR) و pH مشکل ندارد و براساس استانداردهای ویلکاکس و شولر برای آشامیدن و کشاورزی قابل استفاده است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار SAR ضریب همبستگی بالایی (۰/۶۹) با یون سدیم دارد و این همبستگی نشان دهنده جانشینی یون سدیم به جای یون‌های کلسیم و منیزیم در خاک‌های کلونیدی می‌باشد. سازندهای سنگ‌های رسوبی منطقه در کیفیت آب زیرزمینی دشت دهلران نقش اصلی را دارند. سنگ‌های تبخیری و گچی (سازند گچساران) و کربناتی (سازند آسماری) سبب کاهش کیفیت آب شده است. همبستگی بین HCO_3^- با Mg^{2+} (۰/۴۵) و با Ca^{2+} (۰/۱۶) نشان می‌دهد که احتمالاً سازند آسماری منطقه در تامین Mg^{2+} آب زیرزمینی دشت دهلران نسبت به Ca^{2+} نقش بیش‌تری داشته است. می‌توان اظهار داشت منشأ کاتیون‌های اصلی (Ca^{2+} ، Na^+) و آنیون‌های اصلی (SO_4^{2-} ، Cl^-) آب زیرزمینی دشت دهلران، سازند تبخیری گچساران می‌باشد و منشأ آنیون و کاتیون با فراوانی نسبی پایین‌تر (HCO_3^- و Mg^{2+}) سازند آسماری است. منشأ بخشی از کاتیون Mg^{2+} می‌تواند واحدهای شیلی و مارنی سازندهای پابده و گورپی باشد. سنگ‌های آواری (= سازند بختیاری) نقش موثر در کاهش کیفیت آب زیرزمینی دشت دهلران نداشته است.

واژه‌های کلیدی: کیفیت آب زیرزمینی، کاتیون، آنیون، سازندهای سنگ‌های رسوبی، دهلران

مقدمه

مسمومیت‌های ناشی از آن‌ها و همچنین به از بین رفتن آبیان در سطح مناطق مختلف اشاره کرد [۲۱]. کیفیت آب زیرزمینی به اندازه کمیت آن برای مصارف مختلف ضروری است. کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب زیرزمینی تابع خصوصیات زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی در هر منطقه می‌باشد. طبقه‌بندی‌های مختلفی برای شوری آب برمبنای نمک‌های موجود در آن‌ها انجام پذیرفته است. شوری آب باران بر اساس هدایت الکتریکی معمولاً بین ۳۰-۵۰، آب زیرزمینی قابل آشامیدن در محدوده‌ی ۲۰۰-۳۰۰، آب دریا بین ۵۵۰۰-۴۵۰۰۰ و شورابه‌های

آب زیرزمینی مهم‌ترین منابع تامین آب مورد نیاز بخش‌های کشاورزی، آشامیدن و صنعت در تمام کشورهای دنیا است. بخش کشاورزی با اختصاص سهم ۹۵ درصدی به خود و برداشت بیش از ۸۰ درصد از منابع آب زیرزمینی، نقش عمده‌ایی در تغییرات کمی و کیفی آبخوان‌های کشور دارد [۱۶]. آلودگی‌های آب‌های زیرزمینی مضرات زیست حیطی فراوانی داشته که زندگی بشر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از جمله این تأثیرات می‌توان به آلودگی آب آشامیدن و کشاورزی و

در چاه‌های حاشیه دریاچه شده است. مقدم و همکاران [۱۲] ضمن بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد نشان دادند که فعالیت‌های انسانی، نوسانات آب و هوایی و آلودگی‌های انتقال یافته از خارج از محدوده دشت بر کیفیت آب منطقه موثر هستند. مقیمی [۱۴] در ارزیابی منشأ عناصر منابع آب زیرزمینی دشت قائم شهر مشخص کرد منشأ سدیم ناشی از نفوذ آب شور و هوازدگی کانی‌های رسی منطقه بوده و کلسیم و منیزیم از رسوبات آهکی و دولومیتی منشأ گرفته‌اند. احمدی‌زاده قینی و همکاران [۱] در بررسی غلظت عناصر سنگین در منابع آب آشامیدنی روستاهای اطراف بندرعباس نشان دادند غلظت روی و سرب در حد استاندارد بوده ولی غلظت کادمیوم در ۱۳ نمونه بیش از مقدار مجاز می‌باشد. جهان‌شاهی و همکاران [۴] در ارزیابی پارامترهای کیفی آبخوان دشت شهربابک نشان دادند آب زیرزمینی در ۴۹/۳ درصد از مساحت دشت غیرقابل آشامیدن است. نادری و همکاران [۲۴] تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت تاسوج حاشیه دریاچه ارومیه در یک دوره ۱۲ ساله بررسی کردند. سلوام^۵ و همکاران [۲۸] با استفاده از Arc-GIS، کاتیون‌های قلیایی و قلیایی خاکی و آنیون‌های کلر و بی‌کربنات موجود در آب‌های زیرزمینی شهر ساحلی توتیکورین^۶ در جنوب هند را بررسی کردند و منشأ آن‌ها را نفوذ آبه‌های شور تشخیص دادند. یاداو^۷ و همکاران [۳۶] ضمن بررسی زمانی و مکانی غلظت آرسنیک در آب‌های زیرزمینی منطقه گانگس^۸ نپال متوجه شدند که غلظت عنصر آرسنیک در آب‌های زیرزمینی منطقه در تابستان‌ها به مقدار بیشینه و در زمستان به مقدار کمینه خود می‌رسد. خاندوزی و همکاران [۵] با استفاده از ۱۳ حلقه چاه سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان کیفیت آب زیرزمینی شهرستان رامیان استان گلستان را بررسی کرده‌اند. در این پژوهش بررسی تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای کیفی و نقش عوامل زمین‌شناسی بر روی کیفیت آب زیرزمینی دشت دهلران در طول دوره پنج ساله ۱۳۹۲-۱۳۸۸ مورد بررسی قرار گرفته است.

میادین نفتی عموماً بیش از ۱۰۰۰۰۰ میکرو موس بر سانتی‌متر متغیر است [۲۲]. مهم‌ترین منابع شورشدگی آب‌های زیرزمینی: شوری طبیعی، انحلال هالیت، نفوذ آب شور دریا، شورابه‌های میادین نفتی، فعالیت‌های کشاورزی، تراوش نمک و نمک پاشی جاده‌هاست [۲۷]. تا کنون کیفیت آب‌های زیرزمینی مناطق مختلف دنیا و ایران توسط پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفته است. خدایی و همکاران [۶] آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوین استان خراسان رضوی را ارزیابی کرده و پارامترهای مثل نوع خاک، توپوگرافی، عمق آب زیرزمینی و میزان تغذیه را موثر دانستند. فتوانی^۱ و همکاران [۱۸] کیفیت آب زیرزمینی دشت‌های کشاورزی تریف^۲ در شمال‌شرق مراکش را بررسی کردند و نقشه کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه را تهیه کردند. نتایج آن‌ها نشان دهنده تغییرات زیاد در مقایسه با مطالعات قبلی بود و بیان نمودند که اگر برنامه‌ی دراز مدت بازدارنده صورت نگیرد، توسعه‌ی اراضی کشاورزی در این مناطق باعث تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌گردد. کتاتا^۳ و همکاران [۲۰] روند تغییرات متغیرهای هیدروشیمیایی آب زیرزمینی لایه‌ی آبدار گیبس^۴ (جنوب‌شرق تونس) را در دوره‌ی آماری ۲۰۰۳-۱۹۵۵ با نرم افزار GIS بررسی کردند. نتایج نشان داد میزان شوری و سایر متغیرهای شیمیایی در طول زمان تغییر کمی کرده و در جهت حرکت آب زیرزمینی روند کاهشی داشت و وضعیت شیمیایی آبخوان بیش‌تر به جنس سنگ‌های تشکیل‌دهنده آن ارتباط داشت و مقدار فلوراید بیش‌تر از حد مجاز برای سلامتی بود. بررسی‌های محمدی و همکاران [۱۱] در مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی قزوین نشان داد که در فصول تر سال غلظت آلودگی افزایش یافته است و این امر نشان‌دهنده اثر بارندگی روی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت می‌باشد. بانژاد و محب‌زاده [۲] در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت رزن- قهاوند نشان دادند که ۴۳/۷ درصد از منطقه دارای غلظت نامناسب یون سدیم می‌باشد. سکوتی اسکوتی [۷] در بررسی تغییرات زمانی و مکانی شوری آب زیرزمینی دشت ارومیه نتیجه‌گیری کرد که کاهش آب دریاچه ارومیه موجب پایین آمدن کیفیت آب

⁵ Selvam

⁶ Tuticorin

⁷ Yadav

⁸ Ganges

¹ Fetouani

² Terriffa

³ Ketata

⁴ Gabes

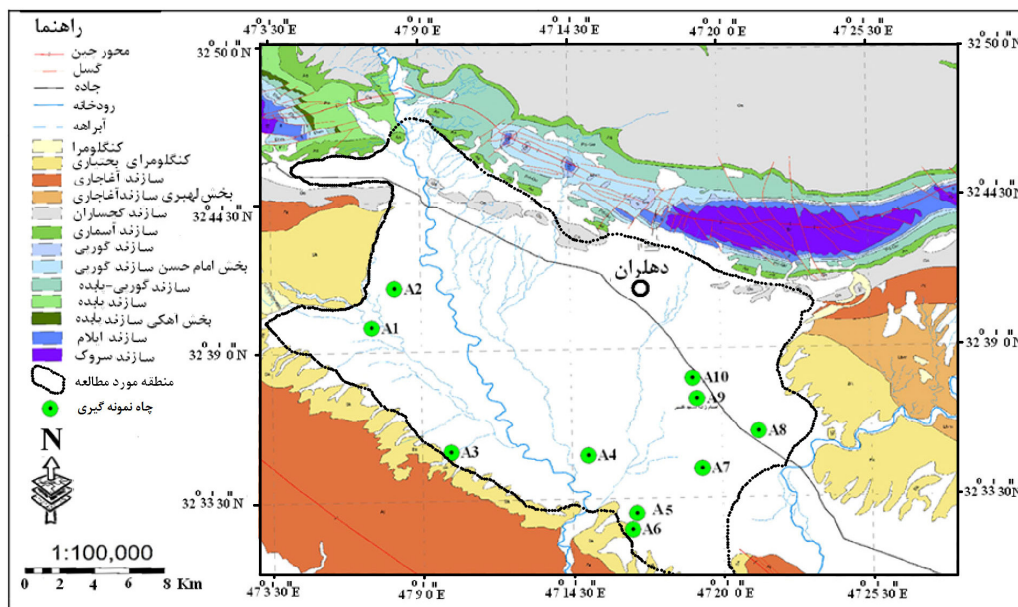
موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

حوضه آبریز دشت دهلران در موقعیت جغرافیایی $۳۲^{\circ}۲۸'۲۱''$ تا $۳۲^{\circ}۵۱'۱۰''$ طول شرقی و $۳۲^{\circ}۲۹'۱۵''$ تا $۳۲^{\circ}۵۱'۱۰''$ عرض شمالی واقع شده است. این حوضه در بخش جنوبی حوضه آبریز رودخانه میمه قرار دارد. شهر دهلران واقع در این حوضه به عنوان یک شهر مرزی در قسمت جنوبی استان ایلام قرار گرفته است. شهرستان دهلران با طول جغرافیایی $۳۲^{\circ}۱۶'$ شرقی و عرض جغرافیایی $۳۲^{\circ}۴۱'$ شمالی و ارتفاع ۲۲۰ متر مهم‌ترین شهرستان این دشت می‌باشد. این حوضه در حاشیه جنوب‌غربی زاگرس چین‌خورده قرار گرفته است. ارتفاعات منطقه عمدتاً در شمال و شمال‌شرق حوضه واقع شده‌اند و شامل کوه‌های اناران با ارتفاع ۱۳۱۹ متر و سیاه‌کوه با حداکثر ارتفاع ۱۴۵۵ متر می‌باشد. مساحت تقریبی حوضه آبریز دهلران ۲۷۰۰ کیلومتر مربع است. دشت دهلران جزء مناطق خشک ایران است و از لحاظ اقلیمی از شرایط مطلوبی برخوردار نیست. بنابراین سفره آب زیرزمینی دشت دهلران تنها منبع آب برای آشامیدن و کشاورزی منطقه است. میانگین دمای سالیانه منطقه براساس آمار پنج ساله (۱۳۸۸-۱۳۹۲) برابر $۲۵/۵^{\circ}C$ می‌باشد و میزان تبخیر در دشت به طور متوسط ۳۵۵۳ میلی‌متر است [۸]. حوضه آبریز دشت دهلران براساس تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی ایران جزو زاگرس چین‌خورده محسوب می‌شود. از نظر زمین‌شناسی ساختاری دشت دهلران بصورت یک ناودیس است که بین تاقدیس سیاه کوه در شمال دشت و تاقدیس اناران در شمال‌غرب و تاقدیس دهلران در جنوب و جنوب‌غرب واقع شده است و توسط رسوبات ناشی از فرسایش سازندهای اطراف پوشیده شده است. سازندهای سنگ‌های رسوبی که در منطقه دهلران رخنمون دارند به ترتیب از قدیم به جدید شامل سازندهای سروک، ایلام، گورپی، پابده، آسماری، گچساران، آغاچاری، بختیاری و رسوبات آبرفتی می‌باشند (شکل ۱). براساس اظهارات وثوقی [۱۵] سازندهای زمین‌شناسی منطقه دهلران به ترتیب از جدید به قدیم شامل موارد زیر می‌باشند: ۱- سازند آغاچاری با تناوب مارن، ماسه‌سنگ، سیلتستون با سن میوسن - پلیوسن (با ضخامت تقریبی ۱۹۰۰ در میدان نفتی آذر)، ۲- سازند گچساران با تناوب ژئوپس، نمک و سیلتستون با سن میوسن

(با ضخامت تقریبی ۸۲۰ متر در میدان نفتی آذر)، ۳- سازند آسماری با نهشته‌های آهکی و تبخیری با سن الیگوسن (با ضخامت تقریبی ۲۹۰ متر در میدان نفتی آذر)، ۴- سازند پابده با ترکیب آهک‌های مارنی و شیل با سن ائوسن - پالئوسن (با ضخامت تقریبی ۴۰۰ متر در میدان نفتی آذر)، ۵- سازند گورپی با ترکیب آهک‌های مارنی با سن ائوسن - پالئوسن (با ضخامت تقریبی ۴۰۰ متر در میدان نفتی آذر)، ۶- سازند ایلام حاوی سنگ‌های کربناته با سن کرتاسه بالایی (با ضخامت تقریبی ۱۴۰ متر در میدان نفتی آذر)، ۷- سازند سروک حاوی سنگ‌های کربناته با سن کرتاسه بالایی (با ضخامت تقریبی ۶۱۰ متر در میدان نفتی آذر) [۱۵]. سازند سروک به عنوان قدیمی‌ترین سازند منطقه در قسمت‌های مرکزی تاقدیس‌های سیاه‌کوه و اناران دیده می‌شود. سازند بختیاری بصورت جدیدترین سازند در مناطق شرقی، غربی و جنوبی دشت دیده می‌شود. در منطقه دهلران بیش‌تر واحدهای سنگی سازند پابده و بخش میانی سازند آسماری از آهک، شیل و انیدریت تشکیل شده است و بخش بالایی سازند آسماری غالباً آهک و دولومیت می‌باشد [۳۳]. با توجه به گوناگونی رخساره‌های زمین‌شناسی موجود در حوضه آبریز دشت مورد مطالعه و وجود یا عدم وجود نمک‌های تبخیری در آن‌ها، تاثیر سازندهای مختلف بر کیفیت آب‌های سطحی و یا زیرزمینی نیز متفاوت است. بطورکلی سازندهای سروک، ایلام، گورپی، پابده و آسماری که بخش عمده رخساره آن‌ها از آهک و یا مارن‌های غیر آغشته به نمک‌ها به وجود آمده، بر کیفیت آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی ذخیره شده در درون آن‌ها اثر منفی قابل‌ملاحظه‌ای ندارند. بنابراین در هر قسمت از دشت‌ها که در مجاورت نهشته‌های آبرفتی قرار گیرند، در تخریب کیفی آبخوان نقش عمده‌ایی ایفا نمی‌کنند [۸]. سازندهای با سن میوسن که بطورکلی در محیط دریایی کم‌عمق یا قاره‌ای تشکیل شده‌اند حاوی نمک‌های تبخیری بویژه از نوع ژئوپس و نمک طعام می‌باشند. کانی‌های موجود در این سازندها گاهی دارای حجم و وسعت زیاد بوده و بخش عمده توده سازند را تشکیل می‌دهند (مانند سازند گچساران)، در مواردی نیز بصورت رگه‌های نازک در متن بخشی از لایه‌ها قرار گرفته‌اند،

آب‌های زیرزمینی را نامناسب نموده است. این پدیده بویژه در بخش شمال و شمال شرقی و مرکز دشت دهلران بخوبی قابل رویت است [۸]. سازند بختیاری به علت عدم آلودگی اجزای آن به نمک‌های تبخیری، فاقد نقش منفی بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی است به همین علت آبخوان‌های منطقه در مجاورت سازند مذکور بطور کلی از کیفیت مناسبی برخوردار می‌باشد [۸].

مانند رگه‌های ژئیس در مارن‌های سازند آغاچاری و ماسه‌سنگ‌ها و سیلت‌استون بخش لهری، نمک‌های یاد شده دارای فرسایش‌پذیری و قابلیت انحلال زیاد بوده و تحت تاثیر رواناب‌ها به دشت‌ها انتقال یافته و در بافت نهشته‌های آبرفتی قرار می‌گیرند [۸]. در قسمت‌هایی از دشت‌ها که بخش عمده نهشته‌های آبرفتی از فرسایش سازندهای مذکور منشاء گرفته است، درصد عناصر دانه ریز آغشته به نمک‌های تبخیری افزایش یافته و کیفیت



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه دهلران و موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری شده

مواد و روش‌ها

در این مطالعه پارامترهای کیفی ۱۰ حلقه چاه آب دشت دهلران در طول یک دوره پنج ساله ۱۳۹۲-۱۳۸۸ مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱). جهت بررسی کیفیت آب دشت دهلران مقادیر میانگین، بیش‌ترین و کمترین هر پارامتر در یک دوره پنج‌ساله برای هر حلقه چاه آب، در دو فصل تر (اسفند ماه) و فصل خشک (شهریور ماه) محاسبه و بررسی شده و با استانداردهای ارائه شده جهت مصرف کشاورزی و آشامیدن مقایسه گردیده است. داده‌های کیفی و اطلاعات چاه‌ها توسط سازمان آب منطقه‌ای شهرستان ایلام در اختیار قرار داده شده است. شاخص‌های هدایت‌الکتریکی (EC)، pH، کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم)، آنیون‌ها (بی‌کربنات، سولفات و کلر)، غلظت کل مواد جامد محلول (TDS)، سختی کل (TH) برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی

دشت دهلران مورد بررسی قرار گرفتند. هم‌چنین شاخص‌های نسبت جذب سدیم (SAR) و (%Na) و شاخص شولر (CAI) برای تعیین کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بررسی شده‌اند. در این تحقیق برای ارزیابی EC آب زیرزمینی دشت دهلران از تقسیم‌بندی کیفی استاندارد شولر^۱ استفاده شده است که امروزه استفاده از آن در آزمایشگاه تعیین شوری آب آمریکا متداول است [۳۱]. برای بررسی کیفیت آب از نظر درصد سدیم و از نظر کلر از طبقه‌بندی ویلکاکس^۲ استفاده شده است [۳۵]. فرایند جانشینی کاتیون سدیم به جای کلسیم و منیزیم در رس‌ها و خاک‌های کلئیدی نسبت جذب سدیم (SAR) نامیده می‌شود و به صورت (رابطه ۱)

¹ Shoeller

² Wilcox

شده نزدیک‌تر هستند روی مقادیر پیش‌بینی شده تأثیر بیش‌تری دارند. به همین دلیل در محاسبات نقاط نزدیک وزن بیش‌تری را نسبت به نقاط دورتر می‌گیرند. مقدار عامل وزنی با استفاده از (رابطه ۳) محاسبه می‌گردد [۳۲]:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-a}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-a}} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن λ_i = وزن ایستگاه i ام، D_i = فاصله ایستگاه i ام تا نقطه مجهول و a توان وزن‌دهی می‌باشد. در این پژوهش محاسبه روش زمین‌آماري^۵ IDW توسط نرم افزار Arc-GIS انجام پذیرفت و اعتبار نقشه‌های تهیه شده بیش از ۹۹٪ می‌باشد. در این تحقیق مقدار خطای محاسبه شده برای تعداد نقاط همسایگی (۱۲)، کمتر از ۰/۰۷۲ می‌باشد، این موضوع برای کلیه اشکال صدق می‌کند. نحوه محاسبه روش IDW در مواردی که پارامترهای مورد پیش‌بینی قطعیت بالایی دارند، دقت بیش‌تری نسبت به دیگر روش‌ها، مثلاً روش کریجینگ دارد [۱۹]. مقادیر ماکزیمم، مینیمم و میانگین EC شاخص‌های شیمیایی آب زیرزمینی دشت دهلران در ۱۰ چاه نمونه‌برداری شده در جدول ۱ ارائه گردیده است. مقادیر pH با استفاده از دستگاه pH متر، با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج، TDS با استفاده از روش اندازه‌گیری باقی‌مانده خشک، کاتیون‌ها، آنیون‌ها و سختی کل به روش تیتراسیون، سولفات به روش پتانسیومتری انجام پذیرفته است. روش‌های اندازه‌گیری کلیه پارامترها بر اساس متدهای استاندارد آمریکا [۲۹]، و دستورالعمل و روش‌های اندازه‌گیری عوامل فیزیکی‌شیمیایی و مواد شیمیایی معدنی سمی در آب آشامیدنی معاونت بهداشت وزارت بهداشت و درمان و آموزش پزشکی انجام گرفته است [۳].

نتایج و بحث

تغییرات مکانی و زمانی هدایت الکتریکی (EC):

بیش‌ترین مقدار EC (۷۸۱۱ میکروموس بر سانتی‌متر) مربوط به چاه A4 در سال ۱۳۹۱، کمترین مقدار آن (۹۴۶ میکروموس بر سانتی‌متر) مربوط به چاه A7 در سال ۱۳۸۸ و مقدار متوسط EC برابر ۳۲۹۲ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد (جدول ۱). با توجه به

بیان می‌شود. بر اساس تعریف ریچارد^۳ درصد سدیم (Na%) از نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها به دست می‌آید [۲۶].

رابطه ۱: نسبت جذب سدیم

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Mg^{2+} + Ca^{2+})}{2}}}$$

شولر شاخص کلر-آلکالی (CAI) را به صورت (رابطه ۲) تعریف کرد [۳۰]. کازلاوسکی و کامیسارک^۴ عنوان کردند اگر شاخص کلر-آلکالی شولر (CAI) مثبت باشد نشان می‌دهد بین Na^+ و K^+ از آب با Mg^{2+} و Ca^{2+} از سنگ‌های مجاور تبادل یونی صورت گرفته است ولی اگر شاخص کلر-آلکالی شولر (CAI) منفی باشد نشان می‌دهد بین Mg^{2+} و Ca^{2+} از آب با Na^+ و K^+ از سنگ‌ها مجاور تبادل یونی صورت نگرفته است [۲۳]. قدرت تبادل یونی به عواملی مانند مدت تماس بین محلول و کانی، قطر یون‌های هیدراته شده، ظرفیت یونی، غلظت یونی، تأثیر pH محیط و قطر دانه‌های کانی و یا ماده وابسته است [۱۳].

رابطه ۲: شاخص شولر

$$CAI - 1 = \frac{Cl^- - (Na^+ + K^+)}{Cl^-}$$

هم‌بستگی پیرسون یکی از ابزارهای مناسب در مطالعات کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌باشد. این هم‌بستگی میزان هم‌بستگی خطی بین دو متغیر تصادفی را می‌سنجد. مقدار این ضریب بین -۱ تا ۱ تغییر می‌کند که ۱ به معنای هم‌بستگی مثبت کامل، ۰ به معنی نبود هم‌بستگی، و -۱ به معنی هم‌بستگی منفی کامل است. با ایجاد ماتریس هم‌بستگی می‌توان وابستگی میان پارامترهای منفرد را نشان داد [۳۲]. در تحقیق حاضر به منظور محاسبه ضریب هم‌بستگی پیرسون بین ۱۳ شاخص مطالعه شده، از نرم‌افزار SPSS 17 استفاده شده است. برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی آبخوان دشت دهلران از نرم‌افزار GIS و روش زمین‌آماري فاصله معکوس^۱ (IDW) استفاده شده است. روش IDW بر این اساس استوار است که نقاط نزدیک به هم شباهت بیش‌تری نسبت به نقاطی که از هم دور هستند دارند و مقادیر اندازه‌گیری شده‌ای که به مکان مقادیر پیش‌بینی

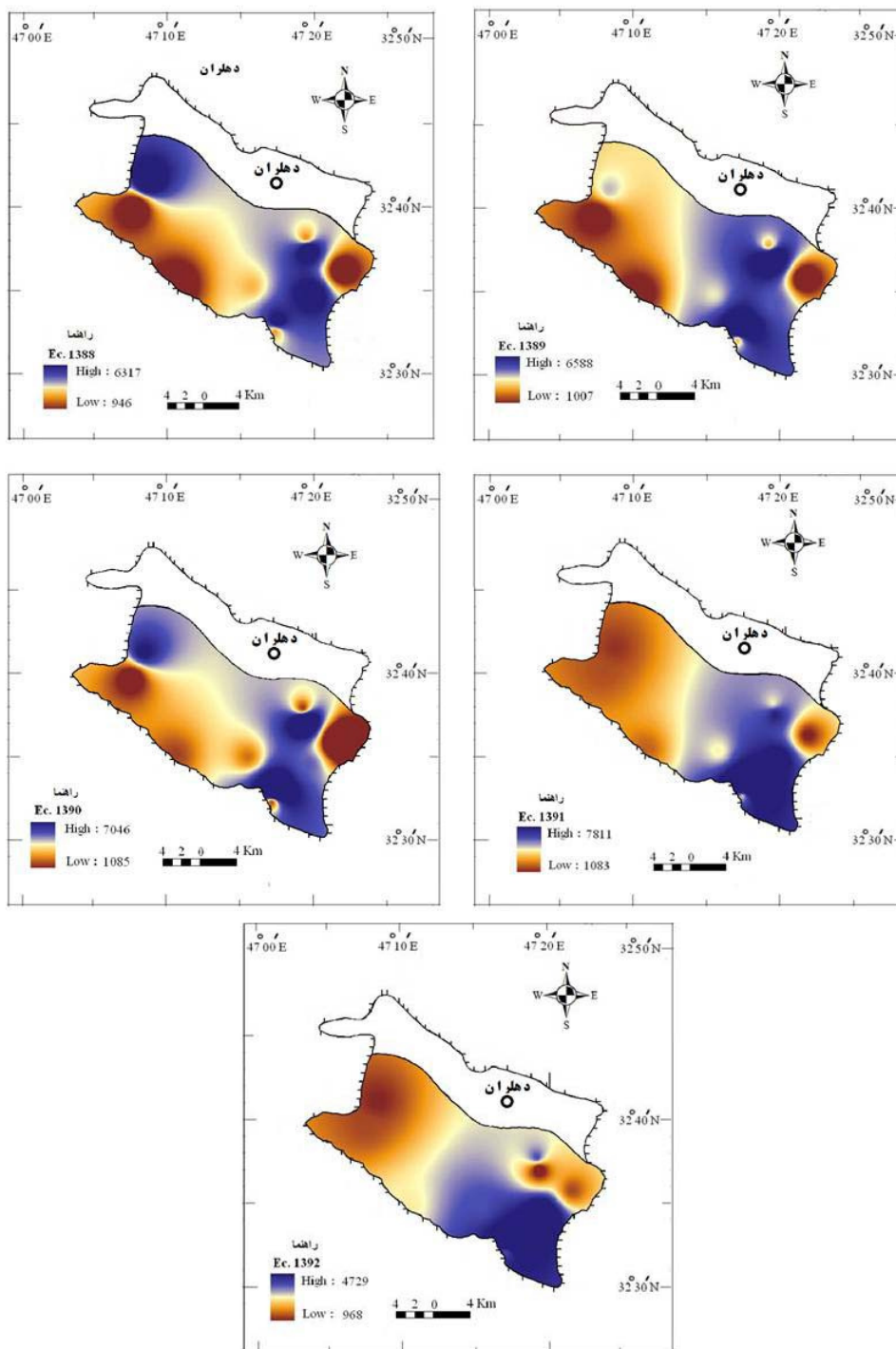
^۳ Richards

^۴ Kozlowski and Kamisarek

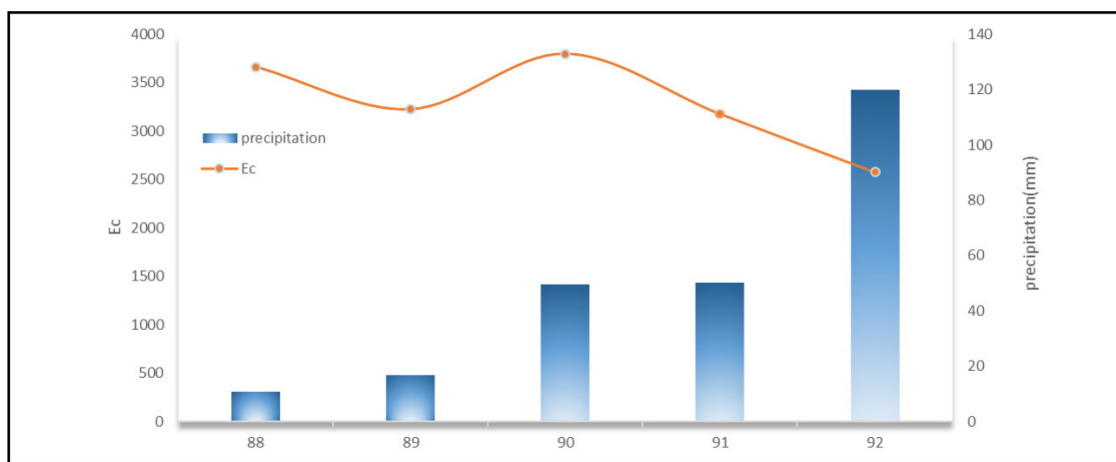
^۵ Inverse Distance Weight

EC در سال ۱۳۹۲ را می‌توان به افزایش نسبی بارندگی در این سال و کاهش غلظت املاح آب نسبت داد (شکل ۳). مقدار EC در محدوده‌ی وسیعی از دشت، بجز نواحی کوچک در حاشیه شرقی، غرب و جنوب غرب بیش‌تر از ۳۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد (شکل ۲).

نقشه پهنه‌بندی مذکور مقدار EC در سال ۱۳۸۸ بین ۶۳۱۷-۹۴۶، در سال ۱۳۸۹ بین ۶۵۸۸-۱۰۰۷، در سال ۱۳۹۰ بین ۷۰۴۶-۱۰۸۵، در سال ۱۳۹۱ بین ۷۸۱۱-۱۰۸۳ و در سال ۱۳۹۲ بین ۴۷۲۹-۹۶۸ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر می‌باشد (شکل ۲). علت کاهش نسبی



شکل ۲. تغییرات مکانی و زمانی EC در سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۲

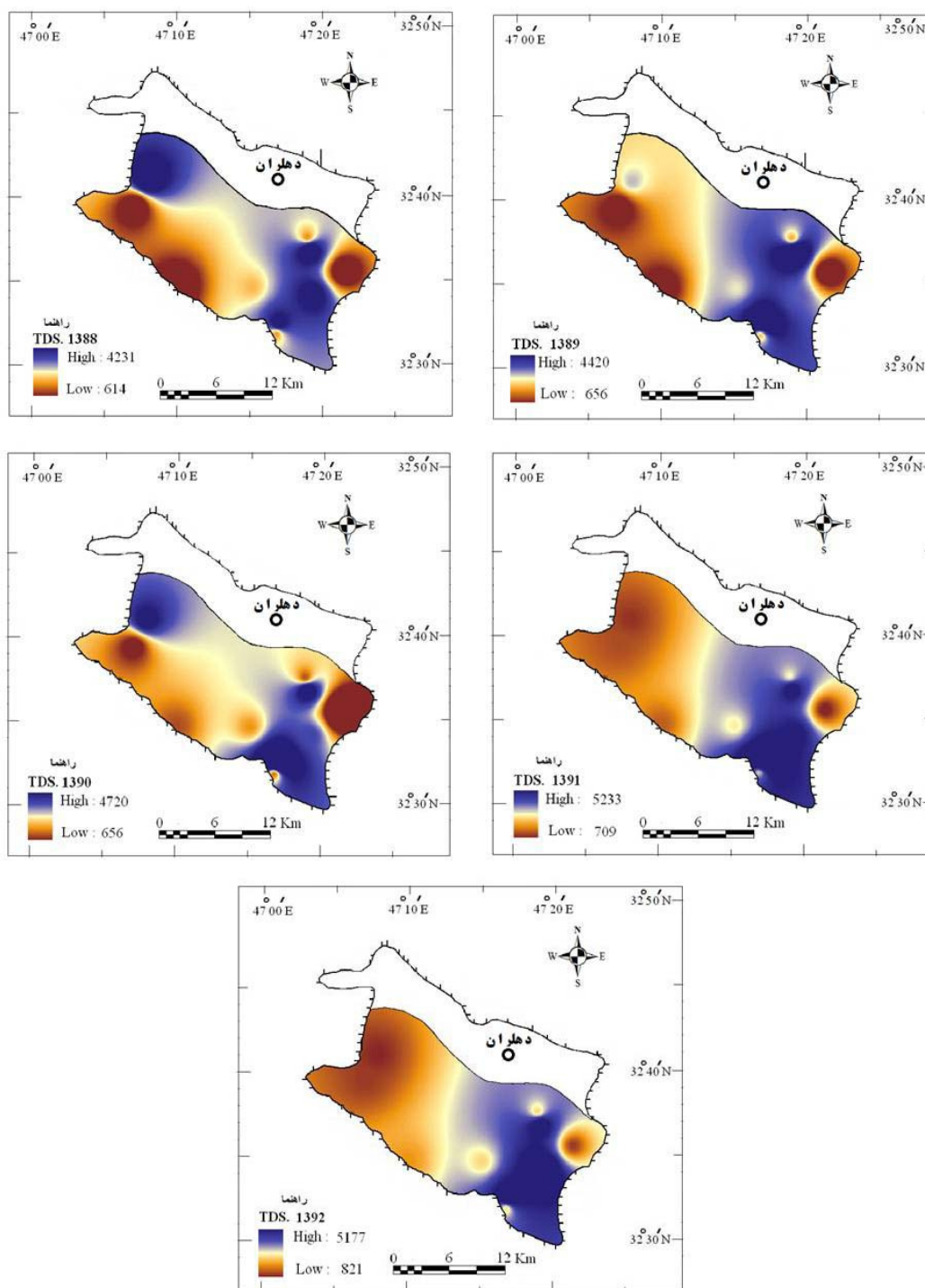


شکل ۳. تغییرات سالیانه متوسط EC و مقدار بارش در سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۲

A7 در سال ۱۳۸۸ و مقدار متوسط TDS برابر ۲۳۶۱ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (جدول ۱). بر اساس استاندارد USEPA آب‌هایی که TDS بیش‌تر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و EC بیش‌تر از ۳۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر دارند برای مصارف آبیاری مناسب نمی‌باشند. بر اساس استاندارد WHO، حداکثر مجاز TDS برای آب آشامیدنی ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد [۳۴]. در نتیجه آب زیرزمینی شهرستان دهلران از نظر غلظت TDS برای آشامیدن نیز مناسب نمی‌باشد. مقدار TDS در سال آماری ۱۳۸۸ بین ۴۲۳۱-۶۱۴، در سال ۱۳۸۹ بین ۴۴۲۰-۶۵۶، در سال ۱۳۹۰ بین ۴۷۲۰-۶۵۶، در سال ۱۳۹۱ بین ۵۲۳۳-۷۰۹ و در سال آماری ۱۳۹۲ بین ۵۱۷۷-۸۲۱ میلی‌گرم بر لیتر متغیر می‌باشد (شکل ۴). با توجه به نقشه مذکور بخش وسیعی از دشت دهلران TDS بالاتر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر دارد. بخش‌های شرقی، جنوب غرب و غرب دشت کمترین مقدار TDS را دارا می‌باشند و بالاترین کیفیت را نیز دارا می‌باشند. نقشه پهنه‌بندی تهیه شده برای TDS در شکل ۴، نشان می‌دهد که بطور کلی از شمال غرب به سمت جنوب غرب مقدار TDS در حال افزایش می‌باشد و بالاتر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است و تنها در محدوده کوچکی در بخش غرب، شمال غرب و شرق دشت دهلران مقدار TDS کمتر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده می‌شود. بررسی و مقایسه نتایج مکان و زمان‌سنجی کل مواد جامد محلول (TDS) و هدایت الکتریکی (EC) نمونه‌ها نشان می‌دهد که همواره بین این دو عامل رابطه مستقیمی وجود داشته و تغییرات آن‌ها مشابه یکدیگر می‌باشد.

بنابراین کیفیت آب این مناطق از لحاظ آشامیدن و کشاورزی مناسب نبوده است. در این دوره زمانی، در نواحی جنوب، جنوب‌شرقی، و مرکز دشت مقدار EC بیش‌تر از ۳۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد (شکل ۲). بالا بودن هدایت الکتریکی در نواحی یاد شده در دشت دهلران را می‌توان به عوامل زیر نسبت داد؛ ۱- عبور آب‌های تغذیه کننده از میان نهشته‌های آبرفتی حاوی نمک‌های تبخیری منشاء گرفته از سازندهای سری میوسن (گچساران) ۲- ناچیز بودن سرعت حرکت آب زیرزمینی و طولانی بودن زمان تماس و مجاورت دائم آب‌ها با نهشته‌های با غلظت بالا. ۳- دور بودن از منابع تغذیه مناسب و کیفیت نامناسب رواناب‌های موثر بر تغذیه آبخوان. در نواحی مرکزی علاوه بر عوامل یاد شده، تبخیر آب زیرزمینی نقش مهمی در افزایش میزان نمک‌های محلول در آب و بالا رفتن هدایت الکتریکی دارد. در نواحی شرقی، غرب و جنوب غرب که در حاشیه رخنمون‌های سازند بختیاری با ترکیب غالب دانه‌های تخریبی قرار گرفته‌اند هدایت الکتریکی در کمترین حد می‌باشد.

تغییرات مکانی و زمانی غلظت کل مواد جامد محلول (TDS): مجموعه مواد جامد محلول که در آب محلول است، کل مواد جامد محلول (TDS) محسوب می‌شود و رسوبات معلق، کلوئیدها، و گازهای محلول را شامل نمی‌شود. افزایش TDS موجب کاهش کیفیت آب می‌شود [۱۰]. بیش‌ترین مقدار غلظت TDS (۵۲۳۳ میلی‌گرم بر لیتر) مربوط به چاه A4 در سال ۱۳۹۱، کمترین مقدار آن (۶۱۴ میلی‌گرم بر لیتر) مربوط به چاه



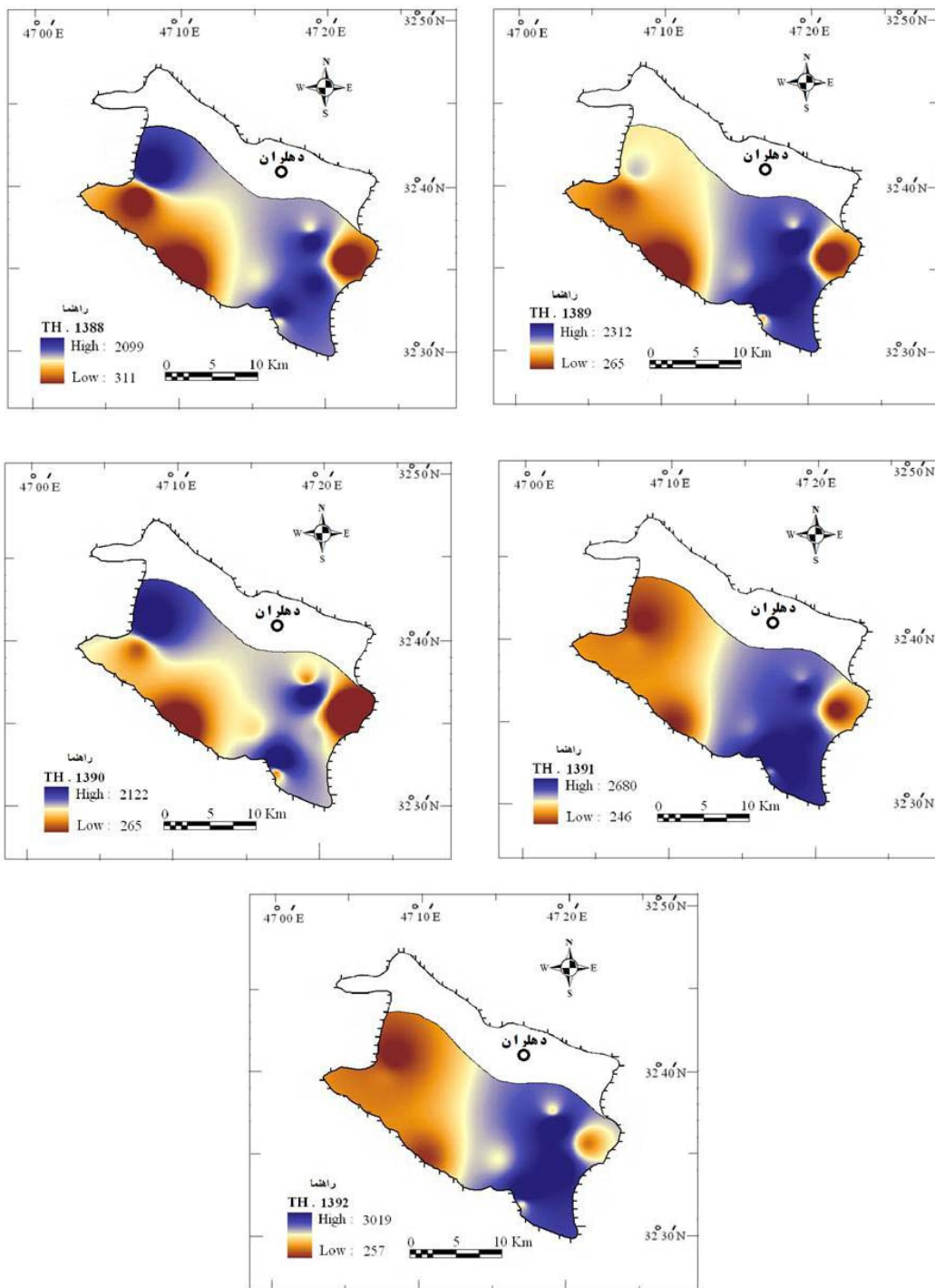
شکل ۴. تغییرات مکانی و زمانی TDS در سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۲

کل (TH) در منطقه مورد مطالعه در سال آماری ۱۳۸۸ بین ۲۰۰۹-۳۱۱، در سال ۱۳۸۹ بین ۲۳۱۲-۲۶۵، در سال ۱۳۹۰ بین ۲۱۲۲-۲۶۵، در سال ۱۳۹۱ بین ۲۴۶-۲۶۸۰ و در سال آماری ۱۳۹۲ بین ۳۰۱۹-۳۵۷ میلی‌گرم بر لیتر متغیر می‌باشد (شکل ۵). مقدار TH در

تغییرات مکانی و زمانی سختی کل (TH): بیش‌ترین مقدار سختی کل (۲۶۸۰ میلی‌گرم بر لیتر) مربوط به چاه A5 و کمترین مقدار آن (۲۴۶ میلی‌گرم بر لیتر) مربوط به چاه A8 در سال ۱۳۹۱ می‌باشد و مقدار متوسط آن برابر ۱۲۵۹ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (جدول ۱). سختی

آهکی (آسماری)، تبخیری (آغاجاری) می‌باشد. بر اساس توصیه سازمان بهداشت جهانی WHO، سختی آب آشامیدن نباید از ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر تجاوز نماید و در شرایط خوب کمتر از ۸۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

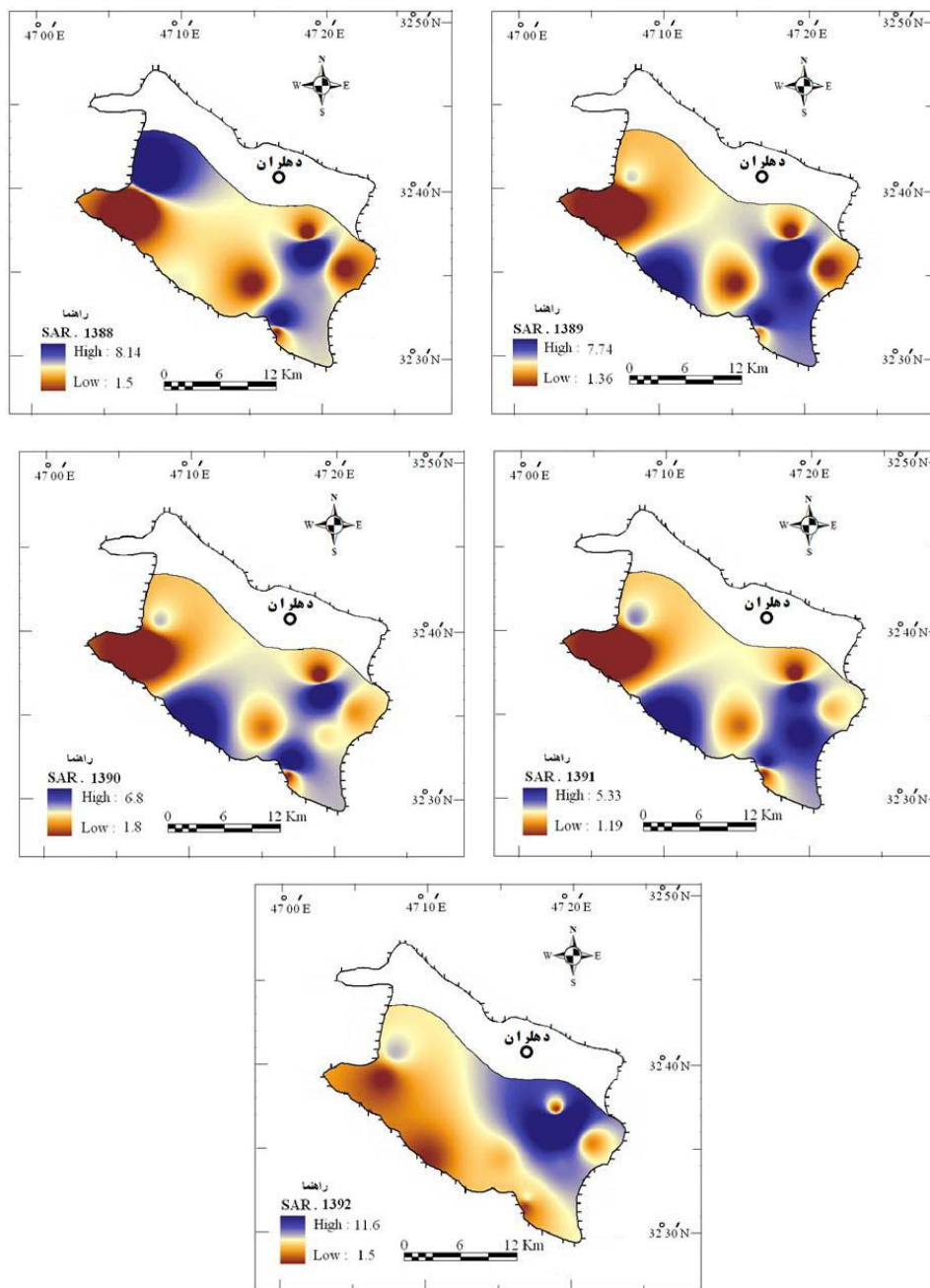
تمام دشت همه سال‌ها بالاتر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. آب دشت از نظر TH در رده‌ی آب‌های سخت قرار می‌گیرد و برای آشامیدن مناسب نمی‌باشد. علت سختی آب دشت دهلران، سازندهای گچی (گچساران)،



شکل ۵. تغییرات مکانی و زمانی TH در سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۲

سال ۱۳۹۲ و کمترین مقدار آن $SAR=1/19$ مربوط به چاه (A1) در سال ۱۳۹۱ می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه مقدار میانگین $SAR=3/98$ می‌باشد که نشان می‌دهد آب زیرزمینی دشت دهلران برای سلامت گیاه کم خطر می‌باشد. تغییرات مکانی و زمانی نسبت جذب سدیمی (SAR) آب زیرزمینی دشت دهلران در سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۸ در شکل ۶ نشان داده شده است.

تغییرات مکانی و زمانی نسبت جذب سدیمی (SAR): اگر مقدار SAR آب بین ۳ الی ۹ باشد براساس توصیه فائو در سلامت گیاه خطر کم تا متوسط دارد [۱۷]. براساس رهنمودهای ارزیابی آب در شیوه آبیاری سطحی، اگر مقدار SAR آب بین ۳ الی ۹ باشد پیامدهای کم تا متوسط را به همراه خواهد داشت و اگر مقدار SAR آب بیشتر از ۹ باشد پیامدهای نامطلوب دارد [۹]. بیشترین مقدار $SAR=11/64$ مربوط به چاه (A8) در



شکل ۶. تغییرات مکانی و زمانی SAR در سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۲

شده است. بر اساس این جدول مقادیر شاخص شولر در آب زیرزمینی دشت دهلران در همه چاه‌ها منفی می‌باشد. مقادیر منفی شاخص شولر نشان می‌دهد بین یون‌های Mg^{+2} و Ca^{+2} موجود در آب زیرزمینی دشت دهلران با یون‌های Na^{+} و K^{+} در سنگ‌های مجاور سفره آب زیرزمینی منطقه تبادل یونی صورت گرفته است. فراوانی نسبی کلسیم و سدیم نسبت به پتاسیم و منیزیم در آب زیرزمینی دشت دهلران ($Ca^{2+} > Na^{+} > Mg^{2+} > K^{+}$) وجود سازندهای گچی (گچساران)، آهکی (آسماری)، تبخیری (آجاجاری) در منطقه نشان می‌دهد احتمالاً تبادل کاتیونی بیش‌تر بین کاتیون‌های Mg^{+2} موجود در آب زیرزمینی منطقه و Na^{+} موجود در سنگ‌های مجاور منطقه صورت پذیرفته است. این فرایند سبب انتقال عنصر Na^{+} از سنگ‌های مجاور و تمرکز آن در داخل آب زیرزمینی منطقه شده است.

هم‌بستگی بین شاخص‌های کیفی آب: در آب زیرزمینی دشت دهلران میزان هم‌بستگی بین کاتیون‌ها، آنیون‌ها و سایر پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت دهلران در جدول ۳ نشان داده شده است. فراوانی کاتیون‌ها به ترتیب به صورت $Ca^{2+} > Na^{+} > Mg^{2+} > K^{+}$ و آنیون‌ها به ترتیب به صورت $Cl^{-} > SO_4^{2-} > HCO_3^{-}$ می‌باشد. هم‌بستگی بالای بین کاتیون‌ها و آنیون‌های Ca^{2+} و Cl^{-} (۰/۸۲)، Ca^{2+} و SO_4^{2-} (۰/۷۵)، Na^{+} و Cl^{-} (۰/۶۲)، Na^{+} و SO_4^{2-} (۰/۶۷) و هم‌بستگی پایین بین کاتیون‌ها و آنیون‌های Ca^{2+} و HCO_3^{-} (۰/۱۶)، Na^{+} و HCO_3^{-} (۰/۱۴) احتمالاً حاکی از تاثیر زیاد کانی‌های هالیت، ژپس و انیدریت موجود در سازند تبخیری گچساران نسبت به سازند آهکی آسماری در ترکیب هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی دشت دهلران می‌باشد. پایین بودن هم‌بستگی سختی کل (TH) با HCO_3^{-} (۰/۳) نسبت به هم‌بستگی بین سختی کل (TH) با SO_4^{2-} (۰/۸۲) و Cl^{-} (۰/۷۵) نشانگر تاثیر بیش‌تر کانی‌های موجود در سازند گچساران (با بین لایه‌های گچی و تبخیری) نسبت به سازند کربناتی آسماری بر این پارامتر است. مقایسه هم‌بستگی بین HCO_3^{-} با Mg^{2+} (۰/۴۵) و Ca^{2+} (۰/۱۶) نشان می‌دهد احتمالاً سازند آسماری (با لیتولوژی سنگ آهک-دولومیت) منطقه در تامین Mg^{2+} آب زیرزمینی دشت دهلران نسبت به Ca^{2+} نقش بیش‌تری داشته است. با توجه به مطالب فوق می‌توان

مقدار SAR در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۰، ۱۳۸۹، ۱۳۸۸ در تمام دشت کمتر از ۹ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد و در سال‌های مذکور از نظر این شاخص در دشت مشکلی مشاهده نگردید. در سال ۱۳۹۲ بیش‌ترین مقدار SAR (۱۱/۶) میلی‌گرم بر لیتر بوده که در بخش‌های شمال شرق و مرکز دشت دیده می‌شود و آب این نواحی به علت $SAR > 9$ برای کشاورزی مناسب نمی‌باشد و در سایر نقاط دشت از نظر پارامتر مذکور در سال ۱۳۹۲ مشکلی مشاهده نگردید.

شاخص pH: به دلیل قرار گرفتن مقدار شاخص pH در دامنه معمول آب کشاورزی و آشامیدن و مناسب بودن این پارامتر برای تمام منطقه از تقسیم‌بندی این پارامتر خودداری شد.

درصد سدیم (Na%): مقادیر درصد سدیم (Na%) در آب زیرزمینی دشت دهلران در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس در همه‌ی چاه‌ها مقدار درصد سدیم کمتر از ۶۰ درصد می‌باشد و در رده‌ی خوب تا عالی قرار می‌گیرند.

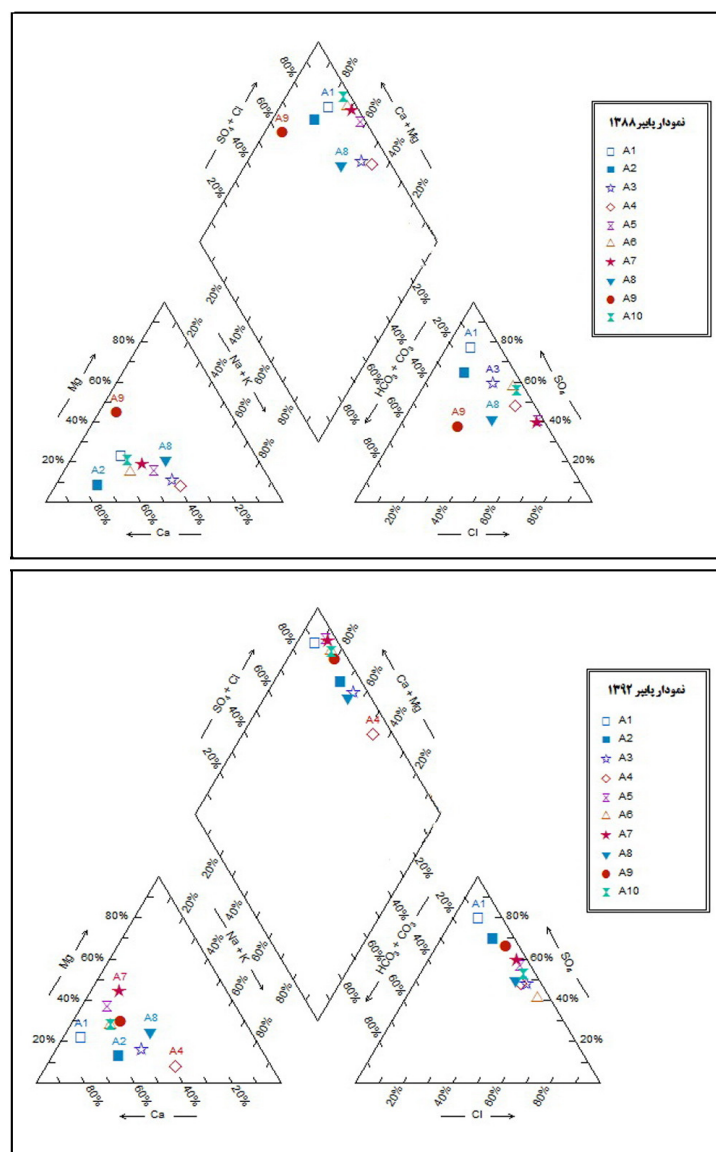
غلظت کلر (Cl^{-}): مقادیر غلظت کلر (Cl^{-}) در آب زیرزمینی دشت دهلران در جدول ۱ ارائه شده است. غلظت بالای یون کلر در آب باعث ایجاد مسمومیت و سوختگی در برگ‌های گیاهان می‌گردد. بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس غلظت کلر در دو چاه (A1, A7) کمتر از ۵ می‌باشد که در رده‌ی خوب تا عالی می‌باشند. در یک چاه (A2) غلظت کلر بین ۱۰-۵ است که در رده‌ی دوم خوب تا مضر می‌باشد. هفت چاه (A3, A4, A5, A6, A8, A9, A10) نیز در رده غیر قابل مصرف می‌باشند. هم‌چنین غلظت کلر بر اساس طبقه‌بندی ارائه شده برای استفاده در آبیاری سطحی و بارانی مورد بررسی قرار گرفت. آب دو حلقه چاه (A1, A7) برای آبیاری سطحی بدون محدودیت می‌باشد، چاه‌های (A2, A10) در محدوده‌ی متوسط می‌باشند و شش حلقه چاه (A3, A4, A5, A6, A8, A9) نیز در محدوده‌ی شدید قرار دارند. از نظر آبیاری بارانی یک حلقه چاه (A1) در محدوده‌ی کمتر از ۳، بدون محدودیت قرار دارد و مابقی چاه‌ها در محدوده متوسط قرار دارند. از نظر درصد سدیم مشکلی مشاهده نمی‌شود.

شاخص کلر-آلکالی شولر (CAI): مقادیر شاخص شولر در آب زیرزمینی دشت دهلران در جدول ۲ ارائه

[۲۵] می‌باشد. غلظت‌های کاتیونی و آنیونی آب‌های زیرزمینی تحت عنوان رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی تعریف می‌شوند. ویژگی یونی نمودار پایپر نشان می‌دهد سازندهای زمین‌شناسی با لایه‌های سولفاتی و تبخیری منطقه در شکل‌دهی کیفیت و تکامل هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی دشت دهلران نقش اساسی داشته‌اند. نمودارهای پایپر آب زیرزمینی دشت دهلران نشان می‌دهد، تیپ غالب کاتیون‌های موجود در آب زیرزمینی دشت دهلران از نوع کلسیمی- منیزیمی با محوریت کلسیمی است و تیپ غالب آنیون‌ها از نوع سولفاتی می‌باشد (شکل ۷).

اظهار داشت منشأ کاتیون‌های اصلی (Ca^{2+} , Na^+) و آنیون‌های اصلی (Cl^- , SO_4^{2-}) آب زیرزمینی دشت دهلران، می‌تواند سازند تبخیری گچساران باشد و منشأ آنیون و کاتیون با فراوانی نسبی پایین‌تر (HCO_3^- و Mg^{2+}) سازند آهکی-دولومیتی آسماری است. منشأ بخشی از کاتیون Mg^{2+} می‌تواند واحدهای شیلی و مارنی سازنده‌های پابده و گورپی واقع در سرچشمه آب‌های زیرزمینی یعنی ارتفاعات شمال حوضه آبریز دشت دهلران باشد.

نمودار پایپر: یکی از روش‌های متداول در تعیین تیپ (رخساره هیدروشیمی) آب زیرزمینی و تعیین مسیر تکاملی هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌ها استفاده از نمودار



شکل ۷. نمودار پایپر مربوط به آب زیرزمینی دشت دهلران در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۲

کانی‌های ژئیس و انیدریت سازندهای تبخیری مثل گچساران نقش اساس در تکامل هیدروژئوشیمیایی دشت دهلران داشته است.

آب زیرزمینی دهلران با ویژگی غالب کاتیونی Mg^{2+} Ca^{2+} نشان دهنده تاثیر زیاد سازندهای گچی (گچساران) و آهکی (آسماری) در تکامل رخساره هیدروژئوشیمیایی آبخوان منطقه است. آنیون SO_4^{2-} موجود در ترکیب

جدول ۱. مقادیر پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی دشت دهلران در چاه‌های نمونه‌برداری

پارامتر	واحد	بیش‌ترین	تعداد نمونه‌ها	شماره چاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	کمترین	تعداد نمونه‌ها	شماره چاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میانگین
Ec	($\mu mhos/cm$)	۷۸۱۱	۱۰	A4	۷۱۱۳۳۵	۳۶۰۷۵۱۶	۹۴۶	۱۰	A7	۷۱۷۹۱۵	۳۶۰۶۶۸۹	۳۳۹۲
TDS	(mg/L)	۵۲۳۲	۱۰	A4	۷۱۱۳۳۵	۳۶۰۷۵۱۶	۶۱۴	۱۰	A7	۷۱۷۹۱۵	۳۶۰۶۶۸۹	۲۳۶۱
PH	-	۷/۹۵	۱۰	A3	۷۰۳۴۳۵	۳۶۰۷۶۹۲	۶/۸۹	۱۰	A1	۶۹۸۸۱۶	۳۶۱۶۱۳۹	۷/۵۲
Hco ₃	(mg/L)	۳/۶	۱۰	A7	۷۱۷۹۱۵	۳۶۰۶۶۸۹	۱/۷	۱۰	A10	۷۱۷۳۰۱	۳۶۱۲۸۲۷	۲/۲۹
Cl	(mg/L)	۴۸/۵۲	۱۰	A5	۷۱۴۱۸۱	۳۶۰۳۶۴۰	۱	۱۰	A1	۶۹۸۸۱۶	۳۶۱۶۱۳۹	۱۳/۹۷
So ₄ ²⁻	(mg/L)	۴۲	۱۰	A5	۷۱۴۱۸۱	۳۶۰۳۶۴۰	۴/۰۵	۱۰	A8	۷۲۱۱۴۰	۳۶۰۹۲۲۹	۱۹/۶۸
Ca ²⁺	(mg/L)	۴۲/۷	۱۰	A5	۷۱۴۱۸۱	۳۶۰۳۶۴۰	۲/۳۶	۱۰	A8	۷۲۱۱۴۰	۳۶۰۹۲۲۹	۱۸/۶۰
Mg ²⁺	(mg/L)	۲۴/۳	۱۰	A5	۷۱۴۱۸۱	۳۶۰۳۶۴۰	۰/۸۷	۱۰	A8	۷۲۱۱۴۰	۳۶۰۹۲۲۹	۵/۷۳
Na	(mg/L)	۳۶	۱۰	A5	۷۱۴۱۸۱	۳۶۰۳۶۴۰	۱/۵	۱۰	A8	۷۲۱۱۴۰	۳۶۰۹۲۲۹	۱۲/۴۹
SAR	-	۱۱/۶۴	۱۰	A8	۷۲۱۱۴۰	۳۶۰۹۲۲۹	۱/۱۹	۱۰	A1	۶۹۸۸۱۶	۳۶۱۶۱۳۹	۳/۹۸
TH	(mg/L)	۲۶۸۰	۱۰	A5	۷۱۴۱۸۱	۳۶۰۳۶۴۰	۲۴۶	۱۰	A8	۷۲۱۱۴۰	۳۶۰۹۲۲۹	۱۲۵۹
K	(mg/L)	۰/۶۱	۱۰	A3	۷۰۳۴۳۵	۳۶۰۷۶۹۲	۰/۰۱	۱۰	A8	۷۲۱۱۴۰	۳۶۰۹۲۲۹	۰/۰۹۸
Na (%)	(%)	۶۵/۰۲	۱۰	A5	۷۱۴۱۸۱	۳۶۰۳۶۴۰	۷/۳۸	۱۰	A8	۷۲۱۱۴۰	۳۶۰۹۲۲۹	۲۵/۴۷

جدول ۲. مقادیر شاخص شولر محاسبه شده آب زیرزمینی دشت دهلران در ۱۰ چاه نمونه‌برداری

شماره چاه	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
شاخص شولر	-۱/۳	-۰/۶۹	-۱/۱	-۰/۷	-۰/۲۲	-۰/۲۴	-۰/۱۸	-۱/۹	-۰/۱۵	-۰/۱۴
طول جغرافیایی	۶۹۸۸۱۶	۷۰۰۰۹۹	۷۰۳۴۳۵	۷۱۱۳۳۵	۷۱۴۱۸۱	۷۱۳۹۴۹	۷۱۷۹۱۵	۷۲۱۱۴۰	۷۱۷۵۶۸	۷۱۷۳۰۱
عرض جغرافیایی	۳۶۱۶۱۳۹	۳۶۱۸۸۱۰	۳۶۰۷۶۹۲	۳۶۰۷۵۱۶	۳۶۰۳۶۴۰	۳۶۰۲۵۲۸	۳۶۰۶۶۸۹	۳۶۰۹۲۲۹	۳۶۱۱۴۲۷	۳۶۱۲۸۲۷

جدول ۳. مقادیر ضریب هم‌بستگی بیرونی بین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت دهلران

	EC	TDS	pH	HCO ₃	CL ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Na%	SAR	TH
EC	۱												
TDS	**۰/۸۷	۱											
pH	*-۰/۲۱	-۰/۱۴	۱										
HCO ₃ ⁻	۰/۳۲	**۰/۳۴	**۰/۴۲	۱									
CL ⁻	**۰/۸	**۰/۸	*-۰/۱۱	**۰/۲۶	۱								
SO ₄ ²⁻	**۰/۷۶	**۰/۸۲	*-۰/۳۲	*۰/۳۱	**۰/۶۸	۱							
Ca ²⁺	**۰/۷۸	**۰/۸۸	**۰/۱۴	**۰/۱۶	**۰/۸۲	**۰/۷۵	۱						
Mg ²⁺	**۰/۵	**۰/۸۱	*-۰/۱۹	**۰/۴۵	**۰/۵۶	**۰/۶۸	**۰/۶۸	۱					
Na ⁺	**۰/۶۵	**۰/۶۸	*-۰/۱۷	**۰/۱۴	**۰/۶۲	**۰/۶۷	**۰/۶۲	**۰/۴۵	۱				
K ⁺	**۰/۳۸	**۰/۲۸	**۰/۵	*۰/۱۸	**۰/۳۴	**۰/۱۵	**۰/۳۴	**۰/۶۷	**۰/۲۹	۱			
Na%	**۰/۴۸	*۰/۴۲	*۰/۵	*۰/۲۳	*۰/۱۴	-۰/۰۹	-۰/۱۴	-۰/۳۱	**۰/۲۳	*-۰/۲۱	۱		
SAR	**۰/۴۸	**۰/۶۳	*-۰/۲۲	*۰/۴۴	**۰/۶۲	**۰/۶۳	**۰/۴۹	**۰/۶۱	**۰/۶۹	**۰/۵۲	**۰/۵۱	۱	
TH	**۰/۷۸	**۰/۹۵	*-۰/۱۷	**۰/۳	**۰/۷۵	**۰/۸۲	**۰/۹۱	**۰/۸۶	**۰/۶۵	**۰/۲۴	*-۰/۱۱	**۰/۵۷	۱

** معنی‌داری در سطح یک درصد، * معنی‌داری در سطح پنج درصد

نتیجه‌گیری

در این مطالعه برخی پارامترهای شیمیایی شامل کاتیون‌ها، آنیون‌ها، هدایت الکتریکی (EC)، pH، درصد سدیم (Na)، سختی کل (TH)، غلظت کل مواد جامد محلول (TDS)، نسبت جذب سدیم (SAR)، در دوره آماری پنج ساله (۱۳۹۲-۱۳۸۸) به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت دهلران (۱۰ چاه نمونه‌برداری) استفاده گردید. در همهی چاه‌ها مقدار درصد سدیم کمتر از ۶۰ درصد می‌باشد و در رده‌ی خوب تا عالی قرار می‌گیرند. در دو چاه غلظت کلر کمتر از ۵ می‌باشد که در رده‌ی خوب تا عالی می‌باشند، یک چاه غلظت بین ۵-۱۰ دارد که در رده‌ی خوب تا مضر می‌باشد، هفت چاه نیز رده غیر قابل مصرف می‌باشند. از نظر درصد سدیم مشکلی مشاهده نگردید. مقدار شاخص شولر برای چاه‌های مورد مطالعه منفی مشاهده گردید. همه کاتیون‌ها و آنیون‌ها دارای هم‌بستگی مثبت با TDS بودند. بیش‌ترین ضریب هم‌بستگی بین TDS و کاتیون‌ها مربوط به کلسیم (۰/۸۸) بود. هم‌چنین بیش‌ترین ضریب هم‌بستگی بین TDS و آنیون‌ها مربوط به یون سولفات (۰/۸۲) می‌باشد. بیش‌ترین ضریب هم‌بستگی پیرسون بین سختی کل (TH) و یون کلسیم (۰/۹۱) مشاهده گردید. هم‌بستگی بالا بین هدایت الکتریکی، کاتیون‌ها و آنیون‌های نشان‌دهنده نقش موثر سازندهای سنگ‌های رسوبی در افزایش هدایت الکتریکی و شوری آب زیرزمینی دشت دهلران می‌باشد. نتایج نشان داد که غلظت یون‌ها برای کاتیون‌ها به ترتیب به صورت $Ca^{2+} > K^{+} > Mg^{2+} > Na^{+}$ و برای آنیون‌ها به ترتیب به صورت $HCO_3^{-} > SO_4^{2-} > Cl^{-}$ می‌باشد. هم‌بستگی بالای بین کاتیون‌ها و آنیون‌های Ca^{2+} و Cl^{-} ، SO_4^{2-} و Na^{+} و Cl^{-} ، Na^{+} و SO_4^{2-} هم‌بستگی پایین بین کاتیون‌ها و آنیون‌های Ca^{2+} ، HCO_3^{-} و Na^{+} احتمالاً حاکی از تاثیر زیاد کانی‌های هالیت، ژیبس و انیدریت موجود در سازند تبخیری گچساران نسبت به سازند آهکی آسماری در ترکیب هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی دشت دهلران می‌باشد. علت اصلی سختی آب دشت دهلران، سازندهای تبخیری و گچی (گچساران) و سازند کربناتی (آسماری) می‌باشد. نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب دشت دهلران بیان‌کننده‌ی این واقعیت است که بیش‌ترین

مقادیر (EC, TDS) در نیمه شرقی و بویژه در جنوب شرق می‌باشد (غیر از بخش کوچکی از شرق دشت) و در نتیجه آب این نواحی دارای بدترین کیفیت برای مصارف آشامیدن، و کشاورزی می‌باشند. در صورتی که نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب نشان می‌دهد آب مناطق جنوب‌غرب و بخش کوچکی از حاشیه شرقی دشت کیفیت بالا برای مصارف آشامیدن و کشاورزی دارند. همانگونه که نقشه زمین‌شناسی و سیستم زهکشی منطقه نشان می‌دهد بیش‌تر آب زیرزمین بخش شرقی دشت از ارتفاعات شمال‌شرق و شمال تغذیه می‌شوند. آب‌های نزولات جوی ضمن نفوذ و عبور از سازندهای نفوذی تبخیری (گچساران) و کربناتی (آسماری) املاح این سازندها را در خود حل کرده و با خود حمل می‌کنند، بنابراین کیفیت آب این مناطق پایین است. در صورتی که همانگونه که در نقشه زمین‌شناسی دیده می‌شود در بخش جنوب‌غربی حوضه آبریز دشت دهلران سازند بختیاری رخنمون دارد و آب زیرزمینی این بخش از کیفیت نسبی بالاتر برخوردار است. مقدار TH در تمام دشت بالاتر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد و در رده‌ی آب سخت قرار می‌گیرد و برای آشامیدن مناسب نمی‌باشد. نسبت جذب سدیمی (SAR) در دشت دهلران بالاتر از حد استاندارد نمی‌باشد. فقط در سال ۱۳۹۲ بیش‌ترین مقدار SAR در بخش‌های شمال‌شرق و مرکز دشت دیده می‌شود و آب این نواحی به علت $SAR > 9$ برای کشاورزی مناسب نبود. تغییرات pH در تمام چاه‌ها در حد ۶/۸۹-۷/۹۵ می‌باشد در نتیجه آب چاه‌های مورد مطالعه از نظر pH دارای کیفیت خوب می‌باشد. بر اساس نمودار پایپر، تیپ غالب کاتیون‌های موجود در آب زیرزمینی دشت دهلران از نوع کلسیمی-منیزیمی است و تیپ غالب آنیون‌ها از نوع سولفاتی می‌باشد. ویژگی یونی نمودار پایپر نشان می‌دهد سازندهای زمین‌شناسی با لایه‌های سولفاتی و تبخیری منطقه در شکل‌دهی کیفیت آب زیرزمینی دشت دهلران نقش اساسی داشته‌اند.

سپاسگزاری: از همکاری سازمان آب منطقه‌ای استان ایلام، بویژه جناب آقای مهندس علی پور احمد مدیر کل محترم آن سازمان سپاسگزاریم.

منابع

- [۱۲] مقدم، ع.، قلعه‌بان، ت.، اسماعیلی، ک (۱۳۹۲) بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۰، شماره ۳، ۲۱۱-۲۲۵.
- [۱۳] مقیمی، ه (۱۳۸۴) هیدروژئوشیمی. انتشارات دانشگاه پیام نور تهران، ۲۱۳ص.
- [۱۴] مقیمی، ه (۱۳۹۳) ارزیابی و تعیین منشأ عناصر منابع آب زیرزمینی با استفاده از نسبت‌های یونی، مطالعه موردی: دشت قائم شهر-جویبار (شمال شرق ایران). فصلنامه بین‌المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه، جلد ۲، شماره ۲، ۱۹-۱.
- [۱۵] وثوقی، م (۱۳۹۳) رخنمون‌های سطحی سازندهای حفاری شده در میدان نفتی آذر در تاق‌دیس‌های همجوار (اناران و کبیرکوه). نشریه الکترونیک واحد منابع انسانی، شرکت مهندسی و توسعه سروک آذر، سال دوم، شماره ۶، ۲۲-۱۸.
- [16] Ahmadi, Sh., Sedghamiz, A (2007) Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level. Environ Monit Assess, 129(1-3), 277-294.
- [17] Ayers, R. S., Westcott, D.W (1985) Water Quality for Agriculture. F.A.O Irrigation and Drainage Paper No. 29 F.A.O Rome.
- [18] Fetouani, S., Sbaa, M., Vanclooster, M. and Bendra, B (2008) Assessing groundwater quality in the irrigated plain of Triffa (north-east Morocco). Journal of Agricultural Water Management, 95(2), 133-142.
- [19] George, Y. Lu. And David W. Wong (2008) An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. Computers & Geosciences, (3499), 1044- 1055.
- [20] Ketata, M., Hamzaoui, F., Gueddari, M., Bouhlila, R. and Ribeiro, L (2011) Hydrochemical and statistical study of ground water in Gabes-South deep aquifer (South-eastern Tunisia), Physics and Chemistry of the Earth part A/B/C (doi: 10.1016/j.pce.2010.02.006) 36: 1-196.
- [21] Kathy, P (2005) Water Recreation and Disease plausibility of Associated Infections: Acute Effects, Sequelae and Mortality, World Health Organization (WHO), London, UK.
- [22] Kresic, N (2009) Groundwater Resources: Sustainability, Management, and Restoration. USA: McGraw-Hill companies, Inc.
- [23] Kozłowski, M., Komisarek, J (2016) Identification of the hydrogeochemical processes in groundwater of gleysols and retisols toposquence of the Opalenice plain. Journal of Ecological Engineering, 17(2), 113-120.
- [۱] احمدی‌زاده فیینی، ا.، رازمند، ن. و زمانی ا (۱۳۹۳) بررسی میزان غلظت عناصر سنگین (کادمیوم، سرب، روی) در منابع تأمین آب آشامیدنی در روستاهای شهرستان بندرعباس. مجله پزشکی هرمزگان، جلد ۱۸، شماره ۳، ۲۳۹-۲۴۵.
- [۲] بانزاد، ح.، و محب زاده، ح (۱۳۹۰) ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت رزن-قهاوند برای تأمین آب مورد نیاز کشاورزی با استفاده از GIS. فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، جلد ۱۲، شماره ۳۸، ۹۹-۱۱۰.
- [۳] بینایی مطلق، پ (۱۳۸۹) دستورالعمل و روش‌های اندازه‌گیری عوامل فیزیکوشیمیایی و مواد شیمیایی معدنی سمی در آب آشامیدنی، معاونت بهداشت وزارت بهداشت و درمان و آموزش پزشکی ایران. ۷۴ص.
- [۴] جهانشاهی، ا.، روحی مقدم، ع.، دهواری، ع (۱۳۹۳) ارزیابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از GIS و زمین آمار (مطالعه موردی: آبخوان دشت بابک). نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۲، ۱۹۷-۱۸۳.
- [۵] خاندوزی، ف.، پری زنگنه، ع. ح.، زمانی، ع.، دادبان شہامت، ی (۱۳۹۴) بررسی کیفیت ژئوشیمیایی و بهداشتی آب زیرزمینی شهرستان رامیان استان گلستان. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، دوره ۱، شماره ۳، ۵۲-۴۱.
- [۶] خدائی، ک.، شهنواری، ع. ا.، اعتباری، ب (۱۳۸۵) ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت جویین به روش‌های DRASTIC و GODS. نشریه زمین‌شناسی ایران، جلد ۲، شماره ۴، ۸۷-۷۳.
- [۷] سکوتی اسکوتی، ر (۱۳۹۱) تغییرات زمانی و مکانی شوری آب زیرزمینی دشت ارومیه. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، جلد ۱، شماره ۴، ۲۴-۱۹.
- [۸] شرکت سهامی آب منطقه‌ای ایلام (۱۳۸۸) گزارش مطالعات نیمه تفصیلی آب زیرزمینی دشت دهلران.
- [۹] علیزاده، ا (۱۳۸۳) رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا (مشهد). ۴۷۲ص.
- [۱۰] قبادی، م. ح (۱۳۸۹) آب‌های زیرزمینی. انتشارات دانشگاه بوعلی‌سینا (همدان). ۳۲۶ص.
- [۱۱] محمدی، م.، محمد قلعه نی م.، ابراهیمی، ک (۱۳۹۰) تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین. مجله پژوهش آب ایران. جلد ۵، شماره ۸، ۵۲-۴۱.

- [24] Nadiri, A. A., Moghaddam, A. A., Tsai, F., and Fijani, E (2013) Hydrogeochemical analysis for Tasuj plain aquifer, Iran. *J. Earth Syst. Sci.* 122. 4, 1091-1105.
- [25] Piper, A. M (1994) A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analyses; *Am. Geophys.* 25, 914-923.
- [26] Richards, L. A (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 60.
- [27] Richter, B.C. and Kreitler, C.W (1993) *Geochemical Techniques for Identifying Source of Ground-Water Salinization*. USA: C. K. Smoley.
- [28] Selvam, S., Manimaran, G. and Sivasubramanian, P (2014) GIS-based Evaluation of Water Quality Index of groundwater resources around Tuticorin coastal city, south India. *Environ Earth Sci*, 71, 2847-2867
- [29] Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition (1999) American public Health Associzted, American Water Works Association, Water Environment Federation. 2462 PP.
- [30] Schoeller H (1965) Hydrodynamicue lans lekarst. Actes du Colloque de Dubrovnik, IAHS/ UNESCO, Paris, 2-20.
- [31] Shoeller, H (1967) Qualitative evaluation of groundwater resources, Methods and techniques of groundwater investigation and development. *Water Research.* 33, 44-52.
- [32] Wang, Y. and Jiao, J. J (2012) Origin of ground water salinity and hydro geochemical processes in the confined quaternary aquifer of the Pearl River delta, China. *J Hydrol* 438-439:112-124. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.
- [33] Vziri-Moghaddam, H., Seyrafian, A., Taheri, A., and Motiei, H (2010) Oligocene-Miocene ramp system (Asmari Formation) in the NW of Zagros Basin, Iran: Microfacies, paleoenvironment and depositional sequence: *Revisita Mexicana de Ciencia Geologicals*, 27, 56-71.
- [34] WHO (2008) *Guidelines for Drinking- water quality*, Third ed., incorporating the first and second addenda, Volume1: Recommendations, Geneva. 668p.
- [35] Wilcox, L.W (1995) *Classification and use of irrigation water*. U. S. Department, Agri. Circular, 969 pp.
- [36] Yadav, I. Ch., Devi, N. L. and Singh, S (2015) Spatial and temporal variation in arsenic in the groundwater of upstream of Ganges River Basin, Nepal. *Environ Earth Sci*, 73, 1265-1279.